

良恶性肺结节影像学特征及定量参数的鉴别诊断价值*

刘军旗¹, 钱伟军¹, 李立¹, 赵文¹, 王亚军¹, 杨洁²

(1.河南省开封市中心医院 影像科, 河南 开封 475000; 2.河南大学第一附属医院 影像科, 河南 开封 475000)

摘要: **目的** 分析良恶性肺结节影像学特征及定量参数的鉴别诊断价值, 以提高诊断的准确性。**方法** 回顾性分析本院经手术及穿刺活检病理证实的 95 例恶性肺结节和 44 例良性肺结节为研究对象。分析良恶性肺结节 CT 征象及定量参数的差异, 并构建 Logistic 回归模型, 绘制受试者工作特征 (ROC) 曲线并计算出曲线下面积 (AUC) 鉴别肺结节的良恶性。**结果** 良恶性肺结节 CT 征象中支气管征、空泡征、棘突征、胸膜凹陷征差异无统计学意义 ($P>0.05$), 分叶征、毛刺征、血管束征差异有统计学意义 ($P<0.05$)。良恶性肺结节定量参数中病灶的长径、体积占比 (体积占比 <-300 HU、体积占比 $-300\sim 50$ HU、体积占比 >50 HU)、总体积、质量占比 (质量占比 <-300 HU、质量占比 $-300\sim 50$ HU、质量占比 >50 HU)、总质量、最大 CT 值、最小 CT 值、平均 CT 值、标准差、中位数差异无统计学意义 ($P>0.05$), 熵、偏度、峰度差异有统计学意义 ($P<0.05$)。Logistic 回归分析显示熵、偏度、峰度是鉴别良恶性肺结节的独立预测因子。ROC 曲线显示 CT 定量参数中鉴别诊断价值由高到低为熵的 AUC 为 0.918, 阈值为 8.28, 敏感度和特异度分别为 89.47%、88.64%; 偏度的 AUC 为 0.812, 阈值为 -0.95, 敏感度和特异度分别为 83.16%、75.00%; 峰度的 AUC 为 0.881, 阈值为 7.15, 敏感度和特异度分别为 88.42%、81.82%。**结论** 分叶征、毛刺征、血管束征是恶性肺结节重要的影像学特征; CT 定量参数中的熵、偏度、峰度鉴别良恶性肺结节的价值较大。

关键词: 良性肺结节; 恶性肺结节; CT 征象及定量参数; 鉴别诊断

中图分类号: R734.2; R814.42

Diagnostic value of imaging features and quantitative parameters of benign and malignant pulmonary nodules*

LIU Junqi¹, QIAN Weijun¹, LI Li¹, ZHAO Wen¹, WANG Yajun¹, YANG Jie²

(1. Imaging Department, Kaifeng Central Hospital of Henan Province, Kaifeng, Henan 475000, China; 2. Department of Imaging, the First Affiliated Hospital of Henan University, Kaifeng, Henan 475000, China)

Abstract: **[Objective]** The imaging features and quantitative parameters of benign and malignant pulmonary nodules were analyzed in order to improve the accuracy of diagnosis. **[Methods]** Totally 95 cases of malignant pulmonary nodules and 44 cases of benign pulmonary nodules confirmed by operation and puncture biopsy were analyzed retrospectively. The difference of CT signs and quantitative parameters of benign and malignant pulmonary nodules was analyzed, and the Logistic regression model was constructed, receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn, and area under curve (AUC) was calculated to distinguish benign and malignant pulmonary nodules. **[Results]** CT signs of benign and malignant pulmonary nodules showed no significant difference in bronchial sign, vacuole sign, spinous process sign and pleural depression sign ($P>0.05$). There were significant differences in the lobular sign, burr sign and vascular bunching sign ($P<0.05$). Quantitative parameters of benign and malignant pulmonary nodules including length diameter, volume ratio (volume ratio <-300 HU, $-300\sim 50$ HU, >50 HU), total volume, mass ratio (mass ratio <-300 HU, $-300\sim 50$ HU, >50 HU), total mass, maximum CT value and minimum CT value of the lesions, mean CT value, standard deviation and median had no statistical significance ($P>0.05$). The differences of entropy, skewness and kurtosis were statistically significant ($P<0.05$). Logistic regression analysis showed that entropy, skewness and kurtosis were independent

收稿日期: 2023-03-23

* 基金项目: 开封市科技发展计划项目 (2013046; 2303079); 河南省医学科技攻关计划联合共建项目 (LHGJ20220654)

[通信作者] 钱伟军, E-mail: 3029175291@qq.com

predictors of benign and malignant pulmonary nodules. ROC curve showed that the AUC of the differential diagnosis value from high to low was 0.918, the threshold was 8.28, and the sensitivity and specificity were 89.47% and 88.64%, respectively. The AUC of skewness was 0.812, the threshold was -0.95, and the sensitivity and specificity were 83.16% and 75%, respectively. The AUC of kurtosis was 0.881, the threshold was 7.15, and the sensitivity and specificity were 88.42% and 81.82%, respectively. **【Conclusion】** Lobular sign, burr sign and vascular bunching sign are important imaging features of malignant pulmonary nodules. The entropy, skewness and kurtosis of CT quantitative parameters are of great value in distinguishing benign and malignant pulmonary nodules.

Keywords: benign pulmonary nodules; malignant pulmonary nodules; CT signs and quantitative parameters; differential diagnosis

肺癌是全球发病率和死亡率增长较快的恶性肿瘤^[1]。随着低剂量多排螺旋 CT 和肺结节筛查软件的应用,早期无任何临床症状的肺癌被发现,CT 影像常表现为肺结节^[2]。肺结节可以是良性病变,也可以是恶性病变的早期或进展期,因此早期鉴别肺结节的良恶性、早期干预,早期治疗,对患者的生存及愈后至关重要。目前影像科医生根据肺结节的影像学特征及随访来鉴别肺结节的良恶性的报道较多,但是,由于影像科医生对影像学特征认识水平的差异常会造成误诊^[3-4]。本研究通过回顾性分析经病理证实的良恶性肺结节影像学特征及定量参数,探讨良恶性肺结节的鉴别诊断价值,以提高诊断良恶性肺结节的准确性。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取 2020 年 6 月至 2022 年 10 月开封市中心医院经手术及穿刺活检病理证实的 95 例恶性肺结节(肺腺癌 86 例、鳞癌 3 例、小细胞肺癌 4 例、神经内分泌癌 2 例)和 44 例良性肺结节(炎性结节 34 例、结核 6 例、炎性假瘤 2 例、硬化性肺细胞瘤 2 例)为研究对象。恶性肺结节中男 42 例,女 53 例;年龄 37~83 岁,平均(64.85±9.62)岁。良性肺结节中男 17 例,女 27 例;年龄 31~83 岁,平均(62.95±11.61)岁。139 例患者均为健康体检中被发现且无任何临床症状。纳入标准:①肺结节最大直径≤30 mm;②临床及影像资料齐全;③病理诊断明确。排除标准:①有肿瘤病史,怀疑转移者;②接受肿瘤治疗及放、化疗者;③图像伪影,影响诊断者。本研究经开封市中心医院伦理委员会审批通过(伦理编号:202106002),患者及家属均知情同意本研究。两组患者一般临床资料(性别、年龄)比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,见表 1。

表 1 良恶性肺结节患者一般临床资料及肺结节部位的比较

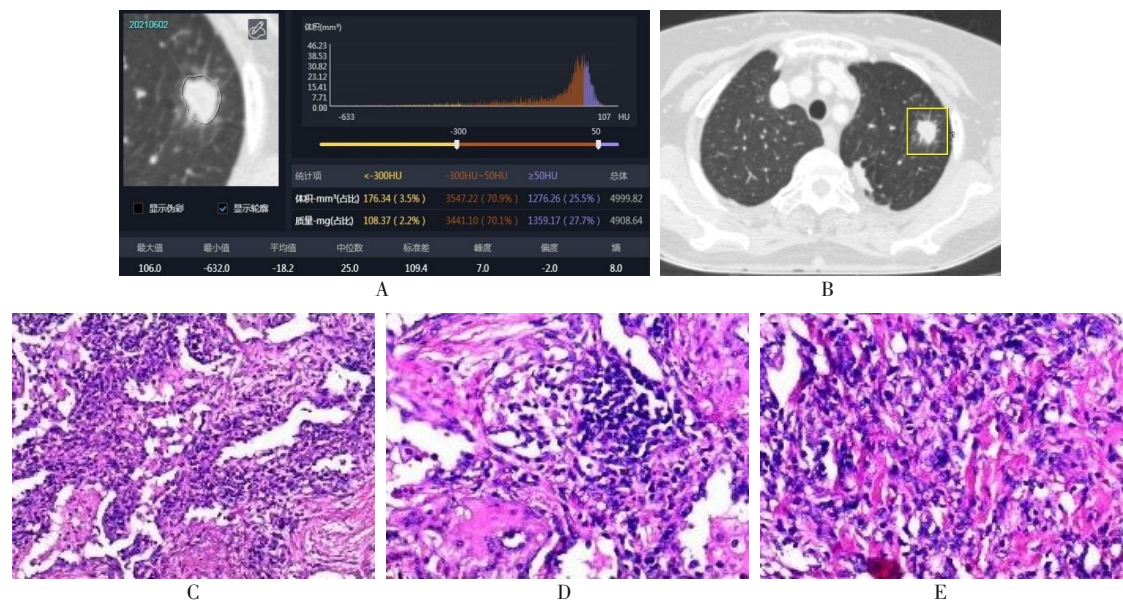
项目	良性肺结节	恶性肺结节	χ^2/t	P
性别/例				
男	17	42	0.382	0.536
女	27	53		
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	62.95±11.61	64.85±9.62	1.012	0.313
部位/例				
右肺上叶	16	31	0.313	0.989
右肺中叶	4	10		
右肺下叶	9	22		
左肺上叶	9	20		
左肺下叶	6	12		

1.2 研究方法

采用联影 16 排或东芝(Aquilion) 64 排低剂量螺旋 CT 常规扫描,患者取仰卧位,双手壁上举,头先进,扫描范围自胸廓入口至肋膈角以下(包括双侧肾上腺),常规扫描层厚 5 mm、层间隔 5 mm, 100 kV, 电流为 AutomA 自动调节,矩阵 512×512。患者呼气末,闭气薄层扫描。扫描结束后 1 mm 薄层重建。

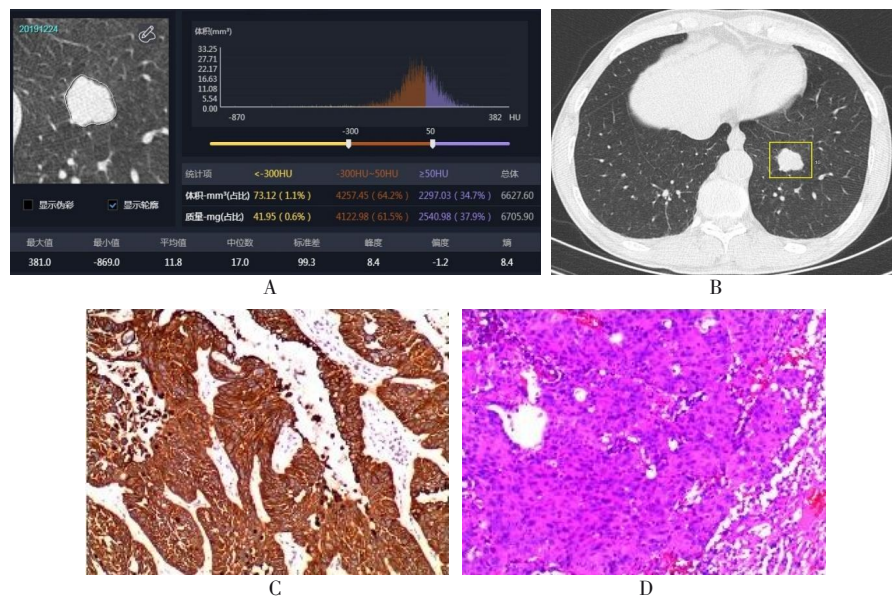
1.3 图像分析

所有 CT 图像由两位有高年资的诊断医师在联影人工智能辅助下共同阅片,意见不一致时,请科主任会诊共同协商达成共识。分析并记录结节部位及影像学特征(包括支气管征、空泡征、棘突征、胸膜凹陷征、分叶征、毛刺征、血管集束征)。将所有患者薄层 CT 图像导入联影公司开发的人工智能软件分析系统中,该系统自动生成各项 CT 定量参数[包括长径、体积占比(体积占比<-300 HU、体积占比-300~50 HU、体积占比>50 HU)、总体积、质量占比(质量占比<-300 HU、质量占比-300~50 HU、质量占比>50 HU)、总质量、最大 CT 值、最小 CT 值、平均 CT 值、标准差、中位数、熵、偏度、峰度]。见图 2、图 3。



患者，女，83岁，机化性肺炎。图A横断面CT肺窗显示最大直径18 mm实结节，浅分叶，毛刺征，图B为人工智能自动生成各项CT参数。图C~E病理图镜下示（左肺上叶）肺间质纤维化伴肉芽肿性炎，大量淋巴细胞及泡沫细胞聚集，部分肺泡结构破坏，间隔增宽，肺泡腔内大量纤维细胞伴黏液样变性。浸润性腺癌组织浸润支气管及肺实质，累及肺被膜未突破被膜，未见神经及脉管侵犯（×200，HE染色）。余肺组织间质纤维化，淋巴细胞浸润，肺泡腔泡沫细胞聚集。

图 2 典型病例一



患者，男，68岁，鳞癌。图A横断面CT肺窗显示最大直径24 mm实结节，浅分叶，图B为人工智能自动生成各项CT参数。图C~D病理（左肺下叶）浸润性非角化性鳞状细胞癌伴神经内分泌化。

图 3 典型病例二

1.4 统计学方法

使用 SPSS 21.0 软件处理数据。计量资料符合正态分布的以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，采用 t 检验；计数资料以百分率 (%) 表示，采用 χ^2 检验。行 Logistic 回归分析两组间有差异的变量预测肺结节的良恶性，绘制受试者工作特征 (ROC) 曲线图，选取阈值，获取曲线下面积 (AUC) 特

异度、敏感度。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 良恶性肺结节 CT 特征分析

支气管征、空泡征、棘突征、胸膜凹陷征差异无统计学意义 ($P > 0.05$)；分叶征、毛刺征、血管集束征差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 良恶性肺结节 CT 征象分析 (例)				
CT 征象	恶性肺结节	良性肺结节	χ^2	P
分叶				
有	90	30	17.970	<0.001
无	5	14		
毛刺				
有	79	27	7.890	0.005
无	16	17		
血管集束征				
有	27	4	6.484	0.011
无	68	40		
支气管征				
有	31	13	0.132	0.716
无	64	31		
空泡征				
有	8	7	1.752	0.186
无	87	37		
棘突征				
有	24	10	0.105	0.746
无	71	34		
胸膜凹陷征				
有	81	35	0.712	0.399
无	14	9		

2.2 良恶性肺结节 CT 定量参数比较

良恶性肺结节中病灶的长径、体积占比（体

积占比<-300 HU、体积占比-300~50 HU、体积占比>50 HU)、总体积、质量占比（质量占比<-300 HU、质量占比-300~50 HU、质量占比>50 HU)、总质量、最大 CT 值、最小 CT 值、平均 CT 值、标准差、中位数差异无统计学意义 ($P>0.05$)；熵、偏度、峰度差异有统计学意义 ($P<0.05$)，见表 3。

2.3 良恶性肺结节 CT 征象及定量参数 Logistic 和 ROC 曲线分析

Logistic 回归分析结果显示，以是否发生肺癌（赋值：是=1，否=0）为因变量，分叶征（赋值：是=1，否=0）、毛刺征（赋值：是=1，否=0）、血管集束征（赋值：是=1，否=0）、熵（赋值：实测值）、偏度（赋值：实测值）、峰度（赋值：实测值）为自变量进行分析。分叶征、毛刺征、血管集束征、熵、偏度、峰度为鉴别良恶性肺结节的重要因素，见表 4。根据 ROC 曲线分析结果熵、偏度、峰度对良恶性肺结节的预测有价值，见图 1。熵的 AUC 为 0.918，阈值为 8.28，敏感度和特异度分别为 89.47%、88.64%；偏度的 AUC 为 0.812，阈值为 -0.95，敏感度和特异度分别为 83.16%、75.00%；峰度的 AUC 为 0.881，阈值为 7.15，敏感度和特异度分别为 88.42%、81.82%。见表 5。

表 3 良恶性肺结节 CT 定量参数比较分析 ($\bar{x} \pm s$)				
参数	恶性肺结节	良性肺结节	t	P
长径/mm	20.67±5.51	20.80±6.10	0.117	0.907
熵	9.62±7.38	7.72±0.63	2.485	0.015
偏度	0.33±1.24	-1.23±1.26	6.843	<0.001
体积占比<-300 HU/mm ³	17.71±26.09	13.36±23.18	0.948	0.345
体积占比-300~50 HU/mm ³	60.26±22.05	59.96±21.26	0.075	0.940
体积占比>50 HU/mm ³	24.83±24.84	26.72±17.92	0.452	0.652
总体积/mm ³	6 521.06±6 610.12	7 139.05±8 871.71	0.458	0.647
质量占比<-300 HU/mg	14.18±22.90	9.60±19.95	1.142	0.255
质量占比-300 HU~50 HU/mg	61.18±20.99	59.88±20.80	0.342	0.733
质量占比>50 HU/mg	25.97±18.89	30.51±19.61	1.302	0.195
总质量/mg	6 272.36±7 000.21	6 843.78±8 772.22	0.412	0.681
最大 CT 值/HU	315.27±313.47	364.79±306.38	0.873	0.384
最小 CT 值/HU	-797.63±292.10	-813.11±310.82	0.285	0.776
平均 CT 值/HU	-104.89±178.04	-62.36±144.07	1.387	0.168
中位数	-83.36±195.18	-43.81±151.13	1.189	0.237
标准差	148.91±63.93	151.66±70.26	0.229	0.819
峰度	9.48±3.14	5.22±2.86	7.637	<0.001

表 4 CT 征象及定量参数 Logistic 分析

CT 征象	Wald χ^2	P	OR	95%CI
分叶	0.014	0.907	0.155	0.000~5.184
毛刺	3.290	0.070	0.004	0.000~1.557
血管集束征	1.188	0.276	0.192	0.010~3.726
熵	6.072	0.014	4 528.374	5.599~3 662 208.578
偏度	5.152	0.023	23.820	1.542~368.023
峰度	5.093	0.025	7.724	1.296~46.023

表 5 CT 定量参数对良恶性肺结节的诊断效能

AI 指标	AUC	最佳截断值	敏感性/%	特异性/%	95%CI
熵	0.918	8.28	89.47	88.64	0.861~0.974
偏度	0.812	-0.95	83.16	75.00	0.727~0.897
峰度	0.881	7.15	88.42	81.82	0.807~0.955

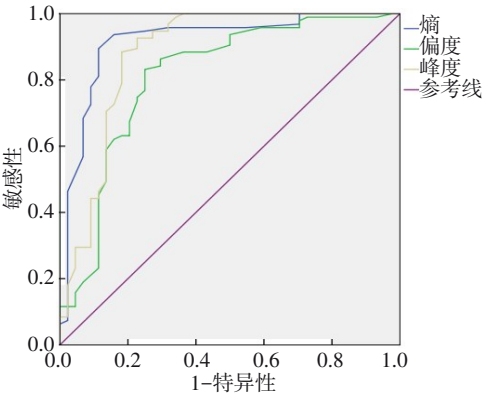


图 1 熵、偏度和峰度鉴别良恶性肺结节 ROC 曲线图

3 讨论

随着人民生活水平的提高，越来越多的人民选择健康体检，低剂量螺旋 CT 联合人工智能筛查软件的应用，使肺结节检出率也越来越高^[5]。因此，肺结节良恶性的鉴别尤为重要，明确诊断肺结节的良恶性既提高了患者的生存率及预后又减少了过度医疗。目前影像学特征对良恶性肺结节的鉴别有重要的价值^[6]，由于良恶性肺结节部分影像学特征重叠，影像科医生对影像学特征的认识水平的不同，难免会出现误诊。还有报道认为仅靠影像学特征鉴别良恶性肺结节阴性预测价值较低^[7]。本研究旨在通过分析影像学特征的差别及定量参数来提高鉴别良恶性肺结节能力。

本研究良恶性肺结节患者一般临床资料性别和发病年龄及结节部位比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)，与既往研究^[4-6]基本一致。恶性肺结节的分叶征、毛刺征、血管集束征明显多于良性肺结节，与国内外研究一致^[7-9]。SNOECKX 等^[8]认为分叶征指肺结节向各个方向生长速度不一，或周围结构阻挡形成，表明结节边缘具有侵袭性，与结节的恶性程度相关。本研究发现分叶越深，

恶性越大。毛刺征是由于淋巴管或肺血管阻塞、小叶间隔增厚和纤维化所致，对恶性结节有较高的预测价值。本研究中恶性结节表现为短细毛刺，而炎性结节表现为粗长毛刺，所以毛刺征在鉴别肺结节良恶性时要全面评估，避免误诊。血管集束征指单或多支增粗的血管向肺结节周边聚拢、移位，在病灶处贯穿或中断，形成原因是肿瘤的浸润性生长、肿瘤血管、瘤体内纤维化灶对肺部血管牵拉所致，SHI 等^[9]认为能间接反应了肺结节的恶性程度，但不是鉴别良恶性肺结节的独立危险因素，因此还有报道称血管集束征鉴别良恶性肺结节尚存争议^[7]。本研究发现恶性肺结节血管集束征增粗、扩张、扭曲、狭窄，边缘模糊，还要根据血管集束征的形态特点和分布特点来鉴别肺结节的良恶性。周维平等^[10]研究指出棘突征是分叶征和毛刺征之间的征象，CT 纵膈窗显示病灶边缘多个尖角突起呈锯齿状，也是恶性肺结节的主要征象，本研究显示棘突征鉴别良恶性肺结节无统计学意义。可能原因是本研究中部分磨玻璃、混合磨玻璃肺结节较小，纵膈窗显示不明显。胸膜凹陷征的 CT 表现为病灶与胸膜之间的线状或幕状影，形成原因是病灶内部纤维组织增生，肺不张导致胸膜凹陷、胸膜粘连增厚^[10]。国内外报道厚^[9, 11]胸膜凹陷征鉴别良恶性肺结节有一定价值与本研究不符，可能因为本研究恶性肺结节中部分磨玻璃、混合磨玻璃肺结节较小、收缩力较弱；良性肺结节与胸膜粘连较广，与叶间胸膜关系密切。支气管征在病灶内见含气体支气管穿行。空泡征是肺结节内点状透亮影，可以是单发或多发，大部分是病灶内坏死引起的。支气管征、空泡征在良恶性病变中都会出现。单文莉等^[12]报道支气管征、空泡征在良恶性孤立性肺结节间没有明显差异，与本研究一致。本研究显示恶性肺结节支气管征以支气管突然截断、管壁增厚、管腔变窄为主；良性肺结节支气管征以支气管受压，管壁增厚、官腔未见明显狭窄。Logistic 回归显示影像学特征均不是鉴别良恶性结节独立危险因素。SWENSEN 等^[13]研究认为分叶征是鉴别良恶性结节的独立危险因素。而 HERDER 等^[14]报道则相反。SHI 等^[9]认为血管集束征不是鉴别良恶性肺结节的独立危险因素，国内易芹芹等^[15]认为毛刺征、分叶征是恶性肺结节的独立危险因素。分析原因可能是本研究中的炎性结节、结核瘤较多，出现毛刺、分叶征、血管集束征征象较多，与肺结节个体差异较大，肺结节形态多样有关。

本研究显示熵、偏度、峰度鉴别良恶性肺结节有价值，还是鉴别良恶性肺结节的独立危险因

素,其诊断效能分别是熵 AUC 为 0.918,阈值为 8.28,敏感度和特异度分别为 89.47%、88.64%,依次是偏度为 AUC 为 0.812,阈值为-0.95,敏感度和特异度分别为 83.16%、75%;峰度的 AUC 为 0.881,阈值为 7.15,敏感度和特异度分别为 88.42%、81.82%。上述研究结果与国内外研究相同^[16-18]。但与迟淑萍^[18]部分观点不同。熵反应变量内部复杂程度,与肺结节内部不均匀程度及复杂程度成正相关,恶性肺结节较良性肺结节内部结构更复杂,密度更不均匀,所以熵值大,良性肺结节熵值小。偏度是反应变量的偏移程度,代表肺结节 CT 值分布的不对称性。峰度是反应变量的陡缓程度,代表肺结节 CT 值波动范围。偏度和峰度主要反映肺结节内部密度不均匀,恶性肺结节病理成分复杂,由于血管生成、黏液坏死的形成、细胞通透性的改变,CT 值变化较大,偏度和峰度值变大,而良性肺结节密度均匀,CT 值变化不大,偏度和峰度值小。本研究熵和峰度的阈值偏高,偏度低于国内外报道^[16,17],笔者认为可能与两组肺结节的内部结构及病理成分有关。

肺结节长径、体积占比、总体积、质量占比、总质量、最大 CT 值、最小 CT 值、平均 CT 值、标准差、中位数鉴别良恶性肺结节无统计学意义($P>0.05$)。与国内外报道^[16-20]一致,陈劼等^[21]研究报道结节体积比和质量比与肿瘤的恶性程度呈正相关,SHIKUMA 等^[22]认为实性成分体积比与腺癌亚型密切相关,与本研究不符。可能原因是本研究中部分恶性结节生长过程中纤维组织成分受侵破坏,肺泡塌陷,体积变小,而炎性结节肺纤维组织成分受侵未破坏,肺泡内充满炎性因子,体积变大。质量参数是反映肺结节体积及密度的变化^[21],本研究显示肺结节体积及密度鉴别良恶性肺结节无价值,所以质量参数在良恶性肺结节鉴别中价值不大。

综上所述,分叶征、毛刺征、血管集束征是鉴别良恶性肺结节的重要影像学征象。而 CT 定量参数是鉴别良恶性肺结节有效的补充手段,其中熵、偏度、峰度是鉴别良恶性肺结节重要参数,还是鉴别良恶性肺结节的独立危险因素,可为临床决策提供重要的参考价值。

参 考 文 献

- [1] SIEGEL RL, MILLER KD, FUCHS HE, et al. Cancer statistics, 2022[J]. CA A Cancer J Clin, 2022, 72(1): 7-33.
- [2] 李甜,李晓东,刘敬禹. 人工智能辅助诊断肺结节的临床价值研究[J]. 中国全科医学, 2020, 23(7): 828-831, 836.
- [3] 马景旭,陈欢,王红. 分析肺部影像人工智能诊断系统鉴别诊断肺结节性质[J]. 临床肺科杂志, 2021, 26(6): 842-846.

- [4] GONG J, LIU JY, HAO W, et al. A deep residual learning network for predicting lung adenocarcinoma manifesting as ground-glass nodule on CT images[J]. Eur Radiol, 2020, 30(4): 1847-1855.
- [5] 卓越,刘敬禹,李甜,等. 人工智能对肺结节定性诊断的效能及危险因素的分析[J]. 锦州医科大学学报, 2022, 43(4): 93-97.
- [6] 冯旭霞,张梅,吴丙琳,等. 高分辨 CT 联合血清 CEA、NSE 在鉴别诊断良恶性孤立性肺结节中的应用价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2020, 18(6): 38-40.
- [7] 郑丽钦,林群英. 孤立性肺结节良恶性危险因素研究进展[J]. 中国全科医学, 2018, 21(17): 2124-2129.
- [8] SNOECKX A, REYNTIENS P, DESBUQUOIT D, et al. Evaluation of the solitary pulmonary nodule: size matters, but do not ignore the power of morphology[J]. Insights Imag, 2018, 9(1): 73-86.
- [9] SHI CZ, ZHAO Q, LUO LP, et al. Size of solitary pulmonary nodule was the risk factor of malignancy[J]. J Thorac Dis, 2014, 6(6): 668-676.
- [10] 周维平,谷优玲,林速建,等. 肺孤立结节患者 CT 表现与患者血清中 CEA、CYFER21-1、NSE 及病理结果的关系[J]. 中国卫生检验杂志, 2019, 29(5): 596-598, 601.
- [11] 范真真,高鹏,董志辉. 320 排螺旋 CT 低剂量扫描对孤立性肺结节的诊断价值及恶性结节危险因素分析[J]. 医学影像学杂志, 2022, 32(5): 875-878.
- [12] 单文莉,柏根基,王亚婷,等. Lung-RADS 分级和 CT 征象诊断孤立性肺结节的价值[J]. 放射学实践, 2019, 34(3): 293-297.
- [13] SWENSEN SJ, SILVERSTEIN MD, ILSTRUP DM, et al. The probability of malignancy in solitary pulmonary nodules. Application to small radiologically indeterminate nodules[J]. Arch Intern Med, 1997, 157(8): 849-855.
- [14] HERDER GJ, VAN TINTEREN H, GOLDING RP, et al. Clinical prediction model to characterize pulmonary nodules: validation and added value of 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography[J]. Chest, 2005, 128(4): 2490-2496.
- [15] 易芹芹,周宙,黄国鑫. 基于 CT 表现的孤立性肺结节良恶性预测模型的研究[J]. CT 理论与应用研究, 2019, 28(6): 677-683.
- [16] 张娜,鄂林宁,吴山,等. CT 纹理分析技术鉴别良恶性孤立性肺结节[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(8): 1211-1215.
- [17] WANG H, GUO XH, JIA ZW, et al. Multilevel binomial logistic prediction model for malignant pulmonary nodules based on texture features of CT image[J]. Eur J Radiol, 2010, 74(1): 124-129.
- [18] 迟淑萍. CT 灰度直方图对实性肺结节的鉴别诊断价值[J]. 放射学实践, 2016, 31(9): 866-869.
- [19] 臧汉杰,郭浩东,王之悦,等. 良、恶性肺磨玻璃结节的 CT 鉴别诊断:形态学特征和 CT 纹理分析的对比研究及联合应用[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(4): 628-634.
- [20] DAVNALL F, YIP CSP, LJUNGQVIST G, et al. Assessment of tumor heterogeneity: an emerging imaging tool for clinical practice? [J]. Insights Imaging, 2012, 3(6): 573-589.
- [21] 陈劼,袁梅,仲艳,等. 亚实性结节 CT 定量分析对浸润性肺腺癌亚型的鉴别价值[J]. 实用放射学杂志, 2019, 35(6): 887-891.
- [22] SHIKUMA K, MENJU T, CHEN FS, et al. Is volumetric 3-dimensional computed tomography useful to predict histological tumour invasiveness? Analysis of 211 lesions of cT1N0M0 lung adenocarcinoma[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2016, 22(6): 831-838.

(张咏 编辑)