

论 著 · 腹部

Revolution CT能谱成像在结直肠癌术前N分期评估中的应用价值*

于 芬 李佩文* 黄 培
骆毅玲 陈锐文佛山市第二人民医院影像中心
(广东 佛山 528000)

【摘要】目的 分析Revolution CT能谱成像在结直肠癌术前N分期评估中的应用价值。**方法** 回顾性分析2022年1月至2024年11月本院收治的180例结直肠癌患者临床资料，术前均接受Revolution CT能谱成像(CT-GSI)检查，以术后病理检查将其分为N0期、N1期、N2期，将N0期94例纳入Non-淋巴结转移组，N1期45例、N2期41例纳入淋巴结转移组。比较两组一般资料及CT-GSI参数，以Logistic回归进行多因素分析，并采用受试者工作特征(ROC)曲线分析CT-GSI参数的诊断价值。**结果** 淋巴结转移组动脉期、静脉期的肿瘤大小、碘浓度(IC)、标准化碘浓度(NIC)、 λ_{HU} 水平均高于Non-淋巴结转移组($P<0.05$)；Logistic回归显示，动脉期、静脉期的IC、NIC、 λ_{HU} 是预测结直肠癌患者预后的独立危险因素($P<0.05$)；ROC曲线显示，动脉期、静脉期的IC、NIC、 λ_{HU} 的曲线下面积(AUC)分别为0.794、0.882、0.791、0.796、0.779、0.706，其中以动脉期NIC的AUC最高，其敏感度和特异度分别为82.56%、88.30%($P<0.05$)。**结论** 术前CT-GSI检查可提供客观依据帮助临床评估结直肠癌患者N分期情况，CT-GSI的动脉期、静脉期的IC、NIC、 λ_{HU} 参数诊断效能均较高，可提高术前评估患者N分期的准确性。

【关键词】 结直肠癌；Revolution CT能谱成像；术前；淋巴结分期；应用价值

【中图分类号】 R574.63

【文献标识码】 A

【基金项目】 佛山市自筹经费类科技创新项目(2320001006341)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.10.042

Application Value of Revolution CT with Gemstone Spectral Imaging in Preoperative N Stage Evaluation of Colorectal Cancer*

YU Fen, LI Pei-wen*, HUANG Pei, LUO Yi-ling, CHEN Rui-wen.

Imaging Center, the Second People's Hospital of Foshan, Foshan 528000, Guangdong Province, China

ABSTRACT

Objective To analyze the application value of revolution CT with gemstone spectral imaging (CT-GSI) in preoperative N stage evaluation of colorectal cancer. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of 180 patients admitted to the hospital from January 2022 to November 2024 due to colorectal cancer. All patients enrolled underwent CT-GSI before surgery. Based on postoperative pathological results, 94 patients in stage N0 were included in the non-lymph node metastasis group, while 45 patients in stage N1 and 41 patients in stage N2 were included in the lymph node metastasis group. General information and CT-GSI parameters of the two groups were compared. Multivariate logistic regression analysis was conducted, and the diagnostic value of CT-GSI parameters was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves. **Results** Tumor size, IC, NIC, and λ_{HU} in arterial phase and venous phase in the lymph node metastasis group were higher than those in the non-lymph node metastasis group ($P<0.05$). Logistic regression analysis showed that IC, NIC, and λ_{HU} in arterial phase and venous phase were independent risk factors for the prognosis of colorectal cancer ($P<0.05$). ROC curves showed that the areas under the curve (AUC) of IC, NIC, and λ_{HU} in arterial phase and venous phase were 0.794, 0.882, 0.791, 0.796, 0.779 and 0.706. Among them, the AUC of NIC in arterial phase was the largest. The sensitivity and specificity were 82.56% and 88.30% ($P<0.05$). **Conclusion** Preoperative CT-GSI can provide an objective basis for clinical N stage evaluation of colorectal cancer. The diagnostic efficacy of CT-GSI parameters such as IC, NIC and λ_{HU} in arterial phase and venous phase is high. They can improve the accuracy of preoperative N stage evaluation.

Keywords: Colorectal Cancer; Revolution CT with Gemstone Spectral Imaging; Preoperative; Lymph Node Staging; Application Value

结直肠癌是消化道最常见的恶性肿瘤之一，也是全球第三大常见癌症，其早期症状并不明显，随病情的加重患者会出现排便习惯改变、便血、腹泻等症状，近年来其发病率呈逐年上升趋势^[1-2]。结直肠癌患者的生存期与淋巴结转移、直肠系膜受累等情况密切相关，出现淋巴结转移的结直肠癌患者会造成肿瘤血管异常增生，促进肿瘤的进展^[3]。有研究指出，淋巴结分期(N分期)是决定术后是否进行辅助化疗的关键因素^[4]。Revolution CT能谱成像(CT-GSI)的碘基图、能谱曲线等模式能提供多种定量参数信息，其中的碘浓度可通过反映肿瘤血供情况，从而帮助评估疗效、评估等情况，故临床多以评估微血管侵犯、术后残余肿瘤评估等^[5-6]。基于此，本研究以CT-GSI技术，通过其提供的定量参数，探讨对结直肠癌患者术前N分期评估的价值，旨在辅助优化结直肠癌患者的治疗方案的选择。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2022年1月至2024年11月本院收治的180例结直肠癌患者临床资料。180例结直肠癌患者中男性106例，女性74例；年龄20~93岁，平均(65.33±12.50)岁；结肠癌138例、直肠癌42例，参照美国癌症联合会结直肠癌分期系统(第8版)^[7]N分期标准，手术病理证实N0期(无淋巴结转移)94例、N1期(不超过3个淋巴结转移)45例、N2期(至少有4个淋巴结转移)41例，其中94例N0期患者纳入Non-淋巴结转移组，45例N1期患者及41例N2期患者纳入淋巴结转移组。研究符合《赫尔辛基宣言》相关准则。

纳入标准：(1)经病理诊断确诊为结直肠癌者；(2)均接受手术治疗，且术前未接受任何抗肿瘤治疗；(3)手术与CT-GSI检查间隔时间<一周；(4)临床资料齐全。排除标准：(1)对造影剂过敏者；(2)心、肝、肾等脏器功能不全者；(3)图像质量差。

1.2 方法

1.2.1 CT-GSI检查方法 采用美国GE公司Revolution CT 256 HD 能谱扫描仪为患者进行腹盆腔能谱CT平扫及增强检查。扫描区域为膈顶至盆腔肛门水平。检查时取仰卧位，头朝床尾部，双手举过头顶、平放，足先进，屏气接受扫描。扫描参数：管电压在140kVp及80kVp间切换，时间0.5ms，管电流200mA。X线管旋转速率0.6s/周，FOV 40cm×40cm，螺距1.375:1，层厚5mm，层间距5mm。对比剂采用碘佛醇(碘浓度300mgI/mL)，剂量1.2mL/kg，注射速率3.0~4.0mL/s。监测感兴趣区(ROI)置于肝膈顶层腹主动脉，以主动脉阈值150HU自动触发法，触发延迟6s行动脉期扫描，20s后进行门脉期扫描。ROI选择标准：选择病灶、淋巴结的实质部分，避免勾选血管、脂肪等

【第一作者】 于 芬，女，副主任医师，主要研究方向：呼吸、消化系统影像诊断。E-mail: 13790061238@163.com

【通讯作者】 李佩文，女，副主任医师，主要研究方向：呼吸系统疾病。E-mail: 37281000@qq.com

组织，采用复制、粘贴的方式保证所勾画的ROI部位一致、大小一致，记录55keV下的CT值，将获得的能谱 CT 原始图像重建为层厚/层间距为 0.625mm 的薄层图像，将数据传至AW4.7工作站进行图像后处理，勾取ROI结节的面积大小、观察形态特点进行数据分析。

1.2.2 图像分析 图像处理和分析由一位影像医师在工作站上测量。横轴位上，分别勾画淋巴结及同层面腹主动脉的ROI，选取病灶的ROI时应尽量选择病灶中实质部分，ROI面积大小约5~35mm²，每个病灶均连续勾画3个层面，取其平均值，保证相同结节增强双期选取的面积及位置基本一致。对腹主动脉的ROI勾画：选取病灶同侧同一层面的腹主动脉中心2/3的范围。为减少对对比剂总剂量、个体循环差异的影响，引进标准化碘浓度(NIC)，NIC=IC淋巴结/IC腹主动脉。能谱曲线斜率(λ_{HU})=(HU40_{keV}-HU70_{keV})/(70-40)。最后由2位主治及以上影像医师对所得出的后处理图像及能谱参数进行淋巴结的鉴别诊断，意见不合时综合评估。

1.3 统计学方法 采用SPSS 27.0处理研究数据，计数资料用率表示，检验；计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示，t检验。以P<0.05表示差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 两组一般资料比较 两组性别、年龄、原发肿瘤部位、原发肿瘤分化程度比较无统计学意义(P>0.05)，两组肿瘤大小比较有统计学意义(P<0.05)，见表1。

2.2 两组CT-GSI参数比较 淋巴结转移组动脉期、静脉期的IC、NIC、 λ_{HU} 水平均高于Non-淋巴结转移组(P<0.05)，见表2。

2.3 Logistic回归分析肿瘤大小、CT-GSI参数与结直肠癌患者N分期相关性 以结直肠癌患者术前N分期作为因变量(N1、N2=1, N0=0)，将单因素分析中具有统计学意义的指标作为自变量进行Logistic回归分析。结果显示，动脉期、静脉期的IC、NIC、 λ_{HU} 是预测结直肠癌患者预后的独立危险因素(P<0.05)，见表4。

2.4 CT-GSI参数对结直肠癌患者术前N分期的诊断价值分析 将Logistic回归分析中，具有统计学意义的指标作为检验值，将N1、N2期患者定位阳性，N0期患者定位阴性，绘制ROC曲线，结果显示，动脉期、静脉期的IC、NIC、 λ_{HU} 的曲线下面积(AUC)分别为0.794、0.882、0.791、0.796、0.779、0.706，其中以动脉期NIC的AUC最高，其敏感度和特异度分别为82.56%、88.30%(P<0.05)。见表5、图1。

2.5 典型病例能谱CT图像 见图2~3。

表1 两组一般资料比较[例(%)]

指标	淋巴结转移组 (n=86)	Non-淋巴结转移组 (n=94)	t/ χ^2	P
性别			0.038	0.845
男	50(58.14)	56(59.57)		
女	36(41.86)	38(40.43)		
年龄(岁)	65.60±13.78	65.07±11.28	0.283	0.777
原发肿瘤部位			0.108	0.742
结肠	65(75.58)	73(77.66)		
直肠	21(24.42)	21(22.34)		
原发肿瘤分化程度			0.121	0.941
高	8(9.30)	10(10.64)		
中	64(74.42)	68(72.34)		
低	14(16.28)	16(17.02)		
肿瘤大小(cm)	2.76±0.45	2.54±0.38	3.553	0.001

表2 两组动脉期CT-GSI参数比较

组别	例数	IC(×100μg/mL)	NIC	λ_{HU}
淋巴结转移组	86	20.14±5.31	0.22±0.07	2.82±0.62
Non-淋巴结转移组	94	14.58±4.17	0.12±0.04	2.25±0.35
t		7.847	11.892	7.677
P		<0.001	<0.001	<0.001

表3 两组静脉期CT-GSI参数比较

组别	例数	IC(×100μg/mL)	NIC	λ_{HU}
淋巴结转移组	86	22.42±6.16	0.52±0.14	3.56±1.04
Non-淋巴结转移组	94	15.87±4.95	0.38±0.11	2.84±0.81
t		7.894	7.492	5.205
P		<0.001	<0.001	<0.001

表4 Logistic回归分析肿瘤大小、CT-GSI参数与结直肠癌患者N分期相关性

指标	β	SE	Wald χ^2	OR	95%CI	P
肿瘤大小	0.440	0.930	0.224	1.553	0.251~9.603	0.636
动脉期IC	0.334	0.094	12.700	1.397	1.162~1.679	0.001
动脉期NIC	31.616	9.413	11.282	5.380	522963.688~5.534	0.001
动脉期 λ_{HU}	2.337	1.081	4.669	10.346	1.242~86.154	0.031
静脉期IC	0.302	0.096	9.958	1.353	1.121~1.633	0.002
静脉期NIC	9.545	2.947	10.492	13978.530	43.363~4506086.598	0.001
静脉期 λ_{HU}	1.498	0.520	8.309	4.475	1.615~12.396	0.001
常量	-32.462	6.785	22.893	-	-	<0.001

表5 CT-GSI参数对结直肠癌患者术前N分期的诊断价值分析

指标	AUC	95%CI	Z	P	约登指数	临界值	敏感度(%)	特异度(%)
动脉期IC	0.794	0.727~0.850	8.672	<0.001	0.492	$>18.73 \times 100 \mu\text{g/mL}$	65.12	84.04
动脉期NIC	0.882	0.825~0.925	14.405	<0.001	0.709	>0.16	82.56	88.30
动脉期 λ_{HU}	0.791	0.724~0.848	8.402	<0.001	0.483	>2.53	67.44	80.85
静脉期IC	0.796	0.729~0.852	9.065	<0.001	0.448	$>19.96 \times 100 \mu\text{g/mL}$	63.95	80.85
静脉期NIC	0.779	0.712~0.838	8.816	<0.001	0.458	>0.44	75.58	70.21
静脉期 λ_{HU}	0.706	0.634~0.772	5.242	<0.001	0.380	>3.81	46.51	91.49

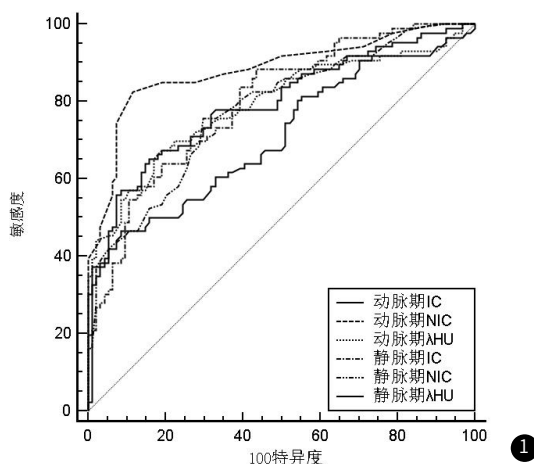


图1 CT-GSI参数对结直肠癌患者术前N分期的诊断价值分析。

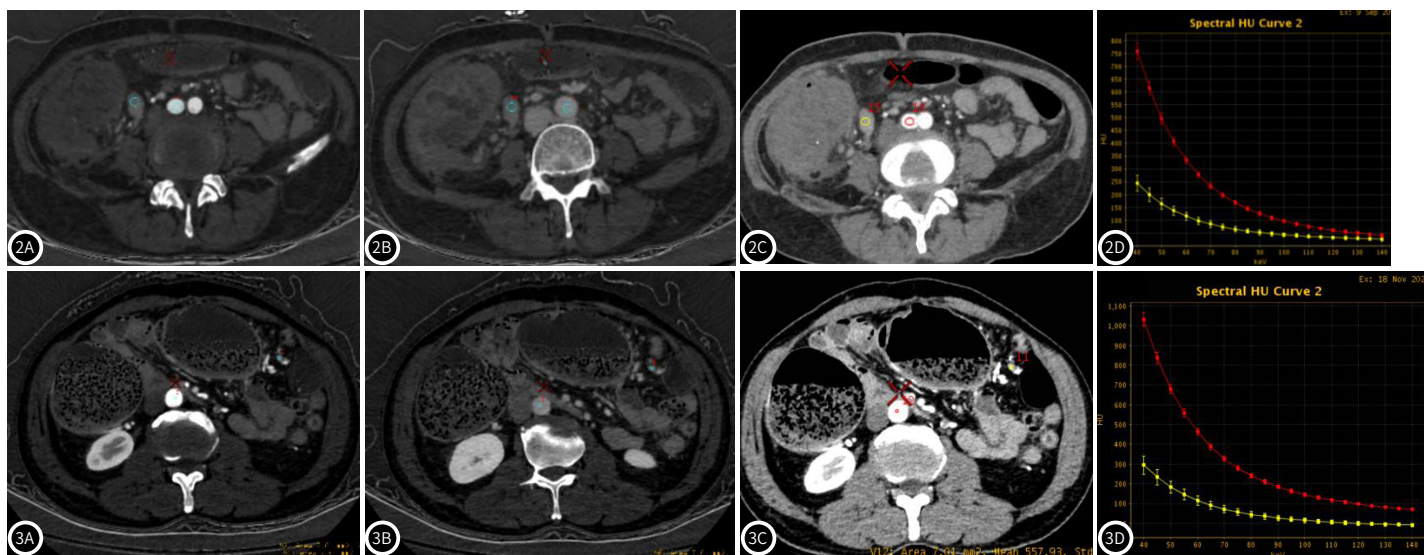


图2 升结肠中分化腺癌T3N2M0。图2A为碘基图动脉期图、图2B为碘基图静脉期、图2C为单能量图。图3A~3C图升结肠肠壁明显不规则增厚，增强后不均匀中度强化，周围见多发肿大淋巴结，碘基图显示淋巴结动脉期碘浓度为 $25.87 \times 100 \mu\text{g/mL}$ ，静脉期碘浓度为 $36.3 \times 100 \mu\text{g/mL}$ ；动脉期标准碘浓度为0.17，静脉期标准碘浓度为0.46。图2D为能谱曲线图，结节能谱曲线较低平，动脉期斜率为2.51，静脉期斜率为2.23。

图3 降结肠中分化腺癌T3N0M0。图3A为碘基图动脉期、图3B为碘基图静脉期、图3C为单能量图。图3A~3C图降结肠周围见小淋巴结显示，碘基图显示淋巴结动脉期碘浓度为 $18.62 \times 100 \mu\text{g/mL}$ ，静脉期碘浓度为 $15.87 \times 100 \mu\text{g/mL}$ ；动脉期标准碘浓度为0.09，静脉期标准碘浓度为0.41。图3D为能谱曲线图，结节能谱曲线较低平，动脉期斜率为2.15，静脉期斜率为2.01。

3 讨论

据资料显示,我国2019年结直肠癌的发病率和死亡率在全部恶性肿瘤中分别占据第3、第5位,且发病率和死亡率均高于世界平均水平^[8]。早期结直肠癌患者通过手术即可痊愈,中晚期患者术后还需进行放化疗以及靶向治疗。而术前分期影响治疗方案的选择,错误的术前分期会导致治疗不足或过度治疗,从而影响患者预后^[9]。有研究指出,淋巴结转移总数、淋巴结总数是影响结直肠癌患者预后的独立危险因素^[10]。N分期以阳性淋巴结数量为基准,切除的淋巴结总数不足时易导致阳性淋巴结漏检,从而影响N分期的判断。CT-GSI较常规CT可提供更多参数,通过碘含量可反应组织的供血情况^[11]。国外研究显示,CT-GSI在评估肿瘤淋巴结转移方面效果显著^[12]。故本研究通过探讨CT-GSI参数在诊断结直肠癌患者术前N分期的效能,旨在为结直肠癌患者术前N分期提供参考依据。

本研究结果显示,淋巴结转移组动脉期、静脉期的IC、NIC、 λ_{HU} 水平均高于Non-淋巴结转移组;Logistic回归显示,动脉期、静脉期的IC、NIC、 λ_{HU} 均为预测结直肠癌患者预后的独立危险因素。说明不同N分期的结直肠癌患者其术前CT-GSI参数差异显著,出现淋巴结转移的结直肠癌患者IC、NIC、 λ_{HU} 水平高于未出现淋巴结转移的患者。CT-GSI可规避硬化效应,得到不同能量下精确的CT值,并形成能谱衰减曲线,得到CT-GSI参数,其中IC值可反映肿瘤病灶的血流灌注情况,NIC排除了对比剂总量、血液循环差异等因素的影响,在反映肿瘤血流灌注上具有更高的准确性,当肿瘤随着血液、淋巴管扩散时,会进入淋巴结并在淋巴结内增殖、扩散,而淋巴结内肿瘤细胞的增殖又会诱导新生血管的生成,淋巴结内新生成的血管越多,所摄取的碘浓度就会越高,故IC和NIC值就会越高,患者N分期的级别更高^[13-14]。翟功用^[15]学者在其研究中进一步提到,IC值与患者血供有着明显相关性,患者在接受治疗后虽然直径可能会变大,但未出现肿瘤进展,通过CT-GSI发现其IC值降低,提示靶向药物的治疗可破坏肿瘤内微血管,故可通过IC值帮助临床评估肿瘤进展情况,从而确定其分期。 λ_{HU} 为能谱曲线斜率,淋巴结正常组织被肿瘤组织替代后,淋巴结的结构和功能均会发生改变,并会影响淋巴结对X线的吸收系数,并随着淋巴结数量增多,导致淋巴结结构变化更为明显,从而导致能谱曲线斜率的升高,转移和非转移淋巴结X线的衰减程度差距更大,使得出现淋巴结转移的患者与未出现淋巴结转移的患者能谱曲线斜率比较更为显著,从而反映能谱曲线斜率越高的患者,其越有可能存在淋巴结转移,可帮助确定患者N分期^[16-17]。经过ROC显示,动脉期、静脉期的IC、NIC、 λ_{HU} 的AUC分别为0.794、0.882、0.791、0.796、0.779、0.706,其中以动脉期NIC的AUC最高,其敏感度和特异度分别为82.56%、88.30%,表明动脉期、静脉期的IC、NIC、 λ_{HU} 在帮助鉴别结直肠癌患者术前N分期方面均具有较高的诊断效能,可用以辅助临床诊断结直肠癌患者术前N分期,从而做出最佳的治疗决策。但本研究还存在一定的局限性,在分组时仅按照是否出现淋巴结转移进行分组,未将其按照N分期的严重程度进行分组,将在后续研究中按N分期严重程度进行分组,进一步探讨CT-GSI对结直肠癌患者术前N分期的诊断价值。

综上所述,CT-GSI术前鉴别结直肠癌患者是否出现淋巴结转移的诊断效能较高,动、静脉期的IC、NIC、 λ_{HU} 参数均可反映患者淋巴结转移情况,从而可帮助临床确定N分期,有利于临床术前对治疗方式的选择。

参考文献

- [1] 梁旭,董倩倩,崔永欣,等.探讨经自然腔道标本移除(NOTES)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(02):140-142.
- [2] 姚步月,张笑添,赵国力,等.结直肠癌组织中mR-106a、mR-92a、mR-31与其新生血管生成及侵袭转移的关系研究[J].罕少疾病杂志,2025,32(01):127-129.
- [3] 陈书宁,田雨,秦艳,等.血清趋化因子(C-X-C基序)配体3在结直肠癌早期筛查和预后评估中的应用价值[J].中华实验外科杂志,2024,41(1):137-140.
- [4] 胡庆如,叶蕴锐,黄海涛,等.术前CT评估肿瘤生长模式对结肠癌复发转移的预测价值[J].暨南大学学报(自然科学与医学版),2024,45(2):140-149.
- [5] Wen D, Pu Q, Peng P, et al. Comparison of virtual and true non-contrast images from dual-layer spectral detector computed tomography (CT) in patients with colorectal cancer[J]. Quant Imaging Med Surg, 2024, 14(9): 6260-6272.
- [6] 田士峰,刘爱莲,刘静红,等.能谱CT低浓度对比剂最佳单能量成像显示胃肠道恶性肿瘤供血动脉的研究[J].中国医学影像学杂志,2015(7):517-522.
- [7] 刘荫华,姚宏伟,周斌,等.美国肿瘤联合会结直肠癌分期系统(第8版)更新解读[J].中国实用外科杂志,2017,37(1):6-9.
- [8] 陈宏达,郑荣寿,王乐,等.2019年中国肿瘤流行病学研究进展[J].中华疾病控制杂志,2020,24(4):373-379.
- [9] 文雪梅,孙浩然,杜世疆,等.结直肠癌术前淋巴转移风险预测模型的构建[J].中国临床研究,2024,37(9):1363-1368.
- [10] 奚克兴,宋诗瑜,罗振恺,等.淋巴结数量指标在N1c期结直肠癌患者预后中的价值[J].中华医学杂志,2022,102(19):1423-1429.
- [11] 游佳,李颖慧,吴泽航,等.能谱CT动静脉期碘含量差值对胃癌淋巴结转移的预测价值[J].国际医学放射学杂志,2021,44(4):408-414.
- [12] Cao Y, Zhang G, Bao H, et al. Development of a dual-energy spectral CT based nomogram for the preoperative discrimination of mutated and wild-type KRAS in patients with colorectal cancer[J]. Clin Imaging, 2021, 69: 205-212.
- [13] 王晨,李绍东,窦沛沛,等.双能量CT联合肿瘤标记物预测结直肠癌淋巴结转移的价值[J].临床放射学杂志,2020,39(12):2481-2485.
- [14] 岳思宇,李绍东,孟闫凯,等.双能CT淋巴结特征、临床病理特征预测结直肠癌肿瘤沉积的价值[J].临床放射学杂志,2022,41(9):1693-1698.
- [15] 翟功用,晁慧美,吕顺一,等.能谱CT早期评估结直肠癌肝转移化疗联合靶向治疗效果的研究[J].中国医学计算机成像杂志,2024,30(3):349-355.
- [16] 冯飞文,刘原庆,洪榕,等.双层探测器光谱CT定量参数联合常规CT特征的列线图术前预测结直肠癌肿瘤沉积的价值[J].中华放射学杂志,2024,58(3):286-292.
- [17] 卓水清,刘雅丹,江琳玲,等.光谱CT预测结直肠癌区域淋巴结转移[J].中国医学影像技术,2024,40(9):1366-1370.

(收稿日期:2025-03-03)

(校对编辑:韩敏求、翁佳鸿)