

• 腹部影像学 •

增强 MRI 影像组学对肝癌微血管侵犯的预测价值

黄京城, 刘金韵, 胡景卉, 侯承师, 潘先攀, 罗先富

【摘要】目的:探讨基于增强 MRI 影像组学方法对肝细胞肝癌微血管侵犯(MVI)的术前预测价值。**方法:**回顾性分析 108 例经手术病理证实为肝细胞肝癌病例的临床及增强 MRI 图像资料, 其中 MVI 阳性 45 例, MVI 阴性 63 例。对增强 MRI 动脉期(AP)、门静脉期(PVP)及延迟期(DP)图像进行影像组学特征提取, 筛选最有价值的组学特征, 采用五折交叉验证将样本量训练组和测试组, 对训练组构建基于 AP、PVP、DP 及基于 3 期特征融合的影像组学联合逻辑回归模型, 并对 MVI 的独立预测因子构建逻辑回归模型。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。所有模型结果均用五折交叉均值表示。模型采用受试者工作特征曲线(ROC)分析模型的有效性, 并用测试组进一步验证。**结果:**MVI 临床影像特征的独立预测因素包括甲胎蛋白、肿瘤最大径、瘤内动脉及包膜情况。临床影像特征模型在训练组的诊断效能 ROC 曲线下面积(AUC)值 0.864, 测试组 AUC 值 0.843。AP、PVP、DP 及 3 期联合模型在训练组的诊断效能 AUC 值分别为 0.898、0.874、0.894 及 0.898, 测试组 AUC 值分别为 0.861、0.864、0.86 及 0.881。Delong 检验分析发现测试组中增强 MRI 影像组学模型中 3 期联合模型的诊断效能较高, 其与临床影像特征结合建立的临床影像组学模型诊断性能达到最优, 训练组与测试组 AUC 值为 0.934 及 0.911。**结论:**基于增强 MRI 建立的临床影像组学模型能够在术前无创地评估和预测 MVI。

【关键词】 影像组学; 磁共振成像; 癌, 肝细胞; 微血管侵犯

【中图分类号】 R445.2; R730.261 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2022)10-1243-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.10.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The microvascular invasion predictive value of radiomics based on MRI enhancement in the patients with hepatocellular carcinoma HUANG Jing-cheng, LIU Jing-yun, HU Jing-hui, et al. Department of radiology, Northern Jiangsu Peoples Hospital, Dalian Medical University, Liaoning 116011, China

【Abstract】 Objectives: To investigate the microvascular invasion (MVI) predictive value of radiomics based on MRI enhancement in preoperative patients with hepatocellular carcinoma (HCC). **Methods:** The clinical data and MRI enhancement images of 108 patients with HCC (MVI positive: n=63, MVI negative: n=45) that were confirmed by operative pathology were analyzed retrospectively. The radiomics features of MRI enhancement arterial phase (AP), portal venous phase (PVP) and delayed phase (DP) images were extracted respectively. The most valuable radiomics feature were screened. The sample was divided to training group and test group with Five-fold cross-validation. The logical regression model was constructed based on AP, PVP, DP and three-phase feature combined in training group. The logical regression model of the independent predictors of MVI was constructed. The clinical radiomics model was constructed by combination the optimal radiomics model with the clinical imaging feature model. All model results are represented with Five-fold crossover mean. The validity of all the model were analyzed by the receiver operating characteristic (ROC) curve. The validity of all the model were further verified in the test group. All of the model predictive efficiency were analysed with Delong test. **Results:** The independent predictors of MVI clinical imaging features include alpha-fetoprotein, maximum tumor diameter, intratumoral artery and capsule. The area under the ROC curve

作者单位: 116011 辽宁, 大连医科大学, 大连医科大学附属第一医院影像科(黄京城、刘金韵、侯承师); 225001 扬州, 苏北人民医院医学影像科(黄京城、刘金韵、胡景卉、侯承师、罗先富); 225001 扬州, 扬州大学临床医学院(胡景卉); 200030 上海, 上海联影智能医疗科技有限公司(潘先攀)

作者简介: 黄京城(1995—), 男, 安徽蚌埠人, 硕士研究生在读, 住院医师, 主要从事肝脏疾病组学与深度学习应用。

通讯作者: 罗先富, E-mail: xianfu-luo@hotmail.com

(AUC) of the clinical image feature model is 0.864 in the training group. The AUC of clinical image feature model is 0.843 in the test group. The AUC values of AP, PVP, DP and three-phase combined model in the training group are 0.898, 0.874, 0.894 and 0.898 respectively. The AUC values of AP, PVP, DP and three-phase combined model in the test group are 0.861, 0.864, 0.86 and 0.881, respectively. The MVI predictive efficiency of the three-phase combined model is higher than the other of the MRI enhancement imaging model in the test group. The MVI predictive efficiency of the clinical radiomics model is the best. The AUC values of the clinical radiomics model is 0.934 and 0.911 in the training group and the test group respectively. **Conclusion:** The clinical radiomics model based on MRI enhancement can evaluate and predict MVI noninvasively in preoperative patients with HCC.

【Key words】 Radiomics; Magnetic resonance imaging; Carcinoma, hepatocellular; Microvascular invasion

微血管侵犯(microvascular invasion, MVI)是肝癌手术治疗后复发的最重要因素之一^[1-3]。与大血管侵犯相反,MVI是一种微观组织病理学发现,只能通过手术后获取的标本进行病理诊断,所以MVI的术前预测仍然具有挑战性。研究发现肿瘤大小、多结节肿瘤形态、肿瘤边缘和瘤周增强等传统影像特征与MVI相关^[4-6]。高级磁共振定量成像基于体素内不相干运动成像(intravoxel incoherent motion imaging, IVIM)表明MVI阳性组D值显著低于阴性组,是MVI的有用的术前预测因子^[7]。目前,这些用于肝细胞肝癌术前MVI影像学诊断的标准尚未得到广泛认可。

影像组学是一门快速发展的学科,可通过计算机算法提取定量的图像特征,挖掘图像中的隐藏信息。Xu等^[8]基于增强CT建立的影像组学模型能够在术前达到对MVI很好的预测效果,而Yang等^[9]利用普美显MRI成像构建列线图的方式预测肝细胞肝癌MVI具有很高的准确性,训练组曲线下面积(area under curve, AUC)值0.861。本研究基于增强MRI组学的基础并纳入患者临床指标及其传统影像学特征,采用五折交叉方法,旨在探讨基于增强MRI联合相关临床及影像特征建立组学模型对肝癌微血管浸润的术前预测价值。

材料与方法

1. 研究对象

本研究通过医院伦理管理委员会批准,免除患者知情同意书。回顾性分析2018年1月—2021年1月符合以下标准的患者资料。纳入标准:①经手术病理证实为肝细胞肝癌,并明确有无MVI;②术前2周内进行过腹部增强MRI检查、图像质量满足要求;③单发肿瘤,且无大血管侵犯(门静脉或肝静脉侵犯)及远处转移;④无相关肝细胞肝癌治疗的既往史(肝切除史、化疗栓塞、放疗等);⑤手术前肝功能为Child-Pugh分级A或B级。排除标准:①患者临床资料不

完整;②MRI图像质量差、存在运动伪影或者难以绘画感兴趣区。搜集患者术前1周的临床资料,主要包括年龄、性别、乙肝表面抗原、肝功能分级(Child-Pugh)、甲胎蛋白(AFP)水平及肝硬化情况。

2. MRI成像方法

MRI扫描采用3.0T扫描仪(美国GE Discovery MR750),8通道体部相控阵线圈,外加呼吸门控软管,扫描序列屏气轴面T₁WI快速容积采集(LAVA)平扫和增强序列:TR 4.1 ms, TE 1.9 ms, 层厚 5 mm, 层间距 2.5 mm, FOV 40 cm×32 cm, 矩阵 320×244。增强扫描时经肘静脉以2.0 mL/s流率高压注射对比剂钆喷酸葡胺0.1 mmol/kg,之后以同样流率注入20 mL生理盐水冲管,在注射对比剂后的20~25 s、50~65 s以及160~180 s内行动态3期增强扫描,每次屏气16 s完成1期扫描,扫描范围覆盖全部肝脏。

3. 图像处理与分析

图像处理:将患者的动脉期(arterial phase, AP)、门静脉期(portal venous phase, PVP)及延迟期(delayed phase, DP)的原始图像以DICOM格式导入上海联影智能科技有限公司开发的“uAI Research Portal”智能平台,采用其内置的影像标注工具对增强MRI3期图像进行感兴趣(region of interest, ROI)勾画。ROI由1名具有5年影像学诊断经验的放射科医师在AP图像上手动逐层勾画,然后将ROI分别拷贝到PVP及DP图像上,最后再由1名从事腹部疾病诊断15年以上的放射科医师对ROI逐层进行校对,最终确认分割结果(图1,2)。

图像的定性分析:MR图像分别由具有10年和20年腹部MR诊断经验的2名放射科医师独立审查。如有异议经讨论达成共识。两名放射科医生都知道病变是肝细胞肝癌,但对所有其他临床、实验室和组织病理学信息不知情。两位放射科医师评估了肝细胞肝癌的以下图像特征:①肿瘤最大径:定义为轴面PVP图像上测量的最大直径;②肿瘤边缘:定义为在MRI图

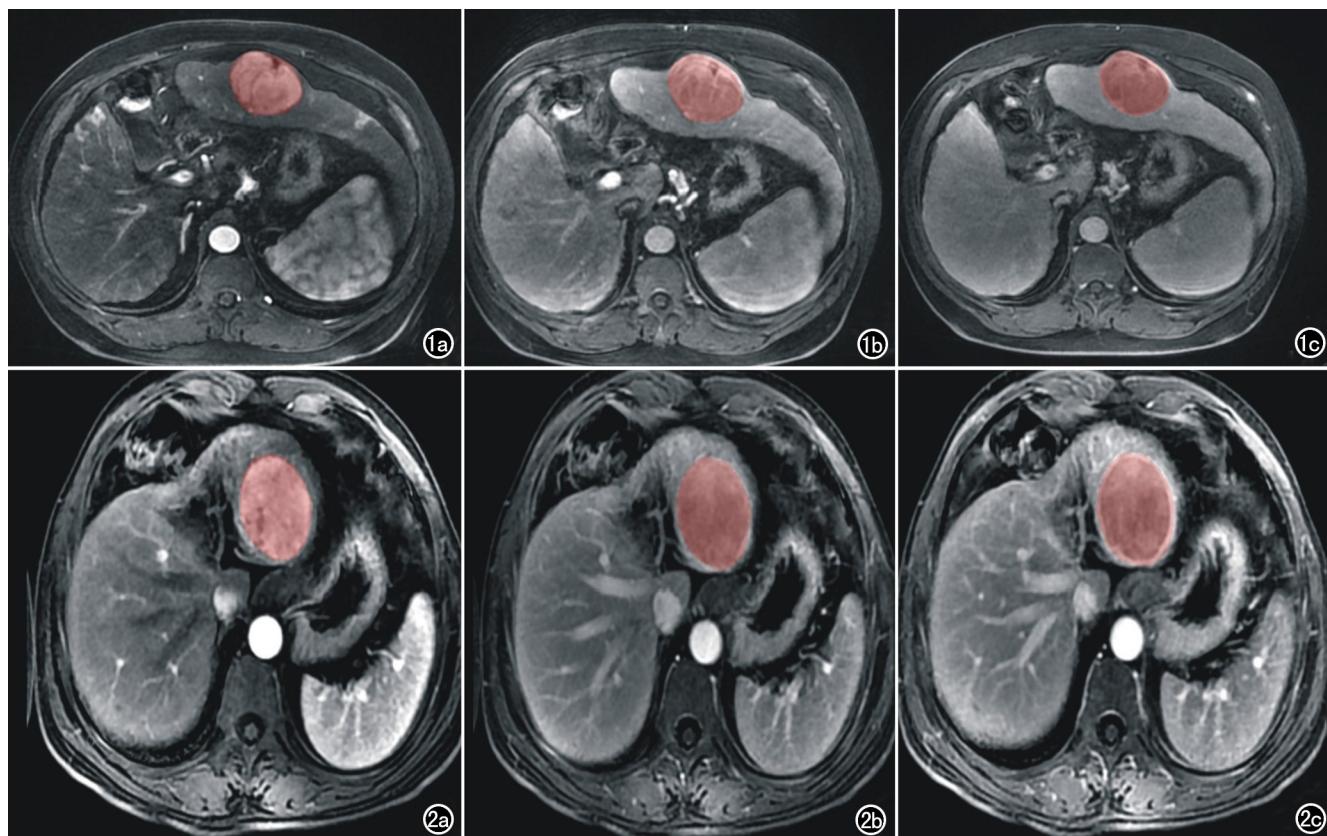


图 1 男,50岁,肝细胞肝癌(高分化),MVI(+),AFP<400 ng/mL,轴面最大直径约5.0 cm。a)动脉期;b)门静脉期;c)延迟期。红色区域为病灶最大层面的兴趣区(ROI)。

图 2 男,53岁,肝细胞肝癌(中-高分化),MVI(-),AFP<400 ng/mL,轴面最大直径约5.6 cm。a)动脉期;b)门静脉期;c)延迟期。红色区域为病灶最大层面的兴趣区(ROI)。

像上看到的肿瘤与正常肝实质之间的界面,在门脉期或延迟期图像上将肿瘤边缘分为光整和不光整,肿瘤边缘光滑表现为轮廓光滑的结节状肿块,肿瘤边缘不光滑表现为非结节状肿瘤具有不规则边缘,肿瘤边缘呈出芽状突入周围肝实质;③肿瘤包膜:动脉期图像上肿瘤周围的低信号环,延迟期有强化呈高信号,据包膜完整情况分类为包膜不完整和包膜完整;④瘤内动脉:定义为动脉期图像上肿瘤内持续出现的不连续强化的血管影;⑤瘤周强化:定义为动脉期晚期或门静脉期早期病灶周围的片状强化;⑥强化模式:是否典型“快进快出”强化方式。

4. 特征筛选及组学模型建立

特征筛选在联影 uAI 科研平台进行,通过 Z 分数归一化方法对不同特征的尺度进行统一,使得量化后的特征尺度分布在 [0,1] 之间,再经 LASSO 算法进行降维处理,筛选基于 AP、PVP、DP 及 3 期最优特征联合后的最具价值的组学特征。采用五折交叉验证,将样本分为训练组与测试组。利用筛选后的影像组学特征在训练组中构建逻辑回归模型,共建立 4 个影像组学模型,包括 AP、PVP、DP 和 3 期最优特征联合后

的逻辑回归模型。另外,采用 Logistic 回归分析整合临床及增强 MRI 影像学特征的 MVI 独立危险因素,结合逻辑回归模型构建临床影像特征模型,对最优组学模型的特征和临床影像学特征进行同样筛选,构建临床影像组学模型。所有结果用五折交叉验证的平均值表示。采用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)分析各个模型的预测效能,并分别计算其 ROC AUC、灵敏度、特异度及准确率。

5. 统计分析

采用 SPSS 23.0 软件对临床资料及实验室指标进行统计学分析。正态性检验采用 Kolmogorov-Smirnov 法,计量资料若符合正态分布以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,两组之间比较采用独立样本 t 检验;呈非正态分布的计量资料以中位数和四分位数间距 [$M(P_{25}, P_{75})$] 表示,采用 Mann-Whitney U 检验。定性参数以病例数(%)表示,并采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验比较两组之间的差异。然后将单因素分析差异有统计学意义($P < 0.10$)的因素进一步采用多因素 logistic 回归分析,最终确定评估 MVI 的临床独立预测

因素。采用 Medcalc 19.5.6 软件中的 DeLong 检验比较影像组学模型、临床-影像学特征模型及联合模型之间的差异。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 临床特征

本研究分析了 2018 年 1 月至 2021 年 1 月肝细胞肝癌患者共计 228 例, 经纳入及排除标准筛选后, 最终共计 108 例患者纳入研究, 其中男 87 例(80.6%), 女 21 例(19.4%), 平均年龄(63±10)岁(表 1)。根据组织病理学结果, 将患者分为 MVI 阳性组(45 例)和 MVI 阴性组(63 例)。通过单因素分析患者临床及增强 MR 影像学特征, 发现 AFP、肿瘤最大径、瘤内动脉、包膜情况与 MVI 有关, 差异有统计学意义(表 1); 多因素 Logistic 回归分析显示 AFP、肿瘤最大径、瘤内动脉及包膜情况是 MVI 的独立危险因素(表 2)。

表 1 肝细胞肝癌患者临床特征及增强 MRI 影像学特征的单因素分析

组别	MVI 阳性组 (n=45)	MVI 阴性组 (n=63)	检验值 (Z/t/χ²)	P
年龄(岁)	64±9	63±10	0.508	0.613
性别(%)			2.569	0.109
男	33(73.3)	54(85.7)		
女	12(26.7)	9(14.3)		
乙肝表面抗原(%)			2.455	0.117
阳性	33(73.3)	37(58.7)		
阴性	12(26.7)	26(41.3)		
Child-Pugh 分级(%)			0.009	0.923
A	39(86.7)	55(87.3)		
B	6(13.3)	8(12.7)		
AFP(ng/mL)			7.957	0.005
<400	27(60)	53(84.1)		
≥400	18(40)	10(15.9)		
肝硬化(%)			1.026	0.311
有	22(48.9)	37(58.7)		
无	23(51.1)	26(41.3)		
肿瘤最大径	6.0(4.5, 9.8)	3.3(2.3, 4.9)	-4.597	<0.001
≤5cm	15(33.3)	51(81)	25.046	<0.001
>5cm	30(66.7)	12(19)		
瘤内动脉(%)			17.673	<0.001
有	28(62.2)	14(22.2)		
无	17(37.8)	49(77.8)		
瘤周强化(%)			1.714	0.190
有	10(22.2)	8(12.7)		
无	35(77.8)	55(87.3)		
肿瘤边缘(%)			2.651	0.104
不光滑	22(48.9)	21(33.3)		
光滑	23(51.1)	42(66.7)		
肿瘤包膜情况(%)			9.275	0.002
不完整	26(57.8)	18(28.6)		
完整	19(42.2)	45(71.4)		
典型强化方式(%)			0.719	0.396
是	22(48.9)	36(57.1)		
否	23(51.1)	27(42.9)		

表 2 肝细胞肝癌患者 MVI 危险因素的多因素 logistic 回归分析

危险因素	β	OR	95% 可信区间(CI)	P
AFP	-1.505	0.222	0.074~0.664	0.007
肿瘤最大径(cm)	-0.273	0.761	0.625~0.926	0.006
瘤内动脉	-1.319	0.268	0.093~0.770	0.015
包膜情况	-1.308	0.270	0.100~0.728	0.01

2. 临床影像特征模型建立

采用五折交叉验证将 108 例患者分为训练组和测试组, 结合 MVI 独立危险因素包括 AFP、肿瘤最大径、瘤内动脉及包膜情况, 采用逻辑回归模型对训练组进行临床影像特征模型的建立, 为防止过度拟合采用五折交叉验证, 结果以均值表示。得出训练组模型诊断肝细胞肝癌 MVI 的 ROC 曲线下面积 AUC = 0.864, 敏感度 0.849, 特异度 0.678, 准确率 0.778。测试组肝细胞肝癌 MVI 的 AUC 值 0.843, 敏感度 0.841, 特异度 0.644, 准确率 0.76(表 3)。

3. 影像组学特征筛选及模型建立

用相同的方法将增强 MRI 3 期各自筛选后的 7 个、6 个、6 个影像组学特征, 其中动脉期包括 3 个一阶特征、2 个灰度级带矩阵(GLSZM)特征、1 个灰度共生矩阵(GLCM)特征和一个灰度依赖矩阵(GLDM)特征, 门静脉期包括 4 个一阶特征和 2 个灰度行程矩阵(GLRLM)特征, 延迟期包括 3 个 1 阶特征、2 个灰度共生矩阵(GLCM)特征和 1 个灰度级带矩阵(GLSZM)特征, 构建训练组 AP、PVP 及 DP 的逻辑回归模型。训练组各期影像组学模型诊断 MVI 的 ROC 曲线下面积 AUC 分别为 0.898、0.874 及 0.894(图 3a), 测试组对各期逻辑回归模型的诊断效能进行验证, ROC 曲线下面积 AUC 分别为 0.861、0.864 及 0.86(图 3b)。测试组 PVP 模型的诊断效能略高于 AP 及 DP, 将 3 期筛选出的共 19 个特征经相同方法筛选, 得到 6 个最优影像组学特征, 包括动脉期的 3 个纹理特征: 2 个灰度级带矩阵(GLSZM)和 1 个灰度依赖矩阵(GLDM); 门脉期的 2 个特征: 1 个形状特征(Sphericity)和 1 个偏度特征(Skewness); 和一个延迟期的形状特征(MajorAxisLength), 构建的 3 期联合模型训练组及测试组 AUC 分别为 0.898、0.881。最后将 3 期联合最优特征与临床影像特征结合, 经同样的方法筛选后建立的临床影像组学模型的训练组及测试组

表 3 训练组与测试组各个模型对肝细胞肝癌 MVI 的诊断效能

模型	AUC		敏感度		特异度		准确率	
	训练	测试	训练	测试	训练	测试	训练	测试
动脉期模型	0.898	0.861	0.798	0.808	0.828	0.778	0.810	0.797
门静脉期模型	0.874	0.864	0.853	0.840	0.798	0.778	0.826	0.815
延迟期模型	0.894	0.860	0.865	0.842	0.772	0.733	0.826	0.797
三期联合模型	0.898	0.881	0.857	0.855	0.800	0.756	0.833	0.815
临床影像特征模型	0.864	0.843	0.849	0.841	0.678	0.644	0.778	0.760
临床影像组学模型	0.934	0.911	0.881	0.822	0.828	0.698	0.859	0.768

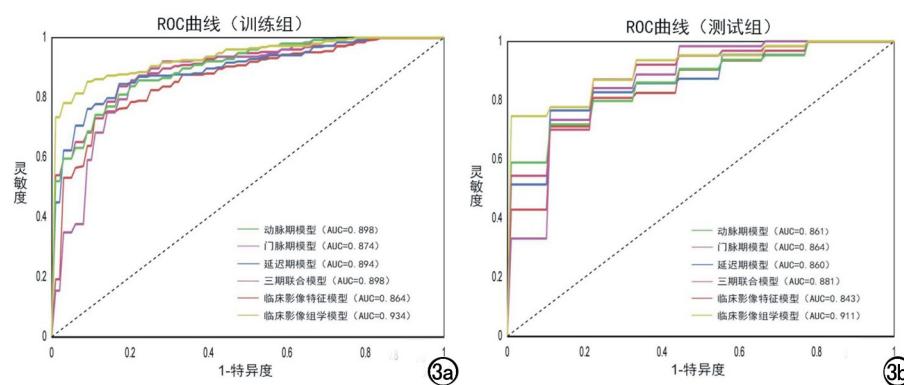


图 3 a) 影像组学模型、临床影像特征模型及临床影像组学模型在训练组的 ROC 曲线下面积; b) 影像组学模型、临床影像特征模型及临床影像组学模型在测试组的 ROC 曲线下面积。

AUC 分别为 0.934 及 0.911(图 3)。

4. 不同模型之间的效能比较

测试组 AP 模型、PVP 模型、DP 模型、3 期联合模型及临床影像组学模型对 MVI 诊断效能均高于临床影像特征模型(图 3b),并且以上 5 种模型准确率和特异度也均高于临床影像特征模型,尽管 AP、PVP 及临床 3 期联合模型的灵敏度略低(表 3)。测试组 3 期联合模型诊断效能明显高于单期,其结合临床影像特征模型的诊断效能达到最高(图 3b)。经 DeLong 检验分别比较 6 个模型之间的诊断效能,发现除了临床影像组学模型与临床影像特征模型之间具有统计学差异($P < 0.05$),其余各个模型之间均无统计学差异($P > 0.05$)。

讨 论

影像组学能深度挖掘图像的生物学本质,提取影像图像的微观特征,获得影像与病理、临床潜在关联,从而延伸传统影像诊断的临床价值。本研究基于增强 MRI 图像组学特征构建逻辑回归模型很好的预测了肝细胞肝癌 MVI。此外,结合了临床实验室指标血清 AFP、传统影像特征肿瘤最大径、瘤内动脉、包膜情况及影像组学特征构建的临床影像组学模型在术前预测 MVI 方面明显优于单纯影像增强图像。

微血管侵犯(MVI)是指仅在显微镜下显示由内皮细胞排列的血管间隙中存在肿瘤栓子,主要发生于门静脉小分支(包括肿瘤包膜内的血管),其水平超出常规图像的分辨率。理论上肿瘤可通过侵入门静脉的分支来改变肿瘤灌注。Wu 等^[10]研究表明与 MVI 阴性的肝细胞肝癌相比,在 MVI 阳性的肝细胞肝癌中据肝脏 CT 灌注计算的门静脉流量显著增高,但肝动脉流量没有显著差异。本研究显示了类似的结果,在测试组中 PVP 组学模型略优于 AP 及 DP,可能的解

释是 MVI 主要影响肿瘤的门静脉灌注,Huang 等^[11]利用增强 MRI 构建直方图分析也得到相同结果。

本研究结果显示 AFP、肿瘤最大直径、瘤内动脉及包膜情况是与 MVI 相关的独立危险因素。我们观察到当血清 AFP $\geq 400 \text{ ng/mL}$ 时,肝细胞肝癌中 MVI 的发生可能性增加,汪等^[12]也得到相同结果。根据肝癌肝移植国际米兰分期标准,我们将肿瘤直径分为 $\leq 5 \text{ cm}$ 和 $> 5 \text{ cm}$ 组,结果显示肿瘤最大径 $> 5 \text{ cm}$ 的 42 例肝细胞肝癌中,MVI 阳性 71.4%,肿瘤最大径 $\leq 5 \text{ cm}$ 的 66 例肝细胞肝癌中,MVI 阳性仅 22.7%,表明肿瘤最大径 $> 5 \text{ cm}$ 更易发生 MVI,表明肿瘤大小能预测 MVI 的存在,这也与以往大多数研究的结果一致^[4,5,13]。另外,肿瘤周围包膜不完整与肝癌侵袭性有关,本研究证实其能预测 MVI 发生,这与 Witjes 等^[14]研究结果相同。瘤内动脉是指肿瘤内不连续、纡曲的动脉,与肝癌的血管侵犯有关,这也与以往研究的结果相似^[15],可能的解释为瘤内动脉与肝细胞肝癌血管侵犯的某些特征基因相关,需要大量的研究数据去证实。

在基于 3 期增强提取的联合组学特征中,我们发现 6 个特征中有 2 个与具有 MVI 的肝细胞肝癌生物学特征具有较高相关性的特征:最大轴面直径(major axis length)及球形度(sphericity)。因为肝癌组织直径越大,其血管数越多,肿瘤细胞侵犯血管,导致进入血液循环的机会更大,故发生 MVI 的几率可能性也越高,这也与我们的临床影像特征保持一致,说明肿瘤最大直径在预测肝细胞肝癌的 MVI 具有重要意义。MVI 阳性肝细胞肝癌具有侵袭肿瘤包膜并突出到非癌实质中的侵袭性趋势,增加不规则肿瘤边缘的发生几率,从而导致肿瘤的体型更加不规则。来自纹理分析的其他 4 个特征也产生了重要信息,这可能进一步反映 MVI 阳性肝细胞肝癌的宏观异质性。本研究表明 3 期联合模型诊断效能高于单期,且影像组学模型诊断效能均高于临床放影像特征模型,说明影像组学模型能比临床影像特征更好的预测 MVI。Zhang 等^[16]基于多参数 MRI 建立影像组学模型,发现各个影像组学模型的诊断性能均高于临床影像特征模型,表明影像组学可作为潜在的无创生物标志物来预测 MVI,Feng 等^[17]研究也表明影像组学模型诊断效能高于传统影像特征。此外,本研究在增强 MRI 3 期联合基础上结合临床及影像特征建立的临床影像组学预

测模型,训练组及测试组的 AUC 分别为 0.934 及 0.911,诊断效能达到最高,说明增强 MRI 各期之间及增强 MRI 与临床影像特征之间存在信息互补,从而组合时实现更高的诊断效能。

本研究存在的局限性:①本研究只对肝细胞肝癌整个病灶内部的影像组学特征进行提取和分析,并未对瘤周组织进行组学特征提取。但是 Nebbia 等^[18]研究表明当把肿瘤边缘特征与肿瘤内部特征结合时并不能达到信息互补,为此需要更多的数据去证实;②样本量仅 108 例,MVI 阳性组病例较少,今后将进一步扩大样本量;③本研究所提取的影像组学特征均来自增强 MRI 图像,未将 MRI 平扫纳入。有研究^[16]将 T₁WI、T₂WI、DWI 也纳入进来,发现所有序列的融合特征预测模型诊断性能最高,我们下一步同样会纳入更多序列进一步发掘影像组学对于临床诊断价值。

综上所述,本研究通过增强 MRI 图像影像组学特征建立逻辑回归模型能够于术前无创、高效的预测肝细胞肝癌 MVI,并且将临床影像特征与影像组学结合可以得到更佳的诊断效果,从而为肝细胞肝癌患者术前临床诊断、治疗方案及术后辅助治疗的选择提供客观依据。未来期望进一步扩大样本多中心研究,为增强 MRI 组学术前预测肝癌微血管侵犯提供更多有利帮助。

参考文献:

- [1] Feng LH,Dong H,Lau WY,et al.Novel microvascular invasion-based prognostic nomograms to predict survival outcomes in patients after R0 resection for hepatocellular carcinoma[J].J Cancer Res Clin Oncol,2017,143(2):293-303.DOI:10.1007/s00432-016-2286-1.
- [2] Zhao H,Chen C,Fu X,et al.Prognostic value of a novel risk classification of microvascular invasion in patients with hepatocellular carcinoma after resection[J].Oncotarget,2017,8(3):5474-5486.DOI:10.18632/oncotarget.12547.
- [3] 刘永倩,赵新湘.原发性肝细胞肝癌微血管浸润分级的危险因素预测[J].放射学实践,2020,35(11):1453-1457.DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.11.016.
- [4] 焦琳琳,段崇峰,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.DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.08.015.
- [5] Ahn SJ,Kim JH,Park SJ,Kim ST,et al.Hepatocellular carcinoma:preoperative gadoxetic acid-enhanced MR imaging can predict early recurrence after curative resection using image features and texture analysis[J].Abdom Radiol (NY),2019,44(2):539-548.DOI:10.1007/s00261-018-1768-9.
- [6] Huang M,Liao B,Xu P,et al.Prediction of microvascular invasion in hepatocellular carcinoma:preoperative Gd-EOB-DTPA-Dynam-
- ic enhanced MRI and histopathological correlation[J].Contrast Media Mol Imaging,2018,2018:9674565.DOI:10.1155/2018/9674565.
- [7] Zhao W,Liu W,Liu H,et al.Preoperative prediction of microvascular invasion of hepatocellular carcinoma with IVIM diffusion-weighted MR imaging and Gd-EOB-DTPA-enhanced MR imaging [J].PLoS One,2018,13(5):e0197488.Published 2018 May 17.DOI:10.1371/journal.pone.0197488.
- [8] Xu X,Zhang HL,Liu QP,et al.Radiomic analysis of contrast-enhanced CT predicts microvascular invasion and outcome in hepatocellular carcinoma[J].J Hepatol,2019,70(6):1133-1144.DOI:10.1016/j.jhep.2019.02.023.
- [9] Yang L,Gu D,Wei J,et al.A radiomics nomogram for preoperative prediction of microvascular invasion in hepatocellular carcinoma[J].Liver Cancer,2019,8(5):373-386.DOI:10.1159/000494099.
- [10] Wu D,Tan M,Zhou M,et al.Liver computed tomographic perfusion in the assessment of microvascular invasion in patients with small hepatocellular carcinoma[J].Invest Radiol,2015,50(4):188-194.DOI:10.1097/RLL.0000000000000098.
- [11] Huang YQ,Liang HY,Yang ZX,et al.Value of MR histogram analyses for prediction of microvascular invasion of hepatocellular carcinoma[J].Medicine (Baltimore),2016,95(26):e4034.DOI:10.1097/MD.0000000000004034.
- [12] 汪禾青,曾蒙苏,饶圣祥,等.常规 MRI 图像影像组学评估肝细胞癌微血管侵犯的价值[J].中华放射学杂志,2019,53(4):292-298.DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.04.010.
- [13] 何泳铸,何坤,黄锐钦,等.术前预测肝癌微血管侵犯临床评分系统的构建[J].中华普通外科杂志,2021,36(2):114-117.
- [14] Witjes CD,Willemsen FE,Verheij J,et al.Histological differentiation grade and microvascular invasion of hepatocellular carcinoma predicted by dynamic contrast-enhanced MRI[J].J Magn Reson Imaging,2012,36(3):641-647.DOI:10.1002/jmri.23681.
- [15] Renzulli M,Brocchi S,Cucchetti A,et al.Can current preoperative imaging be used to detect microvascular invasion of hepatocellular carcinoma? [J].Radiology,2016,279(2):432-442.DOI:10.1148/radiol.2015150998.
- [16] Zhang Y,Shu Z,Ye Q,et al.Preoperative prediction of microvascular invasion in hepatocellular carcinoma via multi-parametric MRI radiomics[J].Front Oncol,2021,11:633596.Published 2021 Mar 3.DOI:10.3389/fonc.2021.633596.
- [17] 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.DOI:10.1007/s00330-018-5935-8.
- [18] Nebbia G,Zhang Q,Arefan D,et al.Pre-operative microvascular invasion prediction using multi-parametric liver MRI radiomics [J].J Digit Imaging,2020,33(6):1376-1386.DOI:10.1007/s10278-020-00353-x.

(收稿日期:2021-09-15 修回日期:2022-01-09)