

重症超声在脓毒性休克血流动力学监测中的应用价值

余琨 陈妮 张伟 覃松 陈淼 陈涛

遵义医学院附属医院重症医学科, 贵州遵义 563000

通信作者: 陈淼, Email: chenmiao64@163.com

【摘要】 重症超声(CCUS)因其无创、实时、可重复性特点,已成为重症加强治疗病房(ICU)不可或缺的监测工具,在病因筛查、疾病诊疗及疗效评估,特别是脓毒性休克血流动力学监测方面扮演着重要角色。脓毒性休克病因复杂,常影响患者血流动力学状态而增加诊疗难度,通过心肺肾联合检查,CCUS可动态监测容量状况及器官功能变化,与临床信息及其他监测方法相结合,准确、及时、全面地管理患者的诊疗过程并评估其预后。本文通过对CCUS在脓毒性休克血流动力学监测中的应用进行综述,以期加强临床医生对CCUS在此方面知识的理解,为患者的血流动力学监测提供参考。

【关键词】 重症超声; 脓毒性休克; 血流动力学

基金项目: 国家自然科学基金(8156010205)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.02.027

Application of critical care ultrasound in hemodynamic monitoring of septic shock

Yu Kun, Chen Ni, Zhang Wei, Qin Song, Chen Miao, Chen Tao

Department of Critical Care, Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Zunyi 563000, Guizhou, China

Corresponding author: Chen Miao, Email: chenmiao64@163.com

【Abstract】 Critical care ultrasound (CCUS) has gradually become an indispensable monitoring tool in intensive care unit due to noninvasive, real-time and repeatability and is playing an important role in etiological screening, disease diagnosis, treatment and efficacy evaluation, especially in hemodynamic monitoring of septic shock. The etiology of septic shock is so complicated that often affect the hemodynamic status of patients, increasing the difficulty of diagnosis and treatment. CCUS can dynamically monitor the changes in volume and organ function through cardiopulmonary and renal examination, which is combined with clinical information and other monitoring methods to manage the patient's diagnosis and treatment and evaluate their prognosis more accurately, timely and comprehensively. The aim of this article is to enhance the understanding and clinical utility of ultrasonic knowledge and provide reference in patients' hemodynamic monitoring methods for clinicians after reviewing the application of CCUS in hemodynamic monitoring of septic shock.

【Key words】 Critical care ultrasound; Septic shock; Hemodynamics

Fund program: National Nature Science Foundation of China (8156010205)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.02.027

脓毒性休克指脓毒症发生严重的循环、细胞和代谢异常,院内病死率高达40%以上^[1]。“拯救脓毒症运动”(SSC)中强调脓毒症和脓毒性休克是临床急症,需早期集束化治疗,推荐在初始液体复苏后,通过反复血流动力学监测指导后期液体治疗^[2]。脓毒性休克患者血流动力学监测主要用于评估:①继续液体输注能否改善器官灌注情况;②是否需要应用正性肌力药物。目前临床上主要通过无创监测及临床经验判断患者器官功能及容量状况进而治疗,而经验性诊疗可发生容量不足或液体过量,继而导致重要器官功能受损,引起急性肾损伤(AKI)、肺水肿等并发症^[3]。重症超声(CCUS)集结构和功能评估、问题目标导向于一体,定量与定性相结合,动态评估容量状态、容量反应性及器官功能变化,从而及时、准确地指导液体复苏及正性肌力药物使用,是目前脓毒性休克患者血流动力学管理较理想的医学工具,已整合入脓毒性休克诊疗中。现就CCUS在脓毒性休克血流动力学监测中的应用进行综述,以为患者的血流动力学监测提供参考。

1 脓毒性休克血流动力学监测现状

脓毒性休克患者血流动力学状态需要实时动态监测,以指导和调整治疗方向及强度。在过去几十年间,血流动力学监测技术已从间断性向连续性、实时性、有创性更小等方向发展,且在所提供的指标数量和特性方面也不断改善^[4-5]。当前临床上常用的监测工具分为有创和无创两种,其中经肺热稀释法(TPD)和肺动脉导管(PAC)被认为是有创性高级血流动力学监测手段,可对危重症患者的心脏容量和压力状态及全身氧合状况进行连续、动态评估,被称为血流动力学监测的“金标准”^[6];然而,由于其操作繁琐、并发症多及缺乏对患者使用益处的证据,且无法评估心脏舒张功能,均不能作为常规监测工具。当前临床上主要通过无创监测及临床经验粗略判断患者器官功能、容量状况及复苏效果,“猛灌后脱”则成为临床常态,容量过负荷常被忽略直至出现器官功能受损的临床体征或影像学征象,而持续液体正平衡会显著增加患者并发症和病死率^[7]。因此,在诊疗过程中建立准确、客观的器官功能监测方法,正确评估休克不同阶段循

环功能状况以调整治疗方案极其重要。在所有的监测手段中,仅CCUS能同时从功能和结构方面提供心血管系统相关信息,是目前脓毒性休克患者血流动力学监测的常用工具^[8]。

2 脓毒性休克患者容量评估

多数患者入重症加强治疗病房(ICU)前已行早期液体治疗,且血流动力学不稳定者中仅50%有容量反应性,因此,能否进一步液体复苏需评估容量状态及容量反应性。将液体输注后心排血量(CO)或每搏量(SV)增加一定比例(10%~15%)的能力称为容量反应性好,提示患者可从补液中获益,目前常用动态指标进行评估^[9]。

CCUS对容量状态及容量反应性的评估依据心肺交互原理,上腔静脉(SVC)塌陷指数和下腔静脉扩张指数(ΔD_{IVC})是常用的指标。有研究表明,机械通气患者上腔静脉变异率(ΔSVC)识别容量反应性的特异度最高,诊断准确率优于下腔静脉变异率(ΔIVC)和脉搏压变异率(ΔPP),且当SVC塌陷指数 $>36\%$ 时,有容量反应性的可能性较大,敏感度为90%,特异度为100%^[10-11]。

下腔静脉(IVC)较SVC可操作性高、容易获取。一项Meta分析显示, ΔD_{IVC} 在潮气量(VT) ≥ 8 mL/kg、呼气末正压 ≤ 5 cmH₂O(1 cmH₂O=0.098 kPa)的通气模式下是容量反应性的精确预测指标,其敏感度为80%,特异度为94%^[12]。有研究显示, ΔD_{IVC} 分别以18%和12%为阈值评估容量反应性,敏感度和特异度均达90%以上,表明脓毒性休克患者 ΔD_{IVC} 与增加的CO存在相关性,以 $\Delta D_{IVC} \geq 12\%$ 为界值可预测容量反应性^[13-14]。然而,使用腔静脉变异率预测容量反应性时条件严苛(患者需为完全机械通气、VT ≥ 8 mL/kg、窦性心律及腹内压正常),且应结合心功能状态,当存在心包填塞、三尖瓣大量反流及急慢性右心功能障碍时,扩张的腔静脉与容量无关。

上述指标对容量反应性的预测价值有限,而临床中采用被动抬腿试验(PLR)、容量负荷试验、mini补液试验等方法结合超声评估SV或SV的代替值来预测容量反应性,敏感度和特异度也较高,且不受患者通气方式及心律影响,对容量反应性的评判有较好应用前景^[15-16]。PLR相当于自体容量负荷试验,于PLR前后使用超声测量左室流出道速度时间积分或主动脉峰流速变化率 $>12\%$ 来评估患者容量反应性,敏感度和特异度均高于90%。此外,容量负荷试验后超声测量外周动脉峰流速变化也可预测脓毒性休克患者的容量反应性,卢年芳等^[17]以颈动脉峰流速变异度($\Delta CDPV$)=13%进行评估时,敏感度和特异度分别为72.5%、94.9%。通过各项指标的评估,对具有容量反应性的患者行液体复苏,改善其临床症状。然而在使用上述指标进行评估时需牢记临床患者病情复杂多变,并非每个指标的阈值均适用于所有患者,且可能提供临床假阴性结果,应根据实际情况采用多个指标联合、多次评估容量反应性。

3 脓毒性休克患者器官功能评估

3.1 心脏超声评估:心脏是脓毒症损害的主要靶器官之一,导致弥漫性心肌顿抑、左室高动力状态及血管麻痹,增加治

疗难度^[18]。而重症超声心动图(CCE)能可视、动态地反映心脏结构和功能变化,是明确脓毒性休克患者心脏异常的重要工具。Sekiguchi等^[19]研究表明,由于心脏超声信息的缺乏,重症医生对脓毒性休克患者心功能的初始评估受到限制,导致心脏的隐匿性异常未被及时发现而使治疗不到位。

3.1.1 右心功能:由于解剖结构因素,右心对于容量和压力负荷的耐受性较左心差,致使高达50%的脓毒症患者右心直接或间接受抑而出现功能障碍^[20]。通常从以下4个方面进行评估:①右室大小:于心尖四腔切面计算右/左室舒张期末面积比(RVEDA/LVEDA)可作为右心功能不全的指标,一般情况下RVEDA/LVEDA <0.6 ,若比值 >1.0 则为重度右室扩张;当右室压力进一步增加超过左室后,在胸骨旁短轴可显现“D”字征^[21]。②收缩功能:三尖瓣环收缩期位移(TAPSE)、三尖瓣环收缩期速度(S')、右室心肌做功指数(RIMP)及面积变化分数(FAC)均能评价收缩功能,而TAPSE和S'是常用且易测量的指标,更新版“成人超声心动图心室定量指南”推荐TAPSE <17 mm或S' <9.5 cm/s为右室收缩功能降低^[22];此外,该指南还推荐右室射血分数(RVEF)作为收缩功能评价的指标,认为其准确、重复性好,而测量此项参数对机器成像质量要求高以及患者需为窦性心律,且尚缺乏足够的研究证实其在临床应用价值,因此目前临床上未将RVEF纳为常规评价指标^[23]。③舒张功能:在心尖四腔切面测量三尖瓣环右室壁侧运动频谱,舒张早期波(e')和舒张晚期波(a')比值 <0.52 提示右室舒张功能减弱^[22]。④肺动脉收缩压(PASP)评估:当患者存在三尖瓣和肺动脉瓣反流时,在除外右室流出道梗阻下,于心尖四腔切面测量三尖瓣反流速度(V),结合IVC内径及其呼吸变异率估测右房压,利用Bernoulli方程即可估算出肺动脉压(PASP=4V²+右房压)^[24]。评估肺动脉压及平均压可为急性肺源性心脏病程度的定量评估提供依据。

3.1.2 左心功能:脓毒性休克诊断后6h内约有18%~29%的患者出现左心功能障碍,发病1~3d后该发生率可升高至60%^[25],因此,对左心收缩及舒张功能的早期评估显得尤为重要。①收缩功能:左室射血分数(LVEF)和SV或CO是评估左室收缩功能最常用的超声参数,于胸骨旁长轴切面的M型超声或心尖四腔切面通过辛普森法均能测量。其中LVEF是反映收缩功能较敏感的指标,我国超声指南中推荐LVEF参考值为0.55,LVEF <0.55 提示左室收缩功能降低^[26]。LVEF虽是评价左室收缩功能应用较广泛的指标,但对患者短期预后无预见性,一项Meta分析显示,相比LVEF,二维斑点追踪成像技术(2D-STI)测量的左室整体纵向应变(GLS)可能是评估脓毒性休克患者心功能障碍更敏感的指标,且对短期病死率具有明显的预测价值^[27]。2D-STI是近几年发展起来的新技术,可准确评估各种疾病所致心肌局部和整体功能异常,但对机器软件和硬件设施要求较高,目前大部分医院尚未开展此项技术。除上述参数外,临床上也常采用二尖瓣位移(MAPSE)评价左室长轴收缩功能,MAPSE <12 mm提示长轴收缩功能减弱。左心在脓毒性休

克早期常处于异常状态,单一的参数无法正确评估其收缩功能,需综合上述指标共同评价。②舒张功能:左室舒张功能障碍在脓毒性休克患者中有高达50%的发生率,且与病死率明确相关^[28-29]。常于心尖四腔切面测量二尖瓣血流舒张早期流速(E波)和舒张晚期流速(A波),再得到二尖瓣环壁侧和隔侧的血流频谱图,测量心肌收缩波(s波)、e'波及a'波。当 $E/A \geq 0.8$ 、 $E/e' < 10$ 时,提示舒张功能多为正常;若 $E/A < 0.8$ 、 E/e' 在10~14时,则要考虑左心舒张功能减弱的可能。脓毒性休克患者有并发急性呼吸窘迫综合征(ARDS)的风险,左室充盈压增加可导致肺动脉压升高,从而增加肺水肿的风险,加重ARDS的发展,因此,在评价左室舒张功能的同时常需评估左室充盈压和左房压。“超声心动图评估左室舒张功能的建议”中推荐用 E/e' 来估测左室充盈压, $E/e' > 14$ 高度提示左室充盈压增加,而 $E/e' < 8$ 则为左室充盈压正常的证据, E/e' 在8~14需结合其他测量值进行评估^[30]。当左室充盈压升高时,即使患者存在容量反应性,液体治疗仍需慎重。

通过上述各指标的测量,可全面评估左右心的收缩与舒张功能,明确心脏受累程度,判断患者是否具有(潜在)容量反应性及对液体的耐受程度,从而指导或平衡正性肌力药、液体及血管活性药物的使用。

3.2 肺部超声(LUS)评估:在脓毒性休克病程中,无论以感染作为病因亦或治疗过程中新发病变均会导致肺部异常,从而可在LUS中显现出一系列异常征象。因此,肺也是超声目标导向评估的重要器官之一。2012年,随着FALLS(肺部超声指导液体输注)草案的提出,Lichtenstein^[31]指出,在休克患者液体复苏过程中,应用LUS监测可防止过多液体输注。研究显示,同为肺(胸)部可视化检查工具,LUS显示肺部异常的敏感度高于胸部X线片,仅次于胸部CT,且能有效减少患者胸部X线检查的次数及相应的医疗费用,而不影响预后^[32-33]。

超声除了能显示肺部正常影像,更多征象则来自其所产生的伪像,当肺组织含气量明显减少时,超声波束可直接穿过肺组织,显示出肺部的真实病变;而当肺组织含气量逐渐增加时,超声波束在气体-组织界面发生反射或折射,从而显示出A线(正常通气肺组织形成的与胸膜线等间平行的明亮伪影)或B线(部分通气肺组织产生的起至胸膜线的高回声激光束样伪影)等伪像^[34]。Lichtenstein等^[35-36]已证实,B线与血管外肺水有较好的相关性,其对于弥漫性间质性/肺泡水肿诊断的敏感度和特异度分别可达97%、95%,且早于影像学及临床体征异常前出现。Saad等^[37]在血液透析前后对81例患者进行了LUS检查,发现透析后B线数量随着肺水的移除明显减少,表明B线与肺水肿相关;同时也证实,LUS能动态监测血管外肺水的变化。LUS除能定性评估肺水外,还可根据B线数目评分计算评分总和,从而对其严重程度进行半定量评估。在脓毒性休克患者中,LUS联合IVC直径可指导液体复苏,如以IVC直径正常和肺部A线为主表明补液是安全的,进一步的液体复苏不会立即发生或

加重静水压增高性肺水肿;而以IVC直径增宽固定及肺部B线为主,持续的液体复苏可能增加患者的不良并发症^[38]。

增多的B线仅提示肺水肿,但无论是渗出还是静水压升高均可导致肺水增多,临床上表现相似,LUS均以B线为主,在影像学上差别也较小,临床鉴别较为困难。此时,心肺超声联合检查可对肺水性质进行快速、有效地鉴别,从而针对病因治疗。静水压升高性肺水肿常继发于心功能不全和容量负荷过重,为小叶间隔水肿,B线分布较匀称,胸膜滑动征无明显影响^[39];心脏超声常表现为心脏收缩功能下降及IVC直径增宽固定等容量过负荷表现。而渗出性肺水肿常继发于感染等因素,B线分布表现为重力依赖区重、非重力依赖区轻的特点,甚至会出现肺实变、B线局限等征象,胸膜滑动征也会减弱或消失;心脏超声则表现为心功能正常,容量常无过负荷的表现^[40]。通过对脓毒性休克患者肺部的探查,结合心脏超声和临床信息对心脏功能、容量反应性及血管外肺水进行综合评估,指导液体复苏从而增加补液的安全性。

3.3 肾脏超声评估:肾脏是脓毒性休克患者常见的受损器官,也是全身受累的前哨器官,因此,肾脏灌注导向的血流动力学治疗逐渐成为临床趋势。肾脏超声主要用于肾性和肾后性肾损害的评估,可床旁迅速发现肾脏结构异常,除外或确诊梗阻所致感染。除了测量肾脏大小外,肾脏超声还能使用彩色多普勒对整个肾脏血流进行直观、动态地定性评估;同时,可测定肾血管阻力指数(RI)来量化评估肾血流状态,较高的肾RI往往提示灌注不足,临床上常用于急慢性肾损伤预后的评估。

4 结语

CCUS已融入脓毒性休克患者血流动力学监测的各个角落,通过目标导向、流程化管理,使复杂病情可视化,减少不良事件发生率。通过腔静脉变异率及容量负荷试验鉴别出具有容量反应性的患者,而心肺肾联合超声有助于监测液体治疗及评估正性肌力药和血管活性药的使用,从而增加治疗的全面性和安全性。尽管CCUS已用于血流动力学监测,但因监测间断性、操作者依赖性等缺点,且进入ICU时间短,许多临床应用仍在不断探索中,因此需与其他监测方法相互结合、综合分析才能更好地指导治疗。同时,重症医生应加强CCUS的规范化理论及操作培训,真正达到所视即为真相,使患者得到最大获益。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, et al. The third international consensus definitions for sepsis and septic shock (Sepsis-3) [J]. JAMA, 2016, 315 (8): 801-810. DOI: 10.1001/jama.2016.0287.
- [2] Rhodes A, Evans LE, Alhazzani W, et al. Surviving Sepsis Campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock: 2016 [J]. Crit Care Med, 2017, 45 (3): 486-552. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002255.
- [3] Kelm DJ, Perrin JT, Cartin-Ceba R, et al. Fluid overload in patients with severe sepsis and septic shock treated with early goal-directed therapy is associated with increased acute need for fluid-related medical interventions and hospital death [J]. Shock, 2015, 43 (1): 68-73. DOI: 10.1097/SHK.0000000000000268.
- [4] Jozwiak M, Monnet X, Teboul JL. Pressure waveform analysis [J]. Anesth Analg, 2018, 126 (6): 1930-1933. DOI: 10.1213/ANE.

- 000000000002527.
- [5] Hamzaoui O, Monnet X, Teboul JL. Evolving concepts of hemodynamic monitoring for critically ill patients [J]. *Indian J Crit Care Med*, 2015, 19 (4): 220–226. DOI: 10.4103/0972-5229.154556.
- [6] Swan HJ, Ganz W, Forrester J, et al. Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter [J]. *N Engl J Med*, 1970, 283 (9): 447–451. DOI: 10.1056/NEJM197008272830902.
- [7] Tigabu BM, Davari M, Kebriaeezadeh A, et al. Fluid volume, fluid balance and patient outcome in severe sepsis and septic shock: a systematic review [J]. *J Crit Care*, 2018, 48: 153–159. DOI: 10.1016/j.jccr.2018.08.018.
- [8] Levitov A, Frankel HL, Blaivas M, et al. Guidelines for the appropriate use of bedside general and cardiac ultrasonography in the evaluation of critically ill patients—part II: cardiac ultrasonography [J]. *Crit Care Med*, 2016, 44 (6): 1206–1227. DOI: 10.1097/CCM.0000000000001847.
- [9] Cecconi M, Parsons AK, Rhodes A. What is a fluid challenge? [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2011, 17 (3): 290–295. DOI: 10.1097/MCC.0b013e32834699cd.
- [10] Wagner JC, Leatherman JW. Right ventricular end-diastolic volume as a predictor of the hemodynamic response to a fluid challenge [J]. *Chest*, 1998, 113 (4): 1048–1054. DOI: 10.1378/chest.113.4.1048.
- [11] Vignon P, Repessé X, Bégot E, et al. Comparison of echocardiographic indices used to predict fluid responsiveness in ventilated patients [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 195 (8): 1022–1032. DOI: 10.1164/rccm.201604-0844OC.
- [12] Si X, Xu H, Liu Z, et al. Does respiratory variation in inferior vena cava diameter predict fluid responsiveness in mechanically ventilated patients? A systematic review and meta-analysis [J]. *Anesth Analg*, 2018, 127 (5): 1157–1164. DOI: 10.1213/ANE.0000000000003459.
- [13] Barbier C, Loubières Y, Schmit C, et al. Respiratory changes in inferior vena cava diameter are helpful in predicting fluid responsiveness in ventilated septic patients [J]. *Intensive Care Med*, 2004, 30 (9): 1740–1746. DOI: 10.1007/s00134-004-2259-8.
- [14] Feissel M, Michard F, Faller JP, et al. The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy [J]. *Intensive Care Med*, 2004, 30 (9): 1834–1837. DOI: 10.1007/s00134-004-2233-5.
- [15] Cherpanath TG, Hirsch A, Geerts BF, et al. Predicting fluid responsiveness by passive leg raising: a systematic review and meta-analysis of 23 clinical trials [J]. *Crit Care Med*, 2016, 44 (5): 981–991. DOI: 10.1097/CCM.0000000000001556.
- [16] Biaisi M, de Courson H, Lanchon R, et al. Mini-fluid challenge of 100 mL of crystalloid predicts fluid responsiveness in the operating room [J]. *Anesthesiology*, 2017, 127 (3): 450–456. DOI: 10.1097/ALN.0000000000001753.
- [17] 卢年芳, 姜利, 朱波, 等. 外周动脉峰流速变异度评估感染性休克患者容量反应性的临床研究 [J]. *中华危重病急救医学*, 2018, 30 (3): 224–229. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.03.007. Lu NF, Jiang L, Zhu B, et al. Variability of peripheral arterial peak velocity predicts fluid responsiveness in patients with septic shock [J]. *Chin Crit Care Med*, 2018, 30 (3): 224–229. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.03.007.
- [18] Antonucci E, Fiaccadori E, Donadello K, et al. Myocardial depression in sepsis: from pathogenesis to clinical manifestations and treatment [J]. *J Crit Care*, 2014, 29 (4): 500–511. DOI: 10.1016/j.jccr.2014.03.028.
- [19] Sekiguchi H, Harada Y, Villarraga HR, et al. Focused cardiac ultrasound in the early resuscitation of severe sepsis and septic shock: a prospective pilot study [J]. *J Anesth*, 2017, 31 (4): 487–493. DOI: 10.1007/s00540-017-2312-8.
- [20] Vallabhajosyula S, Kumar M, Pandompatam G, et al. Prognostic impact of isolated right ventricular dysfunction in sepsis and septic shock: an 8-year historical cohort study [J]. *Ann Intensive Care*, 2017, 7 (1): 94. DOI: 10.1186/s13613-017-0319-9.
- [21] 王小亭, 刘大为, 于凯江, 等. 中国重症超声专家共识 [J]. *临床荟萃*, 2017, 32 (5): 369–383. DOI: 10.3969/j.issn.1004-583X.2017.05.001. Wang XT, Liu DW, Yu KJ, et al. Experts consensus on the Chinese critical care ultrasound [J]. *Clin Focus*, 2017, 32 (5): 369–383. DOI: 10.3969/j.issn.1004-583X.2017.05.001.
- [22] Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015, 28 (1): 1–39. e14. DOI: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
- [23] Dutta T, Aronow WS. Echocardiographic evaluation of the right ventricle: clinical implications [J]. *Clin Cardiol*, 2017, 40 (8): 542–548. DOI: 10.1002/clc.22694.
- [24] Rudski LG, Lai WW, Afilalo J, et al. Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography endorsed by the European Association of Echocardiography, a registered branch of the European Society of Cardiology, and the Canadian Society of Echocardiography [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2010, 23 (7): 685–713; quiz 786–788. DOI: 10.1016/j.echo.2010.05.010.
- [25] Vieillard-Baron A. Septic cardiomyopathy [J]. *Ann Intensive Care*, 2011, 1 (1): 6. DOI: 10.1186/2110-5820-1-6.
- [26] 中国医师协会超声医师分会. 超声心动图检查指南 [M]. 北京: 人民军医出版社, 2016: 48–54. Chinese Ultrasound Doctor Association. Guidelines of echocardiographic examination [M]. Beijing: People's Military Surgeon Press, 2016: 48–54.
- [27] 袁佳辉, 陈敏, 陈上仲, 等. 左心室整体纵向应变对脓毒症/脓毒性休克患者预后影响的 Meta 分析 [J]. *中华危重病急救医学*, 2018, 30 (9): 842–847. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.09.005. Yuan JH, Chen M, Chen SZ, et al. Effect of left ventricular global longitudinal strain on prognosis of septic/septic shock patients: a Meta analysis [J]. *Chin Crit Care Med*, 2018, 30 (9): 842–847. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.09.005.
- [28] Sanfilippo F, Corredor C, Fletcher N, et al. Diastolic dysfunction and mortality in septic patients: a systematic review and meta-analysis [J]. *Intensive Care Med*, 2015, 41 (6): 1004–1013. DOI: 10.1007/s00134-015-3748-7.
- [29] Micek ST, McEvoy C, McKenzie M, et al. Fluid balance and cardiac function in septic shock as predictors of hospital mortality [J]. *Crit Care*, 2013, 17 (5): R246. DOI: 10.1186/cc13072.
- [30] Nagueh SF, Smiseth OA, Appleton CP, et al. Recommendations for the evaluation of left ventricular diastolic function by echocardiography: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging [J]. *J Am Soc Echocardiogr*, 2016, 29 (4): 277–314. DOI: 10.1016/j.echo.2016.01.011.
- [31] Lichtenstein D. Fluid administration limited by lung sonography: the place of lung ultrasound in assessment of acute circulatory failure (the FALLS-protocol) [J]. *Expert Rev Respir Med*, 2012, 6 (2): 155–162. DOI: 10.1586/ers.12.13.
- [32] Wooten WM, Shaffer LET, Hamilton LA. Bedside ultrasound versus chest radiography for detection of pulmonary edema: a prospective cohort study [J/OL]. *J Ultrasound Med*, 2018 [2018-10-20]. [published online ahead of print October 2, 2018]. DOI: 10.1002/jum.14781.
- [33] Brogi E, Bignami E, Sidoti A, et al. Could the use of bedside lung ultrasound reduce the number of chest x-rays in the intensive care unit? [J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2017, 15 (1): 23. DOI: 10.1186/s12947-017-0113-8.
- [34] 丁欣, 刘丽霞, 王小亭. 重症超声在重症患者呼吸治疗中的作用 [J]. *临床荟萃*, 2017, 32 (5): 388–391, 399. DOI: 10.3969/j.issn.1004-583X.2017.05.003. Ding X, Liu LX, Wang XT. Critical ultrasonography in respiratory therapy for critical ill patients [J]. *Clin Focus*, 2017, 32 (5): 388–391, 399. DOI: 10.3969/j.issn.1004-583X.2017.05.003.
- [35] Lichtenstein DA, Mezicre GA. Relevance of lung ultrasound in the diagnosis of acute respiratory failure: the BLUE protocol [J]. *Chest*, 2008, 134 (1): 117–125. DOI: 10.1378/chest.07-2800.
- [36] Lichtenstein D, Karakitsos D. Integrating lung ultrasound in the hemodynamic evaluation of acute circulatory failure (the fluid administration limited by lung sonography protocol) [J]. *J Crit Care*, 2012, 27 (5): 533. e11–19. DOI: 10.1016/j.jccr.2012.03.004.
- [37] Saad MM, Kamal J, Moussaly E, et al. Relevance of B-lines on lung ultrasound in volume overload and pulmonary congestion: clinical correlations and outcomes in patients on hemodialysis [J]. *Cardiorenal Med*, 2018, 8 (2): 83–91. DOI: 10.1159/000476000.
- [38] Lee CW, Kory PD, Arntfield RT. Development of a fluid resuscitation protocol using inferior vena cava and lung ultrasound [J]. *J Crit Care*, 2016, 31 (1): 96–100. DOI: 10.1016/j.jccr.2015.09.016.
- [39] Al Deeb M, Barbic S, Featherstone R, et al. Point-of-care ultrasonography for the diagnosis of acute cardiogenic pulmonary edema in patients presenting with acute dyspnea: a systematic review and meta-analysis [J]. *Acad Emerg Med*, 2014, 21 (8): 843–852. DOI: 10.1111/acem.12435.
- [40] Bataille B, Riu B, Ferre F, et al. Integrated use of bedside lung ultrasound and echocardiography in acute respiratory failure: a prospective observational study in ICU [J]. *Chest*, 2014, 146 (6): 1586–1593. DOI: 10.1378/chest.14-0681.