



中国胸心血管外科临床杂志

Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery

ISSN 1007-4848, CN 51-1492/R

## 《中国胸心血管外科临床杂志》网络首发论文

题目：2024年第2版《NCCN肿瘤临床实践指南——肺癌筛查》更新解读  
作者：董懂，张亚杰，李鹤成  
收稿日期：2024-07-15  
网络首发日期：2024-08-01  
引用格式：董懂，张亚杰，李鹤成. 2024年第2版《NCCN肿瘤临床实践指南——肺癌筛查》更新解读[J/OL]. 中国胸心血管外科临床杂志.  
<https://link.cnki.net/urlid/51.1492.R.20240731.1623.004>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

# 2024 年第 2 版《NCCN 肿瘤临床实践指南——肺癌筛查》更新解读



董懂，张亚杰，李鹤成

上海交通大学医学院附属瑞金医院 胸外科(上海 200025)

**【摘要】** 美国国立综合癌症网络 (National Comprehensive Cancer Network, NCCN) 每年更新《肿瘤临床实践指南——肺癌筛查》，2024 年第 2 版已于 2023 年 10 月发布。2024 版指南在 2023 版的基础上对肺癌筛查的肺癌风险因素及评估、初次用后续筛查发现肺部病灶类型及随访策略、低剂量 CT 筛查策略和成像方式等方面均进行了部分更新。本文将围绕上述几个更新点进行解读，结合国内相关指南及共识，为我国肺癌筛查提供参考。

**【关键词】** 肺癌；筛查；指南；解读

## Interpretation of the NCCN clinical practice guidelines in oncology for lung cancer screening (version 2.2024)

DONG Dong, ZHANG Yajie, LI Hecheng

Department of Thoracic Surgery, Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai, 200025, P. R. China

Corresponding author: LI Hecheng, Email: lihecheng2000@hotmail.com

**【Abstract】** The National Comprehensive Cancer Network (NCCN) updates the NCCN Clinical Practice Guidelines for Lung Cancer Screening annually, and the second edition of 2024 was released in October 2023. The 2024 edition of the guidelines builds on the 2023 edition with some updates on description and assessment of risk factors for lung cancer, evaluation and follow-up of lung nodules found during initial and subsequent screening, and low-dose CT screening protocols and imaging modalities. In this article, we will introduce the above updates and provide reference for lung cancer screening in China by combining the relevant guidelines and consensus in China.

**【Key words】** Lung cancer; screening; guideline; interpretation

**Foundation items:** National Natural Science Foundation of China (82372855; 82072557); Interdisciplinary Program of Shanghai Jiao Tong University (YG2023ZD04); Novel Interdisciplinary Research Project from Shanghai Municipal Health Commission (2022JC023); Shanghai Municipal Education Commission - Gaofeng Clinical Medicine Grant (201720055); National Key Research and Development Program of China (2021YFC2500900)

根据最新的全球肿瘤流行病学研究<sup>[1]</sup>结果，至 2022 年肺癌有近 250 万例新发病例和超过 180 万例死亡，是全球范围内癌症发病 (12.4%) 与死亡 (18.7%) 的主要原因，其发病率和死亡率在男性癌症中位居第一，在女性中排名第二 (仅次于乳腺癌)。我国是肺癌负荷较高的国家，肺癌发病率及死亡率均列男女恶性肿瘤首位，且高于世界平均水平<sup>[2]</sup>。肺癌 5 年生存率仅 20% 左右，有效的筛查可

以在无症状的早期阶段发现肺癌，从而在进展到晚期之前给予治疗并降低死亡率<sup>[3]</sup>。第 9 版肺癌 TNM 分期指南给出的补充数据中详细描述了不同肺癌分期对应的 5 年生存率，分别为：I A 期 88%，I B 期 78%，II A 期 68%，II B 期 61%，III A 期 50%，III B 期 35%，III C 期 21%<sup>[4]</sup>，可见，肺癌的生存与分期紧密相关，往往分期越早对应预后越好。然而我国肺癌患者在初次诊断时处于 I 期的

DOI: 10.7507/1007-4848.202407037

基金项目：国家自然科学基金项目 (82372855; 82072557)；上海交通大学“交大之星”计划“医工交叉研究基金” (YG2023ZD04)；上海市卫生健康委员会新兴交叉领域研究专项 (2022JC023)；上海交通大学医学院双百人计划研究型医师 (201720055)；科技部国家重点研发项目 (2021YFC2500900)

通信作者：李鹤成，Email: lihecheng2000@hotmail.com

比例仍然偏低, 仅从 2005—2011 年的 18.8% 上升至 2012—2014 年的 19.3%<sup>[5]</sup>。同时另一项覆盖 2003—2015 年间癌症生存变化的研究<sup>[6]</sup>中, 观察到中国肺癌患者的 5 年生存率在此期间仅实现了从 16.1% 至 19.7% 的有限增长。在我国医疗技术迅速发展的背景下, 推动肺癌筛查普及从而加强对肺癌的早期发现和早期治疗, 有望改善肺癌生存状况。

低剂量计算机断层扫描 (low-dose computed tomography, LDCT) 是肺癌筛查中的重要组成部分, 且随着多项临床研究结果的问世, LDCT 筛查已被证实可以降低肺癌相关死亡率<sup>[3,7]</sup>, 同时提高早期检出率并减少进展到晚期的患者数量<sup>[8]</sup>。美国国家肺癌筛查试验 (National Lung Screening Trial, NLST)<sup>[7]</sup> 共计纳入 53 454 例肺癌高危人群, 参与者被随机分配接受每年 3 次的 LDCT 筛查或胸部 X 线片筛查。结果显示, LDCT 组的肺癌死亡率较 X 线片组降低 20.0% [95%CI (6.8, 26.7),  $P=0.004$ ], 全因死亡率降低了 6.7% [95%CI (1.2, 13.6),  $P=0.02$ ]。另一项由欧洲主导肺癌筛查试验 (Nederlands-Leuvens Longkanker Screenings Onderzoek, NELSON) 也得到了类似的结果<sup>[3]</sup>。这两项大型研究均证明, 在高风险人群中进行 LDCT 筛查可显著降低肺癌死亡率。我国也陆续开展 LDCT 筛查项目及研究, 使作为肺癌筛查重要环节的 LDCT 广泛推广并进一步改善肺癌筛查的普及率及依从率<sup>[9-11]</sup>。

指导肺癌筛查的 NCCN 肿瘤临床实践指南于 2011 年制定, 并在此后每年至少更新 1 次。历版 NCCN 指南主要聚焦于: (1) 肺癌风险因素的描述与评估; (2) 建立筛选需要接受筛查的高风险因素个体的标准; (3) 初次及后续筛查中发现肺结节的评估和随访策略; (4) LDCT 筛查策略及成像方式的规范协议; (5) LDCT 筛查的风险利弊。2024 年第 2 版《NCCN 肿瘤筛查临床实践指南——肺癌筛查》<sup>[12]</sup> (以下简称“新版指南”) 于 2023 年 10 月发布, 旨在为肺癌, 尤其是非小细胞肺癌的筛查提供指导与建议。该指南主要基于美国权威癌症统计数据库 SEER 数据库进行分析制定, 然而其疾病谱及种族族裔与我国存在异质性, 因此仅可作为我国肺癌筛查工作开展的参考和补充, 具体情况仍需要结合我国肺癌人群现状和人种特征进行调整与实践。

在 2023 年第 2 版指南基础上, 新版指南主要对以下 3 个方面进行更新: 肺癌风险因素及评估、初次及后续筛查中发现肺结节的评估和随访、

LDCT 筛查策略及成像方式的规范协议。本文将围绕以上 3 点, 同时结合国内肺癌相关指南及共识, 综合考虑国内外肺癌人群特征, 对新版指南的更新进行介绍和展开讨论, 以期完善符合我国国情的肺癌筛查策略, 为国内肺癌筛查工作的开展提供参考。

## 1 肺癌风险因素及评估

在肺癌筛查过程中, 对人群依据肺癌罹患风险高低进行选择性的筛查, 既符合社会效益, 减少额外的医疗开支, 同时也能有效规避过度诊疗, 减少低危正常人群不必要的身心负担。新版指南在该部分无新增内容, 仅对部分描述进行优化。这部分将对国内相关指南的对应更新进行重点比较。

### 1.1 肺癌相关风险因素

新版指南对肺癌风险因素的汇总与既往保持一致, 主要涵盖了包括吸烟史、二手烟暴露、职业暴露等在内的多种因素。在《中华医学会肺癌临床诊疗指南 (2024 版)》<sup>[13]</sup> 中针对吸烟增加的肺癌风险, 新增了相关描述: “戒烟可使肺癌发病风险随时间推移而降低, 但与从未吸烟的人相比, 即使在戒烟 15 年以上后, 患肺癌的风险仍高于未吸烟者。” 其主要依据是美国癌症协会提出的肺癌筛查指南补充信息<sup>[14]</sup>, 该研究对戒烟伴随衰老对肺癌风险的影响进行了量化。结果显示, 戒烟超过 15 年后, 绝对肺癌风险仍会每年增加 8.7% [95%CI (7.7%, 9.7%),  $P<0.001$ ], 65 岁有 15 年戒烟史者的平均 5 年肺癌风险为 1.47% [95%CI (1.35%, 1.59%)], 而 70 岁有 20 年戒烟史者为 1.76% [95%CI (1.62%, 1.90%) ]。

吸烟与罹患肺癌的风险之间存在剂量-反应关系<sup>[15]</sup>, 新版指南中也明确年龄 $\geq 50$  岁, 吸烟 $\geq 20$  包/年的人是肺癌高危人群, 即针对吸烟与衰老对肺癌风险的影响进行量化。然而正如上述研究所示, 虽然戒烟会降低罹患肺癌的风险 (戒烟后每增加 1 年, 风险就会增加), 但与从不吸烟的人相比, 戒烟者罹患肺癌的风险仍然较高。因此, 无论接触香烟的程度和戒烟后的时间如何, 目前或过去的吸烟史都应被视为罹患肺癌的风险因素。《中华医学会肺癌临床诊疗指南 (2024 版)》<sup>[13]</sup> 所更新的内容就是对 NCCN 指南中戒烟情况这一风险因素量化的初步尝试, 这一环节的具体量化有待更多风险模型的开发并进一步验证。

### 1.2 风险因素的评估

通过对肺癌高危因素精准识别及深入评估, 才

有可能准确将人口进行分层, 对其中的高危人群进行重点筛查, 同时对低危人群不造成额外的负担。美国预防临床服务指南工作组 (U.S. Preventive Services Task Force, USPSTF) 在此前发布的 2021 年肺癌筛查指南中明确指出, 推荐仅将吸烟与年龄纳入肺癌风险因素的评估, 不推荐采用较复杂的风险模型<sup>[16]</sup>。然而导致肺癌有多种因素, 即使在低危人群中也会有肺癌发生, 通过构建风险模型, 将除吸烟与年龄外的其他风险因素也纳入评估, 是对现有高危人群的补充, 使得肺癌筛查策略更加广泛与完善。

目前, 国际上有两个广泛评估并用于筛查的风险模型: 前列腺、肺、结直肠和卵巢 (Prostate, Lung, Colorectal, and Ovarian, PLCO) 模型和利物浦肺项目 (Liverpool Lung Project, LLP) 模型。最新的 PLCO 模型版本为 PLCOm2012, 除了吸烟与年龄这两个主要因素之外, 还考虑了种族、体重指数、教育水平、个人癌症史、肺癌家族史和慢性阻塞性肺疾病/肺气肿等因素。PLCOm2012 风险模型基于 PLCO 队列以及 NLST 队列进行回顾性分析, 无论是相较于 2013 年的 USPSTF 标准, 还是 2021 年更新后的 USPSTF 标准, 均体现出一定程度的优势。当风险预测模型的阳性预测阈值设为 1.51% 时, PLCOm2012 预测效果显著优于 USPSTF 2013 分类标准 (敏感性 69.3% vs. 52.3%,  $P < 0.0001$ )<sup>[17]</sup>。且当两者筛查样本量相当的人群时, PLCOm2012 模型可以筛查出更多的肺癌病例 [162/171 (94.7%) vs. 135/171 (78.9%),  $P = 0.0001$ ], 检出率增加了 15.8%<sup>[18]</sup>。2023 年发布的 PLCOm2012-update 则对美国各族裔间进一步平衡, 与 USPSTF 2021 相比, 保证筛查性能的同时提高了模型在跨种族族裔中的表现<sup>[19]</sup>。

基于以上结果, 2023 年版 NCCN 指南首次鼓励使用“风险计算器”计算肺癌风险 (<https://brocku.ca/lung-cancer-screening-and-risk-prediction/risk-calculators>), 新版指南延续了这一点<sup>[20]</sup>, 其中就包括 PLCOm2012 在内的 6 种模型。通过风险模型对更多肺癌高危因素进行全面评估似乎成为一种可以预见的趋势。然而上述模型在我国的运用存在一定局限性, 这也与构建模型的队列中亚洲人群数量较少有关, 如 PLCOm2012 中仅有 24 例亚洲人<sup>[17]</sup>。由此可见, 我们也非常需要开发符合国人的肺癌“风险计算器”。

自 2023 版以来, NCCN 指南开始强调风险模型在肺癌高危人群筛选中的应用。在《中华医学

会肺癌临床诊疗指南 (2024 版)》<sup>[13]</sup> 中, 同样强调了肺癌高危人群风险模型开发的重要性, 并新增相关说明: “有研究发现使用风险模型进行肺癌高危人群筛选, 相较于传统的风险因素筛选, 有更好的筛查效率。未来, 更加完善的肺癌发病风险模型有望成为高危人群筛选的重要手段之一。”

此外《中华医学会肺癌临床诊疗指南 (2024 版)》还鼓励国内年轻的学者利用人工智能等信息技术建立符合国人的肺癌高危人群筛选模型。除了用于开发风险模型, 飞速发展的人工智能也为医疗诊断和决策提供了帮助, 带来了一定的社会效益<sup>[21]</sup>。人工智能主要包括机器学习和深度学习, 在整个肺癌筛查工作流程中都可以发挥作用, 包括降低辐射剂量、肺结节检测、肺结节特征分析以及个体化随访时间的确定<sup>[22-26]</sup>。基于深度学习的图像重建技术可以降低成像噪声, 从而在降低辐射剂量的同时保证影像质量<sup>[24, 27]</sup>。将深度学习图像重建技术应用于超低剂量 CT (0.07 mSv 或 0.14 mSv) 可以提高结节检测率和测量精度, 使得超低剂量 CT 有望成为 LDCT 可行的替代方案<sup>[27]</sup>。在检测效能上, 人工智能算法在肺结节检测方面已经展示出较高的敏感性 (83% ~ 97%) 和准确性 (82% ~ 98%)<sup>[28]</sup>, 特别是对微小结节的检测, 在一定程度上甚至超越了放射科医生<sup>[29]</sup>。此外, 人工智能工具可能有助于区分良恶性结节, 从而减少对良性结节的不必要检查, 缩短恶性结节的诊断时间, 以及减少读片者之间的差异, 优化结节管理<sup>[23, 30-32]</sup>。总之, 国内指南的相应调整, 一定程度上预示未来肺癌筛查管理模式的发展方向与趋势。

## 2 初次及后续筛查中发现肺结节的评估和随访策略

当对筛选出的高危人群进行 LDCT 初筛后, 将针对不同的结节采用不同的临床管理方法及随访策略<sup>[7, 33]</sup>, 对初筛结节主要需要进行如下相关性评估: (1) 结节大小和/或结节密度的均一性与恶性可能性; (2) 结节大小与肿瘤分期; (3) 肿瘤分期与生存期。有时还考虑了肺癌的平均生长速度 (即体积倍增时间)<sup>[34-36]</sup>。上述研究大多数建议对至少 7 ~ 10 mm 的结节考虑 FDG-PET/CT, 如果没有 FDG-PET/CT, 则考虑增强 CT, 从而提高恶性肿瘤诊断的特异性<sup>[37-38]</sup>。FDG-PET/CT 对实性成分 < 8 mm 的结节以及膈肌或心脏附近存在运动伪影的小结节的敏感性较低。在肺癌高风险筛查人群中, 在对 CT 检测到的结节进行检查时, 大多数需要随访的

结节都要进行间歇性 LDCT 检查,对于较大的结节,增强 CT 和 FDG-PET/CT 则是必要的<sup>[39-40]</sup>。

综上,对于 LDCT 初筛发现的 $\geq 15$  mm 的实性结节,新版指南由原先的胸部 CT 可选增强,变更为立即行胸部增强 CT (即不能是平扫)和/或 FDG-PET/CT 和/或组织活检。

### 3 LDCT 筛查策略及成像方式的规范协议

在肺结节的规范化筛查及随访中,要求与既往胸部 CT 进行比较,因此在肺癌的报告中,需要记录结节的大小、形态以及密度,以此为依据调查结节的动态变化,因此按照一定间期进行随访的胸部 CT 检查对于缓慢生长的病灶至关重要。其中,CT 的层厚选择也是极其重要的一环。在既往的指南中,制定了层厚选择的相关规范:扫描层厚要求 $\leq 2.5$  mm,对于结节表征一致的,尤其是小结节,建议层厚 $\leq 1$  mm 以排除任何微小的实性成分。

研究<sup>[41]</sup>表明,在采用 1 mm 层厚的宽度时,减少辐射照射不会对结节大小的测量产生显著影响<sup>[41]</sup>。因此在新版指南中,对于筛查发现的结节需要进一步评估的所有筛查和随访问歇胸部 CT 扫描,无论结节大小,均采取层厚 $\leq 1.5$  mm<sup>[42-43]</sup>。

### 4 总结

肺癌筛查是一个相对复杂且值得讨论的议题。新版指南相较于 2023 版指南更新幅度较小,但仍能从两版指南的异同中找到未来肺癌筛查的方向与趋势。例如,两版指南均强调了风险模型的重要性,这也与国内相关指南与共识一致,未来有望通过大数据及人工智能为肺癌筛查工作赋能,为肺癌高危人群的筛选开发更优的风险模型,以及为我国开发更符合国人的筛选策略。

利益冲突:无。

作者贡献:董懂负责文章撰写和语言修改;张亚杰负责文章语言修改及内容调整;李鹤成负责文章质量监督和总体设计。

#### 参考文献

- Bray F, Laversanne M, Sung H, *et al*. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin*, 2024, 74(3): 229-263.
- 郑荣寿,陈茹,韩冰峰,等. 2022 年中国恶性肿瘤流行情况分析. *中华肿瘤杂志*, 2024, 46(3): 221-231.
- Zheng RS, Chen R, Han BF, *et al*. Analysis of the prevalence of malignant tumors in China in 2022. *Chin J Oncol*, 2024, 46(3): 221-231.
- de Koning HJ, van der Aalst CM, de Jong PA, *et al*. Reduced lung-cancer mortality with volume CT screening in a randomized trial. *N Engl J Med*, 2020, 382(6): 503-513.
- Rami-Porta R, Nishimura KK, Giroux DJ, *et al*. The International Association for the Study of Lung Cancer staging project: Proposals for revision of the TNM stage groups in the forthcoming (ninth) edition of the TNM classification for lung cancer. *J Thorac Oncol*, 2024, 19(7): 1007-1027.
- Shi J-F, Wang L, Wu N, *et al*. Clinical characteristics and medical service utilization of lung cancer in China, 2005-2014: Overall design and results from a multicenter retrospective epidemiologic survey. *Lung Cancer*, 2019, 128.
- Zeng H, Chen W, Zheng R, *et al*. Changing cancer survival in China during 2003-15: A pooled analysis of 17 population-based cancer registries. *Lancet Glob Health*, 2018, 6(5): e555-e567.
- Aberle DR, Adams AM, Berg CD, *et al*. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N Engl J Med*, 2011, 365(5): 395-409.
- Potter AL, Rosenstein AL, Kiang MV, *et al*. Association of computed tomography screening with lung cancer stage shift and survival in the United States: Quasi-experimental study. *BMJ*, 2022, 376: e069008.
- Yang D, Liu Y, Bai C, *et al*. Epidemiology of lung cancer and lung cancer screening programs in China and the United States. *Cancer Lett*, 2020, 468: 82-87.
- Cao M, Li H, Sun D, *et al*. Cancer screening in China: The current status, challenges, and suggestions. *Cancer Lett*, 2021, 506: 120-127.
- Yang W, Qian F, Teng J, *et al*. Community-based lung cancer screening with low-dose CT in China: Results of the baseline screening. *Lung Cancer*, 2018, 117: 20-26.
- National Comprehensive Cancer Network. NCCN clinical practice guidelines in oncology: Lung cancer screening (version 2.2024). URL: <https://www.nccn.org>. Accessed on 2024-07-01.
- 中华医学会肿瘤学分会,中华医学会肺癌临床诊疗指南(2024 版),2024 年中华肺癌学术大会 2024 年 5 月 17—19 日. Chinese Society of Clinical Oncology, Chinese Medical Association. Clinical Diagnosis and treatment guidelines for lung cancer (2024 Edition). Chinese Lung Cancer Academic Conference 2024, May 17-19, 2024.
- Landy R, Cheung LC, Young CD, *et al*. Absolute lung cancer risk increases among individuals with  $>15$  quit-years: Analyses to inform the update of the American Cancer Society lung cancer screening guidelines. *Cancer*, 2024, 130(2): 201-215.
- Smoking-attributable mortality, years of potential life lost, and productivity losses—United States, 2000-2004. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 2008, 57(45): 1226-1228.
- Krist AH, Davidson KW, Mangione CM, *et al*. Screening for lung cancer: US preventive services task force recommendation statement. *JAMA*, 2021, 325(10): 962-970.
- Pasquinelli MM, Tammemägi MC, Kovitz KL, *et al*. Risk prediction model versus united states preventive services task force lung cancer screening eligibility criteria: Reducing race disparities. *J Thorac Oncol*, 2020, 15(11): 1738-1747.
- Tammemägi MC, Ruparel M, Tremblay A, *et al*. USPSTF2013 versus PLCom2012 lung cancer screening eligibility criteria (International Lung Screening Trial): Interim analysis of a prospective cohort study. *Lancet Oncol*, 2022, 23(1): 138-148.

- 19 Choi E, Ding VY, Luo SJ, *et al.* Risk model-based lung cancer screening and racial and ethnic disparities in the US. *JAMA Oncol*, 2023, 9(12): 1640-1648.
- 20 Sands J, Tammemägi MC, Couraud S, *et al.* Lung screening benefits and challenges: A review of the data and outline for implementation. *J Thorac Oncol*, 2021, 16(1): 37-53.
- 21 Ziegelmayr S, Graf M, Makowski M, *et al.* Cost-effectiveness of artificial intelligence support in computed tomography-based lung cancer screening. *Cancers*, 2022, 14(7): 1729.
- 22 Adams SJ, Mondal P, Penz E, *et al.* Development and cost analysis of a lung nodule management strategy combining artificial intelligence and lung-RADS for baseline lung cancer screening. *J Am Coll Radiol*, 2021, 18(5): 741-751.
- 23 Ardila D, Kiraly AP, Bharadwaj S, *et al.* End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography. *Nat Med*, 2019, 25(6): 954-961.
- 24 Hata A, Yanagawa M, Yoshida Y, *et al.* Combination of deep learning-based denoising and iterative reconstruction for ultra-low-dose CT of the chest: Image quality and lung-RADS evaluation. *AJR Am J Roentgenol*, 2020, 215(6): 1321-1328.
- 25 Obuchowski NA, Bullen JA. Statistical considerations for testing an AI algorithm used for prescreening lung CT images. *Contemp Clin Trials Commun*, 2019, 16: 100434.
- 26 Setio AAA, Traverso A, de Bel T, *et al.* Validation, comparison, and combination of algorithms for automatic detection of pulmonary nodules in computed tomography images: The LUNA16 challenge. *Med Image Anal*, 2017, 42: 1-13.
- 27 Jiang B, Li N, Shi X, *et al.* Deep learning reconstruction shows better lung nodule detection for ultra-low-dose chest CT. *Radiology*, 2022, 303(1): 202-212.
- 28 Pehrson LM, Nielsen MB, Ammitzbøl Lauridsen C. Automatic pulmonary nodule detection applying deep learning or machine learning algorithms to the LIDC-IDRI Database: A systematic review. *Diagnostics (Basel)*, 2019, 9(1): 29.
- 29 Cui X, Zheng S, Heuvelmans MA, *et al.* Performance of a deep learning-based lung nodule detection system as an alternative reader in a Chinese lung cancer screening program. *Eur J Radiol*, 2022, 146: 110068.
- 30 Venkadesh KV, Setio AAA, Schreuder A, *et al.* Deep learning for malignancy risk estimation of pulmonary nodules detected at low-dose screening CT. *Radiology*, 2021, 300(2): 438-447.
- 31 Baldwin DR, Gustafson J, Pickup L, *et al.* External validation of a convolutional neural network artificial intelligence tool to predict malignancy in pulmonary nodules. *Thorax*, 2020, 75(4): 306-312.
- 32 Li D, Mikela Vilmun B, Frederik Carlsen J, *et al.* The performance of deep learning algorithms on automatic pulmonary nodule detection and classification tested on different datasets that are not derived from LIDC-IDRI: A systematic review. *Diagnostics*, 2019, 9(4).
- 33 Aberle DR, Berg CD, Black WC, *et al.* The national lung screening trial: Overview and study design. *Radiology*, 2011, 258(1): 243-253.
- 34 Henschke CI, Yankelevitz DF, Naidich DP, *et al.* CT screening for lung cancer: Suspiciousness of nodules according to size on baseline scans. *Radiology*, 2004, 231(1): 164-168.
- 35 Henschke CI, Yankelevitz DF, Miettinen OS. Computed tomographic screening for lung cancer: The relationship of disease stage to tumor size. *Arch Intern Med*, 2006, 166(3): 321-325.
- 36 Henschke CI, Yankelevitz DF, Libby DM, *et al.* Survival of patients with stage I lung cancer detected on CT screening. *N Engl J Med*, 2006, 355(17): 1763-1771.
- 37 Murrmann GB, van Vollenhoven FHM, Moodley L. Approach to a solid solitary pulmonary nodule in two different settings—"Common is common, rare is rare". *J Thorac Dis*, 2014, 6(3): 237-248.
- 38 Christensen JA, Nathan MA, Mullan BP, *et al.* Characterization of the solitary pulmonary nodule: 18F-FDG PET versus nodule-enhancement CT. *AJR Am J Roentgenol*, 2006, 187(5): 1361-1367.
- 39 Ashraf H, Dirksen A, Loft A, *et al.* Combined use of positron emission tomography and volume doubling time in lung cancer screening with low-dose CT scanning. *Thorax*, 2011, 66(4): 315-319.
- 40 Ohno Y, Koyama H, Matsumoto K, *et al.* Differentiation of malignant and benign pulmonary nodules with quantitative first-pass 320-detector row perfusion CT versus FDG PET/CT. *Radiology*, 2011, 258(2): 599-609.
- 41 Hein PA, Romano VC, Rogalla P, *et al.* Linear and volume measurements of pulmonary nodules at different CT dose levels—Intrascan and interscan analysis. *Rofo*, 2009, 181(1): 24-31.
- 42 Demb J, Chu P, Yu S, *et al.* Analysis of computed tomography radiation doses used for lung cancer screening scans. *JAMA Intern Med*, 2019, 179(12): 1650-1657.
- 43 Zhao A, Fopma S, Agrawal R. Demystifying the CT radiation dose sheet. *Radiographics*, 2022, 42(4): 1239-1250.

收稿日期: 2024-07-15 修回日期: 2024-07-19

本文编辑: 刘雪梅

