

## 重症超声在病毒性肺炎患者循环障碍中的应用思考—— 基于重症超声的新分型与精准治疗\*

秦瑶<sup>1</sup>, 尹万红<sup>2△</sup>, 曾学英<sup>1</sup>, 王洁<sup>2</sup>, 朱尧<sup>3</sup>, 中国重症超声研究组

1. 四川大学华西公共卫生学院/四川大学华西第四医院 急危重症医学科(成都 610041);  
2. 四川大学华西医院 重症医学科(成都 610041); 3. 成都医学院临床医学院(成都 610500)

**【摘要】** 病毒是肺部感染的主要病原体之一,易引起大规模流行性病毒性肺炎。重症病毒性肺炎常常会有急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)表现,其表现出的临床症状特殊性,在循环系统尤为明显。重症超声的广泛使用,使我们能够更加深入地认识重症病毒性肺炎的急性循环障碍特征,并加深我们对其他类型感染所致循环障碍的思考。重症病毒性肺炎中急性循环障碍并不少见,主要表现为血管受损、容量紊乱和心脏异常,其中心脏异常又可细分为高应激状态、急性右心障碍及弥漫性心脏功能抑制。在前期管理不善等情况下,这些急性循环障碍又可进展为休克,或者直接导致或加重其他脏器功能障碍(如急性肾损伤),加重不良结局。因此,基于重症超声模块化评估进行急性循环障碍分型,将有助于我们推进对急性循环障碍的理解和更深入的研究。

**【关键词】** 病毒感染 急性循环障碍 血流动力学 重症超声 诊断 治疗

**Reflections on the Application of Critical Care Ultrasound in Viral Pneumonia Patients with Circulatory Dysfunction—  
New Classification and Precision Treatment Based on Critical Care Ultrasound** QIN Yao<sup>1</sup>, YIN Wan-hong<sup>2△</sup>, ZENG Xue-ying<sup>1</sup>, WANG Jie<sup>2</sup>, ZHU Yao<sup>3</sup>, CCUSG . 1. Emergency Department and Intensive Care Unit, West China School of Public Health, West China Fourth Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Department of Intensive Care Unit, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 3. School of Clinical Medicine, Chengdu Medical College, Chengdu 610500, China

△ Corresponding author, E-mail: yinwanhong@wchscu.cn

**【Abstract】** Viruses are among the main pathogens of pulmonary infection and tend to cause pandemics of viral pneumonia. Severe viral pneumonia tends to be accompanied by acute respiratory distress syndrome (ARDS) manifestations, displaying highly specific clinical symptoms that are most prominently expressed in the circulatory system. Shock occurred rarely, it occurred at a rather late stage in this outbreak of viral pneumonia. However, because of the extensive use of critical care ultrasound, we have a deeper understanding of the characteristics of acute circulatory disorder caused by severe viral pneumonia, prompting us to reflect more thoroughly about circulatory disorders caused by other types of infections. In general, acute circulatory disorder is not uncommon in severe viral pneumonia in this outbreak, and is characterized by vascular damage, volume disorder and cardiac abnormalities of three types, high stress state, acute right ventricular dysfunction and diffuse cardiac inhibition. In the case of poor management in the early stage, these acute circulatory disorders may develop into shock, or directly cause or aggravate other organ dysfunction, for example, acute kidney injury, exacerbating the adverse outcomes. This has allowed us to reflect more thoroughly on the occurrence and development of acute circulatory disorders caused by other infections. Therefore, the classification of acute circulatory disorders based on the modular assessment of critical care ultrasound will help promote better understanding of acute circulatory disorders and further research.

**【Key words】** Viral infection Acute circulatory dysfunction Hemodynamics Critical care ultrasound Diagnosis Treatment

病毒是肺部感染的常见病原体之一。由于某些病毒极具传染性,如1918年的流感大流行、2003年非典型肺炎、2009年甲型H1N1流感等,死亡率达到10%~20%,有研究证实埃博拉病毒感染死亡率更是高达40%<sup>[1-3]</sup>。2019年发现新型冠状病毒肺炎现已在全球流行,至今仍在危及全人类健康并影响着世界经济发展<sup>[4-5]</sup>。病毒性肺炎

进展为重症时常表现为急性呼吸窘迫综合征(ARDS),增加救治难度。现有证据表明,病毒感染主要受累的脏器除了肺之外,神经系统、心脏、肾脏均可能存在病毒相关损害<sup>[6-8]</sup>,加上炎症反应及治疗相关因素的影响,患者可能出现多系统的损害,这是患者出现重症化的基础。其中,急性循环障碍是所有重症患者的共同核心要素之一。

早期的一些研究发现,重症病毒性肺炎患者休克发生率非常低,因此人们的目光更多关注于呼吸衰竭的管理。有研究分析<sup>[9-11]</sup>其可能的原因在于病毒不具有如内

\* 四川大学华西医院新型冠状病毒科技攻关项目(No. HX-2019-nCoV-045)资助

△ 通信作者, E-mail: yinwanhong@wchscu.cn

毒素、肽聚糖等抗原成分,因此诱导了不同的炎症途径,其下游产物和作用位点也存在差异;加之新型病毒作用于血管紧张素转化酶(ACE)受体影响血管张力,所以脓毒性休克发生率低。重症超声是重症核心诊疗技术之一,可床旁、实时、快速、无创的获得患者肺部、心脏、肾脏、颅脑、胃肠道的病理生理信息,为临床诊疗提供重要依据。随着重症超声应用的普及<sup>[12-13]</sup>,特别是在新型冠状病毒肺炎救治过程中防护的高要求助推了重症超声的大量临床应用<sup>[14-15]</sup>,使我们发现了患者的急性循环障碍在休克前期就已经出现,并观察到部分患者的病情如何渐进发展到其最重的阶段——休克,由此催生了临床研究者对急性循环障碍过程更加深入的思考,并基于重症超声

提出新的急性循环障碍分型。

### 1 基于重症超声的急性循环障碍分型

多数重症病毒性肺炎患者与细菌性肺炎患者同样会受到炎症、应激、肺部病理生理紊乱等因素的影响而出现急性循环障碍。依据其受累的主要矛盾侧重不同,急性循环障碍可以表现为血管受损、容量紊乱和心脏异常等主要类型(图1),其中一部分患者可进展为其中更严重的阶段——休克。

#### 1.1 血管受损

血管受损在重症病毒性肺炎中普遍存在,主要表现为血管内皮及其表面的多糖包被破坏和血管张力降低。

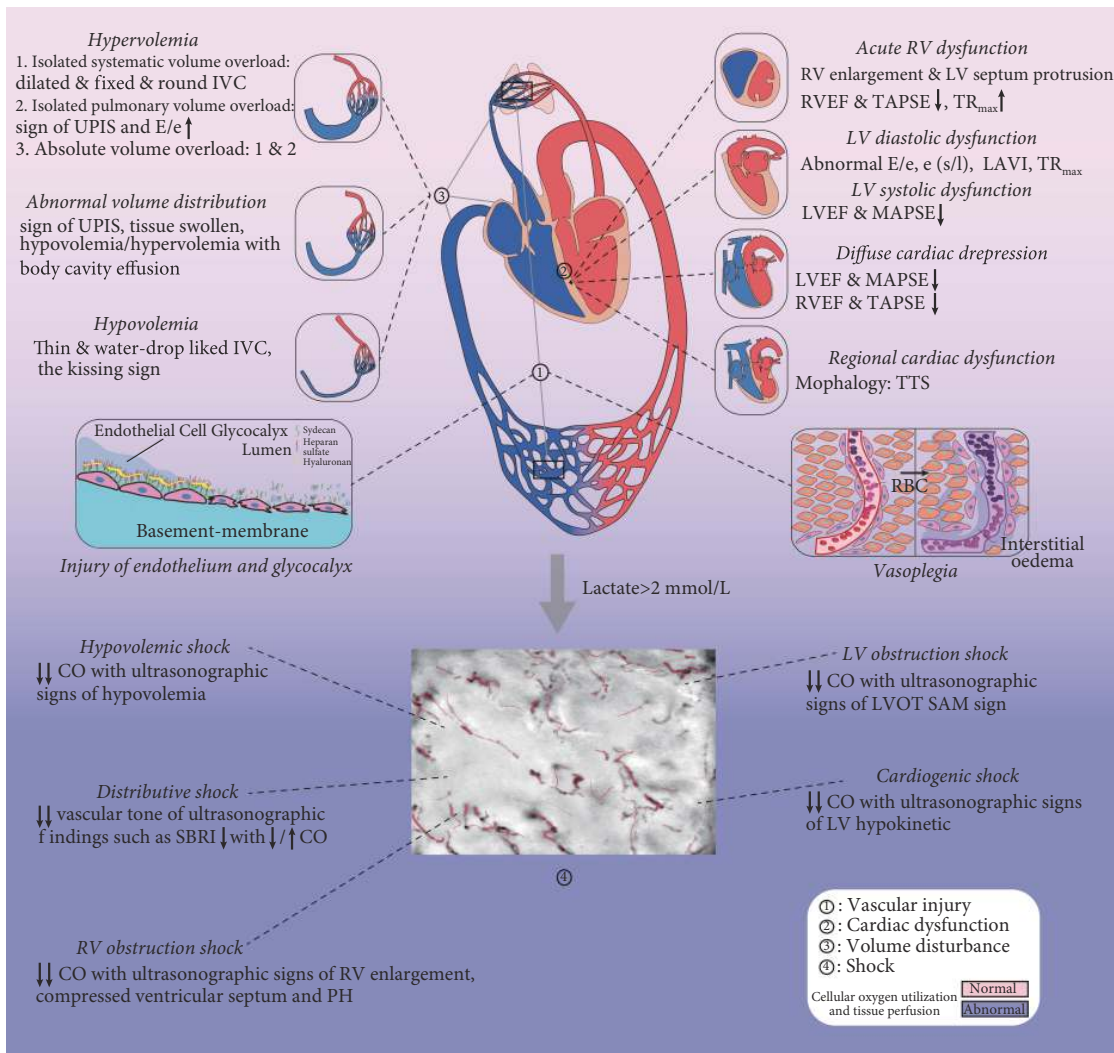


图 1 基于重症超声的急性循环功能障碍分型

Fig 1 Classification of acute circulatory dysfunction based on critical care ultrasound

↓↓: Severe decreased; ↓: Lower; ↓/↑: Lower or higher; ↑: Higher; RV: Right ventricle; LV: Left ventricle; LVEF: Left ventricular ejection fraction; RVEF: Right ventricular ejection fraction; LA: Left atrium; LAVI: Left atrial volume index; TR<sub>max</sub>: Maximum tricuspid regurgitation velocity; MAPSE: Mitral annular plane systolic excursion; TAPSE: Tricuspid annular plane systolic excursion; IVC: Inferior vena cava; UPIS: Ultrasound pulmonary interstitial syndrome; CO: Cardiac output; TTS: Tako-Tsubo syndrome; PH: Pulmonary hypertension; LVOT: Left ventricular outflow tract; SAM sign: Systolic anterior motion sign; SBRI: Snuffbox restrictive index.

很多研究表明<sup>[10]</sup>,在炎症状态下肿瘤坏死因子- $\alpha$ (TNF- $\alpha$ )等因子、氧化应激等因素的参与均可导致内皮表面的多糖包被脱落,以及内皮细胞连接处破坏;而对于一些特定的炎症过程可以在细胞内诱发促炎因子生成,使诱导性一氧化氮合酶(iNOS)表达增加,生成过多的NO,最终导致血管麻痹<sup>[16]</sup>。内皮及多糖包被的受损,除了导致凝血过程启动、微血栓形成外<sup>[17]</sup>,更能导致渗漏的发生,并加剧血管内容量不足。而血管张力降低,则导致低血压甚至休克。新型冠状病毒的特殊性表现出血管张力下降更少出现,但是内皮受损仍是普遍。

### 1.2 容量紊乱

容量紊乱在重症病毒性肺炎患者中也很常见,主要表现为低容量、高容量和容量分布异常。一方面因为血管受损后渗漏会导致容量降低,同时低氧导致呼吸窘迫、大量出汗和液体丢失,患者容量不足更为严重;同时,由于患者存在低氧以及肺间质改变,临床医师在治疗过程中易习惯性地通过限制入量和利尿来达到改善氧合的目的,若管理不当可能会加剧容量不足,甚至进入低血容量休克阶段。即使没有休克,患者也会因容量不足使肾脏处于低灌注状态(图2),而高龄患者因合并症多,更易出现急性肾损伤。

高容量在重症病毒性肺炎中也可见到。在救治过程中常常因为液体复苏、营养治疗等导致每天较多的液体输注,因客观条件以及理念的限制无法进行精细血流动力学监测,易导致高容量状态,其中的一个直接后果是加剧渗漏的发生。另一类特殊的高容量则是因左右心功能不匹配所致的容量分布异常,例如急性肺心病或右心受压等状态下,右心内压力增高,腔静脉回流受阻、扩张固定,腔静脉上游容量血管淤血,而左心功能正常,肺循环不淤血,表现出单纯的体循环容量过负荷;严重左心收缩或/和舒张障碍、右心动力正常时,左房压升高,肺循环阻

力增高,体循环不淤血,表现出单纯肺循环容量过负荷。有研究证实高容量状态本身也会加重多糖包被的脱落<sup>[10]</sup>,导致液体渗漏。渗漏的后果就是容量分布异常,表现为组织间隙水肿,微循环障碍;而肺部水肿又会加重低氧和肺自我损伤,对于肾脏而言则进一步减少滤过压、加剧少尿。

### 1.3 心脏异常

部分重症病毒性肺炎患者临床上虽无休克表现,但通过心脏超声检查可发现存在心脏异常<sup>[18]</sup>。可能的机制包括细胞因子风暴所致的应激,血管紧张素转化酶2(ACE-2)表达下调,可能存在的病毒直接侵犯,低氧血症及其他如镇痛、镇静等<sup>[11,19-20]</sup>。另一方面,急性肺内病理生理异常导致的肺血管阻力增加也是核心环节之一。心脏异常的类型包括右心压力过负荷和(或)容量过负荷相关的右心异常(右心增大、功能障碍),左心室舒张功能障碍、左心收缩功能弥漫降低、心室壁节段运动异常为表现的应激性心肌病以及应激性心脏高动力等。心脏异常通常是感染、炎症的后果,但是又会成为二重血流动力学障碍的原因,加重肺水肿、肾脏损伤甚至导致心源性休克。

而对于气管插管、呼吸机支持的患者,急性肺心病并不少见,这与肺部本身早期的间质性改变以及后期的肺纤维化,肺部病理生理异常(如过度通气与动静脉短路),生理异常(包括低氧、高碳酸血症),呼吸支持力度高等有关。而病毒本身对右心及肺动脉是否有影响还有待研究。

### 1.4 休克

虽然病毒性肺炎患者早期合并休克者较少,但在对患者进行诱导气管插管、镇静时,常出现休克,这可能与缺氧、酸中毒、炎症反应和药物共同作用有关。在病程中后期,随着炎症反应的进展、心脏功能抑制、镇痛镇静、合并细菌感染、容量管理不当等多种因素的影响,休克较为常见<sup>[21]</sup>。通过重症超声评估,休克的类型以分布性休克、右心梗阻为主的梗阻性休克较为常见。界定休

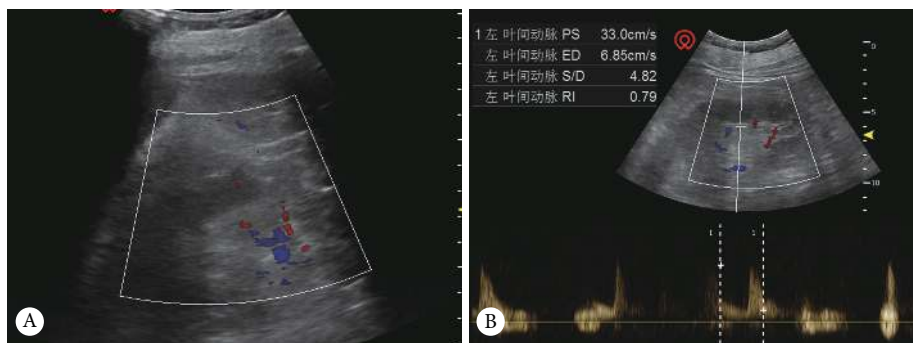


图2 病毒性肺炎患者肾脏灌注不足超声表现

Fig 2 Ultrasonographic findings of renal hypoperfusion in a patient with viral pneumonia

A: Blood flow signal was visible at renal hilum, and renal blood perfusion semi-quantitative score was grade I; B: Increased renal interlobar artery resistance index.

克的关键在于患者的急性循环异常已出现组织灌注不足与氧代谢障碍,表现为血乳酸水平升高合并血压明显降低<sup>[22]</sup>。所以在诊断休克时应将重症超声监测结果与血压监测、乳酸、毛细血管再充盈时间等充分结合,完成具体分型。

## 2 基于重症超声的精细循环管理

重症超声的优势体现在可同时对脏器进行结构、功能、血流细节监测并测量,可分段模块化评估心脏及容量;并可单独监测脏器血流及调节能力,在对患者的循环精细管理当中发挥重要作用<sup>[23]</sup>。更重要的是,基于重症超声的急性循环障碍分型,本身就具备引导针对性治疗的价值。

### 2.1 非休克患者的日常监测导向的循环管理

重症超声的日常监测的价值在于早期发现急性循环障碍,通过重症超声导向的滴定治疗,尽量减少其进展恶化,减少脏器功能损耗;并通过动态的趋势监测预警休克及其他恶性并发症。

**2.1.1 重症超声对容量的监测** 直观、无创的重症超声在评估容量紊乱中具有不可替代的作用。其中评价容量分布异常是重症超声的一大优势:其可以直接评估左心过度充盈(增大的左室、左房以及二尖瓣前向血流单峰样改变等)及肺水过负荷(急性肺水肿型超声肺间质综合征);评估右心容量高负荷(下腔静脉长轴充盈固定、短轴正圆形)及右心容量低负荷(下腔静脉长轴明显纤细、短轴水滴形)。若患者下腔静脉处于中间状态,可借助前负荷重分布手法(如被动抬腿试验)或选择其他方式进行容量反应性评估<sup>[24-25]</sup>。

**2.1.2 重症超声对右心的监测** 重症超声可通过右心的大小、室间隔、运动状态定性评估右心的形态和功能,也可通过测量右心室长短径、左右心比例、三尖瓣瓣环收

缩期位移(TAPSE)、三尖瓣瓣环组织多普勒收缩峰(SD)定量精细评价右心功能。右心后负荷主要来自于肺动脉压力,当肺动脉压力急剧增高的时候,右心功能及易受影响。通常认为TAPSE $< 16$  mm则存在右心收缩功能障碍。所以,当出现右心增大、室间隔运动异常或D字征、右心收缩功能异常等表现,可考虑患者存在右心功能障碍(图3),紧接着进一步找到右心障碍的原因,从病因上推进治疗。

**2.1.3 重症超声对左心功能的监测** 重症超声可通过评估左心室结构、左心房大小、左心室壁厚度、左室收缩功能快速判断患者是否存在左心舒张功能障碍。通过测量二尖瓣前向血流E峰、A峰,二尖瓣瓣环位移速度e、a峰,以及E/A、E/e半定量评估左心舒张功能,估测左房压。当左房明显增大(图4A),E/e $> 14$ 时,或者二尖瓣前向血流为单峰时(图4B),提示左室充盈压增高,估测肺动脉楔压大于15 mmHg(1 mmHg= 0.133 kPa),此类患者容量耐受性差,易发生肺水肿或休克,需严格限制补液治疗或者清除液体负荷的速度,且需严密监测肺水情况,滴定治疗进度。正压通气患者在脱机的过程中,降低或者撤除正压后,需警惕因心脏前负荷增加而引起肺水增加的风险<sup>[26]</sup>。

左心收缩功能障碍除通过主观评估方式进行粗略分级判断外,还可通过测量射血分数(EF)、二尖瓣瓣环收缩期位移(MAPSE)、左室流出道VTI、二尖瓣瓣环组织多普勒收缩峰(SD)进行定量评估。通常,EF $< 50\%$ ,MAPSE $< 12$  mm提示左心收缩功能下降。左心收缩功能障碍需辨别是弥漫运动障碍还是节段运动障碍,前者多与脓毒症、心肺复苏、药物等全身打击相关,后者需结合心电图、心肌标志物、肌钙蛋白的动态变化,早期鉴别是否与冠脉病变相关,及时启动病因治疗,以免延误病情。

### 2.2 休克的可视化精准治疗

重症超声可帮助临床医师快速判断休克类型,结合

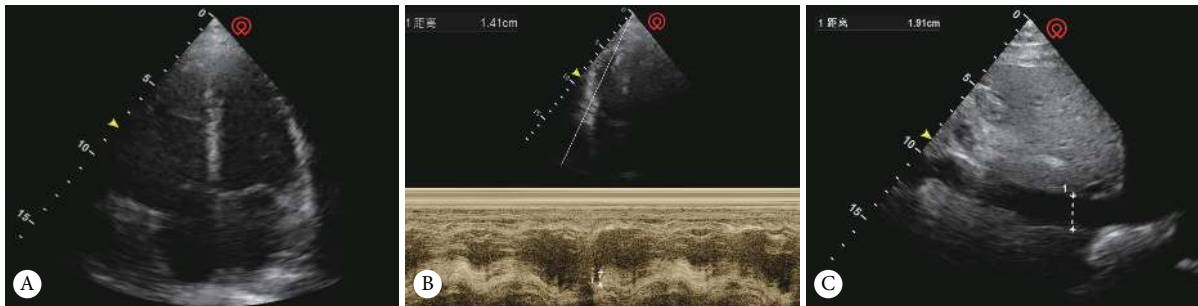


图 3 病毒性肺炎患者急性肺心病的超声表现

Fig 3 Ultrasonographic findings of acute cor pulmonale in patients with viral pneumonia

A: Apical four-chamber view with a marked enlargement of the right heart; B: TAPSE 1.41 cm, suggesting right ventricular systolic insufficiency; C: Dilated and fixed inferior vena cava, suggesting obstruction of IVC return and increased right ventricular pressure.

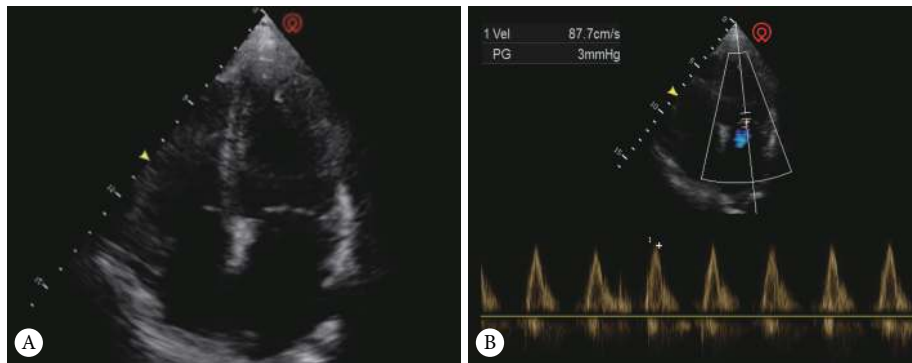


图4 病毒性肺炎左心舒张功能不全患者超声表现

Fig 4 Ultrasonographic findings of viral pneumonia patients with left ventricular diastolic dysfunction

A: Apical four-chamber view with left atrium enlarged; B: Anterior mitral valve flow is unimodal.

临床信息识别病因、窄化治疗。这将有助于提高诊疗的效率和准确性,同时推进病症融合治疗。在接诊休克的第一时间可评估心包积液、腔室异常结构和占位、瓣膜异常等大体结构异常,从而识别是否有心包填塞、大面积肺栓塞等原因导致的梗阻性休克;也可识别明显的室壁运动异常所致心源性休克,若存在相关冠脉节段运动异常,则需结合心肌酶学、心电图等临床信息鉴别是否存在急性冠脉综合征;纤细下腔静脉联合正常或者增强的心功能提示低血容量性休克,结合临床指标如血红蛋白含量、红细胞压积可判断丢失成分,及时输血或补液治疗。

重症超声对容量紊乱及心脏异常的模块化评估,为解决休克患者至关重要的流量不足提供了关键信息。因此,休克的治疗不局限于液体复苏、强心和血管加压等常规措施,而是有的放矢,围绕“容量如何从静脉血管转移到左心变成心脏输出”以及“如何将中心血流量合理分布到不同脏器”这两个核心命题展开。解决顺着血流方向,解决右心动力障碍、减低右心后负荷、改善左心舒张、改善左心动力以及解决瓣膜和流出道异常等措施都是重要的休克治疗手段。脏器的血流调节能力评估也将成为常规操作。

对于重症病毒性肺炎患者,由于缺氧、肺部病理改变、高呼吸机支持力度等因素常导致肺动脉压增高,即患者右心后负荷增加,此时下腔静脉回流阻力增加、内径增宽,下腔静脉宽度临界值也会不同。当右心压力急剧增高时,即便存在容量不足,下腔静脉也可能因压力负荷过高而无明显变异(图5)。所以,在进行容量状态及容量反应性的评估时需紧密结合心功能的情况,慎重制定血流动力学治疗决策。

### 3 总结

重症超声以其无创、可视化、动态监测以及模块化



图5 下腔静脉充盈固定,提示容量过负荷

Fig 5 Dilated and fixed Inferior vena cava, suggesting hypervolemia

评估的能力在急性循环障碍的诊治中具有不可动摇的地位。特别在重症新型冠状病毒肺炎患者,由于休克出现少而晚,急性循环障碍常隐匿而被忽视,重视重症超声的应用才能更早的发现和治理。基于重症超声的新分型有助于明确当前的主要矛盾及治疗的关键所在。但是这都要建立在正确认识血流动力学病理生理改变,获取标准的、方案化的重症超声检查并整合临床信息的基础上。上述经验是结合既往救治的思考以及最新理念进行的总结,在此次重症病毒性肺炎的救治中起到了很好的效果,希望能为临床工作者提供重症患者日常管理思路的借鉴。

\* \* \*

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] TAUBENBERGER J K, MORENS D M. The 1918 influenza pandemic and its legacy. *Cold Spring Harb Perspect Med*, 2020, 10: a038695[2020-12-16]. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a038695>.

- [2] DAWOOD F S, IULIANO A D, REED C, *et al.* Estimated global mortality associated with the first 12 months of 2009 pandemic influenza A H1N1 virus circulation: a modelling study. *Lancet Infect Dis*, 2012, 12(9): 687–695.
- [3] MALVY D, MCELROY A K, CLERCK H D, *et al.* Ebola virus disease. *Lancet*, 2019, 393(10174): 936–948.
- [4] HEATON P M. The Covid-19 vaccine-development multiverse. *N Engl J Med*, 2020, 383(20): 1986–1988.
- [5] HUANG C L, WANG Y M, LI X W, *et al.* Clinical features of patients with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*, 2020, 395(10223): 497–506.
- [6] MALIK Y S, SIRCAR S, BHAT S, *et al.* Emerging novel coronavirus (2019-nCoV)-current scenario, evolutionary perspective based on genome analysis and recent developments. *Vet Q*, 2020, 40(1): 68–76.
- [7] CHAN K W, WONG V T, TANG S C W. COVID-19: An update on the epidemiological, clinical, preventive and therapeutic evidence and guidelines of Integrative Chinese-Western Medicine for the management of 2019 novel coronavirus disease. *Am J Chin Med*, 2020, 48(3): 737–762.
- [8] CHEN N, ZHOU M, DONG X. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: A descriptive study. *Lancet*, 2020, 395(10223): 507–513.
- [9] GUAN W J, NI Z Y, HU Y, *et al.* Clinical characteristics of coronavirus disease 2019 in China. *N Engl J Med*, 2020, 382(18): 1708–1720.
- [10] PILLINGER N L, KAM P. Endothelial glycocalyx: Basic science and clinical implications. *Anaesth Intensive Care*, 2017, 45(3): 295–307.
- [11] SOUTH A M, DIZ D I, CHAPPELL M C. COVID-19, AEC2, and the cardiovascular consequences. *AM J Physiol Heart Circ Physiol*, 2020, 318(5): H1084–H1090.
- [12] 王小亭, 刘大为. 重症超声是整合重症医学的有力武器. *中华内科杂志*, 2013, 52(8): 631–633.
- [13] 尹万红, 张中伟, 康焰. 重症超声核心技术与可视化诊疗核心技能. *四川大学学报(医学版)*, 2019, 50(6): 787–791.
- [14] 张丽娜. 重症新型冠状病毒肺炎救治:用好重症超声. *中华重症医学电子杂志*, 2020, 6(1): 56–57.
- [15] 张丽娜, 尹万红, 何伟, 等. 基于重症超声的重症新型冠状病毒肺炎救治建议. *中华内科杂志*, 2020, 59(9): 677–688.
- [16] LEVY B, FRITZ C, TAHON E, *et al.* Vasoplegia treatments: The past, the present, and the future. *Crit Care*, 2018, 22(1): 52.
- [17] CARSANA L, SONZOGNI A, NASR A, *et al.* Pulmonary post-mortem findings in a series of COVID-19 cases from northern Italy: A two-centre descriptive study. *Lancet Infect Dis*, 2020, 20(10): 1135–1140.
- [18] PENG Q Y, WANG X T, ZHANG L N, *et al.* Using echocardiography to guide the treatment of novel coronavirus pneumonia. *Crit Care*, 2020, 24(1): 143.
- [19] 中国医师协会心脏重症专业委员会. 新型冠状病毒肺炎合并心功能不全诊治专家建议. *中华医学杂志*, 2020(17): 1284–1289.
- [20] RAGAB D, ELDIN H S, TAEIMAH M, *et al.* The COVID-19 cytokine storm; What we know so far. *Front Immunol*, 2020, 11: 1446[2021-12-16]. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01446>.
- [21] 张丽娜, 尹万红, 何伟, 等. 基于重症超声的重症新型冠状病毒肺炎救治建议. *中华内科杂志*, 2020, 59(9):677–688.
- [22] VINCENT J L, DE BACKER D. Circulatory shock. *N Engl J Med*, 2014, 370(6): 583.
- [23] 张丽娜, 王小亭, 中国重症超声研究组 (CCUSG). 容量反应性评估:需关注心功能. *中华重症医学电子杂志*, 2016, 2(2): 97–101.
- [24] 尹万红, 陈瑶, 金晓东, 等. 床旁超声监测颈总动脉峰流速变异用于评估外科ICU患者容量状态的研究. *四川大学学报(医学版)*, 2013, 44(4): 624–628.
- [25] 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. *四川大学学报(医学版)*, 2016, 47(4): 580–583.
- [26] 张丽娜, 张宏民, 王小亭, 等. 精准休克治疗:要重视重症超声 导向的六步法休克评估流程. *中华医学杂志*, 2016, 96(29): 2289–2291.

(2020-04-14收稿, 2020-12-17修回)

编辑 汤洁