

论 著 · 胸部

能谱CT低剂量增强扫描与肺腺癌肿瘤微血管密度及分化程度的关系*

陈富勇 郑绍昆 胡金余*

泸州市人民医院医学影像科

(四川 泸州 646000)

【摘要】目的 探究能谱CT低剂量增强扫描与肺腺癌肿瘤微血管密度及分化程度的关系。方法 选取我院2021年10月至2024年6月接收的60例疑似肺腺癌患者为研究对象，患者均进行能谱CT低剂量增强扫描，以病理学诊断结果为诊断金标准，比较常规增强重建、单个低能量(45 keV)重建两种重建方法对病灶的肿瘤微血管密度、体积增加百分比、最大CT值增加百分比、平均CT值增加百分比、标准差、肿瘤系数、背景强化等图像信息的识别情况，观察两种重建方法下病灶肿瘤血管聚集、毛刺、浅分叶的形态学特点，分析能谱CT低剂量增强扫描与肺腺癌肿瘤微血管密度及分化程度的关系。结果 45 keV重建所得的肿瘤微血管密度、体积增加百分比、最大CT值增加百分比、平均CT值增加百分比、标准差、背景强化均高于常规增强重建($P<0.05$)，45 keV重建所得的肿瘤系数低于常规增强重建($P<0.05$)。45 keV重建对肿瘤血管聚集、毛刺、浅分叶可见率高于常规增强重建($P<0.05$)。结论 能谱CT低剂量增强扫描可准确测量肺腺癌肿瘤微血管密度和病灶密度，了解肿瘤形态学特点，能为肺腺癌分化程度评估提供有利参考，值得临床应用推广。

【关键词】能谱CT；低剂量增强扫描；肺腺癌；肿瘤微血管密度；分化程度

【中图分类号】R563

【文献标识码】A

【基金项目】泸州市科技计划项目(2022-SYF-77)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.10.017

Relationship between Low-dose Enhanced Scan of Energy Spectrum CT and Microvessel Density and Differentiation Degree of Lung Adenocarcinoma*

CHEN Fu-yong, ZHENG Shao-kun, HU Jin-yu*

Department of Medical Imaging, Luzhou People's Hospital, Luzhou 646000, Sichuan Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the relationship between low-dose enhanced scan of energy spectrum CT and microvessel density and differentiation degree of lung adenocarcinoma. **Methods** 60 patients with suspected lung adenocarcinoma in the hospital were selected from October 2021 to June 2024 as the research subjects. All patients underwent low-dose enhanced scan of energy spectrum CT. The pathological diagnosis was used as the gold standard for diagnosis, and the conventional enhanced reconstruction and single low-energy (45 keV) reconstruction were compared for the identification conditions of tumor microvascular density, volume increase percentage, maximum CT value increase percentage, average CT value increase percentage, standard deviation, tumor coefficient, background enhancement and other image information. The morphological characteristics of tumor vascular aggregation, spicule sign and shallow lobulation under the two reconstruction methods were observed. The relationship between low-dose enhanced scan of energy spectrum CT and microvessel density and differentiation degree of lung adenocarcinoma was analyzed. **Results** The tumor microvessel density, volume increase percentage, maximum CT value increase percentage, average CT value increase percentage, standard deviation and background enhancement of 45 keV reconstruction were higher than those of conventional enhanced reconstruction ($P<0.05$) while the tumor coefficient was lower than that of conventional enhanced reconstruction ($P<0.05$). The visible rates of tumor vascular aggregation, spicule sign and shallow lobulation of 45 keV reconstruction were higher than those in conventional enhanced reconstruction ($P<0.05$). **Conclusion** Energy spectrum CT low-dose enhanced scan can accurately measure the tumor microvessel density and lesion density of lung adenocarcinoma, understand the morphological characteristics of tumors, and provide a favorable reference for the evaluation of differentiation degree of lung adenocarcinoma.

Keywords: Energy Spectrum CT; Low-dose Enhanced Scan; Lung Adenocarcinoma; Tumor Microvessel Density; Differentiation Degree

肺癌作为临床常见的恶性肿瘤之一，近年来其发病率一直呈上升趋势，多与吸烟、环境污染、职业接触等因素有关^[1]。其中肺腺癌属于肺癌中占比高且预后较好类型之一，由于肺腺癌转移、扩散较晚，未发生周围组织浸润前可通过外科手术根治，发生周围组织浸润后则需通过综合治疗方法以控制癌症^[2]。早期识别、治疗、诊断肺腺癌分化程度对患者具有重要意义。有研究表明，肿瘤新生血管生成使肿瘤生长、转移的基本条件，也是确保肿瘤增殖、营养供应和代谢物排出的生理基础，肿瘤病灶的影像学特点和病理分型与肿瘤内微血管密度密切相关^[3-4]。早期肺腺癌以部分实性结节为主，增强CT扫描时其强化幅度不明显，难以评估准确识别，加之辐射量较大，现阶段临床多选择低剂量CT以判断肺结节情况^[5]。本研究希望利用能谱增强CT中的低能量图，更敏感地发现轻微的强化，更准确地观察肿瘤内微血管形成的情况，进而提高对肺腺癌的诊断、分期及形态学变化判断的准确率，现有如下报道。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取我院2021年10月至2024年6月接收的60例疑似肺腺癌患者为研究对象，纳入标准：经影像学检查，肺内存在结节影，考虑早期肺腺癌可能；年龄在18岁以上；患者资料完整，且均进行能谱CT低剂量增强扫描。排除标准：合并其他恶性肿瘤患者；有肺部切除手术史；放化疗患者。其中包括男性患者26例，女性患者34例，28例患者有咳嗽、咳痰症状，12例患者存在吸烟史，患者年龄42~77岁，平均年龄(58.80±8.11)岁；脑力工作24例，体力工作36例；6例未做癌胚抗原检测，其余患者癌胚抗原水平在0.61~4.33ng/mL范围内，白细胞数值在3.33~14.08×10⁹/L范围内，中性粒细胞数值在1.61~12.45×10⁹/L范围内；34例无肺气肿改变，26例有肺气肿改变。

1.2 方法 CT数据采集：使用美国GE公司Revolution 256层螺旋CT机行平扫和增强扫描。患者取仰卧头先进体位，扫描范围：胸廓入口至肋膈角；扫描参数：探测器宽度0.625mm，螺距0.975，扫描速度每转0.5s，电压80~120KV瞬间切换，Auto mA。重建层厚1.25mm、间隔1.25mm标准算法(纵隔窗)图像，重建矩阵512×512。增强扫描采用非离子型对比剂(350mgI/mL或400mgI/mL)75~100mL，经肘静脉团注，流速3~4 mL/s，采用阈值触发，感兴趣区位于降主动脉，阈值150HU，延迟8秒扫描动脉期，动脉期后延

【第一作者】陈富勇，男，主治医师，主要研究方向：胸腹部影像诊断。E-mail: cfy94421341@163.com

【通讯作者】胡金余，男，主治医师，主要研究方向：胸腹部影像诊断。E-mail: hjy01234560523@163.com

迟45秒扫描静脉期，必要时扫描病灶区域延迟期。

肺结节的后处理及重建：在GE AW4.7后处理工作站上导入相关数据，在肺结节分析软件上手动寻找目标肺内结节，排除结节周围大血管及正常肺组织，描绘出结节在肺窗上各期的大小及形态，对结节进行自动分割，记录常规增强重建、单个低能量(45 keV)重建下对病灶体积增加百分比、最大CT值增加百分比、平均CT值增加百分比、标准差、肿瘤系数、背景强化等图像信息；同时利用VR和MPR图像分析病灶图像内肉眼可见的小血管，部分病灶的粗大血管需手动编辑取出，记录其数量、形态学特点。

对肺结节进行良恶性评价并给出相应建议：将肺结节处理后的图像传入PACS系统供影像诊断医生评价，通过一个主治医师和一个副主任医师共同对肺结节“肿瘤微血管”形成情况做出总结，对结节的良恶性及分期给出相应建议。

1.3 观察指标

1.3.1 病理学诊断^[6]：切除病灶部分的部分肺叶、肺段或结节等组织，行病理学检测和免疫组化分析，确定病灶病理类型。以病理学诊断结果为诊断“金标准”，比较常规增强重建、单个低能量(45 keV)重建两种重建方法对病灶的肿瘤微血管密度、体积增加百分比、最大CT值增加百分比、平均CT值增加百分比、标准差、肿瘤系数、背景强化等图像信息的识别情况。

1.3.2 比较常规增强重建、45 keV重建下病灶肿瘤血管聚集、毛刺、浅分叶的形态学特点。

1.3.3 分析能谱CT低剂量增强扫描与肺腺癌肿瘤微血管密度及分化程度的关系。

1.4 统计学分析 数据采用SPSS 23.0软件行统计学分析，计数资料以[n(%)]表示，采用 χ^2 检验，满足或近似满足正态分布的计量

资料以($\bar{x} \pm s$)表示，采用t检验，非正态分布的计量资料以中位数(四分位间距)表示，采用Mann-Whitney U秩和检验， $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 结节性质及病理检查结果 60例疑似肺腺癌患者结节性质：部分实性结节39例、纯磨玻璃结节10例、实性结节11例。

60例疑似肺腺癌患者病理诊断结果：慢性炎症11例，原位腺癌8例，原位癌4例，微浸润性腺癌10例，浸润性腺癌6例，高分化腺癌2例，鳞癌2例，腺癌17例。

2.2 两种重建方法对病灶图像信息的识别情况比较 45 keV重建：体积增强百分比范围为-25.6%~98.50%，最大CT值增加百分比范围为6.60%~83800.00%，平均CT值增加百分比范围为-7.80%~181.10%，标准差范围为-22.50%~65.50%，肿瘤系数范围为-0.33~0.16，背景强化范围为18HU/1.80%~143HU/18.70%。常规增强：体积增强百分比范围为-38.80%~24.80%，最大CT值增加百分比范围为-150.00%~6200.00%，平均CT值增加百分比范围为-95.90%~57.80%，标准差范围为-25.90%~32.60%，肿瘤系数范围为-0.21~0.21，背景强化范围为1HU/0.10%~134HU/12.40%。45 keV重建所得的肿瘤微血管密度、体积增加百分比、最大CT值增加百分比、平均CT值增加百分比、标准差、背景强化均高于常规增强重建($P<0.05$)，45 keV重建所得的肿瘤系数低于常规增强重建($P<0.05$)。见表1。

2.3 两种重建方法病灶形态学特点比较 45 keV重建对肿瘤血管聚集、毛刺、浅分叶可见率高于常规增强重建($P<0.05$)。见表2。

表1 两种重建方法对病灶图像信息的识别情况比较(n=60)

重建方法	肿瘤微血管密度	体积增加百分比(%)	最大CT值增加百分比(%)	平均CT值增加百分比(%)
45 keV重建	5.47±1.42	6.20(0.40, 20.80)	203.50(62.10, 761.10)	20.20(13.85, 33.35)
常规增强重建	2.35±0.75	1.75(-10.80, 9.90)	4.70(-35.85, 96.15)	5.45(0.50, 10.70)
t/Mann-Whitney U	15.049	2.627	5.642	6.629
P	<0.001	0.008	<0.001	<0.001

续表1

重建方法	标准差(%)	肿瘤系数	背景强化(HU)	背景强化(%)
45 keV重建	16.50(6.00, 34.20)	-0.11(-0.20, -0.02)	80.00(59.00, 108.00)	8.35(6.40, 11.60)
常规增强重建	-0.50(-8.25, 9.10)	0.00(-0.08, 0.06)	42.50(31.00, 63.50)	4.75(3.40, 6.40)
t/Mann-Whitney U	5.889	4.505	5.225	5.582
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表2 两种重建方法病灶形态学特点比较[例(%), n=60]

重建方法	血管聚集		毛刺		浅分叶	
	可见	无	可见	无	可见	无
45 keV重建	42(70.00)	18(30.00)	31(51.67)	29(48.33)	48(80.00)	12(20.00)
常规增强重建	28(46.67)	32(53.30)	17(28.33)	43(71.67)	36(60.00)	24(40.00)
χ^2	6.720		6.805		5.714	
P	0.009		0.009		0.016	

2.4 经典案例 图片编号1326578。病变部位：右肺上叶。标本类型：肺叶切除标本。组织学类型：腺癌(贴壁型)。肿瘤体积：1.6cm × 1.1cm × 1cm。组织学分级：高分化。见图1、图2。

图片编号553131。病变部位：左肺上叶。标本类型：楔形切除。组织学类型：腺癌(腺泡型为主，约30%实体型)。肿瘤大小：1.4cm × 1.1cm × 0.7cm。组织学分级：低分化。见图3、图4。

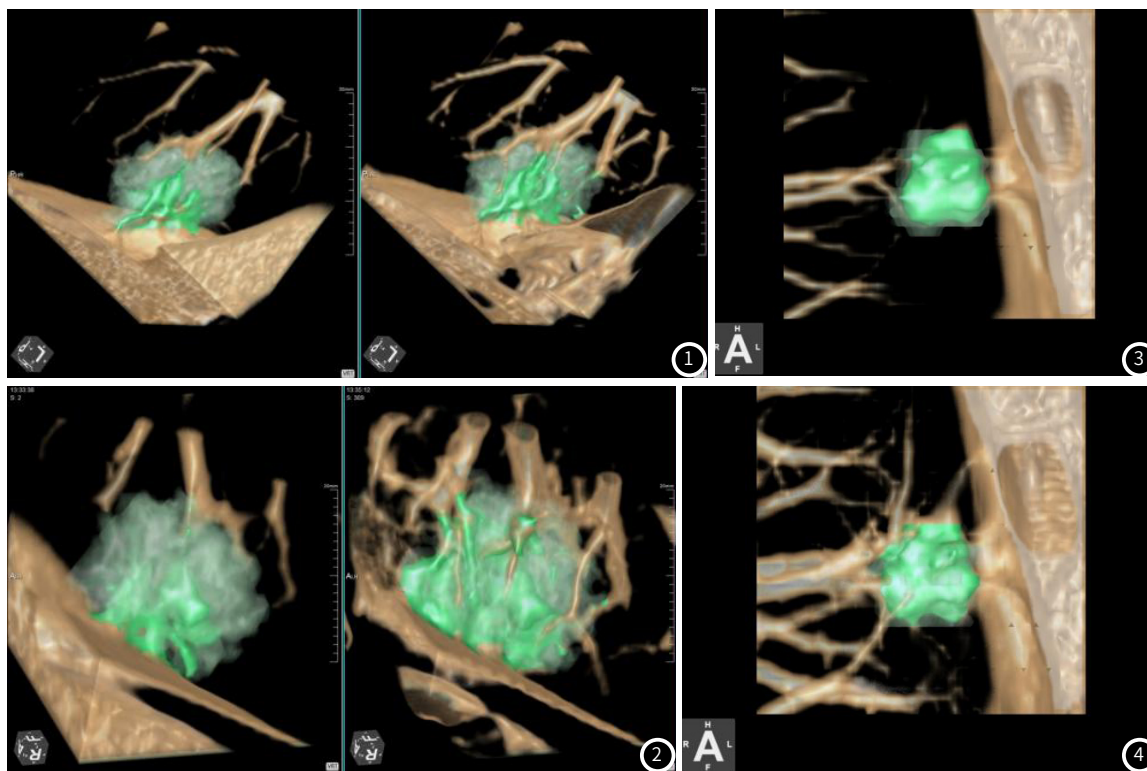


图1 高分化腺癌常规增强。图2 高分化腺癌低能量强化。图3 低分化腺癌常规增强。图4 低分化腺癌低能量强化。

3 讨论

早期肺癌体积小、恶性早期、实性成分少，缺乏典型CT征象，临床识别较困难^[7]。能谱CT不仅能提供物质图像、单能量图像、能谱曲线等多种参数，还具有更快的扫描速度和稳定性，实现了CT领域高清晰与低剂量的完美结合，诊断精准度和安全性高，现已被广泛应用于肿瘤浸润程度、病例类型、恶性程度及转移等诊断工作中^[8-9]。

能谱CT低剂量增强扫描通过降低降低管电流，可减少患者所受辐射剂量，但会造成图像噪声增加，引起图像密度分辨率下降，降低其对肺纹理级别、亚段支气管、软组织结构的识别能力^[10-11]。本研究发现，45 keV重建所得的肿瘤微血管密度、体积增加百分比、最大CT值增加百分比、平均CT值增加百分比、标准差、背景强化均高于常规增强重建，45 keV重建所得的肿瘤系数低于常规增强重建，提示能谱CT低剂量增强扫描可准确测量肺腺癌肿瘤微血管密度和病灶密度。分析其原因，能谱CT低剂量扫描运用自适应统计迭代重建技术，可在一定程度降低图像噪声，改善图像质量，还可得出虚拟平扫图像以替代普通平扫，获取较常规扫描更准确的结节密度CT值^[12]；而45 keV重建图重点显示“肿瘤微血管”形成，通过最佳单能量图像发现轻微强化和微小血管，进而确定肿瘤内微血管密度，能为预测肿瘤组织学类型、评价恶性程度、提示肿瘤临床分级及预后提供有利参考^[13]。但因本研究样本量有限，无法获取不同肺癌类型、不同肺腺癌分化程度的影像学特点，临床需扩大样本量深入研究。

常见早期肺癌CT多表现为斑片状、小结节状、轻度分叶状肿块，病灶边缘不规则，可出现分叶、毛刺、胸膜牵拉及结节周围结构集中等征象^[14]。本研究结果显示，45 keV重建对肿瘤血管聚集、毛刺、浅分叶可见率高于常规增强重建，说明能谱CT低剂量45 keV重建能准确识别肿瘤形态学特点，可能是因为部分微浸润性、浸润性腺癌周围组织因分化程度较低，常规CT扫描中周围病变组织CT值相近，无法准确区分，故血管聚集、毛刺、浅分叶可见率较低；而45 keV重建能强化血管显示，提高血管与周围组织的对比度，同时还能放大组织密度比和获取病灶能谱衰减曲线，进而提供血管聚集、毛刺、浅分叶的可见率^[15-16]。

综上所述，能谱CT低剂量增强扫描可准确测量肺腺癌肿瘤微血管密度和病灶密度，识别肿瘤形态学特点，有助于肺腺癌分化程度判断。但本研究还存在一定不足，因研究样本量过少，未比较能谱CT低能量图与常规增强CT诊断效能的差距，且未追踪随访肺结节患者，未探究后期结节生长情况与影像诊断方法的准确率，故临床可以此研究方向，深入探讨。

参考文献

- [1] 杨帆, 王琛. 能谱CT及螺旋CT对老年肺癌病理类型的诊断价值[J]. 局解手术学杂志, 2022, 31(5): 415-418.
- [2] 邓靓娜, 张国晋, 张斌, 等. 周围型肺腺癌和周围型肺鳞癌的能谱CT表现[J]. 中国医学物理学杂志, 2021, 38(9): 1097-1102.
- [3] 段劲松, 杨金伟, 刘立陶, 等. 肺腺癌实性成分CT影像与病理特征的相关性分析[J]. 现代肿瘤医学, 2022, 30(23): 4338-4343.
- [4] 王锐, 马彩玲, 胡久丽, 等. 肺腺癌CT表现与病理分级的相关性研究[J]. 影像科学与光化学, 2022, 40(2): 306-310.
- [5] 张锦惠, 张绍兰. 低剂量CT在肺腺癌浸润前病变诊断中的价值研究[J]. 成都医学院学报, 2020, 15(1): 92-94.
- [6] 王亮, 孔令淳, 王泽学. 肺腺癌CT影像组学特征与病理结果对照研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(9): 109-111.
- [7] 冀鲲鹏, 任基伟, 靳宏星. 能谱CT扫描在周围型肺癌分型中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(5): 608-611.
- [8] 王洪峰, 赵林. 能谱CT定量分析技术在肺腺癌一线化疗后疗效评估中的临床价值[J]. 中国煤炭工业医学杂志, 2023, 26(2): 189-193.
- [9] 肖寿勇, 吴四云, 赵炜杰, 等. 浸润性肺腺癌高分辨率CT征象与病理亚型的对照研究[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(1): 75-80.
- [10] 张国晋, 曹云太, 张婧, 等. 能谱CT定量参数在鉴别肺腺癌EGFR突变状态中的价值[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(3): 448-452.
- [11] 程子珊, 李圣磊, 李文武, 等. 能谱CT多参数定量分析鉴别肺癌病理类型的应用价值[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2022, 29(1): 59-65.
- [12] 陈晓, 曹国全, 潘勇, 等. 能谱CT单能量联合迭代重建对图像质量的影响[J]. 温州医科大学学报, 2016, 46(9): 633-637.
- [13] 闫强, 陈俊, 张光. 采用周围型肺癌CT增强扫描影像学表现评估肿瘤微血管密度的可靠性研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(7): 55-57.
- [14] 张鹏举, 李天然, 李文平, 等. CT征象对不同病理亚型肺腺癌的诊断价值[J]. 中国医药导报, 2022, 19(31): 10-13, 21.
- [15] 刘巧, 曾燕, 刘博, 等. 基于临床及CT影像组学特征预测肺腺癌结节[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2022, 28(3): 245-250.
- [16] 乔敏, 马春宁, 王艳莉. 双源CT标准化碘浓度、能谱曲线斜率与肺腺癌分化程度和淋巴结转移的关系[J]. 陕西医学杂志, 2021, 50(12): 1539-1541, 1545.

(收稿日期: 2024-07-16)

(校对编辑: 姚丽娜、赵望淇)