

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2024.03.009

医学影像物理

## 不同CT阈值下实性成分占比对小肺癌浸润性预测的影响

牛树国<sup>1</sup>, 周福兴<sup>1</sup>, 颜克松<sup>2</sup>, 赵润生<sup>1</sup>, 刘彬彬<sup>3</sup>, 柴文晓<sup>2</sup>

1. 武威市中医医院放射科, 甘肃 武威 733000; 2. 甘肃省人民医院肿瘤介入科, 甘肃 兰州 730000; 3. 武威市中医医院病理科, 甘肃 武威 733000

**【摘要】目的:**利用人工智能辅助测量,比较在不同CT阈值下测得的肿瘤实性成分占比(CTR)对 $\leq 2$  cm小肺癌浸润性预测的准确率,探讨预测肺癌浸润性的CTR阈值及对应的CT阈值。**方法:**收集2021年1月至2023年5月武威市中医医院就诊的59例肺癌患者(共78个肺结节)的临床资料,分析在CT阈值分别为-400、-350、-300、-250、-200、-150 HU时测得的CTR对直径 $\leq 2$  cm小肺癌浸润性的预测效能,绘制ROC曲线判断预测浸润性的最佳临界值,以确定相应的CT阈值。**结果:**CT阈值为-250 HU时,对肺结节浸润性的诊断效能最高,曲线下面积为0.931,灵敏度为77.5%,特异度为100%,最佳CTR阈值为0.322。**结论:**对于最大径 $\leq 2$  cm的小肺癌,当CT阈值为-250 HU时测得的CTR可较准确地预测肺癌的浸润性,当CTR>0.322时结节为微浸润腺癌或浸润性腺癌可能性较大。

**【关键词】**肺结节;肺癌;CT阈值;实性成分占比;人工智能

**【中图分类号】**R734.2;R816.4

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2024)03-0323-04

## Predictive value of consolidation/tumor ratio at different CT thresholds for invasiveness in small lung cancer

NIU Shuguo<sup>1</sup>, ZHOU Fuxing<sup>1</sup>, YAN Kesong<sup>2</sup>, ZHAO Runsheng<sup>1</sup>, LIU Binbin<sup>3</sup>, CHAI Wenxiao<sup>2</sup>

1. Department of Radiology, Wuwei Hospital of Traditional Chinese Medicine, Wuwei 733000, China; 2. Department of Tumor Intervention, Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730000, China; 3. Department of Pathology, Wuwei Hospital of Traditional Chinese Medicine, Wuwei 733000, China

**Abstract: Objective** To compare the accuracy of consolidation/tumor ratio (CTR) measured at different CT thresholds for the prediction of invasiveness in small lung cancer with diameter  $\leq 2$  cm using artificial intelligence-assisted measurements, and to explore the CTR thresholds and the corresponding CT thresholds for predicting lung cancer invasiveness. **Methods** Clinical data from 59 lung cancer patients (78 lung nodules in total) treated at Wuwei Hospital of Traditional Chinese Medicine from January 2021 to May 2023 were collected to analyze the prediction efficacy of CTR on invasiveness in small lung cancer with diameter  $\leq 2$  cm measured at CT thresholds of -400, -350, -300, -250, -200, -150 HU. ROC curves were plotted to determine the optimal critical value for invasiveness prediction, followed by the corresponding CT threshold. **Results** The highest diagnostic efficacy for the invasiveness of lung nodules was achieved at a CT threshold of -250 HU, with an area under the curve of 0.931, sensitivity of 77.5%, specificity of 100%, and an optimal CTR threshold of 0.322. **Conclusion** For small lung cancers with a maximum diameter  $\leq 2$  cm, CTR measured at a CT threshold of -250 HU can accurately predict lung cancer invasiveness. At CTR > 0.322, the nodule is more likely to be microinvasive or invasive adenocarcinoma.

**Keywords:** lung nodule; lung cancer; CT threshold; consolidation/tumor ratio; artificial intelligence

**【收稿日期】**2023-11-03

**【基金项目】**甘肃省自然科学基金(22JR5RA687);武威市科技计划项目(WW2101168)

**【作者简介】**牛树国, 硕士, 主治医师, 研究方向:影像诊断与介入治疗, E-mail: nsg90230@163.com

**【通信作者】**柴文晓, 硕士, 主任医师, 研究方向:肿瘤介入治疗, E-mail: chaiwenxiao@126.com

### 前言

我国肺癌高危人群CT筛查发现肺结节的阳性率高达22.9%,其中约6.34%为恶性结节<sup>[1]</sup>,而早期肺癌(Ia期)行肺叶切除手术治疗5年生存率可达到90%以上,原位腺癌及微浸润腺癌基本不出现淋巴结转移,手术后5年生存率接近100%<sup>[2]</sup>。因此早发现早治疗对早期肺癌患者获益明显<sup>[3]</sup>。肿瘤实性成分

占比(Consolidation Tumor Ratio, CTR)是指在高分辨计算机断层扫描(HRCT)肺窗中肿瘤最大实性直径与肿瘤最大直径的比值<sup>[4]</sup>。近年的多项研究表明CTR可作为早期预测肺癌良恶性的重要指标,是早期肺癌复发、气腔播散及预后等独立相关因素,并成为肺叶切除或亚肺叶切除手术方式选择及是否行淋巴结清扫的主要参考指标,为早期肺癌患者治疗方案提供依据<sup>[5-8]</sup>。但是,目前CTR值的测定尚无统一标准,在不同CT阈值下测得的数值不同,限制了CTR在肺结节良恶性预测及指导治疗方面的应用<sup>[9]</sup>。

人工智能(AI)在影像诊断方面的应用日新月异,尤其是肺结节辅助诊断方面的应用最为广泛,对肺结节识别、大小及CT值测量、恶性等级判断等方面均具有较高的准确率<sup>[10-12]</sup>。AI在准确测量结节大小、判断结节类型方面较人工具有明显优势,并可根据不同的CT阈值测得相应的CTR数据<sup>[13]</sup>。本研究利用AI辅助测量肺结节参数,通过比较不同CT阈值下测得的CTR对小肺癌浸润性预测的准确率,探讨预测肺癌浸润性的最佳CT阈值。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究对象

收集2021年1月至2023年5月武威市中医医院符合纳入和排除条件的59例患者,其中男39例,女20例,年龄范围48~81岁,平均年龄(62.3±5.7)岁。经多层螺旋CT肺部平扫共检出78个肺部结节,经手术或穿刺活检确诊为肺癌,其中不典型腺瘤样增生10个(12.8%),原位癌13个(16.7%),微浸润腺癌21个(26.9%),浸润性腺癌34个(43.6%)。

纳入标准:①有完整的最大吸气末HRCT影像资料,病变所在层面显示清晰、无呼吸及运动伪影;②肺内亚实性结节,直径≤2.0 cm;③病理确诊为肺癌,病理资料保存完整;④患者或亲属知情同意。排除标准:①病历资料不完整;②存在呼吸及体外异物等干扰,影响CT图像质量;③CT检查前行活检或放疗、化疗、靶向或免疫治疗等。本研究符合伦理要求并获得医院伦理委员会批准。

### 1.2 检查方法

采用美国GE公司256排Revolution CT进行全肺扫描。检查前对患者进行屏气训练,在患者最大吸气末时屏气行肺尖到肺底的薄层扫描。管电压:120 kV,管电流:150 mA,层厚:5 mm,重建层厚:0.625 mm,螺距:0.516 mm,扫描矩阵:512×512,FOV:350 mm×350 mm。

所有肺结节均经手术或穿刺活检取得病理组织,由两名病理科医师分别对病理切片进行判读,将

不典型腺瘤样增生和原位癌划分为非浸润性,将微浸润腺癌和浸润性腺癌划分为浸润性<sup>[14]</sup>。意见不一致时共同讨论确定。

### 1.3 CT阈值选择

将扫描后获得的高分辨CT图像导入AI工作站[数坤软件,数坤(北京)网络科技有限公司]进行定量分析,自动识别并测量结节的三维体积、实性成分体积与非实性成分体积、CTR等<sup>[15]</sup>。在上述基础上,分别设置不同CT阈值并测量结节实性成分与体积,由软件计算出CTR。共设置6个CT阈值:分别为-400、-350、-300、-250、-200、-150 HU。

### 1.4 诊断效能评价

纳入研究的结节判断浸润性的CTR临界值设为0.25,若CTR≤0.25认为结节无浸润性,若CTR>0.25认为结节具有浸润性<sup>[16]</sup>。预测结果与病理诊断相对照,以判断是否准确为结局变量,以不同CT阈值下的CTR为检验变量,绘制受试者工作特征(ROC)曲线。通过最大曲线下面积(AUC)判断最佳CT阈值,选择Youden指数最大时的CTR值作为判断结节浸润性的CTR临界值。

### 1.5 统计学方法

采用GraphPad Prism 8.0.2软件对数据进行统计分析,并绘制统计图。计量资料用均数±标准差表示,计数资料用率(%)表示。采用卡方检验进行多组间率的比较。采用单因素方差分析检验组间平均值差异性。利用二元Logistic回归分析CTR变量是否影响预测结局。绘制ROC曲线,分析独立预测因素的诊断效能。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 不同CT阈值测得的肺结节CTR

经单因素方差分析显示,各组间CTR值方差齐( $P=0.996$ ),各组CTR均数随CT阈值增加呈递减关系( $P<0.001$ )。CT阈值在-250 HU时诊断准确率最高,为91.0%。见表1。

表1 不同CT阈值测得的肺结节CTR

Table 1 CTR of lung nodules measured at different CT thresholds

阈值/HU	<i>n</i>	均数	标准差	准确率/%
-400	78	0.674	0.259	79.5
-350	78	0.623	0.271	82.1
-300	78	0.568	0.278	84.6
-250	78	0.514	0.279	91.0
-200	78	0.450	0.275	83.3
-150	78	0.394	0.268	82.1

2.2 不同CT阈值下CTR预测的ROC曲线

以病理结果为金标准,对78个结节的CTR值对浸润性的判断效能进行分析,绘制不同CT阈值下各组ROC曲线。结果显示,CT阈值为-250 HU时,对肺

结节浸润性的诊断效能最高,AUC值为0.931,灵敏度为77.5%,特异度为100%,最佳CTR阈值为0.322。见表2。

表2 不同CT阈值对小肺癌的诊断效能  
Table 2 Diagnostic efficacy of different CT thresholds for small lung cancer

阈值/HU	n	AUC值	灵敏度/%	特异度/%	约登指数	CTR阈值
-400	78	0.694	59.7	75.0	0.347	0.667
-350	78	0.871	84.4	85.7	0.701	0.422
-300	78	0.763	78.8	66.7	0.455	0.356
-250	78	0.931	77.5	100.0	0.775	0.322
-200	78	0.852	84.6	84.6	0.692	0.230
-150	78	0.878	85.9	92.9	0.788	0.189

3 讨论

多项研究显示CTR是肺结节浸润性的独立相关因素<sup>[17-19]</sup>。Suzuki等<sup>[16]</sup>研究显示病理性非侵袭性癌可以通过CTR值预测,肿瘤最大直径≤2 cm且CTR≤0.25,对肺癌的特异性为98.7%。Suzuki等<sup>[20]</sup>近期的一项研究推荐肿瘤位于肺外周1/3、最大直径≤2 cm且CTR≤0.25,在保证足够切缘情况下首选亚肺叶切除的手术方式,可提供足够的局部控制和无复发生存率。因此,早期预测肺癌浸润性对治疗方式的选择具有重要意义。但是,肺结节CTR测量尚无统一标准,不同CT阈值下获得的CTR值不同,影响了其在肺结节诊断中的价值。随着AI在影像诊断中的广泛应用,CT图像中肺结节的大小、体积及CTR测量均可由AI自动完成<sup>[21]</sup>。经影像科医师复检,识别准确率100%,测量准确度较高,与影像医师人工测量相比具有计算速度快、测量精度高、不受主观因素干扰等优势<sup>[22-23]</sup>。因此,利用AI辅助的肺结节诊断将帮助影像科医师进一步提高检出率和诊断准确率<sup>[24]</sup>。

本研究共设定6个CT阈值,单因素方差分析显示各组CTR均数随CT阈值增加呈递减关系,说明CT阈值越高被判断为实性成分的组织越少。但判断的准确率并不与CTR呈正向线性关系,当CT阈值在-400 HU时诊断准确率最低,为79.5%,当CT阈值在-250 HU时诊断准确率最高,为91.0%,而当CT阈值进一步增加时诊断准确率反而下降。本研究通过在不同CT阈值下测量CTR,并以病理结果为金标准,判断预测准确率。对各组诊断效能进行分析,画出不同CT阈值下ROC曲线。结果显示:各组AUC

值均大于0.69,说明诊断准确率均较高,并随着CT阈值的增大,AUC有增大的趋势,但无正向线性关系。当阈值为-250 HU时,对肺结节浸润性的诊断效能最高,AUC值为0.931,灵敏度为77.5%,特异度为100%,最佳CTR阈值为0.322,介于Suzuki等<sup>[16]</sup>研究设定的0.25和Koike等<sup>[25]</sup>研究设定的0.5临界值之间。上述结果说明以-250 HU为阈值测得的CTR可较准确地预测高危肺结节的浸润性,即CTR>0.322的结节为浸润性腺癌的可能性大于CTR≤0.322者。这将为肺结节的诊断及治疗方案的制定提供参考依据。

本研究仍存在一定的局限性,首先,纳入的样本量较小,且均为直径≤2 cm肺腺癌,不能反映所有肺结节的CT特点;其次,选择的CT阈值较少,仅能粗略测得诊断效能相对较高的CT阈值。后续的研究应纳入更全面的结节类型,设计更优的试验方案,以期探索CTR在临床中更广泛的应用价值。

【参考文献】

[1] Ettinger DS, Wood DE, Aisner DL, et al. Non-small cell lung cancer, version 3.2022, NCCN clinical practice guidelines in oncology[J]. J Natl Compr Canc Netw, 2022, 20(5): 497-530.  
[2] 刘宝东, 陈海泉, 刘伦旭, 等. 肺结节多学科微创诊疗中国专家共识[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2023, 30(8): 1061-1074.  
Liu BD, Chen HQ, Liu LX, et al. Chinese expert consensus on multidisciplinary minimally invasive diagnosis and treatment of pulmonary nodules[J]. Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2023, 30(8): 1061-1074.  
[3] Subramanian M, McMurry T, Meyers BF, et al. Long-term results for clinical stage IA lung cancer: comparing lobectomy and sublobar resection[J]. Ann Thorac Surg, 2018, 106(2): 375-381.  
[4] Ohde Y, Nagai K, Yoshida J, et al. The proportion of consolidation to ground-glass opacity on high resolution CT is a good predictor for

- distinguishing the population of non-invasive peripheral adenocarcinoma[J]. *Lung Cancer*, 2003, 42(3): 303-310.
- [5] Xi JJ, Yin JC, Liang JQ, et al. Prognostic impact of radiological consolidation tumor ratio in clinical stage IA pulmonary ground glass opacities[J]. *Front Oncol*, 2021, 11: 616149.
- [6] Dong H, Wang XB, Qiu YG, et al. Establishment and visualization of a model based on high-resolution CT qualitative and quantitative features for prediction of micropapillary or solid components in invasive lung adenocarcinoma[J]. *J Cancer Res Clin Oncol*, 2023, 149(12): 10519-10530.
- [7] Ito H, Suzuki K, Mizutani T, et al. Long-term survival outcome after lobectomy in patients with clinical T<sub>1</sub> N<sub>0</sub> lung cancer[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2021, 161(1): 281-290.
- [8] Wu YM, Song WP, Wang DN, et al. Prognostic value of consolidation-to-tumor ratio on computed tomography in NSCLC: a meta-analysis [J]. *World J Surg Oncol*, 2023, 21(1): 190.
- [9] 黄汉清, 叶波. 肿瘤实性成分占比在早期周围型肺癌诊疗中的研究进展[J]. *中国肺癌杂志*, 2022, 25(10): 764-770.  
Huang HQ, Ye B. Research progress in the effect of consolidation tumor ratio on the diagnosis and treatment of early-stage peripheral lung cancer[J]. *Chinese Journal of Lung Cancer*, 2022, 25(10): 764-770.
- [10] 吴阶平医学基金会模拟医学部胸外科专委会. 人工智能在肺结节诊治中的应用专家共识(2022年版)[J]. *中国肺癌杂志*, 2022, 25(4): 219-225.  
Thoracic Surgery Committee, Department of Simulated Medicine, Wu Jieping Medical Foundation. Chinese experts consensus on artificial intelligence assisted management for pulmonary nodule (2022 version) [J]. *Chinese Journal of Lung Cancer*, 2022, 25(4): 219-225.
- [11] 王新宇, 赵静文, 刘翔, 等. 人工智能在肺结节筛查和肺癌诊断中的应用[J]. *中国医学物理学杂志*, 2023, 40(9): 1182-1188.  
Wang XY, Zhao JW, Liu X, et al. Applications of artificial intelligence in lung nodule detection and lung cancer diagnosis [J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2023, 40(9): 1182-1188.
- [12] Gandhi Z, Gurram P, Amgai B, et al. Artificial intelligence and lung cancer: impact on improving patient outcomes[J]. *Cancers (Basel)*, 2023, 15(21): 5236.
- [13] Blanc D, Racine V, Khalil A, et al. Artificial intelligence solution to classify pulmonary nodules on CT[J]. *Diagn Interv Imaging*, 2020, 101(12): 803-810.
- [14] Moreira AL, Ocampo PSS, Xia YH, et al. A grading system for invasive pulmonary adenocarcinoma: a proposal from the international association for the study of lung cancer pathology committee[J]. *J Thorac Oncol*, 2020, 15(10): 1599-1610.
- [15] Lin YW, Ouyang L. An effective lung lesion segmentation and classification method for CT images based on a hybrid deep learning network[J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2021, 25(5): 1427.
- [16] Suzuki K, Koike T, Asakawa T, et al. A prospective radiological study of thin-section computed tomography to predict pathological noninvasiveness in peripheral clinical IA lung cancer (Japan clinical oncology group 0201)[J]. *J Thorac Oncol*, 2011, 6(4): 751-756.
- [17] Asamura H, Hishida T, Suzuki K, et al. Radiographically determined noninvasive adenocarcinoma of the lung: survival outcomes of Japan clinical oncology group 0201[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 146(1): 24-30.
- [18] Fang C, Xiang YW, Han WL. Preoperative risk factors of lymph node metastasis in clinical N0 lung adenocarcinoma of 3 cm or less in diameter[J]. *BMC Surg*, 2022, 22(1): 153.
- [19] Lin MW, Chen LW, Yang SM, et al. CT-based deep-learning model for spread-through-air-spaces prediction in ground glass-predominant lung adenocarcinoma[J]. *Ann Surg Oncol*, 2024, 31(3): 1536-1545.
- [20] Suzuki K, Watanabe SI, Wakabayashi M, et al. A single-arm study of sublobar resection for ground-glass opacity dominant peripheral lung cancer[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 163(1): 289-301.e2.
- [21] Pei Q, Luo YN, Chen YY, et al. Artificial intelligence in clinical applications for lung cancer: diagnosis, treatment and prognosis[J]. *Clin Chem Lab Med*, 2022, 60(12): 1974-1983.
- [22] Ather S, Kadir T, Gleeson F. Artificial intelligence and radiomics in pulmonary nodule management: current status and future applications [J]. *Clin Radiol*, 2020, 75(1): 13-19.
- [23] Chen JW, Cao R, Jiao SY, et al. Application value of a computer-aided diagnosis and management system for the detection of lung nodules [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2023, 13(10): 6929-6941.
- [24] Chiu HY, Chao HS, Chen YM. Application of artificial intelligence in lung cancer[J]. *Cancers (Basel)*, 2022, 14(6): 1370.
- [25] Koike S, Shimizu K, Ide S, et al. Is using a consolidation tumor ratio 0.5 as criterion feasible in daily practice? Evaluation of interobserver measurement variability of consolidation tumor ratio of lung cancer less than 3 cm in size[J]. *Thorac Cancer*, 2022, 13(21): 3018-3024.

(编辑:黄开颜)