

· 论 著 ·

磁共振功能成像在进展期直肠癌新辅助放化疗疗效评估中的应用

董健¹, 谢宗源², 李垣婕¹, 程亮¹, 李兴¹, 赵振伟²

1. 开滦总医院林西医院普外科, 河北 唐山 063100;

2. 华北理工大学附属医院磁共振室, 河北 唐山 063000

摘要: **目的** 探讨磁共振功能成像技术(MRI)动态对比增强磁共振成像(DCE-MRI)和扩散加权成像(DWI)在进展期直肠癌新辅助放化疗(NCRT)疗效评估中的应用价值。**方法** 收集2015年1月至2019年6月经肠镜病理证实行NCRT后实施全直肠系膜切除术(TME)治疗的直肠癌患者79例,进行回顾性研究。79例分别于NCRT前后行盆腔MRI常规平扫结合DWI及DCE-MRI检查,对患者术后病理T、N分期与NCRT前MRI T、N分期作比较;并根据TME术后病理分为病理完全缓解(pCR)组和非pCR组,比较NCRT前后及pCR组与非pCR组DCE-MRI定量灌注参数容积转运常数(K^{trans});血管外细胞外间隙容积比(V_e);回流速率常数(K_{ep})值及表观弥散系数(ADC)之间的差异。**结果** NCRT后79例患者中60例(75.9%)获得T分期降期,25例(31.6%)获得N分期降期,23例(29.1%)获得pCR。NCRT前 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值均高于NCRT后,ADC值低于NCRT后,NCRT前pCR组 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值均高于非pCR组,ADC值低于非pCR组,NCRT后pCR组 K^{trans} 值低于非pCR组,ADC值高于非pCR组,差异均具有统计学意义($P < 0.05$, $P < 0.01$)。**结论** MRI常规平扫结合DWI及DCE-MRI检查可准确的对进展期直肠癌进行术前分期, K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值及ADC值能够从功能学角度定量评估进展期直肠癌NCRT的疗效, K^{trans} 值和ADC值可预测肿瘤病理缓解情况。

关键词: 直肠癌; 新辅助放化疗; 磁共振成像; 动态对比增强; 扩散加权成像

中图分类号: R 735.3⁺7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-8182(2020)06-0759-05

Magnetic resonance functional imaging in the evaluation of neoadjuvant radiotherapy and chemotherapy for advanced rectal cancer

DONG Jian*, XIE Zong-yuan, LI Yuan-jie, CHENG Liang, LI Xing, ZHAO Zhen-wei

* Department of General Surgery, Linxi Hospital of Kailuan General Hospital, Tangshan, Hebei 063100, China

Corresponding author: XIE Zong-yuan, E-mail: 93347795@qq.com

Abstract: Objective To compare the value of dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging (DCE-MRI) and diffusion-weighted imaging (DWI) in evaluating the efficacy of neoadjuvant chemoradiotherapy (NCRT) for advanced rectal cancer. **Methods** Seventy-nine patients with rectal cancer undergoing total mesorectal excision (TME) after NCRT from January 2015 to June 2019 were selected for retrospective study. Pelvic MRI conventional plain scan combined with DWI or DCE-MRI were performed before and after NCRT, and their films for T and N staging before NCRT were compared with the postoperative pathological T and N staging. According to the postoperative pathology of TME, the patients were divided into pathological complete response (pCR) group and non-pCR group. DCE-MRI quantitative perfusion parameters, including transfer constant (K^{trans}), extravascular extracellular space volume ratio (V_e), efflux rate constant (K_{ep}) and apparent diffusion coefficient (ADC) value before and after NCRT were compared between pCR group and npCR group. **Results** Out of 79 patients after NCRT, 60 (75.9%) got T-stage reduction (histological tumor regression grading), 25 (31.6%) got N-stage reduction and 23 (29.1%) got pathologic complete remission. Before NCRT, K^{trans} , V_e and K_{ep} values were higher than those after NCRT, and ADC value was lower than that after NCRT; K^{trans} , V_e and K_{ep} values in pCR group were statistically higher than those in non-pCR group, and ADC value was lower than that in non-pCR group. After NCRT, K^{trans} value decreased, and ADC value increased in pCR group compared with non-pCR group ($P < 0.05$, $P <$

0.01)。 **Conclusion** Conventional MRI plain scan combined with DWI and DCE-MRI can accurately indicate the tumor stage of advanced rectal cancer. K^{trans} , V_e , K_{ep} and ADC values can quantitatively evaluate the efficacy of NCRT in advanced rectal cancer from a functional perspective. K^{trans} value and ADC value can predict the pathological remission of tumor.

Key words: Rectal cancer; Neoadjuvant chemoradiotherapy; Magnetic resonance imaging; Dynamic contrast-enhanced; Diffusion weighted imaging

Fund program: Hebei Medical Science Research Key Project (20181454); Hebei Science and Technology Plan Project (162777139)

直肠癌是我国发病率和死亡率位居第 5 位的恶性肿瘤^[1]。由于直肠癌早期临床症状并不明显,多数患者就诊时已处于局部进展期(T3~4 期或 N 分期阳性),手术治疗后会出现一定比例的术后并发症,是临床治疗中的重点和难点^[2]。对于进展期直肠癌,其标准的治疗方案是新辅助放化疗(NCRT),对于放化疗后评估为可手术治疗者,联合全直肠系膜切除术(TME)综合治疗^[3]。磁共振成像(MRI)具有较高的软组织分辨率,可清晰的显示肿瘤以及周围组织的侵犯情况,是直肠癌术前准确分期和 NCRT 后疗效评估的主要检查方法。磁共振功能成像技术动态对比增强磁共振成像(DCE-MRI)和扩散加权成像(DWI)分别反映了对比剂进入和排出肿瘤的血流动力学过程和活体水分子微观运动情况,显示肿瘤细胞结构及周围微环境变化特征,为直肠癌放化疗疗效评价提供了新的方法。本研究选取术前 MRI 分期为进展期直肠癌,NCRT 后行 TME 术的患者为研究对象,分析 NCRT 对直肠癌患者 T、N 分期的影响,比较 NCRT 前后 DCE-MRI 定量灌注参数:容积转运常数(K^{trans});血管外细胞外间隙容积比(V_e);回流速率常数(K_{ep})值及表观弥散系数(ADC)值的变化,探讨 MRI 对直肠癌 NCRT 疗效评估的价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集华北理工大学附属医院 2015 年 1 月至 2019 年 6 月 NCRT 后行 TME 术治疗的直肠癌患者 79 例进行回顾性研究。79 例中男 51 例,女 28 例;年龄(52.8 ± 11.8)岁。纳入标准:(1)肠镜活检后病理诊断为直肠癌;(2)MRI 分期为进展期直肠癌,无远处转移;(3)NCRT 前未接受过抗肿瘤治疗;(4)NCRT 前后 MRI 图像清晰、数据完整。

1.2 MRI 检查方法 患者在 NCRT 前 1 周内和 TME 术前 1 周内行盆腔 MRI 检查。采用西门子 Skyra 3.0T MRI 扫描仪,体部相控阵 18 通道线圈。依次完成盆腔 MRI 常规平扫(矢状位、冠状位、轴位 T2WI、轴位 T1WI 序列)及 DWI($b = 0, 1000 \text{ s/mm}^2$)、DCE-MRI 轴位序列。DCE-MRI 扫描采用 T1 VIBE 序列,

共采集 35 个期,每期 8 s,在第 3 期扫描开始通过高压注射器经肘静脉注射对比剂钆双胺(Gd-DTPA),剂量 0.1 mmol/kg,流率 3 ml/s,随后以 3 ml/s 流率注射生理盐水 15 ml 冲管。

1.3 MRI 图像分析及后处理 所有影像学资料均由两位经验丰富的腹部影像诊断医师共同判读,依据美国癌症联合委员会的(AJCC)TNM 分期标准(第 8 版)^[4]采用常规 MRI 结合 DCE-MRI 及 DWI 序列进行分期,意见不一致时经协商达成一致。进展期直肠癌评价标准:T3 期,肿瘤穿透肌层达有腹膜覆盖的浆膜下层或无腹膜覆盖的肠周脂肪组织;T4 期,肿瘤穿透脏层腹膜或侵犯邻近组织、器官。区域淋巴结有下述两项或以上特征时判断为淋巴结转移阳性:短径 $\geq 5 \text{ mm}$,边界不规则,信号不均匀,DWI 上信号增高,DCE-MRI 上强化不均匀。参考常规 T2WI 图像,在肿瘤实质部分,选取 DCE-MRI 肿瘤强化最明显的部位及 DWI($b = 1000 \text{ s/mm}^2$)肿瘤明显高信号区为感兴趣区(ROI),面积约 30 mm^2 ,避开肿瘤液化坏死部分和周围血管等结构。在 DCE-MRI 伪彩图上测量 DCE-MRI 定量灌注参数: K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 。在 ADC 图上测量 ADC 值。

1.4 NCRT 方案 采用小剂量长程放疗方式放疗(总剂量 50 Gy,2 Gy/次,每周连续 5 次,共 25 次),放疗开始静脉滴注氟尿嘧啶(5-Fu)400 mg/m²(7 d/周)至放疗结束。NCRT 结束后 8 周行 TME 术。

1.5 疗效评价和分析 TME 术后由病理医师依据 NCCN 推荐肿瘤消退分级^[5]标准对 NCRT 后原发灶肿瘤的病理反应状态进行评估;TRG 0 级:完全消退(无存活的肿瘤细胞);TRG 1 级:中度消退;TRG 2 级:轻度消退,TRG 3 级:消退不良。本研究将 TRG 0 级归为病理完全缓解组(pathological complete response, pCR),其余 TRG 1~3 级归为非 pCR 组。并根据术后病理分为 pCR 组和非 pCR 组,比较 NCRT 前后及 pCR 组与非 pCR 组 DCE-MRI 定量灌注参数 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值及 ADC 之间的差异。

1.6 统计学方法 采用 SPSS 19.0 软件进行数据处理分析。计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示,对数据进行正态性及

方差齐性检验,采用配对样本 t 检验对 NCRT 前后 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值及 ADC 值进行比较;采用独立样本 t 检验对 NCRT 前后 pCR 组与非 pCR 组 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值及 ADC 值进行比较。检验水准取 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

79 例患者经 NCRT 和 TME 术治疗后,术后病理 TRG 0 级 23 例,TRG 1 级 25 例,TRG 2 级 27 例,TRG 3 级 4 例。其中,达到 pCR 23 例(29.1%, pCR 组),未达 pCR 56 例(70.9%, 非 pCR 组)。

2.1 NCRT 前 MRI 检查与术后病理结果比较

NCRT 后 60 例患者 T 分期降期,24 例患者术后病理标本达到 T0 期,其中 1 例患者原肿块内无存活的肿瘤细胞,其纤维组织周围脂肪间隙内可见 1 枚转移性淋巴结,2 例患者 NCRT 前 MRI TN 分期为 T2N1 期,25 例患者 N 分期降期;NCRT 前 MRI T 分期和术后病理 T 分期比较见表 1。NCRT 前 MRI N 分期术后病理 N 分期比较。见表 2。

2.2 NCRT 前后肿瘤 DCE-MRI 定量灌注参数 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值及 ADC 值比较 直肠癌 NCRT 前 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值均高于 NCRT 后,NCRT 前 ADC 值低于 NCRT 后,差异均具有统计学意义($P < 0.01$)。见表 3。

2.3 NCRT 前后 pCR 组与非 pCR 组 DCE-MRI 定量灌注参数 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值及 ADC 值比较 NCRT 前 pCR 组 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值均高于非 pCR 组、ADC 值低于非 pCR 组;NCRT 后 pCR 组 K^{trans} 值低于非 pCR 组,ADC 值高于非 pCR 组,差异均具有统计学意义($P < 0.05$, $P < 0.01$);NCRT 后 pCR 组 V_e 、 K_{ep} 与非 pCR 组比较无统计学意义($P > 0.05$)。见表 4。

2.4 典型病例 一例 pCR 男性患者的病理图和 NCRT 前后 MRI 影像见图 1。根据 NCRT 前肠镜活检后病理诊断为直肠腺癌(图 1a);NCRT 前 T2WI 矢状位和轴位显示直肠中下段肿物累及直肠各壁,穿透肌层达周围脂肪间隙,可见多发毛刺,肿物与左侧肛提肌分界不清,诊断为直肠癌 T4 期(图 1b、1c);NCRT 前 DCE-MRI 伪彩图测量 $K^{trans} = 0.33/\text{min}$ 、 $V_e = 0.72$ 、 $K_{ep} = 0.45/\text{min}$ (图 1d);NCRT 前 ADC 图测量 ADC 值 = 0.87(图 1e);NCRT 后 T2WI 矢状位和轴位显示直肠中下段肿物体积明显缩小,可见低信号的纤维成分,部分肠壁结构显示清晰(图 1f、1g);NCRT 后 DCE-MRI 伪彩图测量 $K^{trans} = 0.10/\text{min}$ 、 $V_e = 0.23$ 、 $K_{ep} = 0.44/\text{min}$ (图 1h);NCRT 后 ADC 图测量 ADC 值 = 1.12(图 1i);术后病理诊断为直肠癌 NCRT 后,未见肿瘤残留(图 1j)。

3 讨论

NCRT 在局部进展期直肠癌治疗中发挥了重要的作用,具有缩小肿瘤体积、降低肿瘤分期、减小手术治疗的难度、提高保肛术率、提高生存率、减低局部复发率等优点^[6-7]。对进展期直肠癌行 NCRT 后,可达到不同程度病理缓解效果,25% 的局部进展期直肠癌患者在 NCRT 后达到 pCR^[8]。临床上选择进展期直肠癌治疗前准确分期及 NCRT 后肿瘤退缩程度的方法至关重要, MRI 是进展期直肠癌 NCRT 前分期及 NCRT 后再分期的重要检查方法,常规 MRI 主要依赖于形态学来评估病变和监测疗效,病变的形态学变化显著落后于分子生物学变化。由于肿瘤的异质性,肿

表 1 NCRT 前 MRI T 分期与术后病理 T 分期比较 (例)

术后病理 T 分期	NCRT 前 MRI T 分期					合计
	T0	T1	T2	T3	T4	
T0	0	0	2	20	2	24
T1	0	0	0	8	3	11
T2	0	0	0	9	5	14
T3	0	0	0	15	11	26
T4	0	0	0	0	4	4
合计	0	0	2	52	25	79

表 2 NCRT 前 MRI N 分期与术后病理 N 分期比较 (例)

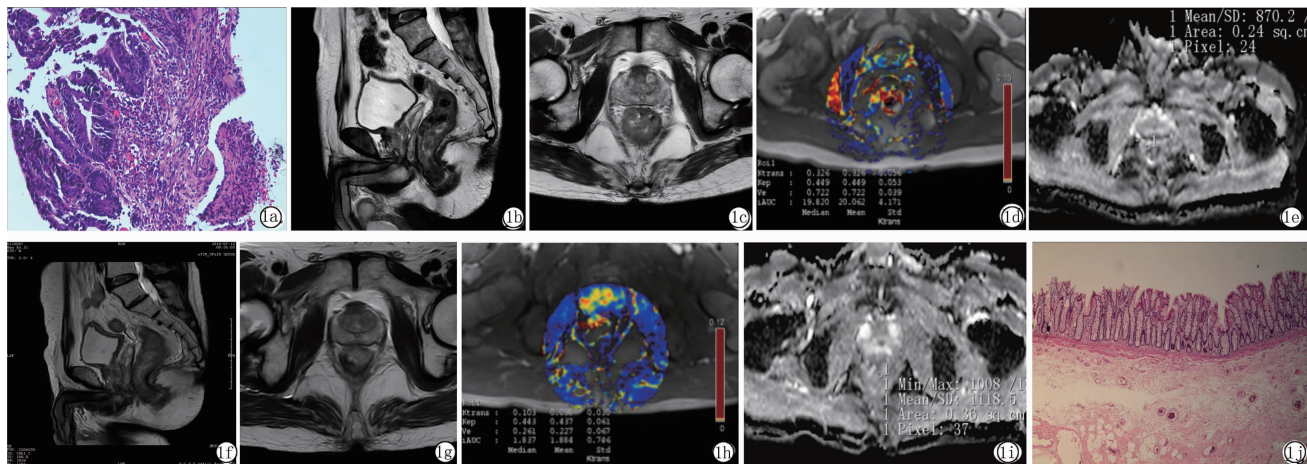
术后病理 N 分期	NCRT 前 MRI N 分期			合计
	N0	N1	N2	
N0	39	15	7	61
N1	7	5	3	15
N2	0	1	2	3
合计	46	21	12	79

表 3 NCRT 前后肿瘤 DCE-MRI 定量灌注参数 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值及 ADC 值比较 ($n = 79, \bar{x} \pm s$)

检查时间	K^{trans} (min^{-1})	V_e (%)	K_{ep} (min^{-1})	ADC 值 ($\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)
治疗前	0.35 ± 0.05	0.56 ± 0.08	0.55 ± 0.09	0.91 ± 0.05
治疗后	0.25 ± 0.06	0.53 ± 0.09	0.51 ± 0.09	1.09 ± 0.06
t 值	11.35	2.52	5.13	19.13
P 值	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01

表 4 NCRT 前后 pCR 组与非 pCR 组 DCE-MRI 定量灌注参数 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值及 ADC 值比较 ($n = 79, \bar{x} \pm s$)

参数指标	MRI 检查时间	pCR	非 pCR	t 值	P 值
$K^{trans}(\text{min}^{-1})$	治疗前	0.39 ± 0.05	0.33 ± 0.03	6.44	<0.01
	治疗后	0.21 ± 0.07	0.27 ± 0.05	3.32	<0.01
$V_e(\%)$	治疗前	0.60 ± 0.07	0.54 ± 0.07	3.49	<0.01
	治疗后	0.52 ± 0.10	0.54 ± 0.09	1.12	>0.05
$K_{ep}(\text{min}^{-1})$	治疗前	0.59 ± 0.08	0.51 ± 0.09	2.79	<0.05
	治疗后	0.49 ± 0.07	0.51 ± 0.09	1.28	>0.05
ADC 值 ($\times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{s}$)	治疗前	0.88 ± 0.04	0.93 ± 0.05	3.87	<0.01
	治疗后	1.13 ± 0.06	1.07 ± 0.06	4.69	<0.01



注:1a:NCRT前肠镜活检后病理(HE染色, $\times 200$);1b:NCRT前T2WI矢状位;1c:NCRT前T2WI轴位;1d:NCRT前DCE-MRI伪彩图;1e:NCRT前ADC图;1f:NCRT后T2WI矢状位;1g:NCRT后T2WI轴位;1h:NCRT后DCE-MRI伪彩图;1i:NCRT后ADC图;1j:术后病理(HE染色, $\times 100$)。

图1 一例pCR男性患者病理图和NCRT前后MRI影像

瘤在NCRT后会发纤维化、黏液变、反应性纤维索、炎性水肿等多种病理变化^[9],因此在NCRT前后应选取合适的定量分析方法为其疗效评估提供更为客观的影像参考信息。

本研究采用规MRI结合DCE-MRI及DWI对进展期直肠癌进行术前准确分期。T3期直肠癌在常规MRI上表现为肿瘤穿透肌层,在DCE-MRI显示瘤体强化,肌层强化不连续,在DWI上显示瘤体呈高或稍高信号,肌层的连续性中断。T4期直肠癌在常规MRI上表现为肿瘤穿透脏层腹膜或侵犯邻近组织、器官,在DCE-MRI显示强化的瘤体、不均匀强化的癌性索条影达脏层腹膜或邻近组织、器官,在DWI上显示瘤体、癌性索条影呈高或稍高信号。转移性淋巴结在常规MRI上表现为淋巴结增大,边缘不规则,信号不均匀。在DWI上信号增高,在DCE-MRI上呈轻中度不均匀强化。本研究结果显示,NCRT后79例患者中23例(29.1%)患者达到pCR,60例(75.9%)获得T分期降期,25例(31.6%)获得N分期降期,提示NCRT一定程度上可以降低肿瘤TN分期。张建新等^[10]对95例局部晚期直肠癌患者行术前NCRT,术后病理共17例(17.9%)获得pCR。本研究获pCR者所占比例(29.1%)略高于该研究。本研究采用常规MRI结合DCE-MRI及DWI可准确的对进展期直肠癌NCRT前T、N分期及判定预后,直肠癌NCRT前MRI的T分期是直肠癌术后无瘤生存率的独立预后因素^[11],T2WI结合DWI有助于判断NCRT后残存肿瘤组织^[12]。

DCE-MRI通过药代动力学模型分析肿瘤血管和组织间隙对比剂浓度的变化,从而反映肿瘤血管通透性及血流灌注情况,计算出药代动力学定量灌注参

数: K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值。 K^{trans} 值代表单位时间内从血管内转运至血管外细胞外间隙(EES)的对比剂量; V_e 值代表分布在EES的对比剂的容积分数; K_{ep} 值代表对比剂从EES回流至血管内的速率。肿瘤的新生血管的数量和血管内皮通透性反映了肿瘤组织的活动情况。由于肿瘤新生微血管数量增多,血管内皮通透性增加,从血管内渗漏到EES的对比剂量增加, K^{trans} 值增大;分布在EES的对比剂的容积分数增加, V_e 值增大;由于肿瘤新生微血管壁通透性增加且存在动静脉瘘,对比剂从EES回流至血管内的速率增加, K_{ep} 值增大。目前DCE-MRI已应用于鼻咽癌、宫颈癌^[13-14]的放化疗疗效评估,关于DCE-MRI定量灌注参数 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值与直肠癌放化疗疗效的研究报道较少。Tong等^[15]研究结果显示,直肠癌NCRT后肿瘤区域的 K^{trans} 值明显减低,pCR组 K^{trans} 值减低更明显,NCRT前 K^{trans} 值高者疗效更好。Petrillo等^[16]研究结果表明, K^{trans} 值高预示新生血管更多、血氧水平升高、肿瘤对放疗敏感性增高、化疗药容易到达肿瘤区域。本研究结果显示,NCRT前 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值均高于NCRT后,NCRT前pCR组 K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值均高于非pCR组,NCRT后pCR组 K^{trans} 值低于非pCR组。NCRT不但可以消灭肿瘤细胞,还可以有效抑制肿瘤血管内皮生长因子表达,从而抑制肿瘤新血管的生成,影响肿瘤内的微循环状况。同时,NCRT还可使肿瘤内的毛细血管壁变性、坏死,导致管腔变窄,血液灌注量减少,导致 K^{trans} 、 K_{ep} 值减低^[13]。本研究结果表明, K^{trans} 值可较好的预测肿瘤放化疗疗效及病理缓解情况,是反映直肠癌NCRT疗效最有意义的参数,与上述学者研究结果相同, V_e 、 K_{ep} 值与放化疗疗效具有一定的相关性,关于 V_e 、 K_{ep} 值是否可以区别pCR

与非 pCR 仍需扩大样本量进一步研究。

DWI 是反映活体组织水分子微观运动的成像方法,通过测量 ADC 值反映肿瘤组织内水分子扩散运动受限制的程度和方向,提供了形态学以外反映肿瘤细胞结构的功能参数信息。在恶性肿瘤组织,细胞增殖旺盛、含量增加、核浆比例升高、排列紧密,细胞外间隙减小,水分子扩散受限制,在 DWI 上信号增高,ADC 值减低^[17]。关于 ADC 值能否预测直肠癌 pCR 存在争议,肖楠等^[18] 研究结果显示直肠癌 NCRT 后 ADC 值较治疗前明显升高,治疗前 pCR 组 ADC 值低于非 pCR 组,治疗后 pCR 组 ADC 值高于非 pCR 组。Nougaret 等^[19] 研究结果表明,直肠癌放疗前 ADC 值无法预测其治疗后的 pCR 状态。本研究结果显示,NCRT 前 ADC 值低于 NCRT 后,NCRT 前 pCR 组 ADC 值低于非 pCR 组,NCRT 后 pCR 组 ADC 值高于非 pCR 组。经放化疗后肿瘤细胞损伤,出现凋亡或死亡,细胞密度减小,细胞膜完整性破坏,细胞内水分子减少,细胞外间隙增大,阻碍水分子扩散运动的屏障减小,水分子扩散速率增快,ADC 值增加^[20]。本研究结果表明,ADC 值的改变程度可作为预测直肠癌放化疗疗效及病理缓解情况的指标,与肖楠等^[18] 研究结果一致,造成与 Nougaret 等^[19] 研究结果差异的原因可能是样本量的大小、ADC 值的测量技术及肿瘤的异质性等多种因素。

总之,MRI DCE-MRI 和 DWI 有助于进展期直肠癌术前精确分期, K^{trans} 、 V_e 、 K_{ep} 值及 ADC 值能够从病理生理学角度,定量预测及评估直肠癌 NCRT 疗效,其中 K^{trans} 值和 ADC 值可更为准确地预测 NCRT 后肿瘤病理缓解情况。

参考文献

[1] 姚宏伟,吴鸿伟,刘荫华. 从传统“群体化”诊治到精准“个体化”医疗:AJCC 第八版结肠直肠癌分期系统更新解读[J]. 中华外科杂志,2017,55(1):24-27.

[2] 李心翔,李清国. 局部进展期直肠癌行新辅助放疗后辅助化疗的争议与进展[J]. 中华胃肠外科杂志,2019,22(6):594-596.

[3] 余以珊,岳金波,于金明. 功能磁共振成像对直肠癌新辅助放疗疗效预测的价值[J]. 中华胃肠外科杂志,2017,20(5):491-494.

[5] Benson AB, Venook AP, Al-Hawary MM, et al. Rectal cancer, version 2. 2018, NCCN clinical practice guidelines in oncology [J]. J Natl Compr Canc Netw, 2018, 16(7):874-901.

[6] Smith CA, Kachnic LA. Evolving treatment paradigm in the treatment of locally advanced rectal cancer [J]. J Natl Compr Canc Netw,

2018, 16(7):909-915.

[7] Nacion AJD, Park YY, Kim NK. Contemporary management of locally advanced rectal cancer: Resolving issues, controversies and shifting paradigms [J]. Chung-Kuo Yen Cheng Yen Chiu, 2018, 30(1):131-146.

[8] Schrag D, Weiser MR, Goodman KA, et al. Neoadjuvant chemotherapy without routine use of radiation therapy for patients with locally advanced rectal cancer: a pilot trial [J]. J Clin Oncol, 2014, 32(6):513-518.

[9] 都雪朝,孙朋涛,潘振宇,等. 直肠癌新辅助治疗后病理变化的 MRI 信号特点[J]. 放射学实践,2018,33(3):256-258.

[10] 张建新,杨钊,樊鹏,等. MRI 评估局部晚期直肠癌新辅助放疗及全直肠系膜切除术后无进展生存期的价值[J]. 中华肿瘤杂志,2018,40(2):121-126.

[11] 崔春艳,田丽,刘立志,等. MRI 对局部晚期直肠癌新辅助放疗中无瘤生存期的评估价值[J]. 中山大学学报(医学科学版),2016,37(3):450-455.

[12] Lambregts DM, Rao SX, Sassen S, et al. MRI and diffusion-weighted MRI volumetry for identification of complete tumor responders after preoperative chemoradiotherapy in patients with rectal cancer: a Bi-institutional validation study [J]. Ann Surg, 2015, 262(6):1034-1039.

[13] 赵灿灿,翟建,王芳晓. 定量 DCE-MRI 对鼻咽癌放疗疗效评估的价值[J]. 临床放射学杂志,2017,36(6):795-799.

[14] 冯煜森,丁莹莹,张娅,等. 动态增强磁共振成像在宫颈癌新辅助化疗疗效评估中的价值[J]. 实用放射学杂志,2018,34(5):725-729.

[15] Tong T, Sun YQ, Gollub MJ, et al. Dynamic contrast-enhanced MRI: Use in predicting pathological complete response to neoadjuvant chemoradiation in locally advanced rectal cancer [J]. J Magn Reson Imaging, 2015, 42(3):673-680.

[16] Petrillo A, Fusco R, Petrillo M, et al. Standardized Index of Shape (DCE-MRI) and Standardized Uptake Value (PET/CT): Two quantitative approaches to discriminate chemo-radiotherapy locally advanced rectal cancer responders under a functional profile [J]. Oncotarget, 2017, 8(5):8143-8153.

[17] 陈基明,李周丽,朱晴,等. DWI 和动态增强 MRI 定量参数诊断子宫内膜癌肌层浸润 [J]. 中国医学影像技术,2019,35(2):226-230.

[18] 肖楠,陆艳荣,朱丽娜,等. DWI 在直肠癌术前同步放化疗疗效预测中的作用 [J]. 肿瘤防治研究,2019,46(4):333-337.

[19] Nougaret S, Vargas HA, Lakhman Y, et al. Intravoxel incoherent motion-derived histogram metrics for assessment of response after combined chemotherapy and radiation therapy in rectal cancer: initial experience and comparison between single-section and volumetric analyses [J]. Radiology, 2016, 280(2):446-454.

[20] 黄君文,宋佳成,李燕,等. DCE-MRI 联合 ADC 值对宫颈癌同步放、化疗患者疗效评估的临床应用研究 [J]. 临床放射学杂志,2018,37(6):985-988.

收稿日期:2019-11-10 修回日期:2020-01-16 编辑:石嘉莹