

论 著

能谱CT定量测定肺内硅含量在尘肺病诊断中的运用*

赵蒙* 邢惠 罗莎莎

艾雪儒

新疆维吾尔自治区第三人民医院放射科
(新疆乌鲁木齐 830000)

【摘要】目的 分析能谱CT定量测定肺内硅含量在尘肺病中的诊断价值。方法 回顾性分析98例2022年4月至2023年4月参与本院肺部检查的存在粉尘接触史的疑似尘肺患者，根据其检查结果将其分为尘肺组(43例)和无尘肺组(55例)。所有患者均行肺部能谱CT定量检查。比较两组一般资料，能谱CT检查参数(肺组织体积、肺组织质量、肺结节内SiO₂总体积、肺结节内SiO₂质量和肺实质内SiO₂浓度)；采用ROC曲线分析相关因素对尘肺病的诊断价值。

结果 尘肺组男性患者人数和煤矿工人占比较无尘肺组的更多，患者年龄较无尘肺组更大($P<0.05$)。能谱CT检查结果显示，尘肺组的肺组织质量、肺结节内SiO₂总体积和肺结节内SiO₂质量均较无尘肺组更高($P<0.05$)。ROC曲线分析结果显示，肺组织质量(AUC=0.679)、肺结节内SiO₂总体积(AUC=0.636)和肺结节内SiO₂质量(AUC=0.636)对存在粉尘接触史者尘肺病的发生具有良好的诊断价值，且联合检测(AUC=0.844)价值更高($P<0.05$)。结论 基于能谱CT定量检查下肺结节中的SiO₂总体积、SiO₂质量及肺组织质量能较好的诊断尘肺病。

【关键词】能谱CT；硅含量；尘肺病；诊断价值

【中图分类号】R135.2

【文献标识码】A

【基金项目】新疆维吾尔自治区自然科学基金
(2021D01A168)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.02.016

Application of Quantitative Detection of Silicon Content in Lung by Spectral CT in the Diagnosis of Pneumoconiosis*

ZHAO Meng*, XING Hui, LUO Sha-sha, AI Xue-ru.

Department of Radiology, the Third People's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

ABSTRACT

Objective To analyze the diagnostic value of quantitative detection of silicon content in lung by spectral CT in pneumoconiosis. **Methods** A total of 98 patients with suspected pneumoconiosis and history of dust exposure who underwent lung examination in the hospital were retrospectively analyzed between April 2022 and April 2023. According to examination results, they were divided into pneumoconiosis group (43 cases) and non-pneumoconiosis group (55 cases). All patients underwent quantitative examination of spectral CT. The general data and spectral CT parameters (volume and mass of lung tissues, total volume and mass of SiO₂ in lung nodules, SiO₂ concentration in lung parenchyma) in the two groups were compared. The diagnostic value of related factors in pneumoconiosis was analyzed by ROC curves. **Results** The proportions of males and coal miners in pneumoconiosis group were higher than those in non-pneumoconiosis group, and age of patients was older than that in non-pneumoconiosis group ($P<0.05$). The results of spectral CT showed that mass of lung tissues, total volume and mass of SiO₂ in lung nodules in pneumoconiosis group were higher than those in non-pneumoconiosis group ($P<0.05$). The results of ROC curves analysis showed that mass of lung tissues (AUC=0.679), total volume of SiO₂ in lung nodules (AUC=0.636) and SiO₂ mass in lung nodules (AUC=0.636) were of good diagnostic value in pneumoconiosis in patients with history of dust exposure, and diagnostic value of combined detection (AUC=0.844) was higher ($P<0.05$). **Conclusion** Total volume and mass of SiO₂ in lung nodules and mass of lung tissues based on the quantitative detection of spectral CT can better diagnose pneumoconiosis.

Keywords: Spectral CT; Silicon Content; Pneumoconiosis; Diagnostic Value

尘肺病的发病机制尚不明确，目前仍无法治愈，通常认为它是由于人长期处于生产性矿物粉尘环境中，导致粉尘滞留在肺部引起的一种以肺组织弥漫性纤维化为主的慢性全身性疾病^[1]。相关研究显示，金刚砂、磷酸盐铸造包埋材料、高岭土和石英等矿物性粉尘均能引起尘肺病，它们的主要成分均是二氧化硅(SiO₂)^[2]。粉尘进入呼吸道后于肺泡沉积并被巨噬细胞吞噬，溶酶体受损并释放炎症因子引发机体的炎症反应和免疫反应，最终导致肺纤维化^[3]。据全球疾病负担(2019年)研究数据显示，我国职业性尘肺病死亡人数高达1302例，因尘肺病造成的残疾调整生命年为41359.25人年^[4]。能谱CT能够对扫描物质进行定性分离及定量测定分析，它比胸部CT常规扫描所获图像质量更佳，且辐射剂量相当^[5-6]。本研究通过分析能谱CT定量测定肺内硅含量在尘肺病中的诊断价值，以期临床提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析98例2022年4月~2023年4月参与本院肺部检查的存在粉尘接触史的疑似尘肺患者，根据其检查结果将其分为尘肺组(43例)和无尘肺组(55例)，所有患者均行肺部能谱CT定量检查。其中，尘肺组1期25例，2期10例，3期8例。本研究符合《赫尔辛基宣言》基本准则。

纳入标准：(1)所有研究对象均有5年以上的粉尘接触史；(2)尘肺组均符合国标^[6]中尘肺病的诊断标准，并经影像学确诊；(3)两组年龄≥18岁；(4)两组均接受胸部CT检查及肺通气功能检测。排除标准：(1)患者存在肺部手术史或肺部感染史；(2)合并存在肺癌或其他种类癌症；(3)合并免疫、分泌、心脑血管系统疾病或全身严重感染性疾病；(4)X线图像质量不清晰。

X线检查分期标准^[6]：若超过4个肺区可见密集度为1级的小阴影/4个肺区均可见2级小阴影即为尘肺1期；超过4个肺区分布密集度2级小阴影/4个肺区分布密集度3级小阴影/出现大阴影但不能诊断为3期即为2期；出现大阴影且长径>20mm、短径>10mm即为3期。

1.2 方法 收集研究对象入院后性别、年龄、工龄、工种、吸烟史、高血压史、糖尿病史和其他病史等一般资料。

能谱CT检查：研究对象行全肺部能谱CT扫描，取常规仰卧位，头先进，采用国产东软 Neusoft Glory 128 排 256 层螺旋 CT 扫描仪从肺尖至肺底膈面进行扫描。扫描参数：矩阵512×512，球管管电压分别为80kV和140kV，开启实时动态曝光剂量调节器，准直器0.625×128mm，螺距0.34，旋转时间0.4s，层厚1mm，层间距1mm。

图像处理：使用思创图像后处理工作站-全肺Si含量测定软件进行测定并记录，得到

【第一作者】赵蒙，男，主治医师，主要研究方向：放射医学。E-mail: zhaomengh9@163.com

【通讯作者】赵蒙

各组肺组织体积、肺组织质量、肺结节内SiO₂总体积、肺结节内SiO₂质量和肺实质内SiO₂浓度。

1.3 观察指标 (1)尘肺组和无尘肺组的一般资料(性别、年龄、工龄、工种、吸烟史、高血压史、糖尿病史和其他病史); (2)尘肺组和无尘肺组的能谱CT检查参数(肺组织体积、肺组织质量、肺结节内SiO₂总体积、肺结节内SiO₂质量和肺实质内SiO₂浓度); (3)相关指标对尘肺病的诊断价值。

1.4 统计学分析 采用SPSS 24.0统计学软件处理数据,不符合正态分布的计量资料(年龄、工龄等)用[M(P₂₅, P₇₅)]表示,采用Mann-Whitney U检验;计数资料(性别、工种等)用(%)表示,采用卡方检验;采用ROC曲线分析相关因素对尘肺病的诊断价值, P<0.05提示有统计学意义。

2 结果

2.1 临床一般资料 尘肺组男性患者人数和煤矿工人占比较无尘肺组的更多,患者年龄较无尘肺组更大(P<0.05),见表1。

2.2 典型尘肺患者的CT征象 典型尘肺患者的能谱CT征象如图1。

2.3 两组能谱CT参数比较 能谱CT检查结果显示,尘肺组的肺组织质量、肺结节内SiO₂总体积和肺结节内SiO₂质量均较无尘肺组更高(P<0.05),见表2。

2.4 相关指标对尘肺病的诊断价值 ROC曲线分析结果显示,肺组织质量(AUC=0.679)、肺结节内SiO₂总体积(AUC=0.636)和肺结节内SiO₂质量(AUC=0.636)对存在粉尘接触史者尘肺病的发生

具有良好的诊断价值,以上述三种指标的截断值为临界值,肺组织质量≥891.03g、肺结节内SiO₂总体积≥77.30mm³、肺结节内SiO₂质量≥56.19mg为阳性,进行并联检测,得到联合检测的诊断价值更高(AUC=0.844)(P<0.05)。见图2和表3。

表1 临床一般资料(Z, %)

临床特征	无尘肺组(n=55)	尘肺组(n=43)	χ^2/Z	P
年龄(岁)	59.00(52.00, 75.00)	69.00(58.00, 82.00)	-2.647	0.008
性别				
男	40(72.73)	43(100.00)	13.847	0.000
女	15(27.27)	0(0.00)		
工种				
煤矿	19(34.55)	31(72.09)	13.615	0.000
其他	36(65.45)	12(27.91)		
工龄	24.61(20.13, 35.47)	26.55(20.11, 35.58)	-1.586	0.087
吸烟史	29(52.73)	26(47.27)	0.587	0.444
高血压史	20(36.36)	24(55.81)	3.690	0.055
糖尿病史	12(21.82)	10(23.26)	0.029	0.866
其他病史	44(80.00)	31(72.09)	0.840	0.359



图1A~1B 典型尘肺患者的能谱CT征象。双肺肺纹理增重,紊乱,双肺弥漫性分布微小结节状密度增高影,双肺散在团片状密度增高影,部分病灶内可见斑点状致密影。

表2 两组能谱CT参数比较(Z)

组别	n	肺组织体积(mm ³)	肺组织质量(g)	肺结节内SiO ₂ 总体积(mm ³)	肺结节内SiO ₂ 质量(mg)	肺实质内SiO ₂ 浓度(mg/mm ³)
无尘肺组	55	4147.93(2672.76, 4977.28)	802.04(671.21, 889.08)	44.50(34.85, 64.27)	35.64(27.82, 51.87)	8.33(5.78, 16.03)
尘肺组	43	4389.38(3853.13, 5171.31)	904.79(766.47, 1010.63)	53.30(37.99, 91.82)	45.98(31.05, 75.90)	11.19(6.41, 18.07)
t		-1.808	-3.039	-2.305	-2.309	-0.841
P		0.071	0.002	0.021	0.021	0.400

表3 相关因素对尘肺病的诊断价值

指标	AUC	95%CI	敏感度	特异度	截断值	P
肺组织质量	0.679	0.578~0.770	51.16%	80.00%	891.03g	0.001
肺结节内SiO ₂ 体积	0.636	0.533~0.731	41.86%	87.27%	77.30mm ³	0.018
肺结节内SiO ₂ 质量	0.636	0.533~0.731	44.19%	83.64%	56.19mg	0.018
联合检测	0.844	0.762~0.967	90.70%	78.18%	—	0.000

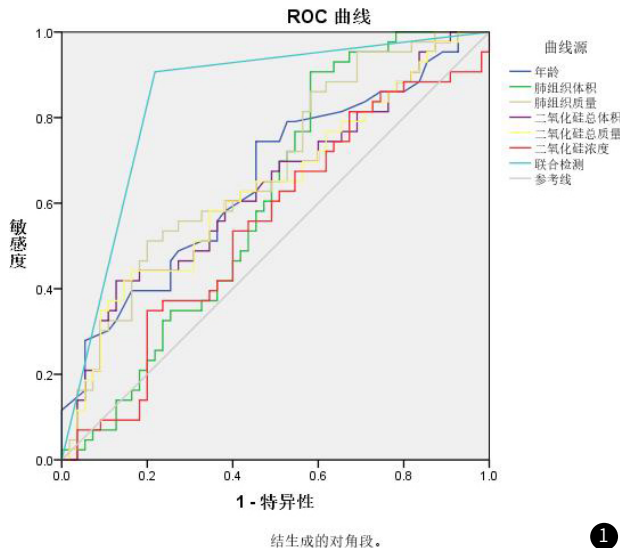


图2 ROC结果曲线分析图。

3 讨论

尘肺病是我国危害最为严重和常见的职业病，该病病程长且不可逆，反复性和死亡率均较高，危害严重，然而目前尚无有效的治愈措施^[7]。其病理基础是吸入生产性粉尘，造成肺内巨噬细胞性肺炎，尘细胞性肉芽肿和尘性纤维化。其中尘肺病中矽肺及煤工尘肺占90%以上，而导致矽肺和煤工尘肺的致病因子就是粉尘中的SiO₂^[8-9]。本研究通过能谱CT进行全肺Si含量的测定，获得无接尘人员与接尘工人、矽肺病人肺内Si含量的数值，结合尘肺病诊断标准，制定出正常人、接尘工人(无尘肺)、接尘工人(I、II、III期尘肺)肺内Si含量值的区间范围，使尘肺病的诊断及尘肺病的分期有了量化的标准。

本研究结果显示，尘肺组男性患者人数和煤矿工人占比较无尘肺组的更多，患者年龄较无尘肺组更大。这可能是由于煤矿工人平时与大量粉尘接触的时间较久，罹患尘肺病的危险系数较高，且长期涉及接触大量粉尘的工作多为中重度体力劳动，从业人员多为男性，因此尘肺病患者男性人数和煤矿工人占比较存在粉尘接触史但无尘肺病的人群更多。

能谱CT检查结果显示，尘肺组的肺组织质量、肺结节内SiO₂总体积和肺结节内SiO₂质量均较无尘肺组更高。提示能谱CT定量检查能较好的诊断存在粉尘接触史者尘肺病的发生情况，肺组织质量、肺结节内SiO₂总体积和肺结节内SiO₂质量越大，患者尘肺病的发病风险越大。这可能是由于能谱CT密度分辨率高且不会受组织结构重叠影响，能够从多角度和多平面清晰直观的显示微小病灶形态结构，有利于提高尘肺病的早期诊断精确率^[10-11]。职业性尘肺病通常表现为生产性粉尘沉积肺组织导致尘肺结节和弥漫性肺间质纤维化，煤尘沉降于肺泡，被巨噬细胞吞噬并通过肺淋巴管运至肺门淋巴结而引起淋巴结肿大和硬化，肿大淋巴结压迫叶段支气管，使得分岔增宽甚至导致支气管受压变形，造成支气管狭窄和周围性结节纤维化，由于炎症或感染引起结缔组织异常增生，包括胶原蛋白在内的新生结缔组织在肺部积聚，导致肺组织质量增加、体积增大^[12-13]。正常情况下，拥有呼吸功能的肺泡内环境绝对干净，而当机体长期处在高浓度粉尘环境中，呼吸道纤毛对粉尘的清除能力已无法平衡粉尘带来的持续刺激，其中，以SiO₂为主要成分的PM_{2.5}粉尘颗粒由于数量足够庞大、体积较小且在大气中悬浮高度更契合机体呼吸高度，因此最能够逃逸到下呼吸道甚至是肺泡处发生沉积，影响肺组织正常功能，诱发炎症反应，且沉积量越大，患者尘肺病发生风险越大^[14]。既往研究表明，SiO₂是煤粉的主要成分，肺结节内SiO₂总体积和肺结节内SiO₂质量越多，肺部炎症反应越剧烈，患者病情越严重^[15-16]。本研究结果与之相符。

ROC曲线分析结果显示，肺组织质量(AUC=0.679)、肺结节内SiO₂总体积(AUC=0.636)和肺结节内SiO₂质量(AUC=0.636)对存在粉尘接触史者尘肺病的发生具有良好的诊断价值，且联合检测(AUC=0.844)价值更高(P<0.05)。提示通过观察肺组织质量、肺结节内SiO₂总体积和肺结节内SiO₂质量能较好的诊断存在粉尘接触史者尘肺病的发生情况。

综上所述，基于能谱CT定量检查下肺结节中的SiO₂总体积、SiO₂质量及肺组织质量能较好的诊断尘肺病。

参考文献

- [1] 汪伟, 李宝平, 沈福海, 等. 尘肺胸片人工智能读片三种模型效能比较研究[J]. 环境与职业医学, 2022, 36(1): 41-46.
- [2] 吴奇峰, 李斌, 李楠, 等. 1例非传统行业职业性矽肺病的诊断体会[J]. 中国工业医学杂志, 2023, 36(04): 363-365.
- [3] Anonym. A systematic analysis for the global burden of disease study 2019 [J]. Lancet, 2020, 396(10258): 1204-1222.
- [4] 潘红红, 陈伟彬. 基于CT能谱成像探讨慢性阻塞性肺疾病与骨质密度相关性[J]. 临床放射学杂志, 2024, 43(07): 1186-1190.
- [5] 中华预防医学会职业病分会尘肺病影像学组. 尘肺病胸部CT规范化检查技术专家共识(2020年版). 环境与职业医学, 2020, 37(10): 943-949.
- [6] 中华人民共和国卫生部. GBZ70-2015尘肺病诊断标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [7] 张正华, 宗莉, 康婧. 5例尘肺合并肺栓塞临床分析[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2021, 39(2): 149-150.
- [8] 鲁雅茹, 崔岳松, 崔浩, 等. 基于生物信息学的矽肺差异基因筛选及验证[J]. 中国工业医学杂志, 2022, 35(5): 387-392.
- [9] 吴玉莲, 李岳, 马晓明, 等. 7807例矽尘作业工人胸部X射线检查情况分析[J]. 工业卫生与职业病, 2021, 47(3): 243-245.
- [10] 王威, 谢武桃, 李倩, 等. 128排CT低剂量能谱和常规成像在职业性尘肺病中的应用比较[J]. 中国工业医学杂志, 2023, 36(3): 276-279.
- [11] Qi X M, Luo Y, Song M Y, et al. Pneumoconiosis: current status and future prospects [J]. Chinese Medical Journal, 2021, 134(08): 898-907.
- [12] 杜芳莉, 李园, 杨晓发. 职业性尘肺病患者胸部CT影像表现与肺通气功能的相关性[J]. 河南医学研究, 2024, 33(4): 688-691.
- [13] Zhou M, Xue C, Fan Y, et al. Plasma metabolic profiling of the patients with silicosis and asbestosis: a case-control study [J]. J Occup Environ Med, 2021, 63(9): 787-793.
- [14] Nishida C, Yatera K. The impact of ambient environmental and occupational pollution on respiratory diseases [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(5): 2788.
- [15] 耿晓伟, 黄敬雅. 煤尘中游离二氧化硅在人体呼吸系统中的剂量及影响因素分析[J]. 安全与环境学报, 2022, 22(03): 1354-1361.
- [16] Liu T, Bao R, Wang Q, et al. SiO₂-induced ferroptosis in macrophages promotes the development of pulmonary fibrosis in silicosis models [J]. Toxicology Research, 2022, 11(1): 42-51.

(收稿日期: 2024-07-29)

(校对编辑: 翁佳鸿)