

基于计算机体层成像影像组学联合临床因素预测肝细胞癌患者经导管动脉化疗栓塞的近期疗效

邹彩霞^{1,2}, 李静², 黄刚³, 陈俊⁴, 赵建新⁵, 马娅琼³, 王莉莉³ (1. 兰州市第二人民医院 核磁科, 甘肃兰州 730046; 2. 甘肃中医药大学第一临床医学院, 甘肃兰州 730099; 3. 甘肃省人民医院 放射科, 甘肃兰州 730099; 4. 北京理工大学, 北京 100081; 5. 甘肃省肿瘤医院 影像科, 甘肃兰州 730000)

摘要: **目的** 构建并验证基于计算机体层成像 (computed tomography, CT) 影像组学联合临床因素预测肝细胞癌 (hepatocellular carcinoma, HCC) 患者经导管动脉化疗栓塞 (transcatheter arterial chemoembolisation, TACE) 治疗近期疗效的列线图模型。**方法** 回顾性分析兰州市第二人民医院 2020 年 8 月至 2023 年 11 月收治的 102 例接受 TACE 治疗的 HCC 患者的临床资料和 CT 图像, 采用随机分层分组法将患者分为训练集 (81 例) 和验证集 (21 例)。TACE 治疗结束后, 根据 RECIST1.1 评价标准确定靶肿瘤的治疗反应。将完全缓解和部分缓解患者归为缓解组, 将疾病稳定和疾病进展患者归为未缓解组。使用 3Dslicer 软件在患者 TACE 术前 CT 平扫、动脉期、门静脉期及 TACE 术后 1 个月的 CT 平扫图像进行全肿瘤三维感兴趣区分割。使用 FAE 软件对图像进行预处理, 提取感兴趣区影像组学特征, 计算术后平扫和术前平扫的影像组学特征的变化值 (Delta 影像组学特征)。通过最小绝对收缩和选择算子等方法从 Delta 影像组学特征、动脉期、门静脉期影像组学特征中降维、筛选, 分别构建预测 TACE 治疗后 6 个月治疗反应的 Delta 影像组学模型、动脉期影像组学模型、门静脉期影像组学模型并分别计算其组学评分。通过单因素以及后向多因素 Logistic 回归分析筛选临床风险因子, 并结合影像评分构建联合列线图。采用受试者工作特征 (receiver operator characteristic, ROC) 曲线评估模型的预测效能。采用校正曲线和决策曲线对模型的性能进行评价。**结果** 训练集和验证集患者除有无瘤周动脉差异有统计学意义外 (连续校正 $\chi^2 = 4.541$, $P = 0.033$), 其余指标差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05)。训练集中 58 例缓解, 23 例未缓解, 验证集中 15 例缓解, 6 例未缓解。训练集中缓解组和未缓解组患者除天冬氨酸氨基转移酶 (aspartate aminotransferase, AST)、白蛋白 (albumin, Alb)、巴塞罗那肝癌临床分期 (Barcelona clinic liver cancer staging, BCLC 分期)、远处淋巴结转移比例差异有统计学意义外 (P 均 < 0.05), 其余指标差异无统计学意义 (P 均 > 0.05), 验证集中缓解组和未缓解组患者除 AST、BCLC 分期、远处淋巴结转移比例差异有统计学意义外 (P 均 < 0.05), 其余指标差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05)。多因素 Logistic 回归分析表明, Alb ($OR = 0.027$, $95\%CI: 0.012 \sim 0.418$, $P = 0.001$)、远处淋巴结转移 ($OR = 0.771$, $95\%CI: 0.573 \sim 0.856$, $P = 0.001$)、动脉期影像组学特征评分 ($OR = 0.216$, $95\%CI: 0.096 \sim 0.336$, $P = 0.001$)、静脉期影像组学特征评分 ($OR = 0.197$, $95\%CI: 0.058 \sim 0.337$, $P = 0.005$) 及 Delta 特征值 ($OR = 0.226$, $95\%CI: 0.116 \sim 0.336$, $P = 0.001$) 是 HCC 患者 TACE 治疗缓解的独立影响因素。使用 Alb 和远处淋巴结转移构建临床模型, 训练集和验证集 ROC 曲线下面积分别 0.865、

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7380.2026.01.007

基金项目: 甘肃省兰州市卫生健康行业科研项目 (A2026014)

通信作者: 黄刚 Email: keen0999@163.com

0.778。利用动脉期影像组学特征评分、静脉期影像组学特征评分及 Delta 分别构建影像组学模型,训练集上述指标的 ROC 曲线下面积分别为 0.750、0.692 和 0.709,验证集分别为 0.711、0.622 和 0.789。联合 Alb、远处淋巴结转移、动脉期影像组学评分、门静脉期影像组学评分、Delta 影像组学评分构建预测 HCC 患者 TACE 术后 6 个月缓解的列线图模型,列线图在训练集和验证集的 ROC 曲线下面积分别为 0.965、0.889。列线图模型的 ROC 曲线下面积均显著高于临床模型、动脉期影像组学评分、门静脉期影像组学评分、Delta 影像组学评分 ($z=2.85$ 、 $P=0.004$, $z=2.62$ 、 $P=0.009$, $z=2.47$ 、 $P=0.013$, $z=2.31$ 、 $P=0.021$)。校准曲线显示所有校正曲线均与理想曲线有较好的吻合度,提示列线图的准确性较高。临床决策曲线显示列线图的临床效益优于单独影像组学评分。**结论** 基于 CT 影像组学联合临床资料构建的列线图能够预测 HCC 患者 TACE 术后 6 个月的治疗反应,可为临床制定精准个性化治疗方案提供新思路。

关键词: 肝细胞癌; 经导管动脉化疗栓塞; 影像组学; 预测模型; 治疗反应

Prediction of short-term therapeutic efficacy of transcatheter arterial chemoembolization in patients with hepatocellular carcinoma based on computed tomography radiomics combined with clinical factors

Zou Caixia^{1,2}, Li Jing², Huang Gang³, Chen Jun⁴, Zhao Jianxin⁵, Ma Yaqiong³, Wang Lili³
(1. Department of Magnetic Resonance, Lanzhou Second People's Hospital, Gansu Lanzhou 730046, China; 2. The First Clinical Medical College, Gansu University of Chinese Medicine, Gansu Lanzhou 730099, China; 3. Department of Radiology, Gansu Provincial People's Hospital, Gansu Lanzhou 730099, China; 4. Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China; 5. Department of Imaging, Gansu Cancer Hospital, Gansu Lanzhou 730000, China)

Abstract: Objective To construct and validate a nomogram model for predicting the short-term therapeutic efficacy of transcatheter arterial chemoembolisation (TACE) in patients with hepatocellular carcinoma (HCC) based on computed tomography (CT) radiomics combined with clinical factors. **Methods** The clinical data and CT images of 102 patients with hepatocellular carcinoma (HCC) who received TACE treatment in Lanzhou Second People's Hospital from August 2020 to November 2023 were retrospectively analyzed. The patients were divided into a training cohort (81 cases) and a validation cohort (21 cases) using the stratified random grouping method. After the completion of TACE treatment, the therapeutic response of target tumors was evaluated according to the RECIST version 1.1. Patients with complete response and partial response were classified into the response group, while those with stable disease and progressive disease were classified into the non-response group. Three-dimensional whole-tumor region of interest segmentation was performed on CT plain scan images, arterial phase, portal vein phase of patients before TACE and 1 month after TACE using the 3D Slicer software. Image preprocessing and radiomic feature extraction from the regions of interest were performed using the FAE software. Subsequently, the difference values of radiomic features of CT plain scan between post-TACE and pre-TACE, which were defined as Delta radiomic features, were calculated. Images were preprocessed and region-of-interest imaging histologic features were extracted using FAE software and change values of imaging histologic features (Delta imaging histologic features) were calculated for postoperative and preoperative scans. Dimensionality reduction and feature screening were performed on Delta radiomic features, arterial phase radiomic features and portal venous phase radiomic features using methods including the least absolute shrinkage and selection operator. Three radiomic models for predicting the 6-month therapeutic response after

TACE, namely the Delta radiomics model, arterial phase radiomics model, and portal venous phase radiomics model, were constructed respectively, and the corresponding radiomics scores of each model were calculated separately. Clinical risk factors were screened through univariate analysis and subsequent backward stepwise multivariate Logistic regression, and a combined nomogram was constructed by integrating the radiomics scores. The predictive efficacy of the models was evaluated using receiver operator characteristic (ROC) curves. The performance of the model was further assessed via calibration curves and decision curve analysis. **Results** No statistically significant differences were observed in all indicators between patients in the training cohort and the validation cohort (all $P > 0.05$), except for the presence or absence of peritumoral artery (continuity-corrected $\chi^2 = 4.541$, $P = 0.033$). In the training cohort, 58 patients were classified as responders and 23 as non-responders; in the validation cohort, 15 patients were classified as responders and 6 as non-responders. For the training cohort, there were statistically significant differences in aspartate aminotransferase (AST), albumin (Alb), Barcelona clinic liver cancer staging (BCLC stage) and proportion of distant lymph node metastasis of patients in response group and non-response group (all $P < 0.05$), while no statistically significant differences were found in other indicators (all $P > 0.05$). For the validation cohort, statistically significant differences between the two groups were observed in AST, BCLC stage and proportion of distant lymph node metastasis (all $P < 0.05$), and no statistically significant differences were detected in other indicators (all $P > 0.05$). Multivariate Logistic regression analysis showed that Alb ($OR = 0.027$, 95% CI : 0.012~0.418, $P = 0.001$), distant lymph node metastasis ($OR = 0.771$, 95% CI : 0.573~0.856, $P = 0.001$), arterial phase radiomic score ($OR = 0.216$, 95% CI : 0.096~0.336, $P = 0.001$), portal venous phase radiomic score ($OR = 0.197$, 95% CI : 0.058~0.337, $P = 0.005$) and Delta radiomic feature value ($OR = 0.226$, 95% CI : 0.116~0.336, $P = 0.001$) were independent affecting factors for therapeutic response to TACE in patients with HCC. A clinical model was constructed using Alb and distant lymph node metastasis, with areas under the ROC curve of 0.865 and 0.778 in the training cohort and the validation cohort, respectively. Three separate radiomic models were developed based on the arterial phase radiomic score, portal venous phase radiomic score, and Delta radiomic feature value, respectively. The areas under the ROC curve of the above three models were 0.750, 0.692 and 0.709 in the training cohort, and 0.711, 0.622 and 0.789 in the validation cohort, respectively. A nomogram model for predicting 6-month therapeutic response after TACE in HCC patients was constructed by integrating Alb, distant lymph node metastasis, arterial phase radiomic score, portal venous phase radiomic score, and Delta radiomic score. The areas under the ROC curve of the nomogram were 0.965 and 0.889 in the training cohort and validation cohort, respectively. The area under the ROC curve of the nomogram model was significantly higher than those of the clinical model, arterial phase radiomic model, portal venous phase radiomic model and Delta radiomic model, respectively ($z = 2.85$, $P = 0.004$; $z = 2.62$, $P = 0.009$; $z = 2.47$, $P = 0.013$; $z = 2.31$, $P = 0.021$). Calibration curves showed good agreement between all fitted calibration lines and the ideal perfect prediction line, suggesting high predictive accuracy of the nomogram. Decision curve analysis results indicated that the nomogram achieved a higher net clinical benefit than individual radiomic scores. **Conclusion** The model constructed based on CT imaging histology combined with clinical data was able to predict the 6-month treatment response to TACE in patients with HCC, and could provide a new idea for the clinical development of precise and personalized treatment plans.

Keywords: Hepatocellular carcinoma; Transarterial chemoembolisation; Radiomics; Predictive modelling; Therapeutic response

肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC)是常见的恶性肿瘤,其发病率位居全国第5位^[1]。HCC是一种起源于肝细胞的富血供恶性肿瘤,经导管动脉化疗栓塞(transcatheter arterial chemoembolisation, TACE)是治疗不可切除HCC的首选方法^[2]。然而,30%的中晚期肝癌患者TACE术后并不能达到缓解,如何在术前筛选这些患者是目前临床实践中的难题。研究显示基于术前增强计算机断层成像(computed tomography, CT)的影像组学可预测HCC经TACE治疗的反应^[3,4],提示肿瘤本身的影像信息所反映的肿瘤特性是TACE治疗反应存在差异的原因,但这些研究忽略了TACE操作本身可能也会影响治疗反应。因此,本研究旨在通过纳入TACE术前和术后1个月的影像组学数据并联合临床资料构建模型预测TACE治疗后6个月的治疗反应,以期能够为临床提供更精准地预测TACE治疗效果的方法。

1 资料与方法

1.1 研究对象 对2020年8月至2023年11月就诊于兰州市第二人民医院的HCC患者进行回顾性分析。纳入标准:①经临床或病理诊断为HCC, HCC的诊断标准参考《原发性肝癌诊疗指南(2024版)》^[1];②在兰州市第二人民医院接受首次TACE治疗,术前2周内行CT平扫和增强检查,术后1个月内行CT平扫检查;③有术前1周、术后1个月、术后6个月的随访记录;④无影响生存期的严重肝病及恶性肿瘤;⑤无门静脉癌栓且未接受其他治疗。排除标准:①术前接受过新辅助放射治疗、化学治疗或外科手术;②肿瘤体积过大,介入治疗无法完全覆盖;③合并其他肿瘤并远处转移;④有严重出血倾向或凝血功能障碍;⑤TACE治疗后未在本院随访。最终纳入102例患者,采用随机分层分组法将患者分为训练集(约占80%)和验证集(约占20%)。本研究经兰州市第二人民医院伦理委员会批准(KY2023-217),所有患者免除知情同意书。

1.2 观察指标 收集患者的临床特征包括性别、年龄、巴塞罗那肝癌临床分期(Barcelona clinic liver cancer staging, BCLC分期)、肝硬化、甲胎蛋白(alpha-fetoprotein, AFP)、丙氨酸氨基转移酶(alanine aminotransferase, ALT)、天冬氨酸氨基转移酶(aspartate aminotransferase, AST)、总胆红素(total bilirubin, TBil)、凝血酶原时间(prothrombin time, PT)、白蛋白(albumin, Alb)、TACE治疗方式、肝炎病毒感染史、CT影像报告有无远处淋巴结转移。影像学特征包括由放射科医师识别的

5个特征:肿瘤长径、瘤周增强、瘤内动脉、假包膜、瘤周边缘不光滑。

1.3 CT检查方法 所有受检者均采用西门子双源CT扫描仪进行扫描,常规CT扫描序列包括TACE术前平扫、增强CT动脉期、门静脉期及TACE术后1个月平扫。本研究所采用序列的详细参数如下:管电压120 kVp,管电流350 mAs,扫描层厚5 mm,扫描时间25 s、60 s、120 s,造影剂为碘普罗胺(300 mgI/ml),剂量1.5 ml/kg,流速3.5 ml/s,窗宽/窗位60/350。其中扫描时间、造影剂、剂量流速为增强CT扫描参数。

1.4 TACE治疗 由具有10年以上临床经验的介入放射科医师采用常规TACE,程序均按照《中国肝细胞癌经动脉化疗栓塞(TACE)治疗临床实践指南》^[5]进行,栓塞后血管造影未发现肿瘤内造影剂染色即确定栓塞成功。使用脂醇、明胶海绵颗粒和聚乙烯醇作为栓塞剂。2.7 Fr微导管进行数字减影血管造影。所有患者均在TACE后入院接受术后支持治疗,并进行常规管理,包括水合、止吐、疼痛控制和监测肝功能。

1.5 TACE术后疗效评估、分组及随访 TACE治疗反应由2位有5年以上相关工作经验的放射科医生根据随访的CT图像评估确定,如未达成共识,则由第3位医生(至少10年相关工作经验)进行评估,并以多数意见为准。选择直径最大的病灶作为靶肿瘤,根据RECIST1.1评价标准^[6]确定靶肿瘤的治疗反应。TACE治疗结束后,每3个月随访1次。每次随访时,检查肝功能及AFP,行CT平扫及增强,并记录后续治疗情况。将完全缓解(complete response, CR)和部分缓解(partial response, PR)患者归为缓解组,将疾病稳定(stable disease, SD)和疾病进展(progressive disease, PD)患者归为未缓解组。治疗疗效代表性CT图像见图1。

1.6 CT图像区域分割、预处理及图像特征的提取 将CT图像导入3Dslicer软件(5.6.1版本; <https://www.slicer.org>),由1名具有10年以上临床诊断经验的放射科医生(对治疗结果不知情)独立完成术前平扫图像、动脉期、门静脉期和术后1个月平扫图像的全肿瘤轮廓分割,见图2。间隔3个月后,由同一医师随机选择30例图像进行再次分割,计算可重复性。在30个随机选择的CT数据集上评估感兴趣区(region of interest, ROI)轮廓的观察者间和观察者内再现性。2周后,对30例图像重复以上操作,通过计算组内和组间相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)评估特征提取的一致性。

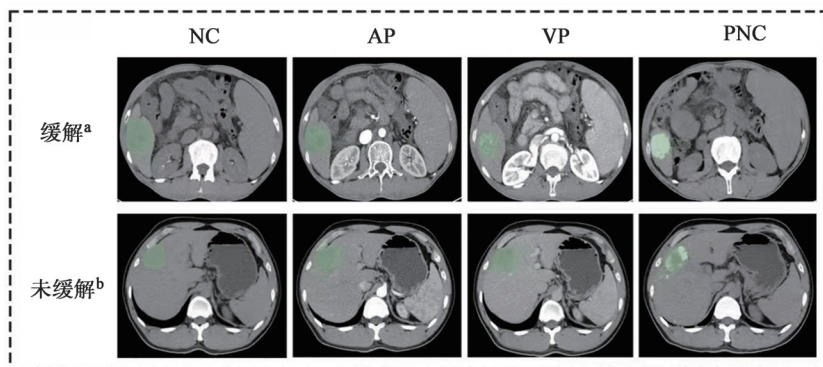


图1 HCC患者TACE术后缓解和未缓解组的代表性CT图

注: NC为术前平扫图像; AP为动脉期图像; VP为门静脉期图像; PNC为术后1个月CT平扫图像。^a 1例56岁男性HCC患者, 病灶直径为52 mm, TACE前1周行CT扫描, TACE后1个月行CT扫描, 收集术前平扫、动脉期、门静脉期和术后1个月CT图像, 结果显示病灶部分缓解, 病灶直径缩小至45 mm, 坏死率为85%; ^b 1例38岁男性HCC患者, 病灶直径49 mm, TACE前1周行CT扫描, TACE后1个月行CT扫描, 结果显示病灶未缓解, 病灶直径增加至54 mm。

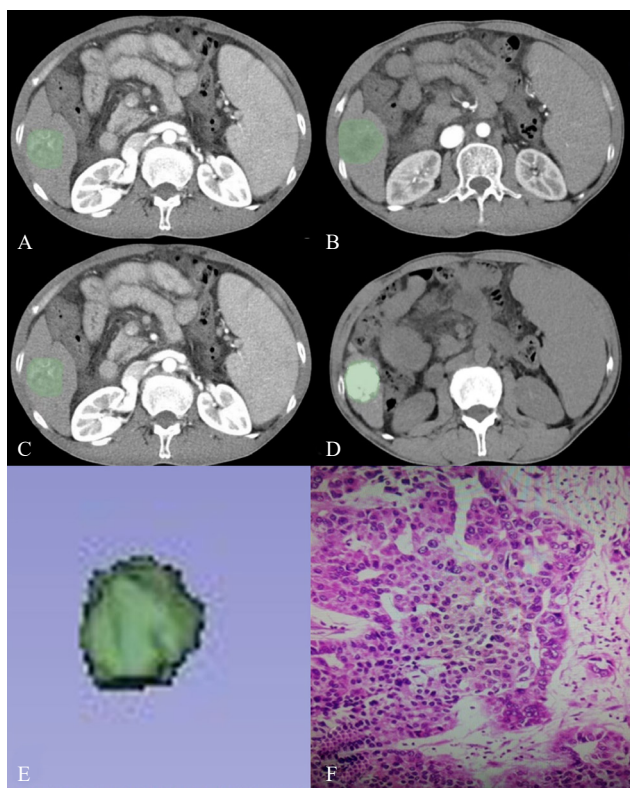


图2 HCC患者肝脏CT图像分析的工作流程

注: A、B、C分别为在CT平扫期、动脉期、门静脉期对肿瘤最大直径加上下两层感兴趣区的勾画; D、E为采用TACE后1个月CT平扫图像全肿瘤逐层勾画及半自动分割碘油滞留模式; F为HCC组织HE染色病理图($\times 200$)。

ICC ≥ 0.75 表示一致性良好。使用FAE(0.5.6版本; <https://github.com/salan668/FAE>)对原始图像进行预处理, 体素重采样为 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$, 灰度级别离散体素强度设置为16, 然后提取一阶、形态、纹理及高阶特征, 并计算术后平扫与术前平扫的影

像组学特征差值(Delta特征值)。

1.7 影像组学特征的筛选 对提取的所有影像组学特征和Delta特征使用Z评分算法进行标准化, 去除每个特征数据的单位限制。采用Mann-Whitney U检验或t检验进行特征筛选, 选择Pearson相关系数 < 0.8 的特征, 使用最大相关最小冗余算法筛选前20个特征, 通过最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)进行特征降维, 分别筛选出动脉期、门静脉期及Delta影像组学特征用于建模。

1.8 临床模型、影像组学模型及列线图的构建 采用单因素和后向多因素Logistic回归分析临床资料, 确定TACE术后6个月治疗反应的独立预测因素建立临床模型, 计算各预测因素的OR值和95%CI。基于动脉期、门静脉期和Delta特征值分别构建影像组学预测模型, 并比较各模型的效能。根据影像组学特征及LASSO系数计算各自的影像学评分。将临床独立预测因素联合影像学评分进行多因素分析, 联合构建列线图模型。使用受试者工作特征(receiver operating characteristic curve, ROC)曲线评估模型的预测性能, 利用决策曲线分析评估模型的临床实用性, 通过校准曲线观察预测概率和实际结果的一致性。

1.9 统计学处理 应用R软件(4.3.0版本)和SPSS 26.0进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 两组间比较采用独立样本t检验, ALT、AST等非正态分布的计量资料以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示, 两组间比较采用Mann-Whitney U检验。计数资料以例数和百分数表示, 两组间比较采用Pearson χ^2 检验、连续校正 χ^2 检验或Fisher精确

检验。采用组内和组间相关系数 (intra/inter-class correlation coefficients, ICC) 评估影像组学特征提取的观察者间的一致性, ICC > 0.75 表示特征提取的一致性良好。采用单因素和后向多因素 Logistic 回归分析筛选 TACE 治疗反应的独立预测因素。采用受试者工作特征 (receiver operator characteristic, ROC) 曲线评估模型的预测效能。采用 DeLong 检验比较不同模型的 ROC 曲线下面积。使用 Hosmer-Lemeshow 检验和校准曲线评估列线图的拟合程度, 采用决策曲线分析列线图模型的临床应用价值。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 HCC 患者的临床资料 本研究最终纳入 102 例 HCC 患者, 其中男性 61 例, 年龄 40~67 岁, 平均 (51.72 ± 11.23) 岁。训练集 81 例 (缓解组 58 例, 未缓解组 23 例), 验证集 21 例 (缓解组 15 例, 未缓解组 6 例)。训练集和验证集患者除有无瘤周动脉差异有统计学意义外 (连续校正 $\chi^2 = 4.541$, $P = 0.033$), 其余指标差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05), 见表 1。训练集中缓解组和未缓解组患

者除 AST、Alb、BCLC 分期、远处淋巴结转移比例差异有统计学意义外 (P 均 < 0.05), 其余指标差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05), 验证集中缓解组和未缓解组患者除 AST、BCLC 分期、远处淋巴结转移比例差异有统计学意义外 (P 均 < 0.05), 其余指标差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05), 见表 2。

2.2 影像组学特征的提取和筛选 从术前 CT 平扫, 增强 CT 动脉期、门静脉期, 术后 1 个月 CT 平扫图像的 VOI 中分别提取 1 688 个特征, 计算出 Delta 影像组学特征 1 688 个。保留 1620 个 ICC > 0.75 的影像组学特征。经过线性回归降维最终筛选出 10 个非零系数的影像组学特征, 见表 3。

2.3 HCC 患者临床模型、影像组学模型的构建及评估 单因素 Logistic 回归分析表明, AST、Alb、BCLC 分期、远处淋巴结转移、动脉期影像组学特征评分、静脉期影像组学特征评分及 Delta 特征值 (术后 1 个月 CT 平扫影像组学评分减术前 CT 平扫影像组学评分) 是 HCC 患者 TACE 治疗反应的影响因素, 见表 4。后向多因素 Logistic 回归分

表 1 训练集和验证集接受 TACE 治疗的 HCC 患者的临床及影像学特征

临床及影像学特征	训练集 (81 例)	测试集 (21 例)	统计量值	P 值
年龄 [$M (P_{25}, P_{75})$, 岁]	53.00 (46.40, 61.00)	53.00 (47.10, 61.00)	$z = 0.103$	0.918
ALT [$M (P_{25}, P_{75})$, U/L]	33.00 (20.70, 54.20)	37.00 (29.80, 49.90)	$z = 0.977$	0.329
AST [$M (P_{25}, P_{75})$, U/L]	43.00 (30.00, 75.00)	33.00 (30.00, 53.74)	$z = -1.051$	0.293
Alb [$M (P_{25}, P_{75})$, g/L]	39.90 (33.47, 42.79)	39.80 (36.77, 43.75)	$z = 0.927$	0.354
TBil [$M (P_{25}, P_{75})$, $\mu\text{mol/L}$]	26.90 (15.80, 38.16)	24.40 (13.70, 31.91)	$z = -0.484$	0.628
PT [$M (P_{25}, P_{75})$, s]	18.20 (17.50, 19.10)	18.50 (17.50, 18.93)	$z = 0.186$	0.852
男/女 (例)	61/20	17/4	$\chi^2 = 0.065^a$	0.799
AFP [例 (%)]				
≤ 400 $\mu\text{g/L}$	46 (56.79)	15 (71.43)	$\chi^2 = 1.487$	0.223
> 400 $\mu\text{g/L}$	35 (43.21)	6 (28.57)		
BCLC 分期 [例 (%)]				
A 期	47 (58.02)	9 (42.86)	$\chi^2 = 1.549$	0.213
B 期	34 (41.98)	12 (57.14)		
肝炎病毒感染 [例 (%)]				
无	8 (9.88)	6 (28.57)	$\chi^2 = 3.47^a$	0.062
有 (HBV、HCV)	73 (90.12)	15 (71.43)		
肝硬化 [例 (%)]	56 (69.14)	12 (57.14)	$\chi^2 = 1.079$	0.299
肿瘤直径 [例 (%)]				
≤ 5 cm	56 (69.14)	11 (52.38)	$\chi^2 = 2.077$	0.15
> 5 cm	25 (30.86)	10 (47.62)		
瘤内动脉 [例 (%)]	46 (56.79)	8 (38.10)	$\chi^2 = 2.339$	0.126
瘤周动脉 [例 (%)]	9 (11.11)	7 (33.33)	$\chi^2 = 4.541^a$	0.033
假包膜 [例 (%)]	24 (29.63)	7 (33.33)	$\chi^2 = 0.108$	0.742
瘤周不光滑 [例 (%)]	52 (64.20)	13 (61.90)	$\chi^2 = 0.038$	0.846
远处淋巴结转移 [例 (%)]	8 (9.88)	3 (14.29)	$\chi^2 = 0.035^a$	0.853

注: ^a 为连续校正 χ^2 。

表2 缓解组和未缓解组接受 TACE 治疗的 HCC 患者的临床资料与影像学特征

临床及影像学特征	训练集 (81 例)		验证集 (21 例)	
	未缓解组 (23 例)	缓解组 (58 例)	未缓解组 (6 例)	缓解组 (15 例)
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	52.86 ± 10.99	51.33 ± 11.31	57.33 ± 7.15	55.73 ± 8.17
ALT [$M(P_{25}, P_{75})$, U/L]	36.00 (20.38, 60.80)	33.0 (20.95, 3.05)	40.50 (23.95, 66.40)	37.00 (31.20, 46.00)
AST [$M(P_{25}, P_{75})$, U/L]	57.00 (38.60, 96.30)	39.50 (30.45, 58.55)	37.00 (31.90, 75.55)	33.00 (29.20, 51.36)
Alb [$M(P_{25}, P_{75})$, g/L]	35.60 (31.70, 40.24)	40.10 (35.50, 43.66)	35.30 (30.15, 41.23)	40.63 (35.90, 45.39)
TBil [$M(P_{25}, P_{75})$, $\mu\text{mol/L}$]	29.70 (19.40, 45.54)	24.70 (15.10, 33.05)	25.35 (18.26, 73.57)	24.40 (13.20, 30.52)
PT [$M(P_{25}, P_{75})$, s]	18.10 (17.44, 19.86)	18.30 (17.50, 18.90)	18.05 (17.49, 18.81)	18.50 (17.60, 18.98)
男/女 (例)	16/7	45/13	4/2	13/4
AFP [例 (%)]				
≤ 400 $\mu\text{g/L}$	14 (60.87)	32 (55.17)	4 (66.67)	11 (73.33)
> 400 $\mu\text{g/L}$	9 (39.13)	26 (44.83)	2 (33.33)	4 (26.67)
BCLC 分期 [例 (%)]				
A 期	18 (78.26)	29 (50.00)	3 (50.00)	6 (40.00)
B 期	5 (21.74)	29 (50.00)	3 (50.00)	9 (60.00)
肝炎病毒感染 [例 (%)]				
无	1 (4.35)	7 (12.07)	2 (33.21)	4 (26.17)
有 (HBV、HCV)	22 (95.65)	51 (87.93)	4 (66.67)	11 (73.33)
肝硬化 [例 (%)]	18 (78.26)	38 (65.52)	1 (16.67)	11 (73.33)
肿瘤直径 [例 (%)]				
≤ 5 cm	13 (56.52)	43 (74.14)	6 (100.00)	5 (33.33)
> 5 cm	10 (43.48)	15 (25.86)	2 (31.23.00)	8 (66.67)
瘤内动脉 [例 (%)]	13 (56.52)	33 (56.90)	2 (33.33)	6 (40.00)
瘤周动脉 [例 (%)]	1 (4.35)	8 (13.79)	1 (16.67)	6 (40.33)
假包膜 [例 (%)]	7 (30.43)	17 (29.31)	3 (50.00)	5 (33.33)
瘤周不光滑 [例 (%)]	17 (73.91)	35 (60.34)	5 (83.33)	13 (86.67)
远处淋巴结转移 [例 (%)]	8 (34.78)	0 (0)	3 (50.00)	0 (0)

统计量值: z = -0.103, z = -0.646, z = -2.062, z = -2.407, z = -1.512, $\chi^2 = 0.050$, $\chi^2 = 0.368$, $\chi^2 = 5.251$, $\chi^2 = 0.406$, $\chi^2 = 1.252$, $\chi^2 = 2.387$, $\chi^2 = 0.001$, $\chi^2 = 0.722$, $\chi^2 = 0.010$, $\chi^2 = 1.351$, $\chi^2 = 0.135$, $\chi^2 = 0.103$, $\chi^2 = 0.233$, z = -2.012, z = -1.193, z = -0.753, z = -0.346, $\chi^2 = 0.001$, $\chi^2 = 0.273$, $\chi^2 = 4.914$, $\chi^2 = 0.050$, $\chi^2 = 0.667$, $\chi^2 = 0.137$, $\chi^2 = 0.050$, $\chi^2 = 0.256$, $\chi^2 = 0.152$, $\chi^2 = 0.157$, $\chi^2 = 0.153$

表3 CT影像组学特征及系数

特征来源	特征类型	特征名称	特征系数
动脉期影像组学特征	纹理特征	gradient_ngtdm_Busyness	-0.140
动脉期影像组学特征	纹理特征	log-sigma-1-mm-3D_glszm_Large Area Low Gray Level Emphasis	-0.161
动脉期影像组学特征	纹理特征	logarithm_ngtdm_Busyness	-0.217
动脉期影像组学特征	纹理特征	square_gldm_Dependence Variance	-0.208
动脉期影像组学特征	小波特征	wavelet-LLH_glszm_Large Area Low Gray Level Emphasis	-0.168
门静脉期影像组学特征	一阶特征	square_firstorder_Skewness	-0.221
门静脉期影像组学特征	一阶特征	exponential_firstorder_Skewness	-0.158
门静脉期影像组学特征	高斯特征	log-sigma-1-mm-3D_firstorder_Skewness	0.187
Delta 特征值	小波特征	wavelet-HHH_gldm_Large Dependence Emphasis	0.529
Delta 特征值	纹理特征	exponential_glszm_Zone Entropy	-0.397

注: Delta 特征值为术后减术前影像组学特征。

表4 预测 HCC 患者 TACE 治疗反应的单因素 Logistic 回归分析

变量	参数估计	标准误	Wald χ^2	OR 值 (95%CI)	P 值
AST	-0.002	0.001	6.724	0.002 (0.001~0.003)	0.010
Alb	0.032	0.008	14.75	0.029 (0.012~0.047)	0.001
BCLC 分期	0.236	0.099	5.643	0.236 (0.031~0.418)	0.018
远处淋巴结转移	-0.795	0.145	30.16	0.795 (0.511~0.813)	0.001
动脉期影像组学特征评分	0.307	0.066	21.76	0.324 (0.178~0.469)	0.003
门静脉期影像组学特征评分	0.893	0.249	12.86	0.349 (0.159~0.539)	0.004
Delta 特征值	0.433	0.199	4.718	0.223 (0.159~0.539)	0.006

注: Delta 为术后1个月 CT 平扫影像组学评分减术前 CT 平扫影像组学评分。

表5 预测 HCC 患者 TACE 治疗反应的多因素 Logistic 回归分析

变量	参数估计	标准误	Wald χ^2	OR 值 (95%CI)	P 值
Alb	0.017	0.007	2.465	0.027 (0.012~0.418)	0.001
远处淋巴结转移	-0.595	0.124	4.812	0.771 (0.573~0.856)	0.001
动脉期影像组学特征评分	0.188	0.058	3.236	0.216 (0.096~0.336)	0.001
门静脉期影像组学特征评分	0.393	0.199	1.973	0.197 (0.058~0.337)	0.005
Delta 特征值	0.386	0.146	2.629	0.226 (0.116~0.336)	0.001

注: Delta 为术后1个月 CT 平扫影像组学评分减术前 CT 平扫影像组学评分。

析表明, Alb、远处淋巴结转移、动脉期影像组学特征评分、静脉期影像组学特征评分及 Delta 特征值是 HCC 患者 TACE 治疗缓解的独立影响因素, 见表 5。

2.4 列线图的构建及效能评估 使用 Alb 和远处淋巴结转移构建临床模型, 训练集和验证集 ROC 曲线下面积分别为 0.865、0.778。利用动脉期影像组学特征评分、门静脉期影像组学特征评分及 Delta 分别构建影像组学模型, 并计算影像组学评分, 训练集上述指标的 ROC 曲线下面积分别为 0.750、0.692 和 0.709, 验证集分别为 0.711、0.622 和 0.789。联合 Alb、远处淋巴结转移、动脉期影像组学评分、门静脉期影像组学评分、Delta 影像组学评分构建预

测 HCC 患者 TACE 术后 6 个月缓解的列线图模型, 列线图在训练集和验证集的 ROC 曲线下面积分别为 0.965、0.889, 见图 3、图 4、表 6。列线图模型的 ROC 曲线下面积均显著高于临床模型、动脉期影像组学评分、门静脉期影像组学评分、Delta 影像组学评分 ($z=2.85$ 、 $P=0.004$, $z=2.62$ 、 $P=0.009$, $z=2.47$ 、 $P=0.013$, $z=2.31$ 、 $P=0.021$)。使用 Hosmer-Lemeshow 检验和校准曲线评估列线图的拟合程度, 结果显示所有校正曲线均与理想曲线有较好的吻合度, 列线图的准确性较高 (图 5A、5B)。采用临床决策曲线衡量列线图的临床实用性, 当模型预测概率阈值为 0.06~0.80 时, 列线图的临床净效益最高 (图 5C、5D)。

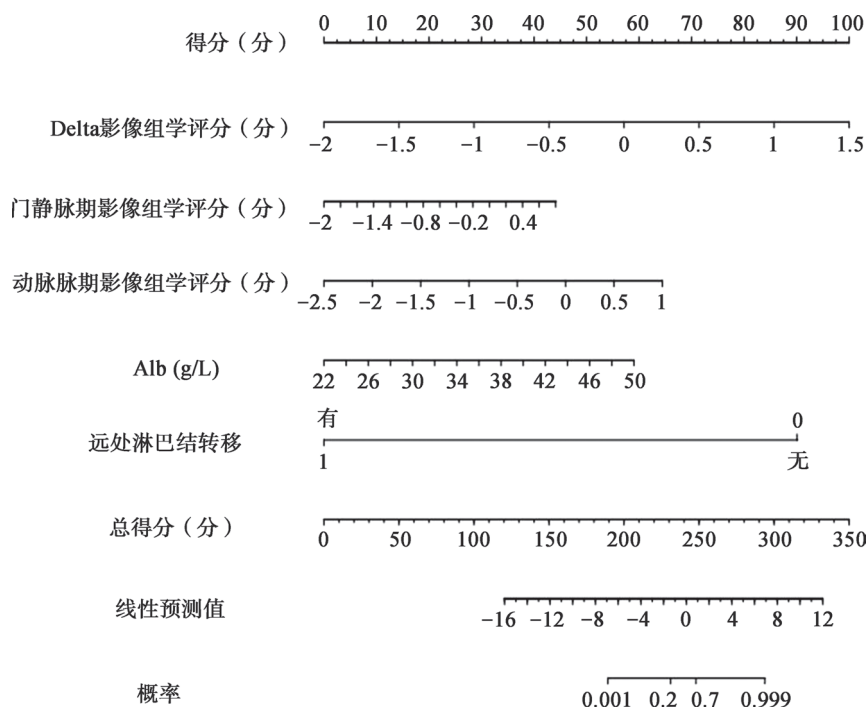


图3 预测HCC患者TACE术后6个月缓解的列线图模型

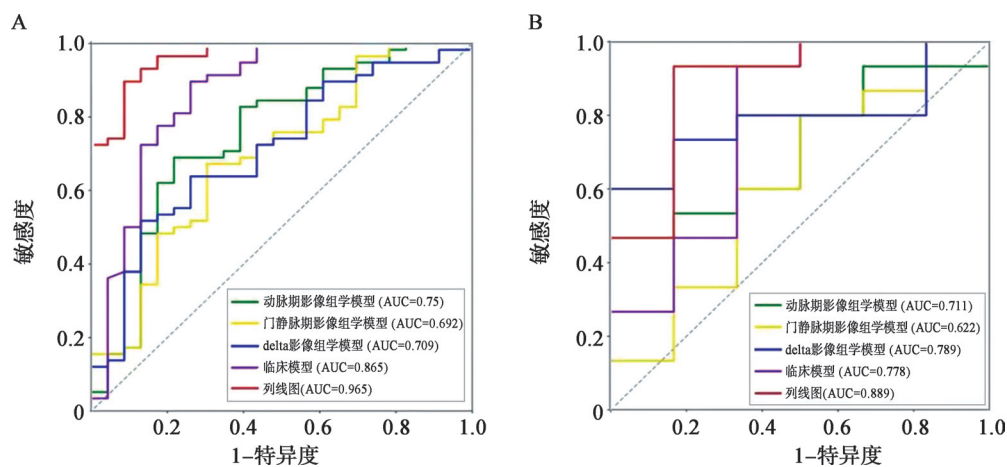


图4 临床模型、影像组学模型和列线图在训练集(A)和验证集(B)中的ROC曲线

注: AUC为ROC曲线下面积。

3 讨论

HCC患者对TACE的治疗反应具有较大个体差异, TACE治疗前预测或治疗后早期评估其治疗反应对临床制订精准有效的治疗方案具有重要意义。本研究通过整合临床和影像组学数据, 开发并验证了一种临床资料联合影像组学评分构建的列线图模型, 可对HCC患者TACE治疗反应进行早期预测, 为临床实现HCC患者精准治疗提供了新的思路和方法。

3.1 临床因素 研究表明Alb和远处淋巴结转移是HCC患者TACE治疗反应的预测因素, 构建的

临床模型在验证集的ROC曲线下面积为0.778, 提示其具有一定预测价值。Alb水平可反映肝脏合成功能的受损程度, Alb水平高提示肝脏基础功能较好, 对TACE治疗有更好的耐受能力^[7-9]。而HCC患者肝功能严重受损也是TACE治疗失败的原因之一^[10,11]。远处淋巴结转移通常提示肿瘤的高侵袭性, 肿瘤内结构更复杂, 可能影响针对肝动脉的TACE治疗效果^[12]。尽管多项研究均表明AFP也是TACE治疗疗效的独立预测因素^[13-15], 但本研究中缓解组和非缓解组患者的AFP水平无统计学差异,

表 6 临床模型、影像组学模型和列线图预测 HCC 患者 TACE 治疗反应的效能

项目	ROC 曲线下面积 (95%CI)	敏感度	特异度	阳性预测值	阴性预测值
临床模型					
训练集	0.865 (0.759~0.970)	0.879	0.739	0.894	0.708
验证集	0.778 (0.616~0.912)	0.866	0.666	0.867	0.667
动脉期影像组学模型					
训练集	0.750 (0.621~0.878)	0.672	0.782	0.886	0.486
验证集	0.711 (0.476~0.945)	0.561	0.616	0.999	0.401
门静脉期影像组学模型					
训练集	0.692 (0.560~0.823)	0.655	0.695	0.844	0.444
验证集	0.622 (0.323~0.920)	0.733	0.615	0.785	0.428
Delta 影像组学模型					
训练集	0.709 (0.584~0.833)	0.631	0.869	0.906	0.408
验证集	0.789 (0.589~0.988)	0.601	0.768	0.998	0.461
列线图模型					
训练集	0.965 (0.928~0.990)	0.879	0.913	0.962	0.749
验证集	0.889 (0.707~0.991)	0.867	0.833	0.928	0.714

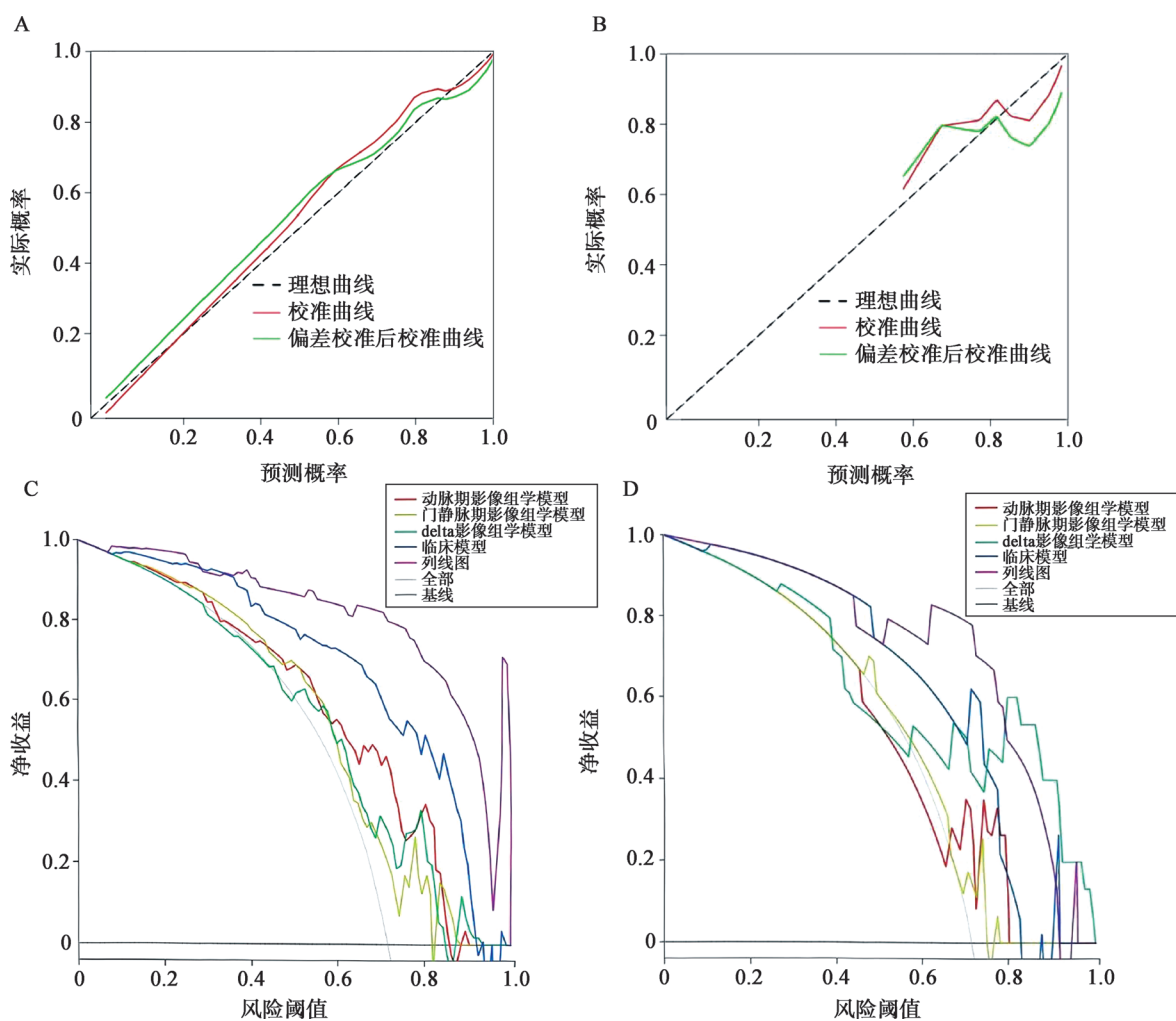


图 5 临床模型、动脉期影像组学特征评分、门静脉期影像组学特征评分、Delta 影像组学模型和列线图在训练集和验证集中的校准曲线及决策曲线

注: A、B 分别为训练集和验证集的校准曲线, C、D 分别为训练集和验证集的决策曲线。

可能原因是 AFP 水平受患者疾病阶段、肿瘤类型、分化程度、基础健康状况等多方面影响,在本研究中这些因素可能存在不平衡性。

3.2 影像组学特征 本研究筛出的影像组学特征中大多为纹理特征 (gradient_gldm_maximum probability, GLDM), 提示基于 GLDM 的纹理特征对预测 HCC 患者 TACE 术后治疗疗效有重要价值。纹理特征代表肿瘤内组织排列的混乱程度,可在一定程度上反映肿瘤的异质性,复杂的肿瘤内部结构往往包含坏死、纤维增生、血管生成等改变^[16,17],这些改变会影响 TACE 的治疗效果。纹理特征在结直肠癌、宫颈癌等恶性肿瘤的预后分层中也被证实具有重要价值^[18-20]。此外,本研究中筛选出的影像组学特征还包括高斯特征 (log-sigma-1-mm-3D_firstorder_Skewness)、小波特征 (wavelet-LLH_glszm_Large Area Low Gray Level Emphasis) 和一阶特征,这些特征均从不同维度表征了肿瘤内部的异质性^[21-24]。本研究中这些特征来源于不同的 CT 扫描期相产生的图像,也提示多期扫描能够提供更多的诊断信息。

3.3 各模型对 HCC 患者 TACE 治疗反应的预测 本研究所构建的临床模型、动脉期影像组学模型、门静脉期影像组学模型、Delta 影像组学模型均能较好地预测 HCC 患者 TACE 术后 6 个月的治疗反应,联合上述因素构建的列线图模型在验证集的 ROC 曲线下面积达到 0.889。考虑到影像组学特征数量远超研究对象数量,为避免过拟合,动脉期、门静脉期和 Delta 组影像组学特征分别进行了独立的建模和计算组学评分。乳腺癌相关研究表明 Delta 影像组学特征值对治疗反应有影响^[25],且具有更高的预测性能^[26],监测乳腺腺体结构的细微改变、局部血流灌注的增加等,通过计算 Delta 影像组学特征值可更早地发现这些异常,为早期诊断和干预提供了机会。因此,本研究引入了 Delta 影像组学特征,其包含了治疗前和治疗后 1 个月 CT 平扫的图像信息,能够表征 TACE 手术本身对于治疗反应的影响,结果也显示 Delta 影像组学模型的 ROC 曲线下面积 (0.789) 高于单纯治疗前的动脉期影像组学模型 (0.711) 和门静脉期影像组学模型 (0.622)。尽管本研究和先前的研究^[27,28]都证实了基于 TACE 治疗前的影像组学模型能够预测 TACE 疗效,但首次 TACE 治疗失败的患者追加治疗仍有取得治疗缓解的机会^[29],因此引入 Delta 影像组学特征值对 TACE 治疗反应的早期评估是有意义的。Delta 影像组学可提取细微的图像变化信息,有助于预测 HCC 患者对 TACE 治疗的反应,为制定个性化治疗方案提供依据。治疗后的 Delta 影像组学特征值可作为

HCC 患者预后的评估指标,某些特征的变化可能与预测治疗反应有显著相关性。分析这些特征可为调整治疗方案提供重要依据。Delta 特征值也可在一定程度上消除个体差异带来的影响,使不同患者间的疗效评估更具可比性,从而提高预测的准确性。

本研究也探讨了常规的 5 个肉眼可识别的影像特征是否能够预测 HCC 患者的 TACE 治疗反应,后向多因素分析表明这些影像特征并不能作为预测因子被纳入列线图模型。既往有研究表明瘤内动脉和瘤周增强等影像特征是 TACE 治疗反应的预测因素^[30-32],通过影像学检查观察到的瘤内动脉特征可反映肿瘤的血供状态。TACE 治疗的主要作用机制之一就是通过对栓塞肿瘤的供血动脉阻断肿瘤的血液供应,使肿瘤细胞缺血缺氧而死亡^[33]。因此,瘤内动脉明显的肿瘤在 TACE 治疗后更易出现血供中断,治疗反应较好。对于具有明显瘤周增强的肿瘤,在 TACE 治疗中可能需要更广泛地栓塞肿瘤周围的供血动脉,以确保彻底阻断肿瘤的血液供应^[34]。瘤内动脉和瘤周增强的影像特征可从血供评估、肿瘤生物学行为等多方面反映肿瘤对 TACE 治疗的反应潜力,是重要的预测因素。但肉眼识别的特征往往缺乏精准的定义和定量,因此,本研究纳入 Delta 特征后,模型的评估指标在未加入 5 个影像特征的情况下已达到较理想效果;此外,Delta 特征与影像特征之间可能存在信息冗余,或所加入的影像学特征易导致模型过拟合,加之本研究样本量较小,可能存在选择偏倚,上述因素共同作用,导致影像特征未被纳入最终的预测模型。

3.4 局限性 首先,本研究为单中心小样本的回顾性研究,可能会引入选择偏倚。其次,ROI 由放射科医师手动勾画,耗时且会损失一些可重复性弱的特征,开发一种自动、可靠的肝脏肿瘤分割工具是非常必要的。第三,Delta 特征和影像学特征间存在信息冗余,或加入的影像学特征会导致过拟合等情况,导致影像特征未被纳入预测模型。第四,TACE 治疗反应采用了治疗后 6 个月作为评价节点,并未对更长期的无进展生存期或总生存期进行生存分析。

综上,基于 HCC 患者 TACE 治疗前增强 CT 动脉期、门静脉期影像组学特征以及治疗前后 CT 平扫的 Delta 影像组学特征联合临床资料构建的列线图模型能够较好地预测 HCC 患者 TACE 术后 6 个月的治疗反应,为 HCC 患者精准制定个体化治疗方案提供了新的思路和方法。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

人工智能使用声明 本文未使用任何人工智能相关工具对文字、表格及图片进行处理

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 原发性肝癌诊疗指南(2024年版)[J]. 临床肝胆病杂志, 2024, 40(5): 893-918.
- [2] 秦立昊, 王林栋, 贾恕健, 等. 中国肝细胞癌经动脉化疗栓塞(TACE)治疗临床实践指南(2023年版)解读[J]. 手术电子杂志, 2023, 10(4): 10-14.
- [3] BAI H, MENG S, XIONG C, et al. Preoperative CECT-based radiomic signature for predicting the response of transarterial chemoembolization (TACE) therapy in hepatocellular carcinoma[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2022, 45(10): 1524-1533.
- [4] CHENG S, HU G, JIN Z, et al. CT-based radiomics nomogram for prediction of survival after transarterial chemoembolization with drug-eluting beads in patients with hepatocellular carcinoma and portal vein tumor thrombus[J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(12): 8715-8726.
- [5] 安天志, 高嵩, 靳勇, 等. 中国肝细胞癌经动脉化疗栓塞治疗(TACE)临床实践指南[J]. 介入放射学杂志, 2018, 27(12): 1117-1126.
- [6] LENCIONI R, MONTAL R, TORRES F, et al. Objective response by mRECIST as a predictor and potential surrogate end-point of overall survival in advanced HCC[J]. *J Hepatol*, 2017, 66(6): 1166-1172.
- [7] 赵中夫, 韩德五, 张芸, 等. 高迁移率族蛋白-1在实验性急性肝衰竭中的作用[J]. 中华肝脏病杂志, 2006, 14(5): 388-389.
- [8] GRANITO A, FACCIORUSSO A, SACCO R, et al. TRANS-TACE: prognostic role of the transient hypertransaminasemia after conventional chemoembolization for hepatocellular carcinoma[J]. *J Pers Med*, 2021, 11(10): 1041.
- [9] 冯恩航. 浅析CHE, TBA, ALB检测在肝癌肝硬化诊断中的意义[J]. 当代医学, 2012, 18(11): 92-93.
- [10] DEMIRTAS C O, D'ALESSIO A, RIMASSA L, et al. ALBI grade: evidence for an improved model for liver functional estimation in patients with hepatocellular carcinoma[J]. *JHEP Rep*, 2021, 3(5): 100347.
- [11] SZABO G, VELAYUDHAM A, ROMICS L, JR, et al. Modulation of non-alcoholic steatohepatitis by pattern recognition receptors in mice: the role of toll-like receptors 2 and 4[J]. *Alcohol Clin Exp Res*, 2005, 29(11 Suppl): 140S-145S.
- [12] JI G W, ZHANG Y D, ZHANG H, et al. Biliary tract cancer at CT: a radiomics-based model to predict lymph node metastasis and survival outcomes[J]. *Radiology*, 2019, 290(1): 90-98.
- [13] WANG X, WANG W, MA X, et al. Combined hepatocellular-cholangiocarcinoma: which preoperative clinical data and conventional MRI characteristics have value for the prediction of microvascular invasion and clinical significance?[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(10): 5337-5347.
- [14] KONG C, ZHAO Z, CHEN W, et al. Prediction of tumor response via a pretreatment MRI radiomics-based nomogram in HCC treated with TACE[J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(10): 7500-7511.
- [15] GORDON A C, LEWANDOWSKI R J. CBCT-guided TACE-MWA for HCC measuring up to 5 cm[J]. *Acad Radiol*, 2021, 28 Suppl 1: S71-S72.
- [16] RUIZ-ESPAÑA S, ORTIZ-RAMÓN R, PÉREZ-RAMÍREZ Ú, et al. MRI texture-based radiomics analysis for the identification of altered functional networks in alcoholic patients and animal models[J]. *Comput Med Imaging Graph*, 2023, 104: 102187.
- [17] ZHENG Y, ZHOU D, LIU H, et al. CT-based radiomics analysis of different machine learning models for differentiating benign and malignant parotid tumors[J]. *Eur Radiol*, 2022, 32(10): 6953-6964.
- [18] NAKAJO M, JINGUJI M, TANI A, et al. Application of a machine learning approach for the analysis of clinical and radiomic features of pretreatment ¹⁸F-FDG PET/CT to predict prognosis of patients with endometrial cancer[J]. *Mol Imaging Biol*, 2021, 23(5): 756-765.
- [19] 崔雅琼, 黄刚, 王莉莉, 等. 基于临床-多参数磁共振影像组学特征预测宫颈癌脉管浸润和预后的研究[J]. 磁共振成像, 2023, 14(2): 73-82.
- [20] XIA W, HU B, LI H, et al. Multiparametric-MRI-based radiomics model for differentiating primary central nervous system lymphoma from glioblastoma: development and cross-vendor validation[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2021, 53(1): 242-250.
- [21] BAI H, XIA W, JI X, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging-based peritumoral radiomics for preoperative prediction of the presence of extracapsular extension with prostate cancer[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2021, 54(4): 1222-1230.
- [22] BERNATZ S, ELENBERGER O, ACKERMANN J, et al. CT-radiomics and clinical risk scores for response and overall survival prognostication in TACE HCC patients[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 533.
- [23] NIU X K, HE X F. Development of a computed tomography-based radiomics nomogram for prediction of transarterial chemoembolization refractoriness in hepatocellular carcinoma[J]. *World J Gastroenterol*, 2021, 27(2): 189-207.
- [24] JING R, WANG J, LI J, et al. A wavelet features derived radiomics nomogram for prediction of malignant and benign early-stage lung nodules[J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 22330.
- [25] HUANG Y, ZHU T, ZHANG X, et al. Longitudinal MRI-based fusion novel model predicts pathological complete response in breast cancer treated with neoadjuvant chemotherapy: a multicenter, retrospective study[J]. *EclinicalMedicine*, 2023, 58: 101899.
- [26] PENG Y, CHENG Z, GONG C, et al. Pretreatment DCE-MRI-based deep learning outperforms radiomics analysis in predicting pathologic complete response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancer[J]. *Front Oncol*, 2022, 12: 846775.
- [27] INCE O, ÖNDER H, GENCTURK M, et al. Machine learning models in prediction of treatment response after chemoembolization with MRI clinicoradiomics features[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2023, 46(12): 1732-1742.
- [28] CHEN M, CAO J, HU J, et al. Clinical-radiomic analysis for pretreatment prediction of objective response to first transarterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma[J]. *Liver Cancer*, 2021, 10(1): 38-51.
- [29] FAN X L, WANG Y H, CHEN Y H, et al. Computed tomography texture analysis combined with preoperative clinical factors serve as a predictor of early efficacy of transcatheter arterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2023, 48(6): 2008-2018.
- [30] 赵建新. 增强CT图像预测肝细胞癌微血管侵犯的影像基因组学研究[D]. 兰州: 甘肃中医药大学, 2024.
- [31] ZHAO Y, ZHANG J, WANG N, et al. Intratumoral and peritumoral radiomics based on contrast-enhanced MRI for preoperatively predicting treatment response of transarterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma[J]. *BMC Cancer*, 2023, 23(1): 1026.
- [32] ZHANG K, ZHANG L, LI W C, et al. Radiomics nomogram for the prediction of microvascular invasion of HCC and patients' benefit from postoperative adjuvant TACE: a multi-center study[J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(12): 8936-8947.
- [33] WANG G, DING F, CHEN K, et al. CT-based radiomics nomogram to predict proliferative hepatocellular carcinoma and explore the tumor microenvironment[J]. *J Transl Med*, 2024, 22(1): 683.
- [34] MOAWAD A W, MORSHID A, KHALAF A M, et al. Multimodality annotated hepatocellular carcinoma data set including pre- and post-TACE with imaging segmentation[J]. *Sci Data*, 2023, 10(1): 33.

收稿日期: 2024-12-17

邹彩霞, 李静, 黄刚, 等. 基于计算机体层成像影像组学联合临床因素预测肝细胞癌患者经导管动脉化疗栓塞的近期疗效[J/CD]. 中国肝脏病杂志(电子版), 2026, 18(1): 50-61.