

基于双能量 CT 碘图定量分析参数鉴别肺良恶性结节的准确性评价

吴红勇 惠亭顺 龙雪 吴杰 邓乾

六盘水市人民医院

DOI:10.32629/bmtr.v8i3.20448

[摘要] 目的：探讨双能量 CT 碘图定量分析参数鉴别肺良恶性结节的价值。方法：回顾性分析六盘水市人民医院 2024 年 12 月至 2025 年 6 月就诊的 104 例肺结节患者，以结节病理为金标准分为良性组（n=73）、恶性组（n=31），均行双能量 CT 碘图定量诊断。对比肺良恶性结节患者基线资料、双能量 CT 碘图定量参数；多因素 Logistic 分析肺恶性结节发生的影响因素；采用 ROC 分析双能量 CT 碘图定量参数诊断肺恶性结节效能。结果：两组肺结节患者基线资料（性别、年龄、吸烟史、肿瘤家族史、结节位置、结节直径）对比无差异（ $P>0.05$ ）。恶性组动脉期及静脉期 IC、NIC 均高于良性组（ $P<0.05$ ）。Logistic 回归显示，动脉期及静脉期 IC、NIC 为肺恶性结节发生的独立影响因素（ $P<0.05$ ）。ROC 曲线显示，动脉期及静脉期 IC、NIC 联合诊断肺恶性结节发生 AUC 为 0.834，灵敏度及特异度分别为 84.12%、83.76%，均高于单独定量参数。结论：双能量 CT 碘图定量参数可用于鉴别肺良恶性结节性质，且联合应用诊断效能较高。

[关键词] 肺癌；良性结节；恶性结节；双能量 CT 碘图；定量参数

中图分类号：R816.4 文献标识码：A

Accuracy Evaluation of Parameter Quantitative Analysis based on Dual Energy CT Iodine Map for Distinguishing Benign and Malignant Pulmonary Nodules

Hongyong Wu, Tingshun Hui, Xue Long, Jie Wu, Qian Deng

Liupanshui People's Hospital

[Abstract] Objective: To explore the value of quantitative analysis parameters of dual energy CT iodine map in distinguishing benign and malignant pulmonary nodules. Method: A retrospective analysis was conducted on 104 patients with pulmonary nodules who visited Liupanshui People's Hospital from December 2024 to June 2025. The patients were divided into a benign group (n=73) and a malignant group (n=31) based on nodule pathology as the gold standard, and both groups underwent quantitative diagnosis using dual energy CT iodine imaging. Compare baseline data and quantitative parameters of dual energy CT iodine maps in patients with benign and malignant pulmonary nodules; Multivariate logistic analysis of factors influencing the occurrence of malignant pulmonary nodules; Using ROC analysis to quantify parameters of dual energy CT iodine map for the diagnosis of pulmonary malignant nodules. Result: There was no significant difference in baseline data (gender, age, smoking history, family history of tumors, nodule location, nodule diameter) between the two groups of pulmonary nodule patients ($P>0.05$). The IC and NIC in the arterial and venous phases of the malignant group were higher than those in the benign group ($P<0.05$). Logistic regression showed that arterial and venous phase IC and NIC were independent influencing factors for the occurrence of pulmonary malignant nodules ($P<0.05$). The ROC curve shows that the AUC of the combined diagnosis of arterial and venous IC and NIC for the occurrence of pulmonary malignant nodules is 0.834, with sensitivity and specificity of 84.12% and 83.76%, respectively, which are higher than those of quantitative parameters alone. Conclusion: The quantitative parameters of dual energy CT iodine map can be used to distinguish the nature of benign and malignant pulmonary nodules, and the combined application has high diagnostic efficiency.

[Key words] lung cancer; Benign nodules; Malignant nodules; Dual energy CT iodine map; Quantitative

引言

肺结节为直径 $\leq 3\text{cm}$ 的局灶性、类圆形或不规则形密度增高影，可为孤立性或多发性液。根据性质可分为良性及恶性。肺癌为全球高发及高死亡率的恶性肿瘤，其疾病负担沉重^[1]。研究报道，我国肺癌新发例数高达815563例，且其发病率呈上升趋势^[2]。且肺癌预后较差，因此，早期鉴别肺结节的良恶性对于及时干预肺癌及改善预后至关重要^[3]。目前影像学技术为临床常用鉴别技术，包括胸部X线、MRI、CT等，其中胸部X线对于小结节检出率较低，MRI主要提供定性参数，易出现漏诊误诊，CT技术逐渐成为肺结节鉴别重要技术^[4-5]。常规CT平扫虽然可提供影像学信息，但其主要为定性诊断^[6-8]。而双能量CT是通过同时使用两种不同能量的X射线扫描，可提供丰富组织对比度，其碘图定量分析可通过测量碘在结节内分布和浓度，更准确反映结节的血供特点，从而为肺结节良恶性鉴别提供重要依据^[9-11]。因此，本研究将对双能量CT碘图定量分析参数鉴别肺良恶性结节的效能进行分析，旨在为早期发现和准确诊断肺癌提供支持。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析六盘水市人民医院2024年12月至2025年6月就诊的104例肺结节患者，男性48例，女性56例，年龄范围27~81岁，平均年龄 (55.64 ± 8.74) 岁。纳入标准：满足《肺结节诊治中国专家共识（2018年版）》^[12]中肺结节相关标准，且经皮穿刺活检或手术切除明确病理结果；均经双能量CT碘图检查；首次检出肺结节；患者签署知情同意书。排除标准：合并肺结核及其他严重肺部疾病；有碘对比剂过敏史；既往有其他恶性肿瘤病史或治疗史；多发结节；存在CT碘图禁忌症；无法配合检查或有精神病史；妊娠期或备孕女性。

1.2 方法

1.2.1 分组方法

以结节病理为金标准分为良性组($n=73$)、恶性组($n=31$)，由病理科工作经验 ≥ 10 年医师共同确诊。

1.2.2 双能量CT碘图检查

仪器选择GE Revolution 256排CT。引导患者深吸气后屏气进行CT扫描，扫描范围由肺尖至肋膈角。先行常规平扫，参数设置：管电压/管电流120kV/自动调节，层厚/间距均5mm。再行增强扫描，经肘静脉注射对比剂碘海醇 (350mgI/mL) ，速率 3.5mL/s ，总量 60mL ，启动双能量模式，参数设置：管电压：80KVp与140KVp瞬时切换 $(0.25-0.5\text{ms})$ 切换周期，管电流：自动mA，约200-370mA，

于动脉期(30s)、静脉期(60s)进行扫描。扫描结束后将图像传输至后处理工作站AW47。采用能谱GSI Viewer 3D软件包进行图像重建，生成动脉期和静脉期的虚拟平扫图像以及碘图。于碘图选择肺结节实质中心层作感兴趣区，计算碘浓度(Iodine Concentration, IC)、标准化碘浓度(Normalized Iodine Concentration, NIC)，见图1。

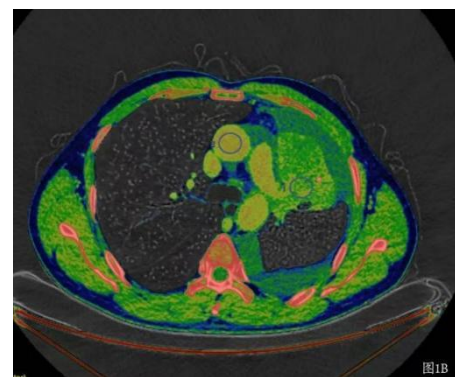
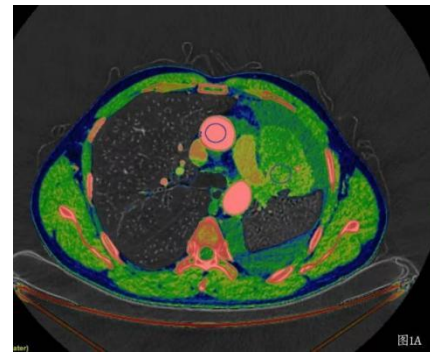


图1A为动脉期碘图，图1B为静脉期碘图，碘浓度(IC)为直接测量所得，标准化碘浓度(NIC)为病灶碘浓度与同层面动脉碘浓度的比值

1.3 统计学分析

SPSS 25.0处理数据。计数资料用 $n(\%)$ 表示，采用 χ^2 检验。计量资料用 $(\bar{x} \pm S)$ 表示，采用t检验。肺恶性结节发生的影响因素通过多因素Logistic分析；双能量CT碘图定量参数诊断肺恶性结节效能采用ROC分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 肺良恶性结节患者基线资料比较

两组肺结节患者基线资料(性别、年龄、吸烟史、肿瘤家族史、结节位置、结节直径)对比无差异($P > 0.05$)，见表1。

表1 肺良恶性结节患者基线资料比较 $[\bar{x} \pm S, n(\%)]$

指标	良性组 ($n=73$)	恶性组 ($n=31$)	t/χ^2 值	P值
----	-------------------	-------------------	-----------------	----

性别	男	34	14	0.018	0.895
	女	39	17		
年龄(岁)		55.45±8.67	56.02±8.89	0.304	0.761
吸烟史		18	7	0.051	0.821
肿瘤家族史		11	3	0.179	0.672
结节位置	左肺上叶	16	7	0.182	0.980
	左肺下叶	21	8		
	右肺上叶	12	6		
	右肺下叶	24	10		
结节直径(cm)		2.31±0.14	2.29±0.21	0.570	0.570

2.2 肺良恶性结节患者双能量 CT 碘图定量参数比较

恶性组动脉期及静脉期 IC、NIC 均高于良性组 ($P < 0.05$), 见表 2。

表 2 肺良恶性结节患者双能量 CT 碘图定量参数比较 ($\bar{x} \pm S$)

组别	例数	动脉期		静脉期	
		IC(mg/mL)	NIC (%)	IC(mg/mL)	NIC (%)
良性组	73	0.83±0.34	20.57±3.15	0.94±0.43	20.62±3.37
恶性组	31	1.56±0.45	26.48±4.23	1.75±0.62	27.94±4.25
t 值	-	9.063	7.871	7.656	9.353
P 值	-	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

2.3 肺恶性结节发生的多因素 Logistic 回归分析

以肺结节性质为因变量 (恶性=1、良性=0), 以患者动脉期及静脉期 IC、NIC (均以实测值代入) 作自变量进行 Logistic 回归, 结果显示, 动脉期及静脉期 IC、NIC 为肺恶性结节发生的独立影响因素 ($P < 0.05$), 见表 3。

表 3 肺恶性结节发生的多因素 Logistic 回归分析

变量	β	SE	Wald χ^2	P	OR	95% CI
动脉期-IC	0.431	0.304	5.861	<0.001	1.539	1.234~1.789
动脉期-NIC	0.428	0.290	5.724	<0.001	1.534	1.187~1.692
静脉期-IC	0.474	0.362	6.450	<0.001	1.606	1.302~1.901
静脉期-NIC	0.463	0.351	6.348	<0.001	1.589	1.234~1.789

2.4 双能量 CT 碘图定量参数对肺恶性结节的诊断效能

ROC 曲线显示, 动脉期及静脉期 IC、NIC 联合诊断肺恶性结节发生 AUC 为 0.834, 灵敏度及特异度分别为 84.12%、

83.76%, 均高于单独定量参数。见表 4。

表 4 双能量 CT 碘图定量参数对肺恶性结节的诊断效能

变量	AUC	截断值	95%CI	灵敏度 (%)	特异度 (%)	约登指数
动脉期-IC	0.691	1.14mg/mL	0.589-0.711	70.77	73.61	0.444
动脉期-NIC	0.682	22.37%	0.656-0.704	69.23	72.67	0.419
静脉期-IC	0.786	1.20mg/mL	0.728-0.822	74.69	76.39	0.511
静脉期-NIC	0.771	23.58%	0.749-0.811	73.13	75.03	0.482
联合	0.834	-	0.741-0.945	84.12	83.76	0.679

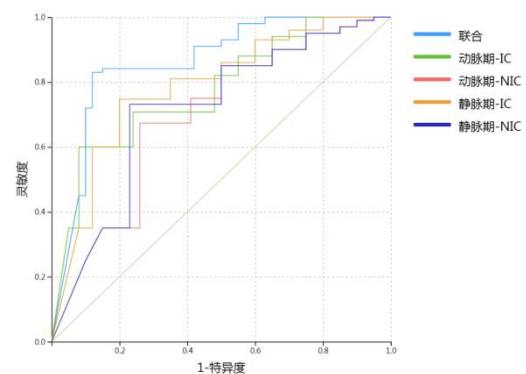


图 1 双能量 CT 碘图定量参数诊断肺恶性结节的 ROC 曲线

3 讨论

肺结节病理机制多与感染、免疫反应或先天性发育异常有关, 根据性质可分为良恶性结节, 不同性质结节的治疗方法 & 预后存在显著差异。良性结节一般给予药物治疗或定期随访观察, 具有良好预后; 而恶性结节可能需要手术切除、放疗化疗等综合治疗, 且预后相对较差, 而精准鉴别肺良恶性结节对于制定合理治疗方案及改善预后至关重要^[13]。临床实践中主要通过临床症状、活检、影像学检查等技术进行鉴别。临床症状因缺乏特异性, 难以作为诊断依据; 活检为诊断“金标准”, 但其存在创伤性、取样误差及并发症风险, 且部分患者因身体状况或结节位置等因素无法耐受。而影像学检查作为无创性诊断手段, 为重要辅助诊断技术, 包括胸片 X 线、MRI、CT 等技术。胸片 X 线受限于肺部气体干扰, 难以对肺结节有效评估; MRI 虽具有良好软组织对比度, 但对肺部病变的敏感性较低, 且检查时间长、费用高。而 CT 因其高分辨率、快速成像等优势, 逐渐成为肺结节诊断的常用技术, 尤其是双能量 CT 的出现, 可为肺结节定量技术诊断提供新思路^[14]。

CT 是利用 X 射线束围绕人体某部位旋转, 并经探测器接收透过人体的 X 射线信号, 通过计算机处理生成人体内部

结构横断面图像^[15-16]。其诊断原理基于 X 射线的衰减特性,不同组织对 X 射线的吸收程度不同,从而形成对比度差异,帮助诊断病变。该技术具有较高分辨率,可实现多层次扫描,判断肺结节性质^[17-18]。但常规 CT 技术仅通过密度差异难以区分病变的性质,且难以有效评估病变的血流灌注。而双能量 CT 借助两种不同能量的 X 射线束(高能、低能)对同一部位进行扫描,利用不同能量 X 射线在组织中的衰减差异,通过物质分离算法,从两种能量图像中提取碘成分,生成碘图,从而精准评估病变性质^[19]。其中增强扫描通过静脉注射碘对比剂,增强病变与周围组织对比度,辅助定性病变。而双能量技术可直接定量分析碘的分布及浓度,提供丰富组织特征信息,弥补常规 CT 平扫局限性。碘图即通过双能量 CT 技术生成的图像,可显示体内碘的分布情况,碘图亮度或颜色强度与碘浓度成正比,可直观反映组织中碘的含量,可获取 IC、NIC 等定量参数。IC 为单位体积组织中碘含量,其水平越高,说明组织中碘吸收越多,可反映病变血管化程度高。NIC 可消除个体差异影响,反映病变相对碘吸收^[20]。本研究显示,较良性组,恶性组动脉期及静脉期 IC、NIC 更高,且多因素显示,动脉期及静脉期 IC、NIC 为恶性结节独立影响因素。说明上述参数可有效区分肺部良性及恶性结节,为肺结节诊断提供精准数据。张厚丽等^[21]研究报道,碘浓度、密度等参数为肺恶性结节独立影响因素,与本研究结果一致。但该研究未对动脉期及静脉期不同 IC、NIC 参数进行分析,而本研究针对动脉期及静脉期定量参数进行综合评估,可更全面反映双能量 CT 变化特征。考虑原因为,恶性肺结节可分泌血管生成因子,促进新生血管形成,增加碘吸收;且肿瘤细胞代谢旺盛,需更多血液供应,导致动脉期碘浓度显著增加;肿瘤血管结构异常,通透性增加,促使碘对比剂更易进入肿瘤组织。恶性结节动脉期 IC、NIC 更高,反映其丰富动脉供血及快速血流灌注;动脉期可观察到肿瘤血管早期充盈情况,静脉期可能反映肿瘤血管的引流和血液回流情况。静脉期碘浓度也会增加,且相对动脉期增加幅度较大,可能与静脉期反映组织静脉回流,较动脉期识别度更高。

本研究亦显示,动脉期及静脉期 IC、NIC 均可用于肺恶性结节诊断,但其诊断灵敏度及特异度均 $<80\%$,而联合应用可提高诊断效能,且灵敏度及特异度均 $>80\%$,与林礼波等^[22]研究结果一致。考虑原因为,肺恶性结节在血管生成、血液灌注、组织代谢等方面与良性结节存在一定差异。碘对比剂在动脉期注入后,其在恶性结节中的分布情况将受到血管生成影响。恶性结节因新生血管较多,动脉期碘对比剂进入速度和量与正常组织或良性结节不同,从而导致 IC 差异。即使在标准化后,其 NIC 值也会因肿瘤内部血管异常分布(如血管迂曲、异常分支等)而与良性结节有所差异。IC、

NIC 可从定量的角度反映碘对比剂摄取和分布差异,从而用于鉴别肺良恶性结节。但单一定量参数仍存在一定局限性,IC 受个体差异影响,不同患者的血管容量、结节位置等因素均会影响 IC,血管容量较小可能导致对比剂相对集中,IC 水平偏高,易误诊为恶性结节,若结节靠近血管,动脉期 IC 易因为血管内的高碘浓度而被高估;若结节位于肺边缘部位,其碘对比剂的分布可能受到胸壁等因素干扰,导致 IC 测量不准确。虽然 NIC 进行标准化处理,但其在标准化过程中,可能因选择参考组织或参数不准确而引入误差。若参考组织本身存在病变或者对比剂分布不均匀,则 NIC 易出现定量结果不准确^[23]。而联合应用可从不同角度反映结节的碘对比剂摄取及分布情况,IC 提供绝对碘浓度信息,可直接反映结节在某一时刻碘含量,NIC 通过标准化处理,可消除个体差异等因素影响,提供相对稳定参数。因此临床实践中,可选择联合双能量 CT 碘图定量参数,辅助临床准确诊断肺良恶性结节性质,为患者积极治疗提供可靠依据。

综上所述,双能量 CT 碘图定量参数可用于鉴别肺良恶性结节性质,且联合应用诊断效能较高。然而,本研究仍存在样本量较小、缺乏多中心数据验证等局限性,未来研究应进一步扩大样本量,开展多中心研究,并结合其他影像学技术,以进一步优化双能量 CT 碘图定量参数在肺结节诊断中应用价值。

[参考文献]

- [1]Oliver AL. Lung Cancer: Epidemiology and Screening[J]. Surg Clin North Am,2022,102(3):335-344.
- [2]郭兰伟,蔡林,朱称心,等. 中国人群肺癌疾病负担分析[J]. 中华流行病学杂志,2024,45(5):626-632.
- [3]涂秀华,雷妹,俞慧琴,等. 老年非小细胞肺癌患者术后肺部并发症的影响因素及其短期预后研究[J]. 中华实验外科杂志,2024,41(8):1683-1686.
- [4]千博,钱伟军,李立,等. MRI 多 b 值 DWI 定量参数诊断实性肺结节良恶性的价值研究[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志,2025,23(1):63-65,81.
- [5]林卫勇,翁文俊. 肺结节良恶性鉴别特征及恶性磨玻璃结节浸润程度的鉴别诊断指标分析[J]. 实用临床医药杂志,2023,27(24):14-19.
- [6]Li WJ, Lv FJ, Tan YW, et al. Benign and malignant pulmonary part-solid nodules: differentiation via thin-section computed tomography[J]. Quant Imaging Med Surg,2022,12(1):699-710.
- [7]冯苏,张显文,万兵. 胸部 CT 影像特征联合血清 GRP78 和 CST1 对良恶性肺结节的诊断价值[J]. 临床肺科杂志,2024,29(6):829-833.

- [8]曹斌,陈笑艳. CT影像对肺部磨玻璃结节良恶性的诊断与分析[J]. 现代医学,2022,50(7):810-815.
- [9]Ha T, Kim W, Cha J, et al. Differentiating pulmonary metastasis from benign lung nodules in thyroid cancer patients using dual-energy CT parameters[J]. Eur Radio,2022 ,32(3):1902-1911.
- [10]卢治兰,王欢,何修勇,等. 双能量CT在良恶性肺结节鉴别诊断中的应用价值[J]. 陕西医学杂志,2021,50(3):305-307,311.
- [11]Yan H, Hua Y, Zhang T, et al. Differential Diagnosis of Preinvasive Lesions in Small Pulmonary Nodules by Dual Source Computed Tomography Imaging[J]. Comput Math Methods Med,2022,2022:6255024.
- [12]中华医学会呼吸病学分会肺癌学组,中国肺癌防治联盟专家组. 肺结节诊治中国专家共识(2018年版)[J]. 中华结核和呼吸杂志,2018,41(10):763-771.
- [13]马波,陈均,朱进,等. 采用MR扩散加权成像鉴别良、恶性孤立性肺结节病变的可靠性研究[J]. 中国CT和MRI杂志,2023,21(1):70-71.
- [14]Liang L, Zhang H, Lei H, et al. Diagnosis of Benign and Malignant Pulmonary Ground-Glass Nodules Using Computed Tomography Radiomics Parameters[J]. Technol Cancer Res Treat,2022 ,21:15330338221119748.
- [15]Zhan Y, Song F, Zhang W, et al. Prediction of benign and malignant pulmonary nodules using preoperative CT features: using PNI-GARS as a predictor[J]. Front Immunol,2024,15:1446511.
- [16]鄢骑兵,喻茂文,谭辉. 良恶性肺结节患者的CT影像学指标、血清学指标及呼出气体中VOCs的差异[J]. 影像科学与光化学,2023,41(1):147-152.
- [17]郑恒,彭昌勇,张昊,等. 64排CT支气管动脉双期扫描技术对肺结节的良、恶性诊断价值[J]. 分子影像学杂志,2021,44(2):314-320.
- [18]李露,王静,张解军. 增强双期CT成像参数联合血清癌胚抗原对肺亚厘米结节良恶性的预测价值[J]. 中国医药导报,2023,20(19):162-165.
- [19]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.
- [20]Jokerst C, Adler C, Gotway M, et al. Dual Energy Technique Adds Value to Solitary Pulmonary Nodule Analysis with Dynamic Contrast-Enhanced CT: A 100 Nodule Experience[J]. Curr Probl Diagn Radio,2023,52(1):25-30.
- [21]张厚丽,罗虎,王康,等. 采用双能CT构建肺结节良恶性预测模型及碘图定量参数的临床分析[J]. 中华肺部疾病杂志(电子版),2022,15(5):630-636.
- [22]林礼波,何长久,刘杰克,等. 联合双能量CT定量参数和形态学特征在鉴别良恶性肺实性结节的应用价值[J]. 放射学实践,2023,38(11):1392-1398.
- [23]黄曼,李大圣. 双能CT肺定量分析联合MRI对肺结节性质的鉴别研究[J]. 现代科学仪器,2021,38(3):174-181.

作者简介:

吴红勇(1981-),男,汉族,贵州省绥阳县,硕士研究生,六盘水市人民医院,副主任医师,主攻神经系统。