

肺癌早期筛查策略与研究进展:中、美、英三国比较

孙梦婷^{1,3} 刘杨² 张勇¹ 宋元林^{1,3,4,5,6,8} 白春学^{1,3,4} 杨达伟^{1,3,4,6,7Δ}

¹复旦大学附属中山医院呼吸与危重症医学科 上海 200032; ²西奈山伊坎医学院公共卫生系 纽约 10029;

³上海呼吸物联网医学工程技术研究中心 上海 200032; ⁴上海市呼吸病研究所 上海 200032;

⁵上海市肺部炎症与损伤重点实验室 上海 200032; ⁶复旦大学附属中山医院(厦门)呼吸与危重症医学科 厦门 361015;

⁷上海心肺疾病人工智能工程技术研究中心 上海 200032; ⁸AI+肺癌防治中心 上海 200032)

【摘要】 肺癌是全球范围内最常见的癌症之一,约占癌症的十分之一,同时也占致死率最高的癌症的五分之一。近年来早期筛查成为了降低肺癌死亡率的可靠策略之一。随着低剂量螺旋CT(low-dose computed tomography, LDCT)在肺癌筛查中的广泛应用,多个国家和地区已开展了大规模筛查项目并取得了积极进展。肺癌筛查计划的制定与吸烟史、空气污染、性别、年龄等多种因素有关。同时计算机辅助诊断(computer-aided diagnosis, CAD)和人工智能(artificial intelligence, AI)的不断发展以及全面的肺结节计划对于提高肺癌早期诊断准确率具有重要意义。本文综述了肺癌早期筛查的研究现状与进展,重点比较了中国、美国和英国在筛查政策上的异同以及肺癌相关因素对不同国家筛查政策的影响。三国均以LDCT为主要筛查手段,但在人群选择、筛查频率、政策支持和公众依从性方面存在差异。

【关键词】 肺癌; 早期筛查; 肺结节; 人工智能

【中图分类号】 R734.2 **【文献标志码】** A **doi:**10.3969/j.issn.1672-8467.2026.01.012

Strategies and progress of early screening for lung cancer: a comparison among China, the United States and the United Kingdom

SUN Meng-ting^{1,3}, LIU Yang², ZHANG Yong¹, SONG Yuan-lin^{1,3,4,5,6,8},
BAI Chun-xue^{1,3,4}, YANG Da-wei^{1,3,4,6,7Δ}

¹Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China;

²Department of Public Health, Icahn School of Medicine at Mount Sinai, New York 10029, USA; ³Shanghai Engineer and Technology Research Center of Internet of Things for Respiratory Medicine, Shanghai 200032, China; ⁴Shanghai Respiratory

Research Institute, Shanghai 200032, China; ⁵Shanghai Key Laboratory of Lung Inflammation and Injury, Shanghai 200032, China; ⁶Department of Pulmonary and Critical Care Medicine, Zhongshan Hospital (Xiamen), Xiamen 361015,

Fujian Province, China; ⁷Shanghai Engineering Research Center for AI Technology for Cardiopulmonary Diseases,

Shanghai 200032, China; ⁸AI+Lung Cancer Prevention and Treatment Center, Shanghai 200032, China)

【Abstract】 Lung cancer is one of the most common cancers globally, accounting for about one-tenth of all cancer cases, and it is also one of the leading causes of cancer-related deaths, representing approximately one-fifth of such deaths. In recent years, early screening has become one of the reliable strategies to reduce the mortality of lung cancer. With the widespread application of low-dose computed

四大慢病重大专项(2024ZD0529300);国家自然科学基金(82570143,82170110);福建省科技厅杰出青年基金(2022D014);上海市科技创新行动计划(21DZ2200600);上海市重点实验室计划(20DZ2261200);上海市市级科技重大专项(ZD2021CY001);上海市临床重点专科建设项目(shslczdk02201)

^ΔCorresponding author E-mail: yang.dawei@zs-hospital.sh.cn

网络首发时间:2025-11-07 10:49:22 网络首发地址:https://link.cnki.net/urlid/31.1885.R.20251105.1532.010

tomography (LDCT) in lung cancer screening, many countries and regions have carried out large-scale screening programs and made positive progress. The development of lung cancer screening programs are related to many factors such as smoking history, air pollution, gender, age and so on. At the same time, the continuous development of computer-aided diagnosis (CAD), artificial intelligence (AI) and comprehensive pulmonary nodule planning are of great significance for improving the accuracy of early diagnosis of lung cancer. This article reviews the research status and progress of early screening for lung cancer, with a key comparison of the similarities and differences in screening policies among China, the United States, and the United Kingdom, as well as how lung cancer-related factors influence the screening policies in these countries. All three countries use LDCT as the main screening method, but there are differences in population selection, screening frequency, policy support and public compliance.

【Key words】 lung cancer; early screening; pulmonary nodules; artificial intelligence

* This work was supported by the Noncommunicable Chronic Diseases-National Science and Technology Major Project (2024ZD0529300), National Natural Science Foundation of China (82570143, 82170110), Fujian Provincial Department of Science and Technology Fund for Distinguished Young Scholars (2022D014), Shanghai Science and Technology Innovation Action Plan (21DZ2200600), Shanghai Key Laboratory Plan (20DZ2261200), Shanghai Municipal Science and Technology Major Project (ZD2021CY001) and Shanghai Municipal Key Clinical Specialty Construction Project (shslczdk02201).

2020年全球癌症统计表明肺癌是全球第二大最常见的癌症,占癌症的11.4%,也是2020年癌症死亡的主要原因,约占18.0%。同时肺癌是男性癌症发病率和死亡率的主要原因,而在女性中,肺癌的发病率排名第三,死亡率排名第二。WHO数据显示,男性肺癌发病率为14.3%,女性为8.4%;死亡率分别为21.5%和13.7%^[1]。

随着低剂量螺旋CT (low-dose computed tomography, LDCT)技术的不断成熟,其在肺癌筛查中的应用价值已通过多项大型临床研究得到验证,如美国的国家肺癌筛查试验(National Lung Screening Trial, NLST)和英国肺癌筛查试验(UK Lung Screening Trial, UKLS)^[2]。近年来,肺癌筛查被认为是降低肺癌死亡率的关键策略之一,各国相继制定筛查政策并探索适宜的实施路径。然而,肺癌的发生发展受到多种因素影响,如吸烟、空气污染、性别差异、遗传背景及人口老龄化等,这些因素不仅决定了筛查人群的高危特征,也直接影响筛查策略的制定与效果评估。因此,重点关注肺癌筛查相关的影响因素,对于优化筛查流程、提高人群覆盖率及筛查精准性具有重要意义。

吸烟仍是全球范围内最主要的肺癌危险因素,三分之二以上的肺癌死亡可归因于吸烟^[1]。在肺癌筛查计划中,吸烟率、控烟政策及公众健康意识对筛查参与率和早期发现率均产生显著影响。例如,美国通过NLST明确了LDCT在改善高危人群死

亡率的作用,英国则依托国家卫生服务体系(National Health System, NHS)启动了靶向肺部健康检查计划,在提高筛查覆盖率方面取得阶段性成果^[3-4]。中国则通过农村和城市肺癌筛查项目,结合LDCT机会性筛查,对不同人群的筛查策略进行探索,数据显示LDCT在无症状人群中的早期肺癌检出率达到76%^[5]。除吸烟外,环境空气污染也被认为是影响肺癌发生的重要因素,尤其在中国和部分英国城市地区表现突出^[6-7]。此外,人口老龄化与城市化进程加快等因素也加重了肺癌筛查的社会需求。

目前已有部分研究对肺癌筛查策略进行了政策层面的描述,但多数集中于单一国家或局限于筛查技术本身,缺乏对多国筛查政策背后影响因素的系统比较。本文在总结各国筛查实践基础上,着重分析与筛查相关的核心因素,并以中国、美国与英国为例进行对比。这三国在肺癌负担、医疗体系及筛查政策推进机制上具有代表性,分别体现了政策驱动、市场导向与全民医保模式下筛查策略的异同。不同国家在筛查人群选择标准、筛查频率与技术路径等方面虽存在差异,但共同趋势是推动LDCT技术的广泛应用,并结合本国人群的高危因素进行个体化筛查管理,以期实现肺癌的早发现、早诊断与早治疗。

中美英肺癌筛查计划 中、美、英三国在肺癌筛查政策的制定与实施方面均有积极探索,但在覆

盖人群、实施路径、筛查频率和政策保障等方面存在明显差异。中国近年来开展了多项基于人群的大规模LDCT筛查项目,覆盖城乡多个地区^[8]。相关研究表明,LDCT一次性筛查可显著降低肺癌与全因死亡率,尤其在女性与非吸烟人群中的早期检出率较高,提示我国未来应关注特定高风险人群的识别与精准筛查策略的制定^[9-10]。由于LDCT费用相对较低且可及性强,专家呼吁不应将筛查对象严格限定于传统“高危”定义,而应根据中国特有流行病学特征进行人群扩展和风险再分层^[11]。

美国的肺癌筛查较早规范化,其“国家肺癌筛查试验”(NLST)首次证实LDCT可有效降低肺癌死亡率^[12],随后美国癌症协会及预防服务工作组相继发布筛查建议^[13],并通过全国肺癌圆桌会议(National Lung Cancer Roundtable, NLCRT)推动涵盖风险评估、烟草干预和诊后管理的综合干预体系^[14]。相比之下,英国则在2022年由国家筛查委员会正式推荐LDCT用于肺癌早筛,目前以靶向肺部健康检查计划(Targeted Lung Health Check Programme, TLHC)为核心,在部分地区试点开展筛查,已有超过12万人接受检查^[15-16]。英国计划在2030年前实现对符合条件人群的全国覆盖,逐步从试点走向常规化服务^[17]。三国的筛查路径各具特点,反映出医疗体系结构、健康政策推进方式及高危人群特征的差异。

肺癌相关影响因素

吸烟 目前,吸烟仍然是肺癌的首要危险因素,戒烟仍是降低肺癌发病率和死亡率的最有效方法之一。将戒烟纳入肺癌筛查计划(The Smoking Cessation at Lung Examination, SCALE)是由美国国家癌症研究所(National Cancer Institute, NCI)发起的一项倡议,旨在针对特定人群进行肺癌筛查和戒烟治疗研究,即对长期吸烟者使用LDCT进行肺癌筛查^[18-19]。

2021年,美国预防服务工作组(Preventive Services Task Force, USPSTF)更新了年度LDCT筛查高危人群要求,将包年要求从30岁以上扩大到20岁以上^[20]。根据现有吸烟者肺癌筛查率的研究,大约50%的筛查参与者是当前吸烟者。因此,LDCT筛查是为高危吸烟者戒烟提供帮助的重要机会。提供戒烟治疗符合美国公共卫生服务的烟草治疗指南,通过LDCT筛查提供戒烟治疗在减少

大量吸烟者的烟草使用和与吸烟相关的疾病与死亡方面具有巨大潜力,而且是一种极具成本效益的方法^[21]。因此许多国家的专家提议在未来将戒烟干预措施整合到基于LDCT的筛查计划中。多项国家筛查计划,例如NLST、UKLS以及中国肺癌筛查共识提供了戒烟影响的证据^[22]。

在肺癌筛查的背景下,了解与吸烟相关的健康信念与戒烟之间的关联对于有效的戒烟治疗非常重要^[23]。有相关研究探索了当前吸烟者自我报告的与吸烟相关的健康认知(例如自我效能)和情绪(例如担忧)与戒烟的关系。结果表明,在接受肺部筛查的重度吸烟者中,与吸烟相关的健康认知和情绪与戒烟有关。在筛查环境中,这些健康信念必须被视为戒烟的一个组成部分^[24-25]。

空气污染 除吸烟外,空气污染也是导致肺癌发生的重要影响因素^[6]。有研究显示,随着PM_{2.5} (PM2.5)的暴露量增加,癌症风险随之增加^[26]。不止在中国,在西方国家例如英国也有类似研究,结果显示肺癌风险与PM2.5之间确实存在关联^[27]。而美国各大洲的分析显示,北美与PM2.5相关的肺癌死亡率的明显高于亚洲^[28]。空气污染与肺癌风险之间的关联主要见于非吸烟者,从不吸烟或轻度吸烟者所患肺癌以表皮生长因子受体(epidermal growth factor receptor, EGFR)驱动最为常见。一项32 957例EGFR驱动的肺癌队列研究中发现PM2.5水平与肺癌发病率之间存在显著关联。PM2.5水平每增加1 μg/m³,EGFR驱动的相对肺癌发病率(每100 000人)在英国为0.63,在韩国为0.71^[29]。因此,肺癌患者应更加注意自身空气防护,生活在空气质量欠佳环境中的肺癌患者应加强LDCT筛查频次。

性别与基因突变 肺癌作为具有遗传易感性的一种疾病,基因突变与肺癌发生率和死亡率也有一定的联系。TP53抑癌基因的变异,EGFR、ATM、SFTPA1和SFTPA2变异,组蛋白相关基因HIST1H4F高甲基化等多种基因突变可导致肺癌风险增加,这可能有助于了解肿瘤的发生并改善早期癌症诊断的筛查^[30-31]。最近的流行病学数据表明,女性吸烟率与肺癌发生率和死亡率的关联更强,女性因吸烟而患肺癌的风险高于男性。另外,NLST、荷兰-比利时随机肺癌筛查试验(Netherlands-Leuven Longkanker Screening

Onderzoek, NELSON)等性别特异性亚组分析表明,肺癌筛查对女性的益处可能大于男性,接受LDCT筛查的女性中晚期癌症和肺癌相关死亡的趋势更低^[32]。

这种性别差异与遗传基因有很大关系,女性的DNA加合物水平高于男性,肿瘤抑制基因P53和原癌基因KRAS的突变更多见^[33]。近年女性吸烟数量的增加以及家庭内长期被动吸烟的存在可能是女性肺癌发病率增加的一个重要原因。

老龄化 肺癌是全球多个国家癌症死亡的主要原因,而每年癌症死亡可以归因于4种决定因素:人口老龄化,人口规模,特定年龄癌症发病率,癌症病死率。25岁及以上成年人人口规模的增加是癌症死亡人数增加的主要决定因素,自2005年以来,人口老龄化是癌症死亡人数增加的第二个决定因素,未来可能超过人口规模。

在UKLS试验中,LDCT筛查年龄是50~75岁,NELSON筛查项目纳入的是年龄在55~75岁的现任和前任重度吸烟者(≥ 30 包年),而NLST将筛查年龄范围从55~80岁扩大到50~80岁^[32]。与发达国家相比,中国是世界上老龄化人口增长最快的国家之一,未来人口老龄化很可能成为中国的一个主要社会特征,如果人口规模保持稳定或减少,但人口老龄化继续加剧,中国癌症负担的上升趋势可能保持不变^[34]。我国最新肺癌筛查共识提到将中国肺癌高危人群年龄扩大至40岁及以上的成年人^[11]。因此,在面临人口老龄化的国家,应推进40~80岁高危人群的大规模肺癌筛查和早期检测,通过多种筛查技术来减少癌症负担。

CAD/AI在肺结节良恶性筛查中的应用

CAD/AI在筛查结节中的作用:测量和表征肺结节的检测是一项艰巨的任务,但却是肺癌早期诊断的基础。在国家肺部筛查试验中,8.9%的肺癌存在漏诊现象,其中体积倍增时间是恶性肿瘤的关键指标。此外,结节形态的改变,如毛刺、空洞和密度变化,也有助于区分良恶性结节^[35]。因此机器学习的需求逐渐加强,通过计算机辅助诊断(computer-aided diagnosis, CAD)以及人工智能(artificial intelligence, AI)协助医师识别良恶性结节,能够有效提高肺癌早期诊断率。

结节大小被认为是癌症风险的重要预测指标,然而近年来相关结节管理以及国内外指南建议我

们更加关注结节体积,因为该指标不太容易出现观察者内部和观察者之间的差异,且更好地概括了肺结节的三维性质,对大小变化更敏感,因此能够比二维直径测量更快地发现恶性肿瘤的变化。可靠的体积测量依赖于准确的结节分割,CT图像还提供额外的信息,例如形状、空间复杂性、强度模式和一系列其他“纹理”特征^[36]。有多项欧洲肺癌筛查试验以及中国的放射学筛查指南中提出,在适当的条件下,体积测量应优先于直径测量^[37]。

CAD/AI在筛查结节癌症风险预测和管理决策中的作用 肺结节的识别和表征是胸部放射学中普遍存在的问题,因此欧美中等国家的肺部筛查试验均强调了结节检测和评估的重要性。许多性质难以确诊的肺结节可以通过临床教学培训,学习CAD、AI等辅助工具来进一步评估。从筛查项目中发现的结节,无论是偶然发现还是作为癌症或分期评估的一部分,都可以通过放射学进行评估。对偶然发现的结节,建议可以遵循Fleischner指南^[38]。然而在筛查计划中病变特征更受限制,主要是大小因素。在临床实践中,大小可以根据不同技术从线性或体积测量中确定,而在筛选程序中,主要是由试验方案规定。例如在美国实施的Lung-RADS筛查方案中使用了尺寸的线性测量^[39],但在欧洲的李ELSON试验中提倡体积测量^[35]。2024年中国研究团队基于中国人群肺癌筛查以及肺结节临床队列,创新性研发了基于数据驱动的中国肺结节报告和数据系统(Chinese Lung Nodules Reporting and Data System, C-Lung-RADS),实现了肺结节恶性风险精准分级和个性化管理^[40]。

LDCT筛查发现的肺结节,恶性率仅为10%~20%。在NLST研究中,对于直径 ≥ 4 mm的肺结节,CT筛查后假阳性率超过96.4%^[41]。因此需要客观全面的数字技术对肺结节癌症风险进行预测,以便制定之后的治疗与管理方案。相对于传统的人工阅片,AI在早期肺癌诊断中可发挥较大优势,它能有效区分良恶性肺结节,减少假阳性率,增加肺癌的检出率。肺结节中的三维纹理特征、临床信息及CT图像数据通过机器学习进行肺癌预测,可提高医师诊断的敏感性与特异性^[25,42]。AI还可用于计算肺结节的体积并估计肺结节体积的倍增时间,基于AI的肺结节体积测量具有高度的可重复性,尤其对于最大径 < 10 mm的肺结节^[43]。

虽然AI在肺结节良恶性鉴别中可为临床诊断提供辅助参考,但其准确性还无法取代人工。研究表明,AI在识别早期多发性肺结节时表现不稳定,特别是在处理复杂影像、非典型结节或图像质量较差的情况下。此外,AI模型在不同地区、设备或数据集之间的泛化能力有限,可能导致诊断结果的不一致性。因此,AI阅片仍需结合临床医师的经验和进一步验证,以减少误诊率和漏诊率^[44]。

偶然发现的肺结节和肺癌筛查计划

偶然发现的肺结节成为早期肺癌检测的机会。大量的胸部成像主要通过就业健康检查、移民检查、结核病筛查、创伤、年度体检以及新冠疫情时获得。其中偶然诊断出肺癌的患者有更高的生存机会,因为他们的病灶较小并且处于早期阶段^[45]。

全面的肺结节计划可能有助于早期诊断率和治愈率,但实施仍具有挑战性。有研究表明肺结节计划中62%~65%的结节是偶发结节,共识指南的推出有效地减少了假阳性和不必要的侵入性检测,同时增加了早期肺癌诊断的比例。另外全面的结节计划可以提高筛查率和随访依从性,尤其是在弱势群体中^[46]。弱势群体被定义为社区中处于不利地位的群体,包括种族或少数民族、社会经济弱势群体、无保险/保险不足的人、儿童和老年人、退伍军人、移民、囚犯等^[47]。

肺结节管理计划与肺癌筛查相辅相成。LDCT和肺结节计划相结合,增加了不同风险人群获得早期肺癌检出和治疗的机会,实施肺结节计划可以弥补早期肺癌筛查方面的不足。LDCT筛查实施的障碍包括需要基础设施来招募符合筛选资格标准的候选人,并在进行LDCT筛选测试之前进行强制性的共同决策和戒烟咨询服务。筛查项目可能会因这些要求而受到限制,例如对于贫困或受教育程度较低的肺癌高危人群来说就是一项重大挑战。这些障碍降低了肺癌筛查的社会效益,但是有些可以通过肺结节计划的实施来缓解,在没有肺癌筛查政策支持的环境中,可以考虑实施肺结节计划^[48]。肺癌筛查和肺结节计划在将肺癌诊断优化到早期阶段具有很大的互补性,此时根治性治疗更有可能、更安全且成本更低^[48-49]。

生物标记物及液体活检提高早期肺癌准确率。近年来,基于LDCT的肺癌筛查已将肺癌死亡率降低了约20%,然而筛查的有效性受限于重度吸烟以

及CT产生的大量假阳性的人群。因此,部分研究人员将目光聚焦于生物标志物,研究其能否补充CT筛查的不足,提高肺癌筛查的有效率和准确率。目前有许多研究已表明生物标志物可通过细化肺癌风险、对CT扫描阳性进行分层和对中等风险肺结节进行分类,在改善肺癌的早期检测方面具有巨大潜力^[50]。例如自身抗体、补体、miRNA及气道和鼻腔特征RNA等^[51]。

对于CT筛查和偶然发现的肺结节,都非常需要能够辅助影像区分良恶性病变的生物标志物。生物标志物可能有助于对风险进行分层,根据年龄、吸烟和家族史优化现有的肺癌风险模型^[52]。这样的风险模型将有助于识别可能受益于CT筛查但被标准NLST或国家综合癌症网络(National Comprehensive Cancer Network, NCCN)标准排除的肺癌高风险受试者^[53]。它还可能鼓励符合既定标准但不愿接受筛查的部分患者,这些患者的生物标志物检测结果可能为阳性,因此可以通过较少频率的CT扫描或系列生物标志物检测进行临床随访。最新的中国肺结节管理共识中已有提到液体活检及相关生物标记物在肺癌早筛中的辅助作用^[16,49]。

结语 肺癌是全球最常见的癌症之一,也是导致癌症死亡的主要原因之一。中美英三国已经实施了大规模的肺癌筛查项目,旨在提高肺癌早期发现率和降低死亡率,这些项目通常涉及高风险人群的定期筛查。目前,低剂量CT扫描是最常用的肺癌筛查方法之一。LDCT能够提供更高分辨率的影像,有助于早期发现肺癌。针对不同人群的肺癌风险进行准确评估也是筛查的关键。除了吸烟史外,遗传因素、职业暴露、家族史等也需要纳入评估。利用机器学习和深度学习等AI技术,对肺部影像进行自动分析和诊断已经取得一些进展,同时液体活检是一种非侵入性的筛查方法,通过分析血液中的循环肿瘤细胞或DNA来检测早期肺癌,具有潜在的早期检测和疾病监测的优势,两者的结合有望共同提高筛查的准确性和效率。

在筛查方案中,根据不同国家人口特征制定明确的筛查流程和标准操作规程,以确保筛查的质量和一致性。此外,对筛查结果进行及时的跟进和处理也是关键。然而肺癌筛查也面临一些挑战,包括误诊率、筛查成本、过度治疗等问题,未来的研究将

不断努力克服这些挑战,以改善肺癌筛查的效果。

作者贡献声明 孙梦婷 文献检索,综述构思和撰写。刘杨 资料整理,文献检索。张勇,宋元林 综述修订,指导性支持。白春学 综述指导和审校。杨达伟 设计框架,综述修订。

利益冲突声明 白春学是本刊编委,未参与此文的同行评议和终审决策。没有其他利益冲突需要声明。

参 考 文 献

- [1] SUNG H, FERLAY J, SIEGEL R 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] 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[J]. *Lancet Glob Health*, 2018, 6(5):e555-e567.
- [3] NATIONAL LUNG SCREENING TRIAL RESEARCH T, ABERLE DR, ADAMS AM, *et al.* Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening[J]. *N Engl J Med*, 2011, 365(5):395-409.
- [4] YOUSAF-KHAN U, VAN DER AALST C, DE JONG PA, *et al.* Final screening round of the NELSON lung cancer screening trial: the effect of a 2.5-year screening interval[J]. *Thorax*, 2017, 72(1):48-56.
- [5] TANG W, WU N, HUANG Y, *et al.* Results of low-dose computed tomography (LDCT) screening for early lung cancer: prevalence in 4 690 asymptomatic participants[J]. *Chin J Oncol*, 2014, 36(7):549-554.
- [6] YANG D, LIU Y, BAI C, *et al.* Epidemiology of lung cancer and lung cancer screening programs in China and the United States[J]. *Cance Lett*, 2020, 468:82-87.
- [7] GAO S, LI N, WANG S, *et al.* Lung cancer in People's Republic of China[J]. *J Thorac Oncol*, 2020, 15(10):1567-1576.
- [8] GUO LW, CHEN Q, SHEN Y C, *et al.* Evaluation of a low-dose computed tomography lung cancer screening program in Henan, China[J]. *JAMA Network Open*, 2020, 3(11):e2019039.
- [9] LI N, TAN F, CHEN W, *et al.* One-off low-dose CT for lung cancer screening in China: a multicentre, population-based, prospective cohort study [J]. *Lancet Resp Med*, 2022, 10(4):378-391.
- [10] ZHANG Y, CHEN H. Lung cancer screening: who pays? who receives? -the Chinese perspective [J]. *Transl Lung Cancer R*, 2021, 10(5):2389-2394.
- [11] WANG Q, ZHANG X, YANG D, *et al.* Criteria for lung cancer screening and standardized management in China [J]. *Chin Med J (Engl)*, 2023, 136(14):1639-1641.
- [12] SMITH RA, ANDREWS KS, BROOKS D, *et al.* Cancer screening in the United States, 2019: a review of current American Cancer Society guidelines and current issues in cancer screening[J]. *Ca A Cancer J Clinic*, 2019, 69(3):184-210.
- [13] ABERLE DR, ADAMS AM, BERG CD, *et al.* Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening[J]. *N Engl J Med*, 2011, 365(5):395-409.
- [14] MILEHAM KF, SCHENKEL C, BRUINOOGG SS, *et al.* Defining comprehensive biomarker-related testing and treatment practices for advanced non-small-cell lung cancer: Results of a survey of U.S. oncologists [J]. *Cancer Med*, 2022, 11(2):530-538.
- [15] DE KONING HJ, VAN DER AALST CM, DE JONG PA, *et al.* Reduced lung-cancer mortality with volume ct screening in a randomized trial[J]. *N Engl J Med*, 2020, 382(6):503-513.
- [16] O'DOWD EL, LEE RW, AKRAM AR, *et al.* Defining the road map to a UK national lung cancer screening programme[J]. *Lancet Oncol*, 2023, 24(5):e207-e218.
- [17] MAHASE E. Lung cancer screening for over 55s will be rolled out in England[J]. *BMJ*, 2023, 381:1469.
- [18] JOSEPH AM, ROTHMAN AJ, ALMIRALL D, *et al.* Lung cancer screening and smoking cessation clinical trials. SCALE (Smoking Cessation within the Context of Lung Cancer Screening) Collaboration[J]. *Am J Resp Crit Care*, 2018, 197(2):172-182.
- [19] THE SCALE COLLABORATION. Smoking cessation at lung examination: the SCALE collaboration [R/OL]. Bethesda, MD: National Cancer Institute; 2018. [2025-10-30]. <https://cancercontrol.cancer.gov/brp/tcrb/scale-collaboration>.
- [20] TOUMAZIS I, DE NIJS K, CAO P, *et al.* Cost-effectiveness evaluation of the 2021 US preventive services task force recommendation for lung cancer screening [J]. *JAMA Oncol*, 2021, 7(12):1833-1842.
- [21] CADHAM CJ, CAO P, JAYASEKERA J, *et al.* Cost-effectiveness of smoking cessation interventions in the lung cancer screening setting: a simulation study [J]. *J Natl Cancer I*, 2021, 113(8):1065-1073.
- [22] TAMMEMÄGI MC, BERG CD, RILEY TL, *et al.* Impact of lung cancer screening results on smoking

- cessation[J].*J Natl Cancer I*,2014,106(6):dju084.
- [23] KUMMER S, WALLER J, RUPAREL M, *et al.* Mapping the spectrum of psychological and behavioural responses to low-dose CT lung cancer screening offered within a Lung Health Check[J].*Health Expect*,2020,23(2):433-441.
- [24] KAUFMAN AR, DWYER LA, LAND SR, *et al.* Smoking-related health beliefs and smoking behavior in the National Lung Screening Trial[J].*Addic Behav*,2018,84:27-32.
- [25] MASCALCHI M, ROMEI C, MARZI C, *et al.* Pulmonary emphysema and coronary artery calcifications at baseline LDCT and long-term mortality in smokers and former smokers of the ITALUNG screening trial[J].*Eur Radiol*,2023,33(5):3115-3123.
- [26] INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Outdoor air pollution. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Vol. 109 [M]. Lyon, France: IARC, 2015: 9-444.
- [27] HUANG Y, ZHU M, JI M, *et al.* Air pollution, genetic factors, and the risk of lung cancer: a prospective study in the UK biobank[J].*Am J Resp Crit Care*,2021,204(7):817-825.
- [28] HUANG F, PAN B, WU J, *et al.* Relationship between exposure to PM2.5 and lung cancer incidence and mortality: a meta-analysis [J]. *Oncotarget*, 2017, 8 (26) : 43322-43331.
- [29] HILL W, LIM EL, WEEDEN CE, *et al.* Lung adenocarcinoma promotion by air pollutants [J]. *Nature*, 2023, 616(7955): 159-167.
- [30] BENUSIGLIO PR, FALLET V, SANCHIS-BORJA M, *et al.* Lung cancer is also a hereditary disease [J]. *Europ Resp Rev*,2021,30(162):210045.
- [31] DONG S, LI W, WANG L, *et al.* Histone-related genes are hypermethylated in lung cancer and hypermethylated HIST1H4F could serve as a pan-cancer biomarker [J]. *Cancer Res*,2019,79(24):6101-6112.
- [32] OUDKERK M, LIU S, HEUVELMANS M A, *et al.* Lung cancer LDCT screening and mortality reduction - evidence, pitfalls and future perspectives [J]. *Nat Rev Clin Oncol*,2021,18(3):135-151.
- [33] STAPELFELD C, DAMMANN C, MASER E. Sex-specificity in lung cancer risk [J]. *Int J Cancer*,2020,146(9):2376-2382.
- [34] XIA C, DONG X, LI H, *et al.* Cancer statistics in China and United States, 2022: profiles, trends, and determinants [J]. *Chin med J*,2022,135(5):584-590.
- [35] 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.
- [36] VLAHOS I, STEFANIDIS K, SHEARD S, *et al.* Lung cancer screening: nodule identification and characterization [J]. *Transl Lung Cancer R*,2018,2018,7(3):288-303.
- [37] OUDKERK M, DEVARAJ A, VLIEGENTHART R, *et al.* European position statement on lung cancer screening [J]. *Lancet Oncol*,2017,18(12):e754-e766.
- [38] MACMAHON H, NAIDICH DP, GOO JM, *et al.* Guidelines for management of incidental pulmonary nodules detected on CT images: from the fleischner society 2017 [J]. *Radiology*,2017,284(1):228-243.
- [39] AMERICAN COLLEGE OF RADIOLOGY. Lung CT screening reporting & data system (Lung-RADS) [EB/OL]. (2019-07-08) [2025-10-25]. <https://www.acr.org/Clinical-Resources/Reporting-and-Data-Systems/Lung-Rads>.
- [40] WANG C, SHAO J, HE Y, *et al.* Data-driven risk stratification and precision management of pulmonary nodules detected on chest computed tomography [J]. *Nat Med*,2024,30(11):3184-3195.
- [41] HUANG P, LIN C T, LI Y, *et al.* Prediction of lung cancer risk at follow-up screening with low-dose CT: a training and validation study of a deep learning method [J]. *Lancet Digit Health*,2019,1(7):e353-e362.
- [42] BAO T, LIU B, LI R, *et al.* LDCT screening results among eligible and ineligible screening candidates in preventive health check-ups population: a real world study in West China [J]. *Sci Rep*,2024,14(1):4848.
- [43] 林耀彬, 林勇斌, 赵泽锐, 等. 《人工智能在肺结节诊治中的应用专家共识(2022年版)》解读 [J]. *中国胸心血管外科临床杂志*,2023,30(5):665-671.
- [44] KIM RY, OKE JL, PICKUP LC, *et al.* Artificial intelligence tool for assessment of indeterminate pulmonary nodules detected with CT [J]. *Radiology*,2022,304(3):683-691.
- [45] LI CC, MANELLA J, KEFI SE, *et al.* Does the revised LDCT lung cancer screening guideline bridge the racial disparities gap: results from the health and retirement study [J]. *J Natl Med Assoc*,2024,116(2 Pt 1):180-188.
- [46] LEMENSE GP, WALLER EA, CAMPBELL C, *et al.* Development and outcomes of a comprehensive multidisciplinary incidental lung nodule and lung cancer screening program [J]. *BMC Pulm Med*,2020,20(1):115.
- [47] SHUSTED CS, BARTA JA, LAKE M, *et al.* The Case for patient navigation in lung cancer screening in vulnerable populations: a systematic review [J]. *Popul Health Manag*,2019,22(4):347-361.

- [48] OSAROGIAGBON RU, LIAO W, FARIS NR, *et al.* Lung cancer diagnosed through screening, lung nodule, and neither program: a prospective observational study of the detecting early lung cancer (DELUGE) in the mississippi delta cohort [J]. *J Clin Oncol*, 2022, 40(19):2094-2105.
- [49] WHYNES DK. Could CT screening for lung cancer ever be cost effective in the United Kingdom? [J]. *Cost Eff Resour Alloc*, 2008, 6:5.
- [50] OSTRIN EJ, SIDRANSKY D, SPIRA A, *et al.* Biomarkers for lung cancer screening and detection [J]. *Cancer Epidem Biomar*, 2020, 29(12):2411-2415.
- [51] SEIJO LM, PELED N, AJONA D, *et al.* Biomarkers in lung cancer screening: achievements, promises, and challenges[J]. *J Thorac Oncol*, 2019, 14(3):343-357.
- [52] MASQUELIN AH, CHENEY N, JOSE ESTEPAR RS, *et al.* LDCT image biomarkers that matter most for the deep learning classification of indeterminate pulmonary nodules[J]. *Cancer Biomark*, 2025, 42(1):CBM230444.
- [53] WU Q, ZHOU L, TANG W, *et al.* Inter-observer consistency on subsolid nodule follow-up recommendation based on National Comprehensive Cancer Network (NCCN) guidelines in low-dose computed tomography (LDCT) lung cancer screening [J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2024, 14(9):6543-6555.

(收稿日期:2024-10-09; 编辑:岳頔)

(上接第 95 页)

- [41] GRASSANO M, MANERA U, DE MARCHI F, *et al.* The role of peripheral immunity in ALS: a population-based study [J]. *Ann Clin Transl Neurol*, 2023, 10(9):1623-1632.
- [42] PAUL R, APORNONG T, PRASITSUEBSAI W, *et al.* Cognition, emotional health, and immunological markers in children with long-term nonprogressive HIV [J]. *J Acquir Immune Defic Syndr*, 2018, 77(4):417-426.
- [43] 吴凯钰,许春燕,田小苹,等.基于中国深圳老龄化相关疾病队列的血液常规检查参数与认知功能减退相关性研究[J]. *阿尔茨海默病及相关病杂志*, 2023, 6(4):301-306.
- [44] LEE Y, KIM J, BACK JH. The influence of multiple lifestyle behaviors on cognitive function in older persons living in the community [J]. *Prev Med*, 2009, 48(1):86-90.
- [45] CLARE L, WU YT, TEALE JC, *et al.* Potentially modifiable lifestyle factors, cognitive reserve, and cognitive function in later life: a cross-sectional study [J]. *PLoS Med*, 2017, 14(3):e1002259.
- [46] ZHANG Y, SONG M, YANG *Zet al.* Healthy lifestyles, systemic inflammation and breast cancer risk: a mediation analysis [J]. *BMC Cancer*, 2024, 24(1):208.
- [47] INCI H, BESLER MS, INCI F, *et al.* The effects of smoking cessation on the ratios of neutrophil/lymphocyte, platelet/lymphocyte, mean platelet volume/lymphocyte and monocyte/high-density lipoprotein cholesterol [J]. *Natl Med J India*, 2023, 36(4):224-228.
- [48] SANG D, LIN K, YANG Y, *et al.* Prolonged sleep deprivation induces a cytokine-storm-like syndrome in mammals [J]. *Cell*, 2023, 186(25):5500-5516.
- [49] DING D, ZHAO Q, GUO Q, *et al.* The Shanghai Aging Study: study design, baseline characteristics, and prevalence of dementia [J]. *Neuroepidemiology*, 2014, 43(2):114-122.
- [50] XU H, DUPRE ME, GU D, *et al.* The impact of residential status on cognitive decline among older adults in China: results from a longitudinal study [J]. *BMC Geriatr*, 2017, 17(1):107.

(收稿日期:2024-11-24; 编辑:张秀峰)