

亚厘米肺结节CT密度测量与鉴别诊断价值

姜夏童¹, 程琼琼², 庞闽厦^{3*}

¹滨州医学院医学影像学院, 山东 烟台

²山东第二医科大学医学影像学院, 山东 潍坊

³山东省胜利油田中心医院医学影像会诊中心, 山东 东营

收稿日期: 2024年2月19日; 录用日期: 2024年3月12日; 发布日期: 2024年3月19日

摘要

在临床医疗实践与研究领域, 对直径 ≤ 10 mm的亚厘米肺结节定性诊断始终是一个挑战性的焦点。影像学鉴别诊断主要依据结节类型及形态学特征, 结节密度精准测量对结节类型的分类及良恶性评判具有重要意义。本文就密度测量的重要性及影响因素、CT图像重建算法对亚厘米肺结节的分辨能力、以及良恶性鉴别诊断作用进行综述。另外, 简要讨论CT重建算法对肺结节AI密度检测、结节分类、良恶性评判的影响。

关键词

亚厘米肺结节, 重建算法, 密度测量, 鉴别诊断

CT Density Measurement and Differential Diagnosis of Sub-Centimeter Pulmonary Nodules

Xiatong Jiang¹, Qiongqiong Cheng², Minxia Pang^{3*}

¹School of Medical Imaging, Binzhou Medical University, Yantai Shandong

²School of Medical Imaging, Shandong Second Medical University, Weifang Shandong

³Medical Imaging Consultation Center, Shengli Oilfield Central Hospital, Dongying Shandong

Received: Feb. 19th, 2024; accepted: Mar. 12th, 2024; published: Mar. 19th, 2024

Abstract

In the field of clinical practice and research, the qualitative diagnosis of sub-centimeter pulmo-

*通讯作者。

nary nodules with diameter ≤ 10 mm is always a challenging focus. The imaging differential diagnosis of nodules is mainly based on the type and morphological characteristics of nodules. Accurate measurement of nodule density is of great significance for the classification of nodules and the evaluation of benign and malignant nodules. This article reviews the importance and influencing factors of density measurement, the resolution ability of CT image reconstruction algorithms in sub-centimeter pulmonary nodules, and the role of benign and malignant differential diagnosis. In addition, the effects of CT reconstruction algorithms on AI density detection, nodule classification, and benign and malignant evaluation of pulmonary nodules were briefly discussed.

Keywords

Sub-Centimeter Pulmonary Nodules, Reconstruction Algorithm, Density Measurement, Differential Diagnosis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

目前,肺癌的发病率和死亡率在全球绝大多数国家均高居首位[1] [2]。研究表明,在经历各个阶段外科治疗的肺癌患者中,0期患者术后的5年生存率超过90%,而II~IV期患者术后5年生存率急剧下降,甚至降到5%以下[3] [4]。目前,全球医学界普遍接受的观点是:对肺部亚厘米结节进行早期的良恶性精确评估极为关键。这一理念的核心是“早发现、早诊断、早治疗”,这无疑提升肺癌患者存活率和延长其寿命的关键策略。随着CT扫描技术近年来的持续进步,越来越多的亚厘米肺结节被发现,在我国某地区一项肺癌筛查研究中,肺结节检出率约29.89%,其中有亚厘米结节约占95.67% [5],这使得对这些结节进行正确的诊断和选择合适的治疗方法成为了研究的热点。统计数据显示,亚厘米结节恶性概率约1%~18% [6] [7],而在临床实践中,这些结节通常不会引起显著症状,往往在体检中意外被发现,因此容易被患者和家人忽视。目前,用于判断肺部亚厘米结节性质的各种影像学检测手段,如增强CT、单光子发射计算机断层成像、正电子发射断层成像和纤维支气管镜等检查,均达不到100%的准确率[8] [9] [10] [11]。肺结节特别是亚厘米肺结节良恶鉴别诊断,不只是医学影像诊断专业人员(放射学医师)和学者必须面对的问题,也是AI厂商研究开发的热点。CT的密度分辨力是CT诊断技术的主要部分之一,在亚厘米肺结节良恶鉴别诊断中,CT的密度检测评价能够发挥多大作用呢?本文就CT对亚厘米肺结节的密度检测及其良恶性鉴别诊断作用进行综述,期望进一步提高CT在亚厘米肺结节良恶性鉴别诊断的临床作用。

2. 肺结节概述

2.1. 定义

肺结节(Pulmonary nodule, PN)影像学上表现为局灶性、类圆形、密度增高的实性或亚实性肺部阴影,不伴有肺不张、肺门淋巴结肿大和胸腔积液等其他疾病,直径 ≤ 3 cm,可孤立或多发[12] [13]。肺结节密度高低与其恶性程度密切相关,根据结节密度特点分为实性和亚实性,亚实性结节进一步分为纯磨玻璃结节(即,无实性成分)和部分实性结节(即,含有磨玻璃成分和实性成分) [14]。磨玻璃密度结节一般边界模糊,结节密度略增加,结节灶内的血管、支气管影可见。实性结节则为软组织密度的结节,整体较

均匀, 结节内部血管、支气管影不可见。部分实性结节则是介于两者之间[15]。研究指出, 部分实性结节的恶性概率最高, 继而依次为磨玻璃密度结节及实性结节[16]。Henschke CI 等人的肺癌筛查研究显示部分实性结节、磨玻璃密度结节及实性结节为恶性的概率大约为 63%、18% 及 7% [17]。因此, 针对部分实性肺亚厘米结节, 早期诊断与治疗显得格外重要。

2.2. 流行病学概况

目前, 肺癌的发病率和病死率均居全球首位, 据 2018 年的统计数据显示, 世界范围内约有 176 万人因肺癌去世, 这一数字占到了癌症总死亡人数的 18.3% [18]。

一方面, 肺结节在普查中具有极高的检出率且, 且其中良性结节居多。国外一项肺癌筛查研究结果显示: 在 50 岁及以上的 1519 名烟民中, 有接近四分之三的人至少出现了一个肺结节[19]。此外, Henschke 团队对于易感人群(包括长期吸烟者、有家族史者等)所进行的肺癌初步筛查研究表明, 这类人群肺结节的检出概率介于 20% 到 50% 之间, 其中良性结节概率超过 90% [20]。其他学者的研究结果也支持这一观点 [7] [21]。

另一方面, 尽管现代医疗技术在抗击肺癌方面取得了显著进展, 晚期肺癌患者的总体生存率仍低于 15% [22]。与此相反, 早期肺癌的 5 年生存率超过 90% [3] [4], 治愈情况显得尤为乐观。因此, 目前针对肺结节的主要管理策略主要集中于尽早区分肺结节的性质, 以便对恶性肺结节进行及时处理, 同时避免对良性肺结节进行不必要的治疗。

3. CT 征象与鉴别诊断

肺部疾病如炎症、肿瘤等均可表现为孤立性肺结节, 而这些疾病影像学特征常常表现为同病异影或异病同影。利用 CT 扫描来判断肺结节的良恶性, 尤其在对亚厘米的肺结节进行评估时, 可观察到的 CT 征象有很多[23] [24]。

分叶征是肺结节的重要征象之一, 呈现为结节边缘不平整的多个弧形凹凸, 这常常与病灶生长速度的不均匀、肺内支架的阻碍以及病灶内的纤维化有关[25] [26]。黄定品等[27]研究表明在浸润性病变中, 分叶征的出现概率明显高于浸润前病变, 这提示分叶征可能是预测肺结节浸润性及浸润程度的影响因素之一。胸膜凹陷征同样与病变的恶性程度有关, 恶性程度越高, 胸膜受牵拉而凹陷的概率就越高, 一项有研究表明约 70%~90% 的恶性肺结节可观察到胸膜凹陷征的存在[28]。空泡征的出现多提示恶性结节, 影像表现为结节内的小灶透亮区, 其病理基础是正常的肺泡结构被肿瘤匍匐于细支气管或肺泡壁生长而破坏, 且尚有部分未受累的细支气管和肺泡内残留部分气体[29]。

除此之外还有毛刺征、血管集中征、月牙铲征等众多 CT 征象, 但这些征象并非恶性肿瘤所特有, 如毛刺征也可以出现在结核病灶。由此可见, 无法仅通过某些 CT 征象对亚厘米肺结节进行定性诊断, 还应联合其他特征具体分析。

胸部 CT 作为最常见的肺结节影像资料, 最直观的表现是结节大小与形态。美国胸科医生学会(ACCP)关于肺结节管理指南中指出, 结节直径 $< 5 \text{ mm}$, 其恶性几率通常低于 1%, 而当直径增至 10 mm 时, 恶性概率上升至 28% [30]。不过, 我国专家共识强调, 仅凭结节的大小来做出定性诊断不够精确, 还需考虑结节的形态和密度变化[31]。一般来说, 恶性结节多为圆形或近似圆形, 而良性结节则可能呈现不规则或多边形状, 平滑的边缘也常见于良性病灶。研究表明, 大约 21% 的恶性肺结节在肿瘤与肺部的交界处呈现光滑外观[32]。就密度而言, 当肺内含气腔出现局部浸润, 受此影响的组织密度会上升, 从而导致磨玻璃部分的形成。张新华等[33]研究表明, 肺结节从纯磨玻璃密度到混杂密度的转变, 与从浸润前病变到浸润型腺癌的发展过程存在一定程度的相关性。值得注意的是, 肺结节的良恶性还与其生长位置有关。

Kinsey 等学者[34]研究发现,肺腺癌在肺上叶发生的概率高达 94%,这可能与吸烟所导致的致癌物在上肺积聚有关[35]。此外,肺结节的良恶性特征也与结节倍增时间有密切关联,尤其是亚厘米结节,因直径较小而尚未出现明显影像学特征。这种结节的倍增不仅体现在结节的整体大小变化上,还包括其实质性成分的增多[36]。由宓嘉辉团队进行的关于亚厘米肺腺癌的研究发现,有吸烟史、既往肿瘤病史、部分实性结节、实性结节以及肿瘤直径超过 5 毫米,这些都是亚厘米肺腺癌发展的独立危险因素[37]。

对于亚厘米肺结节干预时机的确定应综合考虑结节类型及形态学特征等多方面因素。当良性可能性较高时,应定期选用高分辨率 CT 监测结节。当发生结节类型或形态发生改变时,在手术风险可接受的情况下,手术切除是必要的[38][39]。

4. 密度测量精准度的重要性及影响因素

4.1. CT 值及影响因素

肺结节类型及形态学特征等多方面因素会影响其良恶性的评判,其中密度因素尤为重要,其在 CT 图像上反应为 CT 值。CT 值是测定人体某一局部组织或器官密度大小的一种计量单位,通常称亨氏单位(hounsfield unit, HU),实际上是 CT 图像上各组织与 X 射线衰减系数的对应值。物质 X 射线衰减系数与物质的密度、原子序数及 X 射线的能量相关。当 X 射线的能量一定时,密度大的物质对 X 射线的衰减更大[40]。因此,CT 值不仅反映物质 X 射线衰减系数本身,也表示不同密度组织的相对关系[41]。根据最新的研究发现,CT 值可以综合反映肺组织、空气和血液的密度差异,同时为病变分布提供量化的分析数据[42]。日本研究员 Ikeda 及其团队通过三维定量分析 CT 值,提高了对肺结节病理类型判断的准确性,这对后续治疗和预后评估具有重要科学价值[43]。

CT 值在评估肺结节增长情况、区分肿瘤类型、检测进展和预后判断方面有重要意义[44][45],因此其测量准确性变得尤为关键,研究发现,CT 值大小不仅与组织密度有关,还与 X 射线的能量及图像重建条件有关[46][47]。CT 值会随着电压的增加变大,这意味着 X 射线的能量提高、穿透性增强,硬化效应相对减少,致使更多的 X 射线光子被探测器捕获,此时组织的 X 射线衰减系数与密度之间的关联会更趋线性[40],从而使测量得出的 CT 数值更为精准,噪声水平也相对较低。另外,在图像重建条件中,特别是考虑到重建层厚和重建算法的选择,也是影响肺结节 CT 值不容忽视的关键因素。陈澜菁等人[48]研究发现,增加层厚会使密度分辨率有所提升,但图像空间分辨率随之降低,而当采用薄层扫描时,CT 值会产生变化,这是由于薄层扫描降低了部分容积效应的影响,使测量的 CT 值更接近于某组织的真实 CT 值。重建算法对 CT 值测量的影响主要表现在对噪声的影响。平滑算法提高了各像素点之间的相关性,使各像素点与周围的区域有交融的情况,导致噪声表现为更平滑的分布,详情不易辨识;而锐化算法则增强了像素点间的独立性,使噪声更加突出。

已经进行了大量研究来探索使用 CT 值来评估肺结节的内部病理情况,并通过结节的整体 CT 值及其分布来区分腺癌的亚型及判断发展趋势。然而,尽管研究进展显著,目前还未确定适合临床使用的 CT 值阈值或参数。因此在应用 CT 值测量之前,有必要对测量过程进行标准化,并进一步探究 CT 值随时间变化的病理学意义。

4.2. 重建算法影响肺结节检出及准确性

当 CT 值的测量受到某些非密度因素的影响而发生变化时,对组织密度的准确判断会产生相应偏差,进而影响疾病的确诊和治疗。其中,重建算法对密度检测的影响尤为关键。重建算法又称滤波函数(filter function),是数字软件过滤器,常采用的算法有标准算法、软组织算法和高分辨算法。CT 重建算法的空间频率可以高或低,这取决于它们在最终成像中所再现信息的频率。低空间频率算法使图像更加平滑,

从而产生更优质的图像和更少的噪声。相反，高空间频率算法减少了对细小结构的平滑处理，并增强了分辨率。因此，提升分辨率将不可避免地导致可见噪声的增加[49]。

一方面，研究表明，标准算法在提取肺结节组学特征以及通过深度学习算法判定肺癌病理类型方面，显示出更高的准确性和可靠性[50]，这可能是因为在重建图像时产生的噪声较少。在对磨玻璃结节的 CT 值进行测量时，标准算法作为一种平滑算法，由于其在重建过程中对结节边缘具有部分容积效应，而高分辨算法则更加强调结节边缘，导致其测量的 CT 值偏差大于标准算法。HE [50]等研究发现，标准算法在肺结节影像学识别方面比高分辨算法更能准确提供诊断特征。国内的一项文献研究也证实，标准算法重建的图像在测量模体肺结节的平均 CT 值时更为精确[51]。

另一方面，也有研究表明，应用高分辨算法对于提升小于 6 毫米的肺结节的检出率极为有效[52]。HWANG 等[53]也指出由于采用了不同的重建算法，肺结节的检测率存在差异，其中以肺算法(高分辨算法)的检出效果最为显著。

不同的图像重建算法不仅通过调节特定区域的空间频率来改变图像的物理属性和视觉效果，还会影响对病变的识别和精确度[54]。不同重建算法在测量肺结节的 CT 值时，由于密度均匀性的不同，结果会有显著差异。国外有研究表明，高分辨重建算法通过增强或过度增强体素间的差异，以此来维持对比度[55]，但也使得局部体素值差异增大，从而导致 CT 值的升高。根据 2017 版 Fleischner Society 推荐，结节密度的测量应在非锐化图像上进行，以避免在锐化图像上测量时可能出现的误差[14]。同时，亦有研究表明，在某些特定情况下，一些较小的亚厘米结节可能无法展现出早期浸润性腺癌的特征。因此，目前对这类结节的共识是在其边缘增强的状态下进行观察及测量，评估结节中是否有实性成分，并据此进一步确定其大小[14]。

5. 重建算法与人工智能

随着人工智能(AI)在辅助影像诊断的领域迅速进步，如今它能快速检测出大量的肺部结节，并提出初步的诊断意见。这一进展不仅极大地提升了工作效率，更重要的是提高了对肺结节图像分析与分类的准确性。研究显示，人工智能系统在识别实性结节、部分实性结节和磨玻璃结节方面的检出率分别达到了 98.76%、96.15% 和 94.59% [56]。然而，用于肺结节智能分析的软件并非毫无瑕疵，使用不同的图像重建算法可能会对结节识别产生影响。因此，尽管胸部 CT 扫描的程序相对标准化，但用于 AI 辅助肺结节检测的重建算法却多种多样，尚未形成统一的标准。研究发现，更平滑的重建算法(即标准算法)因其在稳定性和可复现性上的优势而受到认可，这种算法更适宜于反复提取精确的量化特征，使其在诊断应用中表现卓越，成为影像分析的理想选择[57]。且标准算法也显著提升了 AI 在预测肺癌恶性程度方面的准确率[58]。

6. 小结

综上所述，从早期影像学图像上尽可能的鉴别出肺部亚厘米结节病变的类型及分类特别关键，结节密度精准测量更是对结节病理类型及预后评估具有重要意义，所以密度测量标准化十分重要。对于肺结节的组织密度测量评估依据相关文献及指南推荐，客观反映组织密度需用标准算法，其测量结果更接近真实组织密度。同时，不同 CT 重建算法会对 AI 识别产生不同影响，根据目前研究更倾向于标准算法，其提取稳定性及诊断准确率更优。

参考文献

- [1] 刘宗超, 李哲轩, 张阳, 等. 2020 全球癌症统计报告解读[J]. 肿瘤综合治疗电子杂志, 2021, 7(2): 1-13.
- [2] 王宁, 刘硕, 杨雷, 等. 2018 全球癌症统计报告解读[J]. 肿瘤综合治疗电子杂志, 2019, 5(1): 87-97.

- [3] Mountain, C.F. (1997) Revisions in the International System for Staging Lung Cancer. *Chest*, **111**, 1710-1717. <https://doi.org/10.1378/chest.111.6.1710>
- [4] 胡德荣. 肺癌防治应前移关键是早发现[N]. 大众卫生报, 2007-05-08(001).
- [5] 望云, 范丽, 周莹, 等. 上海地区低剂量 CT 筛查肺癌基线初步报告[J]. 中华健康管理学杂志, 2018, 12(1): 51-54.
- [6] Henschke, C.I., McCauley, D.I., Yankelevitz, D.F., et al. (1999) Early Lung Cancer Action Project: Overall Design and Findings from Baseline Screening. *The Lancet*, **354**, 99-105. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(99\)06093-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)06093-6)
- [7] Swensen, S.J., Jett, J.R., Hartman, T.E., et al. (2003) Lung Cancer Screening with CT: Mayo Clinic Experience. *Radiology*, **226**, 756-761. <https://doi.org/10.1148/radiol.2263020036>
- [8] Erasmus, J.J., McAdams, H.P., Patz Jr., E.F., et al. (1998) Thoracic FDG PET: State of the Art. *RadioGraphics*, **18**, 5-20. <https://doi.org/10.1148/radiographics.18.1.9460106>
- [9] Higashi, K., Ueda, Y., Seki, H., et al. (1998) Fluorine-18-FDG PET Imaging Is Negative in Bronchioloalveolar Lung Carcinoma. *Journal of Nuclear Medicine*, **39**, 1016-1020.
- [10] Herder, G.J., Golding, R.P., Hoekstra, O.S., et al. (2004) The Performance of 18F-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography in Small Solitary Pulmonary Nodules. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **31**, 1231-1236. <https://doi.org/10.1007/s00259-004-1552-7>
- [11] Ost, D., Fein, A.M. and Feinsilver, S.H. (2003) The Solitary Pulmonary Nodule. *New England Journal of Medicine*, **348**, 2535-2542. <https://doi.org/10.1056/NEJMcp012290>
- [12] Macmahon, H., Naidich, D.P., Goo, J.M., et al. (2017) Guidelines for Management of Incidental Pulmonary Nodules Detected on CT Images: From the Fleischner Society 2017. *Radiology*, **284**, 228-243. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017161659>
- [13] 中华医学会呼吸病学分会肺癌学组, 中国肺癌防治联盟专家组. 肺结节诊治中国专家共识(2018 年版) [J]. 中华结核和呼吸杂志, 2018, 41(10): 763-771.
- [14] 张晓菊. 《肺结节诊治中国专家共识(2018 版)》解读[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2019, 33(1): 1-3.
- [15] 周清华, 范亚光, 王颖, 等. 中国肺部结节分类、诊断与治疗指南(2016 年版) [J]. 中国肺癌杂志, 2016, 19(12): 793-798.
- [16] Naidich, D.P., Bankier, A.A., Macmahon, H., et al. (2013) Recommendations for the Management of Subsolid Pulmonary Nodules Detected at CT: A Statement from the Fleischner Society. *Radiology*, **266**, 304-317. <https://doi.org/10.1148/radiol.12120628>
- [17] Henschke, C.I., Yankelevitz, D.F., Mirtcheva, R., et al. (2002) CT Screening for Lung Cancer: Frequency and Significance of Part-Solid and Nonsolid Nodules. *American Journal of Roentgenology*, **178**, 1053-1057. <https://doi.org/10.2214/ajr.178.5.1781053>
- [18] Bray, F., Ferlay, J., Soerjomataram, I., et al. (2018) Global Cancer Statistics 2018: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, **68**, 394-424. <https://doi.org/10.3322/caac.21492>
- [19] Swensen, S.J., Jett, J.R., Hartman, T.E., et al. (2005) CT Screening for Lung Cancer: Five-Year Prospective Experience. *Radiology*, **235**, 259-265. <https://doi.org/10.1148/radiol.2351041662>
- [20] Henschke, C.I. (2000) Early Lung Cancer Action Project: Overall Design and Findings from Baseline Screening. *Cancer*, **89**, 2474-2482. [https://doi.org/10.1002/1097-0142\(20001201\)89:11+<2474::AID-CNCR26>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/1097-0142(20001201)89:11+<2474::AID-CNCR26>3.0.CO;2-2)
- [21] Benjamin, M.S., Drucker, E.A., McCloud, T.C., et al. (2003) Small Pulmonary Nodules: Detection at Chest CT and Outcome. *Radiology*, **226**, 489-493. <https://doi.org/10.1148/radiol.2262010556>
- [22] Siegelman, S.S., Khouri, N.F., Leo, F.P., et al. (1986) Solitary Pulmonary Nodules: CT Assessment. *Radiology*, **160**, 307-312. <https://doi.org/10.1148/radiology.160.2.3726105>
- [23] 刘强, 娄豪, 陈德一, 等. 肺肿瘤性磨玻璃结节平均 CT 值测量相关技术的影响因素研究[J]. 重庆医学, 2021, 50(20): 3482-3486.
- [24] 於婧婧, 方金忠, 张文奇, 等. CT 各征象对肺磨玻璃结节浸润性及浸润程度的鉴别价值[J]. 全科医学临床与教育, 2023, 21(12): 1092-1095.
- [25] 於婧婧, 方金忠, 张文奇, 等. CT 各征象对肺磨玻璃结节浸润性及浸润程度的鉴别价值与教育[J]. 全科医学临床, 2023, 21(12): 1092-1095.
- [26] Senosain, M.F. and Massion, P.P. (2020) Intratumor Heterogeneity in Early Lung Adenocarcinoma. *Frontiers in Oncology*, **10**, Article 349. <https://doi.org/10.3389/fonc.2020.00349>
- [27] 黄定品, 傅刚泽, 蔡蒙婷, 等. 亚厘米纯磨玻璃密度结节肺腺癌的 CT 特征对其浸润性的预测价值[J]. 温州医科

- 大学学报, 2019, 49(11): 837-841.
- [28] 时宝勇. 直径 ≤ 1 cm 肺内磨玻璃结节良、恶性的 CT 征象分析[J]. 现代医用影像学, 2022, 31(11): 2027-2031.
- [29] 代平, 刘勇, 何其舟, 等. 囊腔类肺癌 MSCT 征象与病理类型的相关性分析[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2018, 24(6): 474-478.
- [30] Wahidi, M.M., Govert, J.A., Goudar, R.K., et al. (2007) Evidence for the Treatment of Patients with Pulmonary Nodules: When Is It Lung Cancer? ACCP Evidence-Based Clinical Practice Guidelines (2nd Edition). *Chest*, **132**, 94s-107s. <https://doi.org/10.1378/chest.07-1352>
- [31] 中华医学会放射学分会心胸学组. 肺亚实性结节影像处理专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2015, 49(4): 254-258.
- [32] Eguchi, T., Bains, S., Lee, M.C., et al. (2017) Impact of Increasing Age on Cause-Specific Mortality and Morbidity in Patients with Stage I Non-Small-Cell Lung Cancer: A Competing Risks Analysis. *Journal of Clinical Oncology*, **35**, 281-290. <https://doi.org/10.1200/JCO.2016.69.0834>
- [33] 张新华. 不同病理类型肺部磨玻璃结节的 CT 诊断[J]. 临床医药文献电子杂志, 2019, 6(15): 152, 165.
- [34] Kinsey, C.M., Estepar, R.S., Zhao, Y., et al. (2014) Invasive Adenocarcinoma of the Lung Is Associated with the Upper Lung Regions. *Lung Cancer*, **84**, 145-150. <https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2014.02.002>
- [35] Winer-Muram, H.T., Jennings, S.G., Tarver, R.D., et al. (2002) Volumetric Growth Rate of Stage I Lung Cancer Prior to Treatment: Serial CT Scanning. *Radiology*, **223**, 798-805. <https://doi.org/10.1148/radiol.2233011026>
- [36] 赵俊松, 陈克敏. 肺结节诊断和应对策略研究进展[J]. 诊断学理论与实践, 2018, 17(5): 593-600.
- [37] 宓嘉辉, 王少东, 李晓, 等. 亚厘米肺腺癌临床特征及预后分析[J]. 中国肺癌杂志, 2019, 22(8): 500-506.
- [38] 郭洪生, 杨德宏, 李媛媛, 等. 孤立性肺结节诊断和处理策略研究进展[J]. 天津医药, 2016, 44(5): 653-656.
- [39] 田彬彬, 成俊芬. 孤立性肺结节的诊断进展及处理策略[J]. 中国继续医学教育, 2018, 10(15): 121-123.
- [40] 兰永树, 黄文龙, 朱德强, 等. 影响 CT 值测量的因素及对策的探讨[J]. 实用放射学杂志, 2006, 22(3): 352-355.
- [41] Li, F., Aoyama, M., Shiraishi, J., et al. (2004) Radiologists' Performance for Differentiating Benign from Malignant Lung Nodules on High-Resolution CT Using Computer-Estimated Likelihood of Malignancy. *American Journal of Roentgenology*, **183**, 1209-1215. <https://doi.org/10.2214/ajr.183.5.1831209>
- [42] Labaki, W.W., Martinez, C.H., Martinez, F.J., et al. (2017) The Role of Chest Computed Tomography in the Evaluation and Management of the Patient with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **196**, 1372-1379. <https://doi.org/10.1164/rccm.201703-0451PP>
- [43] Ikeda, K., Awai, K., Mori, T., et al. (2007) Differential Diagnosis of Ground-Glass Opacity Nodules: CT Number Analysis by Three-Dimensional Computerized Quantification. *Chest*, **132**, 984-990. <https://doi.org/10.1378/chest.07-0793>
- [44] Tamura, M., Shimizu, Y., Yamamoto, T., et al. (2014) Predictive Value of One-Dimensional Mean Computed Tomography Value of Ground-Glass Opacity on High-Resolution Images for the Possibility of Future Change. *Journal of Thoracic Oncology*, **9**, 469-472. <https://doi.org/10.1097/JTO.0000000000000117>
- [45] Chae, H.D., Park, C.M., Park, S.J., et al. (2014) Computerized Texture Analysis of Persistent Part-Solid Ground-Glass Nodules: Differentiation of Preinvasive Lesions from Invasive Pulmonary Adenocarcinomas. *Radiology*, **273**, 285-293. <https://doi.org/10.1148/radiol.14132187>
- [46] Ravenel, J.G., Leue, W.M., Nietert, P.J., et al. (2008) Pulmonary Nodule Volume: Effects of Reconstruction Parameters on Automated Measurements—A Phantom Study. *Radiology*, **247**, 400-408. <https://doi.org/10.1148/radiol.2472070868>
- [47] Denzler, S., Vuong, D., Bogowicz, M., et al. (2021) Impact of CT Convolution Kernel on Robustness of Radiomic Features for Different Lung Diseases and Tissue Types. *The British Journal of Radiology*, **94**, Article ID: 20200947. <https://doi.org/10.1259/bjr.20200947>
- [48] 陈澜菁, 李艳, 程勇, 等. MSCT 重建参数对肺结节定量测量的影响[J]. 放射学实践, 2021, 36(3): 403-407.
- [49] Mayo, J.R., Webb, W.R., Gould, R., et al. (1987) High-Resolution CT of the Lungs: An Optimal Approach. *Radiology*, **163**, 507-510. <https://doi.org/10.1148/radiology.163.2.3562834>
- [50] He, L., Huang, Y., Ma, Z., et al. (2016) Effects of Contrast-Enhancement, Reconstruction Slice Thickness and Convolution Kernel on the Diagnostic Performance of Radiomics Signature in Solitary Pulmonary Nodule. *Scientific Reports*, **6**, Article No. 34921. <https://doi.org/10.1038/srep34921>
- [51] 刘海法. 胸部 CT 联合不同重建算法对肺结节测量及显示影响的模体研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北医科大学, 2022.
- [52] 程燕南, 李贤军, 李新雨, 等. CT 重建算法和显示窗设置影响肺实性结节检出和测量的研究[J]. 西安交通大学

学报(医学版), 2022, 43(3): 476-482.

- [53] Hwang, J., Chung, M.J., Bae, Y., *et al.* (2010) Computer-Aided Detection of Lung Nodules: Influence of the Image Reconstruction Kernel for Computer-Aided Detection Performance. *Journal of Computer Assisted Tomography*, **34**, 31-34. <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e3181b5c630>
- [54] Armato III, S.G., Giger, M.L. and Macmahon, H. (2001) Automated Detection of Lung Nodules in CT Scans: Preliminary Results. *Medical Physics*, **28**, 1552-1561. <https://doi.org/10.1118/1.1387272>
- [55] Boedeker, K.L., McNitt-Gray, M.F., Rogers, S.R., *et al.* (2004) Emphysema: Effect of Reconstruction Algorithm on CT Imaging Measures. *Radiology*, **232**, 295-301. <https://doi.org/10.1148/radiol.2321030383>
- [56] 王冠华, 燕俊竹, 张林. 人工智能技术对肺癌早期不同密度肺结节的诊断能力探究[J]. 影像研究与医学应用, 2020, 4(14): 145-146.
- [57] Zhao, W., Zhang, W., Sun, Y., *et al.* (2019) Convolution Kernel and Iterative Reconstruction Affect the Diagnostic Performance of Radiomics and Deep Learning in Lung Adenocarcinoma Pathological Subtypes. *Thoracic Cancer*, **10**, 1893-1903. <https://doi.org/10.1111/1759-7714.13161>
- [58] 贾永军, 张喜荣, 杨创勃. 重建算法和迭代权重对机器深度学习预测肺结节恶性程度准确性的影响[C]//中国中西医结合学会医学影像专业委员会(Chinese Imaging Society of Integrative Medicine). 中国中西医结合学会医学影像专业委员会第十七次全国学术大会暨甘肃省中西医结合学会医学影像专业委员会第六届学术年会资料汇编. 2019: 142.