

不同影像引导方式下经皮肺穿刺活检肺出血 风险预测模型的研究现状与差异化分析

王绍洋¹, 秦伟^{2*}

¹成都中医药大学医学与生命科学学院, 四川 成都

²遂宁市中心医院呼吸介入中心, 四川 遂宁

收稿日期: 2026年2月13日; 录用日期: 2026年3月6日; 发布日期: 2026年3月17日

摘要

经皮肺穿刺活检是肺部结节定性诊断的金标准, 但肺出血风险在不同影像引导技术(CT、超声、CBCT、PET/CT等)下呈现显著异质性。通过回顾分析现有文献发现, CT引导下出血预测模型最为成熟, 已从临床特征分析发展至影像组学与机器学习阶段; 超声模型侧重血流动力学评估; PET/CT与MRI则通过优化靶点规划间接降低风险。相比之下, CBCT引导技术虽普及迅速, 却缺乏专用量化风险预测模型, 临床常直接套用CT模型, 忽视了其特有操作流程与图像特征带来的风险差异。研究表明, 单一通用模型难以满足精准医疗需求, 未来需要构建CBCT引导下的特异性风险预测模型, 并探索多模态数据融合的人工智能辅助决策系统。本文综述了不同影像引导技术下经皮肺穿刺活检肺出血风险预测模型的研究现状, 分析其方法学特征及预测因子的异同, 为构建适应其他新技术的精准预测模型提供了理论依据。

关键词

经皮肺穿刺活检, 肺出血, 影像引导, 风险预测模型, 锥形束CT, 差异化分析

Research Status and Differential Analysis of Risk Prediction Models for Pulmonary Hemorrhage in Percutaneous Lung Biopsy under Different Imaging Guidance Methods

Shaoyang Wang¹, Wei Qin^{2*}

¹School of Medicine and Life Sciences, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu Sichuan

²Respiratory Intervention Center, Suining Central Hospital, Suining Sichuan

*通讯作者。

文章引用: 王绍洋, 秦伟. 不同影像引导方式下经皮肺穿刺活检肺出血风险预测模型的研究现状与差异化分析[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 3022-3028. DOI: 10.12677/acm.2026.1631106

Abstract

Percutaneous lung biopsy is the gold standard for the definitive diagnosis of pulmonary nodules, but the risk of pulmonary hemorrhage varies significantly across different imaging guidance techniques (CT, ultrasound, CBCT, PET/CT, etc.). A review of the existing literature shows that bleeding prediction models under CT guidance are the most mature, evolving from analyses based on clinical features to radiomics and machine learning approaches; ultrasound models focus on hemodynamic assessment; PET/CT and MRI reduce risk indirectly by optimizing target planning. In contrast, although CBCT-guided techniques are rapidly becoming widespread, there is a lack of dedicated quantitative risk prediction models, and clinical practice often directly applies CT models, overlooking the risk differences brought by its unique procedural workflows and imaging characteristics. Studies indicate that a single universal model is insufficient for the needs of precision medicine. In the future, it will be necessary to develop specific risk prediction models under CBCT guidance and explore AI-assisted decision-making systems that integrate multimodal data. This article reviews the current research status of pulmonary hemorrhage risk prediction models in percutaneous lung biopsy under different imaging guidance techniques, analyzes their methodological characteristics and predictive factors, and provides a theoretical basis for developing precise prediction models adaptable to other emerging technologies.

Keywords

Percutaneous Lung Biopsy, Pulmonary Hemorrhage, Image Guidance, Risk Prediction Model, Cone-Beam CT, Differential Analysis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着低剂量螺旋 CT 在肺癌筛查中的普及,肺结节的检出率显著提高[1],经皮经胸肺穿刺活检(Percutaneous Transthoracic Needle Biopsy, PTNB)因其微创、高效的特点,已成为确诊肺部病变性质的关键手段[2]。目前,临床上用于引导穿刺的影像技术主要包括计算机断层扫描(Computerized Tomography, CT)、超声(Ultrasound, US)、锥形束 CT (Cone-Beam CT, CBCT)以及磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)、正电子发射断层扫描/计算机断层扫描(Positron Emission Tomography/Computed Tomography, PET/CT)。不同的引导技术成像原理不同,导致其对血管、病灶及周围解剖结构的显示能力存在差异,进而影响了穿刺路径的规划和出血风险的控制[3]。例如,CT 具有极高的空间分辨率,适合绝大多数肺部病变;超声能实时显示血流,但受限于气体干扰;CBCT 则结合了透视的实时性与 CT 的断层成像优势,逐渐成为介入手术室的主流设备。

而作为一种有创操作,PTNB 不可避免地伴随着并发症,其中肺出血是最常见且潜在风险最高的并发症之一。据最新多中心研究数据显示,CT 引导下 PTNB 的肺出血发生率在 28.1%至 36.8%之间,其中严重出血虽比例较低,但一旦发生可能导致窒息或休克,严重威胁患者生命[4] [5]。

为了识别高风险人群,传统的风险评估多依赖于单因素分析寻找危险因素,难以量化个体患者的具

体风险值。近年来, 临床预测模型(Clinical Prediction Models, CPMs)因其能整合多个预测因子并提供可视化的概率估算, 在个体化医疗中得到广泛关注。然而, 现有模型大多基于常规 CT “静态盲穿”的逻辑、数据构建, 而针对具有实时监视优势的超声与 CBCT, 或具有代谢/功能成像优势的 PET/CT 与 MRI, 其出血风险预测模型的研究相对匮乏。不同引导方式下的风险因素权重是否存在差异? 常规 CT 的预测逻辑是否直接适用于其它引导方式? 目前尚缺乏系统对比分析。本文旨在综述不同影像引导技术下经皮肺穿刺活检肺出血风险预测模型的研究现状, 分析其方法学特征及预测因子的异同, 为构建适应其他新技术的精准预测模型提供理论依据。

2. CT 引导下肺出血风险预测模型

CT 引导是目前应用最广泛的 PTNB 引导方式, 因此关于其并发症的研究最为深入, 模型构建也最为成熟。

2.1. 基于临床与形态学特征的传统回归模型

早期的预测模型多基于单因素和多因素 Logistic 回归分析, 旨在筛选独立的危险因素。多项研究一致证实, 病灶越深、穿刺针经过的正常肺组织越长, 出血风险越高。Yang S 等[6]基于 2000 例大样本数据构建并验证了一个预测模型, 发现病灶深度(>3 cm)是肺出血的强独立危险因素(OR = 2.682), 其构建的列线图(Nomogram)在验证集中表现出良好的校准度。周深鹏等[7]在综述中指出, 肺动脉高压会导致肺血管床压力升高, 显著增加穿刺后的出血风险。同时, Saggiante L 等[8]的研究表明, 严重肺气肿患者由于肺组织弹性回缩力下降, 针道闭合困难, 不仅易发生气胸, 其出血后的扩散范围也往往更大。为了方便临床使用, 冯迪等[9]和陈树清等[10]分别构建了预测 CT 引导下 PTNB 术后肺出血的列线图模型。这些模型将性别、病灶大小、穿刺深度、分叶征等变量量化为分值, 临床医生只需简单计算即可预估出血概率(C-index 均超过 0.75)。

2.2. 穿刺器械相关因素

除了患者自身因素, 穿刺器械也是模型中的重要变量。Kim CR 等[11]的研究深入探讨了同轴活检针数与并发症的关系。虽然传统观点认为穿刺次数越多风险越大, 但该研究指出在同轴针保护下, 增加活检次数并未显著增加严重出血风险, 这为多次取材提供了安全性依据。马盛梅等[12]对比了全自动与半自动活检针的安全性, 发现虽然全自动针切割速度快, 但在某些高危部位(如近心脏、大血管), 其“弹射”机制可能带来不可控的血管损伤风险, 相关模型建议在高危区域慎用全自动模式。

2.3. 影像组学与机器学习模型的兴起

随着计算机技术的发展, 基于“肉眼不可见”特征的影像组学模型成为研究热点。徐敬慈等[13]探讨了纹理分析预测出血并发症的价值。研究发现, 病灶周边的纹理粗糙度、异质性参数与微血管密度相关, 基于这些特征构建的预测模型(AUC > 0.8)在灵敏度上优于传统的形态学模型。李勇等[14]应用随机森林(Random Forest)算法对出血风险进行建模。相比线性回归, 机器学习算法能更好地处理变量间的非线性关系(如病灶大小与深度的交互作用), 其模型识别出了“病灶 - 血管距离”这一关键非线性特征。Lin K C 等[15]提出了一种创新的定量肺血管分析(Quantitative Pulmonary Vascular Analysis, QPVA)方法, 通过 CT 数据自动计算穿刺路径上的血管截面积(CSA)和血管体积。结果显示, 高 CSA 值是出血的极强预测因子, 该量化指标被整合进新的预测模型中, 显著提升了预测效能。

2.4. 特殊病灶类型的模型调整

针对亚实性结节(GGO)和实变肺组织, 传统模型往往失效。Lee S B 等[16]的研究通过倾向性评分匹

配分析发现, 亚实性结节由于保留了完整的肺泡骨架和血管结构, 其出血风险机制与实性结节不同, 基于此构建的专用模型强调了 GGO 实性成分占比(CTR)的重要性。

3. 超声引导下肺出血风险评估

超声引导主要适用于贴近胸膜的周围型肺病变(Peripheral Pulmonary Lesions, PPLs)。与 CT 不同, 超声的优势在于实时显示血流, 其风险预测模型应更侧重于血流动力学参数。

3.1. 血流动力信号

王蕾等[17]的研究分析了超声引导下穿刺并发肺出血的危险因素, 明确指出彩色多普勒血流显像(CDFI)显示的丰富血流信号是出血的独立危险因素(OR = 4.32)。这一发现是超声模型的基石: 即通过避开多普勒信号强区来降低风险。

3.2. 超声造影(CEUS)的增益价值

常规超声难以区分坏死组织与活性肿瘤, 而坏死区穿刺往往导致取材失败并增加不必要的出血风险。周青等[18]比较了超声造影与增强 CT 引导, 发现 CEUS 能清晰勾勒出病灶内的无增强坏死区(Necrotic Area)。基于 CEUS 的引导策略能显著减少穿刺针数, 从而间接降低了出血率。Wang G 等[19]的最新研究进一步证实, 对于周围型病变, CEUS 引导下的活检不仅安全性优于增强 CT, 且诊断准确率更高, 因为其能更精准地引导至富血供的活性肿瘤区域。

3.3. 超声专属预测模型的尝试

尽管超声关于肺穿刺活检术后肺出血预测的研究多集中于单因素分析, 但黄欣桐[20]在其硕士学位论文中尝试应用机器学习方法构建了超声引导下 PTNB 并发症的预测模型。该模型纳入了胸膜接触长度、空气支气管征等超声特有指标。研究发现, 胸膜接触长度越短, 意味着穿刺针越容易在呼吸运动中滑脱或撕裂胸膜与肺组织界面, 从而增加出血和气胸风险。这一结论在 Shen M 等[21]的 3043 例大样本回顾性分析中也得到了印证。

4. CBCT 引导下肺出血风险预测

锥形束 CT (CBCT)结合了 DSA 系统的 C 臂旋转功能, 能在介入手术室内生成类 CT 图像(CT-like images), 并提供虚拟导航。它是连接传统 CT 与透视的桥梁, 但在风险预测模型方面存在显著空白。

4.1. CBCT 的技术优势与新风险

Yang L [22]等和曹碧辉等[23]的研究证实, CBCT 联合 iGuide 虚拟导航系统能显著提高穿刺气管、血管旁微小结节的准确性, 理论上应减少因反复穿刺导致的出血。与常规 CT 不同, CBCT 扫描时间较长(5-10 秒), 对患者屏气配合要求更高。Yang Y 等[24]分析了 192 例 CBCT 引导下的病例, 发现除了病灶大小、深度外, 患者的配合度和扫描时的呼吸运动伪影是出血的重要诱因。这是常规 CT 模型中极少包含的变量。

4.2. 危险因素的异质性分析

虽然目前缺乏 CBCT 专用的列线图模型, 但多项研究已筛选出了其特有的危险因素, 这与 CT 模型存在差异, 常规 CT 模型重点在于肺气肿评分、穿刺角度。胡富天等[25]在分析 C 臂 CT 并发症时发现, 距胸膜距离和穿刺针直径更为关键, 而肺气肿的影响权重似乎不如在常规 CT 中那么大, 这可能与 CBCT

多在患者平静呼吸下操作有关。Ren Q 等[26]比较了透视 CT 与 CBCT, 指出 CBCT 虽然提供了三维图像, 但若过度依赖术中透视调整, 辐射剂量和出血风险均会上升。这一点在现有的 CT 预测模型中完全无法体现。

5. 讨论与展望

5.1. PET/CT 与 MRI 作为风险规避的补充策略

目前文献中尚未见专门针对 PET/CT 或 MRI 引导下肺出血的量化预测模型报道, 这两种技术主要通过“功能成像”提供了独特的风险规避策略。PET/CT 利用 18F-FDG 代谢显像, 能够区分肿瘤的高代谢活性区与低代谢区(纤维化或坏死)。Cerci JJ [27]等的研究表明, PET/CT 引导下的活检能显著降低“结果不确定”导致的重复穿刺率, 从而间接降低累积出血风险。Haidey J 等[28]提出, 术前进行 PET/CT 扫描可以帮助医生识别出代谢活性高且位于更安全位置避开大血管或肺气肿区的靶点。MRI 引导在肺部应用较少, 但在特定场景下具有不可替代的优势。对于伴有阻塞性肺不张的中央型肺癌, CT 往往难以区分肿瘤与不张的肺组织, Li P 等[29]的研究利用 MRI 的多参数成像特别是 DWI 序列, 成功区分了肿瘤(高信号)与肺不张(低信号), 从而引导穿刺针避开富血供的肺不张区域, 实现了“零严重出血”的安全穿刺。Abrishami Kashani M 等[30]的综述指出, 现代 MRI 透视技术可实现无辐射的实时引导, 特别适合需多次调整针尖位置的复杂病例, 但其对出血的预测主要依赖医师经验而非量化模型。因此, 在缺乏专用模型的情况下, 这两类技术目前主要通过优化靶点规划来从源头上降低出血概率。

5.2. 差异化分析总结

不同引导技术的核心风险因子存在维度上的错位, 这决定了单一模型无法通用。CT 模型以解剖主导型核心变量是病灶深度、病变大小、肺气肿评分、血管截面积(QPVA)。其预测逻辑是基于静态解剖结构的破坏程度, 适用于全肺病变。超声模型以血流主导型核心变量是多普勒血流信号、胸膜接触长度、坏死区分布。其预测逻辑是基于实时血流的避让和胸膜的完整性, 仅适用于外周病变。CBCT 模型以过程主导型潜在核心变量是呼吸配合度、透视时间、虚拟导航偏差。其风险更多来源于操作过程中的动态不确定性(如长时间扫描导致的位移)。PET/CT 与 MRI 以功能为主导, 核心是区分判断代谢活性区。侧重于通过靶点优选来从源头降低风险。

5.3. 启示与未来方向

通过对相关文献的深入挖掘, 我们发现虽然肺出血的生物学基础是一致的(血管损伤), 但不同引导技术下的“致险机制”存在差异。不能简单地将 CT 引导下肺出血模型应用于 CBCT 或超声引导。随着杂交手术室的普及, CBCT 引导下的肺活检量逐年上升。构建一个纳入 CBCT 特有参数如透视时间、虚拟导航使用、CBCT 图像特征的预测模型, 是当前介入放射学领域的迫切需求。而且未来的模型不应止步于“预测”, 还应结合干预措施。例如, 梁浩等[31]和 Zhou S Q 等[32]的研究表明, 对于模型预测的高危患者, 预防性使用穿刺道封堵剂(如自体血、血凝酶)可显著降低出血率。新一代模型应能指导医生患者的具体出血评分, 并给出是否采取预防性止血的建议。

6. 总结

综上所述, 不同影像引导技术下的经皮肺穿刺活检肺出血风险预测研究呈现出不平衡的发展态势。CT 引导下的模型研究已深入至影像组学与机器学习层面, 具备较高的预测效能; 超声引导借助血流成像优势, 在特定人群中实现了风险的有效控制, 在预测方面也进行了初步探索; 而代表介入放射学发展方

向的 CBCT 技术, 尽管明确了部分危险因素, 但至今缺乏系统性、经过验证的风险预测模型。这一研究空白提示我们, 未来的科研方向应聚焦于构建基于 CBCT 引导特征的肺出血风险预测评分系统。该系统不仅应纳入传统的解剖学变量, 还应整合 CBCT 特有的操作参数, 并结合最新的封堵技术进行验证, 从而为临床提供更精准的术前决策支持, 进一步提升肺活检的安全性。

参考文献

- [1] Hendrix, W., Rutten, M., Hendrix, N., van Ginneken, B., Schaefer-Prokop, C., Scholten, E.T., *et al.* (2023) Trends in the Incidence of Pulmonary Nodules in Chest Computed Tomography: 10-Year Results from Two Dutch Hospitals. *European Radiology*, **33**, 8279-8288. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09826-3>
- [2] 中国抗癌协会肿瘤介入专业委员会, 中国抗癌协会肿瘤介入专业委员会胸部肿瘤诊疗专家委员会. 胸部肿瘤经皮穿刺活检中国专家共识(2020版) [J]. 中华医学杂志, 2021, 101(3): 185-198.
- [3] 邓屹, 叶苏意, 崔伟, 等. 影像引导下经皮肺穿刺活检的研究进展[J]. 中华介入放射学电子杂志, 2024, 12(4): 296-302.
- [4] He, C., Zhao, L., Yu, H., Zhao, W., Li, D., Li, G., *et al.* (2024) Incidence and Risk Factors for Pulmonary Hemorrhage after Percutaneous Ct-Guided Pulmonary Nodule Biopsy: An Observational Study. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 7348. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58045-3>
- [5] Sasani, M.R. and Paknahad, M. (2025) Complications of CT-Guided Percutaneous Lung Biopsy: A 1-Year Single-Center Experience in Iran. *Medical Journal of The Islamic Republic of Iran*, **39**, Article No. 102. <https://doi.org/10.47176/mjiri.39.102>
- [6] Yang, S., Li, J., Wang, W., Lou, L., Jin, X., Wang, S., *et al.* (2023) Development and Validation of a Predictive Model for Pulmonary Hemorrhage in Computed Tomography-Guided Percutaneous Lung Biopsy. *Postgraduate Medical Journal*, **99**, 1173-1181. <https://doi.org/10.1093/postmj/qgad061>
- [7] 周深鹏, 王佳盈, 胡升宸, 等. 肺动脉高压患者预后评估模型的研究进展[J]. 中华高血压杂志, 2025, 33(8): 714-721.
- [8] Saggiante, L., Biondetti, P., Lanza, C., Carriero, S., Ascenti, V., Piacentino, F., *et al.* (2024) Computed-Tomography-guided Lung Biopsy: A Practice-Oriented Document on Techniques and Principles and a Review of the Literature. *Diagnostics*, **14**, Article 1089. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14111089>
- [9] 冯迪, 周成伟, 王海涛, 等. CT 引导下经皮肺穿刺活检术后出血的危险因素分析及列线图模型构建[J]. 中国医师进修杂志, 2023, 46(10): 876-880.
- [10] 陈树清, 屈开新, 张宗仁, 等. CT 引导下肺穿刺活检术对早期孤立性肺结节患者的诊断价值及其术后并发咯血的风险预测列线图模型研究[J]. 实用心脑血管病杂志, 2021, 29(7): 68-73+79.
- [11] Kim, C.R., Sari, M.A., Grimaldi, E., VanderLaan, P.A., Brook, A. and Brook, O.R. (2024) CT-Guided Coaxial Lung Biopsy: Number of Cores and Association with Complications. *Radiology*, **313**, e232168. <https://doi.org/10.1148/radiol.232168>
- [12] 马盛梅, 贾海鹏, 孙大千, 等. 对比 CT 引导下以半自动与全自动活检针行经皮肺穿刺活检的有效性安全性[J]. 中国介入影像与治疗学, 2023, 20(6): 330-334.
- [13] 徐敬慈, 潘自来, 陈克敏, 等. 纹理分析对 CT 引导下经皮肺穿刺活检术出血并发症的预测价值初探[J]. CT 理论与应用研究, 2022, 31(3): 383-391.
- [14] 李勇, 赵晓辉, 刘方, 等. 基于随机森林模型的 CT 引导下肺穿刺活检出血风险的危险因素分析[J]. 中国输血杂志, 2024, 37(10): 1110-1114+1121.
- [15] Lin, K., Ko, W., Tsai, Y., Chang, C., Yang, Y., Huang, Y., *et al.* (2025) Hemorrhage Risk Prediction after Computed Tomography-Guided Lung Biopsy: Clinical Parameters and Quantitative Pulmonary Vascular Analysis. *Journal of the Formosan Medical Association*, **124**, 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2024.03.011>
- [16] Lee, S.B., Kim, M.J. and Lee, I.J. (2023) Assessment of Diagnostic Accuracy and Complication Rates of CT-Guided Percutaneous Core-Needle Biopsy for Lung Lesion: Difference between Solid and Sub-Solid Nodules Based on Propensity Score Matching Analysis. *Clinical Radiology*, **78**, e620-e626. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2023.04.012>
- [17] 王蕾, 李智贤, 唐师, 等. 超声引导下经皮肺外周病变穿刺活检并发肺出血的危险因素分析[J]. 中国医学影像技术, 2015, 31(11): 1693-1696.
- [18] 周青, 董亮. 经皮穿刺含坏死胸部病变超声造影与增强 CT 引导比较[J]. 介入放射学杂志, 2020, 29(12): 1249-1253.

- [19] Wang, G., Zhang, J., Wang, Z., Gou, B., Liu, X., Liu, G., *et al.* (2025) Comparison of the Application Value of Contrast-Enhanced Ultrasound and Contrast-Enhanced CT in Puncture Biopsy of Peripheral Pulmonary Lesions. *Frontiers in Oncology*, **15**, Article ID: 1502356. <https://doi.org/10.3389/fonc.2025.1502356>
- [20] 黄欣桐. 应用机器学习方法构建超声引导下经皮肺穿刺活检主要并发症的预测模型[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广州医科大学, 2024.
- [21] Shen, M., Yi, J., Chen, H., Shu, J., Cong, Y., Zhang, Y., *et al.* (2025) Safety and Efficacy of Ultrasound-Guided Percutaneous Transthoracic Needle Biopsy: A Retrospective Analysis of 3043 Consecutive Patients. *Academic Radiology*, **32**, 6260-6271. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2025.07.025>
- [22] Yang, L., Wang, Y., Li, L., Liu, D., Wu, X., Zhang, W., *et al.* (2022) C-arm Cone-Beam CT Virtual Navigation versus Conventional CT Guidance in the Transthoracic Lung Biopsy: A Case-Control Study. *Diagnostics*, **12**, Article 115. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12010115>
- [23] 曹碧辉, 陈德基, 梁宝霞, 等. 锥形束 CT 联合 iGuide 引导系统在经皮经胸肺穿刺活检术中的应用[J]. 中国介入影像与治疗学, 2018, 15(4): 213-216.
- [24] Yang, Y., Ma, J., Peng, Z., Zhou, X., Du, N., Zhang, W., *et al.* (2024) Pneumothorax and Pulmonary Hemorrhage after C-Arm Cone-Beam Computed Tomography-Guided Percutaneous Transthoracic Lung Biopsy: Incidence, Clinical Significance, and Correlation. *BMC Pulmonary Medicine*, **24**, Article No. 33. <https://doi.org/10.1186/s12890-023-02822-9>
- [25] 胡富天, 黄大钊, 李晓群, 等. C臂CT引导肺穿刺活检术并发症的危险因素分析[J]. 介入放射学杂志, 2019, 28(1): 49-53.
- [26] Ren, Q., Zhou, Y., Yan, M., Zheng, C., Zhou, G. and Xia, X. (2022) Imaging-Guided Percutaneous Transthoracic Needle Biopsy of Nodules in the Lung Base: Fluoroscopy CT versus Cone-Beam CT. *Clinical Radiology*, **77**, e394-e399. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2022.02.005>
- [27] Cerci, J.J., Bogoni, M., Cerci, R.J., Masukawa, M., Neto, C.C.P., Krauzer, C., *et al.* (2020) Pet/CT-Guided Biopsy of Suspected Lung Lesions Requires Less Rebiopsy than CT-Guided Biopsy Due to Inconclusive Results. *Journal of Nuclear Medicine*, **62**, 1057-1061. <https://doi.org/10.2967/jnumed.120.252403>
- [28] Haidey, J. and Abele, J.T. (2024) FDG PET/CT Performed Prior to CT-Guided Percutaneous Biopsy of Lung Masses Is Associated with an Increased Diagnostic Rate and Often Identifies Alternate Safer Sites to Biopsy. *Canadian Association of Radiologists Journal*, **76**, 534-540. <https://doi.org/10.1177/08465371241306731>
- [29] Li, P., Li, C., Xu, Y., He, X., Sequeiros, R.B. and Liu, M. (2025) Feasibility of Multiparameter MRI-Guided Percutaneous Biopsy for Central Lung Lesions with Atelectasis. *Korean Journal of Radiology*, **26**, 498-507. <https://doi.org/10.3348/kjr.2024.0818>
- [30] Abrishami Kashani, M., Campbell-Washburn, A.E., Murphy, M.C., Catalano, O.A., McDermott, S. and Fintelmann, F.J. (2022) Magnetic Resonance Imaging for Guidance and Follow-Up of Thoracic Needle Biopsies and Thermal Ablations. *Journal of Thoracic Imaging*, **37**, 201-216. <https://doi.org/10.1097/rti.0000000000000651>
- [31] 梁浩, 曹景勤. 不同封堵剂在经皮肺穿刺活检术中应用的研究进展[J]. 介入放射学杂志, 2025, 34(11): 1275-1280.
- [32] Zhou, S.Q., Luo, F., Gu, M., Lu, X.J., Xu, Y., Wu, R.N., *et al.* (2022) Biopsy-Tract Haemocoagulase Injection Reduces Major Complications after CT-Guided Percutaneous Transthoracic Lung Biopsy. *Clinical Radiology*, **77**, e673-e679. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2022.05.019>