

# 低剂量CT扫描技术在肺癌筛查中的诊断价值与风险评估

姜学论

云南省曲靖市沾益区中医医院 云南 曲靖 655331

**摘要:** 肺癌是全球范围内发病率和死亡率最高的恶性肿瘤之一,其早期症状隐匿,多数患者确诊时已处于中晚期,预后较差。因此,开展有效的早期筛查对于降低肺癌相关死亡率具有重要意义。近年来,低剂量计算机断层扫描(Low-Dose Computed Tomography, LDCT)作为肺癌筛查的主要手段,在多项大型随机对照试验中被证实可显著降低高危人群的肺癌死亡率。然而,LDCT筛查亦伴随假阳性结果、过度诊断、辐射暴露及心理负担等潜在风险。本文系统综述LDCT在肺癌筛查中的诊断效能、临床应用指南、成本效益分析,并深入探讨其潜在风险及应对策略,旨在为临床实践提供科学依据,推动肺癌筛查的规范化与个体化发展。

**关键词:** 低剂量CT; 肺癌筛查; 诊断价值; 假阳性; 辐射风险; 过度诊断

## 引言

肺癌是全球癌症致死首因,2022年GLOBOCAN数据显示,全球每年新发超220万例,死亡180万例。中国肺癌发病率、死亡率居高不下且逐年上升,城市更显著。因早期症状不特异,超70%患者确诊时错失手术根治机会,5年生存率不足20%,建立高效安全早筛体系是改善预后的关键。传统胸部X线检查灵敏度低,无法有效降低肺癌死亡率,低剂量CT(LDCT)凭借高分辨率等优势成肺癌筛查首选影像学方法,美国NLST及荷兰-比利时NELSON试验均验证其筛查效益。不过,LDCT广泛应用面临假阳性率高、辐射暴露、过度诊断等挑战,全面评估其价值与风险、制定科学筛查策略,是当前肺癌防控核心议题。

## 1 低剂量CT技术原理与参数优化

低剂量CT是在保证图像质量满足诊断需求的前提下,通过降低管电流(mA)、管电压(kVp)及优化扫描协议,显著减少辐射剂量的一种CT成像技术。常规胸部CT的辐射剂量约为5-8mSv,而LDCT通常控制在1-2mSv,相当于自然本底辐射6-12个月的暴露量,远低于国际辐射防护委员会(ICRP)建议的公众年剂量限值(1mSv)以外的医疗照射合理范围。LDCT的核心在于“剂量-图像质量”平衡<sup>[1]</sup>。现代多排螺旋CT设备通过迭代重建算法(Iterative Reconstruction, IR)和人工智能(AI)辅助降噪技术,可在低剂量条件下维持较高的图像信噪比,有效识别直径 $\geq 4\text{mm}$ 的肺结节。研究表明,采用120kVp、20-40mAs的扫描参数,结合IR技术,可在辐射剂量降低50%-70%的同时,保持与常规CT相当的结节检出敏感性。此外,LDCT扫描通常采用屏气状态下的一次性全肺扫描,避免重复曝光,进一步减少辐射。标

准化的扫描协议(如固定层厚、重建算法)有助于提高不同机构间结果的可比性,为后续随访提供可靠依据。

## 2 LDCT在肺癌筛查中的诊断价值

### 2.1 循证医学证据

NLST是LDCT筛查领域最具影响力的里程碑式研究。该试验纳入53,454名55-74岁、吸烟史 $\geq 30$ 包年且当前仍在吸烟或戒烟 $< 15$ 年的高危人群,随机分配至LDCT组或胸部X线组,随访7年。结果显示,LDCT组共确诊1,060例肺癌,X线组为941例;更重要的是,LDCT组肺癌死亡人数为354人,显著低于X线组的442人( $RR = 0.80$ ,  $95\%CI: 0.73-0.93$ ),绝对风险降低0.33%。该研究首次以I类证据确立了LDCT在降低肺癌死亡率方面的有效性。随后,欧洲NELSON试验进一步验证了这一结论。该研究纳入15,822名50-75岁男性(部分女性),采用更严格的结节管理策略(基于体积倍增时间而非单纯直径),结果显示LDCT筛查使男性肺癌死亡率在10年内降低24%( $HR = 0.76$ ,  $95\%CI: 0.61-0.95$ )。值得注意的是,NELSON试验的假阳性率显著低于NLST(第1轮筛查假阳性率仅为1.2% vs. 27%),提示优化的结节评估标准可有效提升筛查效率<sup>[2]</sup>。其他区域性研究如意大利的DANTE试验、德国的LUSI试验等虽未达到统计学显著性,但趋势一致支持LDCT的筛查价值。综合多项Meta分析显示,LDCT筛查可使高危人群肺癌死亡率降低16%-26%,敏感性达93%-98%,特异性约70%-85%。

### 2.2 临床指南推荐

基于上述证据,多个国家和地区已将LDCT纳入官方肺癌筛查指南:(1)美国预防服务工作组(USPSTF):2021年更新指南,将筛查年龄下限从55岁降至50岁,吸烟史门槛从30包年降至20包年,并延长戒烟年限至15年

以内，扩大了受益人群。(2)中国国家癌症中心：2023年发布《中国肺癌筛查与早诊早治指南》，推荐对50-74岁、吸烟 $\geq 20$ 包年或有其他高危因素(如家族史、职业暴露)者进行年度LDCT筛查。(3)欧洲呼吸学会(ERS)与欧洲胸外科协会(ESTS)：联合建议在具备完善随访体系的医疗机构中，对高危人群实施LDCT筛查。这些指南均强调“高危人群精准识别”与“多学科协作管理”的重要性，以最大化筛查效益。

### 3 LDCT 筛查的成本效益分析

尽管LDCT筛查初期投入较高，但多项经济学模型研究表明其具有良好的成本效益比。NLST数据模拟显示，在美国人群中，LDCT筛查的增量成本效益比(ICER)约为52,000-81,000/质量调整生命年(QALY)，低于通常认为具有成本效益的阈值(\$100,000/QALY)。在中国，一项基于真实世界数据的研究估算，LDCT筛查的ICER约为12万元人民币/QALY，显著低于人均GDP的3倍(约25万元)，符合WHO推荐的“高度成本效益”标准。随着CT设备普及、AI辅助诊断系统应用及筛查流程标准化，未来成本有望进一步下降。此外，早期发现肺癌可大幅降低治疗费用。I期肺癌手术治愈率超80%，治疗费用约5-10万元；而IV期患者需靶向、免疫等综合治疗，年费用常超30万元，且生存期有限。因此，LDCT筛查不仅挽救生命，亦具显著社会经济效益。

### 4 LDCT 筛查的潜在风险与挑战

尽管LDCT益处明确，但其广泛应用仍需审慎评估以下风险：

#### 4.1 假阳性与过度随访

LDCT高敏感性导致大量良性结节被检出。NLST中假阳性率高达96.4%(即96.4%的阳性结果最终非肺癌)，虽经多轮筛查后下降，但仍造成大量不必要的CT复查、PET-CT甚至活检。这不仅增加医疗资源消耗，还可能引发患者焦虑、失眠等心理问题。研究表明，约10%-20%的筛查参与者在随访期间经历显著心理困扰。为应对这一挑战，国际上已逐步推广基于结节形态学特征的动态评估模型，如Brock模型或MayoClinic模型，这些模型综合考虑结节大小、密度(实性、部分实性或纯磨玻璃)、边缘特征及生长速率，显著提升了良恶性判断的准确性<sup>[3]</sup>。同时，Lung-RADS(肺部影像报告与数据系统)的广泛应用有助于统一放射科医师的判读标准，减少主观差异。更重要的是，临床实践中应加强医患沟通，向受检者充分解释筛查结果的意义与不确定性，提供必要的心理支持，避免因信息不对称导致的恐慌与误判。

#### 4.2 辐射暴露风险

尽管单次LDCT的辐射剂量已控制在1-2mSv的较低水平，但年度重复筛查带来的累积辐射暴露仍不可忽视。理论模型估算，在每10,000名接受连续10年LDCT筛查的人群中，可能诱发1至3例辐射相关癌症。虽然这一风险远低于筛查所避免的肺癌死亡数量(NLST数据显示每筛查320人可避免1例肺癌死亡)，但从辐射防护的伦理原则出发，仍需严格遵循“合理可行尽量低”(ALARA)原则。优化辐射管理的关键在于精准筛选目标人群，避免将低风险个体纳入常规筛查，从而减少无效暴露。同时，应积极采用新一代低剂量成像技术，如能谱CT、深度学习图像重建等，在保障诊断质量的前提下进一步压缩剂量。此外，建立个人辐射剂量电子档案，结合年龄、性别、既往照射史等因素进行个体化风险评估，有助于实现辐射安全管理的精细化与人性化。

#### 4.3 过度诊断

过度诊断是指通过筛查检出那些生物学行为惰性、终生不会引起症状或威胁生命的肺癌病变，如原位腺癌(AIS)或微浸润腺癌(MIA)。对这类病变实施手术切除虽可实现“病理治愈”，但患者却承受了本可避免的手术创伤、并发症风险及心理压力。NELSON试验估计，LDCT筛查中的过度诊断率约为18.5%，这一比例在亚实性结节为主的亚洲人群中可能更高。解决过度诊断问题的核心在于转变“发现即干预”的传统思维，转向基于自然病程的观察策略。目前国际共识普遍建议，对于直径 $\leq 6$ mm的纯磨玻璃结节(pGGN)，即使持续存在多年，也应优先选择长期影像随访而非立即手术。同时，随着分子病理学和液体活检技术的发展，未来有望通过ctDNA、甲基化标志物等无创手段更准确地地区分进展性与非进展性病变，从而实现真正意义上的个体化决策。

#### 4.4 健康不平等与可及性

LDCT筛查的有效实施高度依赖于高质量的影像设备、经验丰富的放射科医师以及多学科协作的随访体系，这些资源在基层医疗机构和农村地区往往严重匮乏。此外，低收入群体、教育水平较低者或少数民族由于信息获取障碍、经济负担或文化认知差异，参与筛查的比例普遍偏低，可能导致肺癌防治成果在不同社会群体间分布不均，加剧健康不平等。为提升筛查的公平性与可及性，亟需构建多层次的支撑体系<sup>[4]</sup>。例如，通过医保政策将LDCT筛查纳入高危人群专项保障；推广移动CT筛查车深入社区与乡村；建立区域影像诊断中心，利用远程会诊平台实现优质资源下沉；同时加强公众健康教育，用通俗易懂的方式普及肺癌早筛知识，消除误解与

恐惧，促进高危人群主动参与。

### 5 未来发展方向与优化策略

为最大化LDCT筛查效益、最小化风险，未来应聚焦以下方向：（1）精准风险分层：应推动从“一刀切”筛查向“精准风险分层”转型，整合遗传易感性（如CHRNA5基因多态性）、环境暴露史、生物标志物（如循环肿瘤DNA、外泌体RNA）等多维数据，构建个体化的肺癌风险预测模型，实现“谁最需要筛、何时开始筛、筛多频繁”的科学决策。（2）人工智能赋能：AI算法可自动检测、分割、量化肺结节，辅助良恶性判断，提高阅片效率与一致性。已有研究显示AI系统在结节检出敏感性上媲美甚至超越资深放射科医师。（3）多模态融合筛查：探索LDCT联合液体活检、呼出气分析等无创技术，构建“影像+分子”双轨筛查体系，提升特异性。

（4）标准化与质控体系建设：建立国家级LDCT筛查质控中心，统一设备参数、图像存储、报告格式及随访流程，确保筛查质量。（5）公众教育与医患共享决策：加强肺癌早筛科普，帮助高危人群理解筛查利弊，基于个人价值观做出知情选择。

### 6 结语

低剂量CT扫描技术作为当前肺癌早期筛查的核心手段，已被高质量循证医学证据证实可显著降低高危人群

的肺癌死亡率，具有明确的临床价值与成本效益优势。然而，其应用过程中存在的假阳性、辐射暴露、过度诊断及可及性不平等风险亦不容忽视。未来，应通过精准风险分层、人工智能辅助、多学科协作及标准化管理，构建“安全、高效、公平”的肺癌筛查体系。在推广LDCT筛查的同时，必须坚持“获益大于风险”的基本原则，确保筛查真正惠及目标人群，为实现“健康中国2030”癌症防治目标提供有力支撑。

### 参考文献

[1]成启华,李婷婷,王艳微,等.低剂量螺旋CT扫描技术在早期肺癌筛查中临床价值分析[J].中外医疗,2021,40(12):8-10+14.

[2]卢建朋.低剂量CT扫描在早期肺癌筛查中的诊断效能与安全性评估[C]//重庆市健康促进与健康教育学会.临床医学创新与实践学术研讨会论文集(一).邢台市第九医院/巨鹿县医院,;2025:546-549.

[3]陈琳琳.低剂量CT扫描在肺癌筛查中的应用价值[C]//四川省国际医学交流促进会.2025年基层感染质量管理提升学术研讨会论文集.北京按摩医院,;2025:19-23.

[4]宋强.低剂量CT扫描联合肿瘤标志物检测对早期肺癌的筛查价值[J].医学影像学杂志,2022,32(09):1507-1510+1520.