

· 论 著 ·

探究能谱 CT 在非小细胞肺癌纵隔淋巴结转移探查中的应用价值

杨 昱¹, 肖文豪¹, 华秀丽², 夏厚栋¹, 吴阿敏³, 丁甫成¹

1. 青岛市第三人民医院放射科, 山东 青岛 266100;
2. 康复大学青岛中心医院肿瘤科, 山东 青岛 266000;
3. 康复大学青岛中心医院中西医科, 山东 青岛 266000

[摘要] 目的: 探究能谱计算机断层成像 (computed tomography, CT) 在非小细胞肺癌 (non-small cell lung cancer, NSCLC) 纵隔淋巴结转移探查中的应用价值。方法: 回顾并分析 2023 年 5 月—2024 年 8 月青岛市第三人民医院收治的 NSCLC 患者。根据病理学检查淋巴结转移情况分为淋巴结转移组和淋巴结未转移组, 比较两组患者的一般资料。比较所有患者原发灶、淋巴结以及两组间能谱 CT 相关参数 [能谱曲线斜率 (energy spectrum curve slope, λ_{HU})、标准化有序原子序数值 (standardized ordered atomic value, N_{eff-Z})、标准化碘密度 (normalized iodine concentration, NIC)] 的差异。采用受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线分析能谱 CT 对 NSCLC 转移的诊断价值。采用 logistic 二元回归方程分析前述指标与 NSCLC 纵隔淋巴结转移的相关性。结果: 纳入的 105 例 NSCLC 中, 淋巴结转移组 39 例, 淋巴结未转移组 66 例, 淋巴结转移组原发肿瘤大小、临床分期、血清癌胚抗原 (carcinoembryonic antigen, CEA) 水平均高于淋巴结未转移组 ($P<0.05$); 105 例患者淋巴结平扫及动脉期 λ_{HU} 、NIC 均高于原发灶 ($P<0.05$); 平扫期淋巴结转移组淋巴结平扫及动脉期 λ_{HU} 、NIC 均低于淋巴结未转移组 ($P<0.05$), 平扫及动脉期 N_{eff-Z} 均高于淋巴结未转移组 ($P<0.05$); ROC 曲线分析显示, 平扫 λ_{HU} 、 N_{eff-Z} 、NIC 以及动脉期 λ_{HU} 、 N_{eff-Z} 、NIC 的 AUC 为 0.679~0.961 ($P<0.05$)。Logistic 二元回归方程分析结果显示, 原发肿瘤大小、临床分期、血清 CEA 水平及各项能谱 CT 相关参数均与 NSCLC 纵隔淋巴结转移阳性结果显著相关 ($P<0.05$)。结论: 平扫和动脉期 λ_{HU} 、 N_{eff-Z} 、NIC 等能谱 CT 相关参数在临床中对 NSCLC 纵隔淋巴结转移具有预测价值。

[关键词] 非小细胞肺癌; 纵隔淋巴结转移; 能谱计算机断层成像

中图分类号: R734.2; R445.3 文献标志码: A

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2026.02.010

基金项目: 无。

利益冲突: 作者声明无利益冲突。

伦理批件: 无。

知情同意: 有。

引用本文: 杨 昱, 肖文豪, 华秀丽, 等. 探究能谱 CT 在非小细胞肺癌纵隔淋巴结转移探查中的应用价值[J]. 肿瘤影像学, 2026, 35(2): 301-308.

Funding: no.

Conflicts of interest: authors declare no conflicts of interest.

Ethical approval: no.

Informed consent: available.

Cite this article: YANG Y, XIAO W H, HUA X L, et al. Application value of energy spectrum CT in the detection of mediastinal lymph node metastasis in non-small cell lung cancer [J]. Oncoradiology, 2026, 35(2): 301-308.

Application value of energy spectrum CT in the detection of mediastinal lymph node metastasis in non-small cell lung cancer YANG Yu¹, XIAO Wenhao¹, HUA Xiuli², XIA Houdong¹, WU Amin³, DING Fucheng¹ (1. Department of Radiology, The Third People's Hospital of Qingdao, Qingdao 266100, Shandong Province, China; 2. Department of Oncology, Qingdao Central Hospital, University of Health and Rehabilitation Sciences, Qingdao 266000, Shandong Province, China; 3. Department of Traditional Chinese and Western Medicine, Qingdao Central Hospital, University of Health and Rehabilitation Sciences, Qingdao 266000, Shandong Province, China)

Correspondence to: DING Fucheng E-mail: fortune_1980@163.com

[Abstract] **Objective:** To explore the application value of energy spectrum computed tomography (CT) in the detection of mediastinal lymph node metastasis in non-small cell lung cancer (NSCLC). **Methods:** Patients with NSCLC at the Third People's

Hospital of Qingdao from May 2023 to August 2024 were retrospectively analyzed, and they were divided into lymph node metastasis group and lymph node non-metastasis group according to the pathological results of lymph node metastasis. General data of patients, relative parameters of energy spectrum CT, such as energy spectrum curve slope (λ_{HU}), standardized ordered atomic value (N_{eff-Z}), normalized iodine concentration (NIC), in primary lesions and lymph nodes of patients and between the two groups were compared. And receiver operating characteristic (ROC) curve was used to analyze its diagnostic value on NSCLC metastases. Logistic binary regression equation was used to analyze the correlation between the above indicators and mediastinal lymph node metastasis in NSCLC. **Results:** Among 105 cases of NSCLC, there were 39 cases in lymph node metastasis group and 66 cases in lymph node non-metastasis group. The primary tumor size, clinical staging and serum carcinoembryonic antigen (CEA) level in lymph node metastasis group were higher than those in lymph node non-metastasis group ($P < 0.05$). The λ_{HU} and NIC in plain scan and in arterial phase of lymph nodes in 105 patients were higher than those of primary lesions ($P < 0.05$). The λ_{HU} and NIC of lymph nodes in plain scan and arterial phase in lymph node metastasis group were lower than those in lymph node non-metastasis group ($P < 0.05$) while the N_{eff-Z} values in plain scan and arterial phase were higher than those in lymph node non-metastasis group ($P < 0.05$). ROC curve results showed that the AUCs of λ_{HU} , N_{eff-Z} and NIC in plain scan and λ_{HU} , N_{eff-Z} and NIC in arterial phase ranged from 0.679 to 0.961 ($P < 0.05$). Logistic binary regression equation analysis revealed that the primary tumor size, clinical staging, serum CEA level and energy spectrum CT related parameters were significantly correlated with positive results of mediastinal lymph node metastasis in NSCLC ($P < 0.05$). **Conclusion:** Energy spectrum CT parameters such as λ_{HU} , N_{eff-Z} and NIC in plain scan and arterial phase have clinical predictive value on mediastinal lymph node metastasis in NSCLC.

[**Key words**] Non-small cell lung cancer; Mediastinal lymph node metastasis; Energy spectrum computed tomography

中国肺癌发病率和死亡率不断上升, 2020年中国新增肺癌患者82万例, 肺癌相关死亡71.5万例^[1]。非小细胞肺癌(non-small cell lung cancer, NSCLC) 占有肺癌的近八成, 患者生存率与肿瘤分期相关, NSCLC I期的5年生存率约为68.4%, 而IV期仅为5.8%, 虽然早期患者能够通过手术切除病灶, 但部分患者在确诊时已出现转移^[2-3], 限制了治疗方案的选择, 且不利于患者预后, 故肿瘤转移的诊断对于评估患者病情以及制订治疗方案具有重要意义。当前NSCLC转移诊断的金标准仍为病理学检查, 为有创操作; 常规计算机体层成像(computed tomography, CT) 也可为病灶转移的诊断提供参考, 但其漏诊和误诊率较高^[4], 因此需进一步研究影像学成像技术以提高诊断NSCLC纵隔淋巴结转移的准确度。能谱CT能够利用双能量成像, 通过分析物质在不同X线能量下产生的不同吸收系数来收集影像学信息, 比常规CT更为全面^[5]。既往研究^[6]表明, 能谱CT显像参数对结直肠癌淋巴结转移具有较好的诊断效率, 能够为淋巴结清扫提供病灶范围和数量等信息, 提高手术操作的精准度, 且能够用于评价患者的预后。但目前能谱CT对NSCLC转移的诊断价值研究较少, 基于此, 本文以NSCLC患者为研究对象, 旨在探究能谱CT探查NSCLC纵隔淋巴结转移的应用价值。

1 资料和方法

1.1 一般资料

回顾并选取2023年5月—2024年8月青岛市第三人民医院收治的NSCLC患者。纳入标准: ①经病理学检查证实为原发性NSCLC; ②初诊患者, 检查前未经抗肿瘤治疗; ③均接受能谱CT检查。排除标准: ①合并感染性疾病、其他原发性肿瘤等; ②合并心肺、肝、肾功能不全; ③妊娠、哺乳期妇女。

1.2 方法

1.2.1 临床资料

收集并比较两组患者年龄、性别、原发肿瘤大小、原发灶位置、临床分期、术前血清癌胚抗原(carcinoembryonic antigen, CEA)水平。

1.2.2 能谱CT检查

所有患者均接受能谱CT检查, 检查前5 min进行呼吸指导, 采用日本Canon公司的Aquilion ONE TSX-305A扫描仪, 选用双能模式进行平扫和增强动脉期扫描, 患者取仰卧位, 双臂上举, 扫描范围为肺尖至肋膈角水平, 扫描参数: 管电压80、140 kV瞬时切换, 自动管电流, 层间距、层厚2 mm, 螺距1.375:1。平扫完成后进行增强扫描, 从肘静脉注射非离子型对比剂碘海醇

(含碘300 mg/mL, 1.0 mL/kg, 注射速率3 mL/s), 注射后用30 mL生理盐水冲管, 注射速率与碘海醇相同, 延迟扫描时间30~35 s, 动脉期扫描采取阈值自动曝光, 扫描范围和其他扫描参数与平扫相同。

扫描完成后将数据上传至Vitrea工作站进行重建和数据处理, 纵隔窗薄层层厚、层间隔为2 mm, 肺窗薄层层厚、层间隔为1.25 mm, 视野32~35 cm, 矩阵512×512。手动勾画感兴趣区, 需尽量避开钙化灶和液化坏死区域, 且其面积理论上应>2/3横断面。观察病灶形态特征并测量病灶及淋巴结的长短径。测量原发灶、短径≥5 mm淋巴结的能谱曲线, 计算相关参数, 包括平扫和动脉期能谱曲线斜率(λ_{HU})、标准化有序原子序数值(normalized effective-Z, N_{eff-Z})、标准化碘密度(normalized iodine concentration, NIC), $\lambda_{HU}=CT_{40keV}$ 值- CT_{100keV} 值/60, $NIC=$ 原发灶或淋巴结碘浓度/同层面主动脉碘浓度, $N_{eff-Z}=$ 原发灶或淋巴结有效原子序数值/同层面主动脉有效原子序数值。此过程由2名高年资医师一同进行, 对同一图像的不同意见进行协商以取得一致结论。

所有患者均在术后将纵隔淋巴结清扫样本送检, 以病理学检查结果作为NSCLC纵隔淋巴结转移的金标准, 根据患者是否出现淋巴结转移将其分为淋巴结转移组和淋巴结未转移组。

1.3 统计学处理

采用SPSS 24.0进行统计学分析, 符合正态性检验的计量资料用 $\bar{x}\pm s$ 表示, 组间比较用独立样本 t 检验, 不符合则采用Wilcoxon秩和检验。计数资料用 n (%)表示, 组间比较采用 χ^2 检验。采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析能谱CT相关参数对NSCLC转移的诊断价值, logistic二元回归方程分析与NSCLC纵隔淋巴结转移的相关性。按两组样本比例进行反向加权, 各组的权重为总样本量/各组样本量, 淋巴结转移组和淋巴结未转移组的权重分别为2.69和1.59。采用双侧检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 一般资料比较

本研究共纳入105例NSCLC患者(图1)。根据病理学检查结果中的淋巴结转移情况将105例NSCLC患者分组, 病理学结果提示为纵隔淋巴结转移阳性的患者分为淋巴结转移组($n=39$), 纵隔淋巴结转移阴性的患者分为淋巴结未转移组($n=66$)。105例患者中男性61例, 女性44例, 年龄(62.71 ± 8.81)岁, 临床分期: I期25例, II期47例, III期21例, IV期12例。转移组原发肿瘤≥3 mm占比、血清CEA水平均高于未转移组($P<0.05$), 临床分期I期占比低于未转移组($P<0.05$, 表1)。

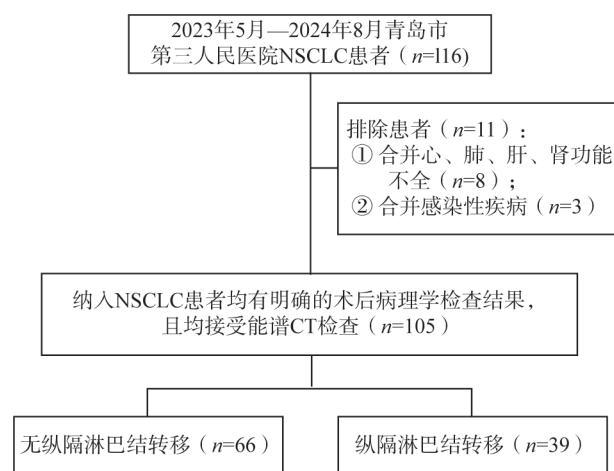


图1 研究对象纳入流程图

Fig.1 Inclusion flow chart of study subjects

2.2 NSCLC患者原发灶和淋巴结能谱CT相关参数比较

105例NSCLC患者手术切除转移淋巴结74枚, 非转移淋巴结349枚, 共423枚。NSCLC患者淋巴结平扫及动脉期 λ_{HU} 、NIC均高于原发灶($P<0.05$), 平扫及动脉期 N_{eff-Z} 差异无统计学意义($P>0.05$, 表2)。

2.3 两组淋巴结能谱CT相关参数比较

转移组淋巴结平扫及动脉期 λ_{HU} 、NIC均低于未转移组($P<0.05$), 平扫及动脉期 N_{eff-Z} 均高于未转移组($P<0.05$, 表3, 图2、3)。

表1 两组患者一般资料比较

Tab.1 Comparison of general data between the two groups of patients

项目	淋巴结转移组 (n=39)	淋巴结未转移组 (n=66)	χ^2/t 值	<i>n</i> (%) 或 $\bar{x}\pm s$
				<i>P</i> 值
性别				
男性	23 (58.97)	43 (65.15)	0.401	0.527
女性	16 (41.03)	23 (34.85)		
年龄/岁	61.56±8.77	63.39±8.83	1.028	0.306
原发肿瘤大小/mm				
<3	21 (53.85)	21 (31.82)	4.956	0.026
≥3	18 (46.15)	45 (68.18)		
原发灶位置				
右肺上叶	16 (41.03)	23 (34.85)	2.356	0.671
右肺中叶	4 (10.26)	4 (6.06)		
右肺下叶	6 (15.38)	15 (22.73)		
左肺上叶	8 (20.51)	11 (16.67)		
左肺下叶	5 (12.82)	13 (19.70)		
临床分期				
I期	0 (0)	25 (37.8)	51.524	<0.001
II期	11 (28.21)	36 (54.55)		
III期	19 (48.72)	2 (3.03)		
IV期	9 (23.08)	3 (4.55)		
CEA/ (ng·mL ⁻¹)				
<5	22 (56.41)	51 (77.27)	5.036	0.025
≥5	17 (43.59)	15 (22.73)		

表2 NSCLC患者原发灶和淋巴结能谱CT相关参数比较

Table 2 Comparison of energy spectrum CT parameters in primary tumors and lymph nodes of NSCLC patients

检测部位	平扫			动脉期		
	λ_{HU}	N_{eff-Z}	NIC	λ_{HU}	N_{eff-Z}	NIC
	$\bar{x}\pm s$					
原发灶	1.57±0.45	0.78±0.10	0.18±0.06	2.95±0.82	0.77±0.03	0.21±0.08
淋巴结	1.76±0.58	0.76±0.08	0.60±0.20	3.27±0.92	0.78±0.06	0.60±0.20
<i>t</i> 值	2.652	1.600	20.611	2.660	1.528	18.552
<i>P</i> 值	0.008	0.111	<0.001	0.008	0.128	<0.001

表3 两组淋巴结能谱CT相关参数比较

Table 3 Comparison of energy spectrum CT parameters of lymph nodes between the two groups

组别	<i>n</i>	平扫			动脉期		
		λ_{HU}	N_{eff-Z}	NIC	λ_{HU}	N_{eff-Z}	NIC
		$\bar{x}\pm s$					
淋巴结转移组	39	1.53±0.53	0.80±0.04	0.39±0.12	2.58±0.55	0.80±0.03	0.39±0.13
淋巴结未转移组	66	1.90±0.56	0.73±0.09	0.73±0.12	3.68±0.86	0.76±0.06	0.72±0.12
<i>t</i> 值		3.287	4.939	13.031	7.924	4.713	12.884
<i>P</i> 值		0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

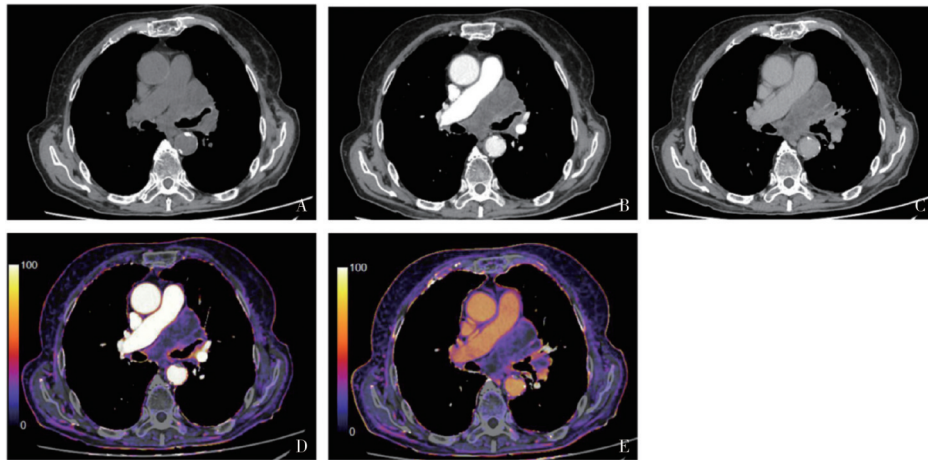


图2 NSCLC纵隔淋巴结转移病例1的能谱CT图像

Fig.2 Energy spectrum CT images of case 1 with NSCLC and mediastinal lymph node metastasis

患者，男性，80岁。A：纵隔左侧支气管旁明显肿大淋巴结融合呈团块；B：动脉期增强未见强化；C：静脉期淋巴结不均匀强化；D：动脉期碘减影图显示碘剂不均匀轻度沉积；E：静脉期碘减影图显示碘剂不均匀持续沉积。平扫 λ_{HU} 、 N_{eff-Z} 、NIC分别为1.82、0.75、0.64，动脉期 λ_{HU} 、 N_{eff-Z} 、NIC分别为3.17、0.79、0.71。

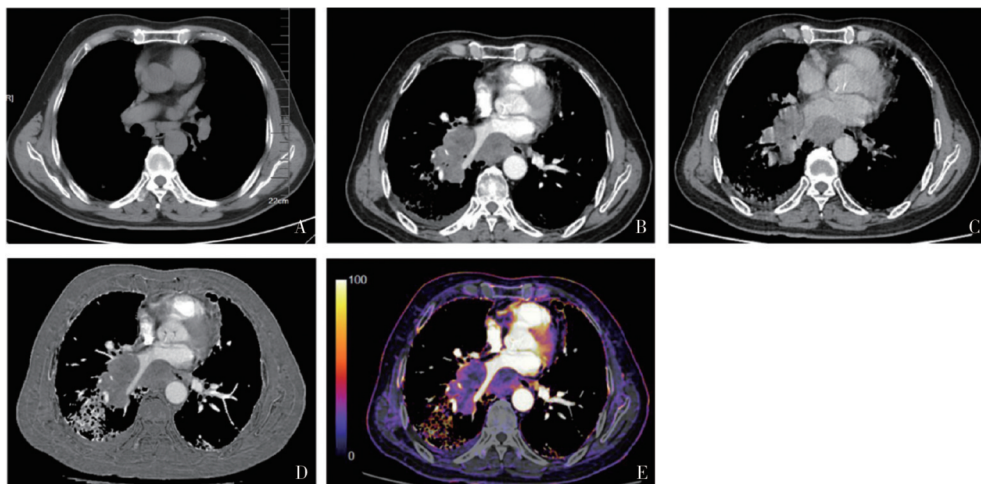


图3 NSCLC纵隔淋巴结转移病例2的能谱CT图像

Fig.3 Energy spectrum CT images of case 2 with NSCLC and mediastinal lymph node metastasis

患者，男性，63岁。A：纵隔窗显示纵隔内见多发增大的淋巴结影；B：增强动脉期纵隔及右肺门淋巴结轻度不均匀强化；C：增强静脉期持续不均匀强化；D：动脉期减影图；E：动脉期碘减影图显示纵隔及右肺门淋巴结可见碘剂不均匀沉积。平扫 λ_{HU} 、 N_{eff-Z} 、NIC分别为1.62、0.81、0.45，动脉期 λ_{HU} 、 N_{eff-Z} 、NIC分别为2.96、0.82、0.50。

2.4 ROC曲线分析能谱CT对NSCLC纵隔淋巴结转移的诊断价值

ROC曲线结果显示，平扫 λ_{HU} 、 N_{eff-Z} 、NIC以及动脉期 λ_{HU} 、 N_{eff-Z} 、NIC的AUC为0.679~0.961 ($P<0.05$ ，表4，图4)。

2.5 Logistic二元回归方程分析能谱CT相关参数与NSCLC纵隔淋巴结转移的相关性

根据ROC曲线分析结果，将纵隔淋巴结转

移设为因变量，能谱CT相关参数设为自变量，根据样本量比例进行反向加权，进行logistic二元回归方程分析。

Logistic二元回归方程分析结果显示，原发肿瘤大小、临床分期、血清CEA水平及各项能谱CT相关参数均与NSCLC纵隔淋巴结转移阳性结果显著相关 ($P<0.05$ ，表5)。

表4 ROC曲线分析能谱CT对NSCLC纵隔淋巴结转移的诊断价值

Tab.4 Diagnostic value of energy spectrum CT on mediastinal lymph node metastasis in NSCLC by ROC curve analysis

指标	AUC	截断值	95% CI	P值	灵敏度 (95% CI) /%	特异度 (95% CI) /%	准确度/%	阳性预测值/%	阴性预测值/%
平扫 λ_{HU}	0.679	1.88	0.581~0.767	<0.001	76.92 (60.28~88.29)	53.03 (40.43~65.27)	61.90	49.18	79.54
平扫 N_{eff-Z}	0.735	0.77	0.640~0.816	<0.001	74.36 (57.57~86.40)	69.70 (57.00~80.09)	71.43	59.18	82.14
平扫NIC	0.961	0.59	0.905~0.989	<0.001	97.44 (84.92~99.87)	89.39 (78.77~95.27)	92.38	84.44	98.33
动脉期 λ_{HU}	0.856	3.17	0.774~0.917	<0.001	89.74 (74.84~96.66)	75.76 (63.38~85.10)	80.95	68.63	92.59
动脉期 N_{eff-Z}	0.758	0.78	0.664~0.836	<0.001	79.49 (63.06~90.13)	62.12 (49.30~73.52)	68.57	55.36	83.67
动脉期NIC	0.940	0.53	0.876~0.977	<0.001	84.62 (68.79~93.59)	93.94 (84.44~98.04)	90.48	89.19	91.18

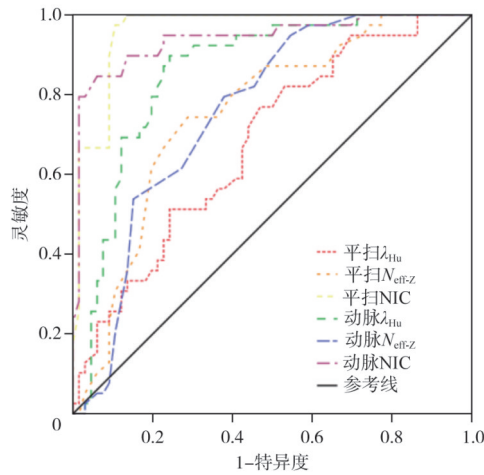


图4 能谱CT诊断NSCLC纵隔淋巴结转移的ROC曲线

Fig.4 ROC curves of energy spectrum CT in the diagnosis of mediastinal lymph node metastasis in NSCLC

表5 Logistic二元回归方程分析能谱CT相关参数与NSCLC纵隔淋巴结转移的相关性

Tab.5 Logistic binary regression equation analysis of correlation between energy spectrum CT-related parameters and mediastinal lymph node metastasis in NSCLC

项目	β	SE	wald χ^2	OR	95% CI	P值
原发肿瘤大小 ≥ 3 mm	0.895	0.417	4.607	2.447	1.081~5.542	0.032
原发肿瘤大小 < 3 mm				1.000		
临床分期III、IV期	1.258	0.533	5.571	3.518	1.238~10.001	0.019
临床分期I、II期				1.000		
血清CEA ≥ 5 ng/mL	1.326	0.571	5.393	3.766	1.230~11.532	0.021
血清CEA < 5 ng/mL				1.000		
平扫 $\lambda_{HU} < 1.88$	1.567	0.329	22.685	4.792	2.515~9.133	<0.001
平扫 $\lambda_{HU} \geq 1.88$				1.000		
平扫 $N_{eff-Z} > 0.77$	1.791	0.744	5.795	5.995	1.395~25.771	0.016
平扫 $N_{eff-Z} \leq 0.77$				1.000		
平扫NIC < 0.59	2.095	0.816	6.573	8.101	1.637~40.099	0.011
平扫NIC ≥ 0.59				1.000		
动脉期 $\lambda_{HU} < 3.17$	0.956	0.458	4.357	2.601	1.060~6.383	0.037
动脉期 $\lambda_{HU} \geq 3.17$				1.000		
动脉期 $N_{eff-Z} > 0.78$	1.440	0.505	8.131	4.221	1.569~11.357	0.004
动脉期 $N_{eff-Z} \leq 0.78$				1.000		
动脉期NIC < 0.53	0.741	0.360	4.248	2.100	1.037~4.253	0.040
动脉期NIC ≥ 0.53				1.000		

3 讨 论

NSCLC 治疗前需进行严格的病情评估,影像学检查是除病理学检查以外最直观可靠的检查方式。常规CT对于NSCLC淋巴结转移通常以淋巴结形态大小作为影像学评估依据,但该方法的误诊率、漏诊率较高,诊断效能不佳^[7]。有研究^[8-9]认为正电子发射断层成像(positron emission tomography, PET)/CT、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)等亦能有效辨别NSCLC的淋巴结转移,PET/CT可评估肿瘤的代谢活动,其早期检测效果更佳,MRI在肺部周围结构等软组织成像更为精细。但前者存在价格高昂、高辐射等局限,MRI扫描速度较慢且对气体密度变化的识别精度较低,均存在一定局限。能谱CT通过两种不同能量的X线对病灶进行同时扫描,由于高、低能级原子物质对X线的吸收程度有显著差异,同时亦结合了常规CT对病灶形态成像结果,因此对于不同组织的区分作用更为显著,亦有研究^[10-11]表明其在去除伪影方面具有较大优势,因此在肿瘤及其转移的诊断和鉴别上应用广泛。

能谱CT能够以碘作为基物质,较为敏感地识别病灶中的碘对比剂,通过算法获得与组织碘含量相关的定量参数,使病灶的鉴别诊断更为直观^[12]。本研究中NSCLC患者淋巴结平扫及动脉期 λ_{HU} 、NIC均高于原发灶,平扫及动脉期 N_{eff-Z} 差异无统计学意义,表明NSCLC患者手术切除淋巴结与原发灶在部分能谱CT相关参数上存在差异,且发现淋巴结转移灶与原发灶的 λ_{HU} 相近,提示两者源性较高。分析原因,NSCLC原发灶由于病灶更大,微血管密度不及转移灶^[13],因而碘对比剂含量较低,表现为NIC更低;组织密度越大则CT值越高, λ_{HU} 是由高、低千伏CT值计算而来,碘对比剂含量低的组织CT值较低,因而 λ_{HU} 在淋巴结中更低,而 N_{eff-Z} 是反映被扫描物质与参照物对X线衰减效果的比值,在组成成分相似的组织中相近^[14]。结合上述理论,本研究中原发灶与淋巴结 N_{eff-Z} 无显著差异的原因可能

是淋巴结样本中包括了转移和非转移淋巴结,且非转移淋巴结占比较大。本研究中,转移组淋巴结平扫及动脉期 λ_{HU} 、NIC均低于未转移组,平扫及动脉期 N_{eff-Z} 均高于未转移组,且本研究ROC曲线分析结果显示平扫 N_{eff-Z} 、NIC、动脉期 λ_{HU} 、NIC对NSCLC转移诊断的AUC均超过0.7,logistic二元回归方程分析结果显示,原发肿瘤大小、临床分期、血清CEA水平及各项能谱CT相关参数均与NSCLC纵隔淋巴结转移阳性结果显著相关,表明能谱CT的诊断准确度较好,可作为临床NSCLC淋巴结转移的诊断参考。分析原因,非转移淋巴结血供未受到肿瘤原发灶影响,组织内部血管分布不均,是导致 λ_{HU} 出现变化主要因素,而在转移淋巴结中血管畸变以及缺氧状态使得其供血水平低于非转移淋巴结,因此出现碘对比剂含量差异,进而导致能谱CT相关参数差异^[15]。

本研究为样本量较小单中心研究,且未探究不同剂量碘对比剂在能谱CT应用于NSCLC纵隔淋巴结转移诊断中的作用,存在一定局限,未来将开展进一步研究。

综上所述,平扫和动脉期 λ_{HU} 、 N_{eff-Z} 、NIC等能谱CT相关参数在临床中对NSCLC纵隔淋巴结转移具有预测价值,具有良好的临床应用前景,在一定程度上能改善当前NSCLC的诊疗现状。

第一作者:

杨 昱 (ORCID: 0009-0009-8906-8856), 本科, 副主任医师。

通信作者:

丁甫成 (ORCID: 0009-0002-2962-9227), 本科, 主管技师, 副主任, E-mail: fortune_1980@163.com。

作者贡献声明:

杨昱: 写文章、整理数据; 肖文豪: 协助整理数据; 华秀丽、夏厚栋、吴阿敏: 检查润色, 统筹核对; 丁甫成: 技术指导。

[参 考 文 献]

- [1] CHEN P X, LIU Y H, WEN Y K, et al. Non-small cell lung cancer in China[J]. Cancer Commun, 2022, 42(10): 937-970.
- [2] MITHOOWANI H, FEBBRARO M. Non-small-cell lung cancer in 2022: a review for general practitioners in oncology [J]. Curr Oncol, 2022, 29(3): 1828-1839.
- [3] SUN J J, WU S K, JIN Z X, et al. Lymph node micrometastasis in non-small cell lung cancer [J]. Biomed Pharmacother, 2022,

- 149: 112817.
- [4] CHAKRABARTY N, MAHAJAN A, PATIL V, et al. Imaging of brain metastasis in non-small-cell lung cancer: indications, protocols, diagnosis, post-therapy imaging, and implications regarding management[J]. *Clin Radiol*, 2023, 78(3): 175-186.
- [5] JIN L, SUN Y L, MA Z J, et al. Radiomics-based machine learning for predicting the injury time of rib fractures in gemstone spectral imaging scans[J]. *Bioengineering*, 2022, 10(1): 8.
- [6] CHEN W B, SHI Q Q, LI Z M, et al. Diagnostic value of spiral CT energy spectrum imaging in lymph node metastasis of colorectal cancer[J]. *Int J Colorectal Dis*, 2022, 37(9): 2021-2029.
- [7] 叶陆爽, 杨建峰. 非小细胞肺癌纵隔淋巴结转移的CT影像组学研究进展[J]. *中国医学影像学杂志*, 2022, 30(6): 625-629.
YE L S, YANG J F. Advances of CT radiomics in mediastinal lymph node metastasis of non-small cell lung cancer[J]. *Chin J Med Imag*, 2022, 30(6): 625-629.
- [8] 刘佳楹, 付 伟, 王健庄, 等. 基于PET/CT代谢参数的NSCLC纵隔淋巴结转移预测模型构建[J]. *安徽医学*, 2024, 45(11): 1403-1407.
LIU J Y, FU W, WANG J Z, et al. Prediction model of mediastinal lymph node metastasis in NSCLC based on PET/CT metabolic parameters [J]. *Anhui Med J*, 2024, 45(11): 1403-1407.
- [9] 张萌迪, 李 杰, 李真真, 等. 动态增强MRI成像参数对非小细胞肺癌淋巴结转移的评估作用[J]. *中国医学工程*, 2024, 32(9): 75-79.
ZHANG M D, LI J, LI Z Z, et al. Evaluation of dynamic contrast-enhanced MRI parameters for lymph node metastasis in non-small cell lung cancer[J]. *China Med Eng*, 2024, 32(9): 75-79.
- [10] WANG Y W, CHEN C J, WANG T C, et al. Multi-energy level fusion for nodal metastasis classification of primary lung tumor on dual energy CT using deep learning [J]. *Comput Biol Med*, 2022, 141: 105185.
- [11] ZHANG J G, WANG X Z, ZHAO F, et al. Application of metal artifact reduction software in gemstone spectral computed tomography for patients after total knee arthroplasty [J]. *Ann Transl Med*, 2022, 10(16): 864.
- [12] YAO C, CHEN X F, YANG Z Q, et al. Gemstone spectral CT virtual noncontrast images and iodine maps for the characterization of thyroid lesions and distinguishing thyroid papillary carcinoma from nodular goiter [J]. *Int J Endocrinol*, 2023, 2023: 8220034.
- [13] MU R H, MENG Z N, ZHANG X D, et al. Parameters of dual-layer spectral detector CT could be used to differentiate non-small cell lung cancer from small cell lung cancer[J]. *Curr Med Imaging*, 2022, 18(10): 1070-1078.
- [14] LUO Y H, MEI X L, LIU Q R, et al. Diagnosing cervical lymph node metastasis in oral squamous cell carcinoma based on third-generation dual-source, dual-energy computed tomography [J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(1): 162-171.
- [15] LIU Y, NIE Y K. Correlation with spectral CT imaging parameters and occult lymph nodes metastases in sufferers with isolated lung adenocarcinoma [J]. *Contrast Media Mol Imaging*, 2022, 2022: 5472446.

(收稿日期: 2025-08-29 修回日期: 2026-01-05)