

肺部超声的围术期应用进展

阿拉努尔·阿尤甫¹, 喇宏玲², 苏涛^{2*}

¹新疆医科大学研究生学院, 新疆 乌鲁木齐

²新疆维吾尔自治区人民医院麻醉科, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年10月14日; 录用日期: 2023年11月8日; 发布日期: 2023年11月16日

摘要

随着超声技术的进步, 肺部超声检查(lung ultrasound, LUS)作为一种简单易行、及时无创、无辐射的可视化技术, 被广泛应用于各种肺部疾病的诊治, 气管插管管理, 及指导保护性肺复张等。本文就肺部超声在围术期应用进展进行综述。

关键词

肺部超声, 围术期, 肺部疾病的诊断

Progress in Perioperative Application of Pulmonary Ultrasound

Alanuer Ayoufu¹, Hongling La², Tao Su^{2*}

¹Graduate School of Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

²Department of Anesthesiology, People's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi Xinjiang

Received: Oct. 14th, 2023; accepted: Nov. 8th, 2023; published: Nov. 16th, 2023

Abstract

As a simple, timely, non-invasive and non-radiation technology, lung ultrasound (LUS) has been widely used in the diagnosis of various lung diseases with the progress of ultrasound technology, management of tracheal intubation and guidance on protective pulmonary recruitment. This article reviews the application progress of pulmonary ultrasound in the perioperative period.

*通讯作者。

文章引用: 阿拉努尔·阿尤甫, 喇宏玲, 苏涛. 肺部超声的围术期应用进展[J]. 临床医学进展, 2023, 13(11): 17750-17756. DOI: 10.12677/acm.2023.13112489

Keywords

Lung Ultrasound, Perioperative Period, Diagnosis of Pulmonary Diseases

Copyright © 2023 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

机械通气是全身麻醉中的主要呼吸支持方式,然而由机械通气所致的肺不张、肺损伤等肺部并发症(postoperative pulmonary complications, PPCs)是影响患者预后的重要因素之一。因此,从气管插管、术中机械通气管理、气管插管的拔管时机、到术后 PPCs 诊断整个围术期精准管理是改善患者临床预后的重要组成部分。随着可视化技术在麻醉学领域的广泛开展,近年来 LUS 的应用也逐渐受到关注。采用可视化技术优化机械通气,进行个体化麻醉管理,可减少患者术中及术后肺不张的发生率。本文就 LUS 在围术期应用的相关进展综述如下。

2. 肺部超声

肺部超声于 20 世纪 90 年代初首次被提及且 20 年来应用越来越广泛。根据相关指南超声常见基本征象为 A 线、B 线和诊断不同肺部疾病的特殊征象蝙蝠征、沙滩征、肺滑动征等[1]。其中 A 线是高回声线,代表了肺的正常模式。B 线被定义为起源于胸膜线并与之垂直的无衰减束样带高回声,可延伸至屏幕底部,并随呼吸运动而移动。若肺部存在病变,肺间质及肺泡内通气量减少时可见 B 线。B 线还可出现在有心源性肺水肿、急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)和实变周围炎症区域[2]。肺不张的诊断及 LUS 评分目前多采用 Rouby [3] 双肺 12 区分法,即采取仰卧位、侧卧位或俯卧位姿势,以胸骨旁线、腋前线、腋后线、双乳头连线将每侧肺分为前上/下、腋上/下、后上/下。以上每个区域基于超声显像不同可评为 0~3 分: A 线或肺滑动征, ≤2 根 B 线, 评 0 分提示正常肺通气; ≥3 根 B 线, 评 1 分提示轻度肺通气功能减少; 融合 B 线, 评 2 分为中度肺通气功能减少; 肺实变 3 分。综上, LUS 评分可根据 A, B 线的数目及分布定量评估肺部疾病,有助于监测病情及指导治疗。

3. 围术期的应用

3.1. 指导气管插管

3.1.1. 准确定位单腔气管插管深度

目前气管插管的深度通过肺部听诊、纤维支气管镜、呼末二氧化碳和基于患者年龄、身高的公式来确定[4]。据既往研究气管插管的最佳位置在第一胸椎上缘(T1)和第三胸椎下缘(T3)之间。据 Ahn [4] 等人的研究,在麻醉诱导前,设定 G 点为 T1 上缘和 T3 下缘之间连线的中心,设定 G 距离定义为是患儿气管的退出距离。按照患儿术前胸片测定隆突到 T1 上缘的距离,隆突到 T3 下缘的距离,隆突到目标(G)点的距离(G 距离),插管时在超声显示肺滑动征时,假定 ETT 位于隆凸上,按照之前测定的 G 距离后退气管导管,对照组插管时当左侧腋中线出现呼吸音,也按照 G 距离后退气管导管,最终结果表明利用超声显示的肺滑动征定位气管导管的最佳位置优于听诊法,并可减少插管后严重并发症的发生,包括肺不张或低氧血症、气胸、气管损伤、意外脱管甚至是死亡等。

3.1.2. 支气管封堵器 + 双腔支气管插管应用

胸外科手术中为防止术侧肺分泌物进入健侧肺,避免交叉感染,确保气管通畅,常使用单肺通气(one lung ventilation, OLV)技术。临床上常用双腔气管导管(double-lumen tube, DLT)来实现 OLV。插管后,在建立 OLV 前,必须精确定位 DLT 在气管和主干支气管中的正确位置,DLT 错位可导致围术期并发症发生率和死亡率明显升高[5],通过盲法实施 DLT 时错位率约为 48%。利用纤维支气管镜引导下定位双腔支气管镜时易因纤维支气管镜纤细而折断光纤[6]。结合视频喉镜及纤支镜两种特性可视型双腔气管导管(visual double lumen tube, VDLT),虽能显著减少气管隆凸处黏膜损伤,但因为其导管摄像头只能一次性使用,增加患者的经济负担[7]。使用 LUS 定位时,术侧肺滑动征和沙滩征消失,而健侧存在此征象时,即可判断肺隔离成功,且使用 LUS 判断肺隔离表现出与纤维支气管镜相似的敏感性和特异性[8],并能更快定位 DLT 的位置,明显减少医疗花费。DLT 的直径相对较大且易因体位变动而发生位置的变换,因此有研究认为支气管封堵器在困难气道患者较 DLT 更有优势。据杜宪[9]等人的研究,以纤支镜为金标准,比较肺部超声及听诊法定位左支气管封堵器位置,最终结果表明肺部超声用时时间与听诊法相似,用于判断单肺通气肺隔离效果优于听诊法。故 LUS 可作为听诊的替代方法在定位双腔支气管导管及支气管封堵器中开展。

3.2. 指导术中肺保护性通气策略

肺保护性策略现广泛应用于全麻手术患者机械通气的肺部管理。“保护性肺通气”的核心组成包括小潮气量、合理的呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)和肺复张[10]。

3.2.1. 指导肺复张

使用肺复张的目的是通过在可控范围内逐渐增加气道压力使塌陷的肺泡重新开放[11]。近年常用的肺复张操作方法包括手法肺复张、PEEP 递增法肺复张,各种类型肺复张方法均能使萎陷的肺泡复张,但是各种肺复张操作各有利弊。对患者实施肺复张时当患者气道压力过低无法使全部塌陷的肺泡膨胀,气道压力过高容易造成气压伤最终导致肺损伤[12]。而 LUS 可以实时观察肺泡通气情况,可进行个体化肺复张。Lee [13]等人的研究表明,通过 LUS 指导下逐渐增加气道压的方法进行肺复张与常规肺复张方式相比,使监测肺泡的开放情况可视化,减少了患者术中肺不张和术后低氧血症的发生。总之,超声对于动态监测肺部塌陷及复张过程中非常有应用价值。

3.2.2. 指导个体化 PEEP 的设定

据既往报道 85%~90%的患者在麻醉诱导后即可出现肺不张[14],合理应用 PEEP 可以防止肺不张的形成。用小潮气量伴有 PEEP 的肺复张会减少肺不张的发生率,而高水平 PEEP 可导致峰值压力和肺内静脉压力升高,最终导致肺内分流增加和通气/灌注比不匹配导致 QS/QT 升高。只有个体化 PEEP 可改善术中和术后肺功能[15]。目前常用滴定 PEEP 方法较多,但大部分方法操作繁琐,而肺部超声的应用提供了更加简单有效的方法。LUS 指导下最佳 PEEP 的滴定方式为[16]:先使肺充分复张,设置高 PEEP 水平,每隔 3~5 分钟将 PEEP 递减 2 cm H₂O,每次 PEEP 水平均进行肺超声观察,直至出现肺泡大量的塌陷,在该值基础上增加 2 cm H₂O 即为最佳 PEEP。据既往研究肺复张后[17],随着 PEEP 水平的降低,肺泡塌陷,LUS 评分逐渐增加,LUS 征象从 A 线转变为 B 线,继而 B 线数量逐渐增加并融合在一起,当肺通气严重减少可出现肺实变。随着 PEEP 水平的增加,肺泡逐渐复张,LUS 评分逐渐降低。根据 LUS 评分能够准确辨别肺泡的开放压和闭合压[16]。LUS 被认为是一种能够于床旁指导肺保护性通气的可视化工具。

3.3. 指导术后气管插管拔除

全麻术后尽管严格按照气管导管拔管指征,仍有部分患者拔管失败造成呼吸衰竭或需要二次插管,

导致患者转入 ICU, 增加住院时间、费用等。而延迟拔管可能导致呼吸机相关性肺炎[18], 因此合适的拔管时机十分重要。据既往研究即使通过自主呼吸试验(spontaneous breathing trial, SBT)后脱离呼吸机, 最终仍有高达 32% 的患者脱机失败[19]。而通过 LUS 既能够在短时间内全面、量化评估并精确掌握肺部不同区域的病变程度。Soliman [20] 等人研究采用 SBT60 min, 以 12 分区法定义总分为 0~36 分, 并将 LUS 评分 >15.5 分为界值来预测机械通气患者脱机失败, 发现其敏感度为 70%, 特异度为 82.5%。杨婷[19] 等人研究也表明, LUS 评分越高, 拔管失败的风险越大, 当 LUS ≥ 15 分的患者拔管后序贯应用预防性无创机械通气(non-invasive ventilation, NIV)治疗或高流量鼻导管氧疗(high flow nasal cannula oxygen, HFNCO)治疗, 能有效预防拔管失败及再插管。综上所述, LUS 在患者拔管过程中, 作为可视化技术可早期识别拔管失败高风险率患者, 降低脱机失败率及再次插管风险。

3.4. 术后肺部并发症的诊断

3.4.1. 肺不张

肺不张是全麻术后最常见的肺部并发症, 其发生率在 50%~90% [21]。超声检查的主要优点是可以在任何放射学症状出现之前立即排除肺不张; 肺滑行征消失结合肺搏动是肺不张早期的征象, 可以通过这些征兆早期发现全肺塌陷。所谓的“肺搏动”是种动态征象: 当肺滑动消失时, 可见胸膜线呈垂直运动, 与心脏节律一致, 这是由于肺内通气不足, 导致心脏搏动引起胸膜线的震动[22]。肺不张主要发生在肺依赖区, 其相应区域 LUS 的典型征象为: 肺前外侧部分为胸膜下无回声的组织样碎屑样区域, 肺背部为不规则胸膜线加分离的 B 线[21]; 综上, 使用肺部超声动态监测, 可以较早发现并及时指导肺复张, 减少全麻患者术后肺不张的发生率。

3.4.2. 胸腔积液

危重患者的肺部检查是通过床边胸部 X 线片或 CT 进行[23], 尽管胸部 CT 是诊断胸腔积液的金标准, 其检查费用昂贵, 且外出风险较高。胸腔积液的体积至少为 200 ml 时, 胸部 X 线才能检测到直立位患者的胸腔积液, 而超声可以检测到小至 20 ml 的积液[24]。同时通过 LUS 可判断胸腔积液的性质。一般而言, 在超声上表现为无回声区提示漏出性胸腔积液, 表现为复杂的未分隔区(黑色与白色线束), 以及复杂的分隔区(黑色与白色间隔)提示渗出性胸腔积液[25]。超声引导下胸腔穿刺术具有降低气胸的发生率的优势[26]。基于以上优点, 肺部超声将会在诊断胸腔积液当中成为必不可少的检查工具。

3.4.3. 肺炎

呼吸机相关肺炎(Ventilator associated pneumonia, VAP)是机械通气患者中最常见的非细菌性感染[27]。尽管 VAP 的床旁诊断主要依靠胸部 X 射线, 但在重症患者身上较难实现。而 LUS 可早期识别胸膜下感染病灶或空气支气管征。当 LUS 出现实变区(不均匀或组织状回声结构)、肺叶或胸膜下实变区内的动态空气支气管影即可诊断为 VAP [28]。LUS 评分结合降钙素原(Procalcitonin, PCT)诊断肺炎性能优于临床肺部感染评分(Clinical pulmonary infection score, CPIS) [27]。证明 LUS 评分对于量化肺部通气和监测 VAP 抗生素疗效是可靠的指标。

3.4.4. 气胸

气胸是严重的围手术期并发症, 是导致急性呼吸困难及全身麻醉期间发生低氧血症的最常见原因之一。突发性胸痛、呼吸急促, 甚至呼吸衰竭是其主要的临床特征, 由于胸腔内压力的突然变化, 静脉回流血流受阻, 循环系统的稳定性受到影响。因此, 迫切需要早期诊断和治疗。全身麻醉下的病人, 气胸症状可能不明显, 这就会延误诊断和治疗, 而 LUS 可在床旁立即操作[29]。Wernecke [30] 等在 1987 年首次报道使用超声检测气胸, 提出气胸发生时彗星尾征(comet tail artifacts)及肺滑动征(lung sliding)会消失。

利用 LUS 诊断气胸时, 主要通过以下 4 种征象进行识别评估, 即肺滑动、B 线、肺点和肺脉。通过肺滑动征[31]可以排除气胸, 肺滑动征是内脏和顶层胸膜之间相对运动的正常肺部征象, 在呼吸运动时超声可见。有报道称, 通过肺滑动征诊断气胸的阴性预测值为 100%。气胸的超声诊断主要取决于肺点, 所谓的肺点是随着呼吸运动, 在实时超声下所见肺滑动征存在与消失交替出现的分界点, 在诊断气胸时特异性为 100% [29], 此外其还可以确定气胸的边界, 指导胸腔闭式引流管的放置。

3.4.5. 肺水肿

急性肺水肿是肺循环障碍的表现之一, 在正常肺中, 液体通过毛细血管内皮细胞之间的间隙流出。肺毛细血管中流体静压的突然增加会导致水肿。多见于细菌性或病毒性肺炎、ARDS、充血性心力衰竭、尿毒症等[32]。肺水肿按其病因分为由急性左心衰引起的心源性肺水肿及由其他疾病引起的非心源性肺水肿两类。其中心源性肺水肿在急症监护室中尤为常见。肺水肿严重影响肺功能, 且病情变化迅速, 病死率极高。虽目前诊断心源性肺水肿最准确的方法是肺毛细血管嵌顿压测定, 但有创且价格昂贵。因此一般依赖胸部 X 线和胸部 CT 两种影像学方法[33]。胸部 X 线可在床边诊断, 但灵敏度较低, 且具有放射性。胸部 CT 具有较高特异度和灵敏度, 但危重症患者外出风险高。而据 Cantinott [34]等人的研究, 利用 LUS 显示的 B 线能早期显示肺损伤过程中血管外水积聚, 在氧合指数($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$)尚正常或胸部 X 线表现无明显变化时即可观察到 B 线。用 LUS 探查伴有肺滑动且双侧 ≥ 3 根 B 线即提示心源性肺水肿[35]。Wooten [36]等人研究中也发现, LUS 诊断肺水肿的敏感性(96%)高于胸部 X 线(65%)。因此 LUS 相较于放射影像学手段更适用于急性肺水肿的早期诊断, 并能监测病情变化, 指导治疗。

4. 总结及展望

近年来 LUS 作为一种无创方法, 具有实时监测, 补充及替代放射影像学的优点已从急诊及重症监护室广泛应用至手术麻醉科。目前超声不仅仅用于指导临床操作, 在呼吸道管理、血流动力学监测中具有不可替代的应用价值, 已成功用于准确定位气管导管, 指导术中个体化 PEEP 滴定, 评估围术期患者的肺复张能力, 预测拔管时机以及诊断围术期肺部并发症(胸腔积液、气胸、肺不张和肺炎)。使用肺部超声仍存在一些局限性, 其易受患者自身特殊病理生理状态对肺部超声结果会产生干扰, 如皮下气肿、全身性水肿、肥胖, 此外还受临床操作者技术的影响。此外虽然肺部超声引导下的肺复张改善了术中肺不张, 但对于其他指标如血流动力学, 呼吸参数等是否有特殊的改善作用, 需要进一步研究来证明。因此如何使用肺部超声精确地量化解解决呼吸道管理, 仍需我们深入挖掘, 以便更好地指导临床实践。

参考文献

- [1] Buda, N., Kosiak, W., Wenicki, M., et al. (2020) Diagnostics Guidelines Recommendations for Lung Ultrasound in Internal Medicine. *Diagnostics*, **10**, 597. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10080597>
- [2] Soldati, G., Demi, M., Smargiassi, A., et al. (2019) The Role of Ultrasound Lung Artefacts in the Diagnosis of Respiratory Diseases. *Expert Review of Respiratory Medicine*, **13**, 163-172. <https://doi.org/10.1080/17476348.2019.1565997>
- [3] Arbelot, C., Dexheimer Neto, F.L., Gao, Y., et al. (2020) Lung Ultrasound in Emergency and Critically Ill Patients: Number of Supervised Exams to Reach Basic Competence. *Anesthesiology*, **132**, 899-907.
- [4] Ahn, J.H., Kwon, E., Lee, S.Y., et al. (2019) Ultrasound-Guided Lung Sliding Sign to Confirm Optimal Depth of Tracheal Tube Insertion in Young Children. *BJA British Journal of Anaesthesia*, **123**, 309-315. <https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.03.020>
- [5] Marchi, L.D., Patel, J. and Razmjou, K. (2020) Lung Ultrasound in Thoracic Surgery: Confirming Placement of a Pediatric Right Double-Lumen Tube. *A & A Practice*, **14**, e01296. <https://doi.org/10.1213/XAA.0000000000001296>
- [6] 吕艳辉. 纤维支气管镜引导下双腔支气管导管插管在胸外科手术麻醉中的应用效果[J]. 中国医药指南, 2021, 19(15): 55-56.
- [7] Onifade, A., Lemon-Riggs, D., Smith, A., et al. (2020) Comparing the Rate of Fiberoptic Bronchoscopy Use with a

- Video Double Lumen Tube versus a Conventional Double Lumen Tube—A Randomized Controlled Trial. *Journal of Thoracic Disease*, **12**, 6533-6541. <https://doi.org/10.21037/jtd-20-1595>
- [8] Onifade, A., Lemon-Riggs, D., Smith, A., *et al.* (2020) Comparing the Rate of Fiberoptic Bronchoscopy Use with a Video Double Lumen Tube versus a Conventional Double Lumen Tube—A Randomized Controlled Trial. *Journal of Thoracic Disease*, **12**, 6533-6541. <https://doi.org/10.21037/jtd-20-1595>
- [9] 杜宪, 高艳平, 朱宏岩, 乔世刚, 王琛. 肺部超声在支气管封堵单肺通气中对判断肺隔离的影响[J]. 临床麻醉学杂志, 2020, 36(11): 1063-1067.
- [10] Stberg, E., Thorisson, A., Enlund, M., *et al.* (2018) Positive End-Expiratory Pressure Alone Minimizes Atelectasis Formation in Nonabdominal Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Anesthesiology*, **128**, 1117-1124. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002134>
- [11] Liu, Y., Wang, J., Geng, Y., *et al.* (2022) The Effect of Ultrasound-Guided Lung Recruitment Maneuvers on Atelectasis in Lung-Healthy Patients Undergoing Laparoscopic Gynecologic Surgery: A Randomized Controlled Trial. *BMC Anesthesiology*, **22**, Article No. 200. <https://doi.org/10.1186/s12871-022-01742-1>
- [12] (2019) Effect of Intraoperative High Positive End-Expiratory Pressure (PEEP) with Recruitment Maneuvers vs Low PEEP on Postoperative Pulmonary Complications in Obese Patients: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*, **321**, 2292-2305.
- [13] Lee, J.H., Choi, S., Ji, S.H., *et al.* (2020) Effect of an Ultrasound-Guided Lung Recruitment Manoeuvre on Postoperative Atelectasis in Children: A Randomised Controlled Trial. *European Journal of Anaesthesiology*, **37**, 719-727. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000001175>
- [14] Rothen, H.U., Sporre, B., Engberg, G., *et al.* (1995) Prevention of Atelectasis during General Anaesthesia. *The Lancet*, **345**, 1387-1391. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(95\)92595-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(95)92595-3)
- [15] Wang, Y., Wang, H., Wang, H., *et al.* (2019) Exploring the Intraoperative Lung Protective Ventilation of Different Positive End-Expiratory Pressure Levels during Abdominal Laparoscopic Surgery with Trendelenburg Position. *Annals of Translational Medicine*, **7**, 171. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.03.45>
- [16] 闫声明. 肺部超声指导肺保护性通气对开腹胃肠手术患者围术期肺功能的影响[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连医科大学, 2020.
- [17] 罗前程, 刘瑞, 曲凯丽, 等. 床旁即时肺部超声结合压力-容积曲线设定 PEEP 对 ARDS 肺复张的临床评价[J]. 宁夏医科大学学报, 2021, 43(1): 22-28.
- [18] Li, S., Chen, Z. and Yan, W. (2021) Application of Bedside Ultrasound in Predicting the Outcome of Weaning from Mechanical Ventilation in Elderly Patients. *BMC Pulmonary Medicine*, **21**, Article No. 217. <https://doi.org/10.1186/s12890-021-01605-4>
- [19] 杨婷, 张玮, 杨德兴, 夏婧, 钱传云. 肺部超声对机械通气患者拔管成功率预测价值的研究[J]. 重庆医学, 2018, 47(7): 896-898+901. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-8348.2018.07.009>
- [20] Belal, S., *et al.* (2019) Chest Ultrasound in Predication of Weaning Failure. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, **7**, 1143-1147.
- [21] Goel, N., Sen, I.M. and Bakshi, J. (2022) Lung Ultrasonography as a Tool to Guide Perioperative Atelectasis Treatment Bundle in Head and Neck Cancer Patients Undergoing Free Flap Reconstructive Surgeries: A Preliminary Observational Study. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, **88**, 204-211. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2020.05.030>
- [22] Alonso, J., Hernández, R.M.M., Rueda, F.R., *et al.* (2020) Lung Pulse Visualized through Pleural Effusion as a Diagnostic Sign of Complete Obstructive Atelectasis of the Left Lung in a Critical Patient with Respiratory Failure. *Revista Española de Anestesiología y Reanimación (English Edition)*, **67**. <https://doi.org/10.1016/j.redare.2020.02.003>
- [23] Silva, C.F. and Kauczor, H.U. (2019) Value-Based Radiology in Thoracic Imaging. In: Silva, C.F., von Stackelberg, O. and Kauczor, H.-U., Eds., *Value-Based Radiology: A Practical Approach*, Springer, Berlin, 87-102. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-31555-9>
- [24] Patel, K.M., Ullah, K., Patail, H., *et al.* (2021) Ultrasound for Pleural Disease: Beyond a Pocket of Pleural Fluid. *Annals of the American Thoracic Society*, **18**, 749-756. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.202008-948CME>
- [25] Shkolnik, B., Judson, M.A., Austin, A., *et al.* (2020) Diagnostic Accuracy of Thoracic Ultrasonography to Differentiate Transudative from Exudative Pleural Effusion. *Chest*, **158**, 692-697. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.02.051>
- [26] Shechtman, L., Shrem, M., Kleinbaum, Y., *et al.* (2020) Incidence and Risk Factors of Pneumothorax Following Pre-Procedural Ultrasound-Guided Thoracentesis. *Journal of Thoracic Disease*, **12**, 942-948. <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.12.39>
- [27] Poddar, B., Gurjar, M., Neyaz, Z., *et al.* (2021) Incorporating Lung Ultrasound in Clinical Pulmonary Infection Score as an Added Tool for Diagnosing Ventilator-Associated Pneumonia: A Prospective Observational Study from a Tertiary Care Center. *Indian Journal of Critical Care Medicine*, **25**, 284-291.

-
- <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-23759>
- [28] Jiang, P. and Wei, J. (2022) The Application of Pulmonary Ultrasound in Neonatal Ventilator-Associated Pneumonia. *Frontiers in Pediatrics*, **10**, 882056. <https://doi.org/10.3389/fped.2022.882056>
- [29] Zhang, G., Huang, X., Wan, Q., *et al.* (2020) Ultrasound Guiding the Rapid Diagnosis and Treatment of Negative Pressure Pulmonary Edema: A Case Report. *Asian Journal of Surgery*, **43**, 1047-1048. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2020.07.004>
- [30] Wernecke, K., Galanski, M., Peters, P.E., *et al.* (1987) Pneumothorax: Evaluation by Ultrasound—Preliminary Results. *Journal of Thoracic Imaging*, **2**, 76-78. <https://doi.org/10.1097/00005382-198704000-00015>
- [31] Yin, M.G., Wang, X.T., Liu, D.W., *et al.* (2018) Technical Specification for Clinical Application of Critical Ultrasonography. *Chinese Journal of Internal Medicine*, **57**, 397-417.
- [32] Wang, Y., Shen, Z., Lu, X., *et al.* (2018) Sensitivity and Specificity of Ultrasound for the Diagnosis of Acute Pulmonary Edema: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Medical Ultrasonography*, **1**, 32-36. <https://doi.org/10.11152/mu-1223>
- [33] Dobbe, L., Rahman, R., Elmassry, M., *et al.* (2019) Cardiogenic Pulmonary Edema. *The American Journal of the Medical Sciences*, **358**, 389-397. <https://doi.org/10.1016/j.amjms.2019.09.011>
- [34] Cantinotti, M., Ali, L.A., Scalese, M., *et al.* (2018) Lung Ultrasound Reclassification of Chest X-Ray Data after Pediatric Cardiac Surgery. *Pediatric Anesthesia*, **28**, 421-427. <https://doi.org/10.1111/pan.13360>
- [35] Iwakura, K. and Onishi, T. (2021) A Practical Guide to the Lung Ultrasound for the Assessment of Congestive Heart Failure. *Journal of Echocardiography*, **19**, 195-204.
- [36] Wooten, W.M., Shaffer, L. and Hamilton, L.A. (2019) Bedside Ultrasound versus Chest Radiography for Detection of Pulmonary Edema a Prospective Cohort Study. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **38**, 967-973. <https://doi.org/10.1002/jum.14781>