

论 著

多参数3D MRI影像组学模型预测结直肠癌肝转移及相关临床危险因素的分析

朱 琦^{1,2,5} 陈艾琪¹ 邹文涛^{1,2}
杜小萌¹ 卢楚鸣^{1,2} 赵以惠^{1,2}
钱宝鑫³ 马宣传^{1,4,*}

- 1.蚌埠医学院第一附属医院放射科
(安徽 蚌埠 233000)
2.蚌埠医学院医学影像学院
(安徽 蚌埠 233000)
3.慧影医疗科技(北京)股份有限公司
(北京 100192)
4.数字医学与智慧健康安徽省重点实验室
(安徽 蚌埠 233000)
5.宿州市第一人民医院影像科
(安徽 宿州 234000)

【摘要】目的 探讨多参数3D MRI影像组学模型对于结直肠癌肝转移(CCLM)的预测价值及相关临床危险因素的分析。方法 收集2019-2022年在本院术前MRI检查且术后病理证实的198例结直肠癌患者的临床及影像资料。按照8: 2 的比例随机分为训练集及验证集(n=159及39)。对T₂WI、DWI、e-THRIVE+序列分别逐层勾画,得到3D VOI,提取组学特征并降维处理、构建影像组学模型。采用逻辑回归分析,筛选出CCLM的独立危险因素并构建临床模型。结果 三序列联合的影像组学模型预测CCLM的效能高于单一序列模型,其训练集与验证集AUC值分别为0.919及0.896。逻辑回归分析得到CCLM的独立危险因素分别为CEA、CA199及NLR(P<0.05)。三者联合的临床模型效能亦高于单一临床模型,训练集与验证集的AUC值分别为0.800及0.791。结论 多参数3D MRI影像组学模型对于CCLM具有较高预测效能。基于CEA、CA199、NLR的临床模型对于CCLM具有一定预测效能。

【关键词】结直肠癌;影像组学;临床危险因素;结直肠癌肝转移
【中图分类号】R445.2; R735.3+5; R735.3+7
【文献标识码】A
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.02.045

Multi-parametric 3D MRI Radiomics Model for Predicting Liver Metastasis of Colorectal Cancer and Related Clinical Risk Factors Analysis

ZHU Qi^{1,2,5}, CHEN Ai-qi¹, ZOU Wen-tao^{1,2}, DU Xiao-meng¹, LU CHU-ming^{1,2}, ZHAO Yi-hui^{1,2}, QIAN Bao-xin³, MA Yi-chuan^{1,4,*}

- 1.Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical College, Bengbu 233000, Anhui Province, China
2.College of Medical Imaging, Bengbu Medical College, Bengbu 233000, Anhui Province, China
3.Huiying Medical Technology (Beijing) Co., LTD., Beijing 100192, China
4.Key laboratory of Digital Medicine and Smart Health in Anhui Province, Bengbu 233000, Anhui Province, China
5.Department of Imaging, Suzhou First People's Hospital, Suzhou 234000, Anhui Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the predictive value of multi-parameter 3D MRI radiomics model for colorectal cancer liver metastases (CCLM) and the analysis of related clinical risk factors. **Methods** From January 2019 to June 2022, the clinical and imaging data of 198 patients with colorectal cancer were collected from our hospital who underwent preoperative MRI examination and were confirmed by postoperative pathology. It was divided into training set (n=159) and verification set (n=39) according to the ratio of 8:2. The T₂WI, DWI and e-THRIVE+ sequences were delineated layer by layer to obtain 3D VOI, and the omics features were extracted and dimensionality reduction was performed to construct the radiomics model. The independent risk factors of CCLM were screened out by logistic regression analysis and the clinical model was constructed. **Results** The combined T₂WI, DWI and e-THRIVE+ imaging model was more effective in predicting CCLM than the single sequence model. The AUC values of the training set and validation set were 0.919 and 0.896, respectively. Multivariate logistic regression analysis showed that CEA, CA199 and NLR were the independent risk factors for liver metastasis of colorectal cancer (P<0.05), and the AUC values of the clinical models constructed by the three were 0.800 and 0.791 in the training set and validation set, respectively. **Conclusion** Multi-parameter 3D MRI imaging model is effective in predicting liver metastasis of colorectal cancer. The clinical models based on clinical indicators CEA, CA199 and NLR have certain predictive efficacy for liver metastasis of colorectal cancer.

Keywords: Colorectal Cancer; Imaging Omics; Clinical Risk Factors; Liver Metastasis of Colorectal Cancer

结直肠癌(colorectal cancer, CRC)是临床常见的消化道恶性肿瘤^[1],至今CRC仍然是全球癌症发病及死亡的第三及第二大原因^[2],是占全球男性及女性癌症中第四及第三大常见癌症^[3]据估计,到2035年,全球CRC发病率将增加一倍以上^[4]。根治性切除术是CRC标准治疗方式^[5],但术后极易转移与复发,约三分之一的CRC患者在术后三年内出现肝转移^[6],发生结直肠癌肝转移(colorectal cancer liver metastases, CCLM)的患者预后极差,术后5年生存率低于12%^[7-8]。CCLM对全球人民生命健康安全的影响日趋严峻,构成严重威胁。本文探讨基于T₂WI、DWI、e-THRIVE+序列的多参数影像组学模型对于CCLM的预测与相关CRC临床危险因素的临床模型对于CCLM的预测以及二者之间效能的比较分析。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究共纳入2019年1月至2022年6月在蚌埠医学院第一附属医院术前MRI检查且术后病理证实的198例结直肠癌患者临床及影像学资料,男114例,女84例,平均年龄(60±11.04)岁,年龄范围(31-88)岁。训练集和验证集按照8: 2比例分为训练集(n=159)及验证集(n=39),选用的随机种子数为123。

纳入标准:术后病理证实为结直肠癌,术后临床分期为II-III期;术前1-2周接受过MRI检查,图像质量良好,无呼吸及金属等伪影。排除标准:既往接受过放化疗;合并其他恶性肿瘤及已有转移者;相应临床资料记录不完善。

1.2 随访及分组 对纳入的CRC患者采取病历查询、门诊住院复查、电话随访等方式随访5-36个月,根据随访结果将患者分为无肝转移组(123例)及肝转移组(75例)。

1.3 仪器及检查方法 采用荷兰3.0T Philips Achieva MR,腹部相控矩阵线圈。患者于检查前4h禁食,必要时扫描前30min内使用开塞露进行肠道准备,无禁忌者上机前5-10min肌肉注射山莨菪碱20mg,以抑制肠蠕动,降低肌张力。轴位扫描以直肠感兴趣区为中心,垂直于病变段肠管长轴。具体扫描序列及相关参数如下:(1)轴位T₂WI快速自旋回波序列:TR=5173ms,TE=85ms,矩阵:220×220,层厚:4mm,层间距:0.5mm,NEX=4,ETL=16;(2)DWI扩散加权序列:TR=3150ms,TE=53ms,矩阵:375×302,层厚:5mm,层间距:1.5mm,b值为800s/mm²,NEX=8;(3)轴位

【第一作者】朱 琦,女,住院医师,主要研究方向:影像诊断。E-mail: 1434226131@qq.com
【通讯作者】马宣传,男,主任医师,主要研究方向:影像诊断。E-mail: 57688754@qq.com

e-THRIVE+序列(即T₁WI 增强): TR=620ms, TE=20ms, 矩阵: 280×336, 层厚: 3mm; MRI增强对比剂使用顺磁性造影剂Gd-DTPA, 用量为0.1mL/kg, 常规静脉团注。

1.4 图像分割 运用Radcloud平台在标准化扫描方案采集的T₂WI、DWI、T₁WI C+图像上由对患者临床信息设盲的放射科医师手动逐层勾画病灶获得3D感兴趣区容积(volumn of interest, VOI), 感兴趣区(region of interest, ROI)置于病灶最大层面, 注意经放大处理避开病灶周围气体、坏死及周围脂肪部分(图1A-1D)。由高级放射科医师审查勾画轮廓, 若差异≥5%, 则由更为资深的放射科医师来决定肿瘤边界。

1.5 特征筛选、降维处理、模型构建 用Radcloud平台从 MR 图像中共提取共4227个定量成像特征, 分为三组。一阶统计由378个描述符通过常用和基本指标定量描绘 MR 图像内体素强度的分布。基于形状和尺寸的特征包含42个反映区域形状和尺寸的三维特征。纹理特征则根据灰度游程长度和灰度共生纹理矩阵计算, 共1575个, 以量化区域异质性差异。采用方差阈值(threshold=0.9)、Select K Best(threshold=0.01)和最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)(cv=3, max_iter=1000) 三种方法以减少冗余特征, 行进一步特征选择及数据降维。基于所选特征, 本研究最终使用 (support vector machine, SVM) 支持向量机构建了影像组学特征模型, 并采用混淆矩阵(confusion matrix)的方法验证了模型的有效性。将纳入的临床因素(年龄、肿瘤长径、性别、CEA水平、CA199水平、NLR)采用单多因素logistic回归获得CCLM的独立危险因素, 构建临床模型。

1.6 统计学方法 采用SPSS 27.00 软件分析。先对(年龄、肿瘤长径)连续性资料进行正态性检验, 符合正态分布时, 以均数±标准差表示, 计数资料(性别、CEA水平、CA199水平)以频数表示, 连续资料及计数资料分别采用独立样本T检验及卡方检验, 比较相

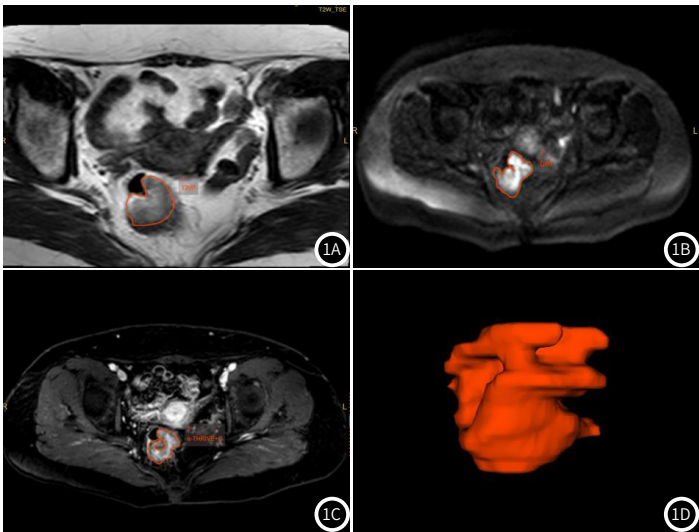


图1A-图1D 患者, 女, 53岁, 图1A-图1C分别为T₂WI、DWI、e-THRIVE+图上肿瘤病灶手动分割结果, 红线区域内为ROI; 图1D为勾画所得到的3D VOI。

应资料的组间差异。 $P<0.05$, 判定差异具有统计学意义。采用多因素逻辑回归构建临床模型, 对差异有统计学意义的指标进行受试者工作特征(ROC)曲线分析, 并计算得出相应曲线下面积(area under the curve, AUC)。

2 结果

2.1 临床一般资料比较 训练集与验证集间的年龄、肿瘤长径、性别、CEA水平、CA199水平、NLR差异无统计学意义($P>0.05$) (表1)。

表1 直肠癌患者一般资料比较

参数	训练集		验证集		P
	M-(n=99)	M+(n=60)	M-(n=24)	M+ (n=15)	
年龄(岁)	59.98±11.40	61.30±10.63	59.50±11.85	60.53±10.05	0.029
长径(cm)	4.23±1.58	4.48±1.17	4.61±1.54	5.09±3.06	0.084
性别					
男	48	41	14	11	0.068
女	51	19	10	4	
CEA水平(ng/mL)					0.368
0-5	80	24	17	7	
≥5	19	36	7	8	
CA199水平(U/mL)					0.326
0-37	93	34	20	10	
≥37	6	26	4	5	
NLR					0.064
0-2.84	70	27	20	6	
≥2.84	29	33	4	9	

注: M-: 无肝转移; M+: 有肝转移; 癌胚抗原(carcinoembryonic antigen, CEA); 糖类抗原199(carbohydrate antigen199, CA199); 中性粒细胞与淋巴细胞比值(neutrophil-to-lymphocyteratio, NLR)。

2.2 特征筛选与模型构建 首先利用方差阈值法从4227个特征中选择了1078个特征, 然后用Select K Best法选择了698个特征, 最后, 用 LASSO 算法选择了对应于最佳 α 值的20个最优特征, 最终用支持向量机 (SVM) 分类器构建了影像组学模型(图2A-2B), 最优特征用于构建影像组学模型。单因素逻辑回归分析显示, CEA水平、CA199水平及NLR水平差异有统计学意义($P<0.05$), 年龄、肿瘤长径、性别差异无统计学意义($P>0.05$), 进一步多因素逻辑回归分析显示CEA水平、CA199水平及NLR水平差异都具有统计学意义($P<0.05$), 即筛选出三者是CCLM的独立危险因素, 并进行临床模型的构建(表2)。

2.3 各模型效能验证与比较

2.3.1 影像组学模型训练及验证集比较(表3, 图3A-3C) 通过比较, T₂WI、DWI、e-THRIVE+ 三者所构建的影像组学模型在

训练集(AUC=0.919)与验证集(AUC=0.896)中的预测效果高于单一影像组学模型, 分别为T₂WI(训练集AUC=0.819, 验证集AUC=0.787)、DWI(训练集AUC=0.880, 验证集AUC=0.844)、e-THRIVE+(训练集AUC=0.902, 验证集AUC=0.858)。采用混淆矩阵, 来检测训练集及测试集模型的预测性能。

2.3.2 临床模型训练及验证集比较(表4, 图4A-4B)通过比较, 基于CEA水平、CA199水平及NLR所构建的临床模型在训练集与验证集的AUC值分别为0.800及0.791, 高于单一临床因素模型, 分别为CEA水平(训练集AUC=0.704, 验证集AUC=0.688)、CA199水平(训练集AUC=0.686, 验证集AUC=0.666)、NLR(训练集AUC=0.629, 验证集AUC=0.646)。但其预测效果低于上述影像组学模型。

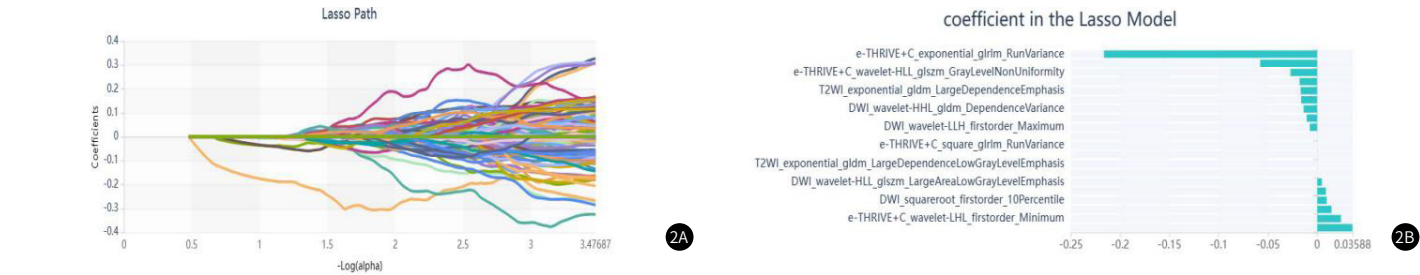


图2A LASSO 回归图；图2B 筛选出的20个最优影像组学特征

表2 临床因素的单因素和多因素逻辑回归分析结果

参数	单因素分析				多因素回归分析					
	M-(n=123)	M+(n=75)	χ^2/t	P	B	SE	Wald	P	OR	95%CI
年龄	59.89±11.43	61.15±10.45	-7.76	0.438						
长径	4.30±1.57	4.60±1.71	-1.243	0.215						
性别			6.833	0.09						
男	62	52								
女	61	23								
CEA水平			28.711	<0.001	1.171	0.366	10.219	0.001	3.227	1.573-6.617
0-5	97	31								
≥5	26	44								
CA199水平			31.283	<0.001	1.857	0.46	16.267	<0.001	6.402	2.567-15.782
0-37	113	44								
≥37	10	31								
NLR			16.848	<0.001	1.427	0.359	15.793	<0.001	4.164	2.061-8.416
0-2.84	90	33								
≥2.84	33	42								

表3 影像模型预测CCLM效能

组别	AUC	95% CI	Sensitivity	Specificity
训练集				
T ₂ WI	0.819	0.665 - 0.973	0.720	0.670
DWI	0.880	0.813 - 0.947	0.760	0.800
e-THRIVE+	0.902	0.841 - 0.963	0.840	0.850
三者	0.919	0.811 - 1.000	0.830	0.800
验证集				
T ₂ WI	0.787	0.645 - 0.929	0.840	0.670
DWI	0.844	0.701 - 0.987	0.830	0.670
e-THRIVE+	0.858	0.788 - 0.928	0.840	0.620
三者	0.896	0.834 - 0.958	0.820	0.830

表4 临床模型预测CCLM效能

组别	AUC	95% CI	Sensitivity	Specificity
训练集				
CEA	0.704	0.617 - 0.791	0.600	0.808
CA199	0.686	0.569 - 0.777	0.433	0.567
NLR	0.629	0.538 - 0.719	0.550	0.450
三者	0.800	0.724 - 0.875	0.583	0.909
验证集				
CEA	0.688	0.609 - 0.766	0.587	0.789
CA199	0.666	0.584 - 0.748	0.413	0.919
NLR	0.646	0.565 - 0.726	0.560	0.732
三者	0.791	0.722 - 0.859	0.547	0.911

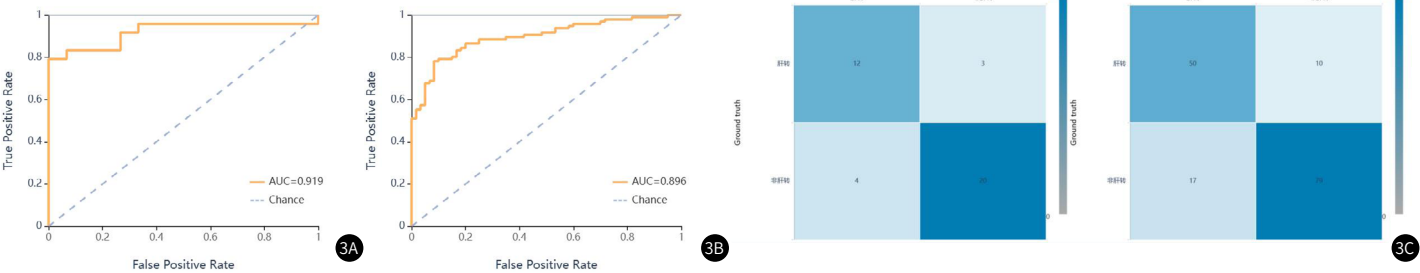


图3A 影像组学联合模型训练集ROC曲线；图3B 影像组学联合模型验证集ROC曲线；图3C 显示训练集和验证集模型预测性能的混淆矩阵

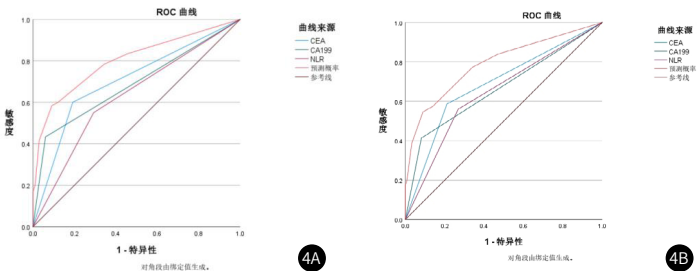


图4A-图4B 临床联合模型训练集ROC曲线

3 讨论

肝脏是CRC血行转移的主要器官，CCLM也是CRC患者的主要死因^[9]。而大部分(70%甚至是80%-90%)肝转移瘤不能手术完全切除(受瘤体大小，数目，位置，周围受累程度等影响)，其切除术后1年复发率约在40%^[10-13]。有研究表明，对于II-III期直肠癌患者，术前放、化疗(neoadjuvant chemoradiotherapy, nCRT)并不能提高患者长期生存率^[14]。而转移性CRC的5年生存率约在15%左右，临床受益率(clinical benefit rate, CBR)水平也相对较低^[15]。CCLM已成为结直肠癌治疗的重点和难点。CRC诊疗理念的更新日新月异，根据2023年最新中国CCLM诊断和综合治疗

指南显示,临床处理手段已不单局限于传统单纯根治性手术或放、化疗及一般新辅助治疗,还有一些新兴的预防和减少肝转移发生的有效手段,如肝动脉或肿瘤区域动脉的联合灌注化疗,无转移CRC患者的腹腔及术中门静脉化疗等等。但目前采取临床干预手段多基于临床分期及使用传统方式,没有对于CCLM更为准确的评估和预测,部分发生肝转移的患者也因无明显相关症状、未及时进行全面评估和检查,错过最佳的治疗时机。因此,各方期待对CCLM患者进行更为早期、科学、合理、全面的评估,从而个性化制定综合治疗方案,以预防CCLM的发生、提高转移灶的手术切除概率及患者的5年生存率。预防结直肠癌肝转移最有效的方式便是对CRC规范化治疗^[16-18]。因此,对CRC患者进行CCLM的评估和预测就显得尤为重要。

本研究试图通过MRI影像组学手段对CCLM进行预测。影像组学可以高通量数据挖掘信息,进一步提高诊断的准确性^[19],既往已有研究证实影像组学特征对于CRC的远期预后及CCLM的预测及评估的可能性和潜在作用,如基于MR静脉期的影像组学特征,可作为预测CRC远期预后的有效标志^[20];房玥等^[21]通过分析CRC患者术前影像,得出CT纹理差异与结直肠癌远处转移具有一定相关性,如熵值、峰度值等。Fang等^[22]所构建的基于MRI T₂WI序列的影像组学模型,其训练组的AUC值0.857(0.787-0.912),验证组的AUC值为0.834(0.714-0.918),证明了其模型具有预测同时性CCLM的价值。以上等关于CRC的研究多通过单期或单序列提取影像组学特征对CRC预后进行分析,并证明了其有效性,但采用CRC患者多序列MR影像组学特征进一步评估和预测CCLM的研究开展则较少,且多是在ROI下提取二维特征,另有研究证实3D的VOI比2D的ROI更能表征肿瘤的异质性^[23],而本研究恰恰采用了多序列MR影像组学特征,并纳入三维纹理特征分析,这对CRC研究领域是必要的深入和补充。

Fiz等^[24]研究表明,影像组学方法可以比标准预测指标更为及时有效预测隐匿性肝转移瘤,为CCLM患者精准治疗方案,监测预后状态,帮助临床实现最为合适的治疗决策。Taghavi等^[25]多中心研究回顾性分析了91例CRC患者静脉期的CT数据,得出基于机器学习的影像组学模型对于预测结直肠癌异时性肝转移具有较高效能的结论,其中影像组学模型(验证集AUC值=0.86)表现优于临床模型(验证集AUC值=0.71)。而本研究选用多参数MR影像组学特征对CCLM进行预测,得出基于T₂WI、DWI及e-THRIVE+的影像组学模型对于CCLM具有较高预测效能,其表现亦优于临床模型(影像组学模型验证组的AUC值=0.896;临床模型验证组的AUC值=0.791)。本研究最终筛选了20个最佳定量影像组学特征,其中,运行方差(run variance, RV)、低灰度强调(low gray level emphasis, LGLE)、灰度不均匀性(grayLevelNonUniformity, GLN)三者占比最大。值得注意的是,基于小波变换的影像组学特征高达9个,小波中最大占比的为wavelet-HLH_glszm_GraylevelNonUniformity,既往亦有组学研究显示小波特征对疾病鉴别具有较好效果^[26];而相关性最高的特征分别为exponential_glrlm_RunVariance和wavelet-LHH_glszm_LargeArea Low gray level emphasis。

另有研究表明^[27-29],NLR等指标与CRC以及CCLM患者的预后密切相关并具有一定的提示作用;CEA水平可作为结直肠癌患者预后的重要标志物,术前CEA、CA125水平高的CRC患者较易发生复发和转移。因此,本研究纳入了NLR作为筛选因素,并证实了其效能,其单个模型AUC值在训练及验证集中分别为0.629及0.646,预测效能相对较低。而由CEA、CA199、NLR共同构建的临床模型则具有一定预测效能,其训练及验证组AUC值分别为0.800及0.791。本研究加入对CRC相关临床因素的比较分析,也是除探究多序列影像组学特征预测CCLM之外,与其他相关研究的重要区别点。

本研究还存在以下局限性:(1)纳入的病例数目有待进一步扩充,需进行扩大样本量及多中心外部验证以减少偏倚。(2)未能进行病理分子分型的分类研究,而CRC本身是一种异质性疾病,其亚型隶属关系影响预后和治疗反应^[2]。(3)需纳入更多临床危险因素,如血清白蛋白等,另可构建列线图预测模型进行比较,也是下一步进一步细化的研究方向。(4)还可进行多方位MR序列的勾

画及评估验证,如T₂WI矢状位。

综上所述,基于多参数MRI影像组学模型对于结直肠癌肝转移具有较高预测效能。在CCLM发展已如此严峻的形势下,这对于临床关于CCLM的早期预测和评估,提前采取有效必要手段干预、决定不同临床处理措施、采取(multidisciplinary team, MDT)多学科综合诊疗以提高患者的远期生存率具有重要意义。

参考文献

- [1] Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2018, 68: 394-424.
- [2] Xi Y, Xu P. Global colorectal cancer burden in 2020 and projections to 2040[J]. Translational Oncology, 2021, 14(10): 101174.
- [3] Center M M, Jemal A, Smith R A, et al. Worldwide variations in colorectal cancer[J]. CA: A Cancer Journal for Clinicians, 2009, 59(6): 366-378.
- [4] Hossain M S, Karuniawati H, Jaioun A A, et al. Colorectal cancer: a review of carcinogenesis, global epidemiology, current challenges, risk factors, preventive and treatment strategies[J]. Cancers, 2022, 14(7): 1732.
- [5] Safiejko K, Tarkowski R, Koselak M, et al. Robotic-assisted vs. standard laparoscopic surgery for rectal cancer resection: a systematic review and meta-analysis of 19,731 patients[J]. Cancers, 2021, 14(1): 180.
- [6] Wu X, Lin H, Li S. Prognoses of different pathological subtypes of colorectal cancer at different stages: a population-based retrospective cohort study[J]. BMC Gastroenterol, 2019, 19(1): 164.
- [7] Garlipp B, Gibbs P, Van Hazel GA, et al. Secondary technical resectability of colorectal cancer liver metastases after chemotherapy with or without selective internal radiotherapy in the randomized SIRFLOX trial[J]. Br J Surg, 2019, 106(13): 1837-1846.
- [8] Sotirchos VS, Fujisawa S, Vakiani E, et al. Fluorescent tissue assessment of colorectal cancer liver metastases ablation zone: a potential real-time biomarker of complete tumor ablation[J]. Ann Surg Oncol, 2019, 26(6): 1833-1840.
- [9] Siegel R L, Miller K D, Goding Sauer A, et al. Colorectal cancer statistics, 2020[J]. CA Cancer J Clin, 2020, 70(3): 145-164.
- [10] Taniai N, Akimaru K, Yoshida H, et al. Surgical treatment for better prognosis of patients with liver metastases from colorectal cancer[J]. Hepato-gastroenterology, 2007, 54(78): 1805-1809.
- [11] Arru M, Aldrighetti L, Castoldi R, et al. Analysis of prognostic factors influencing long-term survival after hepatic resection for metastatic colorectal cancer[J]. World Journal of Surgery, 2008, 32: 93-103.
- [12] Okuno K. Surgical treatment for digestive cancer[J]. Digestive Surgery, 2007, 24(2): 108-114.
- [13] 于清泳, 赵辉. 结直肠癌肝转移患者TACE治疗后表皮生长因子的纤维蛋白样细胞外基质2水平及意义[J]. 介入放射学杂志, 2021, 30(10): 1035-1039.
- [14] 陈顺, 仵朝晖, 解有成, 等. 局部进展期结直肠癌新辅助免疫治疗临床研究及应用进展[J]. 中国肿瘤临床, 2023, 50(2): 6.
- [15] Zuo Z G, Zhang X F, Wang H, et al. Prognostic value of lymph node ratio in locally advanced rectal cancer patients after preoperative chemoradiotherapy followed by total mesorectal excision[J]. Medicine, 2016, 95(9).
- [16] Xu J, Zhong Y, Weixin N, et al. Preoperative hepatic and regional arterial chemotherapy in the prevention of liver metastasis after colorectal cancer surgery[J]. Ann Surg, 2007, 245(4): 583-590.
- [17] Chang W, Wei Y, Ren L, et al. Randomized controlled trial of intraportal chemotherapy combined with adjuvant chemotherapy (mFOLFOX6) for stage II and III colon cancer[J]. Ann Surg, 2016, 263(3): 434-439.
- [18] 中国医师协会外科医师分会, 中华医学会外科学分会胃肠外科学组, 中华医学会外科学分会结直肠外科组, 等. 中国结直肠癌肝转移诊断和综合治疗指南(2023)[J]. 中国临床医学, 2023, 30(1): 166-198.
- [19] 潘杰, 毛景松, 姚天虹, 等. 影像组学在肝癌中应用的研究进展[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(4): 174-177.
- [20] Meng Y, Zhang Y, Dong D, et al. Novel radiomic signature as a prognostic biomarker for locally advanced rectal cancer[J]. Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2018, 48(3): 605-614.
- [21] 房玥, 王国蓉, 王志伟, 等. CT 纹理分析与淋巴结阴性结直肠癌患者伴同时性远处转移的相关性分析[J]. 中国医学科学院学报, 2021, 42(6): 781-788.
- [22] Shu Z, Fang S, Ding Z, et al. MRI-based Radiomics nomogram to detect primary rectal cancer with synchronous liver metastases[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 3374.
- [23] Ng F, Kozarski R, Ganesan B, et al. Assessment of tumor heterogeneity by CT texture analysis: can the largest cross-sectional area be used as an alternative to whole tumor analysis? [J]. European Journal of Radiology, 2013, 82(2): 342-348.
- [24] Fiz F, Viganò L, Gennaro N, et al. Radiomics of liver metastases: a systematic review[J]. Cancers (Basel), 2020, 12(10): 1-21.
- [25] Taghavi M, Trebeschi S, Simões R, et al. Machine learning-based analysis of CT radiomics model for prediction of colorectal metachronous liver metastases[J]. Abdominal Radiology, 2021, 46: 249-256.
- [26] 王亮, 孔令淳, 王泽学. 肺腺癌CT影像组学特征与病理结果对照研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(9): 109-111.
- [27] 马钊, 杨越, 曹景玉, 等. 中性粒细胞淋巴细胞比值与两医院7187例结直肠癌肝转移临床资料回顾分析[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2020, 27(12): 992-997.
- [28] 侯智俐, 袁维堂, 孙振强, 等. 术前中性粒细胞与淋巴细胞计数比值对469例结直肠癌患者预后影响[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2019, 26(9): 4.
- [29] Thirunavukarasu P, Talati C, Munjal S, et al. Effect of incorporation of pretreatment serum carcinoembryonic antigen levels into AJCC staging for colon cancer on 5-year survival[J]. JAMA Surgery, 2015, 150(8): 747-755.

(收稿日期: 2023-06-19)

(校对编辑: 韩敏求)