

基于MRI影像组学列线图术前预测肝内胆管癌神经侵犯

随辉泽^{1*},周喆聿^{2*},操舒亚³,徐晓亮¹,李国强¹

(¹安徽医科大学第一附属医院肝胆胰外科,合肥 230022;²北京协和医学院南京鼓楼医院普通外科,南京 210008;³南京中医药大学附属苏州市中医医院普外科,苏州 215009)

摘要 目的 探讨基于增强磁共振(MRI)影像组学结合临床变量的列线图在术前预测肝内胆管癌(ICC)周围神经侵犯(PNI)中的价值。方法 回顾性收集了59例ICC患者的临床资料,根据术后病理分为非PNI组($n=33$)和PNI组($n=26$)。从MRI的5个序列中勾画感兴趣区(ROI),提取并筛选对PNI识别能力最强的影像组学特征以建立影像组学模型,并通过该模型生成一个量化的影像组学评分(Radscore)。使用单因素分析筛选与PNI相关的临床变量,随后使用glm函数构建临床和整合模型。最后通过受试者工作特征(ROC)曲线、校准曲线和决策曲线分析(DCA)对模型进行评价,并将整合模型可视化列为列线图。结果 临床模型包括年龄、糖类抗原19-9(CA19-9)、红细胞分布宽度和白蛋白,Radscore包括所筛选的5个影像组学特征。临床和影像组学模型的ROC曲线下面积(AUC)分别为0.717(95%CI: 0.586~0.848)和0.896(95%CI: 0.820~0.973),而整合模型将AUC进一步提高至0.917(95%CI: 0.848~0.987)。校准曲线和DCA显示列线图的校准良好,并能提供最大的临床净收益。结论 构建的新型列线图能够为术前预测PNI状态提供依据,以帮助临床决策和指导精准治疗。

关键词 肝内胆管癌;周围神经侵犯;磁共振;影像组学;列线图;术前预测

中图分类号 R735.7

文献标志码 A **文章编号** 1000-1492(2026)04-0736-07

doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2026.04.019

肝内胆管癌(intrahepatic cholangiocarcinoma, ICC)是人类癌症相关死因之一,具有高侵袭性和术后复发频繁等特点^[1]。即使经R0切除,ICC的复发率仍高达50%~70%,5年总生存(overall survival, OS)率也仅为20%~35%^[2-3]。早期识别具有高危复发因素的患者并进行相应的临床决策尤为重要。

周围神经侵犯(perineural invasion, PNI)指肿瘤细胞位于任何一层神经鞘内,或与神经紧邻并包绕 $\geq 33\%$ 的周径,其被证实是ICC等恶性肿瘤不良预后的独立危险因素^[4]。王婷等^[5]报道PNI的发生与脉管癌栓和淋巴结转移等ICC不良病理学特征相关。然而,目前对于PNI的诊断依赖术后病理,进行术前预测对于优化手术策略、制定新辅助治疗方案等具有参考价值。增强MRI诊断ICC的准确性优于增强CT^[1,6],同时影像组学在无创反映肿瘤异质性方面

有独特优势^[7]。该研究旨在基于增强MRI影像组学在早期识别PNI阳性的高危ICC患者。

1 材料与方法

1.1 病例资料 本研究为病例对照研究,回顾性收集2020年9月—2025年5月于安徽医科大学第一附属医院接受根治性肝切除术且经术后病理确诊为ICC的患者。纳入标准:非复发的ICC患者;术前2周内行腹部增强MRI检查且图像质量良好;术前未接受过局部或全身抗肿瘤治疗;未合并其他恶性肿瘤;病理报告中明确描述了PNI状态。患者信息均匿名化处理,符合免除伦理审查的情形。

共纳入ICC患者59例,根据术后病理结果分为非PNI组($n=33$)和PNI组($n=26$)。其中,非PNI组男性占48.5%,年龄63.0(58.0,71.5)岁,体质量指数(23.0 ± 3.8) kg/m^2 。PNI组男性占38.5%,年龄69.5(61.5,78.3)岁,体质量指数(23.1 ± 3.6) kg/m^2 。两组间基线资料差异无统计学意义,具有可比性。

查阅医院病案管理系统,收集临床资料,包括术前1周内的实验室检查:肿瘤标志物、血常规、肝功能和凝血四项;病理指标包括是否存在PNI、脉管癌栓和淋巴结转移,以及肿瘤分化情况。

2026-02-01 接收

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:82103135)

作者简介:随辉泽,男,硕士研究生;

徐晓亮,男,博士,副教授,主治医师,硕士生导师,通信作者,E-mail:xuxiaoliang1990@yeah.net;

李国强,男,博士,教授,主任医师,博士生导师,通信作者,E-mail:lgq@ahmu.edu.cn

*:对本文具有同等贡献

1.2 影像组学特征提取与筛选 将纳入患者MRI的5个序列(T1/T2加权成像、动脉期、静脉期和延迟期)的图像导入3D Slicer软件(5.8.1版本),由2名医师分别进行肿瘤分割以提取感兴趣区(regions of interest, ROI),如图1所示。为实现分割图像具有恒定的强度分辨率,使用SimpleITK包(2.3.1版本)重采样为 1 mm^3 的体素,使用PyWavelets包(1.3.0版本)对图像进行小波变换并归一化处理。最后,Pyradiomics包(3.1.0版本)被用来计算影像组学特征,包括形状特征、一阶强度特征和使用滤波器计算出的纹理特征。从5个不同序列的ROI中各提取了1316个特征,每个患者共获得6580个影像组学特征,形成了后续特征筛选的基础^[8]。

基于R语言的irr包(0.84.1版本)计算并评估两位医师提取ROI中影像组学特征的一致性,保留组内相关系数大于0.80的特征。其次,根据患者的PNI分组,使用glmnet包(4.1-8版本)进行最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)回归,结合10倍交叉验证,确定参数为lambda.min时与PNI状态最具相关性的特征^[9]。最终,对上面所有的影像特征进行LASSO筛选,得到5个与PNI状态最为密切的影像组学特征(表1)。随后通过逻辑回归的方法构建了包含这5个特征变量的预测PNI的线性回归公式(表1),通过这个公式计算出了每个患者的影像组学评分(radiomics score, Radscore)。每个患者对应一个Rad-

score值,该值越高,提示发生PNI的风险越大。

1.3 模型构建与评价 为预测PNI状态,依次构建了临床模型、影像组学模型及整合模型。首先,将单因素分析中 $P<0.20$ 的变量纳入后续多因素分析,临床模型通过二元Logistic回归(R语言glm函数)对年龄、糖原抗原19-9(carbohydrate antigen 19-9, CA19-9)、红细胞分布宽度(red blood cell distribution width, RDW)和白蛋白(albumin, ALB)这4个变量进行分析构建;影像组学模型是通过LASSO回归在lambda为0.166时最终筛选出5个与PNI状态最为密切的影像组学特征,并以此计算出Radscore($\text{Radscore} = 0.580 - 0.005 \times \text{Feature 1} + 0.013 \times \text{Feature 2} + 8.617 \times \text{Feature 3} - 63.374 \times \text{Feature 4} - 4.381 \times \text{Feature 5}$),见表1;整合模型通过将临床变量与Radscore共同纳入二元Logistic回归构建。最后,分别使用受试者工作特征(receiver operating characteristic curve, ROC)曲线下面积(area under the curve, AUC)值、校准曲线和决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)来评估所构建模型的诊断效能、校准度和能够提供的临床净收益,10折交叉验证被用来进行内部验证^[10]。模型的整体有效性通过omnibus检验进行评价,其校准度通过Hosmer-Lemeshow检验进行评价。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

1.4 统计学处理 使用SPSS 25.0软件进行分析以及使用RStudio(4.5.1版本)进行绘图。符合正态分布的定量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合的使用 $[M(P_{25},$

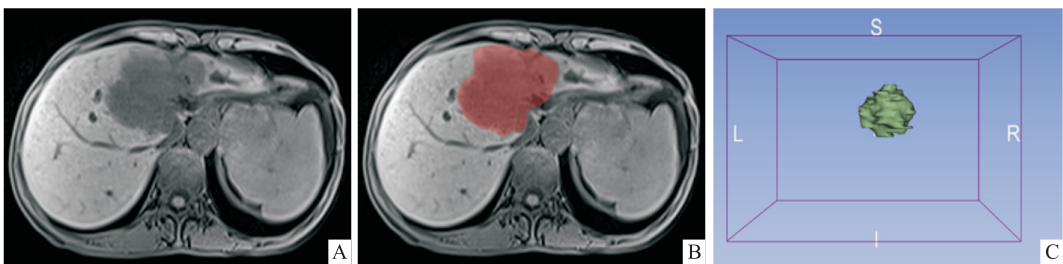


图1 影像组学特征提取

Fig. 1 Extraction of radiomic features

A: MRI image; B: regions of interest; C: 3D reconstruction of tumors.

表1 Radscore的具体公式

Tab. 1 The detailed formula of the Radscore

Feature number	Sequence	Feature name	Regression coefficient
1	Arterial phase	A_original_shape_Maximum2DDiameterRow	-0.005
2	Delayed phase	D_logarithm_firstorder_Kurtosis	0.013
3	Venous phase	V_wavelet_LLH_glcmlmc2	8.617
4	T1 phase	T1_wavelet_HHH_gldm_SmallDependenceEmphasis	-63.374
5	T1 phase	T1_wavelet_HHH_glrmlm_RunVariance	-4.381

P_{75}]描述。相应地,分别使用 t 检验和秩和检验比较组间差异。定性资料使用 $n(\%)$ 表示,组间比较使用卡方检验。不同预测模型(临床模型、影像组学模型及整合模型)AUC 的比较,采用 DeLong 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 病理特征分析 PNI 组患者存在脉管癌栓的比例高于非 PNI 组患者 (50.0% vs 21.2%, $P = 0.02$)。此外,相比于非 PNI 组,PNI 组患者的淋巴结转移率在数值上更高 (50.0% vs 26.7%),但组间差异无统计学意义 ($P = 0.26$)。见表 2。

2.2 两组患者临床-影像特征分析 比较非 PNI 组与 PNI 组患者的临床-影像特征,如表 3 所示,PNI 组患者的 CA19-9 水平高于非 PNI 组患者 ($P < 0.05$),其影像组学评分更高 ($P < 0.05$)。同时,另有年龄、RDW 和 ALB 这 3 个变量在组间单因素分析中的 P 值小于 0.20。

2.3 模型的构建与评价 多因素 Logistic 回归分析显示,年龄、CA19-9、RDW 和 ALB 均不是 PNI 的独立影响因素 (均 $P > 0.05$, 表 4)。然而,基于这些变量构建的临床预测模型仍能在一定程度上区分 PNI 状态 (Omnibus 检验, $P = 0.03$),且校准良好 (Hosmer-Lemeshow 检验, $P = 0.50$)。该模型区分 PNI 状态的

表 2 非 PNI 组和 PNI 组患者病理特征比较 [$n(\%)$]

Tab. 2 Pathological characteristics of patients without and with PNI [$n(\%)$]

Pathological feature	Non-PNI group ($n = 33$)	PNI group ($n = 26$)	χ^2 value	P value
Vascular invasion				
Absent	26 (78.80)	13 (50.00)	5.38	0.02
Present	7 (21.20)	13 (50.00)		
Tumor differentiation				
Moderate	15 (45.50)	11 (42.30)	0.11 [†]	0.74 [†]
Moderately-poor or poor	10 (30.30)	9 (34.60)		
Missing	8 (24.20)	6 (23.10)		
Lymph node metastasis				
Absent	11 (33.33)	6 (23.10)	—*	0.26 [†]
Present	4 (12.12)	6 (23.10)		
Missing	18 (54.55)	14 (53.80)		

[†]: Patients with missing data in the relevant fields were excluded from the analysis; * : Fisher's exact test.

AUC 值为 0.717。见图 2A。

由于临床模型仅具有中等程度的诊断效能,故基于增强 MRI 构建了影像组学模型。LASSO 回归在 lambda 为 0.166 时最终筛选出 5 个关键的影像组学特征 (图 3),动脉期、延迟期和静脉期各有 1 个特征,T1 期包括 2 个特征。其中,原始图像 (original) 和对数变换 (logarithm) 各包括 1 个特征,另外 3 个特征

表 3 非 PNI 组和 PNI 组患者临床-影像特征比较 [$M(P_{25}, P_{75})$]

Tab. 3 Clinical and imaging characteristics of patients without and with PNI [$M(P_{25}, P_{75})$]

Clinical-imaging feature	Non-PNI group ($n = 33$)	PNI group ($n = 26$)	$Z/\chi^2/t$ value	P value
Age (years)	63.0 (58.0, 71.5)	69.5 (61.5, 78.3)	-1.69	0.09
Gender [$n(\%)$]				
Female	17 (51.5)	16 (61.5)	0.59	0.44
Male	16 (48.5)	10 (38.5)		
BMI ($\text{kg}/\text{m}^2, \bar{x} \pm s$)	23.0 \pm 3.8	23.1 \pm 3.6	-0.08	0.94
CA19-9 (U/mL)	37.1 (15.8, 519.6)	577.5 (32.2, 3 522.5)	-2.05	0.04
RDW (%)	13.1 (12.4, 13.6)	13.5 (12.8, 13.9)	-1.48	0.14
Neutrophil count ($\times 10^9/\text{L}$)	4.1 (3.1, 5.5)	4.3 (3.2, 5.5)	-0.14	0.89
Lymphocyte count ($\times 10^9/\text{L}, \bar{x} \pm s$)	1.7 \pm 0.6	1.6 \pm 0.6	0.23	0.82
Monocyte count ($\times 10^9/\text{L}$)	0.4 (0.3, 0.5)	0.4 (0.3, 0.5)	-0.87	0.38
Platelet count ($\times 10^9/\text{L}, \bar{x} \pm s$)	209.6 \pm 57.4	218.4 \pm 79.9	-0.49	0.63
ALT (U/L)	32.0 (18.3, 51.0)	20.4 (14.5, 40.4)	-1.08	0.28
AST (U/L)	28.0 (23.1, 50.5)	28.0 (20.5, 42.2)	-0.64	0.52
GGT (U/L)	105.0 (47.5, 192.5)	105.9 (48.2, 299.9)	-0.05	0.96
ALP (U/L)	111.0 (84.0, 215.5)	146.5 (93.3, 243.0)	-0.76	0.45
Total bilirubin ($\mu\text{mol}/\text{L}$)	13.8 (10.2, 20.7)	13.0 (10.5, 21.1)	-0.07	0.95
ALB ($\text{g}/\text{L}, \bar{x} \pm s$)	42.8 \pm 4.3	41.1 \pm 4.1	1.55	0.13
PT (s)	12.2 (11.2, 12.8)	12.2 (11.3, 13.4)	-0.59	0.56
Radscore ($\bar{x} \pm s$)	-1.7 \pm 1.6	1.4 \pm 1.9	-6.83	< 0.001

表4 PNI危险因素Logistic回归分析

Tab. 4 Logistic regression analysis of PNI risk factors

Clinical-imaging feature	β value	OR value	95% CI	P value
Clinical model				
Age	0.05	1.05	0.99-1.11	0.12
CA19-9	0.00	1.00	1.00-1.00	0.12
RDW	0.36	1.44	0.93-2.24	0.11
ALB	-0.08	0.92	0.80-1.06	0.27
Radiomics model				
Radscore	1.00	2.72	1.67-4.44	< 0.001
Combined model				
Age	0.03	1.03	0.95-1.12	0.50
CA19-9	0.00	1.00	1.00-1.00	0.16
RDW	0.36	1.43	0.75-2.74	0.28
ALB	-0.11	0.89	0.71-1.12	0.34
Radscore	0.95	2.58	1.56-4.26	< 0.001

则来自小波变换(wavelet)。Radscore数值对应发生PNI的风险。影像组学模型的AUC值为0.896(图2A),相比于临床模型提升了诊断效能($P=0.02$)。

结合临床变量和Radscore构建的整合模型,Radscore被识别为唯一的独立危险因素($P<0.001$)(表4)。整合模型将AUC值提高至0.917,并具有最

小的-2对数似然值42.19,提示该模型可能最佳。

DCA证实整合模型能够在绝大多数风险阈值下提供最大的临床净收益(图2B),校准曲线显示预测的与实际的PNI状态之间的一致性良好(图2C)。10折交叉验证则表明整合模型AUC值的95%置信区间是0.848~0.987(图4),这提示模型具有较好的稳定性和泛化能力以及较低的过拟合风险。于是构建了一个新型可视化整合模型列线图(图5)。

3 讨论

本研究基于增强MRI影像组学构建了一个新的整合模型,其中包括Radscore及年龄、CA19-9、RDW和ALB四个临床变量,并依此构建一个新型列线图,通过量化PNI的发生风险为术前预测提供了可靠工具,为个体化精准治疗提供有力依据。

首先在模型可解释性方面,纳入变量均与ICC患者的预后密切相关。CA19-9是ICC最常用的肿瘤标志物,其在诊断和监测预后等方面发挥重要作用,一项多队列的研究同样报道了存在PNI的患者有更高的CA19-9水平^[11]。RDW已被证实为多种癌症的预后相关因素,最近的一项研究^[12]表明,高

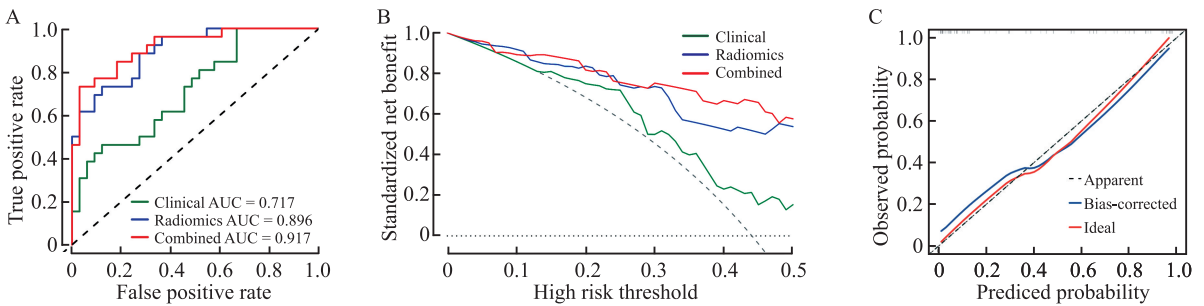


图2 构建模型的评价

Fig. 2 Performance evaluation of the constructed models

A: ROC curves with AUC values; B: DCA; C: Calibration curve.

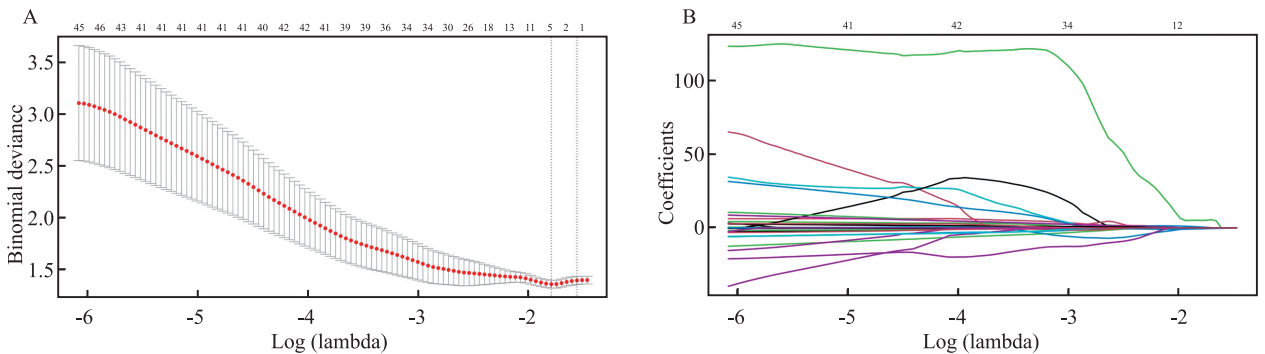


图3 LASSO回归筛选影像组学特征

Fig. 3 Selection of radiomic features by LASSO regression

A: Binomial deviance; B: Coefficients.

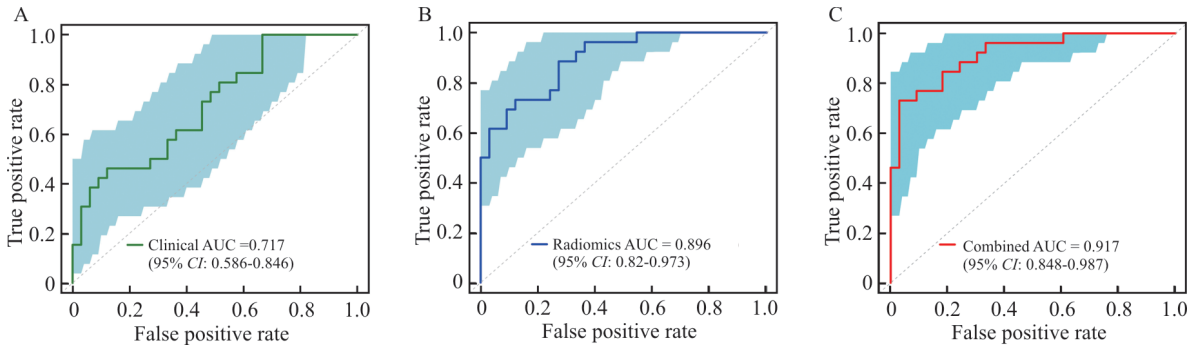


图4 构建模型的10折交叉验证

Fig. 4 10-fold cross-validation of the constructed models

A: Clinical model; B: Radiomics model; C: Combined model.

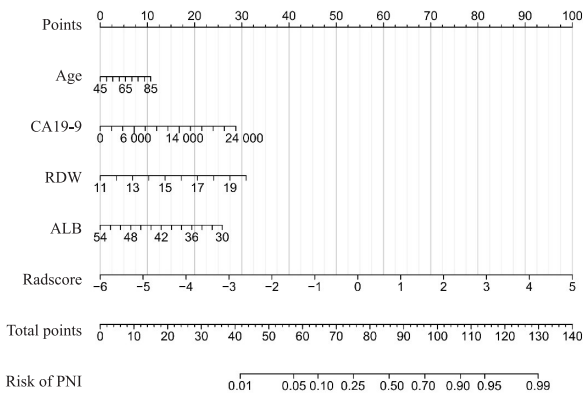


图5 整合模型的可视化列线图

Fig. 5 Nomogram of the combined model

RDW (大于14%)胆管癌患者的ALB水平降低而CA19-9水平升高,同时具有显著更短的OS。此外,高龄和低ALB在临床实践中常被视为营养不良的重要特征,Xu et al^[13]先前发表的荟萃分析证明了营养不良是癌症患者预后不佳的重要因素。尽管在多因素分析中,各个临床变量均未显示出独立的统计学意义,但这些变量(年龄、CA19-9、RDW、ALB)从不同角度反映了患者的全身状况、肿瘤负荷及营养状态,它们的联合作用可能在模型中产生了协同效应,从而使其整体具备了中等程度的判别能力(AUC = 0.717)。在影像组学方面,既往仅有一项

研究^[14]使用了MRI在术前预测PNI,但其只提取了T2期的特征。本研究使用了5个不同的序列,证明MRI影像组学具有反映ICC异质性信息的潜力。

本研究分析各重要病理特征之间的关系后提示,PNI增加了发生脉管癌栓和淋巴结转移的风险,这与先前的结果一致^[5,11]。脉管癌栓和淋巴结转移也被大样本的荟萃分析确定与ICC患者较短的OS相关^[15]。由于PNI作为ICC术后复发的关键驱动因素之一,其精准检出对预后评估和治疗决策至关重要。为确保病理分期的准确性和降低PNI的漏诊风险,病理科医师应严格遵循7点取材法规范取材^[6,16]。同时,外科医生在术中应遵循专家共识的推荐^[6],对模型预测为PNI高危的患者进行规范的淋巴结清扫。这不仅有助于准确分期,更能为制定个体化的辅助治疗方案提供关键依据。

对于肝储备功能及全身状况良好且符合根治条件的ICC患者,实现病灶切除是改善预后的关键^[1]。模型预测PNI阳性除了对淋巴结清扫,可能也对肝切除策略产生影响。Yoo et al^[17]的研究证实,PNI和切缘狭窄(小于1 cm)是影响术后生存的重要因素。同时,Dai et al^[18]进行的荟萃分析表明,宽切缘组短期和长期的预后显著优于窄切缘组。此外,一项多中心研究发现解剖性肝切除与更长的

表5 三模型详细数据对比

Tab. 5 Performance comparison of the three prediction models

Comparison item	AUC	95% CI	Sensitivity	Specificity	Z value	P value
Clinical model	0.717	0.586-0.848	0.461	0.879	-	-
Radiomics model	0.896	0.820-0.973	0.885	0.727	-	-
Combined model	0.917	0.848-0.987	0.731	0.970	-	-
Clinical vs Radiomics	-	-	-	-	-2.363	0.018
Clinical vs Combined	-	-	-	-	-3.154	0.002
Radiomics vs Combined	-	-	-	-	1.089	0.276

OS和无复发生存期相关^[19]。这可能是因为,PNI合并脉管癌栓代表临近肿瘤的残余肝实质中已存在微小转移,而超过1 cm的切缘或基于门静脉流域的解剖性切除能够清除潜在的转移灶。在同为嗜神经肿瘤的胰腺癌中,系统性神经清扫被报道是R0切除的关键,能够有效降低术后的局部复发率^[20]。由于肿瘤在发生PNI机制上的共性,未来需要探索神经清扫能否为ICC患者带来生存获益。

最后,ICC 50%~70%的高复发率凸显出单一手术治疗的局限性,因此新辅助治疗的临床应用得到越来越多的关注。Yadav et al^[21]基于美国国家癌症数据库的研究表明,术前新辅助化疗较术后辅助化疗能够显著延长胆管癌患者的OS($P=0.01$)。虽然目前尚无公认的新辅助治疗方案,但参考指南的推荐^[22],模型预测为存在PNI等高危复发因素的患者是治疗方案潜在的目标人群。

参考文献

- [1] Alvaro D, Gores G J, Walicki J, et al. EASL-ILCA Clinical Practice Guidelines on the management of intrahepatic cholangiocarcinoma[J]. J Hepatol, 2023, 79(1): 181-208. doi:10.1016/j.jhep.2023.03.010.
- [2] Moris D, Palta M, Kim C, et al. Advances in the treatment of intrahepatic cholangiocarcinoma: an overview of the current and future therapeutic landscape for clinicians[J]. CA Cancer J Clin, 2023, 73(2): 198-222. doi:10.3322/caac.21759.
- [3] Tsilimigras D I, Sahara K, Wu L, et al. Very early recurrence after liver resection for intrahepatic cholangiocarcinoma: considering alternative treatment approaches[J]. JAMA Surg, 2020, 155(9): 823-31. doi:10.1001/jamasurg.2020.1973.
- [4] Liebich C, Ayala G, Wilks J A, et al. Perineural invasion in cancer: a review of the literature[J]. Cancer, 2009, 115(15): 3379-91. doi:10.1002/encr.24396.
- [5] 王婷,陈洁,胡君芬,等.肝内胆管癌周围神经浸润危险因素分析及对预后的影响[J].中华普通外科杂志,2025(5): 366-9. doi:10.3760/cma.j.cn113855-20240829-00560.
- [5] Wang T, Chen J, Hu J F, et al. Analysis of risk factors of peripheral nerve infiltration in intrahepatic cholangiocarcinoma and its influence on prognosis[J]. Chin J Gen Surg, 2025(5): 366-9. doi:10.3760/cma.j.cn113855-20240829-00560.
- [6] 中国抗癌协会肝癌专业委员会胆管癌协作组,樊嘉.原发性肝癌诊疗指南之肝内胆管癌诊疗中国专家共识(2022版)[J].中华消化外科杂志,2022(10): 1269-301. doi:10.3760/cma.j.cn115610-20220829-00476.
- [6] Biliary Tract Cancer Collaborative Group, Liver Cancer Professional Committee, Chinese Anti-Cancer Association, Fan J. China expert consensus on diagnosis and treatment of intrahepatic cholangiocarcinoma in guidelines for diagnosis and treatment of primary liver cancer (2022 edition)[J]. CJDS, 2022(10): 1269-301. doi:10.3760/cma.j.cn115610-20220829-00476.
- [7] Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis[J]. Eur J Cancer, 2012, 48(4): 441-6. doi:10.1016/j.ejca.2011.11.036.
- [8] 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. doi:10.1158/0008-5472.CAN-17-0339.
- [9] 朱宏庆,张涛,顾康琛,等.基于临床和CT影像组学构建列线图在术前预测肾透明细胞癌分级中的价值[J].安徽医科大学学报,2025,60(6): 1127-33. doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2025.06.022.
- [9] Zhu H Q, Zhang T, Gu K C, et al. The value of nomogram based on clinical features and CT radiomics in predicting the grade of clear cell renal cell carcinoma[J]. Acta Univ Med Anhui, 2025, 60(6): 1127-33. doi:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2025.06.022.
- [10] Steyerberg E W, Vergouwe Y. Towards better clinical prediction models: seven steps for development and an ABCD for validation[J]. Eur Heart J, 2014, 35(29): 1925-31. doi:10.1093/eurheartj/ehu207.
- [11] Meng X L, Lu J C, Zeng H Y, et al. The clinical implications and molecular features of intrahepatic cholangiocarcinoma with perineural invasion[J]. Hepatol Int, 2023, 17(1): 63-76. doi:10.1007/s12072-022-10445-1.
- [12] Niki M, Mori S, Miyashita S, et al. Clinical relevance of the red blood cell distribution width measured preoperatively as a prognostic marker in patients with distal cholangiocarcinoma undergoing pancreaticoduodenectomy[J]. Surg Today, 2025, 55(9): 1313-9. doi:10.1007/s00595-025-03005-1.
- [13] Xu J, Jie Y, Sun Y, et al. Association of Global Leadership Initiative on Malnutrition with survival outcomes in patients with cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. Clin Nutr, 2022, 41(9): 1874-80. doi:10.1016/j.clnu.2022.07.007.
- [14] Qi Z, Yuan H, Li Q, et al. An MRI-based fusion model for preoperative prediction of perineural invasion status in patients with intrahepatic cholangiocarcinoma[J]. World J Surg Oncol, 2025, 23(1): 164. doi:10.1186/s12957-025-03819-w.
- [15] Mavros M N, Economopoulos K P, Alexiou V G, et al. Treatment and prognosis for patients with intrahepatic cholangiocarcinoma: systematic review and meta-analysis[J]. JAMA Surg, 2014, 149(6): 565-74. doi:10.1001/jamasurg.2013.5137.
- [16] 《肝内胆管癌病理诊断专家共识》编写专家委员会,王瀚,陈骏,等.肝内胆管癌病理诊断专家共识(2022版)[J].中华病理学杂志,2022(9): 819-27. doi:10.3760/cma.j.cn112151-20220517-00423.
- [16] Writing Expert Committee of the Expert Consensus on Pathological Diagnosis of Intrahepatic Cholangiocarcinoma, Wang H, Chen J, et al. Expert consensus on pathological diagnosis of intrahepatic cholangiocarcinoma (2022 edition)[J]. Chin J Pathol, 2022(9): 819-27. doi:10.3760/cma.j.cn112151-20220517-00423.

00423.

- [17] Yoo T, Park S J, Han S S, et al. Postoperative CA19-9 change is a useful predictor of intrahepatic cholangiocarcinoma survival following liver resection [J]. *Dis Markers*, 2015, 2015: 298985. doi:10.1155/2015/298985.
- [18] Dai Y S, Hu H J, Lv T R, et al. The influence of resection margin width in patients with intrahepatic cholangiocarcinoma: a meta-analysis [J]. *World J Surg Oncol*, 2023, 21 (1): 16. doi:10.1186/s12957-023-02901-5.
- [19] Wu J Y, Huang W T, He W B, et al. Long-term outcomes of anatomic vs. non-anatomic resection in intrahepatic cholangiocarcinoma with hepatolithiasis: a multicenter retrospective study [J]. *Front Med*, 2023, 10: 1130692. doi:10.3389/fmed.2023.1130692.
- [20] Shao Q S, Ye Z Y, Li S G, et al. Radical pancreatoduodenec-

tomy combined with retroperitoneal nerve, lymph, and soft-tissue dissection in pancreatic head cancer [J]. *Chin Med J*, 2008, 121 (12): 1130-3.

- [21] Yadav S, Xie H, Bin-Riaz I, et al. Neoadjuvant vs. adjuvant chemotherapy for cholangiocarcinoma: a propensity score matched analysis [J]. *Eur J Surg Oncol*, 2019, 45 (8): 1432-8. doi:10.1016/j.ejso.2019.03.023.
- [22] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政司. 原发性肝癌诊疗指南(2024年版)[J]. *中华消化外科杂志*, 2024(4): 429-78. doi:10.3760/cma.j.cn115610-20240415-00203.
- [22] Medical Administration Bureau, National Health Commission of the People's Republic of China. Guidelines for diagnosis and treatment of primary liver cancer (2024 edition) [J]. *CJDS*, 2024 (4): 429-78. doi:10.3760/cma.j.cn115610-20240415-00203.

A novel MRI radiomics-based nomogram for preoperative prediction of perineural invasion in intrahepatic cholangiocarcinoma

Sui Huize¹, Zhou Zheyu², Cao Shuya³, Xu Xiaoliang¹, Li Guoqiang¹

(¹ Dept of Hepatic-Biliary-Pancreatic Surgery, The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022; ² Dept of General Surgery, Nanjing Drum Tower Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Nanjing 210008; ³ Dept of General Surgery, Suzhou Hospital of Traditional Chinese Medicine, Nanjing University of Chinese Medicine, Suzhou 215009)

Abstract Objective To evaluate a novel nomogram based on contrast-enhanced MRI radiomics combined with clinical variables for the preoperative prediction of perineural invasion (PNI) in intrahepatic cholangiocarcinoma (ICC). **Methods** The clinical data of 59 ICC patients were retrospectively collected. According to postoperative pathology reports, the patients were divided into the non-PNI group ($n = 33$) and the PNI group ($n = 26$). Regions of interest (ROI) were delineated from five MRI sequences. Radiomics features were then extracted and filtered to select those with the strongest discriminative power for PNI identification. These selected features were used to construct a radiomics model, which subsequently generated a quantitative radiomics score (radiomics score, Rad-score). Univariate analysis was applied to identify clinical variables associated with PNI, and the glm function was subsequently used to construct clinical and combined models. Finally, the models were evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves, calibration curves, and decision curve analysis (DCA). The combined model was then visualized as a nomogram. **Results** The clinical model included age, carbohydrate antigen 19-9 (CA19-9), red blood cell distribution width, and albumin, whereas the Radscore included five radiomic features. The areas under the ROC curves (AUCs) for the clinical and radiomics models were 0.717 (95%CI: 0.586–0.848) and 0.896 (95%CI: 0.820–0.973), respectively, whereas the combined model further improved its AUC to 0.917 (95%CI: 0.848–0.987). The calibration curves and DCA showed that the nomogram was well calibrated and provided the greatest net clinical benefit. **Conclusion** The novel nomogram may serve as a basis for preoperative prediction of PNI status, thereby assisting clinical decision-making and guiding personalized treatment.

Key words intrahepatic cholangiocarcinoma; perineural invasion; magnetic resonance imaging; radiomics; nomogram; preoperative prediction

Fund program National Natural Science Foundation of China (No. 82103135)

Corresponding authors Xu Xiaoliang, E-mail: xuxiaoliang1990@yeah.net; Li Guoqiang, E-mail: lgq@ahmu.edu.cn