

• 腹部影像学 •

结直肠癌双层探测器光谱 CT 成像:转移性与非转移性淋巴结的对照研究

万幸,赵心竹,罗敏,杨忠现,刘于宝

【摘要】目的:探讨双层探测器光谱 CT(DLCT)成像技术对结直肠癌转移性与非转移性淋巴结的鉴别诊断价值。**方法:**回顾性分析 2019 年 12 月—2020 年 11 月在本院行腹部 DLCT 检查且经病理证实为结直肠癌的 41 例患者的病例资料。41 例患者共纳入 113 枚局部淋巴结,其中经病理检查证实为转移性淋巴结 40 枚,非转移性淋巴结 73 枚。由两位放射科医师共同分析每枚淋巴结的 DLCT 图像,分别在动脉期和静脉期图像上测量淋巴结的碘浓度、有效原子序数及能谱曲线($40\sim100$ keV)的斜率,比较转移性与非转移性淋巴结光谱参数值的差异,将有统计学差异的参数纳入 Logistic 回归方程,筛选出有鉴别诊断价值的参数,并采用 ROC 曲线分析其诊断效能。**结果:**转移性淋巴结的动、静脉双期碘浓度、有效原子序数及能谱曲线斜率均低于非转移性淋巴结($P<0.05$)。动脉期的碘浓度和能谱曲线斜率为转移性淋巴结的独立预测因子,预测淋巴结转移的 AUC 分别为 0.795 和 0.809,敏感度分别为 0.704 和 0.778,特异度均为 0.722。**结论:**DLCT 定量参数对结直肠癌患者转移性与非转移性淋巴结的鉴别诊断具有一定价值,其中以动脉期能谱曲线斜率的诊断效能最高。

【关键词】 结直肠肿瘤; 淋巴结, 转移性; 能谱曲线; 光谱 CT; 体层摄影术, X 射线计算机

【中图分类号】R814.42;R735.3 **【文献标志码】**A **【文章编号】**1000-0313(2021)12-1543-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.12.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Dual-layer detector spectral CT imaging technology in differential diagnosis of the metastatic and non-metastatic lymph nodes in patients with colorectal cancer WAN Xing, ZHAO Xin-zhu, LUO Min, et al. Medical Imaging Center, Shenzhen Hospital, Southern Medical University, Guangdong 518101, China

【Abstract】 Objective: The aim of this study was to investigate the value of dual-layer detector spectral CT (DLCT) technology in differential diagnosis of the metastatic and non-metastatic lymph nodes in patients with colorectal cancer. **Methods:** The data of 41 patients with pathologically confirmed colorectal cancer who underwent abdominal DLCT examination from December 2019 to November 2020 in our hospital were retrospectively analyzed. In 41 patients, a total of 113 lymph nodes (40 metastatic and 73 non-metastatic confirmed by pathology) were included. The DLCT images of each lymph nodes were analyzed by two radiologists. Iodine concentration (IC), effective atomic number (eff-Z) and slope of spectral curve (λ) of arterial and venous phase were measured and compared between the two groups. The parameters with significant differences were further analyzed by the logistic regression analysis and receiver operator characteristic (ROC) curve. **Results:** The IC, eff-Z and λ of metastatic lymph nodes on arterial and venous phase were lower than those of non-metastatic lymph nodes ($P<0.05$). The IC and λ at arterial phase were independent predictors of metastatic lymph nodes, with AUC of 0.795 and 0.809, sensitivity of 0.704 and 0.778, and both specificity of 0.722. **Conclusion:** The quantitative DLCT parameters have certain value in differential diagnosis of metastatic and non-metastatic lymph nodes in patients with colorectal cancer, and the λ of arterial phase has the highest diagnostic efficacy.

【Key words】 Colorectal neoplasms; Lymph node, metastasis; Spectral CT; Tomography, X-ray

作者单位:518101 广东深圳,南方医科大学深圳医院影像中心(万幸,赵心竹,罗敏,杨忠现,刘于宝);510515 广州,南方医科大学第三临床医学院(万幸,赵心竹,罗敏,杨忠现,刘于宝)

作者简介:万幸(1994—),女,湖北孝感人,硕士研究生,主要从事腹部影像诊断工作。

通讯作者:刘于宝,E-mail:ybliu28@163.com

基金项目:国家自然科学基金(81671660);深圳市科技项目(JCYJ20170307144338570);广东省教育厅高水平高校建设基金资助南方医科大学临床研究启动项目(LC2016PY061)

computed tomography

结直肠癌患者中发生淋巴结转移者 5 年生存率仅为 60%~68%，而无转移患者的 5 年生存率明显提高，可达 80%~90%^[1]。淋巴结转移情况是结直肠癌临床病理分期及确定治疗方案的重要依据，并影响患者的预后。CT 检查常用于评估淋巴结转移情况，但其通常仅以形态和大小作为诊断标准，准确性不够高。双层探测器光谱 CT(dual-layer detector spectral CT, DLCT)利用物质在不同 X 射线能量下吸收率不同来提供比常规 CT 更多的影像信息，可提供更多的测量参数，如 40~200 keV 单能级 CT 值、无水碘密度和有效原子序数等，这些定量参数可以更准确有效地区分不同的组织。本研究旨在探讨光谱 CT 成像技术在结直肠癌转移性淋巴结与非转移性淋巴结鉴别诊断中的价值。

材料与方法

1. 研究对象

回顾性分析 2019 年 12 月—2020 年 11 月在本院行腹部光谱 CT 增强检查且经术后病理证实的结直肠癌患者的临床和影像资料。纳入标准：①在术前 2 周内行腹盆部光谱 CT 增强扫描且图像数据完整；②未合并其它部位的肿瘤；③术前未进行过抗肿瘤治疗。排除标准：①淋巴结直径<4 mm 或淋巴结内坏死范围较大导致无法勾画直径为 3 mm 的 ROI；②CT 图像质量不能满足评价要求，如存在金属伪影等。

41 例患者经手术病理证实全部为腺癌，其中 15 例肿瘤病灶位于右半结肠，26 例位于左半结肠及直肠。男 30 例，女 11 例，年龄 20~83 岁，中位年龄 61 岁。23 例发现淋巴结转移，16 例为 N1 期，7 例为 N2 期；18 例未发现淋巴结转移。经手术清扫和病理检查，最终选入 113 枚淋巴结，包括转移性淋巴结 40 枚、非转移性淋巴结 73 枚。

2. 病理检查及分组

结直肠癌手术方式为病变肠段切除加区域淋巴结清扫。将术中清扫的区域淋巴结分为 4 个组：瘤周动脉组、直肠周围动脉组、结肠周围动脉组和肠系膜下动脉组。病理诊断中若某区域组中有 1 个或 1 个以上转移性淋巴结，则在 CT 图像上将该区域内淋巴结中最大的淋巴结作为转移性淋巴结，进行后续的数据测量和分析，该区域内的其它淋巴结不纳入研究。将 N0 期结直肠癌患者中直径≥4 mm 的区域淋巴结纳入对照组。

3. 扫描方法

使用 Philips IQon Spectral CT 机进行多期增强

扫描。扫描前患者禁食 4~6 h，扫描范围自横膈顶至双侧耻骨联合下缘水平。扫描参数：120 kVp，自动管电流调制技术，准直器宽度 64×0.625 mm, 0.5 s/r，螺距 0.929。使用双筒高压注射器经肘静脉注射对比剂碘普罗胺(370 mg I/mL)，剂量 1.2 mL/kg，注射流率 3.0 mL/s，对比剂注射完成后以 3.5 mL/s 流率注射生理盐水 20 mL。采用对比剂自动跟踪触发技术启动扫描，触发 ROI 设置在膈肌层面的腹主动脉管腔内，触发阈值 150 HU，动脉期扫描结束后 35 s 开始采集静脉期。

4. 图像后处理和分析

基于光谱 CT 动、静脉双期扫描的原始数据进行图像重建，获得对应的碘浓度图、有效原子序数图和能谱曲线图。由两位长期从事腹部影像诊断的医师对 CT 资料进行分析，意见不一致时经讨论达成共识。在各类光谱图像上观察符合纳入标准的淋巴结，选取目标淋巴结最大的层面勾画 ROI，面积 10~30 mm²，注意避开囊变、钙化、血管和淋巴结边缘，动、静脉双期图像在相同层面进行测量，获得 ROI 的碘浓度 (iodine concentration, IC) 和有效原子序数 (effective atomic number, eff-Z)，并按公式(1)计算能谱曲线的斜率(λ)：

$$\lambda(\text{HU}) = (\text{CT 值}_{40\text{keV}} - \text{CT 值}_{100\text{keV}}) / 60 \quad (1)$$

5. 统计学分析

使用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析。光谱 CT 定量参数以均数±标准差表示，对各项参数进行正态分布及方差齐性检验，符合正态分布的计量资料的组间比较采用独立样本 t 检验，方差不齐时采用 t' 检验。对差异有统计学意义的参数进行多变量 Logistic 回归分析，筛选能预测转移性淋巴结的参数。采用 ROC 曲线评估各项预测参数的诊断效能，计算曲线下面积 (AUC) 和最佳鉴别阈值，以及相应的诊断敏感度和特异度。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

结直肠癌患者转移性和非转移性淋巴结的光谱 CT 定量参数值的比较见表 1 和图 1~2。转移性淋巴结在动、静脉双期图像上的碘浓度、有效原子序数及能谱曲线斜率均低于非转移性淋巴结，组间差异均具有统计学意义 ($P < 0.05$)。两类淋巴结在 40~100 keV 范围内的能谱曲线均呈下降型(图 1d,h,2d,h)。

将组间差异具有统计学意义的双期光谱 CT 定量参数进行多变量 Logistic 回归分析，筛选出动脉期碘浓度和能谱曲线斜率为转移性淋巴结的独立预测因

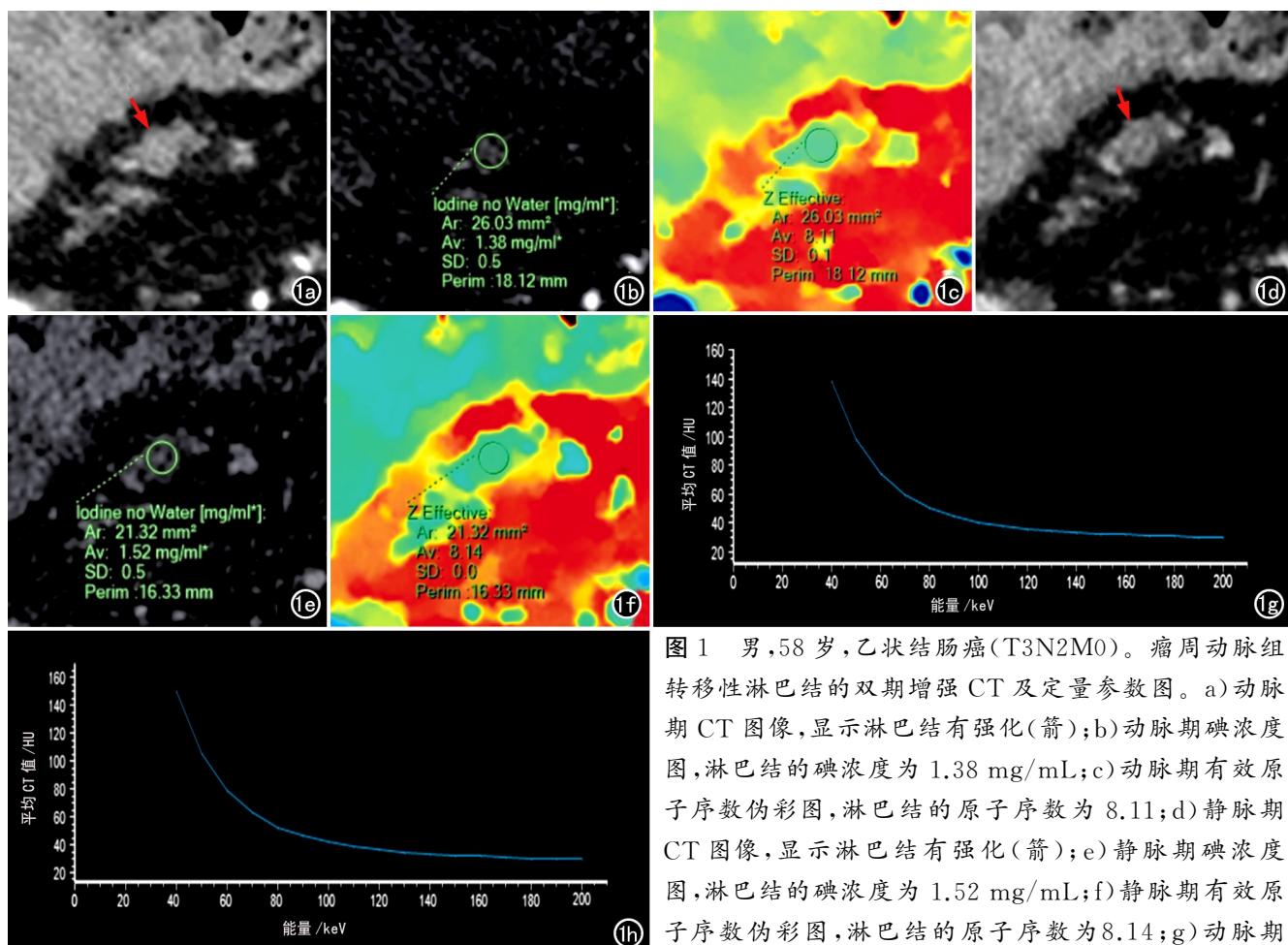


图 1 男, 58岁, 乙状结肠癌(T3N2M0)。瘤周动脉组转移性淋巴结的双期增强CT及定量参数图。a) 动脉期CT图像, 显示淋巴结有强化(箭); b) 动脉期碘浓度图, 淋巴结的碘浓度为1.38 mg/mL; c) 动脉期有效原子序数伪彩图, 淋巴结的原子序数为8.11; d) 静脉期CT图像, 显示淋巴结有强化(箭); e) 静脉期碘浓度图, 淋巴结的碘浓度为1.52 mg/mL; f) 静脉期有效原子序数伪彩图, 淋巴结的原子序数为8.14; g) 动脉期能谱曲线, 斜率为1.73HU; h) 静脉期能谱曲线, 斜率为1.82HU。

能谱曲线, 斜率为1.73HU; h) 静脉期能谱曲线, 斜率为1.82HU。

子。动脉期碘浓度判断淋巴结转移的AUC为0.795, 敏感度为0.704, 特异度为0.722; 动脉期能谱曲线斜率的AUC为0.809, 敏感度为0.778, 特异度为0.722(图3)。

表1 转移性和非转移性淋巴结的光谱CT参数值

参数	转移组 (n=40)	非转移组 (n=73)	t 值	P 值
IC-A/mg/mL	1.58±0.51	1.94±0.64	-3.245	0.002
eff-Z-A	8.12±0.26	8.29±0.30	-2.905	0.004
λ-A/HU	1.83±0.65	2.38±0.93	-3.663	<0.001
IC-V/mg/mL	1.89±0.51	2.25±0.67	-2.975	0.004
eff-Z-V	8.25±0.29	8.47±0.44	-3.195	0.002
λ-V/HU	2.32±0.65	2.82±1.03	-3.135	0.002

注:A、V 分别代表动脉期和静脉期。

讨 论

淋巴结转移是结直肠癌预后的独立危险因素^[2]。术前准确预测淋巴结转移是决定肿瘤分级的重要因素, 而且对结直肠癌患者的治疗决策也至关重要^[3-4]。MRI作为评价结直肠癌的标准方式, 准确性高, 但是Ogawa等^[5]的研究结果表明, MRI评估淋巴结状态可能会导致过度诊断。PET-CT能利用组织的代谢变化

反映肿瘤及转移性淋巴结的状态, 但良性肿瘤也可有相似的代谢变化, 且淋巴结较小时可能显示不佳。光谱CT能提取更多关于组织密度和血供方面的参数, 更具客观性和精准性。

临床实践中术前预测淋巴结转移主要依赖于淋巴结的直径^[6], 常用的评价淋巴结转移的标准是任何直径大于10 mm的淋巴结或小于10 mm的3个及以上的淋巴结簇样聚集^[7]。本研究未就淋巴结大小进行分析, 是由于纳入的转移性淋巴结为区域组中较大的淋巴结, 对大小进行统计分析可能会造成较大的偏差。然而, 据 Rodriguez-Bigas等^[8]报道, 大多数转移性淋巴结的直径小于5 mm。以大小作为标准来评估淋巴结的转移性准确性较低, 因此有学者提出通过研究淋巴结的“成分”来提高诊断准确性。

光谱CT能定量评价淋巴结的特征, 碘浓度可以直接反映淋巴结内的碘含量, 并间接反映淋巴结的血供^[9]。本研究中, 转移性淋巴结在动、静脉期的碘浓度均显著低于非转移性淋巴结, 与有些学者的研究结果基本一致^[10-11]。可能是由于转移性淋巴结的肿瘤细胞通过淋巴管侵入淋巴结囊下窦, 淋巴组织被浸润, 进而

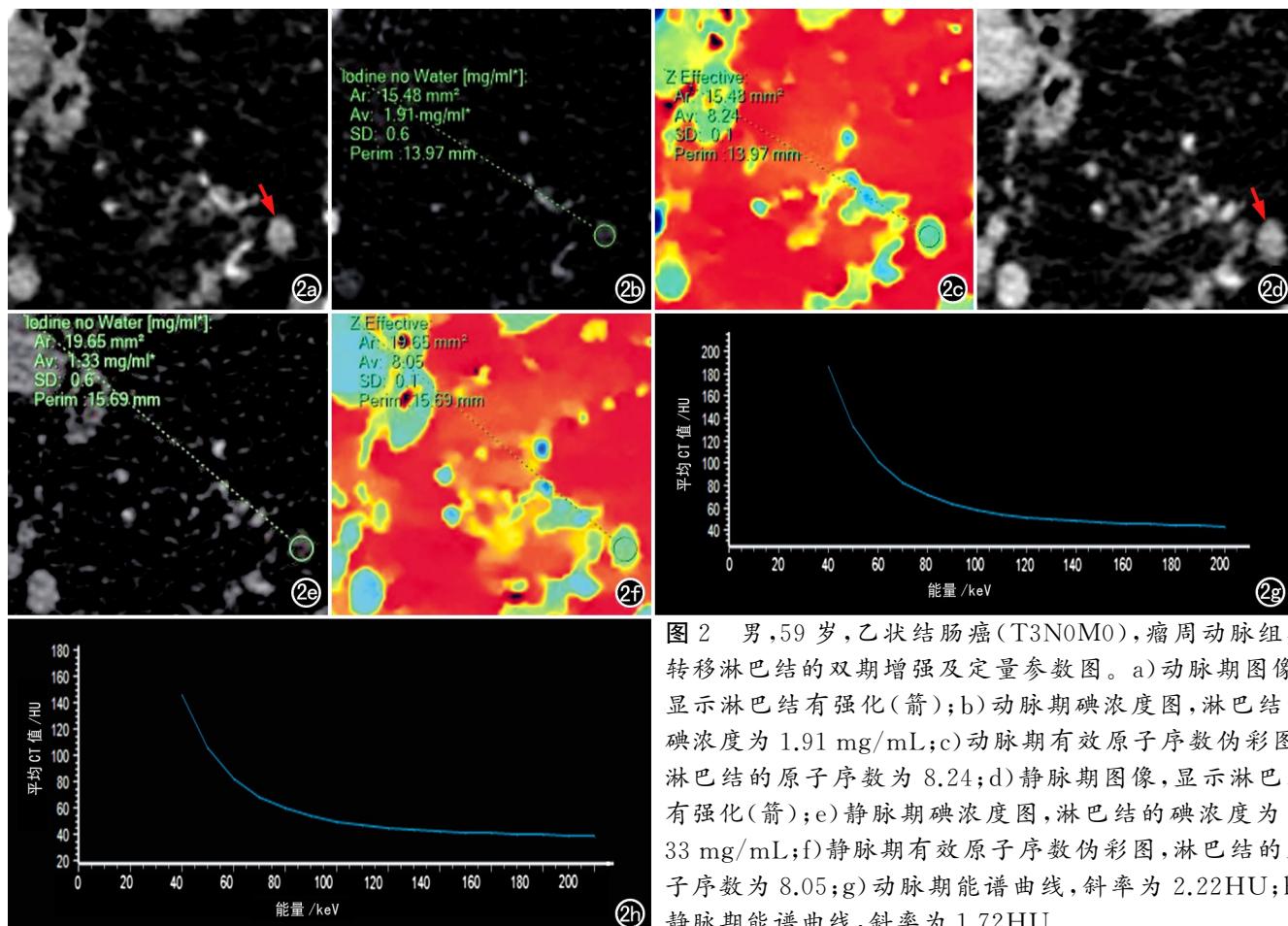


图 2 男,59岁,乙状结肠癌(T3N0M0),瘤周动脉组非转移淋巴结的双期增强及定量参数图。a) 动脉期图像,显示淋巴结有强化(箭);b) 动脉期碘浓度图,淋巴结的碘浓度为 1.91 mg/mL ;c) 动脉期有效原子序数伪彩图,淋巴结的原子序数为 8.24 ;d) 静脉期图像,显示淋巴结有强化(箭);e) 静脉期碘浓度图,淋巴结的碘浓度为 1.33 mg/mL ;f) 静脉期有效原子序数伪彩图,淋巴结的原子序数为 8.05 ;g) 动脉期能谱曲线,斜率为 2.22 HU ;h) 静脉期能谱曲线,斜率为 1.72 HU 。

被肿瘤细胞取代,导致髓质中血液供应不足并出现中心坏死。另外,转移性淋巴结中肿瘤组织内的新生血管中有较多畸形的大血管,使其增强表现为条状血管样强化,但因畸形血管并未能增加淋巴结内的血流灌注,故其强化程度并未增加。既往研究表明,碘浓度可用于判断甲状腺癌和肝癌继发淋巴结转移^[12-13]。

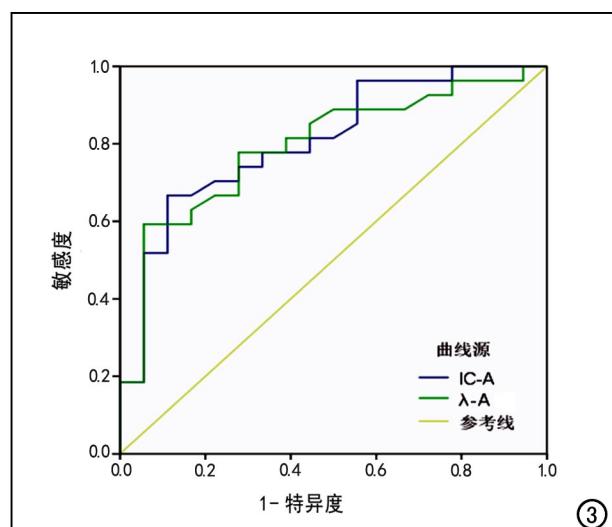


图 3 光谱 CT 定量参数鉴别结直肠癌患者转移与非转移性淋巴结的 ROC 曲线。IC-A 为动脉期碘浓度,λ-A 为动脉期能谱曲线斜率。

能谱曲线反映的是组织内 CT 值的动态变化情况,每种组织类型都有其特征的能谱曲线斜率。本研究结果显示:转移性淋巴结的动脉期和静脉期能谱曲线的斜率均显著低于非转移性淋巴结,与 Yang 等^[14]学者的研究结果类似。转移性淋巴结中肿瘤细胞浸润、坏死及肿瘤血管生成等病理改变导致组织异质性增加,与非转移性淋巴结在物质构成上存在较大差异。

有效原子序数由原子序数引申而来,能够精准分析组织内无机物的构成^[15]。本研究中转移性淋巴结在动脉期和静脉期的有效原子序数均显著低于非转移性淋巴结,原因可能是淋巴结内癌组织成分导致其构成与正常淋巴组织差异较大。淋巴结静脉期强化程度减低,因而转移性与非转移性淋巴结之间光谱 CT 参数值的差距缩小,推测此为静脉期定量参数不能预测淋巴结良、恶性的原因。

本研究存在一定的局限性:第一,这是一项回顾性研究,样本量相对较小,因此可能存在一定的选择偏倚;第二,本研究中并未能将淋巴结的 CT 影像与病理检查一一对应,可能导致研究结果不够精准;第三,对于直径小于 4 mm 的淋巴结,由于无法勾画感兴趣区而被排除,且其内部的增强情况也难以在 CT 图像上识别,故缺少对小淋巴结的观察结果,样本范围不够

广。

综上所述,本研究结果显示双层探测器光谱 CT 成像中动脉期的碘浓度及能谱曲线斜率对术前预测结直肠癌淋巴结转移具有一定的价值,为结直肠癌的淋巴结定性分析提供了新的思路。

参考文献:

- [1] O'Connell JB, Maggard MA, Ko CY. Colon cancer survival rates with the new American Joint Committee on Cancer sixth edition staging[J]. J Natl Cancer Inst, 2004, 96(19): 1420-1425. DOI: 10.1093/jnci/djh275.
- [2] Jin M, Frankel WL. Lymph node metastasis in colorectal cancer [J]. Surg Oncol Clin N Am, 2018, 27(2): 401-412. DOI: 10.1016/j.soc.2017.11.011.
- [3] Bosset JF, Collette L, Calais G, et al. EORTC Radiotherapy Group Trial 22921. Chemotherapy with preoperative radiotherapy in rectal cancer[J]. N Engl J Med, 2006, 355(11): 1114-1123. DOI: 10.1056/NEJMoa060829.
- [4] 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. DOI: 10.1200/JCO.2013.51.7904.
- [5] Ogawa M, Ichiba N, Watanabe M, et al. The usefulness of diffusion MRI in detection of lymph node metastases of colorectal cancer [J]. Anticancer Res, 2016, 36(2): 815-819.
- [6] Liu H, Yan F, Pan Z, et al. Evaluation of dual energy spectral CT in differentiating metastatic from non-metastatic lymph nodes in rectal cancer: initial experience[J]. Eur J Radiol, 2015, 84(2): 228-234.
- [7] Dighe S, Purkayastha S, Swift I, et al. Diagnostic precision of CT in local staging of colon cancers: a meta-analysis[J]. Clin Radiol, 2010, 65(9): 708-719.
- [8] Rodriguez-Bigas MA, Maamoun S, Weber TK, et al. Clinical significance of colorectal cancer: metastases in lymph nodes <5 mm in size[J]. Ann Surg Oncol, 1996, 3(2): 124-130. DOI: 10.1007/BF02305790.
- [9] Rassouli N, Etesami M, Dhanantwari A, et al. Detector-based spectral CT with a novel dual-layer technology: principles and applications[J]. Insights Into Imaging, 2017, 8(6): 589-598. DOI: 10.1007/s13244-017-0571-4.
- [10] 杨雪君,赵卫,郑凌琳,等.双能量 CT 对结直肠癌区域淋巴结性质判定的临床研究[J].放射学实践,2016,31(10):957-960.
- [11] 王俊,王水,王艳,等.双源 CT 能谱参数在肠道肿瘤转移性淋巴结及反应增生性淋巴结鉴别中的应用[J].放射学实践,2018(6): 593-597.
- [12] Li L, Cheng SN, Zhao YF, et al. Diagnostic accuracy of single-source dual-energy computed tomography and ultrasonography for detection of lateral cervical lymph node metastases of papillary thyroid carcinoma[J]. J Thorac Dis, 2019, 11(12): 5032-5041. DOI: 10.21037/jtd.2019.12.45.
- [13] Zeng YR, Yang QH, Liu QY, et al. Dual energy computed tomography for detection of metastatic lymph nodes in patients with hepatocellular carcinoma[J]. World J Gastroenterol, 2019, 25(16): 1986-1996. DOI: 10.3748/wjg.v25.i16.1986.
- [14] Yang Z, Zhang X, Fang M, et al. Preoperative diagnosis of regional lymph node Metastasis of colorectal cancer with quantitative parameters from dual-energy CT[J]. AJR, 2019, 213(1): 17-25. DOI: 10.2214/AJR.18.20843.
- [15] Lin LY, Zhang Y, Suo ST, et al. Correlation between dual-energy spectral CT imaging parameters and pathological grades of non-small cell lung cancer[J/OL]. Clin Radiol, 2018, 73(4): 412.e1-412.e7. DOI: 10.1016/j.crad.2017.11.004.

(收稿日期:2021-02-07 修回日期:2021-06-01)