

低剂量CT在肺癌筛查中的图像质量优化策略

尹占强

西吉县中医医院 宁夏 固原 756200

摘要：肺癌作为全球范围内发病率和死亡率极高的恶性肿瘤，早期筛查对于提高患者生存率至关重要。低剂量CT（LDCT）凭借其较低的辐射剂量和较高的敏感性，已成为肺癌筛查的首选方法。然而，降低辐射剂量的同时可能会影响图像质量，给诊断带来挑战。本文详细探讨了低剂量CT在肺癌筛查中图像质量的影响因素，并从扫描参数优化、迭代重建算法应用、对比剂使用优化、患者准备与配合以及设备校准与维护等方面提出了图像质量优化策略，旨在为临床实践中获得高质量的低剂量CT图像提供参考，从而提高肺癌筛查的准确性和可靠性。

关键词：低剂量CT；肺癌筛查；图像质量；优化策略

1 引言

肺癌是威胁人类健康的重大恶性肿瘤，发病率和死亡率居高不下。因早期症状不明显，多数患者确诊时已至晚期，预后差、5年生存率低，故早发现、早诊断、早治疗是关键。影像学检查是肺癌筛查重要手段，传统胸部X线对早期肺癌敏感性低，易漏诊；常规剂量CT图像清晰，但辐射剂量高，不适合大规模筛查。低剂量CT（LDCT）通过降低扫描参数，在保证一定图像质量的同时显著降低辐射剂量，且敏感性高，能发现早期微小病灶，已被证实可有效降低肺癌死亡率，成为肺癌筛查首选。但降低辐射剂量会影响图像质量，出现噪声增加、对比度降低等问题，影响医生判断，导致假结果。因此，如何在保证低辐射剂量的同时优化图像质量，提高筛查准确性和可靠性，是亟待解决的问题，本文将就此展开探讨。

2 低剂量CT在肺癌筛查中的应用现状

2.1 国内外肺癌筛查指南推荐

目前，国内外多个权威机构均将低剂量CT作为肺癌筛查的首选方法，并制定了相应的筛查指南。美国预防服务工作组（USPSTF）发布的肺癌筛查指南推荐对年龄55-80岁、吸烟史 ≥ 30 包年（包括既往吸烟者，且戒烟时间 < 15 年）的高危人群进行每年一次的低剂量CT筛查。欧洲肺癌早期诊断专家组（EURECCA）也提出了类似的筛查建议，强调低剂量CT在肺癌早期筛查中的重要性。在我国，国家卫生健康委员会发布的《中国肺癌筛查指南（2021年版）》明确指出，建议对年龄50-74岁、吸烟史 ≥ 30 包年（包括既往吸烟者）的高危人群进行低剂量CT肺癌筛查。这些指南的制定和推广，为低剂量CT在肺癌筛查中的广泛应用提供了有力的依据和指导。

2.2 低剂量CT筛查肺癌的临床研究证据

多项大规模临床试验证实了低剂量CT筛查肺癌的有效性和安全性。美国国家肺癌筛查试验（NLST）是一项具有里程碑意义的研究，该研究纳入了53454名符合条件的高危人群，随机分为低剂量CT组和胸部X线组进行筛查^[1]。结果显示，低剂量CT组肺癌死亡率相对降低了20%，全因死亡率降低了6.7%，充分证明了低剂量CT筛查能够显著降低肺癌患者的死亡率。此外，欧洲的NELSON试验、德国的LUSI试验等也得到了类似的研究结果，进一步支持了低剂量CT在肺癌筛查中的应用价值。

2.3 低剂量CT筛查肺癌的优势与局限性

低剂量CT筛查肺癌具有诸多优势。首先，其辐射剂量显著低于常规剂量CT，一般可降低至常规剂量的1/5-1/10，大大减少了受检者接受辐射的风险，尤其适合用于大规模人群的肺癌筛查。其次，低剂量CT对肺部小结节的检测敏感性高，能够发现直径小于5mm的微小结节，有助于早期肺癌的诊断。再者，低剂量CT检查操作简便、快速，患者接受度高。然而，低剂量CT也存在一定的局限性。如前文所述，降低辐射剂量会导致图像质量下降，增加图像噪声，影响病变的显示和诊断准确性；此外，低剂量CT筛查可能会出现假阳性结果，导致不必要的进一步检查和治疗，增加患者的心理负担和经济成本。

3 低剂量CT图像质量的影响因素

3.1 扫描参数

管电流：管电流是影响低剂量CT图像质量的关键因素之一。降低管电流可以显著减少辐射剂量，但同时会使到达探测器的光子数量减少，导致图像噪声增加，信噪比降低，从而影响图像的清晰度和对比度。一般来说，管电流越低，图像噪声越大，图像质量越差。

管电压：管电压决定了X线的质，即X线的穿透能力。降低管电压可以进一步降低辐射剂量，但也会使X线

的穿透力减弱，组织对比度发生变化，同时可能增加图像噪声。管电压的选择需要综合考虑患者的体型、扫描部位等因素，以在辐射剂量和图像质量之间取得平衡。

螺距：螺距是指扫描床移动速度与准直器宽度的比值。增大螺距可以缩短扫描时间，减少患者的呼吸运动伪影，但同时会使采样间隔增大，导致图像的空间分辨率下降，影响对微小病变的检测。

层厚：层厚越薄，图像的空间分辨率越高，能够更清晰地显示肺部的细微结构，但同时会增加图像噪声，降低信噪比。因此，在选择层厚时需要根据扫描目的和图像质量要求进行权衡。

3.2 迭代重建算法

迭代重建算法是一种通过多次迭代计算来优化图像质量的重建方法。与传统的滤波反投影重建算法（FBP）相比，迭代重建算法能够在降低辐射剂量的同时，有效减少图像噪声，提高图像的信噪比和对比度，改善图像质量^[2]。目前，常用的迭代重建算法包括自适应统计迭代重建（ASIR）、模型基迭代重建（MBIR）等。不同的迭代重建算法具有不同的特点和适用范围，其性能也会受到扫描参数、患者体型等因素的影响。

3.3 对比剂使用

在低剂量CT肺癌筛查中，对比剂的使用并非必需，但在某些特殊情况下，如怀疑肺部血管病变或需要进一步评估病变的血供情况时，可能会使用对比剂增强扫描。对比剂的注射剂量、注射速度和扫描时机等因素会影响肺部病变的增强效果和图像质量。注射剂量不足或扫描时机不当可能导致病变增强不明显，影响诊断准确性；而注射剂量过大或注射速度过快则可能增加患者的不良反应风险。

3.4 患者因素

体型：患者的体型对低剂量CT图像质量有显著影响。肥胖患者由于身体组织对X线的吸收和散射增加，会导致到达探测器的光子数量减少，图像噪声增大，信噪比降低。因此，对于肥胖患者，可能需要适当调整扫描参数或采用特殊的重建算法来保证图像质量。

呼吸运动：呼吸运动是导致肺部图像伪影的主要原因之一。在扫描过程中，患者的呼吸运动会使肺部组织发生位移，从而产生运动伪影，影响图像的清晰度和诊断准确性。因此，指导患者正确的呼吸方式，如深吸气后屏气扫描，对于减少呼吸运动伪影至关重要。

肺部疾病：患者本身存在的肺部疾病，如肺气肿、肺纤维化等，会改变肺部的正常结构和密度，影响图像的对比度和清晰度，给病变的检测和诊断带来一定困难。

3.5 设备因素

探测器性能：探测器是CT设备的核心部件之一，其性能直接影响图像质量。高性能的探测器具有更高的灵敏度和分辨率，能够更准确地检测X线光子，减少图像噪声，提高图像质量。因此，选择具有先进探测器技术的CT设备对于获得高质量的低剂量CT图像至关重要。

设备校准与维护：CT设备的定期校准和维护是保证图像质量稳定的重要措施。设备校准可以确保扫描参数的准确性和一致性，避免因设备偏差导致的图像质量问题；定期维护可以及时发现和排除设备故障，保证设备的正常运行，延长设备使用寿命。

4 低剂量CT在肺癌筛查中图像质量优化策略

4.1 扫描参数优化

管电流优化：根据患者的体型、年龄、性别等因素，采用个体化的管电流设置。对于体型较小、肺部组织密度较低的患者，可以适当降低管电流；而对于体型较大、肺部组织密度较高的患者，则应适当增加管电流，以保证图像质量。此外，还可以采用自动管电流调节技术（ATCM），根据患者的身体部位和扫描层面的密度自动调整管电流，在保证图像质量的前提下，进一步降低辐射剂量。

管电压优化：管电压的选择应综合考虑辐射剂量和图像质量。一般来说，对于体型较瘦的患者，可以选择较低的管电压（如100kV）；而对于体型较胖的患者，则需要选择较高的管电压（如120kV或140kV），以确保X线有足够的穿透力^[3]。近年来，一些研究表明，在某些情况下采用更低管电压（如80kV）结合迭代重建算法可以获得较好的图像质量，同时进一步降低辐射剂量，但需要严格掌握适应证。

螺距和层厚优化：在保证图像质量的前提下，适当增大螺距可以缩短扫描时间，减少呼吸运动伪影。一般来说，螺距的选择应根据患者的呼吸控制能力和扫描部位进行合理调整，对于呼吸控制较好的患者，可以选择较大的螺距（如1.0-1.5）；而对于呼吸控制较差的患者，则应选择较小的螺距（如0.8-1.0）。层厚的选择应根据病变的大小和诊断要求进行确定，对于肺癌筛查，一般推荐采用薄层扫描（层厚1-2mm），以提高对微小结节的检测能力。

4.2 迭代重建算法应用

选择合适的迭代重建算法：根据CT设备的型号和性能，选择适合的迭代重建算法。不同的迭代重建算法在降噪效果、图像纹理和诊断准确性等方面可能存在差异。例如，ASIR算法计算速度较快，能够在一定程度上

减少图像噪声，改善图像质量；而MBIR算法则具有更强的降噪能力和更好的图像纹理保持能力，但计算时间相对较长。在实际应用中，应根据具体情况选择合适的算法，并在辐射剂量和图像质量之间取得最佳平衡。

优化迭代重建参数：迭代重建算法通常具有多个可调节参数，如迭代次数、正则化参数等，这些参数的设置会影响图像质量和重建时间。通过优化这些参数，可以在保证图像质量的前提下，缩短重建时间，提高工作效率^[4]。一般来说，迭代次数越多，降噪效果越好，但重建时间也会相应增加；正则化参数则用于平衡图像的平滑度和细节保留，需要根据具体图像特点进行调整。

4.3 对比剂使用优化

严格掌握对比剂使用适应证：在低剂量CT肺癌筛查中，应严格掌握对比剂使用的适应证，避免不必要的对比剂注射。只有在怀疑肺部血管病变或需要进一步评估病变的血供情况时，才考虑使用对比剂增强扫描。

优化对比剂注射方案：根据患者的体重、肾功能等因素，制定个体化的对比剂注射方案。一般来说，对比剂的注射剂量为1-1.5ml/kg，注射速度为2.5-3.5ml/s。扫描时机的选择应根据对比剂的注射速度和扫描部位进行确定，对于肺部增强扫描，通常在注射对比剂后20-30s开始扫描，以获得最佳的病变增强效果。

4.4 患者准备与配合

在扫描前，对患者进行详细的培训，指导患者正确的呼吸方式，如深吸气后屏气扫描，并向患者解释扫描过程中的注意事项，以提高患者的配合度，减少呼吸运动伪影。要求患者去除身上的金属物品，如项链、钥匙等，以避免金属伪影对图像质量的干扰。对于心率较快的患者，可在扫描前给予适当的药物控制心率，以减少心脏搏动伪影对肺部图像的影响。

4.5 设备校准与维护

按照设备制造商的要求，定期对CT设备进行校准，包括管电压、管电流、探测器灵敏度等参数的校准，确保扫描参数的准确性和一致性。建立完善的设备日常维护制度，定期对设备进行清洁、检查和保养，及时发现和排除设备故障，保证设备的正常运行。同时，做好设备的维护记录，以便追溯和查询。

结语

低剂量CT在肺癌筛查中具有重要应用价值，能够有效降低肺癌死亡率，但其图像质量受到多种因素的影响。通过优化扫描参数、应用迭代重建算法、合理使用对比剂、加强患者准备与配合以及做好设备校准与维护等策略，可以在保证低辐射剂量的前提下，显著提高低剂量CT的图像质量，提高肺癌筛查的准确性和可靠性。在未来的临床实践中，应进一步加强对低剂量CT图像质量优化策略的研究和应用，不断探索更加科学、合理的方法和技术，为肺癌的早期诊断和治疗提供更有力的支持。同时，随着人工智能技术的不断发展，其在低剂量CT图像质量优化中的应用前景广阔，有望为肺癌筛查带来新的突破和进展。

参考文献

- [1]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.
- [2]杏子,彭源.低剂量CT在肺癌筛查中的价值[J].中国防痨杂志,2024,46(S2):234-236.
- [3]付盛坤,陈实.胸部低剂量CT扫描在肺部感染检查中的辐射剂量及对图像质量的影响[J].影像研究与医学应用,2025,9(08):112-114.
- [4]姚敏.低剂量CT定位下开展介入手术治疗耐药空洞型肺结核的图像质量及临床效果[J].中国防痨杂志,2024,46(S2):88-90.