

## 低剂量 CT 联合血清多重标志物在肺癌早期筛查中的诊断效能评价

范冰冰, 郭李娜, 王乐, 王艺慧, 马菊芬\*

长治医学院附属和济医院 山西长治

**【摘要】目的** 探讨低剂量 CT (LDCT) 影像特征联合血清肿瘤标志物在肺癌早期筛查中的诊断价值。**方法** 选取 2025 年 1 月-2026 年 1 月于我院行肺癌早期筛查的 450 例研究对象, 经病理确诊分为实验组 (肺癌患者, 250 例) 和对照组 (肺部良性病变/健康人群, 200 例)。所有患者接受低剂量 CT 和血清 CEA、CYFRA<sub>21-1</sub>、CA<sub>125</sub>、CA<sub>199</sub>、ProGRP、NSE 检测。通过 ROC 曲线分析低剂量 CT、血清标志物单独及联合检测对早期肺癌的诊断价值, 评估 AUC、灵敏度和特异度。**结果** 实验组低剂量 CT 肺部异常检出率和血清 CEA、CYFRA<sub>21-1</sub>、CA<sub>125</sub>、CA<sub>199</sub>、ProGRP、NSE 水平均显著高于对照组。ROC 分析显示, 低剂量 CT 单独检测肺癌早期的 AUC 为 0.836, 灵敏度 81.20%、特异度 77.50%; 血清多重标志物联合检测 AUC 为 0.801, 灵敏度 76.80%、特异度 82.00%; 两者联合检测 AUC 达 0.925, 灵敏度 93.60%、特异度 89.00%, 均显著优于单独检测。**结论** 低剂量 CT 联合血清 CEA 等多项标志物检测可显著提高肺癌早期筛查的灵敏度和特异性, 减少漏诊误诊, 是肺癌高危人群的优选筛查方案。

**【关键词】** 低剂量 CT; 血清多重标志物; 肺癌; 早期筛查; 诊断效能

**【基金项目】** 深圳高性能医疗器械国家研究院有限公司(国家高性能医疗器械创新中心)项目(NMED2025KF-01-003): 低剂量 CT 联合血清多重标志物在肺癌早期筛查中的诊断效能评价

**【收稿日期】** 2026 年 4 月 20 日

**【出刊日期】** 2026 年 5 月 22 日

**【DOI】** 10.12208/j.ijcr.20260259

### Diagnostic evaluation of low-dose CT combined with serum multiple markers in early lung cancer screening

Bingqian Fan, Lina Guo, Le Wang, Yihui Wang, Jufen Ma\*

Heji Hospital Affiliated to Changzhi Medical College, Changzhi, Shanxi

**【Abstract】 Objective** To investigate the diagnostic value of low-dose CT (LDCT) imaging features combined with serum tumor markers in early lung cancer screening. **Methods** A total of 450 subjects who underwent early lung cancer screening at our hospital from January 2025 to January 2026 were selected. These patients were pathologically confirmed and divided into an experimental group (lung cancer patients, 250 cases) and a control group (benign pulmonary lesions/healthy individuals, 200 cases). All patients underwent low-dose CT and serum tests for CEA, CYFRA<sub>21-1</sub>, CA<sub>125</sub>, CA<sub>199</sub>, ProGRP, and NSE. The diagnostic value of LDCT, serum markers alone, and their combination in early lung cancer was evaluated using ROC curve analysis, with assessment of AUC, sensitivity, and specificity. **Results** The experimental group exhibited significantly higher rates of abnormal lung detection by low-dose CT and elevated serum levels of CEA, CYFRA<sub>21-1</sub>, CA<sub>125</sub>, CA<sub>199</sub>, ProGRP, and NSE compared to the control group. ROC analysis revealed that the AUC for early-stage lung cancer detection by low-dose CT alone was 0.836, with a sensitivity of 81.20% and specificity of 77.50%. The AUC for combined detection of multiple serum markers was 0.801, with a sensitivity of 76.80% and specificity of 82.00%. The combined detection showed an AUC of 0.925, with a sensitivity of 93.60% and specificity of 89.00%, both significantly superior to individual detection. The detection rate of pulmonary abnormalities in the experimental group using LDCT and the levels of serum CEA, CYFRA<sub>21-1</sub>, and NSE were significantly higher than those in the control group. ROC analysis showed that the AUC of LDCT alone for early lung cancer detection was 0.836, with sensitivity of 81.20% and specificity of 77.50%; the AUC of combined serum marker detection was 0.801, with sensitivity of 76.80% and specificity of 82.00%; the AUC of combined detection was 0.925, with sensitivity of 93.60% and specificity of 89.00%, all significantly superior to single detection. **Conclusion** LDCT combined with serum CEA and multiple markers can significantly improve the

\*通讯作者: 马菊芬

sensitivity and specificity of early lung cancer screening, reduce missed diagnoses and misdiagnoses, and is the preferred screening protocol for high-risk populations.

【**Keywords**】 Low-dose CT; Serum multiple biomarkers; Lung cancer; Early screening; Diagnostic efficacy

## 前言

肺癌作为全球发病率和死亡率最高的恶性肿瘤之一,其发病具有隐匿性,早期临床症状不典型,超半数患者在确诊的时候便处于中晚期,也失去根治性治疗的机会,基本上其5年生存率在20%以内<sup>[1]</sup>。高效精准的早期筛查是降低肺癌死亡率的关键。低剂量CT因辐射低、分辨率高、检出率高,已成为肺癌筛查的一线方法,可发现 $\geq 5\text{mm}$ 的肺部结节,为早期识别提供依据。对血清肿瘤标志物检测而言,其由于简便无创、可重复性强也广泛应用于肿瘤筛查。单一标志物检测存在灵敏度或特异度不足,联合检测可通过多指标互补提升诊断价值。白介素6易受炎症等因素干扰,在肺癌筛查中稳定性较差,故本研究剔除该指标,选取CEA、CYFRA<sub>21-1</sub>、CA<sub>125</sub>、CA<sub>199</sub>、ProGRP、NSE六种特异性较高的血清标志物进行联合检测<sup>[2]</sup>。鉴于此,本文则是通过设置大样本量的实验组与对照组,分析了低剂量CT单独及联合血清多重标志物检测在肺癌早期筛查中的诊断效能,旨在验证联合检测的临床优势,为制定精准的肺癌早期筛查策略提供依据,以提高早期诊断率,争取早期干预时机。

## 1 资料与方法

### 1.1 临床资料

选取2025年1月至2026年1月在我院呼吸内科及胸外科就诊的肺部占位性病变患者及健康体检人群共450例。最终纳入实验组250例,其中男性158例,女性92例,年龄41-75岁,平均年龄(62.35 $\pm$ 8.72)岁;病理类型:腺癌142例(56.8%),鳞癌68例(27.2%),小细胞肺癌28例(11.2%),其他类型12例(4.8%);TNM分期:I期98例(39.2%),II期76例(30.4%),IIIA期76例(30.4%)。对照组200例,其中男性112例,女性88例,年龄40-74岁,平均年龄(60.18 $\pm$ 9.15)岁;肺部良性病变136例(68.0%),健康体检者64例(32.0%)。对比两组患者年龄、性别等数据均无差异性, $P>0.05$ 。

纳入标准:(1)实验组250例患者经通过病理组织学确诊为原发性肺癌(包括手术切除、穿刺活检或支气管镜活检证实),临床分期I-III期;(2)对照组为肺部良性病变患者或健康体检者,经影像学随访半年以上排除恶性可能;(3)入组前未接受任何抗肿瘤治

疗;(4)患者对本研究知晓,并自愿签署知情同意书。

排除标准:(1)伴随其他恶性肿瘤;(2)重度心肝肾机能障碍;(3)妊娠或哺乳期妇女;(4)三个月内存在急性感染史。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 低剂量CT检查

450例患者均施行64排螺旋CT扫描仪(西门子Somatom Definition AS)进行胸部低剂量平扫。检查前需指导患者进行呼吸练习,体位以仰卧姿势为主,扫描范围:由肺尖到膈下3cm,扫描参数:管电压120kV,管电流25-50mA,层厚1mm,层间距1mm,螺距1.0,重建矩阵512 $\times$ 512,利用标准算法重建图像。两名高年资放射科医师双盲独立阅片,观察肺部结节、肿块及其特征,意见不一致时集体会诊确定结果,存在结节或肿块即判定低剂量CT检测阳性。

#### 1.2.2 血清多重标志物检测

450位患者均在CT检查当日早晨空腹抽取5mL肘静脉血,注入无抗凝剂真空采血管,室温静置30分钟后,以3000r/min转速离心10分钟,分离上层血清,置于-80 $^{\circ}\text{C}$ 超低温冰箱内保存备测。应用电化学发光免疫分析法检测血清CEA、CYFRA<sub>21-1</sub>、CA<sub>125</sub>、CA<sub>199</sub>、ProGRP、NSE水平,检测仪器为普门iflash3000全自动电化学发光免疫分析仪,试剂盒为仪器配套原装试剂,所有操作均严格按照试剂盒及仪器说明书进行。各标志物正常参考值:CEA $<5\text{ng/mL}$ ,CYFRA<sub>21-1</sub> $<3.3\text{ng/mL}$ ,CA<sub>125</sub> $<35\text{U/mL}$ ,CA<sub>199</sub> $<37\text{U/mL}$ ,ProGRP $<46.0\text{pg/mL}$ ,NSE $<16.3\text{ng/mL}$ ,任一指标水平超过正常参考值即判定为血清标志物检测阳性。

#### 1.2.3 联合检测方案

低剂量CT联合血清多重标志物检测采用并联诊断标准,即低剂量CT检测阳性或血清多重标志物检测阳性,任一结果为阳性即判定为联合检测阳性;仅当低剂量CT检测阴性且血清多重标志物检测阴性时,判定为联合检测阴性。

### 1.3 观察指标

对比两组研究对象低剂量CT肺部异常检出率。

对比两组研究对象血清CEA、CYFRA<sub>21-1</sub>、CA<sub>125</sub>、CA<sub>199</sub>、ProGRP、NSE水平。

评估低剂量CT独立检测、血清多重标志物组合检

测及两者联合检测在肺癌早期诊断中的性能, 计算各检测方法的 AUC、灵敏度、特异度、阳性预测值和阴性预测值。

记录各检测方式的假阳性率和假阴性率。诊断效能指标计算公式: 灵敏度=真阳性例数/(真阳性例数+假阴性例数)×100%特异度=真阴性例数/(真阴性例数+假阳性例数)×100%阳性预测值=真阳性例数/(真阳性例数+假阳性例数)×100%阴性预测值=真阴性例数/(真阴性例数+假阴性例数)×100%假阳性率=假阳性例数/(真阴性例数+假阳性例数)×100%假阴性率=假阴性例数/(真阳性例数+假阴性例数)×100%。

1.4 统计学分析

SPSS28.0Medcalc 统计软件进行数据分析。计量资料以均数±标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示, 独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验; 计数资料以频数(百分比)[n(%)]表示,  $\chi^2$  检验或 Fisher 精确检验。计算 P 值, 分析统计学意义。

2 结果

2.1 两组低剂量 CT 肺部异常检出率对比

实验组 250 例, 低剂量 CT 检测发现肺部异常 203 例, 异常检出率为 81.20%; 对照组 200 例, 低剂量 CT 检测发现肺部异常 45 例, 异常检出率为 22.50%。实验

组低剂量 CT 肺部异常检出率高于对照组, 有统计学意义 ( $\chi^2=154.760, P<0.05$ )。

2.2 两组血清多重标志物水平对比

实验组血清 CEA、CYFRA<sub>21-1</sub>、CA<sub>125</sub>、CA<sub>199</sub>, ProGRP、NSE 水平均显著高于对照组, 各项指标组间对比差异均具有统计学意义 ( $P<0.05$ )。

2.3 三种检测方式诊断肺癌早期的 ROC 曲线分析

ROC 曲线结果显示, 低剂量 CT 单独检测、血清多重标志物联合检测、低剂量 CT 联合血清多重标志物检测诊断肺癌早期的 AUC 均大于 0.7, 具有一定的临床诊断价值; 其中低剂量 CT 联合血清多重标志物检测的 AUC 最大, 显著高于低剂量 CT 单独检测和血清多重标志物联合检测, 有统计学意义 ( $P<0.05$ ); 低剂量 CT 与血清多重标志物联合检测的 AUC 无统计学差异 ( $P>0.05$ )。

2.4 三种检测方式的诊断效能对比

低剂量 CT 联合血清多重标志物检测的灵敏度、特异度、阳性与阴性预测值均高于单独检测, 假阳性率与假阴性率更低, 有统计学意义 ( $P<0.05$ ); 低剂量 CT 单独检测的灵敏度高于血清多重标志物联合检测, 特异度略低于血清多重标志物联合检测。

表 1 两组血清多重标志物水平对比 ( $\bar{x}\pm s$ )

分组	例数	CEA (ng/mL)	CYFRA <sub>21-1</sub> (ng/mL)	CA <sub>125</sub> (U/mL)	CA <sub>199</sub> (U/mL)	ProGRP (ng/mL)	NSE (ng/mL)
实验组	250	13.25±6.12	7.89±3.56	58.69±25.32	49.85±18.63	98.56±42.15	29.68±11.25
对照组	200	3.15±1.02	2.08±0.82	21.36±8.57	15.23±6.89	28.35±10.62	11.05±3.56
<i>t</i>		23.079	22.601	25.436	24.946	22.976	22.530
<i>P</i>		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表 2 三种检测方式诊断肺癌早期的 ROC 曲线参数

检测方式	AUC	95%CI	Z	P
低剂量 CT 单独	0.836	0.798-0.870	--	--
血清多重标志物联合	0.801	0.760-0.839	1.256	0.209
低剂量 CT+血清多重标志物	0.925	0.898-0.947	5.892	<0.001

注: Z 值对比低剂量 CT 联合血清多标志物检测结果

表 3 三种检测方式诊断肺癌早期的效能指标对比[n(%)]

检测方式	真阳性	假阳性	真阴性	假阴性	灵敏度 (%)	特异度 (%)	阳性预测值 (%)	阴性预测值 (%)	假阳性率 (%)	假阴性率 (%)
低剂量 CT 单独	203	45	155	47	81.20	77.50	81.85	76.73	22.50	18.80
血清多重标志物联合	192	36	164	58	76.80	82.00	84.21	73.87	18.00	23.20
低剂量 CT+血清多重标志物	234	22	178	16	93.60	89.00	91.34	91.84	11.00	6.40
$\chi^2$ (与联合检测比)	19.875	9.658	--	--	19.875	9.658	8.256	8.569	9.658	19.875

### 3 讨论

低剂量 CT 作为肺癌早期筛查的首选影像学方法, 与常规胸部 CT 相比, 其辐射剂量降低约 70%-80%, 可有效减少反复筛查带来的辐射损伤, 同时保持较高的空间分辨率, 能清晰显示肺部微小结节的形态、密度、边缘等特征, 有效提高肺部病变的检出率。本研究结果得知: 实验组低剂量 CT 肺部异常检出率达 81.20%, 显著高于对照组的 22.50%, 提示低剂量 CT 可有效识别肺癌早期的影像学异常, 为肺癌早期筛查提供可靠的形态学依据<sup>[3-4]</sup>。

血清肿瘤标志物是肿瘤细胞产生并释放到血液中的特异性物质, 其水平变化可反映肿瘤发展。本研究选取 CEA、CYFRA<sub>21-1</sub>、CA<sub>125</sub>、CA<sub>199</sub>、ProGRP、NSE 六种标志物联合检测。CEA 是广谱标志物, 在肺腺癌中表达升高; CYFRA<sub>21-1</sub> 是肺鳞癌特异性标志物; CA<sub>125</sub>、CA<sub>199</sub> 虽为消化系统肿瘤相关标志物, 但在肺癌患者中也存在不同程度升高, 可提高筛查的灵敏度; ProGRP 是小细胞肺癌的特异性标志物, 对小细胞肺癌早期识别具有重要价值; NSE 同样为小细胞肺癌的核心标志物, 与肿瘤负荷密切相关。本研究结果可知: 实验组六种血清标志物水平均显著高于对照组, 提示这六种标志物与肺癌的发生密切相关, 可作为肺癌早期筛查的有效血清学指标<sup>[5]</sup>。但血清多重标志物联合检测也存在一定不足, 部分肺癌早期患者因肿瘤负荷较低, 血清标志物水平尚未出现明显升高, 易导致假阴性结果, 本研究中血清多重标志物联合检测的假阴性率为 23.20%, 灵敏度为 76.80%, 低于低剂量 CT 单独检测, 提示其单独应用于肺癌早期筛查易出现漏诊。同时, 少数肺部良性病变患者因机体存在慢性炎症, 血清标志物水平可能轻度升高, 导致少量假阳性结果, 但其假阳性率 (18.00%) 低于低剂量 CT 单独检测, 特异度 (82.00%) 高于低剂量 CT 单独检测, 体现了血清联合检测在特异性方面的优势<sup>[6]</sup>。

对于 ROC 曲线而言, 其为评价诊断试验效能的金标准, 当 AUC 越接近 1, 表示诊断效能越高。本研究可知: 低剂量 CT 联合血清多重标志物检测的 AUC 达 0.925, 显著高于低剂量 CT 单独检测 (0.836) 和血清多重标志物联合检测 (0.801), 且其灵敏度达 93.60%、特异度达 89.00%, 假阳性率和假阴性率分别降至 11.00% 和 6.40%, 阳性预测值和阴性预测值均超过 90%, 均为三种检测方式中最优。低剂量 CT 与血清多重标志物联合检测可实现形态学与分子水平的互补: 低剂量 CT 可

直观发现肺部形态学异常, 实现病变的定位与形态学评估; 血清多重标志物可从分子水平验证肿瘤的存在, 弥补影像学对良恶性结节鉴别能力的不足, 二者结合可显著提升肺癌早期筛查的准确性, 降低假阳性和假阴性率<sup>[7-8]</sup>。

综上所述, 低剂量 CT 是肺癌高危人群筛查的重要手段, 联合血清 CEA 等标志物检测可提高诊断准确性。二者结合能显著提升筛查灵敏度和特异度, 降低漏诊误诊率, 建议作为常规筛查方案以实现早诊早治, 改善患者预后。

### 参考文献

- [1] 李志娟, 董红, 田涛, 等. 低剂量 CT 结合 SHOX2、RASSF1A 甲基化在肺癌早期预警中的应用[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2024, 22(02): 73-76.
- [2] 陈彪. 低剂量螺旋 CT 联合血清肿瘤标志物在肺癌诊断中的临床应用价值[J]. 影像研究与医学应用, 2023, 7(22): 24-26.
- [3] 范林, 舒小钢, 叶丽丽, 等. 低剂量螺旋 CT 联合血清肿瘤标志物在肺癌诊断中的价值[J]. 现代医用影像学, 2023, 32(10): 1800-1802+1812.
- [4] 张庆团, 郭兴全, 王家赐. 低剂量 CT 联合血清肿瘤标志物在早期非小细胞肺癌诊断中的应用价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2023, 21(02): 58-60.
- [5] 霍智丽, 杨晓艳, 刘晓滢, 盛林丽, 蒋健, 胡加耀. 肺癌高危者中低剂量 CT 联合血清肿瘤标志物的早期诊断价值分析[J]. 科技与健康, 2025, 4(12): 5-8.
- [6] 张健, 郑秋梅, 李冬霞, 杜志强. 基于临床病理特征、血清肿瘤标志物及炎症因子构建晚期肺癌患者死亡风险预测模型[J]. 国际检验医学杂志, 2026, 47(2): 205-213.
- [7] 王彪, 董亚锋, 马雯, 边淼. 低剂量螺旋 CT 联合肿瘤标志物在肺癌高危人群筛查中的价值[J]. 河南医学研究, 2025, 34(4): 636-640.
- [8] 王哲海, 陈志军, 许青霞, 刘基巍, 汝昆, 明坚, 陈英耀. 五项血清标志物联合增强 CT 检测用于肺癌辅助诊断的卫生经济学评价[J]. 中国药物经济学, 2025, 20(7): 5-12+18.

**版权声明:** ©2026 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**