

论 著

T2 Mapping联合DWI序列评估直肠癌脉管侵犯价值研究

李茜玮^{1,2} 陈安良^{1,2} 王楠^{1,2}林良杰³ 刘爱莲^{1,2,*}

1.大连医科大学附属第一医院放射科

(辽宁大连 116011)

2.大连市医学影像人工智能工程技术

研究中心(辽宁大连 116011)

3.飞利浦(中国)投资有限公司北京分公司

(北京 100016)

【摘要】目的 探讨T2 mapping与DWI序列预测直肠癌脉管侵犯的价值。**方法** 回顾性分析经本院行3.0T MRI扫描且术后病理证实的直肠癌脉管侵犯13例, 脉管非侵犯20例, 2名观察者分别于瘤体显示最大层面参考增强动脉期图像及DWI图像于T2 mapping及ADC图像上测量病灶T2值及ADC值。采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)评估两名观察者测量参数值的一致性。采用独立样本t检验或Mann-Whitney U检验分析两组病例各参数的差异。采用Logistic回归计算有统计学差异的参数联合评估直肠癌LVI的预测值。采用ROC曲线评估有差异参数单独或联合的诊断效能, 并利用De-Long检验比较各ROC曲线间的差异。采用Pearson相关性检验分析两参数值的相关性。**结果** 2名观察者测量T2值及ADC值一致性好(ICC>0.75)。脉管侵犯组的T2值及ADC值低于非脉管侵犯组(77.15±6.95ms、0.69±0.15mm²/s vs 87.04±7.75ms、0.90±0.21 mm²/s, P<0.05)。ADC值与ADC-T2联合鉴别两组疾病的AUC值比较差异具有统计学意义(P=0.036)。**结论** T2 mapping和DWI序列可预测直肠癌脉管侵犯, 两序列联合效能提升, 因此T2值与ADC值联合可为临床诊疗直肠癌脉管侵犯提供参考信息。

【关键词】 直肠癌; 脉管侵犯; 磁共振成像; T2 mapping成像; 弥散加权成像

【中图分类号】 R735.3+7

【文献标识码】 A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.01.043

T2 Mapping Combined with DWI Sequences to Predict the Value of Lymphatic Vascular Invasion in Rectal Cancer

LI Xi-wei^{1,2}, CHEN An-liang^{1,2}, WANG Nan^{1,2}, LIN Liang-jie³, LIU Ai-lian^{1,2,*}.

1. Department of Radiology, The First Hospital of Dalian Medical University, Dalian 116011, Liaoning Province, China

2. Dalian Medical Imaging Artificial Intelligence Technology Research Center, Dalian 116011, Liaoning Province, China

3. Beijing Branch, Philips (China) Investment Co., LTD, Beijing 100016, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value assessment of T2 mapping and DWI sequences in predicting lymphovascular invasion in rectal cancer. **Methods** Thirteen cases (group A) and 20 cases (group B) with lymphovascular invasion and non-lymphovascular invasion of rectal cancer confirmed by postoperative pathology after 3.0T MRI scans (including T2 mapping and DWI sequences) were retrospectively analyzed by two observers at the largest level of the tumor display, and the T2 and ADC values were measured on T2 mapping and ADC images with reference to the arterial phase images and DWI images, respectively. The intraclass correlation coefficient (ICC) was used to assess the consistency of the T2 values and ADC values measured by the two observers. The Shapiro-wilk test was used to assess the normality of the data in the two groups, and the differences between the parameters in the two groups of cases were analysed using the independent samples t-test or the Mann-Whitney U-test. The predictive value of LVI in rectal cancer was assessed using binary logistic regression to calculate the differential parameters jointly. The ROC curves were used to assess the diagnostic efficacy of the differential parameters alone or in combination, and the differences between the ROC curves were compared using the De-Long test. Pearson correlation test was used to analyse the correlation between the values of the two parameters. Differences in clinical and pathological factors between the two groups were analysed using Fisher's exact probability method. **Results** T2 values and ADC values measured by the two observers were in good agreement (ICC>0.75). T2 values and ADC values in both groups were normally distributed. The T2 and ADC values in group A were lower than those in group B (77.15±6.95 ms, 0.69±0.15 mm²/s vs 87.04±7.75 ms, 0.90±0.21 mm²/s) and the difference was statistically significant (P<0.05, t=-3.815, -3.073). T2 values were positively correlated with ADC values in both groups (r=0.473, P=0.005). ADC values, T2 values and ADC-T2 values jointly predicted AUC values, sensitivity, specificity and threshold in both groups of cases at 0.800, 76.92%, 75.00%, 0.81 mm²/s, 0.854, 84.62%, 75.00%, 83.19 ms and 0.927, 92.30%, 90.00%, 0.34. The De-Long test showed statistically significant differences in AUC values comparing ADC values with ADC-T2 combined to identify the two disease groups (P=0.036), and no statistically significant differences in AUC values comparing ADC values with T2 values and T2 values with ADC-T2 combined to identify the two disease groups (P=0.595, 0.219). Fisher's exact probability method showed a statistically significant difference in the neurological invasion element between the two groups of cases (P=0.005). **Conclusion** Both T2 mapping and DWI sequences can predict lymphovascular invasion of rectal cancer quantitatively well, and the efficacy of the combination of the two sequences is enhanced, so the combination of T2 values and ADC values can provide reference information for clinical non-invasive diagnosis and treatment of lymphovascular invasion of rectal cancer.

Keywords: Rectal Cancer; Lymphovascular Invasion; Magnetic Resonance Imaging; T2 Mapping Imaging; Diffusion-weighted Imaging

结直肠癌(colorectal cancer, CRC)为全球第三大常见恶性肿瘤, 尤其在欧洲的发病率及致死率高^[1], 但近年来随着我国经济的发展及人民生活及饮食习惯的改变, 直肠癌(rectal cancer, RC)在我国的发病率逐年增高, 晚期RC数量增加为临床针对直肠癌患者的干预提出了挑战, 是人类社会的主要威胁疾病之一^[2]。

脉管侵犯(lymphovascular invasion, LVI)指肿瘤侵犯邻近淋巴管和(或)血管, 是影响RC患者生存周期的因素之一^[3-4]。LVI为肿瘤早期获得侵袭性的表现, 早期准确诊断有利于延长患者寿命^[5-6]。术后病理为临床诊断LVI的金标准, 但术后获取病理组织具有一定的滞后性及有创性。近年来, Fornell-Perez^[7]等人利用高分辨MRI成像评估直肠癌脉管侵犯的价值, 但研究结果发现高分辨T2WI评估直肠癌脉管侵犯的灵敏度为57.1%, 特异度为75.9%, 但阳性预测值仅为26.1%, 术前准确评估脉管侵犯仍具有挑战。因此需要寻找无创且更加准确的评估直肠癌脉管侵犯的技术。

T2 mapping作为一种定量技术, 通过采集一系列T2WI自旋回波MR图像生成信号衰减曲线, 计算组织内体素水平的T2弛豫时间以反映细胞内外的自由水含量^[8]。近年来, T2mapping已用于心脏、骨关节炎、子宫、直肠及前列腺等部位疾病的研究^[9-15]。弥散加权成像(diffusionweighted imaging, DWI)通过计算DWI图生成的表观扩散系数(ADC)可用于反映组织细胞间水分子的弥散信息^[13]。目前, 无学者对比研究T2mapping与DWI两序列预测RC的LVI价值, 本研究旨在探究T2 mapping及DWI序列单独及联合评估RC的LVI价值。

【第一作者】 李茜玮, 女, 在读硕士, 主要研究方向: 腹部磁共振成像。E-mail: lxiwei2022@163.com

【通讯作者】 刘爱莲, 女, 教授、主任医师, 主要研究方向: 腹部磁共振成像。E-mail: liualian@dmu.edu.cn

1 资料与方法

1.1 患者资料 本研究遵守《赫尔辛基宣言》，经大连医科大学附属第一医院伦理委员会批准，免除受试者知情同意，批准文号：PJ-KS-KY-2019-49。回顾性分析本院因临床怀疑直肠癌行盆腔3.0T MRI(IngeniaCX,Philips,Holand)检查(包括DWI及T2mapping序列)的患者。

入组标准：(1)术后病理结果证实为直肠癌；(2)患者MRI检查前未行手术、相关放疗及其他治疗；(3)病灶直径>0.5cm；(4)临床或病理资料完整；(5)不合并直肠其他疾病。最终入组患者共33例，根据术后病理结果将入组患者分为LVI阳性组(A组)与LVI阴性组(B组)。最终入组：A组13例，男性7例，女性6例，年龄27

岁~83岁，平均为(61.6±16.0)岁。B组20例，男性16例，女性4例，年龄37岁~74岁，平均为(62.76±10.14)岁。

1.2 检查设备及方法 所有入组直肠癌患者术前均行盆腔3.0T MRI(IngeniaCX,Philips,Holand)扫描，扫描前嘱患者排空肠管，禁食水4-6小时。训练患者呼吸，避免扫描过程中产生较大伪影降低图像质量。采用32通道腹部扫描线圈。扫描时采取仰卧位，两侧髂前上棘连线与扫描床中心垂直。扫描序列包括：T2 mapping、DWI($b=0,1200\text{ s/mm}^2$)、DCE及常规T1WI、T2WI序列。DCE-MRI对比剂采用钆对比剂(钆双胺，拜耳公司)，每人剂量0.2 mL/kg，注射流速2.5 mL/s。具体扫描参数可见表1。

表1 扫描参数表

序列(轴位)	扫描时间(min:sec)	激励次数	TR/TE(ms)	FOV(mm ²)	Voxel(mm ²)	层厚/层间距(mm)
T1WI-TSE-MVDX	2:33	1	578/8	4/2	1.0×1.0	4.0/0.4
T2WI-SPAIR	2:48	1	2057/95	240×240	0.7×0.7	4.0/1.0
DWI($b=1200\text{ s/mm}^2$)	1:30	1	6000/62	240×240	3.0×3.0	4.0/1.0
T2-mapping	6:18	1	3500/20~120	360×240	1.2×1.0	4.0/0
DCE	4:25	1	4/2	250×250	1.4×1.8	3.5/0

1.3 临床及病理资料 记录患者的临床及病理资料：排便习惯改变、便血、腹部包块、CA-199、CEA，分化程度、生长方式、病理类型、神经侵犯、肿瘤沉积、T分期、N分期及M分期。

1.4 图像处理与数据测量 图像后处理后，将T2 mapping、DCE、DWI及ADC图像传至ISP(IntelliSpacePortall, Philips Healthcare)工作站，由2名观察者(1年及7年以上MRI读片经验)

在未知病例分组的情况下同时参考DCE动脉期图像上肿瘤实体显示最大且明显强化的层面及DWI图像上肿瘤实体呈高信号的层面，并放置3个圆形ROI，ROI的面积为13~35mm²，避开囊变、出血及肠内容物，后将以上ROI对应至等信号T2 mapping及低信号ADC图上肿瘤实体区域，最终取各ROI的平均T2值及ADC值进行两组病例间的差异性分析(见图1~2)。

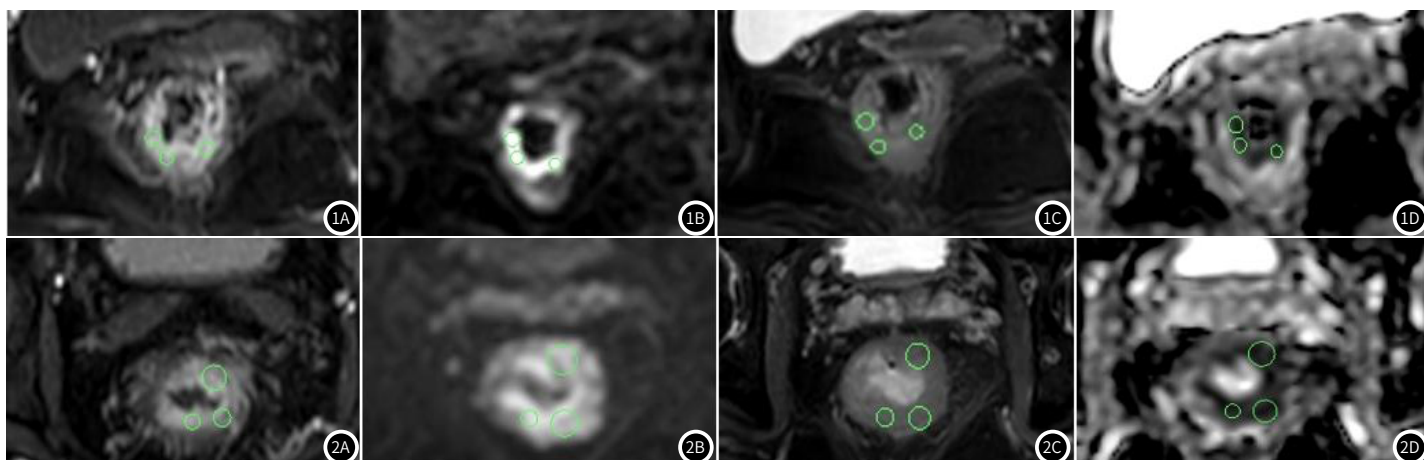


图1 患者女，83岁，直肠癌脉管侵犯，DCE动脉期图像(图1A)，直肠环壁增厚，增厚肠壁均匀强化；DWI图像(图1B)示直肠环壁高信号；T2 mapping(图1C)及ADC图(图1D)分别显示直肠环壁增厚等、低信号；可见病灶区域三个ROI，ROI的T2值及ADC值的平均值分别为85.23ms和0.67mm²/s。

图2 患者女，39岁，直肠癌脉管非侵犯，DCE动脉期图像(图2A)，直肠环壁增厚，增厚肠壁均匀强化；DWI图像(图2B)示直肠环壁高信号；T2 mapping(图2C)及ADC图(图2D)分别显示直肠环壁增厚稍高、低信号；可见病灶区域三个ROI，ROI的T2值及ADC值的平均值分别为100.69ms和1.34mm²/s。

1.5 统计分析 使用SPSS 23.0及MedCalc18.2进行统计学分析。采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)评估两名观察者测量T2值及ADC值得一致性。采用Shapiro-wilk检验数据的正态性，符合正态性分布的数据，使用独立样本t检验，表示为均值±标准差；非正态性分布的数据，使用Mann-Whitney U检验，表示为中位数(25%分位数，75%分位数)。采用Logistic回归计算有统计学差异的参数联合评估直肠癌LVI的预测值。采用ROC曲线评估有差异参数单独或联合诊断的AUC值，并记录其敏感度、特异度及阈值。采用De-Long检验比较各ROC曲线间的差异。采用Pearson相关性检验分析两参数值的相关性。采用Fisher确切概率法分析两组间临床及病理因素差异。

2 结果

2.1 临床一般资料 A组及B组的临床病理资料见表2。结果显示：A组发生神经侵犯概率高于B组，两组差异具有统计学意义($P<0.01$)；余临床与病理学资料对于区分两组差异无统计学意义。

2.2 观察者间测量值一致性分析 两组病灶的T2值及ADC值数据均符合正态分布。两名观察者对A组及B组测量值的一致性良好($ICC>0.75$)，见表3。

2.3 两组T2值及ADC值的差异性分析 A组(侵犯组)的T2值及ADC值均低于与B组(非侵犯组)，差异具有统计学意义($P<0.05$)，见表4。

2.4 两组病例T2值、ADC值及T2-ADC值联合诊断效能评估 T2

值、ADC值及T2-ADC联合预测直肠癌脉管侵犯的诊断效能评估(见表5, 图3), De-Long检验示ADC值与ADC-T2联合鉴别两组疾病的AUC值比较差异具有统计学意义($P=0.036$), ADC值与T2值, T2值与ADC-T2联合鉴别两组疾病的AUC值比较差异无统计学意义($P=0.595, 0.219$)。

2.5 两组病例T2值及ADC值的相关性分析 两组病例T2值与ADC值呈正相关($r=0.473, P=0.005$)。

表2 直肠癌脉管侵犯组与非侵犯组临床及病理资料分析

因素		脉管侵犯组	脉管非侵犯组	P值
		[n, (%)]	[n, (%)]	
排便习惯改变	无	8(61.53)	15(71.42)	0.461
	有	5(38.47)	5(28.58)	
便血	无	7(53.84)	11(52.38)	0.466
	有	6(46.16)	9(47.62)	
腹部包块	无	12(92.31)	20(100)	0.394
	有	1(7.69)	0(0)	
CA-199	阴性	11(84.61)	18(90.47)	1.000
	阳性	2(15.39)	2(9.53)	
CEA	阴性	5(0.38)	14(0.70)	0.148
	阳性	8(0.62)	6(0.30)	
分化程度	高、中-高分化	2(61.53)	6(28.57)	0.782
	中分化	9(61.53)	11(57.14)	
	中-低分化、低分化	2(23.09)	3(14.29)	
生长方式	溃疡型	7(53.84)	14(66.67)	0.465
	肿块型	6(46.15)	6(33.33)	
	浸润型	0(0)	0(0)	
病理类型	管状腺癌	10(0.77)	16(0.80)	0.798
	粘液腺癌	0(0)	1(0.05)	
	混合性	3(0.23)	3(0.15)	
神经侵犯	无	8(61.53)	20(100)	0.005
	有	5(38.47)	0(0)	
肿瘤沉积	无	9(69.23)	17(85.71)	0.393
	有	4(30.77)	3(14.29)	
T分期	T1~2	4(0.31)	8(0.40)	0.657
	T3	7(0.54)	7(0.35)	
	T4	2(0.15)	5(0.25)	
N分期	N0	5(0.38)	12(0.60)	0.079
	N1	1(0.08)	5(0.25)	
	N2	7(0.54)	3(0.15)	
M分期	M0	12(0.92)	18(0.90)	1.000
	M1	1(0.08)	2(0.10)	

注: CA-199为糖类抗原-199; CEA为癌胚抗原。

表3 两组病灶的T2值及ADC值的比较

参数	观察者1	观察者2	ICC
T2	83.04±9.18	83.10±8.73	0.982
ADC	0.80±0.23	0.84±0.21	0.950

表4 两组病例T2值及ADC值的比较

扫描序列	脉管侵犯(n=13)	脉管非侵犯(n=20)	t值	P值
T2值(ms)	77.15±6.95	87.04±7.75	-3.815	0.001
ADC值(mm ² /s)	0.69±0.15	0.90±0.21	-3.073	0.004

表5 T2、ADC值及T2-ADC联合参数模型诊断效能评估

扫描参数	AUC	敏感性	特异性	阈值
T2	0.854	84.62%	75.00%	83.19ms
ADC	0.800	76.92%	75.00%	0.81mm ² /s
T2-ADC联合	0.927	92.30%	90.00%	-

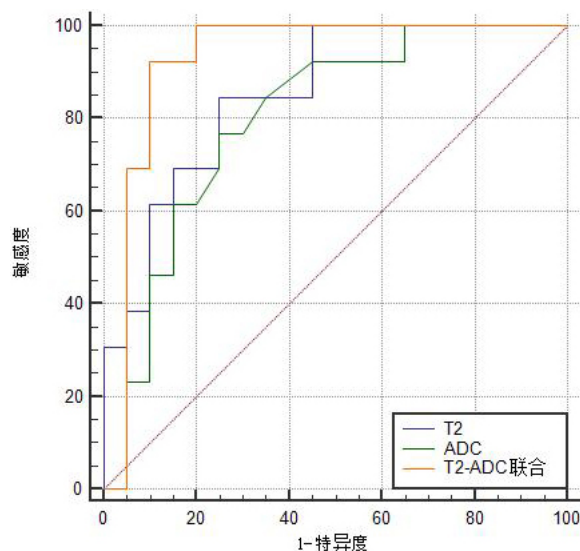


图3 T2值、ADC值及T2-ADC值联合鉴别直肠癌脉管侵犯ROC曲线图。

3 讨论

RC预后不良与多种因素有关, 如病灶大小、TNM分期、LVI、肿瘤标志物、免疫指标及肿瘤对放疗及化疗的敏感性等^[16]。其中, LVI是RC患者预后不良的关键因素, 同时也已被证明是影响RC患者生存的独立预测因子^[17]。LVI阳性通常提示肿瘤侵袭程度强、远处转移率提高及患者总体生存率降低^[18-19]。此外, LVI还可提示临床需行新辅助治疗等计划^[20], 且DU^[21]等人已经证实术前放疗能有效减弱肿瘤细胞侵犯邻近血管及淋巴管的能力。因此, 术前准确评估RC的LVI情况对于临床决策及改善患者预后具有十分重要的价值。

磁共振成像具有多方位、多参数、多功能、软组织分辨率高且无创等成像特点, 已成为评估RC侵犯深度、范围及邻近组织受侵情况的首选检查方法^[22]。近十年中, 高分辨MRI已被广泛应用于直肠癌的术前评估^[23-24], KIM Y^[25]等人研究发现采用盆腔高分辨MRI评估RC的LVI情况, 其敏感度、特异度及阳性预测值虽可达到68.2%、93.2%及75.0%, 但其研究纳入了部分新辅助放疗患者,

而放疗所致肠周组织水肿和纤维化可致实验结果假阳性, 因而, 可能会一定程度地影响实验结果的准确性。此外, 高分辨MRI通过形态学特征评估RC的LVI多取决于不同放射科医生的主观判断, 从而可能导致评价结果产生偏差。最后, 接收线圈接收射频脉冲的均匀性可影响MRI信号强度, 相比之下, 通过T2 mapping及ADC图像测得T2值及ADC值与此类信号变化无关, 并可反映T2弛豫时间及水分子弥散速率的绝对值^[26]。综上, 为了优化个体化的治疗, 一种无创且精确术前预测RC的LVI的技术迫切为临床所需要。

随着多参数磁共振成像(multi-parametric Magnetic Resonance Imaging, mp-MRI)的发展, 定量参数在疾病的诊断中发挥了十分重要的作用^[27-28]。T2值作为组织的定量参数之一, 可以较好地反映细胞内外自由水的含量, 因此通过评估病变组织水分子的横向弛豫时间可一定程度反映组织内部的特征^[29]。本研究中, LVI组的T2值低于非LVI组, 其原因可能与肿瘤组织自由水的

含量有关:与LVI阴性组相比,LVI阳性组的肿瘤侵袭性更强,肿瘤增殖更快^[35],从而导致肿瘤密度增大及肿瘤细胞间水分子含量减少,最终致T2值减小。在既往研究中,T2 mapping已被用于胃肠道疾病定量诊断及鉴别,LI^[30]等人研究发现T2 mapping术前预测直肠癌管侵犯组的T2值低于非侵犯组,与本研究结果一致,且AUC值可达到0.861,敏感度、特异度分别为84.62%及76.19%。此外,Ge^[31]等人发现T2值对于晚期直肠非粘液性腺癌周围良性淋巴结的鉴别具有更好的诊断价值,诊断效能可达到0.990。Zhang^[29]等人研究发现T2值及ADC值可定量区分直肠管状腺癌与非管状腺癌,并且两参数的诊断效能相似。

DWI为一项检测机体组织细胞水分子弥散运动的技术,可间接反映组织细胞的病理生理信息^[32]。本研究通过DWI图像计算所得ADC值对于预测直肠癌管侵犯也具有较好的价值。本研究结果示LVI阳性组的ADC值低于LVI阴性组,其原因为:同LVI阴性组相比,LVI阳性组肿瘤间质区域内淋巴管及血管肿瘤细胞数量增多同样使得肿瘤细胞间隙减小,进而致水分子弥散速率减低,最终ADC值降低,与谢玉海^[33]等人研究结果一致。并且LI^[34]等人认为ADC值可作为可切除直肠癌LVI的独立预测因素。

在本研究中,T2值与ADC值呈正相关,其原因可能为:随着T2值的减低,预示肿瘤细胞的密集程度更大,使得肿瘤间质水分子弥散更加受限,弥散速率减低,ADC值减小。此外,两组病例神经侵犯因素有差异,其原因可能为:由于神经与淋巴血管均存在于肿瘤间质中,因此我们猜想神经侵犯与LVI具有一定的联系,不同程度的神经管侵犯均可使肿瘤间质细胞发生改变,最终影响T2值及ADC值,有待进一步探索。

T2值及ADC值对于预测直肠癌管侵犯方面具有很好的价值,二者联合诊断效能提升。T2 mapping序列通过T2值反映了肿瘤微环境中间质及细胞内的水含量,DWI序列通过计算ADC值反映了肿瘤细胞间水分子弥散速率,由于两序列反映的病理生理机制具有一定互补作用,这也可能是我们联合两种序列获得信息增益的原因。

本研究也存在一定的局限性:首先,本研究样本量小,后期有待增加样本量进行深入研究;此外,ROI勾画仅限于肿瘤实体显示最大层面,未对肿瘤全域进行分析,不能全面反映肿瘤的异质性;最后,本研究结果示神经侵犯对于区别直肠癌管侵犯存在统计学意义,但本研究并未研究神经侵犯对T2值及ADC值的影响,有待进一步研究。

总之,T2 mapping及DWI序列对于术前预测直肠癌管侵犯均有价值,且两序列联合后诊断效能提升,可为临床决策提供一定的参考价值。

参考文献

- [1] 杨宇飞. 结直肠癌中医临床实践指南的制定及应用策略[J]. 世界中医药, 2020, 15(1): 1-5.
- [2] 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.
- [3] KIM Y I, KIM C W, KIM J H, et al. Clinical implication of perineural and lymphovascular invasion in rectal cancer patients who underwent surgery after preoperative chemoradiotherapy[J]. Dis Colon Rectum, 2022, 65(11): 1325-1334.
- [4] GAO Z, CAO H, XU X, et al. Prognostic value of lymphovascular invasion in stage II colorectal cancer patients with an inadequate examination of lymph nodes[J]. World J Surg Oncol, 2021, 19(1): 125.
- [5] 桑温昌, 李兆德, 张晓东, 等. 结直肠癌患者脉管侵犯的危险因素及预后分析[J]. 中华诊断学电子杂志, 2019, 7(03): 203-206.
- [6] STOJKOVIC LM, MILOVANOVIC T, MICEV M, et al. Perineural invasion as a prognostic factor in patients with stage I-III rectal cancer - 5-year follow up[J]. World J Gastrointest Oncol, 2020, 12(5): 592-600.
- [7] FORNELL-PEREZ R, VIVAS-ESCALONA V, ARANDA-SANCHEZ J, et al. Primary and post-chemoradiotherapy MRI detection of extramural venous invasion in rectal cancer: the role of diffusion-weighted imaging[J]. Radiol Med, 2020, 125(6): 522-530.
- [8] SABOURI S, CHANG S D, SAVDIE R, et al. Luminal water imaging: a new mr imaging t2 mapping technique for prostate cancer diagnosis[J]. Radiology, 2017, 284(2): 451-459.
- [9] HENNINGSSON M. Cartesian dictionary-based native T1 and T2 mapping of the myocardium[J]. Magn Reson Med, 2022, 87(5): 2347-2362.

- [10] GATTI A A, KEIR P J, NOSEWORTHY M D, et al. Investigating acute changes in osteoarthritic cartilage by integrating biomechanics and statistical shape models of bone: data from the osteoarthritis initiative[J]. MAGMA, 2022 Mar 14: 1-13.
- [11] VERPALEN I M, ANNEVELDT K J, VOS P C, et al. Use of multiparametric MRI to characterize uterine fibroid tissue types[J]. MAGMA, 2020, 33(5): 689-700.
- [12] GE Y X, HU S D, WANG Z, et al. Feasibility and reproducibility of T2 mapping and DWI for identifying malignant lymph nodes in rectal cancer[J]. Eur Radiol, 2021, 31(5): 3347-3354.
- [13] LEE C H, TAUPITZ M, ASBACH P, et al. Clinical utility of combined T2-weighted imaging and T2-mapping in the detection of prostate cancer: a multi-observer study[J]. Quant Imaging Med Surg, 2020, 10(9): 1811-1822.
- [14] WU Q, ZHU L N, JIANG J S, et al. Characterization of parotid gland tumors using T2 mapping imaging: initial findings[J]. Acta Radiol, 2020, 61(5): 629-635.
- [15] KLINGEBIEL M, SCHIMMÖLLER L, WEILAND E, et al. Value of T2 mapping MRI for prostate cancer detection and classification[J]. J Magn Reson Imaging, 2022 Aug; 56(2): 413-422.
- [16] KIM Y C, KIM J K, KIM M J, et al. Feasibility of mesorectal vascular invasion in predicting early distant metastasis in patients with stage T3 rectal cancer based on rectal MRI[J]. Eur Radiol, 2016, 26(2): 297-305.
- [17] HUANG L, LUO S, LAI S, et al. Survival after curative resection for stage I colorectal mucinous adenocarcinoma[J]. BMC Gastroenterol, 2022; 22(1): 192.
- [18] BIANCHI G, ANNICCHIARICO A, MORINI A, et al. Three distinct outcomes in patients with colorectal adenocarcinoma and lymphovascular invasion: the good, the bad, and the ugly[J]. Int J Colorectal Dis, 2021, 36(12): 2671-2681.
- [19] JIANG H H, ZHANG Z Y, WANG X Y, et al. Prognostic significance of lymphovascular invasion in colorectal cancer and its association with genomic alterations[J]. World J Gastroenterol, 2019, 25(20): 2489-2502.
- [20] BLUMENTHALER A N, NEWHOOK T E, IKOMA N, et al. Concurrent lymphovascular and perineural invasion after preoperative therapy for gastric adenocarcinoma is associated with decreased survival[J]. J Surg Oncol, 2021, 123(4): 911-922.
- [21] DU C Z, XUE W C, CAI Y, et al. Lymphovascular invasion in rectal cancer following neoadjuvant radiotherapy: a retrospective cohort study[J]. World J Gastroenterol, 2009, 15(30): 3793-3798.
- [22] WU Y Q, GAO R Z, LIN P, et al. An endorectal ultrasound-based radiomics signature for preoperative prediction of lymphovascular invasion of rectal cancer[J]. BMC Med Imaging, 2022, 22(1): 84.
- [23] CHAVES M M, DONATO H, CAMPOS N, et al. Interobserver variability in MRI measurements of mesorectal invasion depth in rectal cancer[J]. Abdom Radiol (NY), 2022, 47(3): 907-914.
- [24] GORMLY K L. High-Resolution T2-Weighted MRI to evaluate rectal cancer: why variations matter[J]. Korean J Radiol, 2021; 22(9): 1475-1480.
- [25] KIM Y, CHUNG J J, YU J S, et al. Preoperative evaluation of lymphovascular invasion using high-resolution pelvic magnetic resonance in patients with rectal cancer: a 2-year follow-up study[J]. J Comput Assist Tomogr, 2013, 37(4): 583-588.
- [26] HEPP T, KALMBACH L, KOLB M, et al. T2 mapping for the characterization of prostate lesions[J]. World J Urol, 2022, 40(6): 1455-1461.
- [27] 毛倩, 张斯佳, 周佳. MRI检查中表观扩散系数在胰腺癌放疗后疗效评价中的作用观察[J]. 罕见疾病杂志, 2023, 30(11): 57-58.
- [28] 鲁果果, 王轩轩, 马爱珍. DWI和DCE联合PSA检测对前列腺癌诊断价值研究[J]. 罕见疾病杂志, 2025, 32(1): 113-115.
- [29] ZHANG J, GE Y, ZHANG H, et al. Quantitative T2 mapping to discriminate mucinous from nonmucinous adenocarcinoma in rectal cancer: comparison with diffusion-weighted imaging[J]. Magn Reson Med Sci, 2022, 21(4): 593-598.
- [30] 李茜玮, 刘爱莲, 陈安良, 等. T2 mapping预测直肠癌管侵犯的初步研究[J]. 磁共振成像, 2022, 13(6): 23-27.
- [31] GE Y X, HU S D, WANG Z, et al. Feasibility and reproducibility of T2 mapping and DWI for identifying malignant lymph nodes in rectal cancer[J]. Eur Radiol, 2021 May; 31(5): 3347-3354.
- [32] LE B D. Apparent diffusion coefficient and beyond: what diffusion MR imaging can tell us about tissue structure[J]. Radiology, 2013, 268(2): 318-322.
- [33] XIE Y H, QIAN Y F, LIU X, et al. Value of the diffusion weighted imaging and dynamic contrast enhanced MRI for diagnosis of neurovascular invasion of rectal cancer[J]. Radiol Practice, 2021, 36(5): 637-641.
- [34] LI H, CHEN G W, LIU Y S, et al. Assessment of histologic prognostic factors of resectable rectal cancer: comparison of diagnostic performance using various apparent diffusion coefficient parameters[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 11554.
- [35] 吉祥. 基于影像组学的直肠癌管侵犯和淋巴结转移预测研究[D]. 郑州大学, 2022.

(收稿日期: 2024-06-26)

(校对编辑: 韩敏求)