

综述

影像组学在肝内胆管细胞癌诊断与评估中的研究进展

谢朝邦 汤子建 黄薇
贺廷坤 石荣书 赵开飞*
遵义医科大学附属医院放射科
(贵州 遵义 563000)

【摘要】肝内胆管细胞癌是仅次于肝细胞癌的第二大原发性肝脏恶性肿瘤。近年来,随着对肝内胆管细胞癌发生、发展机制研究的逐步深入,对其进行诊断和评估的技术不断增多、日益成熟,新的治疗方式不断涌现,其中影像组学这一新兴领域在肝内胆管细胞癌的诊断、病理分级、预后评估和治疗反应预测方面具有很大的潜力。本文就影像组学在肝内胆管细胞癌诊疗与评估中的研究进展进行综述。

【关键词】肝内胆管细胞癌;影像学诊断;影像组学

【中图分类号】R575

【文献标识码】A

【基金项目】CT影像组学对肝癌灌注化疗栓塞术后临床研究[遵市科合HZ字(2021)44号]

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.02.052

Research Progress of Radiomics in the Diagnosis and Evaluation of Intrahepatic Cholangiocarcinoma

XIE Chao-bang, TANG Zi-jian, HUANG Wei, HE Ting-kun, SHI Rong-shu, ZHAO Kai-fei*.

Department of Radiology, Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563000, Guizhou Province, China

ABSTRACT

Intrahepatic cholangiocarcinoma (ICC) is the second most common primary liver cancer after hepatocellular carcinoma (HCC). As our understanding of the development and progression of ICC has increased in recent years, diagnostic and evaluative techniques have evolved, and novel therapeutic approaches have been emerging. The emerging field of radiomics has considerable potential in ICC diagnosis, pathologic grading, prognosis evaluation, and prediction of treatment response. This review provides an overview of the application of radiomics in the diagnosis and evaluation of ICC.

Keywords: Intrahepatic Cholangiocarcinoma; Imaging Diagnoses; Radiomics

肝内胆管细胞癌(intrahepatic cholangiocarcinoma, ICC)是仅次于肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC)的第二大肝脏原发恶性肿瘤,约占原发性肝癌(primary liver cancer, PLC)的10%-15%^[1]。近十年来发病率呈上升趋势,目前中国ICC发病率约0.97-7.55/10万人·年^[2]。由于ICC临床表现早期无特异性和缺乏常规筛查手段,75%-80%患者确诊时已失去外科根治性切除机会,即便是手术切除的患者,复发率可高达60%^[3],绝大多数患者在诊断后1年内死亡^[4]。有研究表明,肿瘤低生存率和高复发率与肿瘤初诊时的分期密切相关,其中肿瘤大小、肝内转移、肿瘤分级、血管侵犯和淋巴结转移等的组织病理学结果被认为是ICC患者较差的独立预后因素^[5]。因此,术前对ICC的正确诊断、准确病理生理评估、甚至探测分子基因水平的改变在评估ICC的发病机制、治疗方式选择、治疗效果及预后等方面具有重要意义。目前,计算机断层扫描(computed tomography, CT)或磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是诊断ICC的重要影像学检查方法,其在评估肿瘤大小、肝内转移、血管侵犯和淋巴结转移等信息具有重要临床参考价值,但在ICC分期和肿瘤切除范围评估价值有限。随着精准医学的提出,影像组学愈加成熟,在医学领域应用日益增多,在肿瘤领域应用尤其广泛,可从海量的医学影像图像数据中挖掘出肉眼难以分辨的肿瘤内部异质性信息来指导临床实践。

1 影像组学的发展

影像组学是2012年由荷兰学者首次提出,指从CT、MRI或正电子发射断层扫描(positron emission tomography/computerized tomography, PET-CT)获得的医学影像图像中高通量地提取大量高维、定量的影像组学特征,采用多种统计学分析和/或机器学习的方法,筛选出最有价值和代表性的影像组学特征,实现肿瘤分割、特征提取与模型建立,整体评价肿瘤的组织形态、细胞分子、基因遗传等水平的各种特征,反映肿瘤异质性;在肿瘤的诊断与鉴别诊断、预后评估、预测治疗反应及随访方面等发挥着重要的作用^[6-7]。近年来,随着影像组学的飞速发展,医学影像分析取得了突破性进展,开创了影像组学新领域。影像定量纹理分析被认为是一种虚拟活检技术,通过利用肿瘤影像的像素/体素的空间分布和灰阶强度的变化来探索肿瘤的微观细节,评估正常或病理状态,进而实现肿瘤的影像定性诊断与评估^[8]。目前,影像组学在临床医学中应用广泛,特别在肿瘤诊断与评估中,明显有助于肿瘤的精准定性、诊断与鉴别诊断、分期及治疗疗效判断等,从而实现对患者个体化精准治疗的目的^[9]。

2 基于超声影像组学在ICC诊断与评估中的应用

超声(ultrasonography, US)因其经济性、安全性是诊断ICC的首选影像学检查方法。目前,基于US图像影像组学也有相关研究报道。林莹等^[10]在一项样本量为124例的回顾性研究中,采用最小绝对收缩和选择运算(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)方法建立常规灰阶US组学模型,在HCC与肿块型ICC(mass-forming intrahepatic cholangiocarcinoma, IMCC)鉴别中表现出较好效能,其诊断的曲线下面积(area under the curve, AUC)高达0.94,表明灰阶US图像同样包含丰富的肿瘤异质性信息,US组学对肝癌不同病理亚型的鉴别有较高鉴别效能和临床应用价值。Peng等^[11]回顾性收集了668例ICC患者,同样采用LASSO方法建立的US组学模型成功预测了PLC不同病理亚型,在鉴别HCC与非HCC,其诊断的AUC值为0.854;在鉴别ICC与混合型肝癌(combined hepatocellular and cholangiocarcinoma, CHC),AUC值高达0.920,表明该模型有助于术前区分PLC组织病理亚型,为肝癌的准确诊断

【第一作者】谢朝邦,男,在读硕士研究生,主要研究方向:介入诊断及治疗。Email: 976147502@qq.com

【通讯作者】赵开飞,男,副主任医师,主要研究方向:介入诊断及治疗。Email: zhaokaifei8943@sina.com

和临床治疗提供强有力的支撑。Peng等^[12]采用LASSO方法及支持向量机(support vector machine, SVM)算法对128例ICC患者的US组学特征进行筛选、建模,实现无创性地预测ICC的生物学行为,包括病理分化程度、周围神经浸润、微血管浸润(microvascular invasion, MVI)及Ki-67、血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)、细胞角蛋白7的表达等多种病理特征,其中周围神经浸润的诊断AUC值效能最佳,高达0.930,这明显有利于指导临床个体化治疗并进一步改善患者预后,最终实现术前判断ICC的生物学行为。然而,因为US对肝脏肿瘤的诊断能力有限,目前基于US影像组学的研究相对较少,有待更多基于US影像组学的研究去评估ICC。

3 基于CT影像组学在ICC诊断与评估中的应用

增强CT是ICC诊断、随访的主要影像学检查手段,Chu等^[13]回顾性分析了两个中心203例ICC患者,采用随机森林(random forest, RF)及多变量Logistic回归(logistic regression)算法建立影像组学预测模型揭示:相比于单独临床资料,影像组学相比临床资料包含更丰富的肿瘤异质性信息。近年来,基于CT影像组学在ICC诊断及预后评估中的应用也逐渐增多,Xue等^[14]分析了96例肝内结石并发ICC患者,从动脉期(arterial phase, AP)提取组学特征,采用LASSO方法开发和验证一种能够预测肝内结石并发ICC的预测模型,结合影像组学特征、CT形态学特点及临床特点的联合模型预测效果最好,其诊断AUC值高达0.902,并在外部验证中也取得一个较好预测效能,表明影像组学模型有望作为一种新的、准确的肝内结石并发ICC的预测工具。Zhang等^[15]同样从AP提取组学特征,采用LASSO方法构建预测模型对189例PLC进行鉴别诊断,仍然是联合模型表现最佳,表明基于AP组学模型可用于术前区分CHC和ICC,有助于提高影像医生诊断准确率和指导临床医生更好决策,将瘤周2mm纳入组学模型进一步提高鉴别效能,AUC值高达0.942,进一步揭示不同病理类型PLC对肿瘤周围微环境影响不同,即瘤周组学模型也有助于PLC病理亚型鉴别。也有研究表明:基于CT影像组学模型不仅可鉴别ICC与肝脏炎性病变(最高AUC值约0.864)^[16],而且可以预测ICC的淋巴结(lymph node, LN)转移及临床预后(最高AUC值达0.924)^[17-18],表明影像组学模型不但在ICC诊断与鉴别诊断中表现出较高的预测效能,亦在LN转移及临床预后的预测评估中表现极佳,这有利于确定手术中受益最大患者亚群。然而,关于LN转移状态评估,都是从肿瘤自身提取组学特征,缺少从转移LN上提取特征的文献报道。除此之外,Mosconi等^[19]在AP基础上,增加了门静脉期(portal vein phase, PVP)和延迟期(delayed phase, DP)组学特征,同样采用LASSO方法建立预测研究模型表明:CT纹理分析在经动脉放射栓塞(trans-arterial radioembolization, TARE)可术前量化ICC结构的血管化和均匀性,为患者个性化治疗提供有用临床信息,更好地帮助患者选择最佳治疗方案。但因为该项研究病例数仅有55例ICC患者,加之缺乏外部验证,因此,针对量化ICC结构的血管化和均匀性的研究,未来仍需要大样本、多中心研究去进一步验证和推广。总之,尽管基于CT影像组学在ICC诊断与评估中的应用较多,但主要局限在ICC诊断与鉴别诊断,对LN转移、生存预后等研究较少,而且大多数研究都是小样本、单中心的研究,期待更多关于LN评估、生存预后等方面的研究。

4 基于MRI影像组学在ICC诊断与评估中的应用

MRI因其具有较高软组织分辨率,常作为ICC诊断的重要影像学检查方法及补充手段,目前基于MRI影像组学在ICC诊断与评估研究已是当下临床医学研究热点。冯忠园等^[20]基于T₂WI影像组学对86例PLC病理亚型进行鉴别研究显示:Logistic回归算法建立的模型鉴别效能AUC值为0.925;SVM方法建立的模型鉴别效能AUC值高达0.928,表明基于T₂WI影像组学模型能很好鉴别HCC和ICC,可协助临床进行诊断、降低误诊率。孟祥玉^[21]等在T₂WI序列基础上,增加三期动态增强MRI纹理分析对120例肝内局灶性病变进行诊断与鉴别诊断研究发现,采用LASSO方法得出

MRI纹理分析可较好地鉴别ICC、肝脏脓肿及肝脏转移瘤,最高AUC值可达0.926;同时发现AP、PVP及DP三期的组学模型的鉴别效能均高于T₂WI,表明增强图像可能包含更多组学特征,对病变的鉴别效能更有价值。Liu等^[22]在一个回顾性研究中,对85例PLC病理亚型研究也揭示:增强CT和MRI影像组学模型比平扫表现出更好鉴别效能,其AUC值为0.81。以上文献报道中,均证明MRI组学可以很好地鉴别PLC病理亚型,特别是动态增强具有更好预测效能,揭示影像组学模型用于PLC病理亚型鉴别时,应当联合多序列及临床资料等相关信息,进而实现对ICC精准诊断。Xu等^[23]采用最大相关最小冗余(maximum relevance minimum redundancy, mRMR)算法选取LN状态相关最多特征,建立SVM预测模型,进一步整合糖类抗原19-9(CA19-9)水平、SVM评分和相关MRI影像特征诺模图(nomogram)对148例ICC患者LN转移进行预测研究发现:联合诺模图在区分LN转移比单独的SVM模型表现出更好效能(AUC值为0.870),这提供了LN状态的个体化评估,指导临床医生手术决策。然而,针对LN转移状态的评估,无法具体区分转移的LN区域,甚至达到与病理报道的LN转移一一对应,这有待于进一步研究。Liang等^[24]基于AP的MRI组学特征和临床数据诺模图对209例ICC患者进行回顾性分析发现:联合模型ICC术后复发预测效能最佳,其AUC值为0.90,揭示采用LASSO方法建立的诺模图可用于预测部分肝切除术后ICC早期复发(early recurrence, ER)。Zhao等^[25]进一步整合相关临床特征、免疫组化特点及多序列MRI组学特征(包括T₂WI和三期增强)建立联合预测模型成功预测了47例ICC患者部分肝切除术后ER,采用Logistic回归算法建立的联合模型显示出更好的ER预测性能,其AUC值高达0.949,表明影像组学模型有助于预测ER和指导临床实施个体化治疗。但由于肝切除术后,部分患者未规律影像随访,导致对ICC术后ER研究存在偏倚。Zhang等^[26]基于AP和PVP的MRI组学特征采用LASSO方法对98例ICC患者预测ICC程序性细胞死亡蛋白1/程序性细胞死亡蛋白配1(PD-1/PD-L1)的表达(AUC值分别为0.897和0.890)及患者的总体生存率,可指导PD-1/PD-L1阳性表达的ICC患者实行靶向阻断剂的治疗并评估其预后;同时,MRI影像组学在评估ICC患者的PD-1/PD-L1表达和预后方面可以推导出有希望的非侵入性生物标志物。除此之外,Zhang等^[27]在增强MRI的基础上增加了T₁WI、T₂WI及DWI的影像组学特征,仍然采用LASSO方法对78例ICC患者进行术前MRI纹理分析预测ICC患者的免疫表型(immunophenotype, IP)和总生存率(overall survival, OS),其结果表明MRI纹理特征可作为ICC患者IP和OS的潜在预测生物标志物,更准确评价ICC的生物学行为。张加辉等^[28]采用LASSO和mRMR算法分析69例PLC患者(包括42例IMCC和27例CHC)的PVP图像组学特征也能预测患者术后生存情况。Zhou等^[29]在一个164例ICC患者回顾性研究中,采用LASSO方法建立组学模型发现:三期动态增强MRI影像组学可以预测ICC中的MVI,其预测性能的AUC值为0.873,表明其可作为预测ICC微血管浸润的可靠影像组学生物标志物,有助于指导临床最佳治疗策略的制定。总之,目前基于MRI影像组学在ICC诊断与评估中的应用是最多的,然而同样缺乏大样本、多中心、前瞻性等深入研究,同时针对生存预后、治疗评价等方面研究也比较少,期望更多关于这方面的研究。

5 基于PET-CT影像组学在ICC诊断与评估中的应用

PET-CT是通过示踪剂来体现组织细胞的代谢情况,从分子水平层面反映人体组织生理、病理、生化及代谢等变化的一种无创的、系统的影像学检查技术,在多种肿瘤诊断及疗效监测中得到广泛应用。目前,已见PET-CT影像组学用于ICC的诊断与评估中,周子东等^[30]通过LASSO方法建立相应的¹⁸F-FDG PET-CT影像组学模型对36例PLC进行病理分型鉴别,发现相较于常规PET-CT影像组学模型,该模型具有更好的鉴别效能,其诊断的AUC值高达0.923,表明¹⁸F-FDG PET-CT组学能够捕捉肿瘤微结构环境的差异,更好地鉴别中-低分化HCC和ICC。此外,Fiz等^[31]采用多变量Logistic回归算法建立PET-CT组学模型对74例IMCC患者病理数据进行术前预测,发现联合模型优于临床模型,其中分化程

度(中-高分组和低分化组)的诊断AUC值为0.78，MVI的AUC值为0.87，将瘤周5mm纳入影像组学模型进一步改善了分化程度预测效能(AUC值达0.83)，表明肿瘤及其边缘的纹理特征联合分析最大限度地提高了预测的准确性，并带来了病理数据的术前预测，更加说明影像组学代表了一种创新的非侵入性生物标记物，可为受肿瘤影响的患者提供一种精确的医学方法。然而，因为PET-CT检查费用昂贵，临床应用价值有限，目前基于PET-CT影像组学相对较少，期待更多关于PET-CT影像组学在ICC中的应用。

6 总结与展望

综上所述，目前大多数研究主要集中在ICC的诊断与鉴别诊断、淋巴结转移、MVI、生存预后及肿瘤复发的预测和评估等，

见表1，采用不同算法建立多种预测评估模型评价ICC病理生理及临床预后。既往研究表明CT或MRI基于影像组学可以为临床提供一种无创的、客观的、可靠的新方法去评估ICC，从而更好地指导临床实践。但仍然存在不足和挑战：(1)目前，国内外关于ICC影像组学大多是小样本、单中心、回顾性的研究，迫切需要大样本、多中心、前瞻性的深入研究。(2)关于ICC治疗方法(如局部治疗和化疗等)比较方面研究较少，我们期望更多关于ICC治疗方法比较的影像组学研究。(3)影像组学研究仍然存在一些局限性，存在不同机型及扫描参数差异的问题，图像采集缺乏标准化、影像组学方法不一致等，还存在缺乏多种影像学检查方法联合的相关研究等，临床研究中应尽量克服这些局限性。

表1 影像组学在ICC诊断和评估方面的应用

作者	图像/数据	画ROI软件	方法	样本量	研究目的	AUC
Peng YT等.2020	US	ITK-SNAP	LASSO SVM	128	建立US预测模型评估ICC的生物学行为	0.930
Peng YT等.2020	US	ITK-SNAP	LASSO	668	建立US预测模型鉴别PLC组织病理亚型	0.920
林莹等.2020	US	MaZda	LASSO	124	建立US预测模型鉴别HCC与IMCC	0.94
Xue B等.2020	CECT(AP)	LifeX	LASSO	96+35	建立CT影像组学模型预测合并有肝内结石的ICC	0.902
Zhang J等.2020	CECT(AP)	ITK-SNAP	LASSO	189	使用ML鉴别CHC与ICC	0.942
Xue B等.2021	CECT(AP、PVP)	LifeX	LASSO	110+35	建立CT预测模型鉴别ICC与合并肝胆结石的炎性肿块	0.864
Ji GW等.2019	CECT(AP)	3D Slicer	LASSO	103	建立CT预测模型评估ICC淋巴结转移及预后	0.9244
黄晟宇.2019	CECT(AP)	ITK-SNAP	RF mRMR	247	建立CT预测模型评估ICC淋巴结转移	0.784
Mosconi C等.2020	CECT(AP、PVP、VP)	LifeX	LASSO	55	分析ICC的CT纹理特征与放射性栓塞治疗后疗效之间的联系	0.896
Chu H等.2020	CECT(AP、PVP、VP)	ITK-SNAP	RF mRMR	203	建立CT影像组学模型预测ICC无效切除	0.804
冯忠园等.2020	MRI(T ₂ WI)	科研平台	SVM	86	建立MRI预测模型鉴别HCC与 ICC	0.925
孟祥玉. 2018	CE-MRI	MaZda	LASSO	120	探讨MRI纹理分析对ICC、肝转移瘤及肝脓肿鉴别诊断价值	0.926
Liu X等.2021	MRI、CT(AP、PVP、VP)	MintLesion	SVM	85	建立MRI及CT联合影像组学模型鉴别ICC、HCC和CHC	0.81
Xu L等.2019	CE-MRI	ITK-SNAP	SVM mRMR	148	建立MRI预测模型评估ICC淋巴结转移及预后	0.870
Liang W等.2018	MRI(AP)	ITK-SNAP	LASSO	209	建立MRI影像组学模型预测ICC的ER	0.90
Zhao L等.2019	MRI(T ₂ WI、AP、PVP、VP)	ITK-SNAP	多变量Logistic回归	47	建立MRI影像组学模型预测ICC的ER	0.949
Zhang J等.2020	MRI(AP、PVP)	ITK-SNAP	LASSO	98	使用ML预测ICC PD-1/PD-L1的表达及预后	0.897
Zhang J等.2021	MRI(T ₂ WI、T ₂ WI、DWI、AP、PVP)	ITK-SNAP	LASSO	78	通MRI纹理分析预测ICC的免疫表型(IP)和总生存期(OS)	0.919
Zhou Y等.2021	MRI(AP、PVP、VP)	ITK-SNAP	LASSO	164	建立MRI预测模型评估IMCC的MVI	0.873
周子东等.2019	PET-CT	3D Slicer	LASSO	36	建立PET-CT 影像组学预测模型鉴别中、低分化HCC与ICC	0.923
Fiz等.2022	PET-CT	LifeX	多变量Logistic回归	74	建立PET-CT影像组学模型预测ICC病理分级及预后评估	0.83

注：ROI，感兴趣区；AUC，曲线下面积；US，超声；LASSO，最小绝对收缩和选择运算；SVM，支持向量机；ICC，肝内胆管细胞癌；PLC，原发性肝癌；HCC，肝细胞肝癌；IMCC，肿块型肝内胆管细胞癌；CECT，增强CT；AP，动脉期；PVP，们静脉期；DP，延迟期；ML，机器学习；CHC，混合型肝癌；RF，随机森林；mRMR，最大相关性最小冗余；CE-MRI，增强磁共振；ER，早期复发；PD-1/PD-L1，程序性细胞死亡蛋白1/程序性细胞死亡蛋白配体1；MVI，微血管浸润(上述AUC值均为各研究中的最高值)

参考文献

- [1] BRIDGEWATER J, GALLE PR, KHAN SA, et al. Guidelines for the diagnosis and management of intrahepatic cholangiocarcinoma [J]. *J Hepatol*, 2014, 60 (6): 1268–1289.
- [2] BERTUCCIO P, MALVEZZI M, CARIOLI G, et al. Global trends in mortality from intrahepatic and extrahepatic cholangiocarcinoma [J]. *J Hepatol*, 2019, 71 (1): 104–114.
- [3] GOYAL L, CHEN CT, PIERCE TT, et al. Case 8–2021: a 34-year-old woman with cholangiocarcinoma [J]. *N Engl J Med*, 2021, 384 (11): 1054–1064.
- [4] LAMARCA A, PALMER DH, WASAN HS, et al. Second-line FOLFOX chemotherapy versus active symptom control for advanced biliary tract cancer (ABC-06): a phase 3, open-label, randomised, controlled trial [J]. *Lancet Oncol*, 2021, 22 (5): 690–701.
- [5] MAYROS MN, ECONOMOPOULOS KP, ALEXIOU VG, et al. Treatment and prognosis for patients with intrahepatic cholangiocarcinoma: systematic review and meta-analysis [J]. *JAMA Surg*, 2014, 149 (6): 565–574.
- [6] KUMAR V, GU Y, BASU S, et al. Radiomics: the process and the challenges [J]. *Magn Reson Imaging*, 2012, 30 (9): 1234–1248.
- [7] LAMBIN P, LEIJENAR RTH, DEIST TM, et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine [J]. *Nat Rev Clin Oncol*, 2017, 14 (12): 749–762.
- [8] LEWIS S, HECTORS S, TAOULI B. Radiomics of hepatocellular carcinoma [J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2021, 46 (1): 111–123.
- [9] KIM JH, JOO I, KIM TY, et al. Diffusion-related MRI parameters for assessing early treatment response of liver metastases to cytotoxic therapy in colorectal cancer [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2016, 207 (3): W26–W32.
- [10] 林莹, 冯湛, 蒋国平. 灰阶超声影像组学鉴别肝细胞肝癌与肿块型肝内胆管细胞癌的价值 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2020, 28 (4): 269–272.
- [11] PENG Y, LIN P, WU L, et al. Ultrasound-based radiomics analysis for preoperatively predicting different histopathological subtypes of primary liver cancer [J]. *Front Oncol*, 2020, 10: 1646.
- [12] PENG YT, ZHOU CY, LIN P, et al. Preoperative ultrasound radiomics signatures for noninvasive evaluation of biological characteristics of intrahepatic cholangiocarcinoma [J]. *Acad Radiol*, 2020, 27 (6): 785–797.
- [13] CHU H, LIU Z, LIANG W, et al. Radiomics using CT images for preoperative prediction of futile resection in intrahepatic cholangiocarcinoma [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31 (4): 2368–2376.
- [14] XUE B, WU S, ZHENG M, et al. Development and validation of a radiomic-based model for prediction of intrahepatic cholangiocarcinoma in patients with intrahepatic lithiasis complicated by imagologically diagnosed mass [J]. *Front Oncol*, 2021, 10: 598253.
- [15] ZHANG J, HUANG Z, CAO L, et al. Differentiation combined hepatocellular and cholangiocarcinoma from intrahepatic cholangiocarcinoma based on radiomics machine learning [J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8 (4): 119.
- [16] XUE B, WU S, ZHANG M, et al. A radiomic-based model of different contrast-enhanced CT phase for differentiate intrahepatic cholangiocarcinoma from inflammatory mass with hepatolithiasis [J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2021, 46 (8): 3835–3844.
- [17] JI GW, ZHU FP, ZHANG YD, et al. A radiomics approach to predict lymph node metastasis and clinical outcome of intrahepatic cholangiocarcinoma [J]. *Eur Radiol*, 2019, 29 (7): 3725–3735.
- [18] 黄晟宇. 肝内胆管癌淋巴结转移术前影像组学预测模型的建立和验证 [D]. 中国人民解放军海军军医大学, 2019.
- [19] MOSCONI C, CUCCHETTI A, BRUNO A, et al. Radiomics of cholangiocarcinoma on pretreatment CT can identify patients who would best respond to radioembolisation [J]. *Eur Radiol*, 2020, 30 (8): 4534–4544.
- [20] 冯忠园, 叶靖. 基于T₂WI影像组学鉴别肝细胞癌与肝内胆管细胞癌的研究 [J]. *临床医学研究与实践*, 2020, 5 (22): 1–4.
- [21] 孟祥玉. 基于增强MRI图像的纹理分析对肝脏局灶病变的鉴别诊断价值 [D]. 中国医科大学, 2018.
- [22] LIU X, KHALVATI F, NAMDAR K, et al. Can machine learning radiomics provide pre-operative differentiation of combined hepatocellular cholangiocarcinoma from hepatocellular carcinoma and cholangiocarcinoma to inform optimal treatment planning [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31 (1): 244–255.
- [23] XU L, YANG P, LIANG W, et al. A radiomics approach based on support vector machine using MR images for preoperative lymph node status evaluation in intrahepatic cholangiocarcinoma [J]. *Theranostics*, 2019, 9 (18): 5374–5385.
- [24] LIANG W, XU L, YANG P, et al. Novel nomogram for preoperative prediction of early recurrence in intrahepatic cholangiocarcinoma [J]. *Front Oncol*, 2018, 8: 360.
- [25] ZHAO L, MA X, LIANG M, et al. Prediction for early recurrence of intrahepatic mass-forming cholangiocarcinoma: quantitative magnetic resonance imaging combined with prognostic immunohistochemical markers [J]. *Cancer Imaging*, 2019, 19 (1): 49.
- [26] ZHANG J, WU Z, ZHANG X, et al. Machine learning: an approach to preoperatively predict PD-1/PD-L1 expression and outcome in intrahepatic cholangiocarcinoma using MRI biomarkers [J]. *ESMO Open*, 2020, 5 (6): e000910.
- [27] ZHANG J, WU Z, ZHAO J, et al. Intrahepatic cholangiocarcinoma: MRI texture signature as predictive biomarkers of immunophenotyping and survival [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31 (6): 3661–3672.
- [28] 张加辉, 徐丽萍, 赵志新, 等. 基于MR影像组学及临床特征预测混合型肝癌和肿块型肝内胆管细胞癌术后生存 [J]. *临床放射学杂志*, 2022, 41 (2): 279–283.
- [29] ZHOU Y, ZHOU G, ZHANG J, et al. Radiomics signature on dynamic contrast-enhanced MR images: a potential imaging biomarker for prediction of microvascular invasion in mass-forming intrahepatic cholangiocarcinoma [J]. *Eur Radiol*, 2021, 31 (9): 6846–6855.
- [30] 周子东, 查悦明, 黄文山, 等. ¹⁸F-FDG PET-CT影像组学鉴别中低分化肝细胞癌和肝内胆管细胞癌 [J]. *中华肝脏外科手术学电子杂志*, 2019, 8 (2): 154–158.
- [31] FIZ F, MASCI C, COSTA G, et al. PET/CT-based radiomics of mass-forming intrahepatic cholangiocarcinoma improves prediction of pathology data and survival [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2022, 49 (10): 3387–3400.

(收稿日期: 2023-06-08)

(校对编辑: 韩敏求)