

论 著

基于穿刺活检引导下双层探测器光谱CT多参数成像对不同病理类型肺癌的鉴别价值*

左晓娜 曲红光 黄刚

马娅琼*

甘肃省人民医院放射科(甘肃兰州 730000)

【摘要】目的 探讨在穿刺活检引导下,利用光谱CT多参数成像对经病理证实的肺腺癌、肺鳞癌及小细胞肺癌的鉴别诊断价值进行评估。方法 回顾性分析了甘肃省人民医院2020年7月至2021年2月经肺穿刺活检并在双层探测器光谱CT上行胸部CT两期增强检查的84例肺癌患者的病理及影像学资料。比较非小细胞肺癌(NSCLC)与小细胞肺癌组(SCLC)以及肺鳞癌、肺腺癌、SCLC三组间常规CT值与光谱CT多参数值的差异及ROC曲线。结果 动、静脉期NSCLC与SCLC组的常规CT值及多个光谱参数值差异阳性($P<0.05$)。两两组间比较, SCLC组与肺腺癌组、肺鳞癌组动脉期的ID值、NID值、无水碘值及静脉期的常规CT值、K值、ID值、NID值、无水碘值、Zeff值差异阳性($P<0.05$); 动脉期SCLC组与肺鳞癌组的常规CT值、Zeff值, 与肺腺癌组的K值差异阳性($P<0.05$)。动、静脉期肺腺癌组与肺鳞癌组各参数值差异无统计学意义($P>0.05$)。动、静脉期NSCLC与SCLC组Zeff值的AUC均为最大(0.749, 0.841), 多个光谱CT参数值的AUC大于常规CT值的。结论 双层探测器光谱CT动、静脉期多参数成像可对NSCLC及SCLC进行鉴别诊断, 诊断效能优于常规CT值, Zeff值在动、静脉期的诊断效能最大。光谱CT多个参数值也可对SCLC与肺鳞癌、肺腺癌进行两两组间鉴别, 但不能鉴别肺鳞癌与肺腺癌。

【关键词】肺癌; 体层摄影术; X线计算机; 穿刺活检
【中图分类号】R445.3
【文献标识码】A
【基金项目】甘肃省自然科学基金(21JR7RA605)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2022.09.016

The Value of Dual-layer Detector Spectral CT Multi-parameter Imaging Base on Guidance by Puncture Biopsy in Differentiating Pathological Types of Lung Cancer*

ZUO Xiao-na, QU Hong-guang, HUANG Gang, MA Ya-qiong*

Department of Radiology, Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730000, Gansu Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the value of dual-layer detector spectral CT multi-parameter base on guidance by biopsy in differentiating pathological types of lung cancer. **Methods** From July 2020 to February 2021, Data of 84 pathologically confirmed patients of lung cancer were retrospectively analyzed. All of the patients underwent the dual-phase(arterial phase and venous phase)chest enhanced SDCT scanning within 3 days before biopsy. 84 patients with lung cancer. To compare the difference of Conventional CT value and spectral CT multi-parameter values and ROC curve between NSCLC group and SCLC group, lung squamous Cell Carcinoma, Lung Adenocarcinoma and SCLC were compared. **Results** Conventional CT value and All spectral CT parameter values had significant differences between NSCLC Group and SCLC Group in both arterial phase and venous phase(all $P<0.05$). Comparison between any two groups. ID, NID, iodine no-water of arterial phase and conventional CT value, K, ID, NID, iodine no-water, Zeff of venous phase in adenocarcinoma group and squamous cell carcinoma group were significant differences from those in small cell lung cancer group (all $P<0.05$). Conventional CT value, Zeff of arterial phase were significant differences in both SCLC group and squamous cell carcinoma group(all $P<0.05$). K of venous phase was significant differences in both SCLC group and adenocarcinoma group($P<0.05$). But all parameter values of arterial phase and venous phase there were no significant differences between adenocarcinoma group and squamous cell carcinoma group(all $P>0.05$). Analysis of ROC curve in NSCLC group and SCLC group: The ROC curves showed that In arterial phase and venous phase, The area under the curve (AUC) of Zeff was the largest, which was 0.749 and 0.841. AUC of multiple spectral CT parameter values were higher than conventional CT value. **Conclusions** Multi-parameter imaging of dual-layer detector spectral CT in the Arterial and venous phase can be used for the differential diagnosis of NSCLC and SCLC, and the diagnostic efficiency is better than that of conventional CT value, and the Zeff has the highest diagnostic efficiency in the Arterial and venous phase. Spectral CT parameters can also be used to differentiate SCLC from lung squamous cell carcinoma and lung adenocarcinoma in pairs. Spectral CT parameter values and conventional CT value could not distinguish squamous cell carcinoma from adenocarcinoma.

Keywords: Lung Cancer; Tomography; X-ray Computed; Puncture Biopsy

肺癌是肺部最常见的恶性肿瘤,也是我国发病率、死亡率最高的癌症之一^[1]。不同病理亚型肺癌的诊断、治疗及预后存在很大差异。胸部CT是肺癌诊疗中最主要的影像学检查手段,常规胸部CT平扫不能通过单一CT值的量化而有效鉴别各亚型肺癌,CT动态增强可以较好地反映肿瘤微循环定量灌注信息,只能初步鉴别肿块的良恶性^[2],但无法明确诊断肿瘤的病理分型^[3]。既往研究显示,宝石能谱CT成像(gemstone spectral imaging, GSI)碘基图、有效原子序数(Z-effective, Zeff)及单能谱斜率(K)是鉴别肺癌亚型的主要指标^[4-6]。基于穿刺针引导下选取感兴趣区(region of interest, ROI)研究不同病理亚型肺癌的光谱CT特征,保证了ROI选取的准确性,目前此方向的相关报道缺乏。本研究旨在探讨双层探测器光谱CT的常规CT值、K值、ID值、标准化碘密度(normalized iodine density, NID)值、无水碘值及Zeff值在鉴别不同病理亚型肺癌中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 患者资料 回顾性分析了2020年7月至2021年2月于甘肃省人民医院经穿刺活检证实为肺癌患者的影像和病理资料。

纳入标准:患者穿刺活检前3天内接受双层探测器光谱CT胸部两期增强扫描,包含动脉期、静脉期;经穿刺活检病理证实为肺腺癌、肺鳞癌和小细胞肺癌(small cell lung cancer, SCLC)。排除标准:穿刺活检病理显示未能取到癌组织或非单一病理组织细胞的肿瘤(如腺鳞癌);图像质量不佳,不能用于后处理分析。最终纳入84例肺癌患者,共84个经病理证实的病灶。按肺癌组织细胞类型分为三组,其中肺腺癌组32例,男18例,女14例,年龄36~72岁,平均年龄(60.19±9.88)岁。肺鳞癌22例,男14例,女8例,年龄43~83岁,平均年龄(65.97±8.13)岁。肺SCLC组30例,男24例,女6例,年龄52~77岁,平均年龄(63.32±10.21)岁,其中9例患者具有两个或两个以上病灶,但每位患者只取单一穿刺活检病灶。三组病例临床主要表现为咳嗽、咳痰、咯血等症状,见表1。

1.2 图像采集和重建方法 采用荷兰Philips Healthcare IQon Spectral CT行胸部两期

【第一作者】左晓娜,女,副主任医师,主要研究方向:肿瘤影像学。E-mail: 764407921@qq.com

【通讯作者】马娅琼,女,副主任医师,主要研究方向:介入影像学。E-mail: 13919193778@163.com

增强扫描。扫描范围自胸廓入口至两侧膈肌水平。扫描参数:管电压 120kVp, 采用管电流自动控制技术自动调节管电流(80-200 mAs), 准直器宽度 64×0.625mm, X线管旋转速度0.5s/周,螺距0.953。对比剂采用非离子型碘克沙醇(含碘320mgI/mL, GE healthcare ireland limited), 用量根据患者体重计算(1.0mL/kg), 注射速率3.5mL/s, 对比剂注射完成后, 以相同注射速率加注30mL生理盐水。对比剂注射后30s、60s分别采集动脉期及静脉期图像。CT图像采集完成后, 利用光谱数据重建生成全息光谱图像, 用于在 Philips IntelliSpace Portal 后处理工作站中获得常规 120kVp 混合能量图像(polyenergetic images, PI)、虚拟单能量(virtual monoenergetic images, MonoE)图、能谱曲线图、ID图、无水碘图及Zeff图。所有图像重建层厚为1.0mm, 层间距为0.7mm。

表1 不同病理亚型肺癌的分组资料

分组	例数	男	女	平均年龄(岁)
非小细胞肺癌组	54	32	22	61.46±10.04
肺小细胞肺癌组	30	24	6	65.97±8.13
肺腺癌组	32	18	14	60.19±9.88
肺鳞癌组	22	14	8	63.32±10.21
肺小细胞肺癌组	30	24	6	65.97±8.13

1.3 图像分析 由1名10年以上工作经验并能做穿刺活检的高年资放射科医师在动、静脉期以穿刺活检图像作参照, 选取与穿刺针进针路径相似层面, 沿穿刺针走行路径选取ROI, 每个病灶选取3个ROI并取其均值, ROI选取时要尽可能避开坏死、钙化、支气管及血管区域。同时在不改变ROI面积的情况下, 测量动脉期、静脉期ROI在40和70KeV的单能量CT值、常规120KVp混合能量CT值、ID值、无水碘值和Zeff值, 以单能级(CT40KeV-CT70KeV)值/30作为斜率(K), 以ID值/同层面主动脉的CT值作为NID值。

1.4 统计学分析 采用SPSS 26.0软件进行统计学分析。Kolmogorov-Smirnov检验验证计量资料是否符合正态分布, 正态分布的计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示, 偏态分布资料以中位数表示。采用独立样本T检验分析比较动脉期、静脉期非小细胞肺癌(non small cell lung cancer, NSCLC)与SCLC组的常规CT值、K值、ID值、NID值、无水碘值及Zeff值差异; 采用K个独立样本检验比

较动脉期、门静脉期肺腺癌、肺鳞癌、SCLC三组间上述参数值差异, 组间差异有统计学意义者, 采用Kruskal-Wallis法进行组内两两比较。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

经穿刺活检病理证实84例患者共送检84个肺癌病灶, 9例SCLC病例肺内具有2个及2个以上病灶, 但每位患者只取单一穿刺活检病灶, 余75个病例为单发病灶。

2.1 非小细胞肺癌与小细胞肺癌组 动脉期、静脉期NSCLC(肺腺癌+肺鳞癌)的常规CT值、K值、ID值、NID值、无水碘值及Zeff值均高于SCLC组, 两组间各参数值差异有统计学意义($P<0.05$), 见表2。

2.2 肺腺癌、肺鳞癌、肺小细胞肺癌组

2.2.1 肺腺癌、肺鳞癌、肺小细胞肺癌的常规影像学及光谱特征 图2~图10分别为肺鳞癌、肺腺癌、小细胞肺癌的静脉期ROI选取图、ID图和Zeff图。动、静脉期ROI选取以穿刺针走行路径为参照(如图1)。从增强图中很难清楚显示肿块实性和坏死区的境界, Zeff图可以清晰显示病灶坏死区域和坏死程度, 以不同伪彩进行染色区分, ID图能很好反映病灶强化的区域和强化程度, 三组不同病理类型的肺癌均以肿块形式表现, 常规影像学特征和强化方式近似, 不能有效鉴别病理类型。

2.2.2 三组间统计结果 静脉期肺腺癌组的常规CT值、K值、无水碘值高于肺鳞癌组, 余动、静脉期各参数值均表现为依次降低趋势, 三组间各参数值差异均有统计学意义($P<0.05$)。两两组间比较, SCLC组与肺腺癌组、肺鳞癌组动脉期的ID值、NID值、无水碘值及静脉期的常规CT值、K值、ID值、NID值、无水碘值及Zeff值差异有统计学意义($P<0.05$), SCLC组与肺鳞癌组动脉期的常规CT值、Zeff值差异有统计学意义($P<0.05$), SCLC组与肺腺癌组动脉期的K值差异有统计学意义($P<0.05$), 而肺鳞癌组与肺腺癌组间各参数值差异均无统计学意义($P>0.05$), 见表3。

2.3 NSCLC组与SCLC组ROC曲线结果分析 通过ROC曲线结果分析显示: 动脉期ID值、NID值、无水碘值及Zeff值的AUC大于常规CT值, K值的AUC与常规CT值基本接近; 静脉期K值、无水碘值及Zeff值的AUC均大于常规CT值。而静脉期所有参数值的AUC均大于动脉期的, 因此静脉期各参数值的诊断效能优于动脉期, Zeff值在动脉期及静脉期的诊断效能均为最优, 其在动脉期的特异度高于静脉期(90%/83.3%), 静脉期的敏感性高于动脉期(70.4%/53.7%), 见表4和图11~图12。

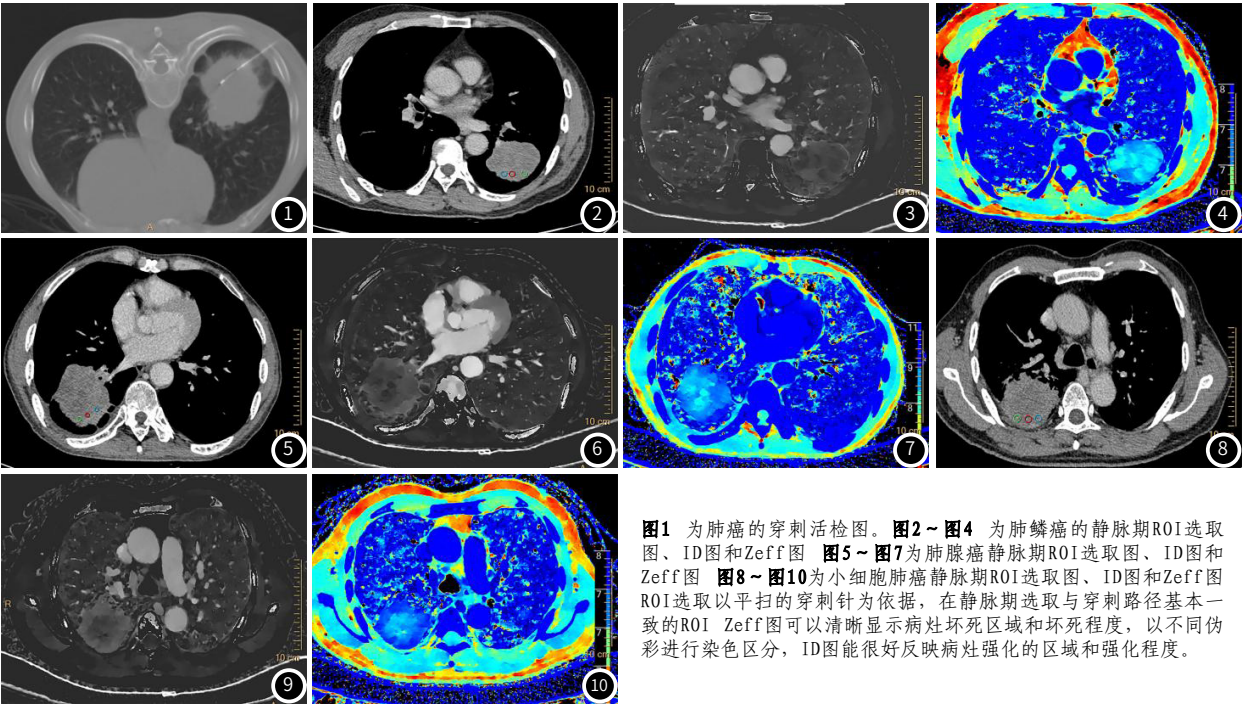


图1 为肺癌的穿刺活检图。图2~图4 为肺鳞癌的静脉期ROI选取图、ID图和Zeff图 图5~图7为肺腺癌静脉期ROI选取图、ID图和Zeff图 图8~图10为小细胞肺癌静脉期ROI选取图、ID图和Zeff图 ROI选取以平扫的穿刺针为依据, 在静脉期选取与穿刺路径基本一致的ROI Zeff图可以清晰显示病灶坏死区域和坏死程度, 以不同伪彩进行染色区分, ID图能很好反映病灶强化的区域和强化程度。

表2 动脉期、静脉期非小细胞肺癌组与小细胞肺癌组诊断指标比较

分组	例数	动脉期					
		常规CT值(HU)	K值	ID值(mg/mL)	NID值	无水碘值	Zeff值
非小细胞肺癌组	54	65.17±14.97	2.40±1.17	1.16±0.53	0.10±0.05	1.17±0.52	9.71±5.03
肺小细胞肺癌组	30	55.05±12.67	1.64±0.95	0.76±0.45	0.07±0.03	0.73±0.43	7.73±0.26
t		3.129	3.066	3.538	3.657	3.947	2.891
P		0.002	0.003	0.001	0.000	0.000	0.006

续表2

分组	静脉期					
	常规CT值(HU)	K值	ID值(mg/mL)	NID值	无水碘值	Zeff值
非小细胞肺癌组	70.28±12.09	2.52±0.73	1.24±0.37	0.32±0.10	1.28±0.40	9.78±5.04
肺小细胞肺癌组	56.14±11.34	1.62±0.64	0.81±0.32	0.23±0.09	0.80±0.32	7.77±0.19
t	5.248	5.653	5.342	4.247	5.588	2.929
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表3 动脉期、静脉期肺腺癌、肺鳞癌与小细胞肺癌组诊断指标比较

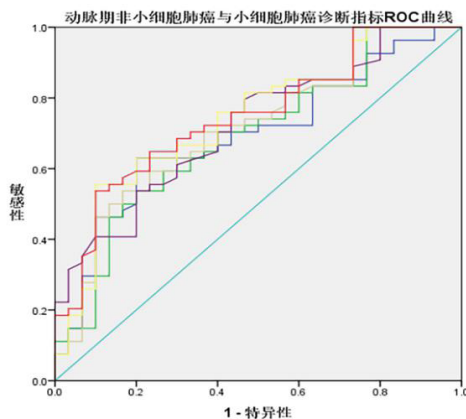
分组	例数	动脉期					
		常规CT值(HU)	K值	ID值(mg/mL)	NID值	无水碘值	Zeff值
肺鳞癌组	22	69.55±14.56	2.60±1.19	1.24±0.53	0.11±0.05	1.25±0.50	12.32±7.19
肺腺癌组	32	62.15±14.71	2.27±1.15	1.11±0.53	0.10±0.04	1.12±0.54	7.92±0.29
小细胞肺癌组	30	55.05±12.67	1.64±0.95	0.76±0.45	0.07±0.03	0.73±0.43	7.73±0.26
χ^2		11.757	9.438	11.510	11.986	14.378	19.471
P		0.003	0.009	0.003	0.002	0.001	0.000

续表3

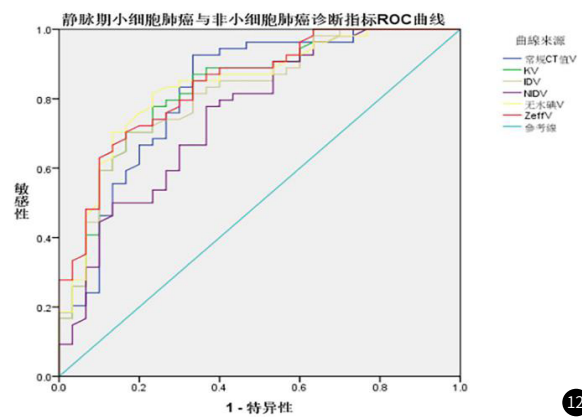
分组	静脉期					
	常规CT值(HU)	K值	ID值(mg/mL)	NID值	无水碘值	Zeff值
肺鳞癌组	69.35±11.00	2.45±0.52	1.25±0.27	0.34±0.09	1.25±0.31	12.35±7.23
肺腺癌组	70.92±12.92	2.58±0.85	1.23±0.43	0.32±0.10	1.29±0.46	8.01±0.21
小细胞肺癌组	56.14±11.34	1.62±0.64	0.81±0.32	0.23±0.09	0.80±0.32	7.77±0.19
χ^2	23.619	25.131	23.074	15.803	26.149	30.046
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表4 鉴别非小细胞肺癌与小细胞肺癌组阈值及敏感度与特异度

诊断指标	动脉期				静脉期			
	AUC	鉴别阈值	敏感度	特异度	AUC	鉴别阈值	敏感度	特异度
常规CT值	0.693	60.28	61.1%	80.0%	0.821	57.73	92.6%	66.7%
K值	0.691	2.29	50.0%	83.3%	0.831	1.96	70.4%	83.3%
ID值	0.716	1.21	50.0%	86.7%	0.815	1.03	70.4%	83.3%
NID值	0.721	0.10	53.7%	80.0%	0.755	0.25	77.8%	63.3%
无水碘值	0.743	1.20	55.6%	90.0%	0.838	0.94	81.5%	70.7%
Zeff值	0.747	8.03	53.7%	90.0%	0.841	7.91	70.4%	83.3%



11



12

图11~图12 分别为动脉期、静脉期常规CT值与光谱多个参数值鉴别NSCLC与SCLC的ROC曲线。曲线反映了动、静脉期多个光谱参数值的曲线下面积大于常规CT值的曲线下面积,动、静脉期Zeff值均为最大。

3 讨论

双层探测器光谱CT临床应用中国专家共识(第一版)^[7]指出CT能量成像能提供常规CT成像所不具备的多参数信息,在提高病变的检出敏感性和定性准确性、物质成分判定等方面具有优势,不同病理亚型肺癌其物质组成存在一定差异,常规CT成像是基于衰减系数来分辨密度差异,因此不同病理亚型肺癌的常规CT影像学特征存在交叉,不能进行病理分型诊断。双层探测器光谱CT可以通过上层与下层探测器分别接受低和高能谱射线,保证同源、同时、同向、同步获得图像数据信息^[8],研究显示,光谱CT 70 keV VMI图像具有较高信噪比(signal to noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast to noise ratio, CNR),且图像质量优于 120kVp 混合能量传统图像(conventional image, CI)^[9-10]。因此光谱CT利用多参数成像技术,可一次性获得形态学、常规CT值及光谱CT多个参数的诊断指标进行病变定量的鉴别诊断。目前已有光谱CT在不同病理亚型肺癌及肺癌转移淋巴结的研究报道^[11-12],但仅限于NSCLC与SCLC在能谱曲线斜率、NIC、40KeV单能量CT值、标准化动脉期强化分数的研究。

双层探测器光谱CT成像一次扫描可以获得常规CT图像、MonoE图像(包括40~200keV共161个能级)、Zeff图、碘密度图、无水碘图等多个成像参数。利用能谱曲线计算出的K反映了组织CT值的衰变规律。碘密度图对对比剂增强以后病灶内碘含量多少的变化非常敏感^[13-14],光谱CT的碘密度值和无水碘值均可定量分析肿瘤内碘含量的差异,间接反映了肿瘤内血流动力学的变化^[15]。Zeff^[16]作为一种反映物质成分新的光谱CT的定量指标,也正逐渐被用于临床病变的诊断中。本研究中,NSCLC组与SCLC组动、静脉期常规CT值与光谱CT各参数值差异均有统计学意义($P<0.05$),与陈盈等^[17]动脉期能谱CT的碘含量、有效原子序数、能谱斜率研究结果一致,但静脉期未做研究。NSCLC组各参数值均大于SCLC,与温青云等^[10]双层探测器能谱CT多参数成像在孤立性肺结节定性诊断中的应用价值研究结果一致,但本组鉴别NSCLC与SCLC最有效地诊断指标动、静脉期均为Zeff值,而非NIC,主要是温青云的研究指标中未纳入Zeff值。本组研究中动脉期除K值外所有参数指标的AUC均高于常规CT值, K值与常规CT值的AUC接近(0.691/0.693);静脉期K值、无水碘值、Zeff值的AUC高于常规CT值,说明引入对比剂增强后,光谱CT的多个参数值均较常规CT值更有鉴别价值,静脉期光谱CT各参数值的AUC均大于动脉期,说明静脉期的诊断效能优于动脉期,静脉期K值、ID值、无水碘值及Zeff值的敏感度和特异度均较高并效果接近。因此,利用光谱CT多参数成像可以鉴别NSCLC与SCLC,并且多个能谱参数的诊断效能优于常规CT值。

肺鳞癌、肺腺癌及SCLC三组间的常规CT值与光谱CT的各参数值差异均有统计学意义($P<0.05$),表明三组病理类型肺癌在细胞排列、组织结构紧密程度、微血管密度、细胞代谢活性间均存在差异,这可能与肺鳞癌及肺腺癌多生长缓慢,鳞癌多为堆积式生长,内部结构紧密,可存在角化及细胞间桥,而腺癌多为腺样分化,可出现黏液;SCLC与肺鳞癌、肺腺癌起源不同,恶性度高、生长快速,内部组织坏死不均匀有关。静脉期肺腺癌的常规CT值、K值、无水碘值高于肺鳞癌,说明静脉期肺腺癌的强化幅度大于肺鳞癌,这与高纪称^[18]等研究显示肺腺癌微血管密度高于鳞癌,增强后强化幅度高于鳞癌的结果一致;余动、静脉期各参数值均表现为肺鳞癌最高、SCLC最低,这与采用其他能谱CT的研究结果不同^[19-20],可能与样本ROI选取的位置不同有关,本组所有ROI的选择均参照CT穿刺活检图像,以穿刺针走行区域为选择点,保证ROI选取的有效性。因为肿瘤组织的异质性明显,常规CT平扫和增强检查并不能明确区分肿瘤的实性部分和坏死区,肺腺癌以均匀强化方式为主,肺鳞癌和小细胞肺癌易发生坏死,肺鳞癌以不均匀强化为主,而小细胞肺癌多以小片状不

均匀坏死为主,以“沼泽样”强化为特点。三组的两两组间比较,动、静脉期肺鳞癌与肺腺癌的各参数值差异均无统计学意义($P>0.05$),这与郁义星^[21]等能谱CT在鉴别肺腺癌、鳞癌和炎性肌纤维母细胞瘤中的价值结果一致。肺腺癌与SCLC组除动脉期常规CT值和Zeff值外,其余各参数值差异在动、静脉期均存在统计学意义($P<0.05$)。肺鳞癌与SCLC组除动脉期K外,其余各参数值差异在动、静脉期均存在统计学意义($P<0.05$),说明光谱CT多参数成像可以对肺鳞癌、肺腺癌与SCLC进行定量鉴别诊断。本研究存在一定的局限性:样本量小;未按病灶的分化程度进行分组研究;未纳入延迟期CT增强数据。这些将会在今后的研究中进一步完善。

综上所述,双层探测器光谱CT多参数成像在NSCLC与SCLC定量鉴别诊断方面具有重要的临床价值,诊断效能优于常规CT值,提高了不同病理亚型肺癌的诊断率。

参考文献

- [1]WU F, ZHOU H, LI F, et al. Spectral CT imaging of lung cancer: Quantitative analysis of spectral parameters and their correlation with tumor characteristics [J]. Acad Radiol, 2018, 25 (11): 1398-1404.
- [2]徐健. 动态增强CT鉴别孤立性肺结节的良、恶性 [D]. 北京: 中国协和医科大学, 2006.
- [3]Sudarski S, Hagelstein C, Weis M, et al. Dual-energy snap-shot perfusion CT in suspect pulmonary nodules and masses and for lung cancer staging [J]. European Journal of Radiology, 2015, 84 (12): 2393-2400.
- [4]李明英, 王广丽, 崔丁也, 等. 能谱CT成像对肺癌分型的初步研究 [J]. 山东大学学报(医学版), 2012, 50 (12): 73-76.
- [5]周静宜, 刘芸, 黄功柏, 等. 宝石能谱CT成像在不同病理类型肺癌分类诊断的价值探讨 [J]. CT理论与应用研究, 2017, 26 (3): 291-298.
- [6]任占丽, 贺太平, 张喜荣, 等. 能谱CT多参数成像在鉴别肺癌病理类型中的价值 [J]. 中国中西医结合影像学杂志, 2020, 18 (9): 486-501.
- [7]中华放射学杂志双层探测器光谱CT临床应用协作组. 双层探测器光谱CT临床应用中国专家共识(第一版) [J]. 中华放射学杂志, 2020, 7 (54): 635-643.
- [8]Doerner J, Hauger M, Hickett J, et al. Image quality evaluation of dual-layer spectral detector CT of the chest and comparison with conventional CT imaging [J]. Eur J Radiol, 2017, 93: 52-58.
- [9]Sudarski S, Apfalter P, Nance J W, et al. Optimization of kevsettings in abdominal and lower extremity dualsource dualenergy CT angiography determined with virtual monoenergetic imaging [J]. Eur J Radiol, 2013, 82 (10): e574581.
- [10]Rassouli N, Chalian H, Rajiah P, et al. Assessment of 70kev virtual monoenergetic spectral images in abdominal CT imaging: A comparison study to conventional polychromatic 120-kvp images [J]. Abdom Radiol (NY), 2017, 42 (10): 25792586.
- [11]温青云. 双层探测器能谱CT多参数成像在孤立性肺结节定性诊断中的应用价值 [D]. 沈阳: 中国医科大学, 2020.
- [12]高瑞. 双层探测器能谱CT定量参数在肺癌淋巴结转移评估中的应用价值. [D]. 沈阳: 中国医科大学, 2020.
- [13]Patel A A, Sutphin P D, Xi Y, et al. Arterial phase CTA replacement by a virtual arterial phase reconstruction from a venous phase CTA: Preliminary results using detectorbased spectral CT [J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2019, 42 (2): 250259.
- [14]Lohöfer F K, Kaissis G A, Köster FL, et al. Improved detection rates and treatment planning of head and neck cancer using dual-layer spectral CT [J]. Eur-Radiol, 2018, 28 (12): 49254931.
- [15]CHEN X, XU Y, DUAN J, et al. Correlation of iodine up take and perfusion parameters between dual-energy CT imaging and first-pass dual-input perfusion CT in lung cancer [J]. Medicine (Baltimore), 2017, 96 (28): e7479.
- [16]林晓珠, 沈云, 陈克敏. CT能谱成像的基本原理与临床应用研究进展 [J]. 中华放射学杂志, 2011, 45 (8): 798-800.
- [17]陈盈, 姚婷, 郑昊, 等. CT 能谱在原发性肺癌病理分型中的应用 [J]. 医学影像学杂志, 2016, 26 (7): 1222-1225.
- [18]高纪称, 王君琛, 梁占东, 等. 不同病理类型肺癌患者孤立性肺结节64排螺旋CT动态增强扫描特点分析 [J]. 山东医药, 2016, 56 (16): 23-26.
- [19]王朝军, 张蕾, 马霞, 等. 能谱CT在肺癌诊断及病理分型中的应用价值 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2018, 11 (3): 33-36.
- [20]叶若珊. 能谱CT多参数分析在评估肺癌病理分型及病理分级中的应用价值. [D]. 合肥: 安徽医科大学, 2018.
- [21]郁义星, 朱慧, 胡栗, 等. 能谱CT在鉴别肺腺癌、鳞癌和炎性肌纤维母细胞瘤中的价值 [J]. 中华放射学杂志, 2017, 51 (10): 756-760.

(收稿日期: 2022-02-04)