

◁胸部影像学▷

双源 CT 多期增强双能量成像对肺癌及肺炎性结节/肿块的鉴别诊断价值

李洁, 刘婷, 郭开灿, 谢非, 邹庆, 张仕勇, 马春

(德阳市人民医院, 四川 德阳 618000)

[摘要] 目的:探讨双源 CT 多期增强双能量成像在鉴别肺癌与肺炎性结节/肿块的应用价值。方法:对 42 例肺结节或肿块患者行双能量平扫及肺动脉期(PP)、主动脉期(AP)、静脉期(VP)及延迟期(DP)增强扫描。测量感兴趣区的平扫 CT 值、PP、AP、VP 及 DP 的标准化碘浓度(NIC)及 40 keV、100 keV 图像 CT 值,计算 PP、AP、VP 及 DP 的 40 keV 图像净增 CT 值(d_{CT})和 40~100 keV 区间的能谱曲线斜率(λ_{HU})。比较两组间各参数的差异并进行统计学分析。结果:经手术切除或穿刺活检病理证实,或通过临床诊治过程明确诊断,肺癌组 22 例、炎症组 20 例。PP、AP、VP 及 DP 的 NIC 值、CT 值_{40keV}、CT 值_{100keV} 炎症组均高于肺癌组;AP、VP 及 DP 的 d_{CT} 值及 λ_{HU} 炎症组高于肺癌组,PP 的 d_{CT} 值及 λ_{HU} 炎症组略低于肺癌组;炎症组与肺癌组比较,VP 及 DP 的 NIC 值、 d_{CT} 值差异有统计学意义($P<0.05$)。结论:多期增强双能量成像对肺癌与肺炎性结节/肿块的鉴别诊断具有较大的应用价值。

[关键词] 肺肿瘤;肺疾病;体层摄影术,螺旋计算机

[中图分类号] R734.2;R563.1;R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1008-1062(2025)02-0095-04

DOI:10.12117/jccmi.2025.02.005

Differential diagnosis of four phases enhancement dual energy CT imaging in lung cancer and inflammatory diseases

Li Jie, Liu Ting, Guo Kai-can, Xie Fei, Zou Qing, Zhang Shi-yong, Ma Chun
(Deyang People's Hospital, Deyang Sichuan 618000, China)

Abstract: Objective: To investigate the diagnostic value of four phases enhancement dual energy CT imaging in lung cancer and inflammatory diseases. **Methods:** Forty-two cases with pulmonary nodule or mass received both unenhanced CT scan and four phases (pulmonary phase, arterial phase, venous phase and delay phase) pulmonary enhanced CT scan in dual energy pattern. The value of unenhanced CT, normalized iodine concentrations (NIC), $CT_{40\text{keV}}$ and $CT_{100\text{keV}}$ of four phases were measured, net value (d_{CT}) in 40 keV CT images and energy spectrum curve slope (λ_{HU}) in 40~100 keV section of four phases were calculated. The spectrum parameters between the two groups were compared. **Result:** Among 42 cases, there were 22 of lung cancer, and 20 of inflammatory diseases. For the inflammatory diseases group, NIC, $CT_{40\text{keV}}$ and $CT_{100\text{keV}}$ of four phases, d_{CT} and λ_{HU} of arterial phase, venous phase and delay phase were higher than those of the lung cancer group, and d_{CT} and λ_{HU} of pulmonary phase were lower than those of the lung cancer group. Between the two groups, there were statistically significant differences in NIC and d_{CT} of venous phase and delay phase($P<0.05$). **Conclusion:** Four phases enhancement dual energy CT imaging is helpful in the diagnosis of inflammatory diseases and lung cancer.

Key words: Lung Neoplasms; Lung Diseases; Tomography, Spiral Computed

我国肺癌发病率居恶性肿瘤之首,提高肺癌生存率的有效方法是早发现、早诊断、早治疗^[1]。常规胸部 CT 是诊断肺内病变的主要影像手段,其仅限于对病变的大小、形态、边缘的形态学描述及 CT 值分析,但不同病变之间存在许多重叠的影像学征象,因此,肺内结节/肿块的鉴别诊断一直是肺部影像诊断的难点。相较于常规 CT,能谱 CT 可以提供更多参数成像(如不同能级单能量图、碘密度图、能谱曲

线等),并能进行多参数定量分析,为肺炎性结节与肺癌的鉴别诊断提供更丰富的信息。目前国内外已有不少研究报道能谱 CT 对于不同性质肺孤立性结节(肺癌、肺炎性结节、结核球)的应用价值^[2-10]。唐春耕等^[3]研究发现,肺炎性结节组的肺动脉期碘浓度(Iodine concentrations, IC)、IC 净增值、70 keV 图像的 CT 净增值(d_{CT})及主动脉期 IC、IC 净增值均高于肺癌组,差异具有统计学意义。郑小霞等^[4]等研究发

[收稿日期] 2024-05-21; **[修回日期]** 2024-05-30

[作者简介] 李洁(1989-),女,四川泸州人,主治医师。E-mail:jieli1303049@126.com

[通信作者] 马春,德阳市人民医院放射科,618000。E-mail:windeyesword@163.com

[基金项目] 四川护理职业学院自然科学课题(编号 2023ZRY17)。

现,肺癌、肺慢性炎症、肺结核动脉期及静脉期的 IC、标准化碘浓度(NIC)、能谱曲线斜率(λ_{HU})差异均有统计学意义,以上参数中肺原发恶性肿瘤组>肺慢性炎症组>结核组,而主动脉期(AP)及静脉期(VP)的常规 CT 值及虚拟平扫 CT 值差异无统计学意义。江德胜等^[9]研究发现,AP、VP 及延迟期(DP)的肺癌、肺炎及肺结核病变 NIC、CT 值_{40keV}以及 $\lambda_{HU(40-80keV)}$ 基本为炎性组最高,结核组最低;炎性组与肺癌组比较,仅在延迟期的 NIC 值及 CT 值_{40keV}差异有统计学意义。目前已有的研究大多是在动脉期、静脉期,少数研究选择肺动脉期(PP)、AP,或 AP、VP、DP 探讨能谱 CT 对肺结节的评估价值,而将 PP、AP、VP 及 DP 四个期相进行联合的研究未见报道。本研究设计在 PP、AP、VP 及 DP 四个期相进行双能量成像,以分析病灶的微循环情况,探讨双能量多期增强扫描对于鉴别肺癌和肺炎性结节的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集本院 2023 年 1—10 月因肺部占位行胸部 CT 平扫及增强扫描并符合纳入条件的患者 42 例。纳入标准:①肺内单发实性结节或肿块,直径约 1~5 cm,检查前未接受过任何治疗,且行胸部双能量 CT 检查后 1 月内行手术切除或穿刺活检明确病理诊断,或通过临床诊治过程明确病变性质的患者;②病灶密度较均匀,其内无较大的空洞、钙化、脂肪。排除标准:①肺弥漫性病变;②图像质量不佳,影响测量结果及诊断;③存在影响肺血供的疾病,如肺栓塞、心功能不全、胸主动脉夹层等。本研究经本院伦理审查委员会批准,并获得每个患者的书面知情同意书。

1.2 扫描方法

所有患者均使用西门子第三代双源 CT(Somatom Force;Siemens Healthcare,Forchheim,Germany)的双能量模式进行平扫及四期(PP、AP、VP 及 DP)增强扫描。扫描条件:参考管电压 90 kVp、Sn 150 kVp;参考管电流 60 mAs、46 mAs;球管旋转时间 0.25 s;螺距 1.0;重建 FOV 500 mm;准直器 192×0.6 mm;轴位图像的层厚为 7 mm,层间距均为 0.7 mm。首先行胸部平扫;然后,用高压注射器以 3.0 mL/s 速率给予 50~90 mL(1.0 mL/kg)非离子型碘对比剂(优维显 370 mgI/mL)。增强扫描采用触发模式,触发阈值为 100 HU,触发点置于肺动脉,达触发阈值后延迟 6 s 获得 PP,约 10 s 后进行 AP 扫描,约 30 s 后进行 VP 扫描,约 30 s 后进行 DP 扫描。为减低辐射剂量,PP、DP 可根据病灶大小及位置进行小范围扫描。将平扫、PP、AP、VP 及 PP 图像进行能谱薄层重建,CT

双能量成像重建采用高级迭代重建算法(ADMIR 重建算法),ADMIR 强度 3,层厚与层间距均为 0.75 mm。

1.3 图像后处理

扫描结束后,将原始图像传至 Force CT 后处理站(Syngo via, Siemens Healthcare Sector, Forchheim, Germany),在专用 Dual-Energy 软件中进行分析,选择“Chest(CA)”模式进行图像分析,得到碘分布图及虚拟平扫图,采用双盲法分别测量 PP、AP、VP、DP 病灶的 NIC、CT 值_{40keV}、CT 值_{100keV}。NIC 测量方法:在碘分布图上选择“双能量归一化对比”测量同层胸主动脉碘浓度,再选择“双能量 ROI”测量病灶碘浓度,软件可自动计算 NIC。感兴趣区(ROI)的勾画避开坏死、钙化及血管,同一患者 ROI 的大小和位置在各期尽量保持一致。为保证数据尽可能准确,所有数据测量均在连续 3 个 ROI 层面上,并取其平均值。计算病灶各期 40 keV 图像的 CT 净增值(d_{CT})及 40~100 keV 区间下的能谱曲线斜率(λ_{HU}),计算公式分别为 $d_{CT}=CT 值_{40keV}-CT 值_{平扫}$ 、 $\lambda_{HU}=(CT 值_{40keV}-CT 值_{100keV})/60$ 。

记录受检者胸部双能量 CT 检查中所接受的射线剂量,即剂量长度乘积(DLP,单位:mGy·cm)。有效辐射剂量(E)计算公式为 $E=k \times DLP$,根据欧盟委员会 CT 质量标准指南,胸部扫描时,k 值为 0.014 mSv/(mGy·cm)。计算获得原始数据组双能量扫描的辐射剂量。

1.4 统计学分析

采用 IBM SPSS Statistics 29.0 对所有数据进行统计学分析。计量资料符合正态分布则用 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间的比较采用独立样本 *t* 检验。偏态分布的计量资料用中位数(范围)表示,组间的比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。对差异有统计学意义的能谱参数纳入受试者工作特性曲线(ROC)分析,选择最佳诊断阈值计算灵敏度和特异度,分析各参数的诊断效能,并通过 Delong 检验比较其诊断效能。双侧 $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 病理结果

42 例中肺癌组 22 例(腺癌 16 例,鳞状细胞癌 6 例),均通过手术或经皮穿刺活检病理证实;炎性病变 20 例,其中 8 例由随访证实,其余 12 例由病理证实。

2.2 数据分析结果

肺癌组平扫 CT 值为(41.05±12.77) HU,肺炎组平扫 CT 值为(43.13±11.74) HU。增强各期能谱参数

值见表 1。PP、AP、VP 及 DP 的 NIC 值、CT 值_{40keV}、CT 值_{100keV} 炎性组均高于肺癌组；AP、VP 及 DP 的 d_{CT} 值及 λ_{HU} 炎性组高于肺癌组，PP 的 d_{CT} 值及 λ_{HU} 肺癌组略高于炎性组；炎性组与肺癌组比较，VP 及 DP 的 NIC 值、d_{CT} 值差异有统计学意义(P<0.05)(图 1~3)。差异具有统计学意义的能谱参数 ROC 曲线分析，结果见表 2。其中联合 VP 和 DP 的 NIC 值和 d_{CT}

值的诊断效能最高，AUC 为 0.768。根据 Delong 检验，各参数 AUC 差异无统计学意义(P>0.05)。本研究中 42 例受检者胸部双能量成像的 DLP=(354.028 3 ±67.925) mGy·cm，平均 E=(4.956±0.951) mSv。

3 讨论

能谱 CT 物质分离技术可以得到任意两种基物

表 1 PP、AP、VP 及 DP 各组病灶能谱参数

	PP					AP				
	NIC	CT 值 _{40keV}	CT 值 _{100keV}	d _{CT}	λ _{HU}	NIC	CT 值 _{40keV}	CT 值 _{100keV}	d _{CT}	λ _{HU}
肺癌组	0.07±0.07	72.04±11.38	45.82±11.50	30.99±13.50	0.44±0.13	0.17±0.11	105.27±29.50	66.23±15.06	53(48.29, 70.77)	0.50(0.49, 0.66)
肺炎组	0.09±0.03	73.89±11.98	48.34±12.37	30.76±9.16	0.43±0.16	0.21±0.06	106.30±15.50	68.32±9.88	63.17±15.98	0.63±0.25
P 值	0.162	0.69	0.437	0.95	0.802	0.117	0.91	0.62	0.182	0.571
	VP					DP				
	NIC	CT 值 _{40keV}	CT 值 _{100keV}	d _{CT}	λ _{HU}	NIC	CT 值 _{40keV}	CT 值 _{100keV}	d _{CT}	λ _{HU}
肺癌组	0.33±0.15	110.21±29.05	78.31±12.71	57.64(52.15, 74.92)	0.53±0.40	0.33±0.14	103.76±29.07	75.60±10.94	55.31(44.94, 66.04)	0.47±0.37
肺炎组	0.41±0.07	6.96±17.87	83.52±8.86	73.82±17.25	0.56±0.22	0.40±0.08	114.66±16.15	83.46±19.37	71.53±16.26	0.52±0.40
P 值	0.031	0.389	0.129	0.037	0.799	0.047	0.145	0.136	0.03	0.669

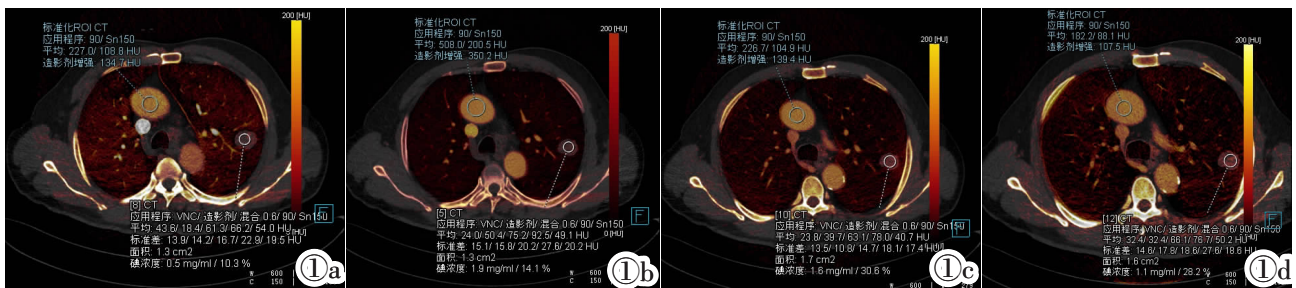


图 1 左肺上叶炎性结节。图 1a~1d 分别为 PP、AP、VP 及 DP 碘分布图。

Figure 1. An inflammatory nodule in the upper lobe of left lung. The dual energy CT imaging iodine-based material decomposition images(Figure 1a~1d) at PP, AP, VP and DP.

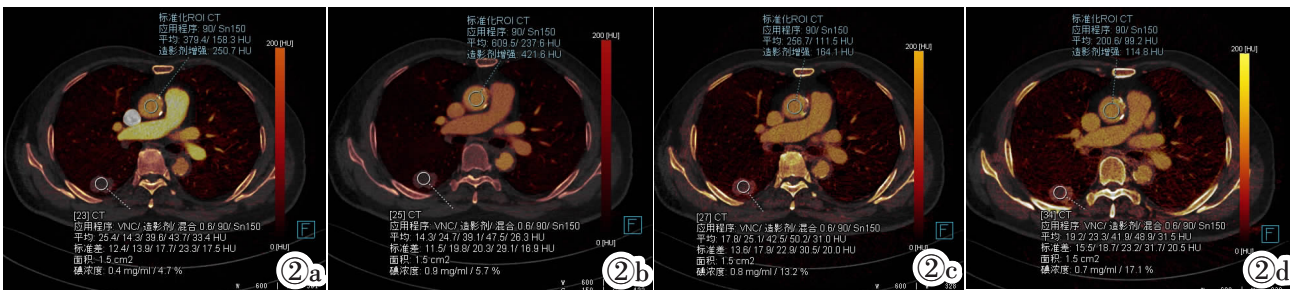


图 2 右肺下叶背段肺腺癌。图 2a~2d 分别为 PP、AP、VP 及 DP 碘分布图。

Figure 2. Adenocarcinoma in the inferior lobe of right lung. The dual energy CT imaging iodine-based material decomposition images (Figure 2a~2d) at PP, AP, VP and DP.



图 3 肺结节能谱曲线。图 3a:炎性结节能谱曲线。图 3b:肺腺癌能谱曲线。

Figure 3. Energy spectrum curves of pulmonary nodule(Figure 3a) and adenocarcinoma(Figure 3b) at PP, AP, VP and DP.

表 2 两组各能谱参数绘制的 ROC 曲线比较

诊断指标	AUC	阈值	敏感度	特异度
NIC(VP)	0.640	0.34	80%	50%
NIC(DP)	0.651	0.38	75%	64%
d _{CT} (VP)	0.689	59.37	95%	54%
d _{CT} (DP)	0.695	62.61	75%	77%
NIC+d _{CT} 联合	0.768	0.063	95%	50%

质对组成图像,如碘-水、碘-钙等。CT 增强对比剂的主要成分是碘,通过对碘分布图上病变碘含量的测量及分析,可以准确了解增强后病变的血容量和血管通透性情况,碘定量可作为器官灌注的代替物^[11-12]。由于病灶碘含量还受到对比剂量、注射速度、心功能等影响,故采取病变同一层面的胸主动脉内碘含量为对照,分析其标准化碘浓度,更能反映病灶真实的微循环情况。

本研究显示,炎性结节/肿块在 PP 及 AP 的 NIC 值、CT 值_{40 keV}、CT 值_{100 keV}及动脉期的 d_{CT} 值均高于肺癌组。炎性病灶由肺动脉和支气管动脉双重供血,血管结构正常,对比剂流通较快,同时炎症因子刺激局部血管扩张,管壁通透性增大,对比剂容易进入病灶内,且病灶内坏死组织少,故病灶碘含量较高,增强早期表现为明显、均匀强化^[13-14]。肺癌主要由支气管动脉供血,肿瘤可诱导产生大量血管生成因子,进而生成为大量新生血管,微血管密度增大,但癌细胞浸润血管可造成血管腔狭窄,癌细胞堆积可导致小血管闭塞^[15],从而影响造影剂的摄取,早期强化程度不及炎性病变。本研究中前述碘相关参数炎性组高于肺癌组,但差异无统计学意义,这是由于本研究炎性组包含了急性炎症及慢性炎症,慢性炎性有不同程度的肉芽组织及纤维化形成,组织结构致密,新生血管少,所以其强化程度低于急性炎性病变,而与肺癌重叠。VP 及 DP 炎性组 NIC、CT 值_{40 keV}、CT 值_{100 keV}及 d_{CT} 均高于肺癌组,且 VP 及 DP 的 NIC 值、d_{CT} 值差异有统计学意义。炎性病变内毛细血管丰富、迂曲,病灶内组织水肿压迫,致毛细血管内引流不畅,慢性炎症内组织结构致密,对比剂滞留时间较长,从而表现为 VP 及 DP 的持续强化^[9,16]。肺癌病灶内毛细血管网紊乱,对比剂在血管内流速减慢,肺癌血管发育不成熟,部分管壁受侵、破坏,对比剂透过基底膜进入组织间隙,故强化时间持续较长,但由于肿瘤组织易发生坏死,故强化不均匀,强化程度低于炎性组^[17]。本研究与江德胜等^[9]研究结果部分一致,其研究结果显示 AP、VP 及 DP 炎性组病变 NIC 值、CT 值_{40 keV} 值以及 $\lambda_{HU}(40-80 keV)$ 基本高于肺癌组,但肺炎组与肺癌组仅在 DP 的 NIC 值及 CT 值_{40 keV} 差异具有统计学意义。

单能量图像的 CT 值反映特定能量水平下 X 线穿过被检组织后所产生的衰减;单能量 CT 值与其所对应的能量水平间的变化关系在二维坐标系内构成曲线即为能谱曲线。由于结构和化学成分不同,每种物质都有特有的能谱曲线。肺炎与肺癌属于不同的病理类型,组织细胞结构差异大,因此能谱曲线表现不同。本研究之所以选择 40~100 keV 区间的能谱曲线,是因为 40~100 keV 区间能谱曲线走行陡峭,而在 100 keV 以上能谱曲线走行平直。增强后不同组织的能谱曲线的差异与不同组织内的含碘量有关,炎性病灶内碘含量较肺癌组高,能谱曲线较肺癌组陡峭, λ_{HU} 炎性组高于肺癌组,差异无统计学意义,但具有一定的统计学趋势。

本研究应用西门子第三代双源 CT 进行双能量平扫及四期增强扫描,AP 或 DP 根据病灶大小及位置进行小范围扫描,42 例受检者的平均 DLP=(354.028 3±67.925) mGy·cm,平均 E=(4.956±0.951) mSv。根据国家卫健委发布的《X 射线计算机断层摄影成年人诊断参考水平》,成年患者常规胸部 CT 平扫辐射剂量和诊断参考水平的 DLP 为 470 mGy·cm^[18],由此标准计算出有效辐射剂量为 6.58 mSv,本研究辐射剂量低于参考水平。

本研究存在以下不足:①肺癌及肺炎组样本量均较少,且肺炎组未区分急性炎症与慢性炎症,结果可能存在偏倚,后续将进一步增加样本量并将炎性组分为急性炎症组和慢性炎症组进行对比研究;②肺癌组内未对肺鳞癌与肺腺癌进行病理亚型区分,鳞癌与腺癌组织病理结构及组织成分存在差别,能谱参数可能存在差异,后续研究将按病理亚型进行分组研究。

综上所述,多期增强双能量成像对于肺癌及肺炎性结节/肿块的鉴别具有较大的临床价值,VP 及 DP 鉴别诊断意义更大,在保证低辐射剂量的条件下,可增加 DP 成像,提高肺癌与肺炎性病灶的鉴别诊断准确率。

【参考文献】

- [1]中华医学会呼吸病学分会. 早期肺癌诊断中国专家共识(2023 年版)[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2023, 46(1): 1-18.
- [2]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.
- [3]唐春耕,尹喜,王成伟. 能谱 CT 对炎性病变与肺癌的鉴别诊断价值[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2017, 11(4): 550-554.
- [4]郑小霞,马娅琼,熊晟原,等. 双层探测器光谱 CT 在肺原发性肿瘤、肺慢性炎症及肺结核鉴别诊断中的应用价值[J]. 解放军医学杂志, 2022, 47(11): 1133-1143.