

综述

影像计划肺穿刺活检在合并阻塞性病变的肺癌中的研究进展*

郑永坤^{1,2} 韩倩孝^{1,2} 焦志梅^{1,2}
黄刚² 王莉莉² 巨佳³
马娅琼^{2,*}

1.甘肃中医药大学第一临床医学院
2.甘肃省人民医院放射科
3.兰州大学第二医院放射科
(甘肃 兰州 730000)

【摘要】肺癌常合并阻塞性病变，明确肺癌与阻塞性病变之间的界线，对肺穿刺活检术中安全且有效地获取癌组织样本有重要的临床意义。本文就基于不同影像学方法在区分肺癌与其合并的阻塞性病变以及在计划和引导肺癌穿刺活检路径的相关研究进行了综述，旨在为影像计划合并阻塞性病变的肺癌的穿刺活检提供理论基础。

【关键词】肺癌；阻塞性病变；活检；影像

【中图分类号】R563

【文献标识码】A

【基金项目】省级科技计划项目基金

(21JR7RA605)；

兰州市科技计划项目基金

(2020-ZD-21)；

甘肃省人民医院院内基金

(23GSSYA-1)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.12.052

Progress of Image-planned Lung Biopsy in Lung Cancer with Obstructive Lesions*

ZHENG Yong-kun^{1,2}, HAN Qian-xiao^{1,2}, JIAO Zhi-mei^{1,2}, HUANG Gang², WANG Li-li², JU Jia³, MA Ya-qiong^{2,*}

1.First School of Clinical Medical of Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, Gansu Province, China

2.Department of Radiology, Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730000, Gansu Province, China

3.Department of Radiology, Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou 730000, Gansu Province, China

ABSTRACT

Lung cancer is often accompanied by obstructive lesions. It is of great clinical significance to define the boundary between lung cancer tumor and obstructive lesions to obtain tumor samples safely and effectively during biopsy. This article reviews the relevant studies on the differentiation of lung cancer tumor and obstructive lesions based on different imaging methods, as well as the planning and guidance of lung cancer biopsy based on different imaging methods. The aim is to provide a theoretical basis for the biopsy of lung cancer with obstructive lesions in the imaging planning.

Keywords: Lung Neoplasm; Obstructive Lesions; Biopsy; Image

肺癌是全世界发病率第二、死亡率第一的恶性肿瘤^[1]。肺癌常合并阻塞性病变，当肺癌合并阻塞性病变时，大多可采用支气管镜获取癌组织样本，但有部分患者需要经皮肺穿刺活检来获取癌组织样本。由于常规CT往往难以明确肺癌与阻塞性病变的界线，这使得穿刺活检难以安全且有效地获取癌组织样本。近年来，国内外许多学者采用不同影像学方法区分肺癌与其合并的阻塞性病变以进行肺癌放疗靶区的勾画及肺癌T分期的确定，同时，亦有许多学者采用不同影像学方法计划和引导肺癌的穿刺活检路径^[2-4]。本文就基于以上两个方面的研究作一综述，为影像计划合并阻塞性病变的肺癌的穿刺活检提供理论基础。

1 肺癌合并的阻塞性病变概述

肺癌合并的阻塞性病变包括阻塞性肺不张和阻塞性肺梗死。肺癌合并阻塞性肺不张是指支气管被肿瘤组织完全或部分阻塞导致所属肺无气、不能膨胀，同时可引起不张肺组织反复感染。肺癌合并阻塞性肺梗死是指肺动脉被肿瘤组织压迫及侵犯后，其供血区域肺组织因血流受阻或中断而发生坏死^[5]。当肺癌瘤体过大时，可能会同时侵犯气道及血管，从而引起阻塞性肺不张及肺梗死。

肺癌并阻塞性肺不张的发生率约为28%^[6]。中央型肺癌的肿瘤细胞起源于肺段及肺段以上支气管，肿瘤生长时常导致大气道狭窄或阻塞，可引起叶、段阻塞性肺不张及阻塞性肺炎等继发改变，其发生率约为65%^[7]，组织学类型以鳞癌和小细胞肺癌多见。周围型肺癌发生于肺段支气管以下，当阻塞小气道时，也可以引起肺不张，其发生率约为32%^[7]，组织学类型以腺癌多见，其中浸润性黏液腺癌的发病率虽然较低(约2%)^[8-9]，但因其浸润过程中分泌黏液，故常阻塞小支气管引起节段性肺不张及阻塞性肺炎。

肺癌并阻塞性肺梗死的发生率较低，其不仅可因肿瘤侵犯、压迫肺门的肺动脉引起，也可由肿瘤栓子栓塞肺动脉引起。Hanbury等^[10]报告了100例肺癌全肺切除术，其中2例因肺动脉主干受肿瘤浸润导致肺梗死，3例因主要血管被肿瘤组织压迫而导致肺梗死。Steinberg等^[11]发现在250例肺癌患者中，18%的人累及肺动脉主干，53%的人累及叶和段肺动脉。Yoshida等^[12]在518例肺癌患者中发现了16例肺梗死，其中，中央型肺癌合并肺梗死的发生率>10%。肿瘤栓子栓塞肺动脉引起的肺梗死极为罕见，Kang等^[13]报道了一个病例，CT上表现为双肺胸膜下多发局灶性实变伴磨玻璃影，病理证实为是肿瘤栓子栓塞血管引起的肺梗死。

2 穿刺活检合并阻塞性病变的肺癌所存在的临床问题

肺癌合并阻塞性肺不张、阻塞性肺炎时，CT上常表现为大片状密度增高影，边缘轮廓不清，与肺炎表现类似，在常规CT上很难区分肿瘤组织与周围的肺不张及炎性组织^[14-16]；与肺癌相关的肺梗死在CT上可表现为位于原发肿瘤周围的实变影，在CT上亦与肿瘤组织密度相似^[12,17-19]。当需要对合并阻塞性病变的肺癌进行穿刺活检时，常因肿瘤与阻塞性病变的界线无法明确，而出现穿刺入阻塞性病变内致样本量不足或假阴性的结果^[20-21]。在以往的临床经验中，通常认为肺癌合并阻塞性病变时，肺癌往往位于中央的区域，而阻塞性病变常位于周围区域，因此对近端中央病变进行活检，通常会得到阳性率更高的活检样本，这与Marriott等^[17]的研究结论是相似的，但是近端肺癌瘤体多靠近肺门区的肺血管及支气管，若为了获取理想的癌组织样本而尽可能去穿刺肺门区肿瘤，可能在穿刺过程中损伤气管或血管，导致血液快速进入气道而引起咯血，甚至窒

【第一作者】郑永坤，女，在读硕士研究生，主要研究方向：胸部疾病影像诊断。E-mail: 18909263748@163.com

【通讯作者】马娅琼，女，副主任医师，主要研究方向：胸腹部疾病影像诊断及CT引导下非血管介入诊疗。E-mail: Mayq3778@163.com

息、死亡。因此,如果穿刺活检术前采用影像学方法能够明确合并阻塞性病变的肺癌瘤体最外周的界线,便可在尽量远离肺门血管和支气管的前提下安全且有效地获得癌组织样本。

3 不同影像学方法计划肺穿刺活检在合并阻塞性病变的肺癌中的应用

为了确保穿刺合并阻塞性病变的肺癌时获得足够的癌组织样本,多项研究及专家共识推荐术前可通过先进的影像方法来计划穿刺路径^[22-27]。目前,多采用常规增强CT扫描、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)、正电子发射断层扫描/计算机断层扫描(positron emission tomography/computed tomography, PET/CT)和能量CT成像明确肺癌与周围阻塞性病变的界线,以指导放疗靶区的勾画、肿瘤T分期等,同理,我们认为以上检查技术亦可应用于合并阻塞性病变的肺癌的穿刺活检术中。

3.1 常规增强CT CT具有很高的空间分辨率和密度分辨率,可清晰显示病灶大小、形态、位置,是目前肺穿刺活检最常用的引导方式^[26-28]。增强CT可以增加组织间的对比度,对于区分肺癌与周围阻塞性病变有重要价值^[29]。Tobler等^[3]研究表明,使用动态增强CT扫描时,远端不张的肺组织强化程度比近端肿瘤更大,可在约80%的病例中区分肿瘤与肺不张。但Khoury等^[30]学者发现,在8名使用增强CT检查的合并阻塞性肺不张的肺癌患者中,仅2例可以明确肿瘤与肺不张的界线。还有学者也发现增强CT区分肺癌瘤体与肺不张组织的效能欠佳,在12例合并阻塞性肺不张的肺癌患者中仅有7例可以被识别出两者的界线(58%)^[14]。增强CT不能良好区分肺癌瘤体与阻塞性肺不张的原因可能有以下两方面,首先可能是因为肺水肿或动静脉血流受阻,导致不张肺组织的增强程度不高于肿瘤,其次可能是供血良好且无明显坏死的肿瘤的强化程度与邻近的肺不张组织强化程度相同。在2020年韩国经皮经胸穿刺肺病活检的临床实践指南中指出:对于合并炎性病变、坏死及纤维化的肿瘤建议采用MRI、PET/CT取代增强CT进行术前评估以精准计划穿刺靶区,这也再次说明增强CT在明确肿瘤合并阻塞性肺病变的界线时仍有一定的局限性^[31]。

3.2 MRI MRI多参数成像的特点使其具有出色的软组织对比度和较高的空间分辨率^[32-33]。其中,扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)是通过特定成像序列对组织和病变内水分子扩散运动及其受限程度进行成像的方法。多项研究表明,MRI可提高识别肺癌与周围肺不张组织界线的效能,亦可提高进展期非小细胞肺癌分期的准确性,Li等^[2]研究发现,在33例肺癌并肺不张的患者中通过增强CT、T2加权成像和DWI上分别可以确定14例、21例和26例肺癌患者肿瘤与肺不张的界线;Tang等^[34]的研究表明MRI在确定非小细胞肺癌T3和T4分期方面明显优于CT(80% vs 50%, 100% vs 33.3%);Webb等^[35]研究发现,在诊断非小细胞肺癌患者纵隔浸润时,CT与MRI的曲线下面积(under the curve, AUC)分别为0.832和0.924,诊断胸壁浸润时,CT与MRI的AUC分别为0.857和0.868。Marcos等^[25]采用DWI计划异质性大的、合并阻塞性肺不张的纵隔病变的穿刺活检路径,发现所有活检区域与病变内其他区域相比,在DWI上显示出较高的信号强度,这表明DWI有助于确定最合适的活检部位。基于以上研究结果,发现MRI在明确肺癌与周围肺不张界线、评估T分期方面的价值可应用于计划合并阻塞性病变的肺癌穿刺活检的路径。但是,MRI不能细致地观察肺肿瘤周围的小血管、叶间裂和肺大泡等,这一定程度上限制了肺穿刺活检术前穿刺路径的精准设计。

3.3 PET/CT PET/CT成像结合了解剖学和功能成像的优势,它能够检测到的异常代谢变化准确地定位到CT上的解剖结构^[36-38]。PET/CT在肿瘤分期及放疗靶区勾画方面有较好的敏感性和特异性^[39-41]。Yi等^[42]的研究中发现,PET/CT在诊断原发肿瘤T分期的准确率可达82%,这可以认为使用PET/CT对于明确肿瘤边界有很大的帮助。Fitton等^[43]的研究表明,与CT相比,PET/CT可以提高勾画肿瘤靶区边界的确定性,能将准确率提高三倍。由此可见,PET/CT运用在区分肺癌与其合并的阻塞性肺病变时也可能有良好的效能。Guralnik等^[44]通过PET/CT提

供的信息发现,在267例肺癌患者的穿刺结果中,假阴性组(18%)的针尖位置与病灶中标准摄取值(standard uptake value, SUV)最高的焦点之间的距离明显大于真阳性组(67%),真阳性组针尖位置的最大SUV显著高于假阴性组,这说明SUV最大值与真阳性结果密切相关。Lin等^[23]将145名肺癌患者分为融合组(穿刺术中CT图像与PET/CT图像融合)和常规组(仅使用术中CT图像),发现融合组的穿刺活检诊断准确率明显高于常规组(82.9% vs 75.4%),术前使用PET/CT计划穿刺路径有助于提高活检准确率。结合PET/CT对确定肿瘤边界及指导肺癌穿刺活检的双重优势,推测使用PET/CT术前、术中规划合并阻塞性病变的肺癌的穿刺活检可能会更好确定肺癌与肺不张的界线,并识别出肿瘤细胞代谢旺盛的区域,从而减少活检部位的预选偏倚以提高活检样本的有效性。然而,由于PET/CT存在部分体积效应,可导致炎性组织和正常组织在肿瘤内的高代谢区混合^[45],使其在临床实践中的应用受到一定限制^[46-47]。

3.4 能量CT 能量CT一次扫描可获得常规混合能量图像、虚拟单能量图像、碘密度图、有效原子序数图和电子云密度图等多参数图像。多位学者研究发现相较于常规混合能量图像,低能级单能量图像可以更好地显示肿瘤与肿瘤周围组织的界线,可以明确肺癌与阻塞性肺不张之间的界线^[48-50]。戚元刚等^[48]在中央型肺癌合并肺不张的51个患者中发现,常规CT、40 keV单能量、碘密度及静脉期融合图像确定肿瘤与肺不张界线的比例分别为33.33%、68.63%、76.47%、74.51%,并得出结论,即40 keV单能量、碘密度和融合图像的鉴别效能显著高于常规CT图像。Curti等^[51]提出,在个体化治疗时代,双层探测器光谱CT之有效原子序数图可以用来指导穿刺活检,提供更多的诊断样本和生物标志物信息。同时, Ma等^[52]研究发现双层探测器光谱CT之碘密度值能够识别出肺癌肿瘤内肿瘤细胞比例在20%以上的区域,从而帮助精准计划CT引导下肺穿刺活检路径。由此可见,光谱CT可以明确大多数肺癌与其合并的阻塞性病变的界线,这在合并阻塞性病变的肺癌精准穿刺活检方面,具有良好的应用前景。

3.5 影像组学 不管是增强CT、PET/CT、MR还是能量CT成像,都是通过肉眼观察图像或手动测量感兴趣区内的参数值来选择穿刺活检靶区,它们所提供的信息都存在观察者间的主观差异。然而,影像组学是指从影像图像中高通量地提取大量高维的定量影像特征,以创建可挖掘的数据库^[53]。文献报道,采用纹理分析可预测肿瘤内空间异质性,影像组学特征可以预先确定复杂肿瘤内的包含重要诊断、预后预测信息的区域,可以定量分析这些特定的病变区域从而准确地指导活检,目前在膀胱癌活检中已有研究报道^[54-56]。Rui等^[57]的研究通过信息增益客观评价了增强CT图像的各种影像特征对肺癌瘤体和肺不张的鉴别作用,并建立了可以自动区分肺癌瘤体和肺不张的机器学习模型,这说明基于增强CT图像的影像组学特征可以在一定程度上区分肺癌瘤体和肺不张。结合以上研究成果,我们相信影像组学可以在合并阻塞性病变的肺癌患者的穿刺活检中提供更多信息以指导介入放射医生规划最佳的穿刺活检路径。

4 小结与展望

肺癌常合并阻塞性病变,明晰肺癌与阻塞性病变之间的界线,对于肺穿刺活检时安全且有效地获取癌组织样本有重要的临床意义。增强CT图像在一定程度上可区分肺癌与阻塞性病变,PET/CT成像和MRI在明确肺癌与周围阻塞性病变的界线上有更好的应用价值。能量CT不仅能够明确肺癌和阻塞性病变之间的界线,还可以观察肺癌瘤体周围的微细结构,这些优势使其可能成为合并阻塞性病变的肺癌穿刺活检术前规划和术中引导的首选影像技术。随着影像组学的快速发展,使用能量CT和影像组学方法构建合并阻塞性病变的肺癌穿刺活检模型可能成为未来肺癌精准穿刺的重要方法。

表1 不同影像学方法在区分肺癌和阻塞性病变中的应用

作者	目的	设计	方法	病例数	结果
Qi L P, 2009 ^[2]	评估DWI确定中央型肺癌和阻塞性肺不张界线的能力。	前瞻性研究	MRI	33	DWI可区分79%的中央型肺癌和阻塞性肺不张；联合使用T2WI和DWI可以区分88%的中央型肺癌和阻塞性肺不张。
Tobler J, 1987 ^[3]	评估CT值和MRI信号强度在区分肺癌与肺不张的能力。	回顾性研究	增强CT、MRI	18	增强CT明确肿瘤与肺不张界线的成功率为80%；MRI鉴别肿瘤与肺不张界线的成功率为72%。
Onitsuka H, 1991 ^[14]	评估CT在明确中央型肺癌与肺不张界线的能力。	回顾性研究	增强CT	12	增强CT在12例合并阻塞性肺不张的肺癌患者中识别出7例两者之间的界线(58%)。
Khoury M B, 1985 ^[30]	评估CT明确合并阻塞性不张的肺癌瘤体与肺不张界线的能力。	回顾性研究	增强CT	25	增强CT在8名合并阻塞性肺不张的肺癌患者中，区分出2例肿瘤与肺不张。
Fitton I, 2008 ^[43]	评估PET/CT在勾画非小细胞肺癌与周围组织边界时的准确性。	回顾性研究	CT平扫, PET/CT	22	与CT相比, PET/CT可以提高勾画非小细胞肺癌肿瘤靶区的准确性, 能将准确率提高三倍。
戚元刚, 2021 ^[48]	探讨双层探测器光谱CT区分中心型肺肿瘤与肺不张区域的价值。	回顾性研究	光谱CT	51	常规CT、40 keV单能量、碘密度及静脉期融合图像确定肿瘤与肺不张界线的比例分别为33.33%、68.63%、76.47%、74.51%。
傅志颖, 2022 ^[50]	评估能量CT在区分中央型肺癌与阻塞性肺不张的价值。	回顾性研究	宝石能谱CT	68	中央型肺癌的碘浓度、衰减曲线斜率、有效原子序数均低于阻塞性肺不张(P均 < 0.001)。
Chai R, 2021 ^[57]	评估影像组学模型区分中央型肺癌和肺不张的应用价值。	回顾性研究	增强CT及影像组学	36	基于增强CT图像及影像组学方法构建的区分中央型肺癌和肺不张的模型, 区域分类模型最高准确率为0.9305; 体素分类模型最高准确率为0.8675。

注: DWI, 扩散加权成像; MRI, 磁共振成像; T2WI, T2加权成像; PET/CT, 正电子发射断层扫描/计算机断层扫描。

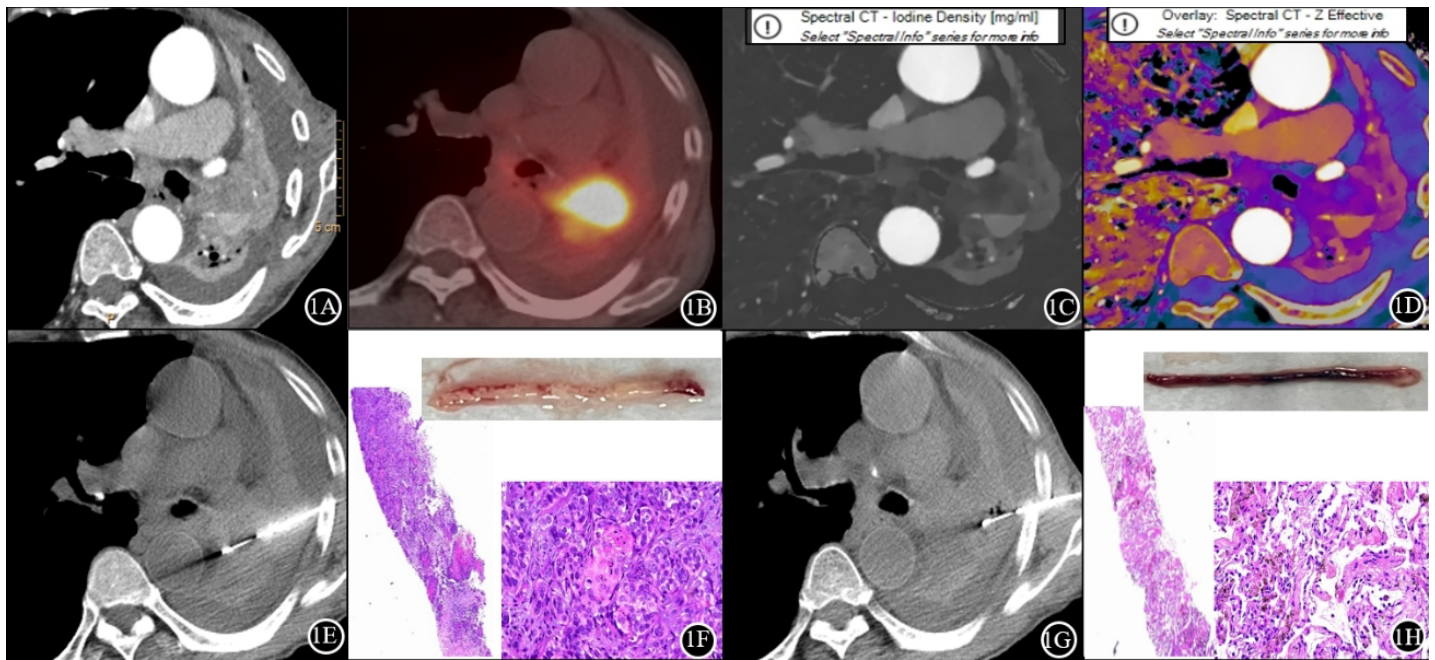


图1 1A-1D分别为常规动脉期CT图像、PET/CT图像、动脉期碘密度图像、动脉期碘密度/有效原子序数图融合图像。常规增强CT显示左肺主支气管内新生物, 但肿瘤最外周界线无法明确显示, PET/CT示左肺门高代谢肿物及其与周围肺不张的界线, 碘密度图和融合图像均可清晰显示肿瘤与肺不张的界线。1E显示穿刺针槽位于肿瘤内。1F为与1E相对应穿刺区域的活检样本及HE染色图像, 肉眼可见鱼肉样癌组织, 镜下可见丰富的肿瘤细胞(蓝箭头: HE×40; 红箭头: HE×200)。1G显示穿刺针槽位于肺不张组织内。1H为与1G相对应穿刺区域的活检样本及HE染色图像, 肉眼可见暗红色的组织, 镜下仅可见炎性细胞且未见肿瘤细胞(蓝箭头: HE×40; 红箭头: HE×200)。

参考文献

[1] Sung Hyuna, Ferlay Jacques, Siegel Rebecca L, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.
 [2] Qi Li Ping, Zhang Xiao Peng, Tang Lei, et al. Using diffusion-weighted MR imaging for tumor detection in the collapsed lung: a preliminary study[J]. Eur Radiol, 2009, 19(2): 333-341.
 [3] Tobler J., Levitt R.G., Glazer H.S., et al. Differentiation of proximal bronchogenic carcinoma from postobstructive lobar collapse by magnetic resonance imaging. Comparison with computed tomography[J]. Invest Radiol, 1987, 22(7): 538-543.
 [4] Nam Bo Da, Yoon Soon Ho, Hong Hyunsook, et al. Tissue adequacy and safety of percutaneous transthoracic needle biopsy for molecular analysis in non-

- small cell lung cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. *Korean J Radiol*, 2021, 22(12): 2082-2093.
- [5] 李文兵, 高德伟, 俞森洋, 等. 肺血栓栓塞与肺梗死形成的临床和病理特征及其相关因素分析[J]. *中国呼吸与危重症监护杂志*, 2004, (2): 47-49.
- [6] Bulbul Yilmaz, Oztuna Funda, Topba Murat, et al. Survival analyses of patients with thoracic complications secondary to bronchial carcinoma at the time of diagnosis[J]. *Respiration*, 2005, 72(4): 388-394.
- [7] 李新胜, 贾红卫. 纵隔型肺癌CT及MRI的影像学表现及诊断价值[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2020, 18(1): 65-68.
- [8] Yoshizawa Akihiko, Motoi Noriko, Riely Gregory J, et al. Impact of proposed IASLC/ATS/ERS classification of lung adenocarcinoma: prognostic subgroups and implications for further revision of staging based on analysis of 514 stage I cases[J]. *Mod Pathol*, 2011, 24(5): 653-664.
- [9] Watanabe Hajime, Saito Haruhiro, Yokose Tomoyuki, et al. Relation between thin-section computed tomography and clinical findings of mucinous adenocarcinoma[J]. *Ann Thorac Surg*, 2015, 99(3): 975-981.
- [10] Hanbury W. J., Cureton R. J., Simon G. Pulmonary infarcts associated with bronchogenic carcinoma[J]. *Thorax*, 1954, 9(4): 304-312.
- [11] Steinberg I., Finby N. Great vessel involvement in lung cancer: angiocardigraphic report on 250 consecutive proved cases[J]. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med*, 1959, 81(5): 807-818.
- [12] Yoshida N., Sugita H., Nakajima Y., et al. [Relations between chest CT and pathologic findings in pulmonary infarction associated with lung cancer] [J]. *Nihon Kyobu Shikkan Gakkai Zasshi*, 1995, 33(10): 1064-1072.
- [13] Kang C. H., Choi J. A., Kim H. R., et al. Lung metastases manifesting as pulmonary infarction by mucin and tumor embolization: radiographic, high-resolution CT, and pathologic findings[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 1999, 23(4): 644-646.
- [14] Onitsuka H., Tsukuda M., Araki A., et al. Differentiation of central lung tumor from postobstructive lobar collapse by rapid sequence computed tomography[J]. *J Thorac Imaging*, 1991, 6(2): 28-31.
- [15] Stiglbauer R., Schurawitzki H., Klepetko W., et al. Contrast-enhanced MRI for the staging of bronchogenic carcinoma: comparison with CT and histopathologic staging--preliminary results[J]. *Clin Radiol*, 1991, 44(5): 293-298.
- [16] Glazer H. S., Anderson D. J., Sagel S. S. Bronchial impaction in lobar collapse: CT demonstration and pathologic correlation[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 1989, 153(3): 485-488.
- [17] Marriott A. E., Weisbrod G. Bronchogenic carcinoma associated with pulmonary infarction[J]. *Radiology*, 1982, 145(3): 593-597.
- [18] Held B. T., Siegelman S. S. Pulmonary infarction secondary to bronchogenic carcinoma[J]. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med*, 1974, 120(1): 145-150.
- [19] Horio H., Nomori H., Morinaga S., et al. [A case of bronchogenic carcinoma associated with pulmonary infarction which showed a tumorous shadow] [J]. *Kyobu Geka*, 1996, 49(2): 163-166.
- [20] Prosch H. [Pulmonary carcinoid tumors] [J]. *Radiologe*, 2017, 57(5): 397-406.
- [21] Navani Neal, Butler Rachel, Ibrahim Salma, et al. Optimising tissue acquisition and the molecular testing pathway for patients with non-small cell lung cancer: A UK expert consensus statement[J]. *Lung Cancer*, 2022, 172: 142-153.
- [22] Zurstrassen Charles E., Tyng Chiang J., Guimarães Marcos D., et al. Functional and metabolic imaging in transthoracic biopsies guided by computed tomography[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(4): 2041-2048.
- [23] Lin Yue, Xu Yanyan, Lin Jie, et al. Improving CT-guided transthoracic biopsy diagnostic yield of lung masses using intraprocedural CT and prior PET/CT fusion imaging[J]. *BMC Pulm Med*, 2022, 22(1): 311.
- [24] Guimarães Marcos D., Marchiori Edson, Odisio Bruno C., et al. Functional imaging with diffusion-weighted MRI for lung biopsy planning: initial experience[J]. *World J Surg Oncol*, 2014, 12: 203.
- [25] Guimarães Marcos Duarte, Hochegger Bruno, Benveniste Marcelo Felipe Kuperman, et al. Improving CT-guided transthoracic biopsy of mediastinal lesions by diffusion-weighted magnetic resonance imaging[J]. *Clinics (Sao Paulo)*, 2014, 69(11): 787-791.
- [26] 杨雪玲, 于海鹏, 司同国. 胸部肿瘤经皮穿刺活检中国专家共识(2020版)[J]. *中华介入放射学电子杂志*, 2021, 9(02): 117-126.
- [27] Yoon Soon Ho, Lee Sang Min, Park Chul Hwan, et al. 2020 Clinical practice guideline for percutaneous transthoracic needle biopsy of pulmonary lesions: a consensus statement and recommendations of the Korean society of thoracic radiology[J]. *Korean J Radiol*, 2021, 22(2): 263-280.
- [28] Wood Douglas E., Kazerooni Ella A., Baum Scott L., et al. Lung cancer screening, version 3. 2018, NCCN clinical practice guidelines in oncology[J]. *J Natl Compr Canc Netw*, 2018, 16(4): 412-441.
- [29] 靳仓正, 姚日祥, 陈秋艳, 等. MSCT动态增强扫描及三维重建对中央型肺癌并支气管阻塞的诊断价值[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2014, 12(01): 14-16, 50.
- [30] Khoury M. B., Godwin J. D., Halvorsen R. A., Jr., et al. CT of obstructive lobar collapse[J]. *Invest Radiol*, 1985, 20(7): 708-716.
- [31] Yoon S. H., Lee S. M., Park C. H., et al. 2020 Clinical practice guideline for percutaneous transthoracic needle biopsy of pulmonary lesions: a consensus statement and recommendations of the Korean Society of Thoracic Radiology[J]. *Korean J Radiol*, 2021, 22(2): 263-80.
- [32] Komori Tsuyoshi, Narabayashi Isamu, Matsumura Kaname, et al. 2-[Fluorine-18]-fluoro-2-deoxy-D-glucose positron emission tomography/computed tomography versus whole-body diffusion-weighted MRI for detection of malignant lesions: initial experience[J]. *Ann Nucl Med*, 2007, 21(4): 209-215.
- [33] Barreto M. M., Rafful P. P., Rodrigues R. S., et al. Correlation between computed tomographic and magnetic resonance imaging findings of parenchymal lung diseases[J]. *Eur J Radiol*, 2013, 82(9): e492-501.
- [34] Tang Wei, Wu Ning, OuYang Han, et al. The presurgical T staging of non-small cell lung cancer: efficacy comparison of 64-MDCT and 3.0 T MRI[J]. *Cancer Imaging*, 2015, 15(1): 14.
- [35] Webb W. R., Gatsonis C., Zerhouni E. A., et al. CT and MR imaging in staging non-small cell bronchogenic carcinoma: report of the Radiologic Diagnostic Oncology Group[J]. *Radiology*, 1991, 178(3): 705-713.
- [36] Hillner Bruce E., Siegel Barry A., Liu Dawei, et al. Impact of positron emission tomography/computed tomography and positron emission tomography (PET) alone on expected management of patients with cancer: initial results from the National Oncologic PET Registry[J]. *J Clin Oncol*, 2008, 26(13): 2155-2161.
- [37] Farwell Michael D., Pryma Daniel A., Mankoff David A. PET/CT imaging in cancer: current applications and future directions[J]. *Cancer*, 2014, 120(22): 3433-3445.
- [38] Bar-Shalom Rachel, Yefremov Nikolai, Guralnik Ludmila, et al. Clinical performance of PET/CT in evaluation of cancer: additional value for diagnostic imaging and patient management[J]. *J Nucl Med*, 2003, 44(8): 1200-1209.
- [39] Lardinois Didier, Weder Walter, Hany Thomas F., et al. Staging of non-small-cell lung cancer with integrated positron-emission tomography and computed tomography[J]. *N Engl J Med*, 2003, 348(25): 2500-2507.
- [40] Cerfolio Robert James, Ojha Buddhwardhani, Bryant Ayesha S., et al. The accuracy of integrated PET-CT compared with dedicated PET alone for the staging of patients with non-small cell lung cancer[J]. *Ann Thorac Surg*, 2004, 78(3).
- [41] von Schulthess Gustav K., Steinert Hans C., Hany Thomas F. Integrated PET/CT: current applications and future directions[J]. *Radiology*, 2006, 238(2): 405-422.
- [42] Yi Chin A., Shin Kyung Min, Lee Kyung Soo, et al. Non-small cell lung cancer staging: efficacy comparison of integrated PET/CT versus 3.0-T whole-body MR imaging[J]. *Radiology*, 2008, 248(2): 632-642.
- [43] Fitton Isabelle, Steenbakkers Roel J. H. M., Gilhuijs Kenneth, et al. Impact of anatomical location on value of CT-PET co-registration for delineation of lung tumors[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 70(5): 1403-1407.
- [44] Guralnik L., Rozenberg R., Frenkel A., et al. Metabolic PET/CT-guided lung lesion biopsies: impact on diagnostic accuracy and rate of sampling error[J]. *J Nucl Med*, 2015, 56(4): 518-522.
- [45] Soret M., Bacharach S. L., Buvat I. Partial-volume effect in PET tumor imaging[J]. *J Nucl Med*, 2007, 48(6): 932-945.
- [46] Baxa Jan, Vondráková Alena, Matoušková Táňa, et al. Dual-phase dual-energy CT in patients with lung cancer: assessment of the additional value of iodine quantification in lymph node therapy response[J]. *Eur Radiol*, 2014, 24(8): 1981-1988.
- [47] Chae Eun Jin, Song Jae-Woo, Seo Joon Beom, et al. Clinical utility of dual-energy CT in the evaluation of solitary pulmonary nodules: initial experience[J]. *Radiology*, 2008, 249(2): 671-681.
- [48] 戚元刚, 范明新, 殷月慧, 等. 双层探测器光谱CT区分中心型肺癌与肺不张区域的价值[J]. *中华放射学杂志*, 2021, 55(11): 1167-1171.
- [49] Nagayama Yasunori, Tanoue Shota, Inoue Taihei, et al. Dual-layer spectral CT improves image quality of multiphase pancreas CT in patients with pancreatic ductal adenocarcinoma[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(1): 394-403.
- [50] 傅志颖, 陈亮, 邹南安, 等. 能谱CT在鉴别中央型肺癌与阻塞性肺不张中的价值研究[J]. *中国医学创新*, 2022, 19(34): 122-125.
- [51] Curti Marco, Fontana Federico, Piacentino Filippo, et al. Dual-layer spectral CT fusion imaging for lung biopsies: more accurate targets, diagnostic samplings, and biomarker information?[J]. *Eur Radiol Exp*, 2022, 6(1): 34.
- [52] Ma Y., Li S., Huang G., et al. Role of iodine density value on dual-energy CT for detection of high tumor cell proportion region in lung cancer during CT-guided transthoracic biopsy[J]. *Eur J Radiol*, 2023, 160: 110689.
- [53] Lambin Philippe, Rios-Velazquez Emmanuel, Leijenaar Ralph, et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis[J]. *Eur J Cancer*, 2012, 48(4): 441-446.
- [54] Davnall F., Yip C. S., Ljungqvist G., et al. Assessment of tumor heterogeneity: an emerging imaging tool for clinical practice?[J]. *Insights Imaging*, 2012, 3(6): 573-589.
- [55] O'Connor J. P., Rose C. J., Waterton J. C., et al. Imaging intratumor heterogeneity: role in the therapy response, resistance, and clinical outcome[J]. *Clin Cancer Res*, 2015, 21(2): 249-257.
- [56] Gillies R. J., Kinahan P. E., Hricak H. Radiomics: images are more than pictures, they are data[J]. *Radiology*, 2016, 278(2): 563-577.
- [57] Chai Rui, Wang Qi, Qin Pinle, et al. Differentiating central lung tumors from atelectasis with contrast-enhanced ct-based radiomics features[J]. *Biomed Res Int*, 2021, 2021: 5522452.

(收稿日期: 2024-07-02)

(校对编辑: 姚丽娜)