

APT 定量参数与直肠癌病理类型及分期的相关性

李娟,高雪梅,程敬亮

【摘要】 目的:探讨酰胺质子转移(APT)成像定量参数和直肠癌病理类型、分期的相关性。**方法:**以 94 例病理证实为直肠癌的患者为研究对象,所有患者均行高分辨 MRI、APT 成像及扩散加权成像(DWI),测量不同组织病理类型、分级、分期以及相关结构侵犯状态的 APT 信号强度(APT SI)及表观扩散系数(ADC),并进行统计学分析。**结果:**直肠黏液腺癌 APT SI、ADC 值高于普通腺癌,差异具有统计学意义($P < 0.001$);低级别普通腺癌 APT SI 低于高级别普通腺癌,差异具有统计学意义($P < 0.05$);T 分期,N 分期,壁外血管侵犯,神经侵犯及脉管癌栓不同组间 APT SI、ADC 值的差异均无统计学意义($P > 0.05$)。APT SI、ADC 值鉴别直肠黏液腺癌与普通腺癌的 ROC 曲线下面积分别为 0.936、0.982;APT SI 鉴别低级别与高级别普通腺癌的 ROC 曲线下面积为 0.728。**结论:**APT 有助于评估直肠癌患者的组织病理类型及肿瘤分级。

【关键词】 酰胺质子转移; 直肠肿瘤; 腺癌; 磁共振成像; 病理类型; 分期

【中图分类号】 R445.2; R735.37 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2022)11-1405-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2022.11.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Correlation of APT quantitative parameter with histopathological type and clinical stage in rectal carcinoma LI Juan,GAO Xue-mei,CHENG Jing-liang.Department of MRI,the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University,Zhengzhou 450052,China

【Abstract】 Objective: To explore the correlation of amide proton transfer (APT) quantitative parameter with histopathological type and clinical staging of rectal carcinoma.**Methods:** Ninety-four patients with pathologically confirmed rectal carcinoma were retrospectively evaluated. All patients underwent high-resolution conventional MRI, APT and DWI. Parameters including APT signal intensity (APT SI) and apparent diffusion coefficient (ADC) were measured and compared among different histopathologic types, grades, stages, and structure invasion statuses. **Results:** APT SI and ADC values were higher in rectal mucinous adenocarcinoma (MC) than those in rectal common adenocarcinoma (AC) ($P < 0.001$). The APT SI of AC group was lower than that in high-grade tumors ($P < 0.05$). There was no significant difference for APT SI or ADC among different T stages, N stages, extramural vascular invasion (EMVI), perineural and lymphovascular invasions ($P > 0.05$). The area under the curves (AUCs) of APT SI and ADC values for distinguishing MC from AC were 0.936 and 0.982, respectively. The AUC of APT SI in distinguishing low- from high-grade AC were 0.728. **Conclusion:** APT was helpful to assess the histopathological type and grade of rectal carcinoma.

【Key words】 Amide proton transfer; Rectal neoplasms; Adenocarcinoma; Magnetic Resonance imaging; Pathological type; Stage

结直肠癌(colorectal cancer,CRC)是常见的消化道恶性肿瘤之一,30%~35%发生在直肠,90%为腺癌^[1]。多种因素影响直肠治疗方案的选择及预后,包括肿瘤的位置、病理类型、分级、TNM 分期、环

周切缘(circumferential resection margin,CRM)、壁外血管侵犯(extramural vascular invasion,EMVI)等^[2-3]。磁共振成像(magnetic resonance imaging,MRI)具有无辐射、软组织对比度高、多方位多参数成像等诸多优点,不仅可以较清晰分辨直肠肠壁各层结构,而且可以显示直肠周围系膜、壁外血管侵犯等情况,对临床制定详细治疗方案具有重要的决定性作用。近年来,磁共振功能成像的应用日益广泛,酰胺质子转

作者单位:450052 郑州,郑州大学第一附属医院磁共振科

作者简介:李娟(1987-),女,河南新乡人,硕士,主治医师,主要从事腹部影像学研究。

通讯作者:程敬亮,E-mail:cjr.chjl@vip.163.com

移(amide proton transfer,APT)成像是一种基于化学交换饱和转移(chemical exchange saturation transfer,CEST)成像的无创性分子影像技术,通过定量测量不对称性磁化传递比(magnetization transfer ratio asymmetry,MTRasym)3.5 ppm 处的 APT 信号强度(APT signal intensity,APT SI)间接反映体内代谢的变化^[4-6],既往多应用于神经系统,近年来已逐渐应用于多种肿瘤组织与正常组织鉴别以及评估肿瘤细胞的恶性程度^[7-8]。既往研究发现 APT 可以帮助判断直肠癌病理级别及 TN 分期^[9-11],本研究旨在以 DWI 为对照,进一步探讨 APT 定量参数与直肠癌病理类型及分期的相关性,为临床评估直肠癌的恶性程度提供参考价值。

材料与方法

1.病例资料

收集本院 2020 年 5 月—2021 年 8 月初诊为直肠癌的患者 136 例,主要临床表现有便血、排便习惯改变等。入组标准:①MRI 检查后经手术病理证实为直肠癌;②患者 MRI 检查前均未经过手术、化疗或放疗;③MRI 检查与手术时间间隔小于 1 周。排除标准:①患者 MRI 检查后接受新辅助治疗($n=35$);②患者配合欠佳,图像质量差($n=7$),最终入组 94 例,其中男 59 例,女 35 例。年龄 33~83 岁,平均(59 ± 11)岁。

2.检查方法

检查前嘱患者排空直肠,采用 Philips 3.0T(Ingenia CX)超导型 MR 仪和 18 通道相控阵线圈,受试者取仰卧位,斜轴位定位垂直于病变长轴。扫描序列及参数:斜轴位 T_2 WI 高分辨序列采用快速自旋回波(TSE)序列,TR 3000 ms,TE 100 ms,FOV 180 mm $\times$ 180 mm,矩阵 300 $\times$ 235,层厚 4 mm,回波链长度 15。APT 序列采用 3D TSE 序列,将 +3.5 ppm 频率处偏移的 MTRasym 值以百分比水平显示即为 APT SI,APT SI = MTRasym [$\Delta\omega = +3.5$ ppm] (%)^[5],具体参数如下:TR 6540 ms,TE 8.3 ms,FOV 230 mm $\times$ 181 mm,矩阵 116 $\times$ 90,层厚 5 mm,回波链长度 174,总共用时 6 min。DWI 序列采用 SE-EPI 序列,TR 4421 ms,TE 77 ms,FOV 200 mm $\times$ 129 mm,矩阵 80 $\times$ 52,层厚 4 mm,b 值为 0,800 s/mm²。

3.图像数据处理

将患者原始数据上传至 Philips ISP v10 工作站,使用 IntelliSpace Portal 后处理软件计算出 APT 图像,将 APT 与 T_2 WI 图像进行融合,对 94 例直肠癌患者的 APT SI 及表观扩散系数(apparent diffusion coefficient,ADC)图像进行观察、测量与分析,由两名从

事磁共振诊断的主治医师独立分析,评价两位研究者之间测量结果的一致性,一致性较好时取平均值。在 APT 与 T_2 WI 融合图像上手动选取感兴趣区(region of interest,ROI),将 ROI 复制到 ADC 图像上,标准如下:①将 ROI 放置于病灶最大截面上,选择全部肿瘤范围;②避开有囊变坏死出血区域的层面,囊变坏死区一般为 T_1 WI 低、 T_2 WI 高信号,出血区一般为 T_1 WI 高信号;③为了保证对同一解剖位置数据测量的一致性,减少由于 ROI 位置选择偏倚而导致的测量误差,所有数据均测量 3 次,取平均值。

4.病理类型及分期

直肠癌根据术后病理结果分为黏液腺癌、普通腺癌。根据 WHO 分级标准,普通腺癌分为 G1(高分化,>95%腺管形成)、G2(中分化,50%~95%腺管形成)、G3(低分化,<50%腺管形成),根据两层分级系统,G1 及 G2 为低级别腺癌,G3 为高级别腺癌;根据术后肿瘤侵及深度依据美国癌症联合委员会(American Joint Committee on Cancer,AJCC)分期标准进行 T 分期,将其分为早期和晚期,早期为病变局限于固有肌层,包括 pT1 期、pT2 期,晚期为病变超过固有肌层,包括 pT3 期、pT4 期;根据术后病理进行淋巴结分期,分为 pN0(无淋巴结转移)、pN1(1~3 个淋巴结转移)、pN2 期(≥ 4 个淋巴结转移);CRM、EMVI、神经侵犯和脉管癌栓均分为阳性组和阴性组。

5.统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析,计量资料用“ $\bar{x}\pm s$ ”表示,采用 Kolmogorov-Smirnov 检验数据的正态性。采用组内相关系数(intraclass correlation efficient,ICC)评价两名医师测量参数的一致性。各参数在两组间比较采用独立样本 t 检验(正态分布且方差齐性数据)或 Mann-Whitney U 检验(偏态分布或方差不齐数据)。采用 MedCalc v. 20.0 绘制各参数的受试者操作特性(receiver operating characteristic curve,ROC)曲线,计算曲线下面积(area under curve,AUC),根据最大约登指数(约登指数=敏感度+特异度-1)确定各参数最佳诊断阈值,评价 APT SI、ADC 参数在直肠黏液腺癌与普通腺癌鉴别、普通腺癌病理分级中的诊断效能,以 DeLong 检验比较 AUC 差异。以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

1.直肠癌病理类型及分期

直肠癌根据术后病理结果分为黏液腺癌 12 例(图 1),普通腺癌 82 例(图 2)。82 例直肠普通腺癌根据术后病理分为低级别腺癌 63 例(G2),高级别腺癌 19 例(G3);pT1~2 期共 33 例(5 例 pT1 期,28 例 pT2

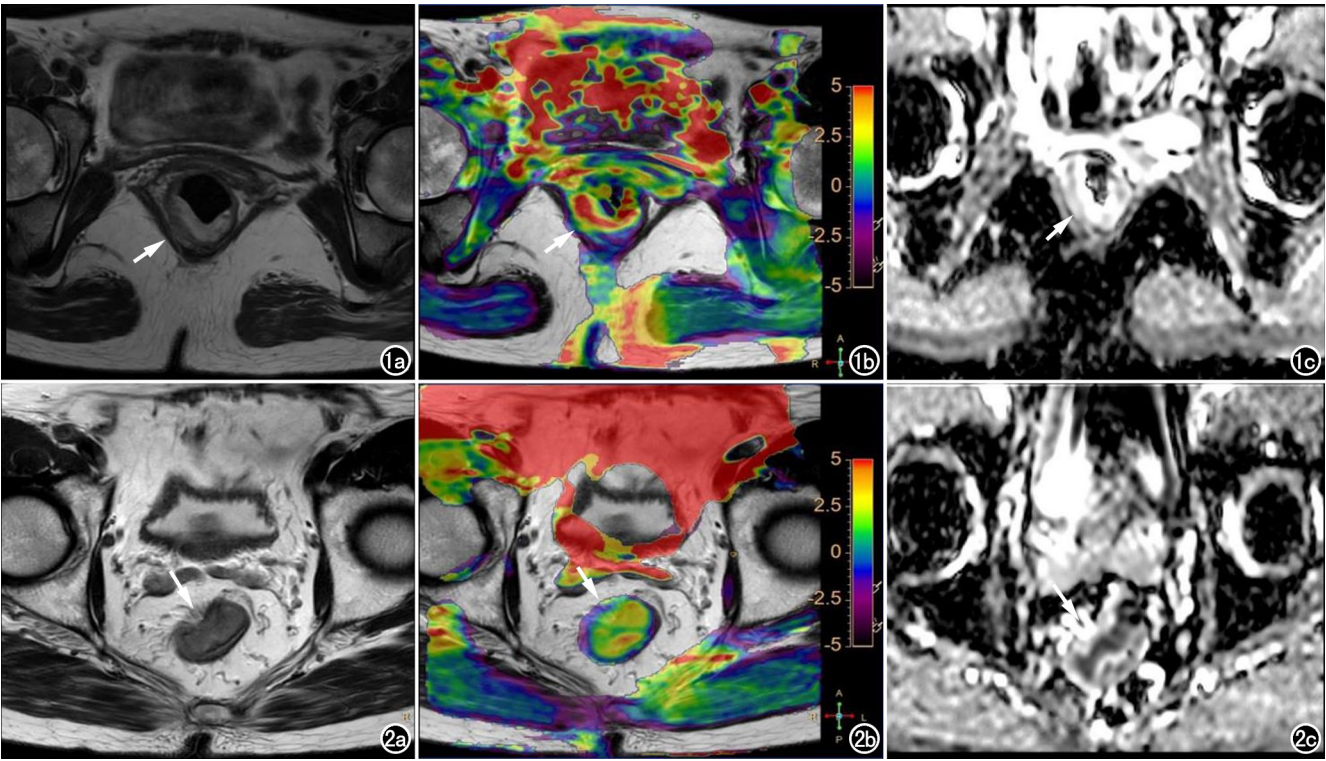


图 1 女,50 岁,直肠黏液腺癌。a)T₂WI 斜轴位,直肠肠腔内团块状混杂长 T₂ 信号影(箭),病变累及肌层,右侧局部突破肌层;b)APT-T₂WI 融合图,APT SI 为 3.6%,c)ADC 图,ADC 值为 1.53×10⁻³mm²/s。

图 2 男,58 岁,直肠普通腺癌。a)T₂WI 斜轴位,直肠肠腔内团块状稍长 T₂ 信号影(箭),病变累及肌层;b) APT-T₂WI 融合图,APT SI 为 2.5%,c)ADC 图,ADC 值为 0.91×10⁻³mm²/s。

期),pT3—4 期共 49 例(41 例 pT3 期,8 例 pT4 期);
pN0 期 56 例,pN1—2 期 26 例(15 例 pN1 期,11 例
pN2 期);CRM 阴性 82 例;EMVI 阳性 20 例,EMVI
阴性 62 例;神经侵犯阳性 20 例,阴性 62 例;脉管癌栓
阳性 24 例,阴性 58 例。

2. 直肠癌不同分组的 APT SI、ADC 值比较

两名医师测量 APT SI、ADC 值的 ICC 分别为
0.827、0.815,一致性良好。直肠黏液腺癌 APT SI、
ADC 值高于普通腺癌,差异具有
统计意义($P<0.001$,表 1)。低
级别普通腺癌 APT SI 低于高级
别普通腺癌,差异具有统计意义
($P<0.05$);其余直肠普通腺癌不
同分组间 APT SI 及 ADC 值差异
均无统计意义($P>0.05$,表 2)。

3. APT SI、ADC 值在直肠黏液腺癌与普通腺癌鉴别以及普通腺癌病理分级中的 ROC 曲线分析

APT SI 鉴别直肠黏液腺癌与
普通腺癌的 AUC 为 0.936,最佳
诊断阈值为 2.5%时,诊断敏感度

表 1 直肠癌不同病理类型 APT SI 及 ADC 值的比较

分组	例数	APT SI (%)	ADC (×10 ⁻³ mm ² /s)
黏液腺癌	12	3.192±0.661	1.518±0.226
普通腺癌	82	2.300±0.461	0.999±0.134
<i>t</i> 值		-5.898	-11.327
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001

注:APT SI 为 APT 信号强度,ADC 为表观扩散系数
和特异度分别为 76.8%和 100%。ADC 值鉴别直肠
黏液腺癌与普通腺癌的 AUC 为 0.982,最佳诊断阈值

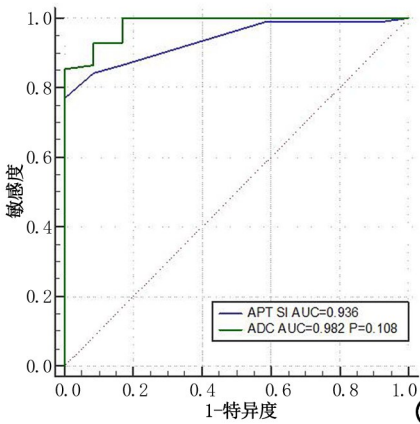


图 3 APT SI、ADC 鉴别直肠黏液腺癌与普通腺癌的 ROC 曲线。

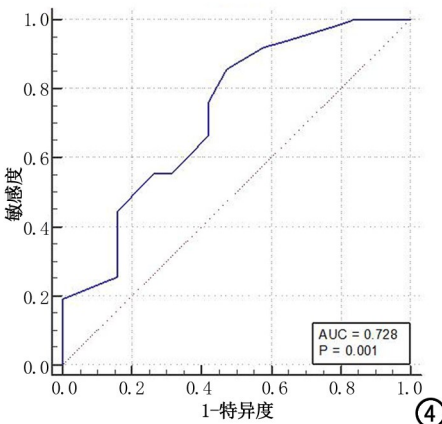


图 4 APT SI 鉴别低级别与高级别直肠普通腺癌的 ROC 曲线。

表 2 直肠普通腺癌不同分组 APT SI 及 ADC 值的比较

分组	例数	APT SI (%)	ADC ($\times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)
WHO 分级			
低级别腺癌	63	2.203 $\pm$ 0.334	0.975 $\pm$ 0.145
高级别腺癌	19	2.622 $\pm$ 0.648	1.006 $\pm$ 0.131
<i>t</i> 值		-3.737	0.903
<i>P</i> 值		<0.001	0.369
T 分期			
早期	33	2.373 $\pm$ 0.605	1.007 $\pm$ 0.157
晚期	49	2.251 $\pm$ 0.329	0.994 $\pm$ 0.118
<i>t</i> 值		1.174	0.414
<i>P</i> 值		0.244	0.680
N 分期			
pN1-2	26	2.258 $\pm$ 0.358	0.978 $\pm$ 0.134
pN0	56	2.320 $\pm$ 0.503	1.001 $\pm$ 0.135
<i>t</i> 值		0.561	0.985
<i>P</i> 值		0.577	0.327
CRM			
阴性	82	2.300 $\pm$ 0.461	0.999 $\pm$ 0.134
EMVI			
阳性	20	2.396 $\pm$ 0.282	1.010 $\pm$ 0.130
阴性	62	2.269 $\pm$ 0.503	0.996 $\pm$ 0.137
<i>t</i> 值		-1.066	-0.394
<i>P</i> 值		0.290	0.694
神经侵犯			
阳性	20	2.325 $\pm$ 0.409	0.951 $\pm$ 0.100
阴性	62	2.292 $\pm$ 0.479	1.015 $\pm$ 0.141
<i>t</i> 值		-0.276	1.872
<i>P</i> 值		0.783	0.065
脉管癌栓			
阳性	24	2.354 $\pm$ 0.443	0.972 $\pm$ 0.109
阴性	58	2.278 $\pm$ 0.470	1.011 $\pm$ 0.143
<i>t</i> 值		-0.681	1.195
<i>P</i> 值		0.498	0.236

注:CRM 为环周切缘,EMVI 为壁外血管侵犯

为 $1.13 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 时,诊断敏感度和特异度分别为 85.4%和 100%。APT SI 和 ADC 值的 AUC 差异无统计学意义($Z=1.603, P=0.108$),见图 3。APT SI 在低级别与高级别普通腺癌鉴别中的 AUC 为 0.728,以 2.5%作为最佳诊断阈值,其诊断的敏感度为 87.5%,特异度为 52.6%(图 4)。

讨 论

常规高分辨率 MR 成像,特别是小 FOV、薄层 T₂WI 横轴面序列能提供直肠癌术前分期的情况,但无法提供功能学方面的信息。DWI 是一种较成熟的 MR 功能成像技术,通过探测组织内水分子的扩散运动来反映生理或病理状态下组织微环境变化的情况,但容易受到肠蠕动伪影干扰。CEST 成像是在磁化转移和化学交换理论上发展起来的一种新型磁共振分子影像技术,APT 成像技术是其中一种最先进进入临床的分支,通过定量酰胺质子磁化转移比例反映蛋白质浓度,是目前唯一可以在体、无创、无辐射、无示踪剂来探测游离蛋白质含量的技术。

黏液腺癌是直肠腺癌的一种常见亚型,预后较差,

对新辅助放化疗不敏感,病理上肿瘤黏液成分超过 50%^[12],术前活检常因取材有限难以对其进行准确的组织学分型,黏液腺癌有一定特点,T₂WI 多表现为高或稍高信号,但有时信号混杂,与普通腺癌鉴别困难。本研究中直肠黏液腺癌 APT SI 高于普通腺癌,根据文献报道,APT SI 主要取决于内源性移动蛋白及多肽,也受细胞内 PH 环境的影响,此外,细胞密度、黏蛋白以及新生血管生成也会影响其信号值^[13-14]。黏液腺癌以肿瘤细胞高黏液分泌为特征,可能是导致 APT SI 较高的原因。直肠黏液腺癌 ADC 值高于普通腺癌,与之前研究结果相一致^[15],考虑因为腺癌细胞漂浮于黏液中,排列较疏松,水分子扩散运动受限相对小,所以 ADC 值较高。APT SI 的 ROC 曲线下面积稍低于 ADC 值,但两者间差异无统计学意义,表明 APT、ADC 参数有助于直肠黏液腺癌的鉴别诊断,对治疗方案的选择具有重要意义。

组织学分级是影响直肠癌预后的重要因素之一,本研究中低级别普通腺癌的 APT SI 低于高级别腺癌,这与既往研究一致^[9-10],APT 有助于鉴别直肠癌的病理分级。Sotirios 等^[16]研究发现 APT 可以鉴别低级别与高级别胶质瘤,并可以预测组织病理级别。Yin 等^[17]研究表明,APT SI 在前列腺癌中明显高于良性前列腺增生,并与 Gleason 评分有很强的相关性。这些研究均表明恶性肿瘤的 APT SI 明显高于良性或正常组织,且随着病理级别的而增加,高级别肿瘤中 APT SI 较高可能与大量蛋白质生成、细胞增殖迅速和新生血管生成有关。本研究中 ADC 值在高级别与低级别直肠癌中差异无统计学意义,与郭达等^[18]研究不一致,与 Zhu 等^[19]研究一致,DWI 能否鉴别肿瘤分级尚需进一步研究。

直肠癌的分期与无病生存和局部复发密切相关,本研究采用术后病理回顾性分析 APT SI、ADC 与肿瘤分期的相关性,APT SI 在 pT1-2 与 pT3-4 期、pN1-2 与 pN0 期差异无统计学意义,既往研究显示 T 分期晚期和淋巴结转移时 APT SI 较高,与本研究结果不一致^[9-10],考虑与既往研究未纳入 T1 或 T4 期病例,N 分期阳性率不同有关。本研究中 ADC 在 pT1-2 与 pT3-4 期、pN1-2 与 pN0 期差异无统计学意义,表明不同 TN 分期肿瘤微环境差异可能不大,林晓君等^[20]报道 ADC 图像纹理分析可用于鉴别直肠癌 AJCC 分期 I~II 期与 III 期,即 pN0 期与 pN1-2 期。

EMVI 指肿瘤所在肠管固有肌层外的血管腔内出现肿瘤浸润,EMVI 阳性是直肠癌的独立预后因素,与局部复发、远处转移、肿瘤相关死亡等不良事件密切相关。Chen 等^[10]研究发现 EMVI 阳性者的 APT SI 高

于 EMVI 阴性者,但本研究显示 EMVI 不同分组间 APT SI 的差异无统计学意义,考虑可能与 EMVI 状态的阳性率不同有关(本研究中为 24.4%,既往研究中为 50.8%),判断 EMVI 状态仍需要结合高分辨 T₂WI 图像以提高诊断的准确性。本研究中不同分组的 ADC 值差异无统计学意义,张景等^[21]发现 DWI 肿瘤体积测量可以帮助判断 EMVI 状态。CRM,即全直肠系膜切除术(total mesorectal excision, TME)的手术切缘,CRM 阳性者局部复发率高、生存率低,需采用术前新辅助放化疗以缩小肿瘤、降低肿瘤分期,本研究中环周切缘均为阴性,考虑因为术前 CRM 怀疑阳性者进行新辅助治疗而未纳入本研究。

神经侵犯与脉管癌栓也是关系到直肠癌复发、转移和术后辅助治疗的病理因素,本研究中 APT SI、ADC 在神经侵犯、脉管癌栓不同组间中差异无统计学意义,谢玉海等^[22]报道 ADC 值可以鉴别神经管侵犯,与本研究结果不一致,考虑可能与分组不同有关,既往研究将神经管侵犯合为一组,而本研究将神经与脉管侵犯分开进行分析。

本研究存在一定的局限性:首先,本研究收集直肠癌的病理类型相对较少,未纳入淋巴瘤、神经内分泌肿瘤等,需要进一步扩大样本量继续研究。其次,本研究排除了进行新辅助治疗的直肠癌患者,可能会造成选择的偏倚。最后,本研究未将 APT SI、ADC 与 Ki-67、P53 等免疫组化指标进行相关性分析,需要在以后工作中收集完整资料进行下一步研究。

综上,在直肠癌中,APT 可反映肿瘤组织微结构的复杂性,并间接反映肿瘤细胞增殖程度,有助于直肠黏液腺癌与普通腺癌的鉴别,可帮助预测直肠癌患者的病理分级。

参考文献:

- [1] Siegel RL, Miller KD, Goding Sauer A, et al. Colorectal cancer statistics, 2020[J]. CA Cancer J Clin, 2020, 70(3): 145-164.
- [2] Wilkinson N. Management of rectal cancer[J]. Surg Clin North Am, 2020, 100(3): 615-628.
- [3] 刘婕, 刘影, 刘梦秋, 等. MRI 对直肠癌术前评估的价值研究[J]. 临床放射学杂志, 2019, 38(10): 1886-1890.
- [4] Law BKH, King AD, Ai QY, et al. Head and neck tumors: amide proton transfer MRI[J]. Radiology, 2018, 288(3): 782-790.
- [5] He YL, Li Y, Lin CY, et al. Three-dimensional turbo-spin-echo amide proton transfer-weighted mri for cervical cancer: A preliminary study[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 50(4): 1318-1325.
- [6] Qamar S, King AD, Ai QH, et al. Pre-treatment amide proton transfer imaging predicts treatment outcome in nasopharyngeal carcinoma[J]. Eur Radiol, 2020, 30(11): 6339-6347.
- [7] Li B, Sun H, Zhang S, et al. The utility of APT and IVIM in the di-

- agnosis and differentiation of squamous cell carcinoma of the cervix: A pilot study[J]. Magn Reson Imaging, 2019, 63: 105-113.
- [8] Jia F, Wu B, Yan R, et al. Prediction model for intermediate-stage hepatocellular carcinoma response to transarterial chemoembolization[J]. J Magn Reson Imaging, 2020, 52(6): 1657-1667.
- [9] Li L, Chen W, Yan Z, et al. Comparative analysis of Amide proton transfer MRI and diffusion-weighted imaging in assessing p53 and Ki-67 expression of rectal adenocarcinoma[J]. J Magn Reson Imaging, 2020, 52(5): 1487-1496.
- [10] Chen W, Li L, Yan Z, et al. Three-dimension amide proton transfer MRI of rectal adenocarcinoma: correlation with pathologic prognostic factors and comparison with diffusion kurtosis imaging[J]. Eur Radiol, 2021, 31(5): 3286-3296.
- [11] 董宛, 陈安良, 刘爱连, 等. 初探酰胺质子转移加权 and T₂-mapping 对直肠癌化疗和未化疗的定量对比研究[J]. 磁共振成像, 2021, 12(7): 24-28.
- [12] Reynolds IS, O'Connell E, Fichtner M, et al. Mucinous adenocarcinoma of the colon and rectum: A genomic analysis[J]. J Surg Oncol, 2019, 120(8): 1427-1435.
- [13] Zhou J, Heo HY, Knutsson L, et al. APT-weighted MRI: techniques, current neuro applications, and challenging issues[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 50(2): 347-364.
- [14] Ray KJ, Simard MA, Larkin JR, et al. Tumor pH and protein concentration contribute to the signal of Amide proton transfer magnetic resonance imaging[J]. Cancer Res, 2019, 79(7): 1343-1352.
- [15] 文自强, 杨心悦, 陈琰, 等. 磁共振成像扩散峰度成像在直肠癌组织学类型及病理分级中的应用[J]. 消化肿瘤杂志, 2018, 10(1): 11-15.
- [16] Sotirios B, Demetriou E, Topriceanu CC, et al. The role of APT imaging in gliomas grading: A systematic review and meta-analysis[J]. Eur J Radiol, 2020, 133: 109353.
- [17] Yin H, Wang D, Yan R, et al. Comparison of diffusion kurtosis imaging and amide proton transfer imaging in the diagnosis and risk assessment of prostate cancer[J]. Front Oncol, 2021, 11: 640906.
- [18] 郭达, 杨陈, 周倩, 等. MR750 3.0T DWI ADC 值与直肠癌患者临床病理分级及术后复发和吻合口炎性纤维化关系[J]. 放射学实践, 2020, 35(10): 1310-1315.
- [19] Zhu L, Pan Z, Ma Q, et al. Diffusion kurtosis imaging study of rectal adenocarcinoma associated with histopathologic prognostic factors: preliminary findings[J]. Radiology, 2017, 284(1): 66-76.
- [20] 林晓君, 曹代荣, 黄宏杰, 等. 基于 ADC 图纹理分析预测直肠癌美国肿瘤联合会分期[J]. 中国介入影像与治疗学, 2020, 17(12): 745-749.
- [21] 张景, 靳恒军, 张芳, 等. DWI 和 T₂WI 直肠癌体积测量与壁外血管侵犯、淋巴结转移的相关性[J]. 放射学实践, 2020, 35(9): 1151-1156.
- [22] 谢玉海, 钱银锋, 刘星, 等. 3.0T MR 扩散加权成像及动态增强诊断直肠癌神经管侵犯的价值[J]. 放射学实践, 2021, 36(5): 637-641.

(收稿日期: 2021-11-30 修回日期: 2022-02-24)