

## 重症超声核心技术与可视化诊疗核心技能\*

尹万红, 张中伟, 康 焰<sup>△</sup>, 中国重症超声研究组

四川大学华西医院 重症医学科(成都 610041)

**【摘要】** 重症超声是将床旁超声技术进行临床化、重症特色化的应用。重症超声具有多重角色作用,既可以作为一种无创监测工具获取反映病情的数据指标,又能作为一种全面可视化的评估手段监测脏器病理生理状态及结构改变,助力重症专业医师全面、深入地掌握病情,高效、准确地丰富其临床决策依据,提高诊治的精准性和高效性。因此,业界已将重症超声作为重症救治的核心技术之一。重症超声的特点和优势决定了其是天然的可视化诊疗载体,所以我们一直致力于探索将重症超声的应用动态地融入具体的临床诊治项目中,建立相应的应用流程,用以规范临床医师的诊治行为,减少医疗差错。由此产生了一种新的诊疗方式,即以重症超声可视化证据为支撑,以病理生理状态为导向的流程化规范诊疗——重症超声可视化诊疗。本文从重症超声的形成与内涵、重症超声作为核心技术的应用方式、重症超声可视化诊疗的价值及重症救治中必需使用重症超声的环节等几方面展开论述和梳理,以期后继更好地开展科研和临床实践,拓展重症超声的价值,助力重症医学的发展。

**【关键词】** 重症超声 核心技术 诊断 治疗 可视化诊疗

**Critical Care Ultrasound as Core Technology and Visualization Critical Care as Core Skills** YIN Wan-hong, ZHANG Zhong-wei, KANG Yan<sup>△</sup>, Chinese Critical Ultrasound Study Group. Department of Critical Care Medicine, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China

<sup>△</sup> Corresponding author, E-mail: kangyan@scu.edu.cn

**【Abstract】** Critical Care Ultrasound(CCUS) is the one of the ultrasound technologies which integrates the bedside ultrasound application into daily clinical practice in critical care medicine. It has multiple roles, at first is a non-invasive monitoring tool to measure variables that can reflect the essence of the disease, and then is a comprehensive visualized tool to evaluate the pathophysiological status and structural changes of organs, which facilitates the critical care providers to know more about the patients and provides more reliable evidence to promote the accuracy and efficiency of the diagnosis, the clinical decision-making and the treatment of the critically ill. Therefore, the critical care ultrasound has been used as one of the core technologies of critical care. The characteristics and advantages of CCUS destine it as an orientation and instruction of visualized diagnosis and treatment. We devote ourselves to explore methods of integrating the application of CCUS into clinical management of critically ill, and establish specific approaches and workflows to standardize the clinical practice of clinicians and reduce medical errors. Therefore, a new diagnostic and treatment pattern can be developed, which is called visualized critical care. It is a care pattern of critical illness based on the CCUS visualization evidence including the pathophysiological status and other informations. This article will carefully discuss the connotation of CCUS, the unique clinical value in critically ill patients, and the value of visualized critical care approaches in acute respiratory and circulatory collapse and shock management, etc.

**【Key words】** Critical care ultrasound Core technology Diagnosis Treatment Visualization critical care

重症患者以全身性病理生理紊乱及全身性炎症反应为临床特征<sup>[1-3]</sup>,主要特点为多脏器功能相互影响、恶性循环,进而导致病情呈急剧恶化趋势。重症救治难度主要体现在患者多系统病理生理紊乱的机制复杂,多脏器功能障碍并存,容错空间小,治疗

与伤害如影随形。因此,对患者身体信息更深入全面采集,掌握重症患者的病情特别是病理生理改变对于其救治非常重要。在此背景下,传统的视、触、叩、听不能胜任,很大程度上依赖于现代化的技术和方法进行全方位监测<sup>[4-6]</sup>。近年来重症医学取得了长足的进步,对患者的监测技术也有了很大发展,整体救治水平进一步提高<sup>[6]</sup>。但是,随着社会进步及人们生活水平提高,我国逐渐进入老龄社会,糖尿

\* 四川省科技厅重点研发项目(No. 2019YFS0449)资助

<sup>△</sup> 通信作者, E-mail: kangyan@scu.edu.cn

病、心脑血管疾病、肿瘤及并发症等发生率增加,重症患者病情的复杂性和危重度进一步增加,重症救治面临的压力更大。因此,重症医师更期待多模态、精细化床旁监测手段的发展,助力更精准地诊断、更精细地管理,同时推进作为改善结局的关键因素及保护脏器的基础措施的病因治疗<sup>[7]</sup>。超声技术,作为能够全身性显示脏器结构形态、并借助多普勒技术显示血流、测量指标的良好手段,正是因为适应了这些需求而被重症专业医师临床化打造为重症超声,已成为重症诊治的核心技术并在重症医学科病房(intensive care unit, ICU)广泛应用<sup>[8-10]</sup>。

国际上已有较多研究侧重于把重症超声作为一种无创监测工具来测量指标,证实其监测的可靠性和准确性。而我们更致力于探索将重症超声的应用动态地融入具体的临床诊治项目中,建立规范的应用流程,用以提高诊治的高效性和正确性,减少医疗差错。从而产生了一种新的诊疗方式,即以重症超声可视化证据为支撑,以病理生理改变为导向的流程化规范诊疗-重症超声可视化诊疗。

## 1 重症超声的形成与内涵

### 1.1 超声技术的优势与临床超声的兴起

超声是一种显像手段<sup>[11]</sup>。其优势在于能进行无创、无伤害的检查,且检查结果为细节化、跨维度、动态实时显像。此外,超声成像还能够借助多普勒效应等观测血流情况,特别是微循环的血流;还可对血流以及组织的运动速度进行测量,并计算出相关部位或腔道的压力、阻力等参数,从而对显像的信息进一步量化和补充。

超声技术能够细致的显像患者脏器的结构形态,因此早期的传统超声检查就已成为临床诊疗的重要手段之一。随着医学的进展和对救治高效性的要求,临床医师开始尝试开展床旁超声检查,利用其优势全面获取患者组织器官的结构、形态、血流等多维度的信息,直接实时的辅助临床医师诊断、决策或者引导操作及治疗。与之呼应,近年来实时临床超声(point-of-care ultrasound, POCU)概念逐渐成熟<sup>[12]</sup>,并作为超声技术临床化的标志。典型的范例如腹部创伤患者,通过快速床旁超声筛查腹腔游离积液,结合临床病情分析将有助于决定下一步是否立即手术治疗<sup>[13]</sup>。

实时临床超声带来的绝不仅仅是便利和高效,它的实时脏器结构功能可视化信息有助于提升临床医师的诊疗决策水平,以及降低有创操作风险。因

此,临床超声能够实现“发现即是治疗”,拓展了传统超声的优势。

### 1.2 重症超声的内涵

重症医学的特殊性为临床超声的应用提供了更广阔的舞台。重症救治要求更全面、更深入地掌握患者的病情。因此在重症理念的指引下,重症专业医师充分拓展实时临床超声的优势,将其作为一种可视化信息获取手段,全面、动态、多维度的获取重症患者多器官结构、血流、病理生理状态及各种参数信息。同时,重症专业医师对大量散乱信息进行辨识、整合分析,即进行临床化解读;并结合其他临床信息进行诊疗决策,以提升诊治水平。所以,重症超声的内涵在于其是一种良好的重症信息采集手段,是临床超声的拓展。目前,重症超声已经成为重症的核心技术之一,广泛用于重症救治中。

## 2 重症超声核心技术的应用

重症超声核心技术的临床应用主要可归纳为两个方面,即显像和无创测量。显像的主要内容是脏器及组织的形态结构、血流及病理生理状态,用以发现重要脏器的与重症相关基础疾病的依据及急性受损情况,丰富诊疗决策依据<sup>[14-15]</sup>;无创测量则主要是获取数据指标,对显像的内容进行量化和细化,用以指导对重症患者的精细化管理。

心肺的显像是重症超声应用的核心。心脏的结构、血流改变,肺部的气水分布状态,是诊断重症综合征的重要信息,也是采取有针对性治疗(如俯卧位通气等)和推进心肺保护的基础;其他部位显像,也具有重要临床价值。发现体腔积液,可以引导进行引流减压;筛查脓肿、心瓣膜赘生物等感染灶可以引导病灶清除;筛查出血部位有助于协助制定更适宜的止血方案;深静脉血栓筛查、胃储留检查有助于评判治疗风险;监测皮下液化的出现有助于尽早采取措施防止褥疮的形成。可视化进行有创操作,例如超声引导深静脉置管、气管切开有助于减少操作的损伤风险,减少医疗差错发生。

重症超声的无创测量能力已逐渐被验证,已有很多研究证实重症超声在心脏输出量、容量反应性、右心及左心收缩功能评估中的准确性<sup>[16-18]</sup>。除了这些传统的监测项目,重症超声还能够拓展重症监测的范围。目前只有重症超声能够实现床旁无创化重复地监测包括脑血流调节能力、左心舒张功能、肺水肿及肺的失充气程度、胃窦横截面积及胃窦运动情况、肌肉厚度及横截面积等重要项目,因此丰富了

重症监测的内容,很好的揭示了脏器受损程度,并为进一步的精细治疗提供了目标。我们研究了利用肺部超声测量机械通气的休克患者的肺部非重力依赖区的失充气评分,以此反映休克对肺部造成的继发损害程度,这在业界尚属首次。结果发现该评分与患者的预后密切相关,证实了肺部超声检查量化休克患者肺部继发损伤的能力,并拓展了休克治疗的思路<sup>[19]</sup>。我们还研究了胃肠道超声测量的价值,发现胃肠营养 4 h 后胃窦横截面积能够预测短期内喂养不耐受的发生情况,这为临床实践中及时启动胃肠道动力治疗提供了依据和目标<sup>[20]</sup>。

### 3 重症超声可视化诊疗的价值

重症超声可视化诊疗是快速评估患者的病理生理状态和结构改变并引以为导向进行流程化规范诊疗。这是对重症超声核心技术的升华,是将其应用方式从侧重于监测评估拓展为动态地融入治疗过程,并形成具体的诊疗项目、建立相应的应用流程。其关键点在于方案化检查、流程化应用<sup>[15]</sup>。方案化检查有助于提高检查效率和信息收集的价值,快速掌握患者的整体病理生理状态;流程化应用有助于规范临床医生的诊治行为。

重症超声可视化诊疗既发挥了重症超声的优势,又扎根于临床诊疗流程,有助于提高重症救治的高效性和正确性,并减少医疗差错。在本专题中,我们研究了重症超声病理生理导向诊疗方案(pathophysiology oriented critical care ultrasound exam protocol, POCCUE)的价值<sup>[21]</sup>,发现 POCCUE 方案能够明显提高重症专业医师对于急性呼吸循环障碍的诊断及治疗的正确率。我们还研究了重症超声用于休克液体的分阶段管理,发现重症超声指导休克的液体管理,可以减少稳定期和降阶梯期的不合理的液体输注,这一结果与休克的预后改善相关<sup>[22]</sup>。康慧等<sup>[23]</sup>将重症超声应用于心脏患者术后脱机的评估,提出了快速拔管超声评分方案(fast-track extubation ultrasound score protocol, FTE-USP),结果显示 FTE-USP 有望成为对临床患者个体化管理的依据。这些研究都有助于证实重症超声可视化诊疗的可行性及其临床价值。更重要的是,流程化的诊治提高了临床诊疗的同质性,有助于团队素质的扁平化。

### 4 重症超声可视化诊疗的具体应用

#### 4.1 急性呼吸循环障碍的可视化诊治

急性呼吸循环障碍在重症医学中非常有代表性。一方面是因为心肺为氧输送器官,其功能障碍是重症的土壤。另一方面,重症的代表特点是全身性病理生理紊乱,势必累及呼吸循环;此时急性呼吸循环障碍往往反映了疾病的重症化,其障碍程度也反映了重症的严重程度。及时发现急性呼吸循环障碍,准确的诊断、高效的治疗非常重要。

心肺病理生理评估是急性呼吸循环障碍诊治的关键。急性呼吸循环障碍是一类综合征,心肺病理生理状态的改变是其核心环节,是造成多脏器互相伤害并恶性循环的基础。其背后还有深层次的临床病因。所以诊断治疗都包含两个层面,要求同时从病理生理层面和临床病因层面进行系统性诊断、集束化治疗<sup>[24]</sup>。重症超声对心肺病理生理评估具有独特优势。一直以来超声都是心脏检查的首选工具,而近年来的研究,又进一步证实了超声评估肺脏病理生理状态的巨大价值。肺部作为大量含气的器官,在进行肺超检查时会表现为一系列伪像<sup>[25]</sup>。当肺因水肿等原因导致的含水量和含气量发生变化时,伪像也发生变化,因此可以通过不同的肺超征象来反推检查区域发生何种气水比例变化。将整个肺的体表区域进行划分,分别检查后整合分析,就可以掌握整个肺的气水分布特点。整合心肺超声检查,能够快速无创的掌握整体的心肺病理生理改变模式;并且以之为线索引导快速追加其他检查,高效的诊断临床病因<sup>[26]</sup>。然后,在病理生理层面进行针对性强的支持保护治疗,在临床病因层面推进集束化治疗。我们前期总结了基于重症超声的七步法流程(PIEPEAR Workflow)<sup>[24]</sup>,包括产生临床问题、获取临床异常信息、重症超声检查、病理生理分析、病因诊断、双层面治疗、复查反馈七步,有助于厘清思路,导向规范高效的急性呼吸循环诊治,POCCUE 方案即是以七步法的分析思路为基础。

#### 4.2 重症超声导向血流动力学评估治疗-重症循环管理的必需

4.2.1 血流动力学指标的结构依赖性决定了重症超声是血流动力学监测的基础 血流动力学监测是精细管理滴定治疗的基础。传统的监测设备通过测量血流动力学的数据指标,推导出循环系统的病理生理变化,找到治疗的方向,并通过这些数据指标推进精准的滴定治疗,以达到优化治疗效果和减少风险的目的。但是这样的行为也会面临非常大的风险。首先是数据指标具有结构依赖性。比如,对于存在大量瓣膜反流或者其他心内分流的患者,利用

注射冰盐水的热稀释法计算出来的心输出量及肺水等并不准确;其次,血流动力学治疗的目标和风险受到心脏慢性基础疾病和功能障碍的影响。例如,同样的中心静脉压(central venous pressure, CVP),在有慢性肺心病的情况下反应的临床意义并不一样。有无慢性肾脏基础疾病,对于休克治疗的平均动脉压目标要求也不相同。所以,在做血流动力学监测时,必须先有心血管结构评估。重症超声除了能像其他手段一样测量数据指标进行血流及压力评估外,其可视化的优势使其能够同时评估心脏结构改变、慢性基础疾病及功能障碍,推动跨维度的血流动力学监测,并指导精细化治疗<sup>[27]</sup>。秦瑶等<sup>[22]</sup>的研究表明,重症超声指导休克液体管理时能够根据休克的不同阶段制定不同的管理方案,可以精确的减少稳定期和降阶梯期的液体入量,促成休克的预后改善。

**4.2.2 器官导向的血流动力学治疗决定了重症超声的必要性** 血流动力学治疗的目的是保护器官功能<sup>[6]</sup>。所以在传统的全身组织灌注改善的基础上,要回到器官层面,对当前最受损脏器进行专项评估,恢复其调节能力,进一步优化其血流和灌注。而重症超声是器官血流评估的利器,除了直接利用彩色多普勒进行血流评估外,还可以通过超高频及造影技术观察微循环状态;并通过其无创测量能力测量阻力指数等分析其障碍的原因和调节能力、指导脏器目标导向的精细治疗。推进器官导向的血流动力学治疗,重症超声尤为必要。

### 4.3 特定的临床场景需要使用重症超声

重症救治过程中,常常形成一些特殊的临床场景,例如心肺复苏状态、肺复张状态、俯卧位通气、体外膜氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)治疗状态等。这些临床场景会带来区别于常规状态的心肺及其他脏器的病理生理变化,监测治疗的焦点也会存在不同;监测的方式、对象也会发生改变。例如,心肺复苏时,要求直接实时的监测心脏的结构、运动、血流情况;俯卧位时更注重双肺背部区域的充气改善情况及右心血流动力学等等。这些监测评估目前只有重症超声能更好地胜任。复苏超声 FEEL(focused echocardiographic evaluation in life support, FEEL)方案把体表超声合到心肺复苏过程中,注重心跳骤停的类型鉴别及直接病因筛查,更准确的发现自主循环恢复,利于改善复苏质量<sup>[28]</sup>。而经食道超声更是被推荐用于特定的心肺复苏场景中<sup>[29]</sup>。而俯卧位状态下则建议联合经食

道超声监测血流动力学,俯卧位肺超检查 PLUE(prone position lung ultrasound examination protocol, PLUE)方案监测重力依赖区的充气改善情况<sup>[30]</sup>。ECMO 状态因其特殊性,建议全程使用重症超声引导置管、参数设定、俯卧位实施、血流动力学全面监测及脱机等环节<sup>[31]</sup>。

### 4.4 重症超声预警,指导脏器保护治疗

重症超声兼顾结构形态和病理生理评估,具有很大的预警价值。其一,基础结构形态评估有助于预判风险,增加诊疗决策的前瞻性。例如,左室肥厚或者二尖瓣狭窄、左房增大的患者,左房压基础处于增高状态,在接受液体复苏时更容易出现高静水压性肺水肿,在撤离呼吸机时更容易出现心源性撤机失败。其二,新出现的异常发现有助于预警风险。例如,发现静脉内飘带血栓,有助于预警病人肺栓塞风险,发现左心血栓有助于预警动脉栓塞风险,发现胃储留提示反流误吸风险增加等。其三,动态监测病理生理变化有助于预警,及时调整治疗措施的实施。例如,动态监测肺水及左房压,可以确定液体治疗是否应该中止或者终止,动态监测胃窦横截面积,可以指导调整管喂营养的速度,动态监测肺部重力依赖水分布,可以提示俯卧位的启动及脱水治疗,等等。康慧等<sup>[23]</sup>的研究是重症超声预警的良好范例。根据 FTE-USP 方案进行 6 级评分后,发现快速拔管超声评分与多脏器指标呈正相关,并于 5 分时脱机后室颤发生率增加,显示了该方案的预测价值。

重症超声在预警方面的价值,是重症超声对重症非常重要的贡献,在合理的利用下有助于增加诊疗决策的前瞻性,减少不良事件,阻击病情的进展,更好的脏器保护。

## 5 重症超声的局限及对策

重症超声获取信息不同于其他监测手段的同质化直接测量指标。重症超声的评估结果受到多个环节的影响<sup>[8,27]</sup>。首先,操作者获取切面不标准或者质量差,会影响图像的正确判读和指标测量;然后,对于图像的临床解读也需要具有一定的重症基础和重症超声使用经验;再次,重症超声检查也并非面面俱到,也受患者肥胖、消瘦、肺气肿、腹腔胀气甚至设备本身等多因素的影响。这些都支持重症超声存在操作者依赖性和应用误区这一事实。所以,严格的系统性培训非常重要。培训的内容不能只包括操作技能,更包括对图像的临床化解读以及正确的流程化应用,后两者往往应该是培训的重点。在临床应

用过程中,质控非常重要,可以说质控是重症超声广泛使用的前提。质控包括了多个层面,如操作技能达标确保图像质量、流程化应用确保图像及信息的相互印证、基于临床情况的适宜方案、人员等级的配置等等。虽然操作者依赖的缺陷被诟病,但是比起重症超声的巨大价值,这个缺陷更应被克服。长期的临床实践表明,只要做好培训和质控,重症超声就能很好地服务于临床。

总之,重症医学的发展需求促使重症医师们拓展了传统超声技术的优势,并在重症理念的指导下将其临床化打造成为重症超声;重症超声已是重症救治的可视化核心技术,帮助重症医师看透本质,看清问题的根源,推进可视化精准诊疗。基于重症超声的可视化诊疗,是现今重症医师都应掌握的核心技能。

### 参 考 文 献

- [1] RHODES A, EVANS L E, ALHAZZANI W, *et al.* Surviving Sepsis Campaign: international guidelines for management of sepsis and septic shock: 2016. *Crit Care Med*, 2017, 45(3): 486-552.
- [2] VINCENT J L, DE BACKER D. Circulatory shock. *N Engl J Med*, 2013, 369(18): 1726-1734.
- [3] NICOLAIDES N C, KYRATZI E, LAMPROKOSTOPOULOU A, *et al.* Stress, the stress system and the role of glucocorticoids. *Neuroimmunomodulation*, 2015, 22(1/2): 6-19.
- [4] VINCENT J L, RHODES A, PEREL A, *et al.* Clinical review: update on hemodynamic monitoring—a consensus of 16. *Crit Care*, 2011, 15(4): 229 [2019-10-23]. <http://doi.org/10.1186/cc10291>.
- [5] BROCHARD L, MARTIN G S, BLANCH L, *et al.* Clinical review: respiratory monitoring in the ICU—a consensus of 16. *Crit Care*, 2012, 16(2): 219 [2019-10-23]. <http://doi.org/10.1186/cc11146>.
- [6] 刘大为. 重症治疗: 群体化、个体化、器官化. *中华内科杂志*, 2019, 58(5): 337-341.
- [7] LELIGDOWICZ A, DODEK P M, NORENA M, *et al.* Association between source of infection and hospital mortality in patients who have septic shock. *Am J Respir Crit Care Med*, 2014, 189(10): 1204-1213.
- [8] FRANKEL H L, KIRKPATRICK A W, ELBARBARY M, *et al.* Guidelines for the appropriate use of bedside general and cardiac ultrasonography in the evaluation of critically ill patients—part I: general ultrasonography. *Crit Care Med*, 2015, 43(11): 2479-502.
- [9] SCHMIDT G A. ICU ultrasound. The coming boom. *Chest*, 2009, 135(6): 1407-1408.
- [10] BEAULIEU Y. Bedside echocardiography in the assessment of the critically ill. *Crit Care Med*, 2007, 35(5 Suppl): 235-249.
- [11] 陈淑琴, 陶翠霞, 尹绪鑫. 超声波成像原理及其在医学成像中的应用. *医学信息*, 2013(29): 539-539.
- [12] MOORE C L, COPEL J A. Point-of-care ultrasonography. *N Engl J Med*, 2011, 364(8): 749-757.
- [13] RICHARDS J R, MCGAHAN J P. Focused Assessment with Sonography in Trauma (FAST) in 2017: what radiologists can learn. *Radiology*, 2017, 283(1): 30-48.
- [14] 王小亭, 刘大为, 于凯江, 等. 中国重症超声专家共识. *中华内科杂志*, 2016, 55(11): 900-912.
- [15] 尹万红, 王小亭, 刘大为, 等. 重症超声临床应用技术规范. *中华内科杂志*, 2018, 57(6): 397-417.
- [16] PREAU S, BORTOLOTTI P, COLLING D, *et al.* Diagnostic accuracy of the inferior vena cava collapsibility to predict fluid responsiveness in spontaneously breathing patients with sepsis and acute circulatory failure. *Crit Care Med*, 2017, 45(3): e290-e297.
- [17] VILLAVICENCIO C, LEACHE J, MARIN J, *et al.* Basic critical care echocardiography training of intensivists allows reproducible and reliable measurements of cardiac output. *Ultrasound J*, 2019, 11(1): 5 [2019-10-23]. <http://doi.org/10.1186/s13089-019-0120-0>.
- [18] MERCADO P, MAIZEL J, BEYLS C, *et al.* Transthoracic echocardiography: an accurate and precise method for estimating cardiac output in the critically ill patient. *Crit Care*, 2017, 21(1): 136 [2019-10-23]. <http://doi.org/10.1186/s13054-017-1737-7>.
- [19] 曾学英, 尹万红, 邹娟娟, 等. 机械通气的休克患者肺部非重力依赖区超声评分与不良预后的相关性研究. *四川大学学报(医学版)*, 2019, 50(6): 798-802.
- [20] 邹娟娟, 冉启芳, 尹万红, 等. 床旁超声测量胃窦横截面积对重症患者喂养不耐受的预测价值. *四川大学学报(医学版)*, 2019, 50(6): 815-820.
- [21] 周然, 尹万红, 刘冰洋, 等. 重症超声病理生理导向急诊检查方案及诊疗流程(POCCUE)在重症患者急性呼吸循环障碍中的价值研究. *四川大学学报(医学版)*, 2019, 50(6): 792-797.
- [22] 秦瑶, 尹万红, 曾学英, 等. 重症超声导向休克不同时期液体入量对结局的影响. *四川大学学报(医学版)*, 2019, 50(6): 803-807.
- [23] 康惠, 蒲护琼, 张中伟, 等. 快速拔管超声评分与心脏术后患者多器官信息临床指标的相关性研究. *四川大学学报(医学版)*, 2019, 50(6): 808-814.
- [24] YIN W, LI Y, WANG S, *et al.* The PIEPEAR workflow: a critical care ultrasound based 7-step approach as a standard procedure to manage patients with acute cardiorespiratory compromise, with two example cases presented. *Biomed Res Int*, 2018, 2018: 4687346 [2019-10-23]. <http://doi.org/10.1155/2018/4687346>.
- [25] VOLPICELLI G, ELBARBARY M, BLAIVAS M, *et al.* International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med*, 2012, 38(4): 577-591.
- [26] WANG XT, LIU DW, ZHANG HM, *et al.* Integrated cardiopulmonary sonography: a useful tool for assessment of acute pulmonary edema in the intensive care unit. *J Ultrasound Med*, 2014, 33(7): 1231-1239.
- [27] PORTER TR, SHILLCUTT SK, ADAMS MS, *et al.* Guidelines for the use of echocardiography as a monitor for therapeutic intervention in adults: a report from the American society of echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*, 2015, 28(1): 40-56.
- [28] JAMES F, MICHAEL M, HANEY M, *et al.* Transesophageal echocardiography: guidelines for point-of-care applications in cardiac arrest resuscitation. *Ann Emerg Med*, 2018, 71(2): 201-207.
- [29] BLAIVAS M. Transesophageal echocardiography during cardiopulmonary arrest in the emergency department. *Resuscitation*, 2008, 78(2): 135-140.
- [30] WANG X T, DING X, ZHANG H M, *et al.* Lung ultrasound can be used to predict the potential of prone positioning and assess prognosis in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care*, 2016, 20(1): 385 [2019-10-23]. <http://doi.org/10.1186/s13054-016-1558-0>.
- [31] VIGNON P, MERZ T M, VIEILLARD-BARON A. Ten reasons for performing hemodynamic monitoring using transesophageal echocardiography. *Intensive Care Med*, 2017, 43(7): 1048-1051.

(2019-09-26 收稿, 2019-10-29 修回)

编辑 沈进