

本文引用格式:张琦,王裴培,龙腾飞,等.IVIM-DWI联合基于T₂WI纹理分析术前鉴别直肠癌T₂与T₃分期的应用价值[J].安徽医学,2024,45(6):674-679.DOI:10.3969/j.issn.1000-0399.2024.06.002

· 直肠癌精准诊断——多参数MRI及人工智能 ·

IVIM-DWI联合基于T₂WI纹理分析术前鉴别直肠癌T₂与T₃分期的应用价值

张琦 王裴培 龙腾飞 刘鹤飞 柳璐 闻妹 付宝月 董江宁 钱立庭

[摘要] **目的** 探讨体素内不相干运动扩散加权成像(IVIM-DWI)和基于T₂WI纹理分析术前鉴别直肠癌T₂与T₃分期的价值。**方法** 回顾性分析2016年6月至2023年5月于中国科学技术大学附属第一医院西区(安徽省肿瘤医院)就诊且经手术病理证实的105例直肠癌患者临床资料。根据术后病理T分期将患者分为T₂期组($n=57$)和T₃期组($n=48$)。所有患者均于术前行常规MRI及IVIM-DWI检查。测量患者癌灶的IVIM-DWI参数表观扩散系数(ADC)、D、D*和f,并提取T₂WI序列的三维纹理特征。比较两组患者IVIM-DWI参数和纹理参数的差异,建立纹理特征模型、IVIM-DWI和纹理特征参数的联合模型。用受试者工作特征(ROC)曲线评估各参数和模型术前对直肠癌T₂和T₃分期的鉴别效能。**结果** IVIM-DWI参数中,T₂期组D值大于T₃期组D值,T₂期组f值小于T₃期组f值,差异均有统计学意义($P<0.05$),ADC值和D*值的差异无统计学意义($P>0.05$)。从T₂WI提取的1874个纹理参数中,筛选出4个具有统计学意义的纹理参数:firstorder_90Percentile、glrlm_LRLGLE、glszm_SZN和glszm_SAHGLE。D值、f值及4个纹理特征参数的曲线下面积(AUC)分别为0.705、0.664、0.840、0.740、0.801、0.656。纹理特征模型的AUC为0.952,联合模型的AUC为0.956。联合模型的AUC大于D值、f值及4个纹理特征参数的AUC,其灵敏度为93.9%,特异度为87.5%。**结论** IVIM-DWI联合基于T₂WI纹理分析术前对直肠癌的T₂期和T₃期具有良好的鉴别效能,一定程度上弥补常规MRI技术之不足。

[关键词] 直肠癌;体素内不相干运动扩散加权成像;纹理分析;T分期

doi:10.3969/j.issn.1000-0399.2024.06.002

Value of IVIM-DWI combined with texture analysis based on T₂WI to differentiate T₂ from T₃ stage in rectal cancer preoperatively

ZHANG Qi¹, WANG Peipei², LONG Tengfei¹, LIU Hefei¹, LIU Lu¹, WEN Mei¹, FU Baoyue², DONG Jiangning², QIAN Liting³

1. Department of Radiation Oncology, Ion Medical Center (Hefei Ion Medical Center), the First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei Anhui 230088, China

2. Department of Radiology, West Branch of the First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei Anhui 230031, China

3. Department of Radiation Oncology, West Branch of the First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei Anhui 230031, China

Corresponding author: DONG Jiangning, dongjn@ustc.edu.cn; QIAN Liting, money2004@sina.com

[Abstract] **Objective** To investigate the value of IVIM-DWI combined with texture analysis based on T₂WI in differentiating T₂ from T₃ stage of rectal cancer preoperatively. **Methods** Retrospective analysis was performed on the clinical data of 105 cases of rectal cancer confirmed by surgical pathology in West Branch of the First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China (Anhui Provincial Cancer Hospital) from June 2016 to May 2023. The enrolled patients were divided into the T₂ stage group ($n=57$) and the T₃ stage group ($n=48$) according to T stage. All patients underwent conventional rectal MRI and IVIM-DWI scan before surgery. IVIM-DWI parameters of primary rectal cancer were measured, including ADC, D, D* and f, and the three-dimensional texture features based on T₂WI were extracted. The differences in IVIM-DWI parameters and texture feature parameters were compared between the two groups, then the texture feature model and combined model based on IVIM-DWI and texture feature parameters were established. The receiver operating characteristic (ROC) curves were used to evaluate the performance of each parameter and model in the preoperative prediction about T₂ and T₃ stage in rectal cancer. **Results** Among all the IVIM-DWI parameters, the D value of T₂ stage group was bigger than T₃ stage group, and the f value of T₂ stage group was

作者单位:230088 安徽合肥 中国科学技术大学附属第一医院离子医学中心(合肥离子医学中心),肿瘤放疗科(张琦,龙腾飞,刘鹤飞,柳璐,闻妹)

230031 安徽合肥 中国科学技术大学附属第一医院西区影像科(王裴培,付宝月,董江宁),肿瘤放疗科(钱立庭)

通信作者:董江宁, dongjn@ustc.edu.cn; 钱立庭, money2004@sina.com

smaller than T3 stage group. Both of them were significantly different ($P<0.05$), and no statistical significance was found in the ADC and D^* values between two groups (both $P>0.05$). Four texture parameters with statistical significance, including firstorder_90Percentile, glrlm_LRLGLE, glszm_SZN and glszm_SAHGLE, were selected totally from 1874 texture parameters, which extracted from T2WI sequence. The AUC of D, f and four texture feature parameters was 0.705, 0.664, 0.840, 0.740, 0.801, 0.656 respectively. The AUC of texture feature model and the combined model was 0.952 and 0.956, respectively. The AUC of combined model was larger than D, f and the four texture feature parameters ($P<0.05$), and the sensitivity was 93.9% and the specificity was 87.5%. **Conclusion** IVIM-DWI parameters combined with texture analysis based on T₂WI show better efficacy in differentiating T₂ from T₃ stage of rectal cancer preoperatively, which may remedy the weakness of conventional MRI to some extent.

[Key words] Rectal cancer; Introvoxel incoherent movement diffusion weighted imaging; Texture analysis; T stage

2020 年全球癌症统计报告数据显示,结直肠癌发病率位列全球癌症发病率第 3 位,死亡率位列第 2 位,仅次于肺癌^[1]。近年来也有相关数据表明,结直肠癌的发病呈现出日益年轻化的趋势^[2]。目前 T₁₋₂N₀M₀ 期的直肠癌患者推荐直接手术, T₃ 和/或 N⁺ 的可切除直肠癌患者原则上推荐新辅助治疗,而 T₄ 期患者必须进行术前放化疗^[3]。直肠癌治疗前的精准分期能够帮助临床医生选择更为合适、有效的治疗方案。常规 MRI 是目前常用的直肠癌术前诊断和 T、N 分期的影像学方法,但常规 MRI 在评估直肠癌浅、深肌层侵犯即鉴别 T₂、T₃ 期具有局限性,常因分期不准确而影响临床决策。多参数 MRI 和影像组学的快速发展弥补了常规 MRI 技术之不足,已成为其有益的补充。体素内不相干运动扩散加权成像(introvoxel incoherent movement diffusion weighted imaging, IVIM-DWI)相比于常规 MRI 能够更加准确地反映组织中水分子扩散和微循环灌注。纹理分析通过分析医学影像中像素和体素的分布,无创性地对肿瘤的异质性进行客观定量的分析^[4]。近年来,有学者分别对 IVIM-DWI 和纹理分析在直肠癌术前分期中的应用价值进行了相关研究^[5-6],但很少将两者结合起来。因此,本研究拟通过探讨 IVIM-DWI 定量参数联合基于 T₂WI 纹理分析术前鉴别直肠癌 T₂、T₃ 分期的可行性和临床价值,以期为临床选择更为合适和有效的个体化治疗方案提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2016 年 6 月至 2023 年 5 月于中国科学技术大学附属第一医院西区(安徽省肿瘤医院)就诊的经手术病理证实的 142 例直肠癌患者资料。纳入标准:①病理明确;②无远处转移;③既往未行放化疗。排除标准:①无法行 MRI 检查者;②MRI 图像质量不符合诊断要求;③伴有其他恶性肿瘤病史。最终纳入 105 例患者,其中男性 59 例,女性 46 例,年龄 30~79 岁,平均(57.5±10.3)岁。所有入组患者均于术前行常规 MRI 及 IVIM-DWI 检查,术后行直肠癌根治术。根据术后病理,将患者分为两组, T₂ 期组(57

例), T₃ 期组(48 例)。本研究经中国科学技术大学附属第一医院西区(安徽省肿瘤医院)伦理委员会批准通过,审批文件编号为 2024-YXK-04。

1.2 检查设备及扫描方法 采用美国 GE Healthcare Signa HDXT 3.0T 磁共振扫描仪, Torsor 线圈。主要扫描序列包括:轴位 T₁WI、轴位、冠状位及矢状位高分辨 T₂WI、10 个 b 值的 IVIM-DWI 序列 (b=0、10、20、50、100、150、200、500、1 200、2 000 s/mm²), 各序列扫描参数见表 1。

表 1 MRI 各序列扫描参数

扫描序列	TR/TE(ms)	NEX (次)	FOV (cm)	层厚 (mm)	层间距 (mm)
T ₁ WI	500/7.2	1	32×32	6	2
T ₂ WI	3 900/109	4	24×24	3	1
IVIM-DWI	4 000/65	6	42×42	3	1

1.3 图像资料分析

1.3.1 IVIM-DWI 图像分析 在 GE AW4.5 工作站上,选取 b=1 200 s/mm² 并于肿瘤的最大层面沿肿瘤边缘手动勾画感兴趣区(region of interest, ROI)。测量 3 个连续层面(病变的最大横截面及其上下层面)取平均值,得出 IVIM-DWI 的参数有:表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)、真扩散系数(pure molecular diffusion, D)、假扩散系数(pseudo-diffusion coefficient, D^{*})和灌注分数(perfusion fraction, f)。

1.3.2 纹理分析 使用 ITK-SNAP 软件在轴位压脂 T2WI 图像上逐层勾画 ROI,勾画后的 ROI 融合为感兴趣体积(volume of interest, VOI)。使用 Python 3.6.0 的 PyRadiomics 3.0.1 进行纹理分析,自动获取 VOI 的 1 874 个纹理参数。通过 SelectKBest 方法进行单变量筛选,保留了 $P<0.05$ 的特征。

所有图像资料均由 2 名有 5 年以上工作经验的 MRI 诊断医师采用双盲法进行判定,对存在分歧的结果由 2 人协商后取得一致意见。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 26.0 和 Python 3.6.0 对所有数据进行统计,计数资料用率表示,用独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验对所有参数进行单因素

分析,符合正态分布的用 $\bar{x}\pm s$ 表示,不符合正态分布的用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示。再采用五折交叉验证和机器学习算法(logistic regression, LR)建立纹理特征模型和IVIM-DWI及纹理特征参数的联合模型。各单一参数和模型的诊断有效性通过受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线的曲线下面积(area under the curve, AUC)进行量化。DeLong检验用于比较模型之间的AUC。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学

意义。

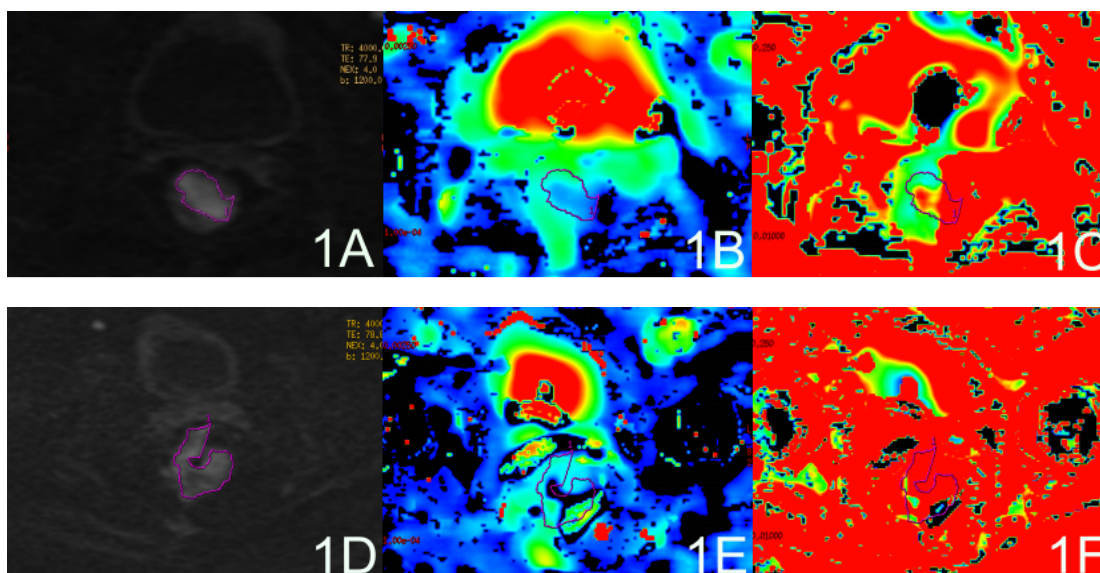
2 结果

2.1 两组患者IVIM-DWI参数比较 IVIM-DWI定量参数中,T₂期组D值大于T₃期组D值,T₂期组f值小于T₃期组f值,差异具有统计学意义($P<0.05$),两组ADC值和D*值的差异无统计学意义($P>0.05$)。见表2、图1。

表2 T₂期组和T₃期组IVIM-DWI参数和纹理特征参数比较

参数	T ₂ 组(n=57)	T ₃ 组(n=48)	t/Z值	P值
ADC($\times 10^{-3}$ mm/s)	0.900 \pm 0.124	0.876 \pm 0.133	0.803	0.425
D($\times 10^{-3}$ mm/s)	0.698 \pm 0.121	0.596 \pm 0.134	3.390	0.001
D*($\times 10^{-3}$ mm/s)	13.715(6.975, 29.975)	8.108(4.441, 25.079)	-1.131	0.258
f	27.632 \pm 10.672	34.765 \pm 12.507	-2.590	0.012
firstorder_90Percentile	-0.730(-1.314, 0.030)	0.739(0.285, 1.328)	-6.397	<0.001
glrlm_LRLGLE	-0.647(-0.958, 0.017)	0.658(-0.239, 1.425)	-4.988	<0.001
glszm_SZN	-0.692(-0.958, -0.425)	0.636(-0.525, 1.592)	-4.417	<0.001
glszm_SAHGLE	0.077(-0.662, -1.266)	-0.393(-0.856, 0.384)	-2.289	0.022

注:ADC为表观扩散系数,D为真扩散系数,D*为假扩散系数,f为灌注分数。



注:1A~C女,63岁,直肠癌,T₂期。1A为体素内不相干运动扩散加权成像(IVIM-DWI)(b=1 200 s/mm²)图,示直肠癌原发灶呈高信号,红色区域为原发灶感兴趣区;1B为真实扩散系数(D)伪彩图,肿瘤组织D值为0.614 $\times 10^{-3}$ mm²/s;图1C为灌注分数(f)伪彩图,肿瘤组织f值为23.6%。1D~F男,69岁,直肠癌,T₃期。1D为IVIM-DWI(b=1 200 s/mm²)图,示直肠癌原发灶呈高信号,红色区域为原发灶感兴趣区;1E为真实扩散系数(D)伪彩图,肿瘤组织D值为0.354 $\times 10^{-3}$ mm²/s;1F为灌注分数(f)伪彩图,肿瘤组织f值为45.9%。

图1 T₂期与T₃期直肠癌患者IVIM-DWI图像及D、f伪彩图

2.2 纹理特征参数 基于T₂WI获得的1 874个纹理特征参数中,最终筛选出4个术前鉴别直肠癌T分期有较高价值的纹理参数,包括1个一阶特征90Percentile,1个灰度游程矩阵(gray level run length matrix, GLRLM)参数(LongRunLowGrayLevelEmphasis,

LRLGLE)以及2个灰度区域大小矩阵(gray level size zone matrix, GLSZM)参数(SizeZoneNonUniformity, SZN)和(SmallAreaHighGrayLevelEmphasis, SAHGLE)。T₃期组的4个纹理特征参数值均大于T₂期组,差异有统计学意义($P<0.05$)。见图2。

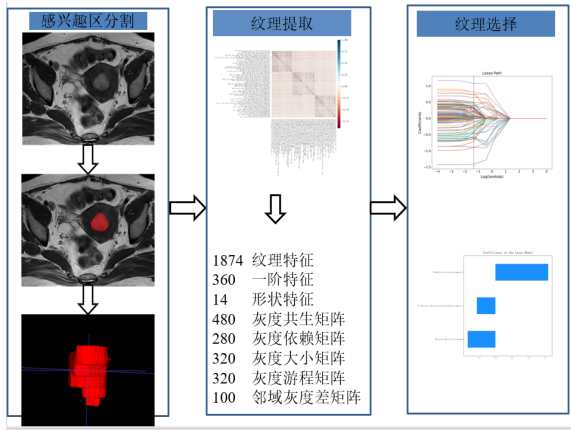


图 2 纹理分析流程

2.3 单一参数、纹理特征模型及联合模型的诊断效能 采用五折交叉验证和机器学习算法(logistic regression, LR)构建了两组模型:①纹理特征模型(基于 T_2 WI 筛选的 4 个纹理特征);②联合模型(基于 IVIM-DWI 的参数 D 值、f 值及基于 T_2 WI 筛选的 4 个纹理特征)。各单一参数及两组模型的预测准确性通过 ROC 曲线(图 3)及 AUC 值(表 3)来量化,分析上述参数及

模型的诊断效能,计算灵敏度和特异度。其中联合模型的诊断效能最高,AUC 为 0.956,大于 D 值、f 值、firstorder_90Percentile、gllrm_LRLGLE、glszm_SZN 和 glszm_SAHGLE 的 AUC,差异均有统计学意义($Z=9.86$ 、 4.64 、 2.45 、 4.25 、 2.83 、 8.67 , P 分别为 <0.001 、 <0.001 、 0.014 、 <0.001 、 0.004 、 <0.001),而与纹理特征模型的差异无统计学意义($Z=0.67$, $P=0.501$)。

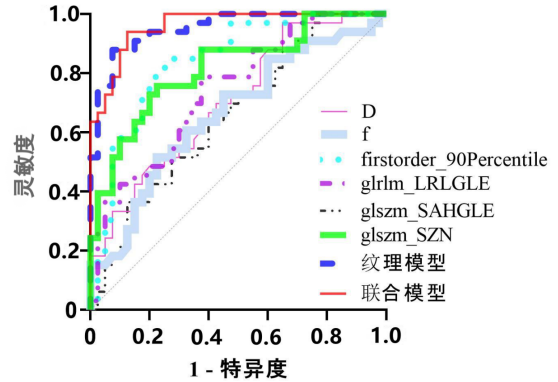


图 3 D、f、纹理特征参数、纹理模型和联合模型的受试者工作特征曲线图

表 3 IVIM-DWI 参数、纹理特征及联合模型鉴别直肠癌 T_2 和 T_3 期的效能

参数	AUC(95%CI)	灵敏度(%)	特异度(%)
D	0.705(0.587~0.823)	97.0	35.0
f	0.664(0.538~0.790)	72.7	55.0
firstorder_90Percentile	0.840(0.747~0.932)	81.8	77.5
gllrm_LRLGLE	0.740(0.628~0.853)	78.8	62.5
glszm_SZN	0.801(0.695~0.907)	75.6	77.5
glszm_SAHGLE	0.656(0.532~0.781)	51.5	72.7
纹理模型	0.952(0.909~0.996)	87.9	92.5
联合模型	0.956(0.922~0.997)	93.9	87.5

3 讨论

目前 IVIM-DWI 和纹理分析在直肠癌的分期中起着重要的作用。 T_2 WI 和 DWI 是直肠癌影像分期最重要的序列,可有效显示直肠病变^[7-8]。对于直肠癌术前精准诊断,纹理分析可以作为常规 MRI 技术的补充,特别是在确定术前分期、评估治疗反应以及预测淋巴结转移和预后方面具有很高的价值^[9-11]。本研究对 IVIM-DWI 及纹理分析术前鉴别直肠癌 T 分期的应用价值进行分析。

3.1 IVIM-DWI 的定量参数术前鉴别直肠癌 T_2 与 T_3 分期的价值 与使用单指数模型运算的扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)相比,IVIM-DWI 在 DWI 的基础上采用双指数运算模型,获得定量参数 ADC、D、 D^* 和 f 值,在反映肿瘤组织内部水分子扩散的

同时,也反映了肿瘤组织内微循环灌注的信息,更加准确地反映不同分期的肿瘤微环境的差异。

本研究结果显示, T_3 期直肠癌的 D 值较 T_2 期直肠癌 D 值减低($P<0.05$),这可能是因为 T 分期越高,肿瘤细胞密集程度越大,胞外间隙越小,从而限制组织中水分子的自由运动,D 值减小。参数 f 值反映了总扩散中微循环灌注所占的百分比,反映新生毛细血管总量^[12]。本研究中 f 值随着 T 分期的增加而增大,其原因可能是分期越高,肿瘤组织微血管大量增殖^[13],微循环灌注也较强,f 值增大。ADC 为表观扩散系数,其值不仅受细胞密度、核浆比的影响,与毛细血管床的灌注和渗透、组织脂肪含量等有关^[14]。这些因素可能导致 ADC 值在肿瘤分期中的诊断效能较差。 D^* 反映的是组织灌注情况,本研究显示 D^* 在两组间无明显差异,这与张益兰等^[15]的研究结果相仿。这可能与 D^* 对噪声

敏感,数值相对不稳定有关^[16]。

3.2 基于T₂WI的纹理特征术前鉴别直肠癌T₂和T₃分期的价值 异质性可反映肿瘤的恶性程度,但传统的影像学检查无法对其进行捕获和量化^[17]。纹理分析通过图像像素中的灰度变化从而定量反映其异质性。纹理分析技术已被广泛应用于多种肿瘤的鉴别诊断、疗效评估和预后预测等^[18]。T₂WI能更好地显示组织间的对比度,所以其影像中可能包含更多有价值的纹理特征参数^[19-20]。本研究对纹理分析术前鉴别直肠癌T₂和T₃分期的价值进行了相关分析。

本研究在T₂WI的基础上,筛选出4个最优纹理特征参数。一阶特征1个,为90 Percentile。90 Percentile表示病灶区域内的灰度强度中第90位的灰度值分布^[21]。本研究中T₃期组的90 Percentile明显高于T₂期组,说明T₃期组直肠癌的T₂WI图像的灰度更高,成分构成更加复杂。二阶特征3个,包含1个GLRLM参数:长行程低灰度强调LRLGLE和2个GLSZM参数:区域大小不均匀性SZN、小区域高灰度强调SAHGLE,分别反映了图像中灰度级的分布和同质性区域的特征。本研究T₃期组的LRLGLE高于低分期组,说明T₃期组图像灰度分布更加不均匀,这与其组织成分较T₂期组更加复杂有关。T₃期组的SZN和SAHGLE同样也均高于T₂期组,说明T₃期组图像的同质性较差,不一致性较大,即异质性更大。T₃期组的4个纹理特征参数值均大于T₂期组,均表明T₃期组直肠癌肿瘤组织存在着更大的异质性。

由4个纹理特征参数建立的纹理模型的AUC值为0.952,优于各个独立的纹理参数。这也说明纹理模型较4个纹理参数在术前鉴别直肠癌T₂和T₃分期中具有更高的价值。

3.3 IVIM-DWI定量参数联合基于T₂WI纹理特征术前鉴别直肠癌T₂和T₃分期的价值 本研究结果发现单一的IVIM-DWI定量参数和纹理特征参数术前鉴别直肠癌T₂、T₃分期的效能较低,而D值、f值和4个纹理参数联合模型的AUC值为0.956,与各单一参数相比,诊断效能显著提升,且灵敏度和特异度均较高。其原因可能是联合模型将IVIM-DWI的定量参数和纹理特征的优势结合起来,可以更好地反映肿瘤组织的水分子扩散、微循环灌注和异质性等微观特征,而这些微观特征与直肠癌病灶的浸润深度密切相关。IVIM-DWI技术与基于T₂WI的纹理分析相辅相成,进一步提高了术前鉴别直肠癌T₂、T₃分期的效能,有助于提高术前鉴别直肠癌T₂、T₃分期的准确性,为临床上直肠癌患者治疗方式的选择提供了定量的影像学依据。

本研究的局限性:为单中心、回顾性研究,样本量

较少,入组患者的选择存在一定的偏倚,且未纳入增强序列的纹理特征;手动勾画ROI不能与病理组织标本保持完全一致;没有将N分期等其他临床特征纳入研究。今后将进一步采取前瞻性、多中心研究,以期进一步提高预测效能。

综上所述,IVIM-DWI联合基于T₂WI的纹理分析技术可以提高术前鉴别直肠癌T₂、T₃分期的诊断效能,为临床治疗方式的选择提供定量、客观的影像学影像组学依据。

参考文献

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2021, 71(3):209-249.
- [2] SIEGEL R L, TORRE L A, SOERJOMATARAM I, et al. Global patterns and trends in colorectal cancer incidence in young adults[J]. *Gut*, 2019, 68(12):2179-2185.
- [3] 国家卫生健康委员会医政司, 中华医学会肿瘤学分会. 中国结直肠癌诊疗规范(2023版)[J]. *消化肿瘤杂志(电子版)*, 2023, 15(3):177-206.
- [4] GUIOT J, VAIDYANATHAN A, DEPREZ L, et al. A review in radiomics: making personalized medicine a reality via routine imaging[J]. *Med Res Rev*, 2022, 42(1): 426-440.
- [5] 张单霞, 朱绍成, 管枢, 等. MR体素内不相干运动扩散加权成像对直肠腺癌T分期及分化程度的应用价值研究[J]. *磁共振成像*, 2016, 7: 561-566.
- [6] 周彦汝, 王长福. MRI图像纹理分析在直肠癌术前分期中的应用价值[J]. *临床放射学杂志*, 2019, 38(7):1342-1345.
- [7] BEETS-TAN R G H, LAMBREGTS D M J, MAAS M, et al. Magnetic resonance imaging for clinical management of rectal cancer: updated recommendations from the 2016 European Society of Gastro-intestinal and Abdominal Radiology (ESGAR) consensus meeting[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(4):1465-1475.
- [8] CURVO-SEMEDO L. Rectal cancer: staging[J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2020, 28(1):105-115.
- [9] SUN Y, HU P, WANG J, et al. Radiomic features of pretreatment mri could identify t stage in patients with rectal cancer: preliminary findings[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2018, 48(3): 615-621.
- [10] LI M, ZHANG J, DAN Y, et al. A clinical-radiomics nomogram for the preoperative prediction of lymph node metastasis in colorectal cancer[J]. *J Transl Med*, 2020, 18(1):46.
- [11] COPPOLA F, GIANNINI V, GABELLONI M, et al. Radiomics and magnetic resonance imaging of rectal cancer: from engineering to clinical practice[J]. *Diagnost (Basel)*, 2021, 11(5):756.
- [12] 贾好东, 董江宁, 高飞, 等. 直肠腺癌原发灶体素内不相干

- 运动扩散加权成像参数联合纹理分析术前预测非肿大淋巴结转移的价值[J].中华放射学杂志,2022,56(3):279-285.
- [13] 何志兵,陈首名,罗鹰,等.DCE-MRI和IVIM-DWI诊断宫颈癌病理分级和临床分期的价值分析[J].中国CT和MRI杂志,2019,17(8):110-113.
- [14] CHOI H S,KIM A H,AHN S S,et al.Glioma grading capability: comparisons among parameters from dynamic contrast-enhanced MRI and ADC value on DWI[J].Korean J Radiol, 2013,14(3):487-492.
- [15] 季立标,陆志华,蒋恒,等.MR体素内不相干运动DWI与动态增强定量参数在直肠癌术前分期中的对照研究[J].中国医学计算机成像杂志,2021,27(2):127-131.
- [16] YANG X,XIAO X,LU B,et al.Perfusion-sensitive parameters of intravoxel incoherent motion MRI in rectal cancer: evaluation of reproducibility and correlation with dynamic contrast-enhanced MRI[J].Acta Radiol,2019,60:569-577.
- [17] 王裴培.IVIM-DWI与纹理分析术前评估直肠腺癌分化程度与组织类型的初步研究[D].河南:新乡医学院,2020.
- [18] 苏佰燕,戚亚菲,管慧,等.基于T2加权成像及弥散加权成像的图像纹理分析预测宫颈鳞状细胞癌化疗疗效的临床价值[J].协和医学杂志,2021,12(5):713-720.
- [19] ZHANG B,WU J T,YE J,et al.Correlation study of T2WI texture analysis and expression level of Ki-67 in breast cancer [J].J Clin Radiol,2020,39:680-684.
- [20] DONG J,YU M,MIAO Y,et al.Differential diagnosis of solitary fibrous tumor/hemangio-pericytoma and angiomatous meningioma using three-dimensional magnetic resonance imaging texture feature model[J].Biomed Res Int,2020,2020: 5042356.
- [21] 蒋雪艳,张中原,王传彬,等.ADC值联合T2WI纹理参数术前预测子宫内膜癌Ki-67表达水平的初步研究[J].国际医学放射学杂志,2022,45(5):508-514.

(2023-11-21收稿)

(本文编校:崔月婷,张迪)