

基于 Gd-EOB-DTPA 增强 MRI 纹理分析与血清学指标预测肝细胞癌微血管侵犯

陈新蕾, 李雨蒙, 孙潇楠, 朱文玲, 朱丽平, 李绍东

【摘要】 目的:探讨基于 Gd-EOB-DTPA 增强肝胆期 MRI 的纹理分析技术联合血清学指标对肝细胞癌(HCC)微血管侵犯(MVI)的预测价值。方法:回顾性分析 2018 年 12 月—2022 年 6 月在本院经手术病理确诊为 HCC 并在术前 1 个月内完成肝脏 Gd-EOB-DTPA 增强扫描(动脉期、门静脉期、延迟期及肝胆期)的 206 例患者的临床和 MRI 资料。记录术前甲胎蛋白(AFP)、谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)和 PIVKA-Ⅱ 四项血清学指标。按照病理检查结果分为 MVI 组和非 MVI 组。按照 9:1 的比例将所有患者分为训练集(MVI 组 91 例,非 MVI 组 94 例)和验证集(MVI 组 9 例,非 MVI 组 12 例)。分析两组患者基于肝胆期图像提取的 HCC 病灶的纹理特征及血清学指标的差异。纹理特征主要包括图像像素值的一阶特征和描述肿瘤内部及表面纹理的灰阶分布特征。采用多因素 logistic 回归分析筛选 HCC 发生 MVI 的独立危险因素,采用 ROC 曲线分析评估各单一变量及联合模型对 MVI 的预测效能。结果:纹理分析结果显示,与非 MVI 组相比,MVI 组的 GLCM_Energy、SumAverg、DifVarnc 和 CE_Entropy 显著增高,而 Teta-2 显著降低,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。血清学指标方面,MVI 组的谷丙转氨酶(ALT)、甲胎蛋白(AFP)和异常凝血酶原(PIVKA-Ⅱ)水平均显著高于非 MVI 组,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。Logistic 回归分析结果显示 GLCM_Energy(AUC=0.771),CE_Entropy(AUC=0.719)和 PIVKA-Ⅱ(AUC=0.769)对 MVI 具有一定的预测效能,三个指标联合后具有更好的预测效能(AUC=0.888)。验证组中数据的逻辑回归分析结果显示 2 项纹理特征(GLCM_Energy、CE_Entropy)和血清学指标 PIVKA-Ⅱ 可预测 MVI($P < 0.001$),AUC 分别为 0.688、0.684 和 0.758;而且将 3 项指标联合后可观察到更好的预测效能(AUC=0.860)。结论:基于 Gd-EOB-DTPA 增强肝胆期 MRI 提取的纹理特征(GLCM_Energy 和 CE_Entropy)联合血清学指标 PIVKA-Ⅱ 在术前预测 HCC 伴有 MVI 方面具有一定的价值。

【关键词】 肝细胞癌;微血管侵犯;纹理分析;血清学指标;磁共振成像

【中图分类号】 R445.2;R735.7 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)12-1568-07

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.12.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The value of Gd-EOB-DTPA enhanced magnetic resonance texture analysis combined with serological indicators in predicting microvascular invasion in patients with hepatocellular carcinoma CHEN Xin-lei, LI Yu-meng, SUN Xiao-nan, et al. Department of Radiology, the Affiliated Hospital of Xuzhou Medical University, Jiangsu 221000, China

【Abstract】 Objective: To explore the predictive value of texture analysis technology combined with serological indicators based on Gd-EOB-DTPA enhanced hepatobiliary MRI for microvascular invasion (MVI) in hepatocellular carcinoma (HCC). **Methods:** The clinical and MRI data of 206 patients with HCC confirmed by surgery and pathology in our hospital from December 2018 to June 2022 were retrospectively analyzed. All patients underwent liver Gd-EOB-DTPA enhanced four-phase (arterial phase, portal phase, delayed phase and hepatobiliary phase) MRI scans within one month before surgery. The results of four serological indicators including preoperative alpha fetoprotein (AFP), alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), and PIVKA-Ⅱ were recorded. According to the pathological examination results, the patients were divided into MVI group and non-MVI group.

作者单位:221000 江苏徐州,徐州医科大学附属医院影像科

作者简介:陈新蕾(1996-),女,江苏泰州人,硕士研究生,主要从事腹部影像诊断工作。

通讯作者:李绍东, E-mail:LSDD6911@163.com

All patients were divided into training set (91 in the MVI group and 94 in the non-MVI group) and validation set (9 in the MVI group and 12 in the non-MVI group) according to the ratio of 9:1. The differences in texture features of HCC extracted from hepatobiliary phase images and serological indicators between MVI group and non-MVI group were analyzed. Texture features mainly include first-order features of image pixel values and grayscale distribution features that describe the internal and surface textures of tumors. Multiple logistic regression analysis was used to select independent risk factors for MVI in HCC, and ROC curves were plotted for the predictive efficacy of each single variable and combined model for MVI. **Results:** The results of texture analysis showed that GLCM_Energy, SumAverg, DifVarnc and CE_Entropy were significantly higher and Teta-2 was significantly lower in the MVI group compared with the non-MVI group, with statistically significant differences (all $P < 0.05$). The levels of the four serological indexes (ALT, AFP and PIVKA-II) were significantly higher in the MVI group than those in the non-MVI group, with statistically significant differences (all $P < 0.05$). Logistic regression showed that GLCM_Energy (AUC=0.771), CE_Entropy (AUC=0.719) and PIVKA-II (AUC=0.769) were predictors for the occurrence of MVI, and the combination of the three parameters had better predictive efficacy (AUC=0.888) than single parameter in the training set. In the validation group, the texture feature of GLCM_Energy and CE_Entropy, and serological indicator of PIVKA-II could also be used to predict MVI with AUC of 0.688, 0.684 and 0.758 (all $P < 0.001$); and when these three indicators were combined, higher predictive efficacy can be observed (AUC=0.860). **Conclusion:** The combination of texture features (GLCM_Energy and CE_Entropy) from GD-EOB-DTPA enhanced hepatobiliary images and serological marker of PIVKA-II has high predictive value for the presence of MVI in HCC before surgery.

【Key words】 Hepatocellular carcinoma; Microvascular invasion; Texture analysis; Serological index Magnetic resonance imaging

微血管侵犯 (microvascular invasion, MVI) 是肝细胞癌 (hepatocellular carcinoma, HCC) 具有侵袭性的特征之一, 是患者术后复发的重要危险因素^[1-2]。术前预测 MVI 有助于临床医师采取合适的治疗方案和评估患者的预后具有重要的临床意义, 也是近年来研究的热点和难点。病理活检是诊断 MVI 的金标准, 但术前穿刺活检的准确性较低且具有一定侵入性。既往研究已经报道了常规 MRI 纹理分析预测 MVI 的初步价值^[3]。同时, 作为 HCC 患者的常规检查项目之一的血清学指标的检测在 MVI 的诊断和预后评价方面同样具有重要作用^[4]。GD-EOB-DTPA 是肝细胞特异性对比剂, 已初步应用于肝细胞癌微血管侵犯的评价^[5]。本研究中拟对 GD-EOB-DTPA 增强 MRI 纹理分析联合血清肿瘤标志物检测在术前预测 HCC 伴有 MVI 中的价值进行探讨。

材料与方法

1. 研究对象

回顾性分析 2018 年 12 月—2022 年 6 月在本院经手术病理证实为原发性 HCC 患者的影像学数据和临床资料。纳入标准: ①经术后病理证实为 HCC 并能获得是否存在 MVI 的明确诊断; ②术前一个月内接

受 GD-EOB-DTPA 增强 MRI 检查和肿瘤标志物的血清学检查, 后者包括甲胎蛋白 (AFP)、谷丙转氨酶 (ALT)、谷草转氨酶 (AST) 和异常凝血酶原-II (PIVKA-II); ③无其他恶性肿瘤病史。排除标准: ①术前进行消融或栓塞等 HCC 相关治疗; ②病理或影像学检查提示肝内病变为多发; ③术前 MRI 检查提示存在大血管侵犯; ④MRI 图像质量欠佳, 影响判读。

最终将 206 例 HCC 患者纳入本研究。按照 9:1 的比例将所有患者分为训练组及验证组。训练组共纳入 185 例患者, 男 128 例, 女 57 例, 年龄 37~76 岁, 中位年龄 56 岁; 91 例有 MVI, 94 例无 MVI。验证组共纳入 21 例患者, 男 13 例, 女 8 例, 年龄 40~75 岁, 中位年龄 58 岁; 9 例有 MVI, 12 例无 MVI。记录患者的各项临床资料, 包括性别、年龄、身高、体重以及有无肝硬化。

2. MRI 扫描

使用 GE Signal 3.0T 磁共振扫描仪进行 MRI 扫描。常规行 T₁WI、T₂WI 以及肝脏容积加速采集 (liver acquisition with volume acceleration, LAVA) 增强扫描。采用水脂分离及同反向位技术的 LAVA-FLEX 序列进行 T₁WI 扫描; 采用呼吸触发单次激发快速自旋回波 (FSE) 序列进行 T₂WI 扫描; LAVA 增

强扫描主要参数:TR 5.0 ms,TE 2.5/1.3 ms,矩阵 256×180,带宽 142.86 KHz,视野 40 cm×40 cm,层厚 5.0 mm;预扫描蒙片后,利用高压注射器以 2.5 mL/s 的流率静脉注射 Gd-EOB-DTPA,剂量 0.025 mmol/kg,随后注射 20 mL 生理盐水,分别于注射 Gd-EOB-DTPA 后 20 s、70 s、300 s 和 20 min 采集动脉期、门静脉期、延迟期及肝胆期图像,单期扫描时间为 15 s,每期扫描 88 层。

3. 纹理分析

所有患者的 MRI 图像均以 DICOM 格式从 PACS 系统导入 MaZda 4.6 软件进行纹理分析。在纹理特征提取之前,对图像进行预处理,主要步骤:①将图像的像素调整为 12 位;②使用 MaZda 软件对图像灰度进行标准化,减少由于图像对比度和亮度带来的误差。然后,由两位高年资医师(具有 10 年以上工作经验)分别进行 ROI 的勾画:在肝胆期 MRI 图像上选择肿瘤直径最大层面,沿肿瘤的实性区域勾画 ROI,注意避开血管、坏死和囊变区域(图 1)。为了减少主观因素可能带来的误差,这两位医师对所有患者的病情并不知情。每例患者自 ROI 共提取纹理特征参数 837 个。

4. 纹理特征的选择和降维

使用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)分析两位医师自勾画的 ROI 所提取的组学特征值的一致性。ICC>0.75 认为一致性良好。首先排除 ICC<0.75 的纹理特征,以此提高实验的可重复性;然后,对含有方向的纹理特征进行平均整合;随后,

采用随机森林算法剔除次要特征;最后,为了排除不同纹理特征之间的共线性,剔除相关系数值>0.6 的特征。

5. 统计学分析

使用 R 3.5.1 和 SPSS 23.0 软件对数据进行统计分析。采用 Shapiro-Wilk 和 Levene 检验分别对数据进行正态性和方差齐性检验,然后采用 Mann-Whitney *U* 检验(不符合正态分布)或 *t* 检验(符合正态分布)比较 MVI 组与非 MVI 组之间各项纹理特征和血清学指标的差异。最后,采用多因素 logistic 回归分析探究 MVI 的影响因素。

结果

肝细胞癌 MVI 组与非 MVI 组之间临床资料的比较结果见表 1。两组之间 BMI 的差异有统计学意义($P<0.05$),年龄、性别构成和合并肝硬化者的占比在两组之间的差异均无统计学意义($P>0.05$)。

2. 纹理特征提取

本研究中自训练集中每个 HCC 病灶共提取 837 个纹理特征。首先将 ICC<0.75 的 438 个一致性较小的纹理特征剔除;随后,将剩余的特征进行方向选择,对 0°、45°、90°和 135°四个方向的特征值取平均值;再将剩余的 72 个特征采用随机森林法进行降维后,得到 20 个最优纹理特征(图 2)。对这 20 个特征进行相关分析以排除高共线性特征,最终获得 7 个相关性最大的纹理特征:GLCM_Energy, SumAverg, DifVarnrc, CE_Entropy, Teta2, Mean 和 Sigma(图 3)。

表 1 MVI 组与非 MVI 组之间临床资料的比较

指标	总体	非 MVI 组	MVI 组	<i>t</i> / χ^2 值	<i>P</i> 值
年龄/岁	52.4(7.5)	51.9(7.6)	53.0(7.3)	-0.939	0.349
性别/例				0.890	0.345
男	128(69.2%)	68(72.3%)	60(65.9%)		
女	57(30.8%)	26(27.7%)	31(34.1%)		
BMI/kg/m ²	20.6(1.7)	20.9(1.7)	20.3(1.7)	2.595	0.010
合并肝硬化/例	73(39.5%)	37(39.4%)	36(39.6%)	0.001	0.978

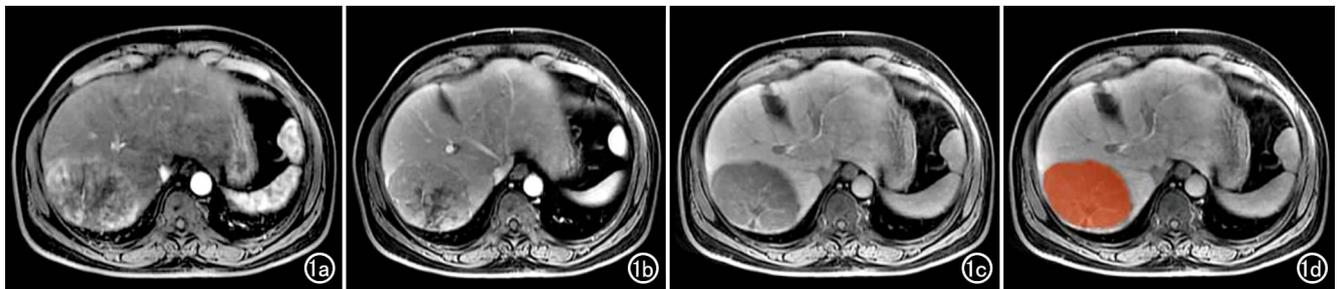


图 1 患者,男,63 岁,发现肝右后叶巨大占位,术后病理证实为 HCC 合并 MVI。a)动脉期图像示肝右后叶内类圆形病灶呈明显不均匀强化;b)门静脉期图像示病灶强化程度减低;c)肝胆期图像示病灶呈低信号,表明病灶总体而言呈“快进快出”样强化;d)使用 MaZda 纹理分析软件,在肝胆期图像上沿病灶边缘勾画 ROI,提取病灶的纹理特征。

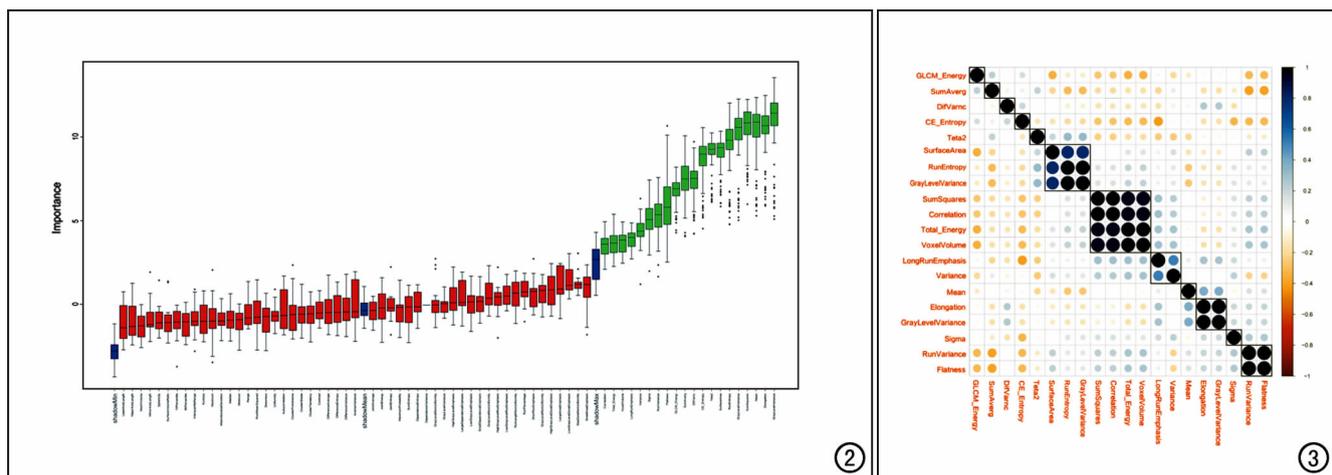


图 2 降维图。将 72 个特征采用随机森林法进行降维,图中显示每个变量的重要性(纵坐标为变量重要性),再进行方差检验筛选出 20 个特征(绿色框)。图 3 20 个特征的相关性热图。将 20 个特征相互之间进行相关性分析,每个小方格表示每 2 个对应特征(横、纵坐标)之间的相关系数,其颜色表示相关性大小,相关性越大颜色越深,最终获得 7 个相关性最大的纹理特征,分别为 GLCM_Energy、SumAverg、DifVarnc、CE_Entropy、Teta2、Mean 和 Sigma。

对 7 项纹理特征进行组间比较,结果显示:MVI 组的 GLCM_Energy、SumAverg、DifVarnc 和 CE_Entropy 值显著高于非 MVI 组,而 Teta2 值显著低于非 MVI 组,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。

3. 血清学指标分析

两组的血清学指标测量值及组间比较详见图 4。统计分析结果显示,MVI 组的 ALT、AFP 和 PIVKA-II 水平均高于非 MVI 组,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。

4. 纹理特征、血清学指标及联合模型预测 MVI 的效能

在校正相关协变量后,MVI 组的 GLCM_Energy 和 CE_Entropy 仍显著高于非 MVI 组($P < 0.05$),而其它纹理特征的组间差异无统计学意义($P > 0.05$);在校正相关协变量后血清学指标中仅 PIVKA-II 值的组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。基于上述的 2 项纹理特征和 1 项血清学指标构建的联合模型预测 MVI 的 ROC 曲线如图 5 所示。Logistic 回归分析结果见表 2。统计分析结果显示 GLCM_Energy、CE_Entropy 和 PIVKA-II 均对 HCC 发生 MVI 具有一定的预测效能($P < 0.001$)。

联合上述 2 项纹理特征及血清学指标 PIVKA-II

构建的联合模型对 HCC 发生 MVI 具有更高的预测效能(图 5),AUC 达 0.888(95%CI:0.833~0.930),敏感度为 84.6%(95%CI:75.5%~91.3%),特异度为 79.8%(95%CI:70.2%~87.4%)。

5. 独立队列验证

在验证集中,使用训练集拟合模型在验证集上测试模型,通过比较不同模型的测试 MSE 选出最佳模型,结果表明,纹理特征 GLCM_Energy、CE_Entropy 和血清学指标 PIVKA-II 能够预测 MVI($P < 0.05$);联合模型具有更高的预测效能,AUC 为 0.860(95%CI:0.726~0.944),详见表 2。

讨论

建立合适的预测模型是术前预测 MVI 的一种较被广泛认可的方法^[6],本研究中初步探讨了基于 Gd-EOB-DTPA 增强 MRI 提取的纹理特征联合肿瘤标志物相关的血清学指标在术前预测 MVI 中的价值,结果表明基于 MRI 纹理特征与血清学指标构建的联合模型在术前预测 HCC 伴有 MVI 中具有较高的应用价值,有利于提高预测效能。

对于 HCC MVI 的预测,既往的临床研究中采用了多种模式。基于 HCC 患者的 DWI 图像预测 MVI

表 2 独立影响因素和联合模型在验证集中预测 HCC 合并 MVI 的效能

参数/模型	AUC(95%CI)	敏感度	特异度	诊断阈值	P 值
GLCM_Energy	0.688(0.535~0.817)	68.20%	66.73%	0.219	0.017
CE_Entropy	0.684(0.530~0.813)	72.69%	70.78%	2.600	0.025
PIVKA-II	0.758(0.609~0.872)	72.31%	74.96%	65.000	<0.001
联合模型	0.860(0.726~0.944)	86.42%	75.01%	0.465	<0.001

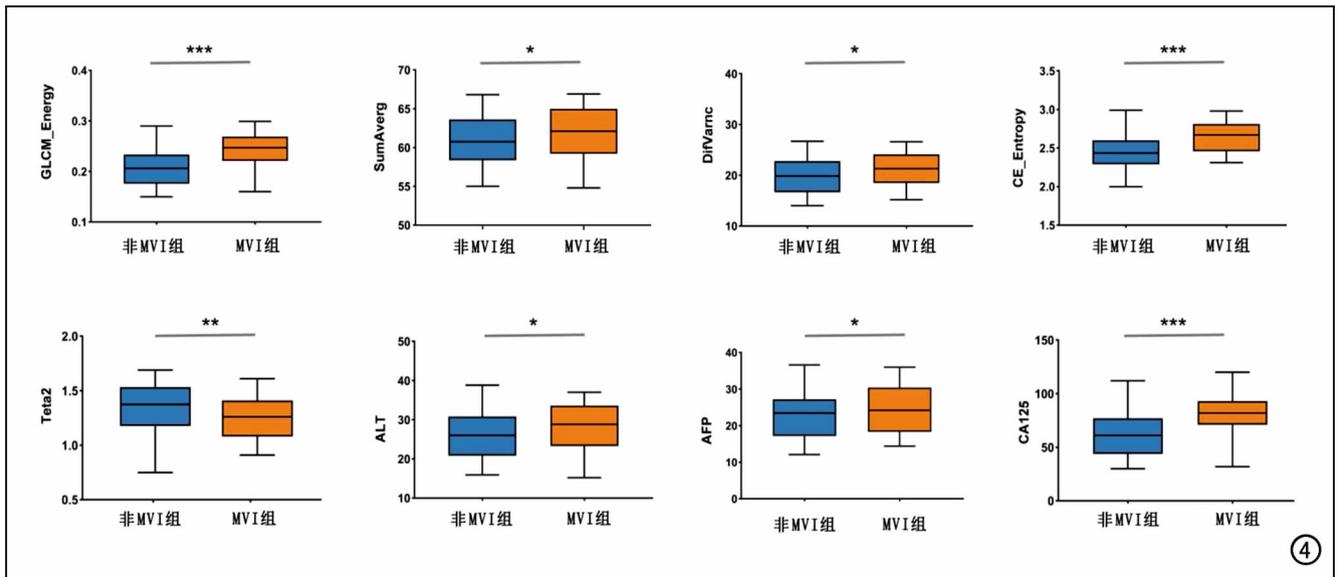


图 4 7 个相关性最大的纹理特征及 3 个血清学指标测量值的箱式图及组间差异分析结果。MVI 组的 2 个纹理特征(GLCM_Energy、CE_Entropy)和血清学指标 PIVKA-Ⅱ 的均值显著高于非 MVI 组,组间差异均有统计学意义。注: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$ 。

的研究结果显示,因 MVI 1~2 级的病灶内毛细血管微循环血流灌注减低,故病灶的 ADC 值下降^[7,8],但 DWI 稳定性相对较差,总体而言相关研究结果的准确性不够高。基于 MR T₂WI 的纹理分析预测 MVI 的研究结果表明,T₂WI 因其较好的分辨率、一致性和可重复性,在术前预测 HCC 合并 MVI 方面具有一定价值,预测的准确性较高^[3]。但由于选取的参数单一,尚需探讨能否基于其它序列(动态增强)的图像提取更多有意义的纹理特征信息。

本研究中联合运用基于 Gd-EOB-DTPA 增强肝胆期磁共振图像的纹理分析和血清学指标的检测来探讨其预测 HCC 合并 MVI 的价值^[9]。首先,作为肝胆特异性 MRI 对比剂,具有正常功能的肝细胞在摄取 Gd-EOB-DTPA 对比剂后的肝胆期表现为明显强化呈高信号,肝细胞功能受损或不含正常功能肝细胞的病变对 Gd-EOB-DTPA 的摄取能力下降,导致其肝胆期

信号不同程度减低,故此期图像上肿瘤组织与周围肝实质的信号差异较使用常规对比剂时更为明显,且肿瘤的边界更清晰,使得对肝癌病灶的分割更加准确^[10]。此外,肝胆期图像在一定程度上能反映肝癌细胞的分化程度,不同分化程度的 HCC 发生 MVI 的风险不同^[11]。因此,本研究中选择肝胆期图像进行纹理分析。其次,纹理分析技术是放射学领域一种较新的研究方法,该方法能够从图像中提取高通量信息,并将其转换为可进行分析的定量数据。此外,有研究结果显示部分临床血清学指标,如 AFP、去饱和- γ -羟基凝血酶原(DCP)、PIVKA-Ⅱ、血小板与淋巴细胞的比值(PLR)、中性粒细胞与淋巴细胞的比值(NLR)、淋巴细胞与单核细胞的比值(LMR)和天冬氨酸转氨酶与血小板比值(APRI)等,与 HCC 患者 MVI 的发生和发展密切相关^[12]。因此,血清学指标的检测常作为肝脏肿瘤患者术前的一项常规检查项目,并且血清学指

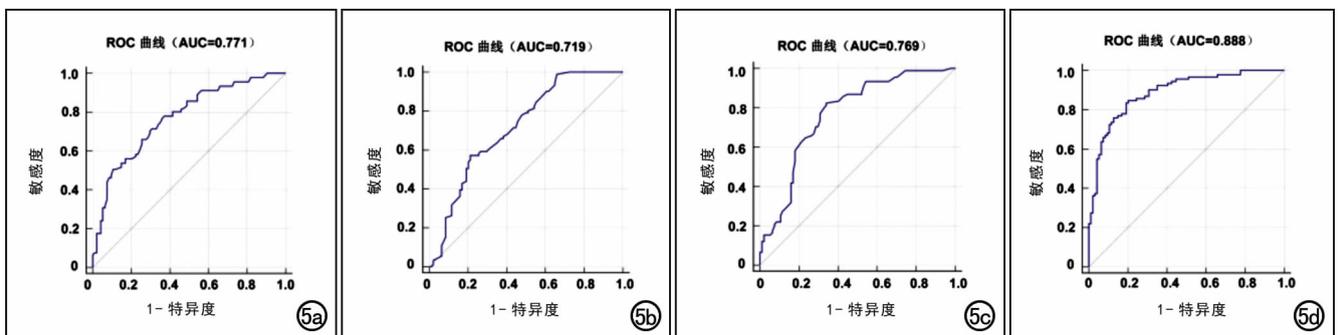


图 5 各单一变量及联合模型对 MVI 预测效能的 ROC 曲线。a)GLCM_Energy,AUC 为 0.771(95%CI: 0.704~0.829);b)CE_Entropy,AUC 为 0.719(95%CI:0.648~0.782);c)PIVKA-Ⅱ,AUC 为 0.769(95%CI:0.701~0.827);d)联合模型,AUC 为 0.888(95%CI:0.833~0.930)。

标相对于病理及影像学资料而言,在临床实践中更易获得,其准确性、客观性较强,因此利用血清学指标建立预测模型对于 MVI 的早期预测具有较高的临床实用价值^[4,13]。

本研究中对自每个病灶 ROI 初步提取的 837 个纹理特征进行统计学降维后,筛选出 7 个独立的纹理特征,再进行组间比较,获得组间差异有统计学意义的 5 个纹理特征,采用 ROC 曲线分析这 5 个参数对 MVI 的预测效能,结果显示 GLCM_Energy 和 CE_Entropy 的 AUC 分别为 0.771 和 0.719。GLCM_Energy(能量)是灰度共生矩阵各元素值的平方和,是度量图像纹理灰度变化的稳定程度的指标,反映了图像灰度分布均匀程度和纹理粗细度。能量值大表明图像上 ROI 内是一种规则变化的较为稳定的纹理。CE_Entropy(熵),用于估计 ROI 内灰度像素强度的不均匀性和不规则性。较高的熵值反映了更大的成像不均匀性,它可能是组织病理学上显示的肿瘤异质性和侵袭性的一种成像生物标志物。在广谱的纹理特征的分析中,熵已被证明是局灶性肝脏病变的一个潜在预测因子^[6]。另外,本研究结果显示组间差异有统计学意义的血清学指标为 PIVKA-II,其 AUC 为 0.769,与 Poté 等^[14]的研究结果基本一致。PIVKA-II 在一定程度上反映了机体在对抗肿瘤生长的平衡状态^[15]。有研究表明,与术前血清内低水平 PIVKA-II 的 HCC 患者相比,术前血清内高水平 PIVKA-II 的 HCC 患者更容易形成门静脉癌栓和微血管浸润^[16]。虽然这些参数在一定程度上能反映 MVI 组与非 MVI 组之间肿瘤的异质性,但单一参数预测 HCC 伴有 MVI 的效能较低。进一步分析比较纹理特征及纹理特征联合血清学指标诊断 MVI 的效能,结果显示,纹理特征联合血清学指标的诊断效能明显高于单一的纹理特征,联合模型的 AUC 提高至 0.888,敏感度达 84.62%,特异度为 79.79%。并且在验证组中也能获得较好的预测效能。

目前,已有学者报道了增强 MRI 纹理分析在预测 HCC 合并 MVI 中的应用价值。马霄虹等^[17]基于常规增强 MRI 的纹理分析预测 HCC 合并 MVI,训练集中动脉期和门静脉期影像组学模型诊断 MVI 的 ROC 下面积分别为 0.774 和 0.681,基于动脉期纹理特征构建的模型预测准确性更高,但其 AUC 略低于本研究中 Gd-EOB-DTPA 增强 MRI 肝胆期纹理特征 GLCM_Energy 和 CE_Entropy 的 AUC(分别为 0.771 和 0.719),其原因可能是上述研究采用常规 Gd 对比剂进行增强 MRI,而本研究中采用 Gd-EOB-DTPA 作为对比剂,选取的是肝胆期增强图像,所提取的特征能更准确地反映 HCC 的异质性等相关信息。黄京城等^[18]对增强 MRI 动脉期、门静脉期及延迟期图像分别进行

影像组学特征的提取,选择最优影像组学模型并结合临床-影像特征模型构建临床-影像-组学模型。结果显示 3 期联合影像组学模型的诊断效能达到最优,在训练组与测试组中的 AUC 分别为 0.934 及 0.911,其 AUC 高于本研究中的结果,其原因可能是采用了 3 期图像来提取纹理特征。张泳欣等^[19]建立了一个基于临床-影像特征及血液学指标的预测模型,其术前预测肝癌 MVI 的 AUC 为 0.895,略高于本研究中的联合模型,其原因可能是上述研究在评估影像特征时,较本研究中纳入了更多的临床和影像特征,如淋巴结计数、VEGF-A 血清浓度等指标,既往已有研究结果表明这些指标是 MVI 的重要预测因子^[20]。

本研究存在一定的局限性:第一,这是一项回顾性研究,可能存在样本选择偏倚;第二,纹理分析中 ROI 边界的勾画由放射科医师手动完成,受个人经验的影响较大;第三,仅对本研究中纳入的病例基于是否存在 MVI 进行分组和评价,而实际工作中 HCC MVI 分为三个级别,MVI 0 级(即本研究中的 HCC 无 MVI)、MVI 1 级、MVI 2 级(MVI 1 级和 MVI 2 级即本研究中的 HCC 合并 MVI),尚需要针对 MVI 分级进一步展开研究。

综上所述,基于 Gd-EOB-DTPA 增强肝胆期 MRI 图像提取的纹理特征(GLCM_Energy 和 CE_Entropy)和血清学肿瘤标志物(PIVKA-II)构建的联合模型可用于术前预测 HCC 合并 MVI,且具有较高的预测效能。

参考文献:

- [1] Zhao H, Hua Y, Dai T, et al. Development and validation of a novel predictive scoring model for microvascular invasion in patients with hepatocellular carcinoma[J/OL]. Eur J Radiol, 2017, 88: e32-e40[Epub 2016 Dec 27.]. DOI:10.1016/j.ejrad.2016.12.030
- [2] 张小晶,王琳.微血管侵犯在肝癌综合诊断与治疗中的临床意义[J].中华消化外科杂志,2019,18(4):336-341.
- [3] 刘健萍,成东亮,廖玉婷,等.探讨基于 MR-T₂WI 纹理分析预测肝癌微血管侵犯的初步价值[J].临床放射学杂志,2021,40(8):1625-1628.
- [4] Li H, Li T, Hu J, et al. A nomogram to predict microvascular invasion in early hepatocellular carcinoma[J]. Cancer Res Ther, 2021, 17(3):652-657.
- [5] Lee S, Kim SH, Lee JE, et al. Preoperative gadoteric acid-enhanced MRI for predicting microvascular invasion in patients with single hepatocellular carcinoma[J/OL]. Hepatol, 2017, 67(3): e526-e534[2017 may 6.]. DOI:10.1016/j.jhep.2017.04.024.
- [6] Wang Q, Li C, Zhang J, et al. Radiomics models for predicting microvascular invasion in hepatocellular carcinoma: a systematic review and radiomics quality score assessment[J/OL]. Cancers (Basel), 2021, 13(22): e5864[2021 Nov 22.]. DOI:10.3390/cancers13225864.
- [7] 冯晴,贺倩,汤化民,等.扩散加权成像评估肝细胞肝癌微血管侵

- 犯价值的 Meta 分析[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(8): 1487-1491.
- [8] Liao CC, Cheng YF, Yu CY, et al. A scoring system for predicting microvascular invasion in hepatocellular carcinoma based on quantitative functional MRI[J/OL]. J Clin Med, 2022, 11(13): e3789 [2022 Jun 30]. DOI:10.3390/jcm11133789.
- [9] 焦琳琳, 段崇锋, 于海洋, 等. 钆塞酸二钠增强 MRI 定量及定性评价肝癌微血管侵犯的价值[J]. 放射学实践, 2021, 36(8): 1026-1031.
- [10] Feng ST, Jia Y, Liao B, et al. Preoperative prediction of microvascular invasion in hepatocellular cancer: a radiomics model using Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI[J]. Eur Radiol, 2019, 29(9): 4648-4659.
- [11] 莫志英, 廖锦元. 钆塞酸二钠增强 MRI 肝胆期评估肝细胞癌分化程度的价值[J]. 医学影像学杂志, 2022, 32(8): 1301-1305.
- [12] Zheng J, Seier K, Gonen M, et al. Utility of serum inflammatory markers for predicting microvascular invasion and survival for patients with hepatocellular carcinoma [J]. Ann Surg Oncol, 2017, 24(12): 3706-3714.
- [13] 张增瑞, 朱文钿. 血清学指标及相关模型预测肝细胞癌微血管侵犯的研究进展[J]. 肝胆胰外科杂志, 2021, 33(9): 568-572.
- [14] Poté N, Cauchy F, Albuquerque M, et al. Performance of PIVKA-II for early hepatocellular carcinoma diagnosis and prediction of microvascular invasion[J]. J Hepatol, 2015, 62(4): 848-854.
- [15] Wang SY, Su TH, Chen BB, et al. Prothrombin induced by vitamin K absence or antagonist-II (PIVKA-II) predicts complete responses of transarterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma[J]. J Formos Med Assoc, 2022, 121(8): 1579-1587.
- [16] Guan MC, Ouyang W, Liu SY, et al. Alpha-fetoprotein, protein induced by vitamin K absence or antagonist-II, lens culinaris agglutinin-reactive fraction of alpha-fetoprotein alone and in combination for early detection of hepatocellular carcinoma from non-alcoholic fatty liver disease: a multicenter analysis[J/OL]. Hepatobiliary Pancreat Dis Int, 2022; S1499-3872(22)00121-7. DOI:10.1016/j.hbpd.2022.05.003.
- [17] 马霄虹, 朱永健, 王爽, 等. 增强 MRI 纹理分析术前预测原发性肝癌微血管侵犯的价值[J]. 中华放射学杂志, 2018, 52(5): 327-332.
- [18] 黄京城, 刘金韵, 胡景卉, 等. 增强 MRI 影像组学对肝癌微血管侵犯的预测价值[J]. 放射学实践, 2022, 37(10): 1243-1248.
- [19] 张泳欣, 张水兴, 肖学红, 等. 基于影像学和血清学特征构建的列线图模型可较好预测原发性肝细胞癌的微血管浸润[J]. 分子影像学杂志, 2022, 45(4): 518-525.
- [20] Wang H, Lu Y, Liu R, et al. A non-invasive nomogram for preoperative prediction of microvascular invasion risk in hepatocellular carcinoma[J/OL]. Front Oncol, 2021, 11: e745085 [2021 Dec 24]. DOI:10.3389/fonc.2021.745085.

(收稿日期: 2022-12-10 修回日期: 2023-04-11)