

The Application and Exploration of CT Images of Lung Nodules in Precision Medicine

Xiaodong Jing

Wuhai Traditional Chinese & Mongolian Medicine Hospital, Wuhai, Inner Mongolia, 016000, China

Abstract

CT images of lung nodules are critical means of early screening and diagnosis of lung cancer. application in precision medicine is becoming increasingly common. This article fully expounds the technical basis of CT images of lung nodules, intelligent analysis methods, and their application value in precise diagnosis treatment. In addition, it analyzes the difficulties encountered and the future development directions. The improvement of CT imaging technology has endowed the detection of lung nodules with high-resolution image. Intelligent analysis means such as deep learning and radiomics have significantly improved the accuracy of lung nodule detection and benign and malignant discrimination. Individualized diagnosis plans and precise strategies based on imaging have improved clinical decision-making. However, problems such as data standardization and algorithm interpretability still need to be resolved. In the future, a variety of fusion technologies and new imaging technologies will open up new ways for the precise diagnosis and treatment of lung nodules.

Keywords

Lung Nodules; CT Image; Precision; Deep Learning; Radiomics; Minimally Invasive Treatment

肺小结节 CT 影像在精准医疗中的应用探索

井晓东

乌海市中医蒙医医院, 中国·内蒙古 乌海 016000

摘要

肺小结节CT影像是早期肺癌筛查与诊断的关键手段,它在精准医疗中的应用越发普遍,本文全面论述了肺小结节CT影像的技术基础,智能分析办法以及在精准诊断和治疗中的应用价值,而且剖析了当下遇到的难点和将来的发展方向,CT成像技术的改良给肺小结节检测赋予了高分辨率的影像支撑,深度学习,影像组学之类的智能分析手段明显改善肺小结节检测和良恶性鉴别的精确度,依靠影像的个体化诊断计划和精准治疗策略改良了临床决策,不过数据标准化,算法可解释性等难题仍然要被解决,将来,多种影像融合技术和新的影像技术会为肺小结节精准诊疗开拓新途径。

关键词

肺小结节; CT影像; 精准医疗; 深度学习; 影像组学; 微创治疗

1 引言

肺小结节指的是直径小于3厘米的肺部局灶性病灶,其尽早被察觉并得到准确诊断在肺癌防治上意义重大,低剂量CT筛查被广泛推行之后,肺小结节的发现率有了明显提升,不过怎样精确辨别它的良恶性依然是临床上的一大难题。精准医疗理念的出现给肺小结节诊治带来新的想法,通过融合高分辨率CT影像,人工智能分析技术以及个别化诊疗计划,肺小结节管理正在从经验医学向精准医学转型,这种改变提升了早期肺癌的诊断率,改良了治疗选择,改善了病人的预后情况。本文梳理肺小结节CT影像技术基础,探究智能分析方法最新发展,剖析其在精准诊断与治疗中的

应用情况,针对现存的技术瓶颈及临床转化难题,给出未来发展方向,以期肺小结节的精准诊疗提供理论参考和实践指导。

2 肺小结节 CT 影像技术基础

2.1 CT 影像成像原理及其技术发展

CT成像依靠X射线穿过人体组织之后的衰减差别来执行断层图像重建,不同密度的组织对X射线的吸收程度存在区别,这种差别被转化成灰度值变成对比图像,现代CT设备使用多排探测器阵列,联合螺旋扫描技术,达成了亚毫米级别的空间分辨能力和快速容积成像,给微小肺小结节的检出奠定了基础。技术发展主要体现在三个方面,探测器技术革新,图像噪声大幅下降,迭代重建算法,图像质量维持不变,辐射剂量却有所减少,能谱成像,物质分解技术带来更多的定量信息,最新的光子计数CT使用直接转换探测器,

【作者简介】井晓东(1988-),男,中国内蒙古人,本科,中级职称,从事医学影像学研究。

可以同时得到能量信息，图像质量进一步提升，这些技术进步使得低剂量筛查成为可能，而且对5mm以下的小结节检出敏感度依然能够保持，未来的CT技术将会朝着功能成像方向发展，利用灌注参数，弹性成像等新技术提供更多的生理信息。

2.2 肺小结节影像特征及分类标准

肺小结节的影像学评估主要从形态学和密度两个维度。形态学评估包含结节边缘的光滑、分叶、毛刺；结节内部的空泡、钙化；结节与周围组织的关系的胸膜牵拉、血管集束。密度特征分为实性、部分实性、纯磨玻璃密度三种，部分实性结节恶性概率最高。国际通用的Lung-RADS分类系统结合了以上特征，将结节分为1-4级，对应不同的处理建议。亚实性结节的管理最为繁杂，要留意磨玻璃成分的延续时间，最新的分类标准着重于对结节生长速率的动态观测，提倡用体积而非单纯的直径来检测变化，而且，人工智能辅助的定量特征分析正充实传统的主观视觉评价，提供更为客观的分类依据，统一的分类标准有益于临床决策的标准化，减少不必要的活检或者手术。

3 肺小结节影像智能分析方法研究

3.1 深度学习驱动的肺小结节自动检测方法

深度学习模型通过卷积神经网络自动提炼肺小结节的多层次特征，典型的三维CNN架构可以同时分析结节的横断面，矢状面以及冠状面特征，U-Net结构善于精准分割结节边界，两阶段检测框架会先生成候选区域，然后再用分类网络削减假阳性，这种方法在公开数据集上可以做到95%以上的敏感度。注意力机制让模型能关注结节区域，避免周围组织干扰，迁移学习用自然图像预训练模型，解决医学数据少问题，现在难点是小样本学习和提高模型的泛化能力，解决办法有开发自监督学习算法，用数据增强技术和创建多中心验证框架，轻量化模型也很重要，符合临床实时性需求。

3.2 影像组学在肺小结节良恶性鉴别中的应用研究

影像组学用高通量提取定量特征来体现结节异质性，特征涵盖形状特征(球形度，不规则度)，一阶统计量(均值，偏度)以及纹理特征(GLCM, GLSZM)，在完成特征挑选之后，像随机森林，SVM这些机器学习模型可以把鉴别准确率做到85%以上，放射基因组学研究也显示有些纹理特征和EGFR突变状况有很明显的联系。主要难题是特征可重复性，被扫描参数和重建算法影响很大，解决办法有使用标准采集协议，开发补偿算法降低不同设备间的差异，多中心验证显示融合临床因素的模型泛化性能更好，将来会创建标准影像组学分析流程，寻找用深度学习直接提取影像组学特征的新方法。

3.3 多模态影像融合技术优化方案

多模态融合整合CT、PET、MRI等其它成像方式的特

点。CT-PET中SUVmax等代谢参数结合CT形态特点可大幅度增强诊断准确性，基于深度学习的配准网络解决模态间空间对齐问题，特征级与决策级融合利用不同模态的定量特征分别构成预测模型并汇总，不同模态独立判断后整体整合，图神经网络被用来构建多模态数据之间的复杂联系，动态融合机制会根据各个模态数据的质量自动调整权重，从而提升系统的鲁棒性，主要的困难是由于不同模态采集时间不一样造成的生理状况存在差异，未来的走向就是制定统一的采集协议，创建跨模态生成模型来弥补缺失的数据，并且设计更为灵活的融合架构去符合临床的实际需求。

4 精准诊断中肺小结节的应用研究

4.1 影像学早期肺癌风险评估模型

风险预测模型包含临床变量(年龄，吸烟史)，影像特征(大小，密度，边缘)，机器学习算法(XGBoost，随机森林)可处理非线性关系，将预测AUC提升到0.85-0.90，时间序列分析结合结节生长速率，特征演变，动态模型比静态模型的预测价值更高。模型校准使得预测概率与实际观察频率相吻合，这对于临床决策来说非常关键，决策曲线分析表明，当阈值概率介于5-20%之间的时候，大多数模型都会产生正向的净收益，外部验证显示，带有深度学习特征的模型泛化性能较好，以后的方向是创建更为全面的风险预测体系，整合基因组学等多组学数据。

4.2 个体化诊断方案的制定与优化研究

精准诊断要依照患者的风险分层来制订差别化的策略，低风险患者可以选用12个月的CT随访，高风险患者或许要执行3到6个月的随访或者直接活检，决策支撑体系融合了指南推荐和个人风险预估，帮助临床医生选出最合适的方案。多学科会诊模式集纳影像科，胸外科等多方意见，虚拟导航技术助力定位难以触及的周围型结节，提升活检成功率，液体活检同影像学联合使用给高风险患者提供无创诊断选项，共享决策模型重视患者偏好，于医学证据与个人价值观之间寻求平衡。

4.3 动态随访与影像进展预测

体积测量比直径测量更灵敏地捕捉结节变化，尤其适合磨玻璃结节，研究显示，恶性结节体积倍增时间大多在100-400天，良性结节一般稳定或缓慢增长，LSTM这类时间序列模型能预估结节将来演变走向，从而辅助决定干预时机。随访方案要个性化，结合结节情况和病人风险，移动健康技术做远程随访，病人用智能终端传自测数据，云端影像平台支持多地数据共享，方便专家远程会诊，不确定性量化技术评价预测结果可信度，给临床决策当参考。

5 精准治疗中肺小结节的应用研究

5.1 影像引导微创治疗技术

CT引导下经皮消融术包含射频、微波以及冷冻消融等，电磁导航支气管镜联合术中CT来达到准确的定位效果，误

差低于2毫米,荧光标记在胸腔镜下帮助识别微小病灶,三维重建技术助力规划最佳手术路径。疗效评价用到多个参数指标,比如增强CT、PET还有灌注成像,人工智能分割算法帮忙评判消融范围,局部控制率可以做到90%以上,主要难题就是那些靠近关键结构的结节,解决办法有开发更为精准的能量传递体系和实时影像观察技术。

5.2 放射治疗方案的精准规划

立体定向体部放疗(SBRT)高分次剂量(8-10Gy×5)精确照射,四维CT模拟考虑呼吸运动,影像引导放疗(IGRT)锥形束CT校正位置偏差,生物靶区结合PET等功能影像信息,剂量绘画技术。自适应放疗根据治疗过程中的肿瘤变化来调整计划,人工智能自动分割使靶区勾画时间由40分钟缩短到5分钟,剂量-反应关系研究指导个体化剂量方案的制定,平衡疗效和毒性,影像生物标志物预测放疗敏感性,为剂量调整提供依据。

5.3 术后疗效评估与预后预测

术后CT随访发现局部复发,人工智能算法自动比对术前术后影像,放射组学特征与病理反应程度相关,可作为替代终点来评价新辅助治疗效果,深度生存分析模型处理删失数据,给出个性化的生存曲线预估复发风险模型融合影像特征,病理分期及分子标志物,纵向数据的分析能体现复发模式的动态改变,从而指导监测策略,患者报告结局同影像评估结合,可以全面评判治疗效果,经济毒性分析从卫生经济学角度评判不同治疗策略的价值。

6 挑战与未来发展方向

6.1 数据标准化与多中心协作的挑战

医学影像数据异质性严重阻碍AI模型临床应用,不同医疗机构CT设备参数差异导致影像特征有系统性偏差,影响模型泛化能力,研究显示,仅改变重建算法就能使影像组学特征变异系数达30%,这种技术异质性使得跨中心验证时模型性能明显降低。解决这一难题要创建统一的数据采集规范,国际组织提议DICOM标准扩充等倡议,促使扫描协议达成统一,联邦学习技术凭借分布式训练模式,能够在不共享原始数据时把模型参数汇聚起来,有效地化解了数据隐私方面的难题,日后要创建国家级的肺结节影像数据库,开

发自动化质量控制工具,不断监测数据的一致性。

6.2 新型影像技术与精准医疗的融合发展趋势

光子计数CT、光谱CT等新技术正改变肺结节诊疗方式,光子计数CT直接转换探测器带来更高空间分辨率,能清晰显示5mm以下结节的微细结构,光谱CT多参数定量分析可区分传统CT难以鉴别的相似密度病变,其物质分解技术为良恶性鉴别提供新依据。

功能成像技术让评估维度变得丰富起来,灌注CT依靠血流动力学参数体现结节的代谢活性,弹性成像衡量组织力学属性,这些功能信息同形态学特点相辅相成,形成更为完备的疾病表征,未来的发展趋势是把多模态数据融合起来,创建起数字孪生的个性化诊疗体系,做到从诊断到治疗的全链条精准管控。

7 结语

肺小结节CT影像在精准医疗中的应用是医学影像学同人工智能、分子生物学等诸多学科交叉融合的前沿领域,伴随着CT成像技术不断更新换代,智能分析方法快速推进,肺小结节的早期检测率和准确度得到明显提高,不过数据标准化不到位、多中心合作机制缺乏等技术瓶颈仍然限制着临床转化速度,将来依靠制订统一的影像收集准则、研发具备更好解释能力的人工智能系统,并且深度结合光子计数CT这类新的影像技术,能够促使肺小结节的诊治朝着更加精确的方向发展,这个过程要依靠产学研医多方协同创新,形成从基础研究到临床应用的完整链条,从而达成从经验医学迈向精准医学的转变,给肺癌早诊早治提供更为可靠的技术支撑。

参考文献

- [1] 纪会荣,曹宇鹏,师光永.CT在肺部小结节临床诊断中的应用价值[J].影像研究与医学应用,2024,8(08):102-104.
- [2] 孟祥宇.肺小结节影像学的研究进展[J].中国疗养医学,2022,31(07):693-696.
- [3] 张志芳.高分辨率CT就肺小结节及早期肺癌患者的临床诊断价值[J].中国医疗器械信息,2020,26(03):55-56+173.
- [4] 孟凡怀.浅谈CT对肺部小结节疾病的临床诊断价值[J].影像研究与医学应用,2019,3(18):193-194.