

重症超声在脓毒性休克液体复苏治疗中的研究进展

黄德宽¹, 李 军^{2*}

¹右江民族医学院研究生学院, 广西 百色

²右江民族医学院附属医院重症医学科, 广西 百色

收稿日期: 2026年8月2日; 录用日期: 2026年8月26日; 发布日期: 2026年9月4日

摘 要

脓毒性休克(septic shock)是重症监护病房常见的一种急危重症,在对患者进行救治时,液体复苏是治疗的核心环节。但传统的基于静态参数的液体复苏策略常不能正确评价患者的容量状态和反应性,容易造成复苏不足或者容量过负荷的情况发生。而重症超声是一种无创且动态的床旁评估手段,可通过对心脏功能、下腔静脉变异度以及肺水的情况来反应对脓毒性休克患者的精细化液体管理。本文就目前重症超声应用在脓毒性休克液体复苏治疗的研究进展进行了综述,着重讨论了重症超声用于评估容量反应性和监测器官灌注、指导液体管理和避免容量过负荷等方面的临床意义并总结了现有研究情况,旨在为临床工作提供借鉴。

关键词

脓毒性休克, 重症超声, 液体复苏, 容量反应性, 下腔静脉, 心功能评估

Research Progress of Severe Ultrasound in the Treatment of Septic Shock Fluid Resuscitation

Dekuan Huang¹, Jun Li^{2*}

¹Graduate School of Youjiang Medical University for Nationalities, Baise Guangxi

²Department of Intensive Care Unit, The Affiliated Hospital of Youjiang Medical University for Nationalities, Baise Guangxi

Received: August 2, 2026; accepted: August 26, 2026; published: September 4, 2026

*通讯作者。

文章引用: 黄德宽, 李军. 重症超声在脓毒性休克液体复苏治疗中的研究进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(9): 550-558.
DOI: 10.12677/acm.2026.1693078

Abstract

Septic shock is a common acute and severe disease in intensive care unit. In the treatment of patients, fluid resuscitation is the most important part. Traditional fluid resuscitation strategies based on static parameters often fail to correctly evaluate the patient's volume status and responsiveness, which is likely to cause insufficient resuscitation or volume overload. Severe ultrasound is a non-invasive and dynamic bedside evaluation method, which can achieve a new idea of precise fluid management for patients with septic shock through cardiac function, inferior vena cava variability and lung water status. This article reviews the research progress of severe ultrasound in the treatment of septic shock fluid resuscitation. The clinical significance of critical ultrasound in evaluating volume responsiveness, monitoring organ perfusion, guiding fluid management and avoiding volume overload was discussed, and the existing research situation was summarized in order to provide reference for clinical work.

Keywords

Septic Shock, Severe Ultrasound, Fluid Resuscitation, Volume Responsiveness, Inferior Vena Cava, Cardiac Function Evaluation

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

脓毒性休克是由严重感染引起的循环衰竭和细胞代谢异常的一种疾病, 主要病理生理过程涉及血管扩张、有效循环血量不足以及组织灌注障碍等, 液体复苏的目标在于快速恢复心输出量和器官灌注, 但过高的液体复苏会导致组织水肿、肺水肿或腹腔高压, 并且会使得病死率上升, 所以精准地进行液体管理对于改善患者的预后尤其重要。传统的评估指标如中心静脉压(CVP)、肺动脉楔压(PAWP)是经典容量评估指标, 两者为静态的压力性评估指标, 并需要进行中心静脉置管、肺动脉导管置入等有创操作才能获得监测数值, 具有较强的侵入性、静态、灵敏度低等临床监测不足的特点。有关液体复苏策略的争论从未停止, 比如在 CLOVERS 试验中, 研究人员比较了限制性的液体策略(优先使用血管升压药)与开放性液体策略(优先输注大量的晶体液)对脓毒性休克患者预后的影响, 在该试验中, 两个小组的 90 天病死率没有明显差别[1]。另外, 液体种类选择也是人们关心的问题之一, 一项基于临床试验的研究表明, 相比于 0.9%生理盐水, 初始液体复苏时采用乳酸林格氏液与脓毒性休克患者 90 天病死率降低相关[2]。上述研究表明液体复苏策略非常复杂, 需要更加精准的监测工具以指导个体化的治疗。

重症超声具有便携、可重复以及可以进行多种角度的评估的优点, 其在临床上得到了广泛的应用, 近年也被推荐作为液体复苏的一线监测工具。有研究结果表明, 使用重症超声来指导液体管理能明显地减少脓毒性休克患者的复苏期间液体总入量、血管活性药物用量, 并且可以缩短机械通气时间和 ICU 住院时间[3]。同时也有相关研究结果证明重症超声指导下液体管理能缩短患者的机械通气时间、ICU 治疗时间及住院时间并且降低了 28 天病死率[4]。这说明重症超声能够克服传统的静态指标的不足之处, 给临床医生提供了实时、动态的血流动力学的信息以指导更加准确的液体复苏。

2. 重症超声评估容量反应性的应用

2.1. 被动抬腿实验联合重症超声

被动抬腿实验(passive leg raising, PLR): 是通过快速抬高患者的下肢至 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 来调动内脏区域和下肢的血液使其静脉回流而增加回心血量约 300 mL 并增加心脏前负荷的试验, 可以预测机体的容量反应性[5]。但是 PLR 有时具有时间限制性, 所以需要实时监测心排量。随着近几年重症超声发展, 有研究者发现, 通过 PLR 结合 POCUS 测定 SV 可以预测患者的容量反应性。在一项针对脓毒性休克的研究表明, 使用 PLR 引导的心排血量的变化进行液体和血管加压复苏来指导脓毒性休克的管理是安全的, 并且可以降低呼吸衰竭和肾功能衰竭的风险、改善脓毒性休克患者的预后[6]。李刚等[7]为了探讨 PLR 联合经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)引导脓毒性休克患者早期液体复苏的临床意义开展了一项随机对照试验, 其结果显示相比于传统的快速补液, 使用 PLR 联合 TTE 检查指导的早期液体复苏治疗策略可以更好的改善脓毒性休克患者组织器官灌注和氧合水平、避免了快速补液造成的肺水肿并缩短了住院时间。

2.2. 下腔静脉相关指标

下腔静脉直径(IVC-d)、下腔静脉呼吸变异度(IVC-CI)是目前指导脓毒性休克患者液体复苏的重要影像学参考参数。下腔静脉是人体的主要回心静脉之一, 随着胸腔内的压力和中心静脉压以及全身循环容量状态的变化而发生有规律地变化, 通过超声可视化的检测获得的 IVC-d 和 IVC-CI 可以直观反映出机体前负荷储备的能力, 对临床判断患者的液体反应性和制定个体化的补液方案具有客观依据。IVC-CI 的临床诊断阈值受呼吸模式影响较大: 在机械通气患者中, 当 IVC-CI $> 12\%\sim 18\%$ 时提示容量反应性好, 而对于自主呼吸患者的阈值要高一些约 $40\%\sim 50\%$ [8]。这些参数指标检测稳定性和预测能力容易受到诸多临床混杂因素的影响如: 腹内压异常升高、呼吸机参数设置不当、患者体位变动等均可以对下腔静脉的解剖形态和呼吸波动产生直接影响, 从而造成 IVC-CI 检测结果出现偏差, 该参数就不能真正反映出患者的实际容量情况。但该指标对于一些特殊的合并症患者仍然具备一定的预测效能, 只是需要针对不同情况进行诊断阈值的调整。例如心房颤动是重症患者常见的几种心律失常之一, 在房颤发作期间, 患者心室律绝对不齐, 心脏舒张期充盈时间紊乱, 会打破下腔静脉管径的规律性的呼吸波动, 使得常规 IVC-CI 的诊断阈值不同[9], 因此, IVC-d 和 IVC-CI 并不是一种通用的绝对化的评估指标, 临床使用过程中还需要充分考虑各种临床背景信息来进行综合分析。

2.3. 主动脉血流速度时间积分监测

通过超声测量左心室流出道(LVOT)的流速时间积分(VTI), 可以在补液前、后动态地观察心输出量的变化情况, 当 VTI 增加 $> 10\%\sim 15\%$ 时视为容量反应性阳性[10]。这种方法有较好的重复性和实时性, 并发症少, 在非心律失常病人中比 IVC 指标更准确地预测容量反应性, 特别适合于低心排的状态, 一项系统分析的研究表明: 主动脉血流峰流速呼吸变异度(ΔV_{peak})预测容量反应性的合并敏感度和特异度分别是 0.84 和 0.82, 曲线下面积(AUC)是 0.89 [11], 该研究表明了主动脉血流峰流速的相关指标对于容量反应性管理的重要意义。在国内也有学者证明, 使用迷你容量负荷试验(mini-FC)联合床旁超声心动图监测 ΔVTI 可以快速评估机械通气患者的容量反应性, 其 AUC 达到了 0.94 [12]。但是这种技术需要较清楚 LVOT 的图像才能进行, 而且受到声窗及操作者的限制。

2.4. 上腔静脉与颈内静脉指标

对于重症超声而言, 测量计算上腔静脉(SVC)的呼吸变异度(SVC-CI)也适用于机械通气患者的评价,

并以 SVC-CI 大于 36% 为阈值, 尤其适合于有较高腹腔内压的患者[13]。另外还有颈内静脉(IJV)直径的变化和超声下颈内静脉塌陷指数(IJV-CI), 研究表明, 它与 IVC-CI 的相关性良好, 可作为一种替代方法用于不能得到 IVC 声窗的情况[14]。一项研究通过颈内静脉/颈总动脉(IJV/CCA)截面积比值来评估重症患者的容量反应性发现其和 PLR 试验后中心血流量改变(ΔCO)呈显著负相关, 当截面积比值为 1.65 时, 评估容量反应性的敏感度: 86.4%, 特异度: 78.8% [15]。但是这些指标需采用标准化的测量体位(例如: 平卧、半卧), 并且对病人有一定的配合程度的要求。

3. 重症超声在心脏功能与液体耐受性评估中的应用

3.1. 左心收缩功能评估

脓毒性休克常常伴发心肌抑制(即脓毒症诱导的心肌功能障碍 SIMD), 是脓毒性休克最常出现心血管系统的并发症之一, 已有的临床研究显示, 在脓毒性休克患者中 SIMD 的发生率超过了 50%, 是影响患者的循环稳态及病情转归的一个重要因素[16]。左心室射血分数(LVEF)减少是常见的 SIMD 表现, 重症超声可以床边快速测量 LVEF, 可帮助发现心源性休克或者混合型休克病人并进行个体化的治疗[17], 然而 LVEF 对早期心肌损伤不敏感。斑点追踪超声心动图(STE), 能够通过测量左心室的整体纵向应变(GLS)来检测到常规 LVEF 还处于正常范围内时存在的亚临床心肌功能障碍[18], 研究结果显示 GLS 和心肌损伤标志物例如肌钙蛋白 I(cTnI)中度相关, GLS 绝对值降低和脓毒症病人的不良预后有明显关系, 在液体复苏的过程中需要更加小心以免诱发心力衰竭[18]。因此, 把 GLS 当作 LVEF 的一个补充指标可以帮助本文更好地了解左心收缩功能, 并且为液体复苏策略的制订提供了更为准确的参考标准。

3.2. 右心功能与肺动脉高压评估

在脓毒性休克中发生右心室功能障碍(RVD)的比例可达 30%~50%, 也是影响患者预后的重要危险因素之一[19]。通过重症超声可测量 TAPSE 和 RV/LV 比值等评价右心功能, 当 TAPSE < 16 mm 被认为存在 RVD, 并且与患者的 28 天死亡率升高密切相关[19]。RVD 对容量负荷的耐受能力明显降低, 在此情况下如果盲目地给予液体复苏很容易造成右心衰竭而出现循环崩塌。所以对于合并有 RVD 的脓毒症休克患者, 液体复苏应该更多依靠动态反应性的指标(如被动抬腿试验或者左室流出道速度时间积分变化)而不是单纯的静态容量参数以免造成容量过负荷对右心功能的进一步损伤。另外利用超声还可以评估右心室收缩压(RVSP)、肺动脉加速时间(PAT)来判断是否存在肺循环阻力升高、提示液体负荷过高[20]。

3.3. 舒张功能障碍评估

左心室舒张功能障碍(LVDD)同样也是脓毒性休克中常出现的心血管系统并发症, 并且发生舒张功能障碍要比收缩功能障碍更为常见, 它与患者不良结局息息相关[21]。重症超声可以通过测量二尖瓣血流频谱的 E/A 比值、通过组织多普勒测量的二尖瓣环间隔侧 e' 速度以及 E/e' 的比率来评价左心室舒张功能和左心房压力。研究表明重度 LVDD (例如: $E/e' > 14$) 和液体负荷后的肺水肿的风险明显增高有关, 表明这类病人对于容量负荷的耐受能力很差, 应谨慎处理液体复苏过程中的补液量并密切关注肺部超声以便尽早识别出肺水肿的情况[22]。全面评估左心室的收缩和舒张功能能够更好地反映出心脏整体的泵血能力和容量耐受性情况, 有利于临床医生进行高度个体化液体管理, 在保证有效循环血容量的前提下最大程度避免容量过负荷相关的并发症(如肺水肿、急性肾损伤) [23]。

4. 重症超声在肺水监测和容量过负荷预警中的应用

4.1. 肺超声 B 线评估肺水状态

肺超声中的 B 线(彗尾征)是评价肺间质水肿的重要指标之一, 其数量和分布可以半定量地反映血管

外肺水量的变化情况, 正常的肺组织在超声下一般呈现 A 线, 没有或者只有极少的 B 线[24]。在脓毒性休克液体复苏的过程中, B 线的数量变化是一个容量过负荷的早期敏感预警信号。有研究发现, B 线数量进行性的增多往往是比较片、临床听诊更早发生, 并且能提前几小时就提示肺水肿的存在[25]。一项对重症患者进行回顾性的研究发现, 肺超声 B 线评分和脉搏指示连续心排量(PiCCO)监测的血管外肺水指数(EVLWI)有明显的正相关关系, 其证明了使用 B 线来量化肺水的可靠性[26]。同时, B 线评分也与氧合指数($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$)成反比, 说明它也是评估肺功能恶化的一个好工具。临床上如果每个肺区的 B 线计数大于等于 6 条, 或左右两个肺区的总 B 线数目大于等于 30 条, 则认为存在严重的肺水肿的风险, 应该视为暂停或减慢补液的警告阈值[27]。所以, 在脓毒性休克的液体管理上, 通过动态观察肺超声 B 线的变化可以帮助本文更好地在容量反应性和液体耐受性之间找到一个合适的平衡点, 避免了由于过多的补液造成的医源性肺损伤。

4.2. 胸腔积液与肺实变监测

胸腔积液也是液体复苏中常见的一种并发症, 通过超声可以清楚地看到积液的量和位置以及内部回声情况等, 对临床有重要的指导意义。相对于胸部 X 线而言, 肺超声在检测胸腔积液方面的敏感度更高且更具体, 尤其是少量或者包裹性的积液, 相较于传统的影像学手段更具准确性[28]。同时利用超声引导下胸腔穿刺引流可以选择合适的穿刺点, 提高了安全性和有效性, 并能避免呼吸功能进一步恶化。另外, 肺实变(例如: 感染性实变)是重症患者常出现的另一类病理变化, 其超声表现的组织样回声强化、空气支气管征需要与肺水肿引起的 B 线相鉴别。而肺实变存在可能会干扰 B 线的判断, 所以在评价肺水的时候要结合肺超声的静态和动态模式来考虑。并且实时肺超声监测可以帮助临床医生分辨出心源性肺水肿还是感染性肺实变, 以更好地权衡抗感染治疗和液体管理之间的关系, 避免由于错误判断而导致延迟治疗或不恰当处理[29]。

4.3. 整合肺 - 心 - 血管超声的液体管理策略

目前, 以“肺 - 心 - 血管”三联超声为主的综合方案, 例如 FEEL (Focused Echocardiography in Emergency Life support)、BLUE (Bedside Lung Ultrasound in Emergency)方案已被广泛应用到脓毒性休克的管理中来, 在同时评价容量反应性和液体耐受性的基础上实现对血流动力学状态的全面掌握[30]。一般而言, 其实施过程分为 3 步骤: 第一是评估下腔静脉直径以及呼吸变异度、左心室流出道的速度 - 时间积分(LVOTVTI)等指标, 判断患者是否具有容量反应性; 第二是评估左心和右心的功能(如左室射血分数、右室大小及收缩功能), 判断心脏对于容量负荷的耐受性; 第三是利用肺超声监测 B 线的数量及其分布情况, 用作液体复苏的终点指标。有研究表明, 相较于传统中心静脉压(CVP)指导下的治疗, 采用此种整合策略可以明显减少肺水肿发生并缩短机械通气的时间[31], 这种心肺联合超声的应用能够更早发现心功能不全, 指导血管活性药物的使用, 进而改善脓毒性休克患者的预后。这种多模态的目标导向式超声评估策略为脓毒性休克的精准液体管理提供了一种强有力的工具。

5. 液体管理模式的转变及特殊情况下的考量

5.1. 液体去复苏管理研究

脓毒性休克患者最初阶段液体复苏是通过快速大量的补液来纠正低血压和组织缺氧, 在拯救脓毒症运动中液体复苏的量一直是争论的话题, 在早期有学者认为对于创伤患者的限制性液体输注可以增加他们的存活率[32]。随后限制性的液体策略被用于脓毒性休克的治疗之中, 越来越多的人意识到液体复苏的重要意义并开始讨论液体复苏治疗, “ROSE”模型[33]包括复苏(Resuscitation)、优化(Optimization)、稳

定(Stabilization)、清除(Evacuation), 液体治疗的反思体现了危重症医学由“越多越好”的理念转变为“精准平衡”。2020 年 BEAUBIEN-SOULIGY 等[34]对心脏手术后患者提出了 $VE \times US$ 评分, 利用下腔静脉、肝脏、门静脉以及肾内静脉的多普勒血流模式进行器官静脉充血的量化评价, 且发现它与之后发生急性肾损伤的相关性。当液体积聚的临床表现出现时, 器官的功能已经受到了影响了, 这时启动去复苏能够有效的改善器官功能。但 $VE \times US$ 在评估静脉充血及指导脓毒性休克患者液体去复苏中的实用性和有效性需要进一步验证, 而液体积聚但没有造成器官功能损伤时去复苏的必要性、时机及标准亦不清晰, 因此液体去复苏仍需进一步研究。

5.2. 结合临床中常见合并症的超声评估

在脓毒性休克中, 全身血管扩张、毛细血管渗漏显著地改变了心脏负荷条件, 对于有基础心脏病者来说, 心脏对其所受脓毒症引起的炎症反应及微循环障碍更加敏感, 更容易出现心肌抑制[35]。在临床工作中解读超声参数的时候需要考虑患者是否患有基础心脏病, 并意识到常规容量反应性的参数如下腔静脉变异度等可能会因为心脏顺应性改变而不具有预测作用。腹内高压(IAH), 指腹腔内的压力持续性或者反复性高于等于 12 mmHg, IAH 升高了膈肌和胸腔的压力, 直接压迫下腔静脉(IVC)的腹段, 使得 IVC 在超声上呈现的形态和呼吸变异度不再真实的反映出右房压和容量的状态[36]。因此, 在 IAH 患者中, 孤立地解读 IVC 可能会导致严重的容量管理失误。对于严重的 ARDS 患者常常需要使用较高的 PEEP (>10 cm H₂O)来保证患者的氧合情况, 在这样的情况下, 原来用来判断容量的指标比如左室流出道的速度-时间积分(LVOT VTI), 下腔静脉(IVC)呼吸变异度、每搏量变异度(SVV)等, 其原来的阈值提示就会大大降低[37]。在较高 PEEP 下 IVC 往往是处于持续扩张的状态, 塌陷率明显下降, 如果按照常规的标准去读图可能会认为没有容量反应性从而放弃补液。脓毒性休克患者经常伴有心律失常, 最常见的是心房颤动(AF), 由于 AF 左室充盈的时间逐搏发生变化, LVOT VTI 的测量应该至少连续采样 5~10 个心动周期, 并且取均值, 但是即使这样它所代表的也只是平均的心排量而不是逐搏的容量反应能力, 其不能准确地预测患者对液体复苏的反应[38]。

6. 重症超声在指导液体复苏中的临床应用挑战

6.1. 操作者依赖性与标准化问题

重症超声的应用取决于操作者的技术水平, 在一定程度上阻碍着它的推广应用。不同的经验和级别医生对于图像获得、测量以及解读有差别, 比如对下腔静脉(IVC)内径及呼吸变异度的测量可以相差 10%~20%, 影响到临床决策一致性[39]。为了克服这个问题, 最近几年开始开发自动辅助诊断工具尤其是人工智能(AI), 初步研究表明 AI 辅助的斑点追踪技术和 IVC 轮廓自动识别算法能大大提高测量的重复性和减少初学者学习曲线, 有可能达到更加标准的评估[40]。另外, 制定标准化的培训课程(如: 重症超声认证体系 CCEUS)和使用结构化的报告模板也是推广重症超声的重要措施。但是, 这些标准化方案的实施需要花费大量的时间和金钱, 这也极大地限制了它在各个医院的普及程度, 尤其是一些资源匮乏的地方。

6.2. 不同患者个体间差异

不同患者个体差异不同, 例如体型、合并疾病以及体位改变都会造成重症超声测量评估的误差, 一项关于 IVCD 的呼吸变化能否预测液体反应性的研究, 将纳入的研究对象分为液体有反应组及液体无反应组, 并且使用汇总统计数据对其结果进行分析, 结果显示 IVCD 呼吸变化对液体反应性的预测能力较差, 在自主呼吸患者中阴性结果不能用来排除液体反应性的情况, 所以使用下腔静脉超声辅助诊疗的时

候应考虑到实际情况[41]。在肥胖、腹腔高压或者心律失常的情况下, 常规的 IVC 直径及呼吸变异度、左室流出道速度-时间积分(VTI)等指标的准确性会大大降低, 此时就需要寻找其他的替代指标来评价这些患者的容量反应性, 比如颈内静脉变异度或是脾动脉血流动力学参数等等。与此同时, 基于心脏超声的血流动力学分型(低动力型、高动力型), 也被引入到临床并用以指导个体化液体和升压药联合使用的方案, 提高治疗的精准度[42]。未来的趋势可能是更多的关注多模态评估, 结合其他监测手段(如 PICCO, 生物电阻抗), 来进行更加全面的血流动力学评估。另外, 基于超声引导下闭环液体管理算法及人工智能对实时解读超声图像与预测液体反应性的应用, 有望实现快速且标准化的评估支持以改善脓毒性休克患者预后。

7. 结论

在脓毒性休克液体复苏管理方面, 重症超声作为动态、精准核心循环监测手段, 在实时容量反应性的评估、心功能监测和肺水状态判断以及综合运用等方面, 可以弥补中心静脉压等传统的静态参数不足, 并且使液体复苏由经验性补液转变为目标导向性治疗。它具有无创、可重复、床边即时的优点, 给重症医生提供了血流动力学可视化的窗口。随着重症超声的普及, 重症医学也逐渐从静态评估走向了动态监测, 但是需要避免只看单个指标而忽略其他因素的风险, 平衡各种研究的观点关键在于综合解读而不是指标崇拜, 要结合临床背景、动态的趋势和多个切面的信息进行判断。未来的重症超声会随着人工智能辅助测量、标准化培训、可穿戴超声的发展打破操作者的依赖, 成为脓毒性休克液体复苏的实时生理导航仪, 这不仅需要技术上的改变还需要临床思维的重塑才能达到精准、安全的液体复苏管理的目标。

参考文献

- [1] Shapiro, N.I., Douglas, I.S., Brower, R.G., *et al.* (2023) Early Restrictive or Liberal Fluid Management for Sepsis-Induced Hypotension. *New England Journal of Medicine*, **388**, 499-510. <https://doi.org/10.1056/nejmoa2212663>
- [2] Gelbenegger, G., Shapiro, N.I., Zeitlinger, M., Jilma, B., Douglas, I.S. and Jorda, A. (2025) Lactated Ringer's or Normal Saline for Initial Fluid Resuscitation in Sepsis-Induced Hypotension. *Critical Care Medicine*, **53**, e1140-e1144. <https://doi.org/10.1097/ccm.0000000000006601>
- [3] 胡漫林, 陈彩铅, 袁海浪. 重症超声指导脓毒性休克液体管理的临床效果分析[J]. 基层医学论坛, 2021, 25(1): 84-85.
- [4] 余琨. 重症超声引导的早期液体复苏在脓毒性休克中的临床应用[D]: [硕士学位论文]. 遵义: 遵义医科大学, 2020.
- [5] 蔡潮深, 刘超帆, 丁广前. 重症超声在脓毒性休克患者早期液体复苏治疗中的应用价值分析[J]. 中国现代药物应用, 2020, 14(15): 108-110.
- [6] Douglas, I.S., Alapat, P.M., Corl, K.A., Exline, M.C., Forni, L.G., Holder, A.L., *et al.* (2020) Fluid Response Evaluation in Sepsis Hypotension and Shock: A Randomized Clinical Trial. *Chest*, **158**, 1431-1445. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.04.025>
- [7] 李刚, 魏冯宁, 张国强, 等. 被动抬腿试验联合经胸超声心动图指导脓毒性休克患者早期液体复苏的临床意义[J]. 中华危重病急救医学, 2019, 31(4): 413-417.
- [8] Muller, L., Bobbia, X., Toumi, M., Louart, G., Molinari, N., Ragonnet, B., *et al.* (2012) Respiratory Variations of Inferior Vena Cava Diameter to Predict Fluid Responsiveness in Spontaneously Breathing Patients with Acute Circulatory Failure: Need for a Cautious Use. *Critical Care*, **16**, R188. <https://doi.org/10.1186/cc11672>
- [9] 张宏民, 刘大为, 王小亭, 等. 下腔静脉内径变异度判断房颤患者容量反应性的意义[J]. 中华医学杂志, 2015, 95(19): 1453-1456.
- [10] Memon, A., Ansari, M.I., Shaikh, S.A., *et al.* (2021) Fluid Resuscitation in Cardiogenic Shock: An Assessment of Responsiveness and Outcome. *Journal of Ayub Medical College, Abbottabad*, **33**, 471-474.
- [11] 王宁, 宋伟, 王岩, 等. 动脉血流峰值流速变异度评价危重症患者容量反应状态的 Meta 分析[J]. 临床超声医学杂志, 2020, 22(4): 270-274.

- [12] 亢春苗, 牛丹, 穆靓, 等. 迷你容量负荷试验联合床旁超声心动图快速评估重症机械通气患者容量反应性[J]. 宁夏医科大学学报, 2021, 43(8): 824-828.
- [13] Monnet, X., Marik, P.E. and Teboul, J. (2016) Prediction of Fluid Responsiveness: An Update. *Annals of Intensive Care*, **6**, Article 111. <https://doi.org/10.1186/s13613-016-0216-7>
- [14] 王雄雄, 吕志刚, 蔡云, 等. 颈内静脉直径呼吸变异率指导容量治疗的研究[J]. 中国现代医生, 2015, 53(1): 10-12.
- [15] 王元元, 钮金英, 沈继龙, 等. 超声测定颈动静脉截面积比值评估容量反应的研究[J]. 中华急诊医学杂志, 2018, 27(12): 1393-1397.
- [16] Nadaf, Z.M., Ravikumar, R.H., Anand, R.K., Ramachandran, R., Trikha, A., Wig, N., et al. (2026) Incidence and Prognostic Impact of Myocardial Dysfunction in Septic Shock: An Observational Cohort Study. *Indian Journal of Critical Care Medicine*, **30**, 56-61. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-25118>
- [17] Torres-Arrese, M., García-Casasola, G. and Blancas, R. (2026) Role of Point-of-Care Ultrasound in Septic Shock. *Medicina Clínica*, **166**, Article 107269. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2025.107269>
- [18] Fu, X., Lin, X., Seery, S., Zhao, L., Zhu, H., Xu, J., et al. (2022) Speckle-Tracking Echocardiography for Detecting Myocardial Dysfunction in Sepsis and Septic Shock Patients: A Single Emergency Department Study. *World Journal of Emergency Medicine*, **13**, 175-181. <https://doi.org/10.5847/wjem.j.1920-8642.2022.057>
- [19] 李合强, 徐艳萍, 张小亚, 等. 基于床旁超声的脓毒性右心功能障碍预后评估及危险因素分析[J]. 中华危重病急救医学, 2025, 37(7): 638-643.
- [20] Zhang, H., Huang, W., Zhang, Q., Chen, X., Wang, X. and Liu, D. (2021) Prevalence and Prognostic Value of Various Types of Right Ventricular Dysfunction in Mechanically Ventilated Septic Patients. *Annals of Intensive Care*, **11**, Article No. 108. <https://doi.org/10.1186/s13613-021-00902-9>
- [21] Delgado-Serrano, J.F., Torres-Cordon, M., Pena-Rangel, M.A., et al. (2021) Myocardial Dysfunction and Its Prognostic Utility in Sepsis and Septic Shock. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, **59**, 300-305.
- [22] 尹万红, 李易, 秦瑶, 等. 二尖瓣舒张早期血流峰速度与瓣环运动速度比值在评价严重脓毒症肺水肿中的价值[J]. 四川大学学报(医学版), 2016, 47(4): 580-583.
- [23] 陈小玲, 林小云. 床旁即时重症超声在脓毒症患者右心功能动态监测中的应用探究[J]. 基层医学论坛, 2025, 29(6): 19-22.
- [24] 呼吸系统疾病床旁超声诊断与评估专家共识编委会. 呼吸系统疾病床旁超声诊断与评估专家共识(2026 版) [J]. 国际呼吸杂志, 2026, 46(4): 277-300.
- [25] Theerawit, P., Touman, N., Sutherasan, Y. and Kiatboonsri, S. (2014) Transthoracic Ultrasound Assessment of B-Lines for Identifying the Increment of Extravascular Lung Water in Shock Patients Requiring Fluid Resuscitation. *Indian Journal of Critical Care Medicine*, **18**, 195-199. <https://doi.org/10.4103/0972-5229.130569>
- [26] 傅小云, 高飞, 苏德, 等. 重症患者肺超声 B 线评分用于血管外肺水评估的临床研究[J]. 中国急救医学, 2014, 34(7): 591-594.
- [27] 中国医疗保健国际交流促进会急诊医学分会, 中华医学会急诊医学分会, 中国老年学会基础与转化医学分会. 老年急危重症容量管理急诊专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2024, 33(6): 749-760.
- [28] Tayar, A.S.A., Salem, H.A., Abdelshafey, E.E., Rashwan, M.A., Khalil, M.F., Alwafi, H.A., et al. (2025) Comparative Analysis of Lung Ultrasound, Computed Tomography, and X-Ray in the Diagnosis of Common Pathologies among Critically Ill Mechanically Ventilated Patients—A Prospective Observational Study. *Indian Journal of Critical Care Medicine*, **29**, 807-814. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-25061>
- [29] Perpent, M., Balzani, E., Mento, F., Marinaro, C., Bellani, G., Perrone, T., et al. (2026) Quantitative Lung Ultrasound Spectroscopy: First Comparison with Gold Standard Computed Tomography Scan and Standard Lung Ultrasound for Diagnosis of Pneumonia versus Cardiogenic Pulmonary Edema. *The Ultrasound Journal*, **18**, Article 18605. <https://doi.org/10.5826/tuj.2026.18605>
- [30] 史迪, 徐军, 朱华栋, 等. 不明原因休克急诊超声临床实践专家共识解析[J]. 中国急救医学, 2017, 37(5): 394-396.
- [31] Li, L., Ai, Y., Wang, X., Zhang, H., Ma, X., Huang, L., et al. (2021) Effect of Focused Cardiopulmonary Ultrasonography on Clinical Outcome of Septic Shock: A Randomized Study. *Journal of International Medical Research*, **49**, 1-14.
- [32] Bickell, W.H., Wall, M.J., Pepe, P.E., Martin, R.R., Ginger, V.F., Allen, M.K., et al. (1994) Immediate versus Delayed Fluid Resuscitation for Hypotensive Patients with Penetrating Torso Injuries. *New England Journal of Medicine*, **331**, 1105-1109. <https://doi.org/10.1056/nejm199410273311701>
- [33] Malbrain, M.L.N.G., Martin, G. and Ostermann, M. (2022) Everything You Need to Know about Deresuscitation. *Intensive Care Medicine*, **48**, 1781-1786. <https://doi.org/10.1007/s00134-022-06761-7>
- [34] Beaubien-Souligny, W., Rola, P., Haycock, K., Bouchard, J., Lamarche, Y., Spiegel, R., et al. (2020) Quantifying Systemic

-
- Congestion with Point-of-Care Ultrasound: Development of the Venous Excess Ultrasound Grading System. *The Ultrasound Journal*, **12**, Article No. 16. <https://doi.org/10.1186/s13089-020-00163-w>
- [35] De Backer, D., Ricottilli, F. and Ospina-Tascón, G.A. (2021) Septic Shock: A Microcirculation Disease. *Current Opinion in Anaesthesiology*, **34**, 85-91. <https://doi.org/10.1097/aco.0000000000000957>
 - [36] Soliman Aboumarie, H., Nasa, P. and Malbrain, M.L.N.G. (2025) Cardiovascular Effects of Intra-Abdominal Hypertension: Current Perspectives. *Anaesthesiology Intensive Therapy*, **57**, 340-355. <https://doi.org/10.5114/ait/210612>
 - [37] Dell'Anna, A.M., Carelli, S., Cicetti, M., Stella, C., Bongiovanni, F., Natalini, D., *et al.* (2022) *Respiratory Physiology & Neurobiology*, **298**, Article 103844. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2022.103844>
 - [38] Balik, M., Matousek, V., Maly, M. and Brozek, T. (2017) Management of Arrhythmia in Sepsis and Septic Shock. *Anestezjologia Intensywna Terapija*, **49**, 419-429. <https://doi.org/10.5603/ait.a2017.0061>
 - [39] Guo, X., Tang, M., Jiang, X., Lin, J., Chen, W. and Song, Y. (2026) Ultrasound of the Inferior Vena Cava for Fluid Therapy Decisions: Strengths, Limitations, and an Integrated Approach. *Journal of International Medical Research*, **54**.
 - [40] Shittu, H.A. and Quaye, P.S. (2025) AI-Assisted Handheld Echocardiography by Nonexpert Operators: A Narrative Review of Prospective Studies. *Cureus*, **17**, e97050. <https://doi.org/10.7759/cureus.97050>
 - [41] Airapetian, N., Maizel, J., Alyamani, O., Mahjoub, Y., Lorne, E., Levrard, M., *et al.* (2015) Does Inferior Vena Cava Respiratory Variability Predict Fluid Responsiveness in Spontaneously Breathing Patients? *Critical Care*, **19**, Article No. 400. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-1100-9>
 - [42] 黄薇, 王欣晨, 柴文昭, 等. 脓毒性休克血流氧流分型与临床管理专家共识(2025) [J]. 协和医学杂志, 2026, 17(1): 40-58.