

论 著

MRCP影像组学对非确定性胆总管结石ERCP术前的临床价值*

晋丹丹¹ 谢放^{2,*}

1.合肥京东方医院影像科(安徽合肥 241000)

2.中国科学技术大学第一附属医院普外科
(安徽合肥 241000)

【摘要】目的 探讨MRCP影像组学对非确定性胆总管结石ERCP术前的临床价值。方法 收集2019年2月至2023年4月于我院因有CBDS临床表现或影像学检查(腹部超声或CT)考虑存在CBDS而住院的120例患者病历资料。按7:3比例随机分为训练集和验证集。训练集84例,根据ERCP术后结果分为阳性结石组(54例)和阴性结石组(30例);验证集36例,其中阳性结石组25例,阴性结石组11例。以MRCP中胰胆管汇合部为感兴趣区,提取影像组学特征。采用Logistic回归消除共线性后,分析患者CBDS发生的临床因素并构建Clinic模型;以支持向量机(SVM)构建最优特征模型(Rad模型);使用Python3.6基于Softmax策略构建人工神经网络模型(Combine模型)。结果 CRP(OR=10.306, 95%CI: 5.827~18.224, $P<0.001$)、胆固醇(OR=7.119, 95%CI: 3.066~12.935, $P<0.001$)、胆总管夹角(OR=2.526, 95%CI: 1.430~7.284, $P<0.05$)、胆道感染(OR=3.064, 95%CI: 1.288~5.193, $P<0.05$)、胆总管扩张(OR=5.289, 95%CI: 2.067~9.381, $P<0.05$)均是预测CBDS的独立影响因素(均 $P<0.05$)。构建的Logistic临床回归模型的灵敏度、特异度分别为72.83%、67.52%。根据11个最优特征及对应加权系数, SVM模型构建包含11个最优特征的影像组学标签Radiomics score, 在训练集($P<0.001$)和验证集($P=0.037$)中, 阳性结石组和阴性结石组的Radiomics score均有显著性差异。Combine模型在训练集和验证集中的曲线下面积分别为0.962(95%CI: 0.925~0.987)和0.937(95%CI: 0.851~0.993), 经Delong检验均显著高于同组Rad模型和Clinic模型(均 $P<0.05$)。Hosmer-Lemeshow检验显示两个数据集中, Combine模型一致性良好。决策曲线分析表明, Combine模型曲线均显著高于Clinic模型、Rad模型和极端曲线。结论 CRP、胆固醇、胆总管夹角 $\leq 120^\circ$ 、胆道感染、胆总管扩张是CBDS发生的临床影响因素。MRCP影像组学联合临床因素构建的人工神经网络模型使非确定性CBDS的ERCP术前无创预测成为可能, 相比于传统临床诊断方法, 可增强CBDS预测模型的诊断效能, 提供了重要的临床决策指导。

【关键词】胆总管结石; 非确定性; ERCP术前; MRCP; 影像组学

【中图分类号】R575.7

【文献标识码】A

【基金项目】安徽省重点研究和开发计划项目
(1804h08020277)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.05.040

Study on the Clinical Value of MRCP Imaging before ERCP for Uncertain Choledocholithiasis*

JIN Dan-dan¹, XIE Fang^{2,*}

1.Department of Imaging, Hefei BOE Hospital, Hefei 241000, Anhui Province, China

2.Department of General Surgery, The First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei 241000, Anhui Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the clinical value of MRCP imaging before ERCP for uncertain choledocholithiasis.**Methods** The medical records of 120 patients with CBDS clinical manifestations or imaging examination (abdominal ultrasound or CT) considering the presence of CBDS in our hospital from February 2019 to April 2023 were collected. It is divided into training set and verification set. According to the results of ERCP, 84 patients were divided into positive stone group ($n=54$) and negative stone group ($n=30$), and 36 cases were verified, including 25 cases in positive stone group and 11 cases in negative stone group. The confluence of pancreaticobiliary duct in MRCP was used as the region of interest, and the imaging features were extracted. After the collinearity was eliminated by Logistic regression, the clinical factors of CBDS were analyzed and the Clinic model was constructed; the optimal feature model (Rad model) was constructed by support vector machine (SVM); and the artificial neural network model (Combine model) was constructed by Python3.6 based on Softmax strategy. The discrimination, calibration and net benefit of each model of the training set and the verification set were evaluated by using the subject working characteristic curve (ROC), Hosmer-Lemeshow test and decision curve analysis. **Results** CRP (OR=10.306, 95%CI: 5.827~18.224, $P<0.001$), cholesterol (OR=7.119, 95%CI: 3.066~12.935, $P<0.001$), choledochal angle (OR=2.526, 95%CI: 1.430~7.284, $P<0.001$), biliary tract infection (OR=3.064, 95%CI: 1.288~5.193, $P<0.05$), choledochal dilatation (OR=5.289, 95%CI: 2.067~9.381, $P<0.05$). All of them were independent influencing factors for predicting CBDS. The sensitivity and specificity of the Logistic clinical regression model were 72.83% and 67.52%, respectively. According to the 11 optimal features and their corresponding weighting coefficients, the imaging tag Radiomics score containing 11 optimal features was constructed by SVM model. There was significant difference in Radiomics score between positive stone group and negative stone group in training set ($P<0.001$) and verification set ($P<0.037$). The area under the curve of Combine model in training set and verification set was 0.962 (95%CI: 0.925~0.987) and 0.937 (95%CI: 0.851~0.993) respectively, which was significantly higher than that of Rad model and Clinic model in the same group by Delong test. Hosmer-Lemeshow test shows that the Combine model is consistent in the two datasets. Decision curve analysis shows that Combine model curve is significantly higher than Clinic model, Rad model and extreme curve. **Conclusion** CRP, cholesterol, choledochal angle $\leq 120^\circ$, biliary tract infection and choledochal dilatation are the clinical influencing factors of CBDS. The artificial neural network model constructed by MRCP imaging combined with clinical factors makes non-invasive prediction of ERCP in uncertain CBDS possible. Compared with traditional clinical diagnosis methods, it can enhance the diagnostic efficiency of CBDS prediction model and provide important clinical decision-making guidance.**Keywords:** Choledocholithiasis; Uncertainty; Pre-ERCP; MRCP; Imaging

经内镜逆行胰胆管造影(ERCP)是诊断胆总管结石(CBDS)的金标准,但其为有创检查,主要用于治疗需要。近年来,随着医疗技术进步,磁共振胰胆管造影(MRCP)在临床越来越普及。MRCP通过使用重 T_2 加权序列显示胰胆管系统的空间结构,使相对静止的胆汁或胰液呈现高信号。MRCP具有无创,无电离辐射短等优势,已被广泛应用于胆总管结石、急性胰腺炎等胆胰疾病的诊断和评估^[1]。此外,MRCP可较好的明确ERCP手术目标及适应证,但MRCP检查存在一定的假阴性率和假阳性率,导致非确定性CBDS患者的CBDS临床表现和MRCP诊断结果不符。目前,涉及MRCP影像数据的CBDS相关研究较少^[2]。影像组学原理是通过将医学图像的感兴趣区域(ROI)转换为高通量特征,筛选出有价值特征并构建机器学习模型,最终用于预后评估或诊断^[3]。影像组学最初应用于肿瘤疾病^[4-5],随着对医学影像的不断探索,影像组学在非肿瘤疾病方面也显示出较大潜力^[6-7]。目前,关于对CBDS进行MRCP影像组学分析的研究较少。鉴于此,本研究旨在探讨CBDS的MRCP影像组学特征是否对ERCP术前非确定性CBDS具有预测价值。

1 资料与方法

1.1 临床资料 收集2019年2月至2023年4月于我院因有CBDS临床表现或超声检查高度怀疑存在CBDS患者病历资料。**纳入标准:** CBDS临床表现与MRCP诊断结果不符;患者首次接受ERCP术;MRCP影像资料的DICOM文件保存完整且可获取;年龄 ≥ 18 岁。排除标准:胰腺炎、胆管化脓穿孔、急重症胆囊炎;肿瘤、肝硬化或肝脏肿块;ERCP失败。最终纳入120例患者。**1.2 分组** 按7:3比例随机分为训练集和验证集。训练集84例,根据ERCP术后结果分为阳性结石组和阴性结石组,其中,阳性结石组54例,男33例,女21例,年龄20~81岁,平

【第一作者】晋丹丹,女,主治医师,主要研究方向:医学影像研究。E-mail: JUNDandan03030@126net.com.cn

【通讯作者】谢放,男,副主任医师,主要研究方向:胆胰肿瘤外科手术治疗。E-mail: 50085422@qq.com

均(61.40 ± 10.58)岁;阴性结石组30例,男18例,女12例,年龄20~80岁,平均(62.37 ± 11.02)岁。验证集36例,其中阳性结石组25例,男15例,女10例,年龄21~79岁,平均(61.72 ± 9.66)岁;阴性结石组11例,男7例,女4例,年龄21~80岁,平均(62.51 ± 11.46)岁。训练集与验证集在一般临床资料均衡(均 $P > 0.05$)。

1.3 研究方法

1.3.1 临床数据收集 从电子病历系统中提取患者信息:性别、年龄、体质指数(BMI),个人史及既往史:胆总管结石家族史、吸烟史、糖尿病、术前肝功能情况、饮酒史、高血压、入院体温,实验室指标:白细胞绝对值、 γ -谷氨酰转肽酶、胆固醇、CRP、甘油三酯、乳酸脱氢酶,胆道情况:胆总管扩张、胆道狭窄、胆道感染、乳头旁憩室、胆道口括约肌功能障碍、胆总管夹角。

1.3.2 ERCP操作 嘱患者术前6 h禁食,4 h禁水,由高年资医师为静脉麻醉患者进行ERCP。患者取左侧卧位,检测心率、血压等,使用奥林巴斯TJF-160R电子十二指肠镜,将其通过口腔等部位延伸至十二指肠降部,取石球囊或石网篮取出少量泥沙样结石或絮状物为阴性结石(图1A),取出明确颗粒状结石为阳性结石(图1B)。



图1A-图1B ERCP结果;图1A 阴性结石;图1B 阳性结石。

1.3.3 MRCP检查: 图像采集 使用德国西门子Skyra 3.0 T MRI扫描仪,入组患者均于ERCP术前7 d内接受MRCP。嘱患者检查前禁食8 h,并练习屏气。使用厚层2D涡轮自旋回波技术进行MRCP,参数如下:序列矩阵 512×512 ,体素体积 $0.8 \times 0.8 \times 50 \text{ mm}^3$,视野 $300 \times 300 \text{ mm}^2$,层厚40-50mm,TE/TR 985/4500 ms,翻转角度 150° ,ETL 256k-space。从PACS系统中导出DICOM,并去除患者隐私识别信息。

ROI分割及特征提取: 消化内科医师(A、B)评估受试者的MRCP成像质量。评估主要集中于胰胆管汇合部。将选定的效果最佳的MRCP图像导入3D Slicer软件,进行感兴趣区(ROI)分割。分别由医师A/B利用一个 $25 \times 25 \text{ mm}^2$ 的矩形标注框覆盖胰胆管汇合部、共同通道和十二指肠乳头。被覆盖的胰胆管树为ROI。见图2。

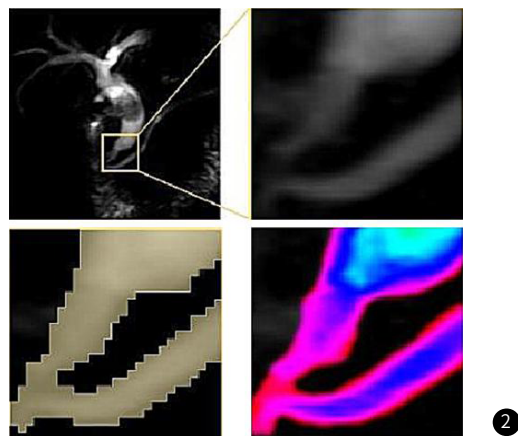


图2 ROI分割

使用3D Slicer中的radiomics程序对ROI进行特征提取。从每张代表图像中提取了849个影像组学特征。特征被细分为:3D形状特征;灰度共生矩阵(GLCM);一阶特征(First Order);灰度游程矩阵(GLRLM);2D形状特征;相邻灰度差矩阵(NGTDM);灰度大小区域矩阵(GLSZM);灰度依赖矩阵(GLDM)。应用边缘增强滤波

波器(拉普拉斯-高斯算子)和小波过滤器产生派生特征。

一致性评估: 随机选取50张图像,用于计算组内相关系数(ICC),评估组学特征一致性。医师A于两周内执行两次ROI分割和特征提取(特征A1和特征A2)。医师B执行一次相同操作(特征B)。若 $ICC > 0.75$,则提取的影像组学特征是重复的^[8]。

特征降维和筛选: 针对临床因素,利用Logistic回归分析筛选出CBDS的独立影响因素。

影像组学特征筛选: (1)特征可重复性检验:针对2位高年资影像诊断医师(A、B)勾画的感兴趣区,分别提取影像组学特征,使用ICC对两位医师提取的特征进行评价,以 $ICC = 0.85$ 作为标准, $ICC > 0.85$ 为一致性好。(2)使用R软件(版本3.4.3)glmnet程序包进行最小绝对收缩和选择算子法(LASSO)回归降维进行参数筛选,最优调节参数 λ 值使用十倍交叉验证法获得。

模型构建: 基于以上筛选的临床因素和影像组学特征构建预测模型:(1)临床模型(Clinic模型):包含影响患者发生CBDS的独立因素;(2)影像组学模型(Rad模型):包含MRCP影像组学特征;(3)临床影像组学模型(Combine模型):包含以上两类因素的人工神经网络模型。

1.4 统计学方法 使用SPSS 22.0进行统计学分析。计量资料用(平均数 $\pm$ 标准差)表示,组间比较使用独立样本t检验;计数资料以频数表示,使用卡方检验,理论频数低于5时行Fisher's 精确检验。采用Logistic回归消除共线性后,分析患者CBDS发生的临床因素并构建Clinic模型;以支持向量机(SVM)构建最优特征模型(Rad模型);使用Python 3.6基于Softmax策略构建人工神经网络模型(Combine模型)。使用受试者工作特征曲线(ROC)、Hosmer-Lemeshow检验和决策曲线分析评估两数据集各模型的区分度、校准度和模型净效益。不同曲线下面积之间差异性比较使用Delong检验,检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 筛选预测CBDS的临床资料 训练集和验证集均表现为,与阴性结石组相比,阳性结石组的CRP、胆固醇水平均明显较高,年龄、胆总管夹角 $\leq 120^\circ$ 占比、胆道感染占比、胆道狭窄占比、胆总管扩张占比、胆总管结石家族史占比、乳头旁憩室占比均明显较高,差异有统计学意义($P < 0.05$)。两组的糖尿病、吸烟史、高血压、饮酒史、白细胞绝对值、性别、入院体温、术前肝功能情况、 γ -谷氨酰转肽酶、甘油三酯、乳酸脱氢酶差异无统计学意义($P > 0.05$)。

2.2 临床预测模型构建 以是否发生CBDS(发生=1,未发生=0)为因变量,选取训练集中阳性结石组与阴性解释组比较 $P < 0.05$ 的9项特征为自变量,进行Logistic回归分析,结果显示,CRP($OR = 10.306$, 95%CI: 5.827~18.224, $P < 0.001$)、胆固醇($OR = 7.119$, 95%CI: 3.066~12.935, $P < 0.001$)、胆总管夹角($OR = 2.526$, 95%CI: 1.430~7.284, $P < 0.05$)、胆道感染($OR = 3.064$, 95%CI: 1.288~5.193, $P < 0.05$)、胆总管扩张($OR = 5.289$, 95%CI: 2.067~9.381, $P < 0.05$)均是预测CBDS的独立影响因素(均 $P < 0.05$)。构建的Logistic回归模型为: $\text{Logit}(p) = -1.601 + 2.596X_1 + 2.160X_2 + 1.330X_3 + 1.456X_4 + 1.832X_5$, 其中 X_1 为CRP, X_2 为胆固醇, X_3 为胆总管夹角 $\leq 120^\circ$, X_4 为胆道感染, X_5 为胆总管扩张。Hosmer-Lemeshow检验显示, $\chi^2 = 7.069$, $P = 0.182$ 。模型灵敏度、特异度分别为72.83%、67.52%。

2.3 影像组学模型构建

2.3.1 基于LASSO筛选影像组学特征及特征一致性检验 保留 $ICC \geq 0.85$ 的MRCP影像组学特征(849个),线性相关性检验后保留760个特征。LASSO回归以K折交叉验证筛选最优 λ 值,当误差最小时,左虚线位置保留了40个变量,为避免模型的过拟合和简单性,选择与最小误差相比不超过一个标准误的右虚线位置,保留了9个变量,见图3A。随着 λ 值的增大模型逐渐压缩,模型纳入特征的个数减少,模型对主变量的选择度增高,根据 $\log(\lambda)$ 序列生成一个系数剖面图,在验证后误差最小的最优 λ 值处得到11个非零系数,见图3B。最终确定11个特征为最优特征,ICC及95% CI下限均 > 0.800 ,MRCP影像组学特征具有较高的一致性,且可复现性较好。

2.3.2 影像组学模型构建及差异性分析 根据11个最优特征及对应加权系数, SVM模型构建包含11个最优特征的影像组学标签 Radiomics score, 各特征在标签中权重及排名见图4。在训练集($P<0.001$)和验证集($P=0.037$)中, 阳性结石组和阴性结石组的 Radiomics score均有显著性差异, 见图5A。

2.4 联合预测模型构建 基于Rad-score及临床特征, 建立人工神经网络模型, 共6条路径作为第一层输入, 1个隐藏层, 输出终点为CBDS识别结果, 每个圆圈即为一个神经元, 对训练集进行17973次迭代, 模型中连线数值为分配所占权重, 其大小代表相对重要性, 权值越大提示输入的信号对神经元影响越大, 见图5B。

2.5 模型评估

2.5.1 区分度评价 ROC曲线显示, 如图6、表1, Clinic模型在训练集中曲线下面积为0.893(95%CI:0.812~0.959), 在验证组中为0.832(95%CI:0.665~0.956)。Rad模型的曲线下面积分别为0.927(95%CI: 0.870~0.969)和0.869(95%CI: 0.740~0.969)。训练集和验证集中Rad模型与Clinic模型经Delong检验显示, 两种模型之间差异有统计学意义($P<0.05$)。Combine模型在训练集和验证集中的曲线下面积分别为0.962(95%CI: 0.925~0.987)

和0.937(95%CI: 0.851~0.993), 经Delong检验均显著高于同组Rad模型和Clinic模型(均 $P<0.05$)。

表1 三种模型在训练集和验证集中的预测效能

分组	模型	AUC	95%CI	灵敏度(%)	特异度(%)
训练集	Clinic模型	0.893	0.812~0.959	0.865	0.934
	Rad模型	0.927	0.870~0.969	0.909	0.781
	Combine模型	0.962	0.925~0.987	0.842	0.976
验证集	Clinic模型	0.832	0.665~0.956	0.840	0.801
	Rad模型	0.869	0.740~0.969	0.893	0.800
	Combine模型	0.937	0.851~0.993	0.945	0.799

2.5.2 校准度评价 Hosmer-Lemeshow检验显示两组中各模型实际概率与预测概率一致性良好, 模型具有较高的预测精准度。见图7。

2.5.3 临床决策曲线 决策曲线分析表明, 在很大的阈值范围内(阈值概率 $>20\%$), Combine模型曲线均显著高于Clinic模型、Rad模型和极端曲线, 说明Combine模型安全性更高, 具有更高的净获益与临床价值, 见图8

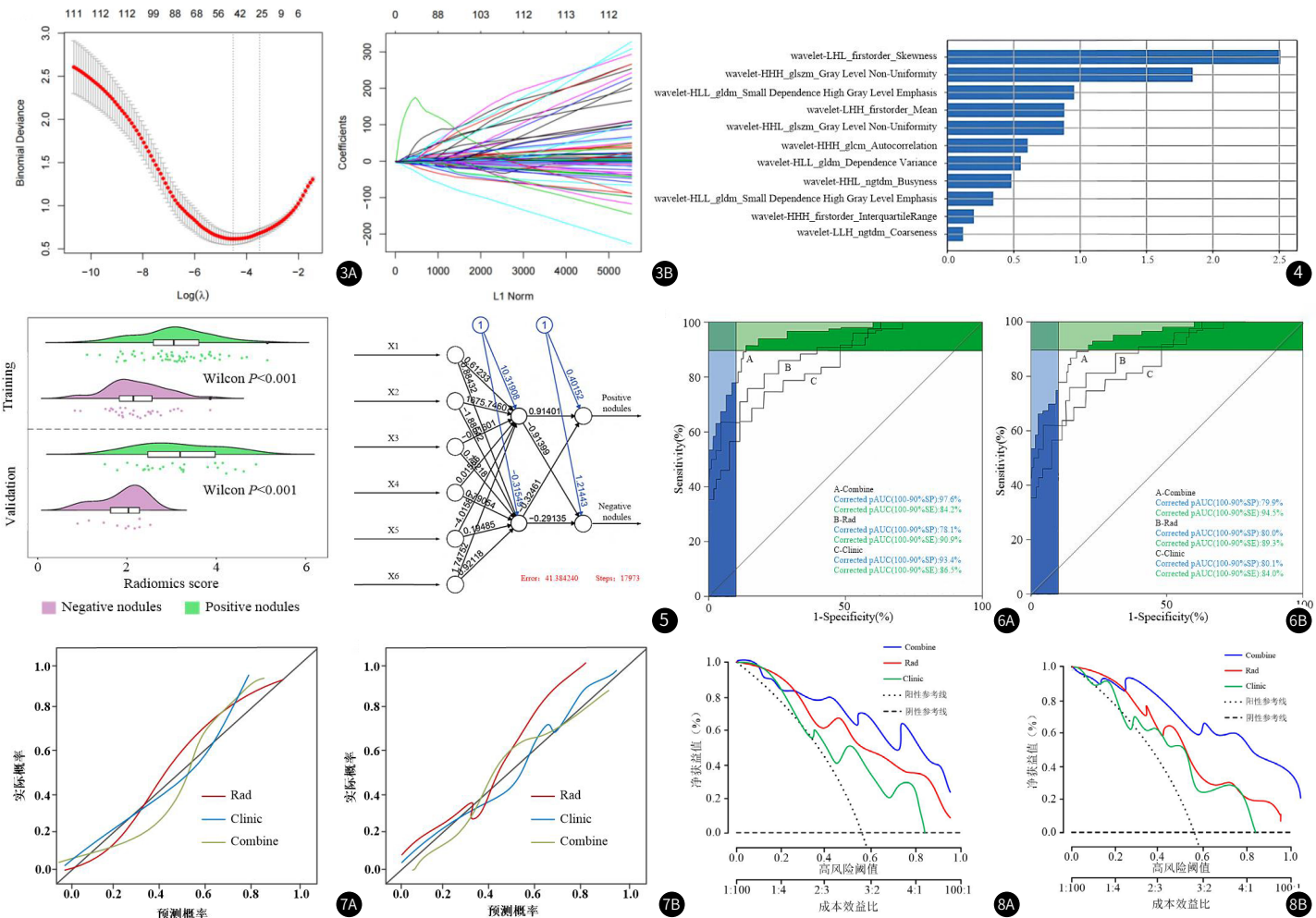


图3A-图3B 预测CBDS的MRCP影像组学特征筛选示意图; 图3A LASSO回归的K折交叉验证法进行变量筛选参数λ最优值; 图3B LASSO回归模型的特征系数收缩剖面图。
图4 MRCP影像组学标签预测CBDS的11个最优特征
图5A MRCP影像组学标签在阳性结石组和阴性结石组间的差异性分析; 采用Wilcoxon检验, 虚线上部为训练集的组间比较, 虚线下部为验证集的组间比较, 粉色表示阴性结石组, 绿色表示阳性结石组。
图5B Rad-score联合临床特征的人工神经网络拓扑图; X₁, Rad-score; X₂, CRP; X₃, 胆总管夹角; X₄, 胆道感染; X₅, 胆固醇; X₆, 胆总管扩张
图6A-图6B Rad、Clinic及Combine模型预测CBDS的ROC曲线; 图6A 训练集; 图6B 验证集。
图7A-图7B Rad、Clinic及Combine模型预测CBDS校准曲线; 图7A 训练集; 图7B 验证集。
图8A-图8B Rad、Clinic及Combine模型预测CBDS临床决策曲线; 图8A, 训练集; 图8B 验证集。

3 讨 论

3.1 MRCP是ERCP术前诊断非确定性CBDS的最佳方法 有研究报道^[9-11], MRCP诊断CBDS灵敏度为80%~93%, 特异度为93%~97%。ERCP是CBDS的诊断金标准, 但可能会发生消化道出血、穿孔等并发症^[12]。合理的处理措施应是在明确存在CBDS后选择ERCP取石, 以最大限度降低围手术期不良风险^[13]。此外, 其他诊断方法包括超声内镜检查(EUS)、术中胆道造影。术中胆道造影多用于疑似小结石合并胆囊结石患者, 手术难度较大。有研究发现MRCP与腹腔镜胆囊切除术汇总胆道造影诊断结果无明显差异^[14]。在EUS中, 将内镜超声探头放置到肠腔内, CBDS表现为管腔内的高回声肿块, 并伴有后方声影。Afzalpurkar等^[15]发现, EUS对CBDS的阳性预测值高于MRCP。但基层医院未必设有EUS设备, 且费用较高, 以往行消化道改道患者容易出现消化道穿孔等风险。综合而言, MRCP是诊断CBDS的首选方法。

3.2 CBDS临床影响因素分析 本研究发现, CRP, 胆固醇, 胆总管夹角 $\leq 120^\circ$, 胆道感染, 胆总管扩张是CBDS发生的影响因素。以往有研究已证实^[16], 胆总管夹角 $\leq 120^\circ$ 患者发生结石的风险明显较高。本研究再次得到证实。这可能是由于胆总管夹角 $\leq 120^\circ$ 使胆汁在胆管中的流动速度变小, 造成胆管中胆汁淤积, 淤积胆汁中胆固醇过饱和及沉积, 从而造成胆管中胆结石形成^[17]。胆总管扩张会改变胆汁在胆总管中的流体静力, 从而导致胆汁淤积此外, 导致胆管内压力增加、胆汁流动速度减慢, 从而加重胆汁淤积^[18]。CRP主要是由肝脏细胞合成的一种多肽分子, 与机体免疫应答相关。若机体发生炎症时, 会刺激机体淋巴细胞、巨噬细胞产生白细胞介素1b(IL-1b)、IL-6b等, 从而促进肝细胞分泌CRP, 在炎症、创伤等情况下, CRP可在短期内达到峰值, 且不受年龄、性别等因素的影响^[19]。因此, CRP是反映机体炎症情况非常灵敏的指标^[20]。本研究结果发现, 阳性结石组CRP水平更高, 说明阳性结石患者胆道炎症更加严重。与Tran等^[21]的研究结果相符。本研究中阳性结石组胆固醇水平明显高于阴性结石组, 再次印证了胆固醇水平升高是CBDS的危险因素^[22]。

3.3 MRCP影像组学分析 Lee J等^[23]证实, 相比于主观或定性的图像评估方式, 影像组学可定量挖掘成像隐藏信息, 对组织异质性区分度较高。本研究以ERCP术前MRCP图像筛选特征(849个), 可较全面的反映胰胆管MRCP图像信息。本研究为保证图像分析的准确性和客观性, 使用软件计算特征的矩阵、体素等数据。此外, 本研究使用ICC指数去除部分不稳定特征, 以保证特征提取的可重复性, 并采用SVM构建Radiomics score, 最终纳入11个组学特征。本研究进一步将Radiomics score、CRP、胆固醇、胆总管夹角、胆道感染、胆总管扩张作为模型的输入层纳入, 为预测CBDS提供了一种更精确的联合方法。经验证, 训练集和验证集中Combine模型曲线下面积显著高于同组Rad模型和Clinic模型, 模型均具有较高的预测精准度, 在很大的阈值范围内(阈值概率 $> 20\%$), Combine模型曲线均显著高于Clinic模型、Rad模型和极端曲线, 提示Combine模型安全性更高, 具有更高的净获益与临床价值。

3.4 本研究创新性及局限性 本研究的创新性在于基于MRCP影像组学对非确定性CBDS进行ERCP术前无创预测, 具有稳定性和可重复性。但本研究局限性为由于本院MRCP技术有限, 本研究MRCP为传统的2D图像, 仅在一个切面上反映了组学结果与CBDS的相关性; 样本量较小, 且为单中心回顾性研究, 可能会存在一定程度偏倚。后续本课题组会进一步研究3D MRCP, 增加样本量, 进一步通过多中心深入研究。

3.5 总结 综上所述, CRP、胆固醇、胆总管夹角 $\leq 120^\circ$ 、胆道感染、胆总管扩张是CBDS发生的临床影响因素。MRCP影像组学联合临床因素构建的人工神经网络模型使非确定性CBDS的ERCP术前无创预测成为可能, 相比于传统临床诊断方法, 可增强CBDS预测模型的诊断效能, 提供了重要的临床决策指导。

参考文献

- [1] Itani M, Lalwani N, Anderson MA, et al. Magnetic resonance cholangiopancreatography: pitfalls in interpretation[J]. Abdom Radiol (NY), 2023, 48(1): 91-105.
- [2] Suzuki M, Sekino Y, Hosono K, et al. Endoscopic ultrasound versus magnetic resonance cholangiopancreatography for the diagnosis of computed tomography-negative common bile duct stone: prospective randomized controlled trial[J]. Dig Endosc, 2022, 34(5): 1052-1059.
- [3] Hou JU, Park SW, Park SM, et al. Efficacy of an artificial neural network algorithm based on thick-slab magnetic resonance cholangiopancreatography images for the automated diagnosis of common bile duct stones[J]. J Gastroenterol Hepatol, 2021, 36(12): 3532-3540.
- [4] Li Y, Zhang Y, Fang Q, et al. Radiomics analysis of $[^{18}\text{F}]$ FDG PET/CT for microvascular invasion and prognosis prediction in very-early- and early-stage hepatocellular carcinoma[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(8): 2599-2614.
- [5] Ma D, Zhang Y, Shao X, et al. PET/CT for Predicting Occult Lymph Node Metastasis in Gastric Cancer[J]. Curr Oncol, 2022, 29(9): 6523-6539.
- [6] Durmaz ES, Karabacak M, Ozkara BB, et al. Radiomics-based machine learning models in STEMI: a promising tool for the prediction of major adverse cardiac events[J]. Eur Radiol, 2023, 33(7): 4611-4620.
- [7] Meng J, Luo Z, Chen Z, et al. Intestinal fibrosis classification in patients with Crohn's disease using CT enterography-based deep learning: comparisons with radiomics and radiologists[J]. Eur Radiol, 2022, 32(12): 8692-8705.
- [8] Xue C, Yuan J, Lo GG, et al. Radiomics feature reliability assessed by intraclass correlation coefficient: a systematic review[J]. Quant Imaging Med Surg, 2021, 11(10): 4431-4460.
- [9] 张小斌, 李宁, 陈亚明. MRCP诊断不同直径、不同部位胆总管结石的价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(4): 110-111, 114.
- [10] Pavlovi T, Trtica S, Troškot Peri R. Bile duct diameter changes after laparoscopic cholecystectomy: a magnetic resonance cholangiopancreatography prospective study[J]. Croat Med J, 2020, 61(3): 239-245.
- [11] 付裕, 韩万斌, 向飞, 等. 多层螺旋CT与磁共振MRCP技术诊断胆总管结石价值分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(1): 119-121.
- [12] Johnson KD, Perisetti A, Tharian B, et al. Endoscopic retrograde cholangiopancreatography-related complications and their management strategies: a "scoping" literature review[J]. Dig Dis Sci, 2020, 65(2): 361-375.
- [13] Tagawa M, Morita A, Imagawa K, et al. Endoscopic retrograde cholangiopancreatography and endoscopic ultrasound in children[J]. Dig Endosc, 2021, 33(7): 1045-1058.
- [14] Stock MR, Fine RO, Rivas Y, et al. Magnetic resonance imaging following the demonstration of a normal common bile duct on ultrasound in children with suspected choledocholithiasis: what is the benefit? [J]. Pediatr Radiol, 2023, 53(3): 358-366.
- [15] Afzalpurkar S, Giri S, Kasturi S, et al. Magnetic resonance cholangiopancreatography versus endoscopic ultrasound for diagnosis of choledocholithiasis: an updated systematic review and meta-analysis[J]. Surg Endosc, 2023, 37(4): 2566-2573.
- [16] Lian T, Liu G, Zhang Y. Double common bile duct with cholelithiasis[J]. J Minim Access Surg, 2023, 19(2): 307-309.
- [17] Saito H, Iwagoi Y, Noda K, et al. Dual-layer spectral detector computed tomography versus magnetic resonance cholangiopancreatography for biliary stones[J]. Eur J Gastroenterol Hepatol, 2021, 33(1): 32-39.
- [18] Gomez D, Cabrera LF, Villarreal R, et al. Laparoscopic common bile duct exploration with primary closure after failed endoscopic retrograde cholangiopancreatography without intraoperative cholangiography: a case series from a referral center in Bogota, Colombia[J]. J Laparoendosc Adv Surg Tech A, 2020, 30(3): 267-272.
- [19] 余明豪, 杨文辉, 余洋, 等. 三步法EST联合腹腔镜手术治疗胆囊结石合并胆总管结石的效果分析[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29(11): 56-57.
- [20] 牛其新, 吴争光, 牛建广. 腹腔镜胆囊切除联合胆道镜经胆囊探查取石术对胆囊合并胆总管结石患者手术相关指标及并发症的影响[J]. 罕少疾病杂志, 2024, 31(2): 65-67.
- [21] Tran A, Hoff C, Polireddy K, et al. Beyond acute cholecystitis—gallstone-related complications and what the emergency radiologist should know[J]. Emerg Radiol, 2022, 29(1): 173-186.
- [22] Tunruttanakul S, Verasmith K, Patumanond J, et al. Development of a predictive model for common bile duct stones in patients with clinical suspicion of choledocholithiasis: a cohort study[J]. Gastroenterology Res, 2022, 15(5): 240-252.
- [23] Lee J, Kim SH, Kang BJ. Prognostic factors of disease recurrence in breast cancer using quantitative and qualitative magnetic resonance imaging (MRI) parameters. [J]. Sci Rep, 2020, 10(1): e7598.

(收稿日期: 2023-08-09)

(校对编辑: 翁佳鸿)