

· 论著 ·

DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2024.09.006

双能量 CT 电子云密度和有效原子序数在甲状腺良恶性结节鉴别诊断中的价值

钟丽茹, 罗娜, 唐文杰

(中山大学附属第三医院放射科, 广东 广州 510630)

【摘要】 **目的** 探讨双能量 CT 电子云密度 (Rho) 及有效原子序数 (Z) 在甲状腺良恶性结节鉴别诊断中的价值。**方法** 回顾性分析 2023 年 3 月至 12 月在中山大学附属第三医院岭南医院经病理证实的 68 例甲状腺结节患者影像资料。68 例中, 良性结节 31 例、恶性结节 37 例, 均于术前 1 周内接受颈部 CT 平扫联合增强双能量扫描。利用后处理工作站重建动脉期、静脉期 Rho 及 Z 图并测量其数值, 比较甲状腺良性与恶性结节的 Rho 值及 Z 值, 分析差异有统计学意义的双能量参数, 利用受试者操作特征 (ROC) 曲线分析其在甲状腺结节良性与恶性中的鉴别诊断效能。**结果** 动脉期 Z 值和静脉期 Rho 值在甲状腺良性与恶性结节间比较差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05), 动脉期 Rho 值在甲状腺良性与恶性结节间比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 甲状腺恶性结节的动脉期 Rho 值高于良性结节, 其 ROC 曲线下面积为 0.711 (95%CI 0.586~0.836), 灵敏度为 73.0%, 特异度为 64.5%。当动脉期 Rho 值为 38.60 Hu 时, 其鉴别诊断效能最高。**结论** 双能量 CT 动脉期 Rho 值对甲状腺良恶性结节的鉴别诊断有一定价值。

【关键词】 双能量 CT; 电子云密度图; 有效原子序数; 甲状腺结节

The value of dual-energy CT electron cloud density and effective atomic number in differential diagnosis of benign and malignant thyroid nodules

ZHONG Liru, LUO Na, TANG Wenjie

(Department of Radiology, the Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510630, China)

Corresponding author: TANG Wenjie, E-mail: tangwenj@mail.sysu.edu.cn

【Abstract】 **Objective** To investigate the differential diagnostic value of dual-energy CT electron cloud density (Rho) and effective atomic number (Z) between benign and malignant thyroid nodules. **Methods** Imaging data of 68 patients with pathologically confirmed thyroid nodules at Lingnan Hospital, the Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University from March to December 2023 were retrospectively analyzed. Among the 68 cases, 31 patients were diagnosed with benign thyroid nodules and 37 with malignant thyroid nodules. All patients underwent plain CT scan combined with enhanced dual-energy CT scan of the neck in the first week before surgery. The arterial-phase and venous-phase electron cloud density maps and effective atomic number maps were reconstructed in the post-processing workstation. Rho and Z values of benign and malignant thyroid nodules were compared by Mann-Whitney U test. Statistically significant dual-energy parameters were analyzed and their differential diagnostic efficiency in diagnosing benign and malignant thyroid nodules was calculated using the receiver operating characteristic (ROC) curve. **Results** Arterial- and venous-phase Z values and venous-phase Rho were not statistically significant between benign and malignant thyroid nodules (all $P > 0.05$), whereas arterial-phase Rho value was statistically significant between benign and malignant thyroid nodules ($P < 0.05$). The arterial-phase Rho of malignant thyroid nodules was higher than that of the benign thyroid nodules, with an area under the ROC curve (AUC) of 0.711 (95%CI 0.586-0.836), a sensitivity of 73.0%, and a specificity of 64.5%. The differential diagnostic efficiency was the highest when the arterial-phase Rho was 38.6 Hu. **Conclusion** Dual-energy CT arterial-phase Rho mapping has certain value in the differential diagnosis of benign and malignant thyroid nodules.

【Key words】 Dual-energy CT; Electron cloud density; Effective atomic number; Thyroid nodule

收稿日期: 2024-03-03

基金项目: 广东省自然科学基金面上项目 (2022A1515010369)

作者简介: 钟丽茹, 技师, 研究方向: 医学影像技术, E-mail: zhonglr@mail.sysu.edu.cn; 唐文杰, 通信作者, 主治医师, 研究方向: 甲状腺、肝脏疾病影像诊断, E-mail: tangwenj@mail.sysu.edu.cn

近年来,随着我国人民健康管理意识的加强,越来越多的甲状腺功能减退症及甲状腺疾病随着体检的广泛普及而被检出。其中甲状腺恶性肿瘤的发病率持续升高,呈年轻化趋势,已超过世界平均水平(3%),占我国新发恶性肿瘤总数的4.8%^[1]。甲状腺疾病的影像学特征复杂多变,良性与恶性病变有很多相似特征,往往造成术前诊断困难,具有较高的误诊率。甲状腺恶性结节的治疗方式主要为外科手术,甲状腺良性结节则通常以定期随访或药物治疗,甲状腺良恶性结节的鉴别可指导临床医师为患者提供合理的治疗方案,改善患者预后,减少不必要的手术负担^[2,3]。目前诊断和鉴别甲状腺疾病主要依靠病理学检查和超声、CT、核医学等影像学检查。然而,超声医师的经验、主观性诊断以及细胞学病理误差诊断严重影响甲状腺疾病检出的效率及准确率^[4]。CT检查对操作者依赖性不大,数据可重复性高,还可对胸骨后甲状腺病变及颈部淋巴结这些超声难以探及的部分进行细微的检查^[5],为甲状腺疾病的常规检查手段。常规CT一般通过影像学特征和CT值鉴别甲状腺结节的良恶性。双能量CT基于不同物质拥有不同X线吸收衰减系数的原理^[6],除了能提供常规CT的信息外,还可以提供诸如不同能级单能量图、混合能量图、碘密度图、电子云密度(electron cloud density, Rho)及有效原子序数(effective atomic number, Z)等不同参数,并可对其进行定量分析,客观地呈现病变性质,为疾病的鉴别诊断提供新思路^[7,9]。目前已有不少利用双能量定量参数鉴别甲状腺结节的研究^[10-11],但其中涉及Z的研究相对少见,尚未见Rho应用于鉴别甲状腺良恶性结节的相关报道。因此,本研究就双能量CT中Rho和Z对甲状腺结节的良恶性鉴别诊断价值进行初步的探索,现报告如下。

1 对象与方法

1.1 研究对象

回顾性分析于2023年3月至12月在中山大学附属第三医院岭南医院接受甲状腺结节手术患者的影像学资料。病例纳入标准:①术前1周内接受双能量CT颈部平扫+增强的检查;②CT检查前未接受药物治疗、穿刺活检或手术治疗;③有术后病理结果。排除标准:①甲状腺弥漫性疾病者;②图像有影响病灶观察及测量的伪影;

③病灶最大长径 < 3 mm。以术后病理结果为金标准,最终在68例年龄为41(23, 72)岁的甲状腺结节患者中纳入68个结节病灶。68例患者中,男12例、女56例,纳入病例均为单发结节病灶,良性结节31例(结节性甲状腺肿27例,滤泡性腺瘤4例)、恶性结节37例(甲状腺乳头状癌36例,甲状腺滤泡性癌1例)。本研究征得入组患者的知情同意,并获得中山大学附属第三医院伦理委员会批准(批件号:中大附三医伦II 2023-007-01)。

1.2 仪器与方法

采用德国西门子第三代Somatom Force双源CT设备对患者进行颈部平扫联合增强双能量扫描,扫描范围从颅底至上纵隔。双能量扫描参数设置:A球管电压为90 kV, B球管电压为150 kV,采用实时曝光计量调节技术调节管电流(100~400 mA)。通过注射碘海醇(含碘量为350 mg/mL,扬子江药业)对患者进行增强扫描,用量为1.0 mL/kg(体质量),流速为3.0 mL/s,经肘静脉注射。扫描时延迟25 s采集动脉期图像,60 s采集静脉期图像,所有图像扫描结束后传送至后处理工作站进行重建和测量^[12]。

1.3 图像重建与测量

选择软组织窗宽(300 Hu)、窗位(30 Hu)对数据进行标准重建,重建层厚1.0 mm,层间距1.0 mm。将图像传至syngo.via工作站,重建动脉期和静脉期的120 kVp混合能量图、Rho图及Z图。

由2名不知结节病理结果的影像科医师(1名3年工作经验的住院医师和1名8年工作经验的主治医师),在动脉期120 kVp混合能量图中,选择甲状腺结节的最大长径横断面进行感兴趣区(region of interest, ROI)测量,测得Rho值和Z值。ROI面积应覆盖病灶的2/3以上,同时避开出血、钙化及囊性化区域。在2期增强的Rho图及Z图上复制ROI,最大程度保证不同期相的ROI大小、位置一致,以减少测量误差。

1.4 样本量估计

本研究主要以动脉期Rho作为观察指标,计划使用1:1平行对照设计。根据预实验结果,良性组的均值为35.13,恶性组为46.06,标准差为14.67。假设双侧 $\alpha=0.05$,检验力为80%,采用两样本均数比较的公式估算出每组最小样本量为28,考虑10%的样本流失,初步确定每组样本量至少为31例。

1.5 统计学方法

通过 SPSS 24.0 进行数据分析。经 2 名影像科医师独立进行的动脉期、静脉期 Rho 值及 Z 值测量可靠性由组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 评估得出。采取 Shapiro-Wilk 法检验数据是否符合正态分布, 正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 组间比较采用独立样本 *t* 检验; 非正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示, 组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。当参数差异具有统计学意义时, 采用受试者操作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析其对甲状腺良恶性结节的诊断效能。双侧 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 双能量 CT 测量数据的可靠性分析

在测量动脉期、静脉期 Rho 值和 Z 值时, 观察者间的一致性较高 (ICC=0.973, 95%CI 0.952~0.978), 观察者内的一致性也较高 (ICC=0.967, 95%CI 0.946~0.976)。

2.2 良性与恶性甲状腺结节的动静脉期 Rho 值及 Z 值比较

双能量 CT 的动脉期、静脉期 Z 值在甲状腺良性与恶性结节间比较差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05), 静脉期 Rho 值在甲状腺良性与恶性结节间比较差异也无统计学意义 ($P > 0.05$), 甲状腺良性与恶性结节的动脉期 Rho 值比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。动脉期甲状腺恶性结节 Rho 值高于良性结节, 见表 1、图 1。

2.3 动脉期 Rho 值的 ROC 曲线分析

对甲状腺结节动脉期 Rho 值绘制 ROC 曲线, 得出其曲线下面积 (area under curve, AUC) 为 0.711 (95%CI 0.586~0.836)。根据约登指数计算出当动脉期 Rho 值为 38.60 Hu 时, 鉴别诊断甲状腺结节的效能最高, 其灵敏度、特异度分别为 73.0%、64.5%, 见图 2。

3 讨论

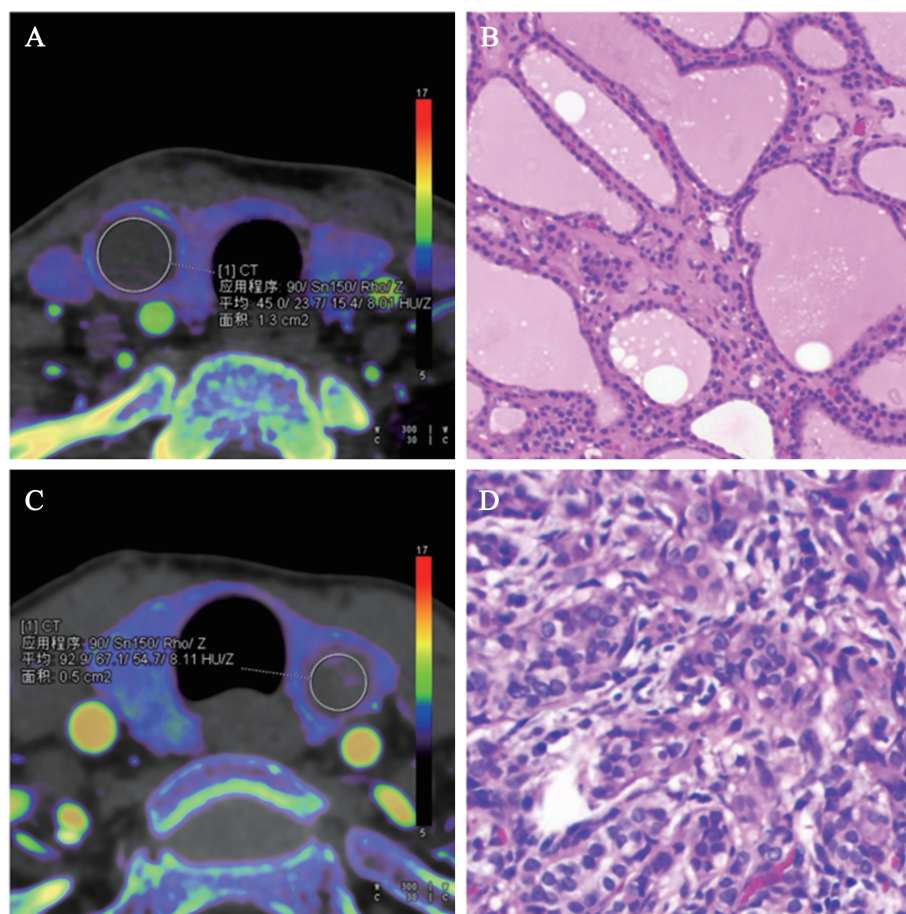
影像学专科医师在对甲状腺结节进行鉴别诊断时, 如仅凭常规 CT 影像所提供的信息, 容易因为主观性强、观察者差异较大、部分甲状腺良性和恶性结节的影像组学特征较为相似等造成漏诊或误诊, 导致相关诊断的准确性并不高。双能量 CT 在减少受检者辐射剂量的同时又能保证图像质量^[13], 其通过不同的定量参数对组织成分进行分离、鉴别^[14], 为鉴别诊断提供了一种快速无创、客观、定量的方法, 在临床中得到广泛应用^[15]。既往对双能量 CT 在病变的鉴别诊断研究, 较多关注碘浓度^[16-17], 对其他定量参数如 Rho 及 Z 等认识不深、探索较少。Rho 和 Z 可反映物质的化学成分与物理特性^[18], 在鉴别物质成分的准确度及有效性均有报道^[19-20], 目前主要应用于放射治疗疗效评价、结石成分分析及胸腹部肿瘤良性与恶性的鉴别^[21-23]。笔者尚未查及 Rho 应用在甲状腺病变的鉴别诊断的相关报道, 为此本研究就 Rho 和 Z 对甲状腺结节的鉴别诊断价值进行初步探索。

Rho 可代表物质单位体积内电子的密度。Yamamoto 等^[24]研究发现肿瘤细胞丰富的区域的电子密度值高, 邱建升等^[25]报道恶性肺结节 Rho 值高于良性结节, 本研究结果与之相似, 即恶性结节动脉期 Rho 值高于良性结节。在本研究的 68 例中, 良性结节主要为结节性甲状腺肿, 恶性结节则基本为甲状腺乳头状癌 (36 例甲状腺乳头状癌, 1 例甲状腺滤泡性癌)。甲状腺乳头状癌在显微镜下通常表现为细胞分裂、增殖明显增多, 细胞密集排列拥挤, 部分重叠或群聚; 而结节性甲状腺肿在可伴有部分纤维组织增生和局部囊性变化的同时, 常表现为甲状腺滤泡上皮增生或扩张, 大量胶质充盈于细胞内, 滤泡大小不一, 无挤压现象^[26]。甲状腺良性与恶性结节的组织病理学差异可能是本研究中动脉期恶性结节 Rho 值高于良性结节的原因。至于本研究中静脉期甲状腺良性与

表 1 甲状腺良性与恶性结节动静脉期 Rho 值及 Z 值比较

Table 1 Comparison of Rho and Z values in the arteriovenous phase between benign and malignant thyroid nodules

类别	动脉期		静脉期	
	Rho 值 /Hu	Z 值	Rho 值 /Hu	Z 值
良性结节 ($n=31$)	35.13 \pm 2.95	8.83 \pm 0.15	37.90 (28.30, 55.50)	8.73 \pm 0.15
恶性结节 ($n=37$)	46.06 \pm 1.88	8.67 \pm 0.08	46.50 (38.35, 53.75)	8.95 \pm 0.08
<i>t</i> /Z 值	3.224	0.827	1.354	1.300
<i>P</i> 值	0.002	0.411	0.176	0.200



注：A、B为右侧结节性甲状腺肿，C、D为左侧甲状腺乳头状癌；B（ $\times 200$ ）、D（ $\times 400$ ）为甲状腺结节病理苏木精-伊红染色。

图1 甲状腺结节动脉期 Rho 图及其病理图

Figure 1 Rho diagram and pathological image of thyroid nodule in arterial phase

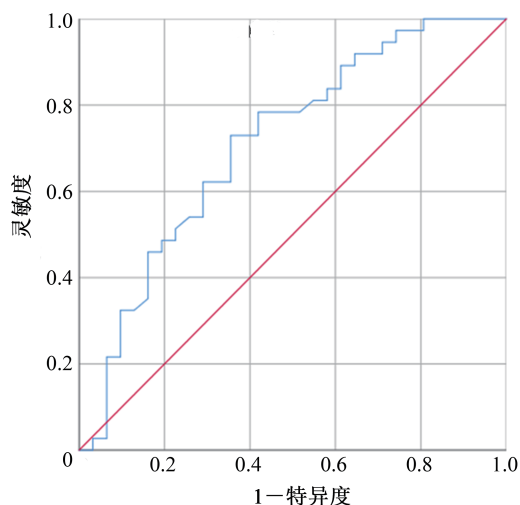


图2 动脉期 Rho 值对甲状腺结节良性与恶性鉴别诊断的 ROC 曲线分析

Figure 2 ROC curve analysis of arterial phase Rho for differential diagnosis between benign and malignant thyroid nodules

恶性结节 Rho 值比较差异无统计学意义，则可能为 Rho 与 CT 值有密切关系的原因^[27]。既往程留慧等^[28]及 Lee 等^[29]研究发现，甲状腺良性结节比恶性结节具有更高的摄碘能力。静脉期甲状腺结节摄取了对比剂，使得 CT 值升高，测量结果存在误差。对甲状腺结节动脉期 Rho 值行 ROC 曲线分析其鉴别效能，其 AUC 为 0.711，当动脉期 Rho 阈值为 38.60 Hu 时，鉴别诊断效能最高，灵敏度为 73.0%，特异度为 64.5%。动脉期 Rho 值鉴别诊断甲状腺良性与恶性结节的 AUC 大于 0.7，提示具有一定诊断效能，结果表明动脉期 Rho 值有助于鉴别诊断甲状腺结节的良恶性。

本研究中，甲状腺良性与恶性结节的动脉期、静脉期 Z 值比较差异无统计学意义，则与张冬燕^[30]研究结果一致。甲状腺本身含碘量高且血管极为丰富，碘作为一种高原子序数元素，对于 Z 值影响较大，而增强扫描图像受甲状腺本身碘含量及

结节摄取对比剂的影响,很可能是本研究中甲状腺良性与恶性结节间 Z 值比较差异无统计学意义的原因。

本研究的局限性:① 纳入样本量较少,病种较为单一,仅按照结节的良恶性进行鉴别诊断研究;② 未与超声、磁共振成像等检查技术进行对比分析;③ 由于本研究为回顾性研究,纳入病例平扫为常规 CT 扫描方式,未能采集平扫双能量相关序列数据,故未能选择平扫的 Rho 及 Z 进行分析,从而避免碘浓度的影响。未来应纳入前瞻性研究,选择平扫的 Rho 及 Z 进行分析,以排除对比剂对测量结果的影响。

综上所述,在双能量 CT 增强扫描甲状腺结节时,测量动脉期 Rho 值能够为术前快速无创鉴别诊断甲状腺结节的良恶性提供帮助。该方法对于临床医师在甲状腺结节治疗方案的选择、预后评估具有一定参考价值。

参 考 文 献

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R L, et al. Global cancer statistics 2020 : GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. *CA Cancer J Clin*, 2021, 71 (3): 209-249. DOI: 10.3322/caac.21660.
- [2] ALEXANDER E K, DOHERTY G M, BARLETTA J A. Management of thyroid nodules [J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2022, 10 (7): 540-548. DOI: 10.1016/s2213-8587 (22) 00139-5.
- [3] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政医管局. 甲状腺癌诊疗指南 (2022 年版) [J]. *中国实用外科杂志*, 2022, 42 (12): 1343-1357, 1363. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2022.12.02.
National Health Commission of the People's Republic of China Medical Administration and Hospital Administration. Guidelines for the diagnosis and treatment of thyroid carcinoma [J]. *Chin J Pract Surg*, 2022, 42 (12): 1343-1357, 1363. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2022.12.02.
- [4] LI L R, DU B, LIU H Q, et al. Artificial intelligence for personalized medicine in thyroid cancer: current status and future perspectives [J]. *Front Oncol*, 2020, 10 : 604051. DOI: 10.3389/fonc.2020.604051.
- [5] 杨鹏, 武志峰. 基于 CT 图像影像学模型对甲状腺结节良恶性预测的研究 [J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2023, 21 (1): 47-49. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2023.01.016.
YANG P, WU Z F. Study on the malignant prediction of thyroid nodules based on CT image imaging method [J]. *Chin J CT MRI*, 2023, 21 (1): 47-49. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2023.01.016.
- [6] GREFFIER J, VILLANI N, DEFEZ D, et al. Spectral CT imaging: Technical principles of dual-energy CT and multi-energy photon-counting CT [J]. *Diagn Interv Imaging*, 2023, 104 (4): 167-177. DOI: 10.1016/j.diii.2022.11.003.
- [7] 柴岚, 徐森胤, 袁放, 等. 肌骨超声与能谱 CT 对急性痛风性关节炎首次发作尿酸盐结晶沉积的检测价值 [J]. *新医学*, 2022, 53 (10): 727-732. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2022.10.005
CHAI L, XU S Y, YUAN F, et al. The application value of musculoskeletal ultrasound and dualenergy CT for monosodium urate crystals during the first episode of acute gouty arthritis [J]. *J New Med*, 2022, 53 (10): 727-732. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2022.10.005.
- [8] KRUIS M F. Improving radiation physics, tumor visualisation, and treatment quantification in radiotherapy with spectral or dual-energy CT [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2022, 23 (1): e13468. DOI: 10.1002/acm2.13468.
- [9] CHAKRABARTI R, GUPTA V, VYAS S, et al. Correlation of dual energy computed tomography electron density measurements with cerebral glioma grade [J]. *Neuroradiol J* 2022, 35 (3): 352-362. DOI: 10.1177/19714009211047455.
- [10] TOMITA H, KUNO H, SEKIYA K, et al. Quantitative assessment of thyroid nodules using dual-energy computed tomography: iodine concentration measurement and multiparametric texture analysis for differentiating between malignant and benign lesions [J]. *Int J Endocrinol*, 2020, 2020 : 5484671. DOI: 10.1155/2020/5484671.
- [11] BUNCH P M, PAVLINA A A, LIPFORD M E, et al. Dual-energy parathyroid 4D-CT: improved discrimination of parathyroid lesions from thyroid tissue using noncontrast 40-keV virtual monoenergetic images [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2021, 42 (11): 2001-2008. DOI: 10.3174/ajnr.A7265.
- [12] 中华医学会放射学分会头颈学组. 甲状腺结节影像检查流程专家共识 [J]. *中华放射学杂志*, 2016, 50 (12): 911-915. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2016.12.003.
Chinese Medical Association Chinese Society of Radiology Head and Neck Group. Imaging flow consensus of thyroid nodules [J]. *Chin J Radiol*, 2016, 50 (12): 911-915. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2016.12.003.
- [13] FORGHANI R. An update on advanced dual-energy CT for head and neck cancer imaging [J]. *Expert Rev Anticancer Ther*, 2019, 19 (7): 633-644. DOI: 10.1080/14737140.2019.1626234.
- [14] MCCOLLOUGH C H, BOEDEKER K, CODY D, et al. Principles and applications of multienergy CT: report of AAPM task group 291 [J]. *Med Phys*, 2020, 47 (7): e881-e912. DOI: 10.1002/mp.14157.
- [15] HAMID S, NASIR M U, SO A, et al. Clinical applications of dual-energy CT [J]. *Korean J Radiol*, 2021, 22 (6): 970-982. DOI: 10.3348/kjr.2020.0996.
- [16] LI F, HUANG F, LIU C, et al. Parameters of dual-energy CT for the differential diagnosis of thyroid nodules and the indirect

- prediction of lymph node metastasis in thyroid carcinoma: a retrospective diagnostic study[J]. *Gland Surg*, 2022, 11 (5): 913-926. DOI: 10.21037/gs-22-262.
- [17] 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. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2022.08.023.
- CHEN J, TIAN H, REN Y F. Application of dual-source CT energy spectrum curve and iodine content determination in differential diagnosis of benign and malignant renal tumors[J]. *China Med Devices*, 2022, 37 (8): 114-117. DOI: 10.3969/j.issn.1674-1633.2022.08.023.
- [18] JUMANAZAROV D, ALIMOVA A, ABDIKARIMOV A, et al. Material classification using basis material decomposition from spectral X-ray CT[J]. *Nucl Instrum Methods Phys Res A*, 2023, 1056: 168637. DOI: 10.1016/j.nima.2023.168637.
- [19] MEI K, EHN S, OECHSNER M, et al. Dual-layer spectral computed tomography: measuring relative electron density[J]. *Eur Radiol Exp*, 2018, 2: 20. DOI: 10.1186/s41747-018-0051-8.
- [20] HUA C H, SHAPIRA N, MERCHANT T E, et al. Accuracy of electron density, effective atomic number, and iodine concentration determination with a dual-layer dual-energy computed tomography system[J]. *Med Phys*, 2018, 45 (6): 2486-2497. DOI: 10.1002/mp.12903.
- [21] OHIRA S, WASHIO H, YAGI M, et al. Estimation of electron density, effective atomic number and stopping power ratio using dual-layer computed tomography for radiotherapy treatment planning[J]. *Phys Med*, 2018, 56: 34-40. DOI: 10.1016/j.ejmp.2018.11.008.
- [22] 李健文, 周长圣, 张龙江, 等. 双能量 CT 电子云密度/等效原子系数 (Rho/Z) 在小肾癌中的应用[J]. *放射学实践*, 2019, 34 (2): 163-166. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.02.010.
- LI J W, ZHOU C S, ZHANG L J, et al. The utility of Rho/Z value derived of dual-energy computed tomography for differentiation of small clear-cell renal cell carcinoma[J]. *Radiol Pract*, 2019, 34 (2): 163-166. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.02.010.
- [23] 徐驰杰, 孔玲玲, 邓小毅. 双能量 CT 电子云密度/有效原子序数在成骨型转移瘤与骨岛中的鉴别诊断价值[J]. *肿瘤影像学*, 2022, 31 (4): 403-408. DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2022.04.009.
- XU C J, KONG L L, DENG X Y. The utility of electron density/effective atomic number value in dual energy computed tomography for differentiation of osteoblastic metastases and bone islands[J]. *Oncoradiology*, 2022, 31 (4): 403-408. DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2022.04.009.
- [24] YAMAMOTO S, KAMEI S, TOMITA K, et al. CT-guided bone biopsy using electron density maps from dual-energy CT[J]. *Radiol Case Rep*, 2021, 16 (9): 2343-2346. DOI: 10.1016/j.radcr.2021.06.009.
- [25] 邱建升, 辛小燕, 杨雯, 等. 双层探测器光谱 CT 单能量图像及电子云密度图鉴别诊断肺磨玻璃结节良性与恶性的价值[J]. *中华放射学杂志*, 2022, 56 (2): 175-181. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20210205-00102.
- QIU J S, XIN X Y, YANG W, et al. The value of virtual monoenergetic images and electron density map derived from dual-layer spectral detector CT in differentiating benign from malignant pulmonary ground glass nodules[J]. *Chin J Radiol*, 2022, 56 (2): 175-181. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20210205-00102.
- [26] ALAM M Q, PANDEY P, RALLI M, et al. Comparative analysis of cytomorphology of thyroid lesion on conventional cytology versus liquid-based cytology and categorize the lesions according to The Bethesda System for Reporting Thyroid Cytopathology[J]. *J Cancer Res Ther*, 2022, 18 (Suppl 2): S259-S266. DOI: 10.4103/jert.jert_1933_21.
- [27] YANG M, WOHLFAHRT P, SHEN C, et al. Dual- and multi-energy CT for particle stopping-power estimation: current state, challenges and potential[J]. *Phys Med Biol*, 2023, 68 (4): 04TR01. DOI: 10.1088/1361-6560/acabfa.
- [28] 程留慧, 窦允龙, 黄方方, 等. 双源 CT 双能量成像在甲状腺良恶性结节鉴别中的应用价值[J]. *临床放射学杂志*, 2023, 42 (6): 915-919. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2023.06.032.
- CHENG L H, DOU Y L, HUANG F F, et al. Dual source CT dual energy imaging in differential diagnosing benign and malignant thyroid nodules[J]. *J Clin Radiol*, 2023, 42 (6): 915-919. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2023.06.032.
- [29] LEE D H, LEE Y H, SEO H S, et al. Dual-energy CT iodine quantification for characterizing focal thyroid lesions[J]. *Head Neck*, 2019, 41 (4): 1024-1031. DOI: 10.1002/hed.25524.
- [30] 张冬燕. CT 能谱成像技术在甲状腺良恶性结节鉴别诊断中的价值[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2023, 21 (7): 33-34. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2023.07.011.
- ZHANG D Y. Value of CT spectral imaging in the differential diagnosis of benign and malignant thyroid nodules[J]. *Chin J CT MRI*, 2023, 21 (7): 33-34. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2023.07.011.

(责任编辑: 林燕薇)