

胸部超声在术前胸膜粘连诊断中的应用价值与进展

贾翔宇, 杨云龙*

北华大学附属医院心胸外科, 吉林 吉林

收稿日期: 2026年2月5日; 录用日期: 2026年2月27日; 发布日期: 2026年3月9日

摘要

胸膜粘连是胸外科手术里经常碰到的病理状态, 这种状态会比较明显地加大手术操作的难度, 还会提升围术期出现并发症的风险, 因此术前对它做准确的评估, 对于调整手术方案、预判风险以及改善患者术后的恢复情况, 有不小的临床价值。而传统的影像学方法, 在诊断胸膜粘连这方面还有一定的局限。这篇论文主要是研究胸部超声, 它是一种无创、能实时成像、还方便在床旁使用的影像学工具, 看看它在术前评估胸膜粘连时的应用价值, 还有相关的研究进展。文章系统阐述了其诊断胸膜粘连的技术原理与典型影像学特征, 分析了其诊断效能及相较于计算机断层扫描等方法的优点, 并探讨了当前的临床应用策略、存在的局限性以及未来的发展方向, 以期能为临床决策提供循证医学参考。

关键词

胸部超声, 胸膜粘连, 术前评估, 诊断价值, 影像学特征, 胸外科手术

Application Value and Advances of Chest Ultrasound in Preoperative Diagnosis of Pleural Adhesions

Xiangyu Jia, Yunlong Yang*

Department of Cardiothoracic Surgery, Affiliated Hospital of Beihua University, Jilin Jilin

Received: February 5, 2026; accepted: February 27, 2026; published: March 9, 2026

Abstract

Pleural adhesions are a common pathological condition encountered in thoracic surgery. This

*通讯作者。

文章引用: 贾翔宇, 杨云龙. 胸部超声在术前胸膜粘连诊断中的应用价值与进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 1478-1484. DOI: 10.12677/acm.2026.163929

condition significantly increases the difficulty of surgical procedures and elevates the risk of perioperative complications. Therefore, accurate preoperative assessment of pleural adhesions holds considerable clinical value for adjusting surgical plans, predicting risks, and improving postoperative recovery outcomes. Traditional imaging methods, however, have certain limitations in diagnosing pleural adhesions. This paper primarily investigates the application value and recent research advances of thoracic ultrasound—a non-invasive, real-time imaging tool suitable for bedside use—in the preoperative assessment of pleural adhesions. The article systematically explains the technical principles and typical imaging features for diagnosing pleural adhesions using ultrasound. It analyzes its diagnostic efficacy and advantages over methods such as computed tomography (CT), while also discussing current clinical application strategies, existing limitations, and future development directions. This aims to provide evidence-based medical references for clinical decision-making.

Keywords

Chest Ultrasound, Pleural Adhesions, Preoperative Assessment, Diagnostic Value, Imaging Features, Thoracic Surgery

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. 前言

胸膜粘连, 指的是脏层与壁层胸膜之间, 因炎症、出血或是手术这类原因形成的异常纤维连接, 它是胸外科手术里比较常见的病理状态, 像再次开胸或胸腔镜手术这类操作中, 这种情况出现的概率会更高[1]。术前未能识别的严重胸膜粘连可导致术中分离困难、出血量增加、手术时间延长, 甚至被迫中转开胸或造成邻近脏器损伤, 严重影响手术安全性与患者康复[2]。例如视频辅助胸腔镜手术(VATS)里, 一旦有粘连存在, 就会让出血、肺损伤引发的肺痿发生率有所上升, 也会使手术时间增加, 使手术复杂化[3]。对于需要在同侧再次做手术的患者, 因为第一次手术干预后, 胸腔内或是胸壁部位常会出现胸膜粘连的情况, 这时候做 VATS 手术就显得尤其有挑战性[4]有研究显示, 比较严重的胸膜粘连, 会成为 VATS 术中不得不转成开胸手术、术后出现并发症(像持续性漏气)以及术后大范围皮下气肿的独立危险因素[5]-[7]。因此, 术前对胸膜粘连进行可靠评估具有重要的临床意义, 有助于外科医生规划手术入路、预测手术时间和出血量, 从而改善手术安全性[8]。

传统上, 大家评估胸膜病变主要靠胸部 X 线和 CT, 但在直接呈现粘连情况、评估粘连功能这两块, 它还是有不少局限[9]。例如, 尽管胸膜角变钝是既往胸膜疾病的指标, 但其对诊断完全性胸膜粘连的准确性尚不明确[9]。当下, 影像技术有了不少进步, 大家也开始用一些新办法来做术前评估动态胸部 X 线摄影(DCR)是一种可以动态捕捉 X 射线图像的新技术, 就这方面来说, 它靠分析呼吸过程中肺结构的受限或是扭曲运动, 还有结构张力, 就能找出胸膜粘连的情况[10]。研究表明, DCR 具有较高的特异性(83.5%)和阴性预测值(97.12%), 可用于胸膜粘连的常规术前评估[10]。此外, 与呼吸同步的三维计算机断层扫描(4D-CT)也被用于预测胸膜粘连, 即使在患者自然呼吸模式下进行, 其检测粘连的敏感性和特异性也分别达到 80.0%和 90.3% [3]。有研究显示, 软件辅助的动态通气 CT, 靠把肺表面和胸壁之间的运动差异做成可视化图像, 能让局部胸膜粘连的检测性能有所上升, 尤其是对于严重粘连的情况[11]。在 CT 上, 胸膜表面下微血管(MVBP)的增多也被证实是胸膜粘连的一个有价值的独立预测因子[12]。

近年来, 超声技术有了不小的进步, 尤其是高频探头的推广使用, 胸部超声带着实时成像、动态观察、

无辐射、还能直接在病床边操作这些实用特点,在胸膜疾病的诊断里有独特的价值[13]。肺部超声通过评估“肺滑动征”来预测胸膜粘连的存在,因为粘连会妨碍该征象的显现[4]。一项使用袖珍超声设备做的研究显示,它检测胸膜粘连的敏感性能到96.6%,诊断准确率也有95.2%[13]。一项系统综述和荟萃分析进一步证实,术术前用肺部超声检测胸膜粘连有比较高的特异性(96%),能当一项有一定效果的“纳入”性检查,帮助外科医生提前应对那些可能因粘连导致手术时间变长或并发症风险上升的情况[14]。此外,实时弹性成像技术还能测出胸膜粘连的软硬度,给术中管理提供关于组织可变形性的关键信息,这在非插管VATS等复杂病例中具有潜在用途[15]。这篇论文会把焦点聚焦在胸部超声在术前评价胸膜粘连的诊断价值上,研究分析它的技术基础、诊断标准、临床验证和应用前景,还会认真整理当下的研究成果与相关共识。

2. 胸部超声诊断胸膜粘连的技术基础与影像学特征

2.1. 超声探查胸膜粘连的技术方法与扫描策略

胸部超声探查胸膜粘连的核心在于利用高频线阵探头(通常频率 ≥ 7.5 MHz)对胸膜线及胸膜下结构进行高分辨率成像[13]。标准的扫描策略要求沿肋间进行系统性的纵向和横向扫查,重点观察胸膜线的连续性、形态以及脏壁层胸膜之间的相对运动,即“肺滑动征”[13]。在实时超声检查中,嘱患者进行深呼吸或咳嗽是激发和观察胸膜间相对运动的关键动态步骤,滑动征的消失是判断粘连存在的敏感指标[4]。对于可疑区域,可进一步采用彩色多普勒或能量多普勒技术观察局部血流信号,以辅助鉴别粘连组织与邻近的血管结构或肿瘤性病变[12]。便携式超声设备的应用进一步拓展了此项技术的便捷性,使其可在病房或手术室术前即时进行评估[13]。

2.2. 胸膜粘连的典型与非典型超声影像学表现

胸膜粘连的超声直接征象包括胸膜线局部增厚、不规则或中断,以及在脏壁层胸膜之间可见条索状或片状的中等至高回声连接,该连接在呼吸运动时不发生相对滑动[1]。最关键的间接征象是实时超声下“肺滑动征”的完全或部分消失,这是诊断粘连最敏感的动态指标[4]。此外,粘连区域下方的肺组织可能因局部通气受限而出现B线(“彗星尾”征)的减少或分布异常[1]。对于致密、广泛的粘连,超声可能显示为胸膜广泛增厚、钙化,或形成局限性无回声区(如包裹性积液),此时需与单纯的胸膜增厚、胸膜斑或肿瘤性病变进行鉴别[1]。研究表明,超声诊断胸膜粘连具有较高的特异性,可作为术前有效的“排除”性检查工具[14]。

2.3. 超声诊断胸膜粘连的标准化与半定量评估

为实现更客观的评估,有研究提出基于滑动征消失范围的半定量分级系统,像把粘连分成局限性(累及1~2个肋间)、区域性(累及一个肺叶范围)和弥漫性(累及整个半侧胸腔)[1]。此外,试着对粘连带的回声强度、厚度做测量,还能在一定程度上帮助评估粘连的“成熟度”或纤维化程度,从而为手术分离的难度提供预判[15]。当下的研究还在着手研究超声评估结果和术中实际粘连严重程度(像参照手术记录的分级)之间的相关性[2]。例如,一项系统综述和荟萃分析显示,术前做肺部超声诊断胸膜粘连的汇总敏感性和特异性分别是71%和96%,这说明它有比较高的诊断准确性,尤其适合用来做术前筛查[14]。这些标准化和半定量评估方法的建立,有助于将超声从定性诊断工具发展为更具指导价值的术前规划手段。

3. 胸部超声诊断胸膜粘连的效能分析与比较研究

3.1. 诊断准确性: 敏感性、特异性及预测价值

胸部超声在诊断胸膜粘连方面展现出良好的诊断效能。一项针对术前使用便携式超声设备评估胸膜

粘连的研究显示, 它诊断胸膜粘连的敏感性能到 96.6%, 特异性是 75.0%, 总体诊断准确率也有 95.2% [13]。另一项对于同侧再次手术患者的研究, 也证实了胸部超声的价值, 它评估“肺滑动征”的敏感性是 93%, 特异性为 100%, 阳性预测值(PPV)和阴性预测值(NPV)分别是 100%和 94% [4]。有一篇系统性综述和荟萃分析, 汇总了多项研究数据, 能看到肺部超声诊断胸膜粘连的汇总敏感性是 71%, 而汇总特异性能到 96% [14]。这说明超声有比较高的特异性, 能作为一项有一定效果的“确诊性”检查手段, 帮助外科医生为可能遇到的手术时间延长或并发症风险上升的情况提前做好准备[14]。然而, 诊断准确性受多种因素影响。就假阴性结果来说, 它可能来自那些比较疏松的粘连, 这类粘连往往不足以完全限制肺的滑动[13]。假阳性的出现, 反倒可能和超声图像上垂直线缺失这类技术因素有关[13]。另外, 诊断效能在不同临床背景的患者身上, 可能表现出不一样的情况。例如, 对于有结核性胸膜炎或脓胸病史的患者, 他们的胸膜可能因为慢性炎症而变得比较明显地增厚, 这一点上就容易和粘连混淆, 影响超声判断的准确性。初次手术患者若无明确胸膜炎病史, 超声评估的结果可能就更可靠。所以, 操作者的经验和患者呼吸时的配合度是影响因素, 粘连的形态和范围也会在这一点上起到作用, 这些都是影响超声诊断准确性的关键变量。

3.2. 与计算机断层扫描(CT)的比较优势与互补性

胸部超声与计算机断层扫描(CT)在胸膜粘连的术前评估中各具优势, 形成良好的互补关系。超声最突出的特点, 是它可以动态、实时地观察“肺滑动征”, 这是 CT 静态成像无法给出的功能性细节信息 [1]。通过观察脏层与壁层胸膜在呼吸时的相对运动, 超声就能直接判断有没有粘连、粘连的大概范围, 为手术切口(特别是胸腔镜 Trocar 孔)的规划提供即时指导[4]。相比之下, CT 在显示胸膜钙化、评估广泛性胸膜增厚以及明确粘连与深部重要结构(如大血管、纵隔)的解剖关系方面具有不可替代的价值[1]。例如, CT 能清楚看到胸膜下的微血管, 这些微血管的增多被证实是胸膜粘连的独立预测因子[12]。此外, 四维 CT (4D-CT)靠着捕捉呼吸周期里病变和胸壁的相对位移, 能够无创地预测粘连, 其敏感性和特异性分别可达 80.0%和 90.3% [3]。软件辅助的动态通气 CT 分析能通过可视化肺表面与胸壁的运动差异图, 进一步提高对局部胸膜粘连的检测性能, 尤其在检测严重粘连时, 它的敏感性比静态 CT 图像要比较明显地提高[11]。在成本效益、可及性和安全性方面, 超声优势明显。它没有辐射, 可床旁反复进行, 设备成本较低, 使其非常适合作为术前一筛查工具。尤其适用于需要多次评估或对辐射敏感的患者(如年轻患者、孕妇)。而 CT 则能提供更全面的解剖学信息, 两者结合能为外科医生制定手术策略提供更完整、立体的信息支撑。

3.3. 超声引导下的术前模拟与定位价值

超声在术前模拟和定位方面具有重要价值, 能让手术的安全性与精准度有比较明显的上升。它最核心的价值, 是能精准标记胸壁上的粘连区域, 从而直接指导胸腔镜手术切口(Trocar 孔)的位置选择。通过术前在患者体表标记出肺滑动消失或受限的区域, 外科医生可以避免这些粘连区进行穿刺, 能在一定程度上避免初始套管针直接刺入粘连的肺组织, 进而降低术中出血、肺损伤和持续漏气之类并发症的风险 [1]。其次, 超声还能当引导工具, 用来做术前诊断性胸腔穿刺或者胸膜活检。当怀疑胸膜粘连是由特定病因(像结核或恶性肿瘤)引起时, 根据超声的实时引导去做穿刺, 能安全地获取足量的胸水或胸膜组织来明确病理诊断, 从而完善术前评估, 为手术方式和范围提供依据[1]。此外, 当下超声技术的新进展, 给它在术前规划里的应用开辟了新前景。像实时弹性成像技术, 可以清楚映射胸膜粘连的软硬度, 帮助识别粘连组织中相对柔软、易于分离的区域, 进而帮忙规划更精细的手术入路和分离策略[15]。三维超声重建技术在立体显示粘连范围和它跟周围结构的时空关系上的应用, 还处于刚起步的阶段, 但在这一点上,

它还有很大的发展空间。未来,结合三维超声与术前 CT 影像的融合导航,有望实现更精准的虚拟手术规划,进一步提升复杂胸膜粘连手术的安全性和效率。

4. 临床应用策略、局限性及未来展望

4.1. 胸部超声在胸外科术前评估流程中的整合策略

将胸部超声整合为胸外科术前常规评估的一部分,尤其是对于那些得过胸膜炎、做过胸部手术或者有外伤史的高危病人,有比较明显的临床价值。一项系统综述与荟萃分析指出,肺部超声在检测胸膜粘连这件事上有很高的特异性(96%),可作为一项有效的“纳入性”检查,帮助外科医生为可能延长的手术或并发症风险做好准备[14]。对于需要在同侧再次做手术的患者,术前的超声评估就显得特别关键,因为既往手术常导致胸腔内粘连,增加手术难度和肺损伤风险[4]。有研究显示,在术前行便携式超声设备评估切口位置的胸壁滑动征,能以 95.2% 的诊断准确率,预判胸膜粘连是不是存在[13]。根据超声检查的结果,能制定出清晰的临床决策流程。例如,当超声发现滑动征消失,提示存在粘连时,外科团队就能提前准备更复杂的手术方案、备血,还和患者及家属充分沟通中转开胸的可能[1]。对于滑动征呈阳性的患者,就能在一定程度上排除广泛粘连的可能,提升做微创手术的信心。另外,研究多学科协作的模式也很关键,建议由胸外科医师或经过专门培训的超声医师进行操作和解读,让评估的针对性和准确性有所上升。这种整合策略不仅优化了术前规划,也提升了手术的安全性和效率。临床操作上建议优先使用 7.5~12 MHz 线阵高频探头显示胸膜线;胸壁较厚或肥胖患者可辅助 3.5~5 MHz 凸阵探头以保证穿透。扫查可采用每侧胸廓 6 区法(前、侧、后各 2 区,共 12 区)逐区判断“肺滑动征”。可用简易评分量化粘连风险:每区滑动征正常 = 0 分、减弱 = 1 分、消失 = 2 分,总分越高提示粘连范围越大、术中分离难度越高[16]。

4.2. 当前技术的局限性及挑战

尽管胸部超声在术前评估中展现出潜力,但它在实际应用中还是有比较明显的局限性和挑战。超声的成像质量,很容易受患者个体因素影响。例如,那些肥胖患者,或是有皮下气肿、大量胸腔积液的患者,声波穿透受限,胸膜线显示不清,这就会干扰对滑动征的准确判断[14]。其次,诊断的准确性高度依赖于检查者的经验和技能水平,不同操作者之间对图像解读可能存在差异,这限制了其在临床中的标准化推广[14]。再者,目前全球范围内缺乏统一、被广泛接受的超声诊断胸膜粘连的标准化定义和分级系统。现有研究多基于“滑动征”消失进行定性判断,但对于粘连的范围、密度(如疏松或致密粘连)缺乏量化标准。一项研究指出,超声对于疏松粘连可能导致假阴性结果,而另一项研究也提到,缺乏垂直线的超声表现可能导致假阳性[13]。这种定义和分级标准的缺失,大大影响了不同研究结果之间的可比性,也阻碍了基于超声特征建立精准风险预测模型的努力。另外,超声主要是评估脏壁层胸膜之间的相对运动情况,对于粘连的具体位置、是否包含血管等精细结构的判断能力有限,而通过计算机断层扫描(CT)发现的胸膜下微血管增多,已经被证实是预测胸膜粘连的一个独立因素[12]。这些局限性共同构成了当前胸部超声技术临床广泛应用的主要障碍。

4.3. 未来研究方向与技术发展展望

为克服现有局限,未来的研究应聚焦于技术创新与临床验证。首先,探索人工智能辅助图像分析系统在自动识别胸膜线、量化滑动征消失区域中的应用前景广阔。近年来已有深度学习模型用于胸膜线自动定位与识别,在肺部超声图像分析中其胸膜线检测的 AUC 可达到 0.90 以上,提示 AI 辅助有望提升胸膜评估的客观性与标准化水平[17]。通过算法减少人为解读的主观性,有望显著降低操作者间差异,实现

更客观、可重复的评估[10]。类似的, 动态胸部 X 线摄影里的低运动区域比, 还被证实是检测胸膜粘连的一个有用客观指标, 这对开发超声的定量分析工具也有一定帮助[18]。其次, 超声弹性成像技术, 用它来评估粘连组织的硬度, 对临床工作有一定价值。目前剪切波弹性成像可通过测量剪切波速度(SWV)对胸膜硬度进行定量评估, 有研究提示当胸膜局部 SWV 约超过 2.5~3.0 m/s 时, 往往提示较重的纤维化或致密粘连, 可为术中分离难度提供参考[19]。粘连组织的硬度, 和分离时的难度、出血风险直接相关, 实时弹性成像现在已经初步表现出它在非插管胸腔镜手术里, 帮助制定手术计划的潜力[15]。将这项技术系统地用在术前评估里, 能给出比传统形态学检查更多的功能信息。另外, 开发更先进的便携式超声设备并与远程会诊系统结合, 能比较明显地提升基层医院、战地或是灾害医学这类资源紧张场景下的术前评估能力, 使专家资源得以延伸[13]。最后, 很关键的一点是要去做大规模、前瞻性的多中心临床研究。这类研究是想要根据超声特征(如滑动征消失范围、弹性评分等)来做一个胸膜粘连风险预测模型, 再认真验证它对患者术中出血量、中转开胸率、手术时间还有术后并发症这些结局指标的预测作用[14]。只有通过高级别的循证医学证据, 才能推动胸部超声在胸外科术前评估中的规范化应用, 最终改善患者预后。

5. 小结与展望

胸部超声通过动态评估胸膜滑动征来做术前胸膜粘连的诊断工作, 是个敏感性还比较高的工具。有研究显示, 肺部超声在这方面的敏感性和特异性分别是 71%和 96% [14], 在预防手术风险上有一定效果, 而且多项研究都验证了它的特异性比较高。超声带有的无创性和可重复性特点, 使其成为可靠的术前筛查工具, 诊断价值得到临床证据支持。

和 CT 比起来, 胸部超声在功能评估、无辐射、实时引导等方面具有明显优势。超声可动态观察胸膜滑动征, 且无辐射, 适合反复评估, 实时引导有助于手术规划。超声设备便携且成本低, 但 CT 在显示解剖结构方面仍具价值。结合两者可提供更全面的术前信息。

胸部超声的临床应用依赖于规范化的扫描技术、影像认知和操作者经验。标准的扫描技术, 核心是对胸膜滑动征做评估。操作者需识别特征性表现并避免假阳性或假阴性。将超声纳入术前评估流程, 能对手术规划做一些调整, 减少术中可能出现的风险, 例如那些有广泛粘连的病例, 超声评估就显得比较重要。

未来, 像 AI、弹性成像这类技术革新, 加上完善的标准规范, 还有更严谨的研究工作, 能让超声在胸膜粘连术前评估里的作用有比较明显的增强。AI 可促进客观性和可重复性的提高, 弹性成像可评估粘连组织的硬度。建立标准化协议和开展更多高质量研究, 将助力超声从定性向定量评估发展, 最终实现胸外科手术的个体化与安全化。

参考文献

- [1] Kimura, T., Omura, A., Tanaka, R., Hiroshima, T., Maniwa, T. and Okami, J. (2021) Dealing with Pleural Adhesion in Video-assisted Thoracoscopic Surgery. *Kyobu Geka*, **74**, 488-491. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34193781/>
- [2] Kobayashi, N., Kawamura, T., Yanagihara, T., et al. (2021) Influence of Pleural Adhesions on Thoracoscopic Surgeries for Malignant Lung Tumors. *Kyobu Geka*, **74**, 509-513. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34193785/>
- [3] Mizuno, K. and Muto, M. (2021) Preoperative Evaluation of Pleural Adhesion in Patients with Lung Tumors Using Four-Dimensional Computed Tomography Performed during Natural Breathing. *Medicine*, **100**, e27800. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000027800>
- [4] Messina, G., Bove, M., Noro, A., Opromolla, G., Natale, G., Leone, F., et al. (2022) Prediction of Preoperative Intrathoracic Adhesions for Ipsilateral Reoperations: Sliding Lung Sign. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, **17**, Article No. 103. <https://doi.org/10.1186/s13019-022-01844-4>
- [5] Zhang, Z., Zhang, Y., Zhang, J. and Su, P. (2023) Analysis of Factors Affecting Intraoperative Conversion from Thoracoscopic Radical Resection of Lung Cancer to Thoracotomy and Intraoperative Management Experience. *Pakistan*

- Journal of Medical Sciences*, **39**, 1389-1393. <https://doi.org/10.12669/pjms.39.5.7422>
- [6] Liu, T., Feng, J. and Liu, X. (2023) Risk Factors for Extensive Subcutaneous Emphysema after Pulmonary Resection by Video-Assisted Thoracoscopic Surgery: A Case-Control Study. *Videosurgery and Other Miniinvasive Techniques*, **18**, 516-523. <https://doi.org/10.5114/wiitm.2023.127786>
- [7] Pischik, V.G., Maslak, O.S., Osborne, A.D., Zinchenko, E.I. and Kovalenko, A.I. (2019) Risk Factors and Outcomes of Prolonged Air Leak after Pulmonary Resections. *Indian Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **35**, 564-568. <https://doi.org/10.1007/s12055-019-00827-w>
- [8] Watanabe, T., Suzuki, E., Yoshii, N., Tsuchida, H., Yobita, S., Uchiyama, S., *et al.* (2023) Preoperative Detection of Pleural Adhesions Using Dynamic Chest Radiography: Prospective Analysis. *Journal of Thoracic Disease*, **15**, 1096-1105. <https://doi.org/10.21037/jtd-22-1226>
- [9] Mori, S., Shibasaki, T., Harada, E., Shigemori, R., Kato, D., Matsudaira, H., *et al.* (2021) Complete Pleural Symphysis Is Predicted by a Blunted Costophrenic Angle. *General Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **69**, 497-503. <https://doi.org/10.1007/s11748-020-01502-3>
- [10] Tanaka, R., Inoue, D., Izumozaki, A., Takata, M., Yoshida, S., Saito, D., *et al.* (2022) Preoperative Evaluation of Pleural Adhesions with Dynamic Chest Radiography: A Retrospective Study of 146 Patients with Lung Cancer. *Clinical Radiology*, **77**, e689-e696. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2022.05.016>
- [11] Nagatani, Y., Hashimoto, M., Oshio, Y., Sato, S., Hanaoka, J., Fukunaga, K., *et al.* (2020) Preoperative Assessment of Localized Pleural Adhesion: Utility of Software-Assisted Analysis on Dynamic-Ventilation Computed Tomography. *European Journal of Radiology*, **133**, Article 109347. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109347>
- [12] Kawamura, T., Kobayashi, N., Yanagihara, T., Goto, Y., Ichimura, H. and Sato, Y. (2025) An Increase in Micro-Vessels beneath the Pleural Surface on Computed Tomography as a Preoperative Predictor of Pleural Adhesions: A Prospective Study. *Surgery Today*, **55**, 1198-1204. <https://doi.org/10.1007/s00595-025-03022-0>
- [13] Sano, A., Hiranuma, A. and Nagashima, M. (2021) Preoperative Detection of Pleural Adhesions Using Pocket-Sized Ultrasound. *Asian Cardiovascular and Thoracic Annals*, **29**, 400-404. <https://doi.org/10.1177/0218492321997083>
- [14] Shiroshita, A., Nakashima, K., Takeshita, M. and Kataoka, Y. (2021) Preoperative Lung Ultrasound to Detect Pleural Adhesions: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cureus*, **13**, e14866. <https://doi.org/10.7759/cureus.14866>
- [15] Tacconi, F., Chegai, F., Perretta, T. and Ambrogi, V. (2021) Real-Time Pleural Elastography: Potential Usefulness in Nonintubated Video-Assisted Thoracic Surgery. *Journal of Chest Surgery*, **54**, 433-435. <https://doi.org/10.5090/jcs.20.121>
- [16] Volpicelli, G., Elbarbary, M., Blaivas, M., Lichtenstein, D.A., Mathis, G., Kirkpatrick, A.W., *et al.* (2012) International Evidence-Based Recommendations for Point-of-Care Lung Ultrasound. *Intensive Care Medicine*, **38**, 577-591. <https://doi.org/10.1007/s00134-012-2513-4>
- [17] Roy, S., Menapace, W., Oei, S., Luijten, B., Fini, E., Saltori, C., *et al.* (2020) Deep Learning for Classification and Localization of COVID-19 Markers in Point-of-Care Lung Ultrasound. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, **39**, 2676-2687. <https://doi.org/10.1109/tmi.2020.2994459>
- [18] Watanabe, T., Tanahashi, M., Suzuki, E., Yoshii, N., Kohama, T., Iguchi, K., *et al.* (2025) The Utility of the Low Motion Area Ratio for the Preoperative Detection of Pleural Adhesions: Dynamic Chest Radiography Analysis. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **15**, 843-851. <https://doi.org/10.21037/qims-24-1247>
- [19] Huang, S., Guo, R., Yuan, X., Tang, X., Liu, T., Xie, Q., *et al.* (2022) Evaluation of Connective Tissue Disease-Related Interstitial Lung Disease Using Ultrasound Elastography: A Preliminary Study. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **12**, 3778-3791. <https://doi.org/10.21037/qims-21-1205>