

双源 CT 增强多参数成像在肺结节诊断中的临床价值^{*}

刘力榛 黎川 梁勇 王新 陈家飞

(陆军军医大学第一附属医院放射科, 重庆 400038)

【摘要】 目的 探讨双源 CT 增强多参数成像在肺结节诊断中的临床价值。方法 回顾性分析本院 2018 年 10 月—2021 年 12 月间接受双源 CT 增强多参数成像检查患者 51 例, 根据病理活检结果分为良性组(良性肺结节 21 例)和恶性组(恶性肺结节 30 例)。将双源 CT 增强多参数成像图像传入 Siemens 双源 CT 专用 Dual-Energy 软件, 通过勾画感兴趣区记录结节不同 keV 时单能量 CT 值。比较两组患者双源 CT 增强多参数数据, 同时绘制 ROC 曲线计算各参数鉴别诊断良恶性肺结节的阈值。结果 良性组患者的 NIC、K 绝对值、碘基值及常规增强 CT 值均明显高于恶性组($P < 0.01$); 良性组患者静脉期 40、70、100、120 及 140keV 下的 CT 值均明显高于恶性组($P < 0.01$)。ROC 曲线分析显示, NIC 的 AUC 面积明显高于 K 绝对值和碘基值($P < 0.05$), NIC+K 绝对值+碘基值联合诊断的 AUC 面积均明显高于单独诊断($P < 0.05$)。结论 双源 CT 增强多参数成像可作为肺结节良恶性鉴别诊断的有效影像学手段, 具有多参数、可量化等优势, 对肺结节早期诊断和治疗指导均具有重要意义。

【关键词】 双源 CT 增强多参数成像; 肺结节; 肺癌; 鉴别诊断; 临床价值

【中图分类号】 R734.2 **【文献标志码】** A **DOI:**10. 3969/j. issn. 1672-3511. 2024. 05. 026

The clinical value of dual-source CT enhanced multi-parameter imaging in the diagnosis of pulmonary nodule

LIU Lizhen, LI Chuan, LIANG Yong, WANG Xin, CHEN Jiafei

(Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Army Military Medical University, Chongqing 400038, China)

【Abstract】 **Objective** To investigate the clinical value of dual-source CT enhanced multiple-parameter imaging in the diagnosis of pulmonary nodule. **Methods** A retrospective analysis of 51 patients undergoing dual-source CT from October 2018 to December 2021, including 21 patients diagnosed as benign lung nodules and 30 malignant lung nodules, which were treated as benign and malignant groups, respectively. Dual-source CT-enhanced multi-parametric imaging images were transmitted into the Siemens dual-source CT dedicated Dual-Energy software to record the single-energy CT values at different keV in the nodules by delineating the region of interest. Two-source CT-enhanced multiparameter data were compared, and ROC curves were simultaneously plotted to calculate the threshold for the differential diagnosis of benign and malignant lung nodules for each parameter. **Results** The NIC, K absolute, iodine base and conventional enhanced CT values in the benign group were significantly higher than those in the malignant group ($P < 0.01$); the CT values at 40keV, 70keV, 100keV, 120keV and 140keV were significantly higher than those in the malignant group ($P < 0.01$). The ROC curve analysis showed that the AUC of NIC was significantly higher than the absolute K and iodine base values ($P < 0.05$), the AUC area of the combined absolute NIC + K value was significantly higher than the diagnosis alone ($P < 0.05$). **Conclusion** Dual-source enhanced multi-parametric imaging by CT can be used as an effective imaging means for the differential diagnosis of benign and malignant tumors of pulmonary nodule, with the advantages of multiple parameters and quantifiable tumors, and is of great significance for the early diagnosis and treatment guidance of pulmonary nodule.

【Key words】 Dual-source CT enhanced multi-parametric imaging; Pulmonary nodule; Lung cancer; Differential diagnosis; Clinical value

基金项目: 重庆市临床重点专科项目(CQZDZK007)

引用本文: 刘力榛, 黎川, 梁勇, 等. 双源 CT 增强多参数成像在肺结节诊断中的临床价值[J]. 西部医学, 2024, 36(5): 766-770. DOI:10. 3969/j. issn. 1672-3511. 2024. 05. 026

肺癌是临床常见的恶性肿瘤,其发病率和死亡率均高居首位,且发病率有逐年升高趋势^[1]。肺癌早期常无特异性症状,大多患者就诊时病情已发展至中晚期,5 年生存率整体偏低,因此早期准确诊断和治疗极为重要。肺结节是指肺实质出现的局灶性、类圆形及影像学提示高低密度的实性或亚实性病变,通常直径 ≤ 3 cm,其病因繁多且具有良恶性区分。研究表明,肺癌患者多以肺结节表现入院检查,但肺结节包括良性病变如炎症、错构瘤、出血及结核等,恶性病变如原发性肺癌或肺内转移癌等。其中初次诊断良性病变占比达到 80.0%~90.0%^[2],因此准确鉴别诊断肺结节指导临床治疗和改善患者预后至关重要。近年来研究发现,传统 CT 增强扫描无法准确判定其性质,同时存在辐射剂量高、操作复杂等问题,很难作为筛查手段推广^[3]。双源 CT 是伴随医疗器械发展推出的新型 CT 成像技术,具有成像分辨率高、辐射剂量低、扫描速度快等优势,能够在 70~140 keV 间提供图像、碘图等多种诊断参数^[4],并根据能谱分析可为疾病鉴别诊断提供可靠依据,目前在胃肠道疾病、心血管疾病鉴别诊断中已有较多应用^[5],但基于肺结节鉴别诊断报道相对较少,缺乏足量文献支撑和诊断标准。因此,本研究就双源 CT 增强多参数成像对肺结节鉴别诊断效果展开报道,旨在为临床提供指导。

1 资料与方法

1.1 纳入对象 回顾性分析本院 2018 年 10 月—2021 年 12 月间接受双源 CT 增强多参数成像检查的 51 例肺结节患者的临床资料。根据病理活检结果分为良性肺结节 21 例和恶性肺结节 30 例,分别作为良性组和恶性组。纳入标准:①所有患者均因肺部单发结节样病变入院行双源 CT 增强扫描检查。②入院前均未接受肺部手术、抗肿瘤等治疗措施。③均接受手术切除或穿刺取样病理活检证实病理类型。④均配合扫描时呼吸等要求,且图像参数符合既定方案标准。排除标准:①患者存在大面积病变区域,坏死区域超过 70.0%。②病理活检结果不明确。③合并有其他疾病无法耐受碘剂等应用。④孕妇或妊娠期妇女。本研究经院内伦理委员会审核批准。

1.2 方法

1.2.1 双源 CT 增强多参数成像 患者取仰卧位,检查前常规屏气训练,采用西门子双源 CT(SOMATOM Definition flash)进行双源 CT 增强多参数成像,选取扫描范围为受检者胸廓入口至肺底,确保扫描范围覆盖整个肺组织,扫描方式选择双能量增强扫描,扫描过程中使患者手臂抬起,将手置于后脑勺位置,减少上肢及肩部产生的扫描伪影。扫描参数设

置:常规模式为准直宽度 64 mm \times 0.6 mm,单球管模式,管电压 120 kV,自动 mAs,螺距 0.6,螺旋扫描速度 0.6 s/周;双能模式为准直宽度 64 mm \times 0.6 mm, A 球管管电压 80 kV, B 球管管电压 140 kV、自动 mAs,螺距 0.6,螺旋扫描速度 0.6 s/周;重建层厚度 1 mm,重建间隔 0.5 mm。患者行双源 CT 平扫加增强扫描,从肘静脉注射,对比剂选择碘帕醇 350 mgI/mL,剂量为 1.5 mL/kg,流速为 4 mL/s,动脉期采用 care blous 触发扫描,触发阈值 120 HU,动脉期采用常规扫描模式;当对比剂注射至 60 s 时进行静脉期扫描,静脉期用双能量扫描模式。

1.2.2 数据采集 将双源 CT 增强多参数成像静脉期图像传入 Siemens 双源 CT 专用 Dual-Energy 软件,并在“Lung Nodules”模式下进行自动能量减影,获得静期单能量图像以及碘分布图。尽量避开血管、坏死、空洞、钙化,选取肺结节的实质成分强化最明显处作为感兴趣区域(ROI),并记录结节平扫 CT 值、(40~140 keV)区间单能量 CT 值。计算病变标准化碘含量(NIC), $NIC = \text{病变碘含量} / \text{同层面主动脉碘含量}$;计算能谱曲线斜率(K),单能量图像上分别测量病变不同 keV 电压下的 CT 值, $K = (CT_{X1} - CT_{X2}) / (X1 - X2)$ ^[6],所有数据均由两名高年资医师进行盲法测定,取 3 次数据平均值。

1.3 观察指标 ①比较两组患者的 NIC、K 绝对值、碘基值及常规增强 CT 值。②比较两组患者在静脉期 40、70、100、120 及 140 keV 的 CT 值。③绘制 ROC 曲线,计算 NIC、K 绝对值及碘基值鉴别诊断良恶性肺结节的灵敏度、特异度、AUC 及临界值,同时计算 NIC、K 绝对值及碘基值联合诊断的 AUC 面积。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析,计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,两组间比较采用两独立样本的 *t* 检验,同时绘制 ROC 曲线计算诊断效能, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料比较 51 例患者中男性 29 例,女性 22 例,年龄 34~86 岁,其中良性组患者中男性 13 例、女性 8 例,年龄 36~80 岁,平均(52.67 \pm 12.76)岁,平均结节直径(15.67 \pm 7.48) mm,病理类型:炎性结节 17 例、结核 3 例、错构瘤 2 例。恶性组患者中男性 16 例,女性 14 例,年龄 34~86 岁,平均(55.57 \pm 10.16)岁,平均结节直径(14.61 \pm 6.29) mm,病理类型:腺癌 24 例、鳞癌 3 例、转移瘤 2 例、小细胞癌 1 例。两组患者性别、年龄、结节直径等一般资料比较差异无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性。

2.2 两组患者的影像学表现 良性组患者肺结节多

为扁平形、楔形、三角形形状, 结节边缘比较清晰, 无明显分叶、毛刺等征象, 炎性结节边缘较模糊, 非炎性结节边缘多清楚整齐, 部分伴有卫星灶、钙化, 无明显的胸膜牵拉征象, 空洞病例空洞壁比较光整; 恶性组患者肺结节多为圆形或类圆形形状, 结节呈现分叶状

或毛刺征, 边缘不光整, 常伴有胸膜凹陷征和血管集束征, 常为混合性磨玻璃结节。见图 1。

2.3 两组患者的 NIC、K 绝对值、碘基值及常规增强 CT 值比较 良性组患者的 NIC、K 绝对值、碘基值及常规增强 CT 值均高于恶性组 ($P < 0.01$), 见表 1。

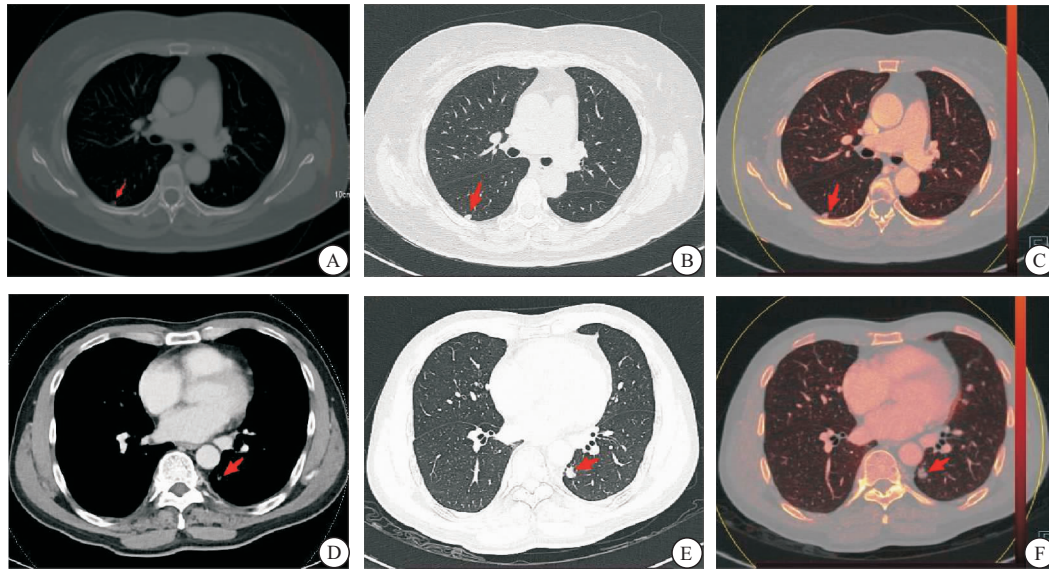


图 1 炎性结节和肺癌典型病例 CT 表现

Figure 1 CT feature in typical cases of inflammatory nodules and lung cancer

注: A. 炎性结节增强 CT 图像; B. 炎性结节肺窗图像; C. 炎性结节碘基图 CT 值图像; D. 肺癌增强 CT 图像; E. 肺癌平扫肺窗图像; F. 肺癌碘基图 CT 值图像。

表 1 两组患者的 NIC、K 绝对值、碘基值及常规增强 CT 值比较 ($\bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of NIC, K absolute value, iodine base values and conventional enhanced CT values between the two groups

组别	n	NIC(mg/mL)	K 绝对值	碘基值(mg/mL)	常规增强 CT 值(HU)
良性组	21	0.353±0.083	3.022±0.426	1.419±0.236	69.281±17.205
恶性组	30	0.256±0.057	2.502±0.792	1.231±0.158	55.378±13.484
t		4.865	2.734	3.335	5.271
P		<0.001	<0.01	<0.01	<0.01

2.4 两组患者静脉期不同 keV 下的 CT 值比较 两组患者在 40~140 keV 区间下随着 keV 增加 CT 值均呈现明显降低趋势, 同时良性组患者静脉期 40、70、

100、120 及 140 keV 下的 CT 值均明显高于恶性组 ($P < 0.01$), 见表 2。

表 2 两组患者静脉期不同 keV 下的 CT 值比较 (HU, $\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of CT values under different keV during the venous stage in the two groups

组别	n	40 keV	70 keV	100 keV	120 keV	140 keV
良性组	21	168.361±43.156	83.571±16.401	75.096±14.993	66.794±12.034	58.571±11.615
恶性组	30	117.792±35.528	68.233±11.27	59.371±12.685	53.642±10.783	49.533±10.826
t		3.538	3.817	3.020	2.884	2.792
P		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.01

2.5 各参数鉴别诊断肺结节的 ROC 曲线分析 ROC 曲线分析结果显示, NIC 的 AUC 面积明显高于 K 绝对值和碘基值 ($P < 0.05$), 同时 NIC+K 绝对值+碘基值联合诊断的 AUC 面积均明显高于单独诊断 ($P < 0.05$)。NIC 以 0.295 mg/mL 为临界值时的诊

断效能最高, 灵敏度和特异度分别为 76.19% 和 80.00%; K 绝对值为 2.605 时的诊断效能最高, 灵敏度和特异度分别为 90.48% 和 56.67%; 碘基值为 1.225mg/mL 时的诊断效能最高, 灵敏度和特异度分别为 90.48% 和 56.67%。见图 2。

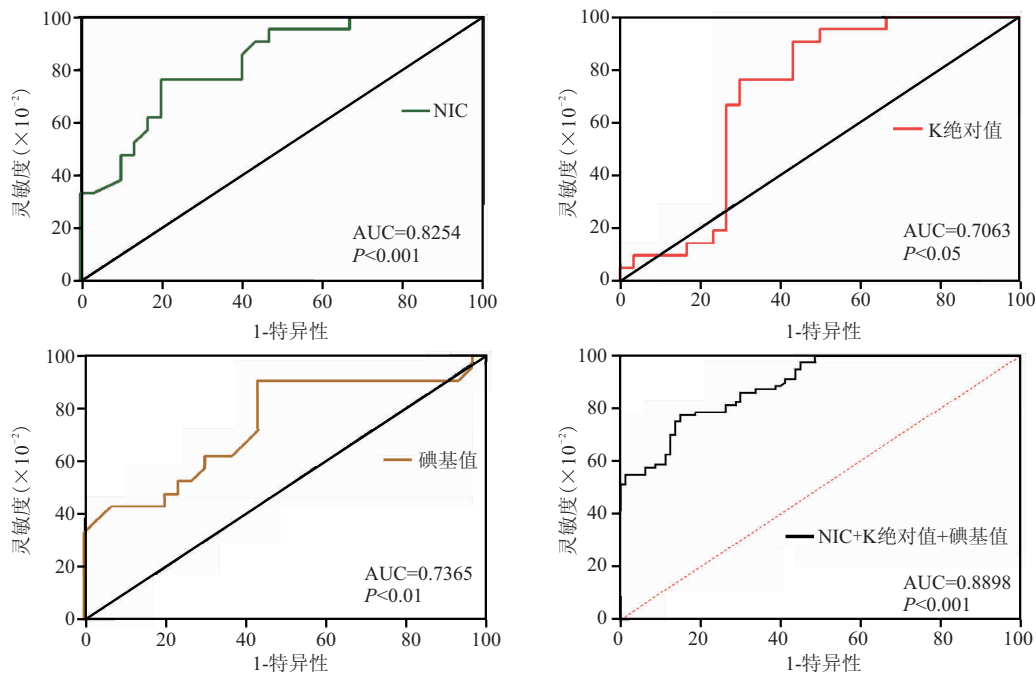


图 2 NIC、K 绝对值和碘基值及联合鉴别诊断肺结节的 ROC 曲线分析

Figure 2 ROC curve analysis of NIC, K absolute value and iodine base values and the combined differential diagnosis of pulmonary nodules

3 讨论

肺结节准确鉴别诊断对指导合理治疗尤为关键,可避免良性病变行不必要手术,以及恶性病变漏诊误诊延误病情^[7]。但临床研究发现,肺结节良恶性很难通过临床症状区分,肺部感染与早期肺癌可能呈现相似症状,因此需依赖于影像学手段,包括胸部 X 片、CT 灌注扫描、增强 CT 等^[8-9]。但胸部 X 片、常规 CT 平扫很难作为肺结节定性诊断方案,寻求一种简单、高效及准确的肺结节定性诊断方法意义重大。伴随着现代影像学技术及仪器进步更新,CT 技术也逐渐完成非螺旋 CT 和单层 CT 到螺旋和螺旋 CT 和多层 CT 的转变,尤其是双源 CT 探索研究及临床应用取得质的突破^[10-11],同时也解决了传统 CT 面临的多种难题,是肺结节良恶性定性诊断的新方向。

双源 CT 成像技术是拥有两套射线发射源和探测器构成 CT 图像的组成系统。研究指出,双源 CT 技术通过两种不同能量谱采集图像,利用不同能量 X 线在透过物质时光子衰减差异,经软件处理可获取物质选择性图像和能谱图像,实现对病变组织定性和定量诊断^[12-13]。目前,双源 CT 在心血管、胃肠道等疾病定性及定量分析中得到广泛应用,同时对肺结节良恶性鉴别方面也受到初步肯定^[14]。碘剂作为 CT 增强造影剂中主要成分,定量分析病灶组摄取碘值,可有效评估其血供状态,而双源 CT 所获取的碘图能通过碘图伪彩色分布及色彩变化,进一步测量碘浓度(IC)、NIC 及碘覆盖值(OL)等碘图参数,其中 NIC 通

过标准化碘浓度大幅降低个体差异影响,提高疾病诊断和鉴别诊断效能^[15-17]。侯新民等^[18]研究发现当 NIC 取值 0.408 mg/mL 时,双源 CT 鉴别诊断肺部良恶性病变的 ROC 曲线下 AUC 达到 0.757,此外敏感度和特异度分别为 86.2%、62.6%。本研究结果显示,恶性组患者的 NIC 和碘基值明显低于良性组,分析原因可能是炎性结节为主的良性病变因炎性刺激形成肉芽组织,结节受到肺动脉和支气管动脉双重血供,且炎性刺激还能刺激新血管生成,局部血管扩张度和流速更高,因此碘摄取量和 NIC 值也相应增加。本研究结果发现,ROC 曲线下 NIC 的 AUC 面积明显高于 K 绝对值和碘基值,同时当 NIC 取值为 0.295 mg/mL 时鉴别诊断肺结节的灵敏度和特异度分别为 76.19% 和 80.00%,ROC 曲线下 AUC 为 0.8254,表明 NIC 可作为肺结节良恶性鉴别诊断的敏感指标,此外联合诊断可明显提高 AUC 面积,因此临床实际过程中可联合多参数进行鉴别诊断,以提高整体诊断效能^[19]。

X 线透过物质时可出现康普顿散射效应和光电效应两种衰减方式,其中 CT 值是指物质经特定管电压下得到的 X 线后衰减。研究证实,碘剂存在明显的 X 线吸收衰减效应,此衰减方式主要为光电效应,该效应在注入对比剂后愈加明显,进一步增加不同物质间 CT 值差异,在低能量 keV 下可出现指数级增加^[20-21]。曾炳亮等^[22]研究发现,肺内孤立性结节无论是良恶性病变在 40~140 keV 间 CT 值均表现出明显降低趋势,且无论在静脉期还是动脉期,良性组的 CT

值明显高于恶性组。而范恒鑫等^[23]研究指出,70 keV 单能图像 CT 值(CT_{70keV})以-560.035HU 为临界值鉴别肺磨玻璃密度结节中浸润前病变和微浸润腺癌的灵敏度为 68.0%、特异度为 72.0%,AUC 为 0.765。能谱曲线是指不同能量 X 线在透过物质后获得的 CT 值衰减曲线,不同物质因对 X 线吸收衰减度不同,形成的衰减曲线具有唯一性,因此能谱曲线分析能够准确鉴别出病变组织的特征。本研究结果显示,恶性组在静脉期 40、70、100、120 及 140 keV 时的 CT 值均明显低于良性组,同时 K 绝对值也明显低于良性组,与目前报道基本一致,考虑与良恶性肺结节组织病理改变差异有关,良性结节常以炎性增生为主的实性结节,而恶性结节多以磨玻璃结节为主^[24]。

4 结论

双源 CT 增强多参数成像可作为肺结节良恶性鉴别诊断的有效影像学手段,有多参数、可量化等优势,对肺结节早期诊断和治疗指导具有重要意义。

【参考文献】

- [1] 宋勇,姚艳雯. 肺部小结节的诊断和治疗近况[J/OL]. 中华肺部疾病杂志:电子版,2012,5(4):4-5.
- [2] 黄真,徐海荣,丁易,等. 非恶性肿瘤人群中肺小结节发生率的单中心初步研究[J]. 肿瘤研究与临床,2015,22(3):4-7.
- [3] FEHRENBACH U, KAHN J, BÖNING G, *et al.* Spectral CT and its specific values in the staging of patients with non-small cell lung cancer: technical possibilities and clinical impact[J]. *Clinical Radiology*, 2019,20(13):819-826.
- [4] SI-MOHAMED S A, GREFFIER J, MIAILHES J, *et al.* Comparison of image quality between spectral photon-counting CT and dual-layer CT for the evaluation of lung nodules: a phantom study[J]. *European Radiology*, 2021,15(17):380-388.
- [5] LIN L Y, ZHANG Y, SUO S T, *et al.* Correlation between dual-energy spectral CT imaging parameters and pathological grades of non-small cell lung cancer[J]. *Clinical Radiology*, 2018, 73(4):412-417.
- [6] SUN Y S, ZHANG X Y, CUI Y, *et al.* Spectral CT imaging as a new quantitative tool? Assessment of perfusion defects of pulmonary parenchyma in patients with lung cancer[J]. *中国癌症研究:英文版*, 2013,11(6):7-14.
- [7] YANG F, DONG J, WANG X, *et al.* Non-small cell lung cancer: Spectral computed tomography quantitative parameters for preoperative diagnosis of metastatic lymph nodes[J]. *European Journal of Radiology*, 2017, 89(23):129-135.
- [8] 李腾,赵欣,许健恩,等. 双源 CT 低剂量扫描肺小结节及对早期肺腺癌的诊断价值评价[J]. *中国数字医学*, 2019, 14(10):3-6.
- [9] LI M, ZHANG L, TANG W, *et al.* Dual-energy spectral CT characteristics in surgically resected lung adenocarcinoma: comparison between Kirsten rat sarcoma viral oncogene mutations and epidermal growth factor receptor mutations[J]. *Cancer Imaging*, 2019, 19(7):771-779.
- [10] 钱英. 双源 CT 技术优势分析[J]. *中国医疗设备*, 2008, 23(8):2-5.
- [11] 陈钰,金征宇. 第 3 代双源 CT 的临床应用现状与展望[J]. *中国医学科学院学报*, 2017,39(1):1-3.
- [12] 邓东,彭业胜,李凯,等. 采用双源 CT 双能量成像技术评价孤立性肺结节的可行性分析[J]. *广西医科大学学报*, 2016, 33(1):36-40.
- [13] Schirra C O, Brendel B, Anastasio M A, *et al.* Spectral CT: a technology primer for contrast agent development[J]. *Contrast Media & Molecular Imaging*, 2014, 9(1):62-70.
- [14] 陈杰,田慧,任永芳. 双源 CT 能谱曲线和碘含量测定在肾脏小肿瘤良、恶性鉴别诊断中的应用[J]. *中国医疗设备*, 2022,37(8):114-117.
- [15] SAWALL S, KLEIN L, AMATO C, *et al.* Iodine Contrast-to-Noise Ratio Improvement at Unit Dose and Contrast Media Volume Reduction in a Whole-Body Photon-Counting CT[J]. *European Journal of Radiology*, 2020, 126(1):909.
- [16] 刘智,张帆,蒋宇婷,等. 孤立性肺结节的良恶性与临床及高分辨率 CT 特征相关性分析[J]. *实用放射学杂志*, 2020,12(11):1928-1932.
- [17] MATHY R M, FRITZ F, MAYER P, *et al.* Iodine concentration and tissue attenuation in dual-energy contrast-enhanced CT as a potential quantitative parameter in early detection of local pancreatic carcinoma recurrence after surgical resection[J]. *European Journal of Radiology*, 2021, 143:109944-109951.
- [18] 侯新民,胡俊,王海涛. 双源 CT 双能量扫描对肺良恶性病变的鉴别诊断[J]. *放射学实践*, 2015, 30(1):4-5.
- [19] 冯昭,刘刚,李小花,等. 能谱 CT 低剂量扫描对肺孤立小结节的诊断价值研究[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2021, 19(10):39-42.
- [20] LANZETTI A, EKDALE E G. Enhancing CT imaging: A safe protocol to stain and de-stain rare fetal museum specimens using diffusible iodine - based staining (diceCT)[J]. *Journal of Anatomy*, 2021,239(1):13410-13417.
- [21] 张振红,解丙坤,洒盼盼,等. CT 增强扫描碘对比剂不良反应的临床表现分析[J]. *医学影像学杂志*, 2020, 30(9):1718-1720.
- [22] 曾炳亮,李滋聪,廖小清,等. 双源 CT 能谱成像技术在肺内孤立性结节良恶性鉴别诊断的应用价值[J]. *江西医药*, 2016, 51(5):4-6.
- [23] 范恒鑫,樊树峰,张忠伟. CT 能谱成像对肺磨玻璃密度结节浸润前病变与微浸润腺癌的鉴别诊断价值[J]. *浙江医学*, 2018, 40(12):41-42.
- [24] 杨静,赵黎明,王月波,等. 多层 CT 容积扫描联合三维重建技术在孤立性肺结节患者良恶性诊断中的应用[J]. *西部医学*, 2022, 34(4):610-614.

(收稿日期:2022-10-10;修回日期:2024-03-11;编辑:张翰林)