

· 论著 · 胃肠腹腔 ·

DCE-MRI、DWI联合血清CEA、CA199水平对直肠癌患者淋巴结转移的评估价值分析*

牛海彬 李 丹* 余晓莉 刘瑞坤

焦作市人民医院磁共振室(河南 焦作 454002)

【摘要】目的 探讨动态对比增强磁共振成像(DCE-MRI)、扩散加权成像(DWI)联合血清癌胚抗原(CEA)、糖类抗原(CA199)水平用于评估直肠癌淋巴结转移的价值,为术前评估直肠癌淋巴结转移提供参考依据。**方法** 回顾性分析2019年4月至2024年8月在焦作市人民医院接受手术治疗并经过病理确诊的67例直肠癌患者的肿瘤标志物和影像学资料,以术后病理结果为依据,将患者分为两组,即淋巴结转移阳性组(24例)、淋巴结转移阴性组(43例)。所有患者术前均有CEA、CA199的肿瘤标志物信息,以及包含DCE-MRI、DWI扫描,并测量最大淋巴结短径、ADCmin值和 K^{trans} 。运用单因素及多因素Logistic回归分析以上变量是否为直肠癌淋巴结转移的危险因素,并通过ROC评估DCE-MRI、DWI参数和肿瘤标志物在直肠癌淋巴结转移诊断中的价值。**结果** 淋巴结转移阳性组和淋巴结转移阴性组在 K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199水平方面比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。将以上4个潜在危险因素进行多因素Logistic分析,结果显示 K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199水平是直肠癌淋巴结转移的影响因素($P<0.05$)。经过ROC分析得到 K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199联合评估淋巴结转移均有一定的诊断价值,且联合检测的诊断效能最高($P<0.05$)。**结论** K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199水平变化与直肠癌淋巴结转移有关,且上述参数联合检测的诊断效能更高。

【关键词】 直肠癌; 淋巴结转移; 动态对比增强磁共振成像; 扩散加权成像; 肿瘤标志物

【中图分类号】 R735.3+7

【文献标识码】 A

【基金项目】 河南省医学科技攻关计划联合共建项目(LHGJ20191343)

DOI:10.3969/j.issn.1009-3257.2025.11.038

The Value of DCE-MRI, DWI Combined with Serum CEA and CA199 Levels in Evaluating Lymph Node Metastasis in Patients with Rectal Cancer*

NIU Hai-bin, LI Dan*, YU Xiao-li, LIU Rui-kun.

Department of Magnetic Resonance Room, Jiaozuo People's Hospital, Jiaozuo 454002, Henan Province, China

Abstract: Objective To explore the value of dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging (DCE-MRI), diffusion-weighted imaging (DWI) combined with serum carcinoembryonic antigen (CEA) and carbohydrate antigen (CA199) levels in evaluating lymph node metastasis of rectal cancer, and to provide reference for preoperative evaluation of lymph node metastasis of rectal cancer. **Methods** The tumor markers and imaging data of 67 patients with rectal cancer who underwent surgery in Jiaozuo People's Hospital from April 2019 to August 2024 and were pathologically confirmed were retrospectively analyzed, according to the postoperative pathological results, the patients were divided into two groups: lymph node metastasis positive group (24 cases), and lymph node metastasis negative group (43 cases). All patients had preoperative tumor marker information of CEA and CA199, as well as DCE-MRI and DWI scans, and measured the maximum short diameter of lymph nodes, ADCmin value and K^{trans} . Univariate and multivariate Logistic regression were used to analyze whether the above variables are risk factors for lymph node metastasis of rectal cancer, and the value of DCE-MRI, DWI parameters and tumor markers in the diagnosis of lymph node metastasis of rectal cancer was evaluated by ROC. **Results** There were significant differences in the maximum short diameter of lymph nodes, K^{trans} , ADCmin value, serum CEA and CA199 levels between lymph node metastasis positive group and lymph node metastasis negative group ($P<0.05$). Multivariate Logistic analysis showed that the final maximum short diameter of lymph nodes, K^{trans} , ADCmin value, serum CEA and CA199 levels were the influencing factors of lymph node metastasis in rectal cancer ($P<0.05$). The maximum short diameter of lymph nodes, K^{trans} , ADCmin value, serum CEA and CA199 obtained by ROC analysis all had certain diagnostic value, and the diagnostic efficiency of joint detection was the highest($P<0.05$). **Conclusion** The changes of K^{trans} , maximum lymph node short diameter, ADCmin value, serum CEA and CA199 levels are related to lymph node metastasis of rectal cancer, and the diagnostic efficiency of combined detection of the above parameters is higher.

Keyword: Rectal Cancer; Lymph Node Metastases; Dynamic Contrast-enhanced Magnetic Resonance Imaging; Diffusion-weighted Imaging; Tumor Markers

2020年《中国癌症统计报告》表明,结直肠癌新发病例在恶性肿瘤中居第二,死亡病例居第五,严重威胁公众健康^[1]。直肠癌早期诊断与准确分期对制定手术方案、改善预后至关重要^[2]。美国国家综合癌症网络指南对不同分期的直肠癌手术方式有明确规定,且伴有淋巴结转移的直肠癌属Ⅲ期,需术前新辅

助治疗,还提示预后不良^[3-4]。明确直肠癌患者有无淋巴结转移意义重大,因此人们对识别其预测因子的兴趣渐浓。根据指南的建议,磁共振成像(MRI)是直肠癌淋巴结转移的首选诊断方法,MRI的多参数成像能提供更丰富、更准确的病灶信息。扩散加权成像(DWI)属于MRI的功能成像,其可以无创的反映

【第一作者】 牛海彬,男,主治医师,主要研究方向:影像诊断。E-mail: niuhaibin8997@163.com

【通讯作者】 李 丹,女,副主任医师,主要研究方向:影像诊断。E-mail: lidan831221@163.com

活体组织各种细胞结构和细胞外间隙大小等有价值的生物学信息^[5]。该技术的定量指标表观扩散系数(ADC)值,已发展为肿瘤良恶性鉴别及疗效评估的重要影像学参数^[6]。动态对比增强磁共振成像(DCE-MRI)则通过连续监测对比剂在血管与组织间隙的动态交换过程,量化分析容量转移常数(K^{trans})的血流动力学参数,进一步揭示淋巴结转移的微环境特征。有大量研究证实MRI,尤其是DWI在直肠癌淋巴结转移中的诊断价值,以及DCE-MRI能提供血流动力学信息,在肿瘤检测与评估方面有一定作用,但对小病灶及微转移灶检测敏感性欠佳,且易受患者运动伪影干扰等局限性,且这些研究多基于单一学科设计,临床价值有限^[7-9]。鉴于DCE-MRI、DWI可分别从血流动力学、组织扩散特性等多维度反映肿瘤特征,联合血清肿瘤标志物能从影像学与分子生物学层面互补信息,本研究聚焦于探讨DCE-MRI、DWI影像学参数与血清肿瘤标志物联合对直肠癌淋巴结转移的评估效果。通过综合分析 K^{trans} 、最大淋巴结短径、最大淋巴结的表观扩散系数最小值(ADCmin)、癌胚抗原(CEA)、糖类抗原199(CA199)等血清肿瘤标志物数据,旨在突破单一诊断参数的局限性。现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析焦作市人民医院2019年4月至2024年8月67例直肠癌术后患者的临床和影像资料。

纳入标准:符合相关诊断标准^[10]且经手术病理证实者;术前接受直肠MRI和肿瘤标志物检查者;精神及意识状态正常可高度配合研究者等;直肠癌伴淋巴结转移患者经病理确诊者;排除标准:合并严重心肝肾及血液系统、内分泌系统、免疫系统原发疾病;影像或临床资料不全者;图像质量不符合诊断要求者;MRI检查前接受过放化疗者等。其中男性37例,女性30例,年龄32~88岁,平均(65.25±12.15)岁。本研究经焦作市人民医院伦理委员会审核批准(2024-041-K41)。

1.2 方法

1.2.1 磁共振检查 采用GE Pioneer 3.0T磁共振,多通道AA线圈。扫描序列:(1)横轴位STIR-DWI:b值取0、1000s/mm²,TE Minimum,TR 3500ms,采集矩阵128×128,视野36.0cm×36.0cm,扫描24层,层厚4mm,层间距0.5mm,重复采集次数8。在b=1000s/mm²图像上测量最大淋巴结短径;在重建后的ADC伪彩图上放置ROI测量最大淋巴结ADCmin值(见图1)。(2)DCE:经肘静脉以2.0mL/s的速度注

入钆喷酸葡胺,剂量为0.2mL/kg,随后注入等量的0.9%生理盐水冲管。选用三维容积拟相梯度回波序列(liver acquisition with volume acceleration, LAVA)进行横轴位扫描,1期5s,共50期,TR 5.0ms,TE 1.8ms,反转角30°,带宽83.33,层厚3mm,层间距0mm,FOV 40cm×32 cm,矩阵288×192。将MRI图像导入GE后处理工作站,基于DCE-MRI图像,采用GenIQ分析软件,获得 K^{trans} 。

1.2.2 肿瘤标志物检测 采集所有研究对象术前3mL外周静脉血,经离心处理(参数:3500r/min,15min)分离血清,采用电化学发光法检测血清CEA、CA199水平。

1.3 观察指标 (1)经本院电子病历系统收集患者的临床资料:包括性别(男、女)、年龄,另检测 K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199水平变化情况进行单因素分析。(2)将单因素分析结果显示存在差异的指标纳入多因素分析框架,运用Logistic回归分析方法筛选直肠癌淋巴结转移的相关危险因素。(3)采用受试者工作特征曲线(ROC)分析 K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199对直肠癌淋巴结转移的诊断价值。

1.4 统计学方法 文中全部数据的运算处理及分析过程均规范采用SPSS 26.0版本软件开展,t检验和($\bar{x} \pm s$)可用于计量资料的比对、剖析(组内配对t,组间独立样本t); χ^2 和[n(%)]可用于计数资料的比对、剖析。单因素Logistic回归分析影响因素,ROC曲线分析各项影响因素对直肠癌淋巴结转移的诊断效能,计算曲线下面积(AUC)。所有统计检验均采用双侧检验,P<0.05认为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 直肠癌淋巴结转移的单因素分析 淋巴结转移阳性组和淋巴结转移阴性组在 K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199水平方面比较,差异有统计学意义(P<0.05)。具体结果见表1。

2.2 直肠癌淋巴结转移的多因素分析 将以上5个潜在危险因素进行多因素Logistic分析,最终 K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199水平是直肠癌淋巴结转移的影响因素(P<0.05)。具体结果见表2。

2.3 诊断效能分析 经过ROC分析得到 K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199联合评估淋巴结转移均有一定的诊断价值,且联合检测的诊断效能最高。具体结果见表3及图2。

表1 直肠癌淋巴结转移的单因素分析

变量	淋巴结转移阴性组(n=43)	淋巴结转移阳性组(n=24)	t/ χ^2	P
性别[n(%)]			0.017	0.897
女	19(44.19)	11(45.83)		
男	24(55.81)	13(54.17)		
年龄(岁)	67.09±10.19	61.96±14.72	1.679	0.098
K^{trans} (min-1)	0.22 ± 0.06	0.30 ± 0.05	5.541	<0.001
最大淋巴结短径(mm)	5.36±1.19	6.56±1.31	3.817	<0.001
ADCmin值(10 ⁻³ mm ² /s)	0.92±0.23	0.63±0.20	5.177	<0.001
CEA(ng/mL)	31.56±5.01	37.12±5.00	4.359	<0.001
CA199(U/mL)	65.22±6.03	71.88±6.35	4.209	<0.001

表2 直肠癌淋巴结转移的多因素分析

变量	β	SE	Wald χ^2	P	OR	95%CI
K^{trans}	0.903	0.318	8.063	0.005	2.467	1.323~4.601
最大淋巴结短径	0.912	0.315	8.382	0.004	2.489	1.343~4.615
ADCmin值	-0.113	0.035	10.424	0.001	0.893	0.834~0.957
CEA	0.699	0.225	9.651	0.002	2.012	1.294~3.127
CA199	0.715	0.218	10.757	0.001	2.044	1.333~3.134

表3 K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199联合评估淋巴结转移的诊断效能

变量	截断值	AUC	P值	95%CI	敏感度(%)	特异度(%)
最大淋巴结短径(mm)	>6.26	0.746	0.001	0.624~0.844	66.67	81.40
ADCmin值($10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$)	≤ 0.81	0.772	<0.001	0.654~0.866	87.50	62.80
CEA(ng/mL)	>34.10	0.757	<0.001	0.637~0.853	75.00	67.40
CA199(U/mL)	>68.24	0.763	0.001	0.643~0.858	75.00	79.07
$K^{trans}(\text{min}^{-1})$	>0.25	0.799	<0.001	0.683~0.887	75.00	69.77
联合检测	-	0.923 ^{*#△%}	<0.001	0.832~0.974	79.17	95.35

注：与最大淋巴结短径相比，^{*} $P<0.05$ ；与ADCmin值相比，[#] $P<0.05$ ；与CEA相比，[△] $P<0.05$ ；与CA199相比， $P<0.05$ ，与 K^{trans} 相比，[%] $P<0.05$ 。

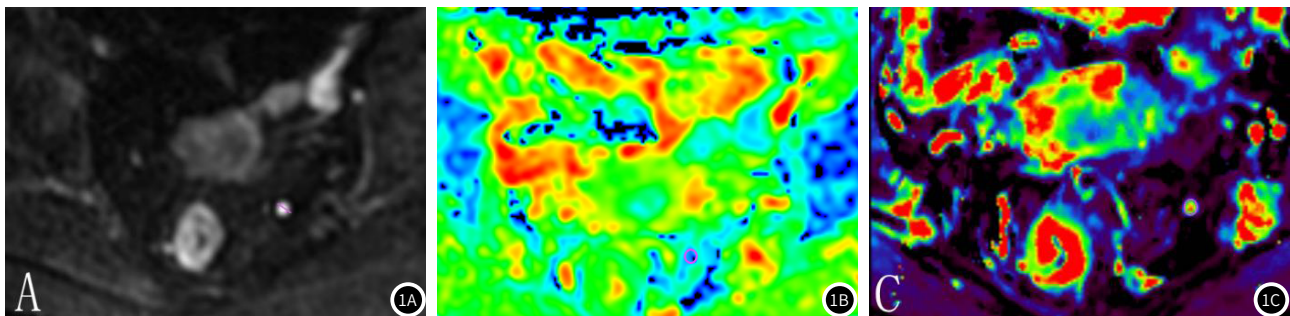
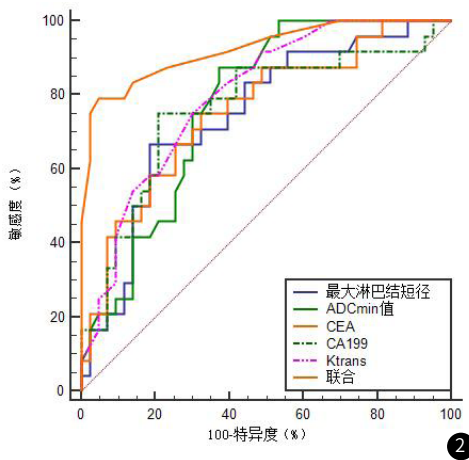


图1 直肠癌淋巴结转移图像。图1A: $b=1000\text{s}/\text{mm}^2$ 的DWI图像，淋巴结呈明显高信号；图1B: ADC伪彩图，红圈为与DWI对应的淋巴结区域，ADC值较低；图1C: DCE的 K^{trans} 伪彩图，红圈为与DWI对应的淋巴结区域， K^{trans} 值升高。图2 K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199联合评估淋巴结转移的ROC曲线。



3 讨论

通过开展回顾性研究，对67例直肠癌患者的临床及影像资料展开研究，系统探讨了淋巴结转移的可疑危险因素及其联合诊断价值。结果显示，淋巴结转移阳性组与淋巴结转移阴性组之间在 K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199水平方面存在着显著差异。

正常淋巴结短径一般小于5mm，且为椭圆形，其皮质及髓质结构完整。肿瘤细胞经淋巴管进入淋巴结后，会引发形态改

变：先在边缘窦浸润形成微转移灶并增殖，致皮质偏心性增厚；后突破被膜外侵，激活成纤维细胞并沉积胶原；还会形成新生血管，引发周围间质水肿。在这些机制的共同作用下导致淋巴结呈球形化，短径增大^[11-12]。2021年一项研究指出，短径 $\geq 10\text{mm}$ 的淋巴结转移风险显著增加(敏感性62%，特异性91%)，其诊断效能与肿瘤微环境的结构重塑及转移性增殖相关^[13]。但仅依据短径增大可能会误判良性疾病引起的淋巴结肿大，如炎症或反应性增生导致的假阳性，因为炎症条件下也会引起新生血管的形成和周

围间质的水肿,反应性增生会导致皮髓质的增厚;同时可能会漏诊细胞增殖不明显,只有肿瘤浸润的微转移灶^[14]。因此需结合其它检查指标以提高诊断的特异性。

转移性淋巴结内肿瘤细胞增殖活跃,促使新生血管生成并破坏血管基底膜完整性,导致血管通透性显著增加,对比剂从血管内渗漏至组织间隙的速率加快,进而引起 K^{trans} 值升高;另转移灶引发的局部炎症反应及纤维组织增生可改变淋巴结微环境,影响血流动力学特征,同时肿瘤细胞分泌的促血管生成因子进一步加剧血管异常,形成高渗漏、高灌注的病理状态,这种微环境与血管功能的双重改变共同构成 K^{trans} 升高的生物学基础^[15],而 K^{trans} 的异常增高又可作为评估淋巴结转移风险及肿瘤侵袭性的重要影像学标志物,二者通过肿瘤血管生成-微环境重塑-影像参数改变的级联效应形成密切关联。ADC值是衡量水分子在组织中扩散程度的定量指标,在医学影像学中价值重大,能揭示组织微观结构变化,从细胞层面而言,其与细胞密度、细胞外间隙大小、细胞膜完整性紧密相关。在细胞密度高、细胞外间隙狭窄以及细胞膜完整的情况下,水分子的扩散会受限,使得ADC值偏低;此外,亲脂性环境能够通过改变水分子和组织成分的相互作用,对ADC值造成影响^[16]。既往研究发现ADC值也能体现肿瘤的侵袭性,因为肿瘤细胞往往增殖活跃,细胞数目增多,细胞核质比增高,细胞内外水分子间隙变小,从而引起ADC值减低^[7]。ADCmin值是感兴趣区内扩散受限的最小值。本研究结果显示ADCmin值是淋巴结转移的独立危险因素,提示ADCmin值能反映感兴趣区最致密处的细胞增殖状态,即肿瘤的微浸润。2024年一项研究也表明,ADCmin能敏感捕捉细胞密集区域,其降低与Ki-67高表达相关^[17],与本研究结论吻合。然而,造成ADC值异质性的因素较多,如淋巴结内部坏死、出血或测量误差影响。

此外,肿瘤标志物在肿瘤定性、分期、预后、淋巴结转移等方面的联合研究一直是热点,CEA作为广谱肿瘤标志物,不仅在直肠癌中升高,亦可见于胰腺癌、胆管癌及吸烟、慢性肠炎等良性疾病,且其分泌水平受肿瘤分化程度影响,部分高分化或静止期癌细胞可能低表达CEA,导致假阴性;CA199虽与消化道腺癌相关,但胆道梗阻、胰腺炎等非肿瘤性疾病亦可显著升高其水平,且部分人群因Lewis抗原基因缺陷导致CA199假阴性,二者均缺乏对淋巴结转移的特异性指向性;此外,血清标志物半衰期较长,无法实时反映微转移灶的动态变化,而淋巴结反应性增生、感染性炎症等病理状态可能进一步干扰检测结果,最终使单独应用CEA或CA199诊断直肠癌淋巴结转移的特异性显著受限^[18-19]。

本研究结果显示, K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199联合评估直肠癌淋巴结转移均有一定的诊断价值,且联合检测的诊断效能最高。提示通过联合影像学、血清学信息,可更全面地评估淋巴结转移风险,减少单一指标的局限性,提升诊断准确率。类似研究^[20]也表明,联合模型在提高诊断敏感性与特异性方面具有显著优势。

综上所述, K^{trans} 、最大淋巴结短径、ADCmin值、血清CEA、CA199水平变化与直肠癌淋巴结转移有关,且上述参数

联合检测的诊断效能更高。然而本研究也存在一些局限性:一是样本量较小,仅代表初步研究成果;二是回顾性研究设计,存在选择偏倚风险;三是未进一步探讨肿瘤不同分期及分子分型对诊断效能的影响。未来需要通过扩大样本量、设计前瞻性研究、联合基因组学等进一步提升诊断效能。

参考文献

- [1] 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].协和医学杂志,2023,14(4):706-733.
- [2] 梁旭,董倩倩,崔永欣,等.探讨经自然腔道标本移除(NOSEs)术对结直肠癌临床效果、胃肠功能产生的影响[J].罕少疾病杂志,2025,32(2):140-142.
- [3] Benson AB,Venook AP,Al-Hawary MM,et al.NCCN guidelines insights:rectal cancer,version 6.2020:featured updates to the NCCN guidelines[J].Journal of the National Comprehensive Cancer Network:JNCCN,2020,18(7):806-815.
- [4] Silva G S ,Peinado H.Mechanisms of lymph node metastasis:an extracellular vesicle perspective[J].Eur J Cell Biol,2024,103(3):151447-151447.
- [5] 郑欣,陈河林,唐秋,等.DWI联合动态增强判断直肠癌肌层侵犯程度的价值[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(2):150-152.
- [6] Qu C,Zeng P,Hu W,et al.Multiparametric quantitative diffusion weighted magnetic resonance imaging can effectively predict the response to neoadjuvant therapy in borderline resectable pancreatic ductal adenocarcinoma[J].Eur J Radiol,2025,183(2):111893-111893.
- [7] 唐娉婷,王庆军,马贺骥.基于3.0T MRI及ADC值在鉴别直肠癌旁肿瘤沉积与转移淋巴结中的价值[J].临床放射学杂志,2024,43(9):1539-1545.
- [8] 张利明,尹伶俐.高分辨率盆腔磁共振扫描在直肠癌淋巴结转移中的应用价值[J].实用医学影像杂志,2024,25(4):295-298.
- [9] 樊竞泓,张胜潮.MRI评估直肠癌区域淋巴结转移的研究进展[J].磁共振成像,2023,14(12):187-191.
- [10] 房静远,时永全,陈紫晖,等.中国结直肠癌预防共识意见(2016年,上海)[J].胃肠病学,2016,21(11):668-686.
- [11] Susana García-Silva,Héctor Peinado.Mechanisms of lymph node metastasis:an extracellular vesicle perspective[J].Eur J Cell Biol,2024,103(3):14.
- [12] Xie S,Tang W,Zhang C,et al.Classification of breast edema on T2-weighted imaging for predicting sentinel lymph node metastasis and biological behavior in breast cancer[J].Clin Radiol,2024,79(8):7.
- [13] Zhuang Z,Zhang Y,Wei M,et al.Magnetic resonance imaging evaluation of the accuracy of various lymph node staging criteria in rectal cancer:a systematic review and meta-analysis[J].Front Oncol,2021,11(3):709070-709070.
- [14] Qin hao G,Lin hao Q,Jun Z,et al.Predicting lymph node metastasis from primary cervical squamous cell carcinoma based on deep learning in histopathological images[J].Mod Pathol,2023,36(12):100316-100316.
- [15] 胡接园,徐乙正,李建国,等.DCE-MRI与肿瘤标志物对直肠癌淋巴结转移的评估价值[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(6):145-147.
- [16] 刘静,丁伟,陈丽君,等.DCE-MRI联合DWI对直肠癌患者术前T、N分期及系膜淋巴结良恶性的诊断价值[J].现代生物医学进展,2020,20(23):4505-4509.
- [17] 杨华林,汪飞,刘骏,等.基于DCE-MRI与DWI评估直肠癌局部浸润、淋巴结转移和环周切缘的价值研究[J].川北医学院学报,2023,38(9):1264-1267.
- [18] 苑乐添.磁共振T(2)WI联合弥散加权成像在结肠癌术前淋巴结转移患者中的诊断效能分析[J].影像研究与医学应用,2024,8(1):133-135.
- [19] 苏兰芳,王芳,李韩建,等.磁共振成像中T(2)加权成像和弥散加权成像序列预测直肠癌患者淋巴结转移风险研究[J].中国医学装备,2023,20(5):77-81.
- [20] Zhang G,Xu Z,Zheng J,et al.Prognostic value of multi b-value DWI in patients with locally advanced rectal cancer[J].Eur Radiol,2023,33(3):1928-1937.

(收稿日期:2025-07-14)

(校对编辑:翁佳鸿)