

基于重症超声的重症新型冠状病毒肺炎救治建议

张丽娜¹ 尹万红² 何伟³ 张宏民⁴ 刘丽霞⁵ 朱然⁶ 武钧⁷ 蔡书翰⁸ 晁彦公⁹
王小亭^{4,10} 中国重症超声研究组 中华医学会重症医学分会 中华医学会重症医学分会重症血流动力学治疗协作组

¹中南大学湘雅医院重症医学科 国家老年疾病临床医学研究中心,长沙 410008;²四川大学华西医院重症医学科,成都 610041;³首都医科大学附属北京同仁医院重症医学科 100730;⁴中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院重症医学科 100730;⁵河北医科大学第四医院重症医学科,石家庄 050011;⁶中国医科大学附属第一医院重症医学科,沈阳 110001;⁷上海交通大学附属瑞金医院重症医学科 200025;⁸武汉大学中南医院重症医学科 430071;⁹清华大学第一附属医院重症医学科,北京 100016;¹⁰西藏自治区人民医院重症医学科,拉萨 850000

通信作者:王小亭,Email:icuting@163.com;张丽娜,Email:zln7095@163.com

【摘要】 重症新型冠状病毒肺炎(COVID-19)患者的特点是病毒侵袭后,肺部损害持续加重,引发呼吸衰竭,并发或继发循环改变与多器官功能障碍。重症超声因其动态、实时、无创、可重复等优点,可广泛用于重症患者的病因诊断、病情评估并指导治疗。现以在湖北省武汉市来自全国参与COVID-19救治的重症专家建议为基础,总结出基于重症超声的重症COVID-19救治的指导建议,皆在为救治COVID-19重症患者提供依据。

【关键词】 重症超声; 新型冠状病毒肺炎; 急性呼吸窘迫综合征; 治疗

DOI:10.3760/cma.j.cn112138-20200219-00098

Recommendations for the treatment of severe coronavirus disease 2019 based on critical care ultrasound

Zhang Lina¹, Yin Wanhong², He Wei³, Zhang Hongmin⁴, Liu Lixia⁵, Zhu Ran⁶, Wu Jun⁷, Cai Shuhan⁸, Chao Yangong⁹, Wang Xiaoting^{4,10}, Chinese Critical Ultrasound Study Group, Chinese Society of Critical Care Medicine, Chinese Hemodynamic Therapy Collaboration Group of Critical Care Medicine

¹Department of Critical Care Medicine, Xiangya Hospital, Central South University, National Clinical Research Center for Geriatric Disorders, Changsha 410008, China; ²Department of Critical Care Medicine, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; ³Department of Critical Care Medicine, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing 100730, China; ⁴Department of Critical Care Medicine, Peking Union Medical College Hospital, Peking Union Medical College, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China; ⁵Department of Critical Care Medicine, The Fourth Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, China; ⁶Department of Critical Care Medicine, The First Hospital of China Medical University, Shenyang 110001, China; ⁷Department of Critical Care Medicine, Rui Jin Hospital Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 200025, China; ⁸Department of Critical Care Medicine, Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan 430071, China; ⁹Department of Critical Care Medicine, the First Hospital of Tsinghua University, Beijing 100016, China; ¹⁰Department of Critical Care Medicine, Tibet Autonomous Region People Hospital, Lhasa 850000, China

Corresponding author: Wang Xiaoting, Email: icuting@163.com; Zhang Lina, Email: zln7095@163.com

【Summary】 Severe patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19) are characterized by persistent lung damage, causing respiratory failure, secondary circulatory changes and multiple organ dysfunction after virus invasion. Because of its dynamic, real-time, non-invasive, repeatable and other advantages, critical ultrasonography can be widely used in the diagnosis, assessment and guidance of

treatment for severe patients. Based on the recommendations of critical care experts from all over the country who fight against the epidemic in Wuhan, this article summarizes the guidelines for the treatment of COVID-19 based on critical ultrasonography, hoping to provide help for the treatment of severe patients. The recommendations mainly cover the following aspects: (1) lung ultrasound in patients with COVID-19 is mainly manifested by thickened and irregular pleural lines, different types of B-lines, shred signs, and other consolidation like dynamic air bronchogram; (2) Echocardiography may show right heart dysfunction, diffuse cardiac function enhancement, stress cardiomyopathy, diffuse cardiac depression and other multiple abnormalities; (3) Critical ultrasonography helps with initiating early treatment in the suspect patient, screening confirmed patients after intensive care unit admission, early assessment of sudden critical events, rapid grading assessment and treatment based on it; (4) Critical ultrasonography helps to quickly screen for the etiology of respiratory failure in patients with COVID-19, make oxygen therapeutic strategy, guide the implementation of lung protective ventilation, graded management and precise off-ventilator; (5) Critical ultrasonography is helpful for assessing the circulatory status of patients with COVID-19, finding chronic cardiopulmonary diseases and guiding extracorporeal membrane oxygenation management; (6) Critical ultrasonography contributes to the management of organs besides based on cardiopulmonary oxygen transport; (7) Critical ultrasonography can help to improve the success of operation; (8) Critical ultrasonography can help to improve the safety and quality of nursing; (9) When performing critical ultrasonography for patients with COVID-19, it needs to implement three-level protection standard, pay attention to disinfect the machine and strictly obey the rules from nosocomial infection. (10) Telemedicine and artificial intelligence centered on critical ultrasonography may help to improve the efficiency of treatment for the patients with COVID-19. In the face of the global spread of the epidemic, all we can do is to share experience, build a defense line, We hope this recommendations can help COVID-19 patients therapy.

【 Key words 】 Critical ultrasonography; Coronavirus disease 2019; Acute Respiratory Distress Syndrome; Therapy

2019 年 12 月我国武汉市陆续发现了新型冠状病毒肺炎(COVID-19)^[1],特点是病毒侵袭后,肺部损害持续加重,引发呼吸衰竭,继发循环改变与多器官功能障碍。重症 COVID-19 的救治成为目前急需解决的重大问题。重症患者常基于心肺氧输送器官损伤的多器官功能受累,与之相应的是,重症超声监测评估的特点即是基于心肺评估的全身多器官评估,且具有动态、实时、无创、可重复的特点,不仅可用于病情评估,及时发现问题,还可进行多目标整合的动态评估,与其他监测手段获取的重要数据一起为诊断与治疗的调整提供及时、准确的指导^[2-3]。现以在湖北省武汉市来自全国各地参与 COVID-19 救治的重症专家的建议为基础,总结了基于重症超声的重症 COVID-19 救治的指导意见,希望为重症 COVID-19 患者救治提供依据。

一、COVID-19 患者的超声影像表现

(一) COVID-19 患者的肺部超声影像

COVID-19 的肺部超声特点与患者检查时所处的病程阶段、肺部受累严重程度以及基础疾病等多种因素相关。病灶分布于胸膜下^[4-6],肺部超声检查较易发现。病变处于深部和/或未累及胸膜者,肺部超声诊断价值有限,尤其是早期或轻症型。从 COVID-19 患者病理解剖特点看^[7-8],疾病早期主要累及肺泡上皮细胞,肺泡腔内有颗粒蛋白样渗出,

肺间质中有单核细胞浸润;进展后出现肺泡上皮细胞脱落、透明膜形成,以淋巴细胞为主的间质炎性细胞浸润,间质增厚;可见肺部纤维化改变;有些患者出现弥漫性肺泡内出血,伴纤维黏液样渗出物,同一患者可同时呈现上述不同的病理改变。对应于胸部 CT 影像,一般自然病程^[4,9]:发热患者超早期胸部 CT 影像可能阴性或者不典型,如仅表现为弥漫性血管影增强;随病变进展可出现散在或大片磨玻璃影表现,部分患者可继续进展为渗出或浸润、小实变表现,可伴发支气管充气征、少见胸腔积液,后进入纤维条索影像表现,或者病变逐渐吸收;重症患者(出现呼吸困难或发生低氧血症)胸部 CT 影像学表现典型,双肺多发散在或大片磨玻璃影,病情进一步加重患者可出现严重浸润表现乃至大片实变;同一患者同一时间的影像学常同时包含多种性质病变,且常处于不同阶段,随时间推移病变改变明显。基于肺部病理改变特征和胸部 CT 影像学特征,胸膜通常最早受累,肺部超声可见胸膜线改变,主要表现为增厚和不规则,累及间质和/或肺泡后出现不同表现的 B 线,如 B7/B3、融合 B 线;根据病变时期和特征不同,同一患者不同部位可呈现出形态各异的 B 线;肺小叶受累时出现碎片征表现,进一步累及多个肺小叶或肺段甚至肺叶时,可表现为动态支气管充气征等大块肺实变影像。

COVID-19 患者的肺部超声影像特点^[10](图 1):

1. 胸膜线改变, 超声表现为不同程度增厚和不规则。

2. 磨玻璃影、渗出、浸润, 超声表现为不同程度的 B 线(B7、B3)、融合 B 线, 根据分布区域不同, 可表现为局灶性 B 线, 弥漫性肺泡间质综合征改变。

3. 胸膜下小实变, 超声表现为碎片征。

4. 大片实变伴支气管充气征, 超声表现为动态支气管充气征, 组织样征。

5. 少见水母征、四边形征等胸腔积液的超声表现。

6. 肺部超声检查常表现为多部位异常。

7. 早期和轻症以局灶性 B 线为主, 进展期和危重症患者以肺泡间质综合征为主; 康复期多存在肺纤维化, 表现为胸膜线增厚, 不规则, 伴有不均齐 B 线改变, 少数可完全恢复正常肺部超声的 A 表现。

8. 特别强调, 病变处于深部和/或未累及胸膜的, 肺部超声存在明显局限性, 尤其是早期或轻症。

肺部超声作为重症超声的一部分, 有助于评估重症 COVID-19 患者肺部病变的发生发展, 但需切

记勿将肺部超声单独用于早期诊断与全面深度肺部病变评估。值得注意的是, 病毒原发性肺损伤导致的肺部超声改变多以胸膜下碎片征为主, 少见大片实变改变, 肺部超声与临床症状不符时, 提示需完善胸部 CT 检查^[11]。

(二) COVID-19 患者的心脏超声影像

重症 COVID-19 患者心脏超声常可发现右心功能受累, 亦可出现弥漫性心脏功能增强、应激性心肌病、弥漫性心脏抑制等改变, 上述改变同时存在时, 增加判读复杂性, 尤其合并急性呼吸窘迫综合征(ARDS)时, 可能出现基于急性肺心病的改变^[12], 合并发生左心的改变。

二、重症超声有助于 COVID-19 疑似时启动治疗

COVID-19 的诊断主要依据流行病学、临床表现及核酸检测^[13]。由于核酸检测的技术要求及时间性, 且 COVID-19 患者肺部影像学表现早于临床表现的特点, 各方专家呼吁尽早行胸部 CT 检查, 并将其作为筛查疑似患者的必检项目, 阳性者立即启动治疗, 达到早期隔离、早期治疗的目标。当面对

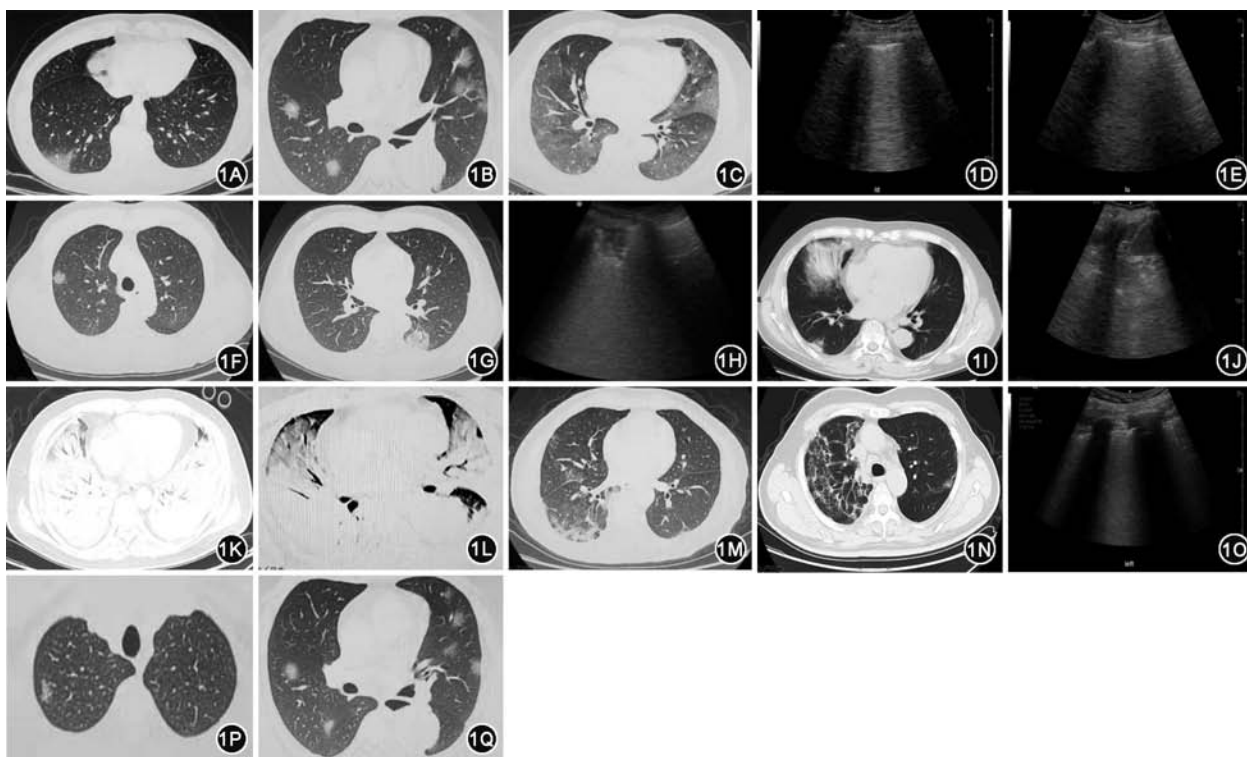


图1 新型冠状病毒肺炎患者肺部影像学特点 1A 胸部CT示右肺外侧基底段局灶磨玻璃影 1B 胸部CT示双肺下叶多发磨玻璃影 1C 胸部CT示双肺下叶、左肺上叶舌段大面积渗出 1D 肺部超声示B7线 1E 肺部超声示B3线 1F 胸部CT示右肺上叶局灶磨玻璃影 1G 胸部CT示左肺下叶背段局灶磨玻璃影 1H 肺部超声示碎片征 1I 胸部CT示右肺中叶大片实变 1J 胸部超声示肺实变征(支气管气相) 1K 胸部CT示双肺下叶白肺 1L 胸部CT示双肺下叶、左肺上叶舌段病变扩散, 合并急性呼吸窘迫综合征 1M、1N 胸部CT示右肺下叶、右上肺纤维化过程 1O 肺部超声示合并胸膜改变的B线 1P 胸部CT示右肺上叶易被肺部超声漏诊的结节病变(未累及胸膜) 1Q 胸部CT示双肺下叶易被肺部超声漏诊的多结节病变(深处病变)

很多CT检查受限或者患者病情危重无法确保检查安全时,肺部超声检查亦可作为有力的补充手段进行初筛,尽快筛选出疑似患者启动隔离和早期治疗(图2)。

三、重症超声有助于 COVID-19 患者突发重症事件的早期评估

根据 COVID-19 严重程度可分为轻症、临床普通型、重型与危重症型^[13],疾病可以逐渐发展,亦可以在不同进程突然恶化为重型和危重症。及时临床识别,早期评估,快速临床分型是救治基础,亦是改善预后的重要环节。重症事件,即发生以呼吸衰竭和休克为代表的呼吸循环受累及心肺以外其他器官损伤,需立即转入ICU接受重症治疗。早期准确评估 COVID-19 发生重症事件,可优先选择心肺超声筛查方案,即重症患者急会诊超声筛查方案(CCUE)^[14]。

鉴于 COVID-19 患者通常存在肺容积改变,膈肌上抬,推荐应用改良 CCUE (图3)^[15],其中心脏超声选择剑突下四腔心切面、剑突下下腔静脉长轴切面、胸骨旁左心室长轴切面、胸骨旁左心室短轴切面和心尖四腔心切面。肺部超声选择8分区^[16]或12分区^[17]法,以避免或减少病变漏评。8分区着重于肺部间质综合征的评估^[16]。12分区主要对肺部不同部位、不同病变综合评估^[17]。鉴于 COVID-19 的肺部损害特点为多灶性,且具有由下向上,由外到内的特点,建议有条件时采用肺部12分区法进行筛查,有助于提高阳性病变检出率,具体12分区方法及半定量评分标准见文献^[17-18]。无论哪种方案,10 min内需要获取如下信息:

1. 是否存在已经侵犯胸膜的病变(B线,实变,肺点,四边形征等),分布哪个或哪几个区域?
2. 是否存在心功能受累(抑制与增强),右心、左心与全心功能状态,容量状态(过多、过少或中间状态)。

四、COVID-19 患者入ICU后病因筛查与重症

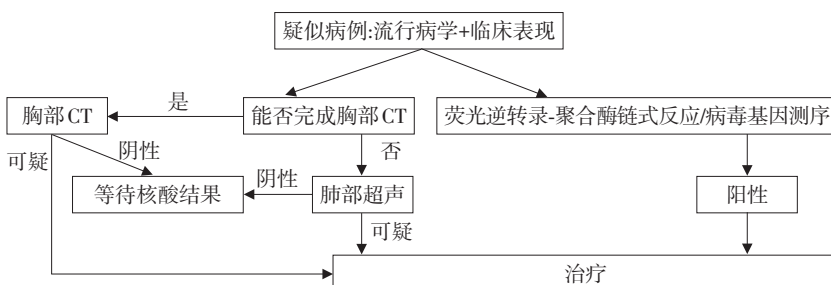


图2 疑似新型冠状病毒肺炎检查与治疗流程图

分级评估

(一)入ICU后重症病因筛查

患者转入ICU后,第一时间应用重症超声对心肺氧输送器官和重要氧耗器官进行评估,可快速发现有无心脏基础疾病和肺部基础疾病,预警治疗过程可能出现的危险事件。肺部超声影像学的B线数量、病灶区域、肺部超声评分等可帮助判断肺部病变严重程度,辅助制定 COVID-19 患者的氧疗方式、预警病情发展趋势,并可连续、动态、监测、评估病情演变及治疗效果。将心肺超声快速筛查结果结合患者临床评估及胸部CT影像可快速明确重症病因和病情,制定治疗方案。重症超声筛查流程推荐应用改良的进阶重症患者急会诊超声筛查方案,即在选用肺部12分区法的改良CCUE流程基础上,增加经肝下腔静脉评估^[19],同时定量测量血流动力学参数:下腔静脉直径、左心室射血分数和左心室流出道速度-时间积分(VTI)^[18]。

(二)基于重症超声评估的快速精细 COVID-19 重症分级

通过心肺超声快速方案评估,结合患者临床表现和胸部CT影像,可将患者快速区分为单纯呼吸衰竭、呼吸衰竭合并循环波动、呼吸衰竭合并休克/心功能不全、呼吸衰竭合并休克/心功能不全伴随心肺以外器官功能损伤、呼吸衰竭合并心跳骤停/心肺复苏五级,以及单纯肺炎/呼吸衰竭伴有肾、肝、肠道等非心肺器官功能不全的特殊级别(表1)。精细的重症分级有助于监测强度、治疗方案选择和预后评估。

表1 新型冠状病毒肺炎患者的精细重症分级

分级	临床表现
一级	呼吸衰竭
二级	呼吸衰竭+循环波动
三级	呼吸衰竭+休克/心功能不全
四级	呼吸衰竭+休克/心功能不全+心肺外器官功能不全
五级	呼吸衰竭+心跳骤停+心肺复苏
特殊级	肺炎/呼吸衰竭+肾/肝/肠/脑等心肺外器官功能不全

五、重症超声指导重症 COVID-19 患者的救治体系

(一)重症超声指导 COVID-19 患者的呼吸治疗

COVID-19 的肺损伤源于原发性肺损伤和继发性肺损伤两部分。原发性肺损伤主要通过血管紧张素

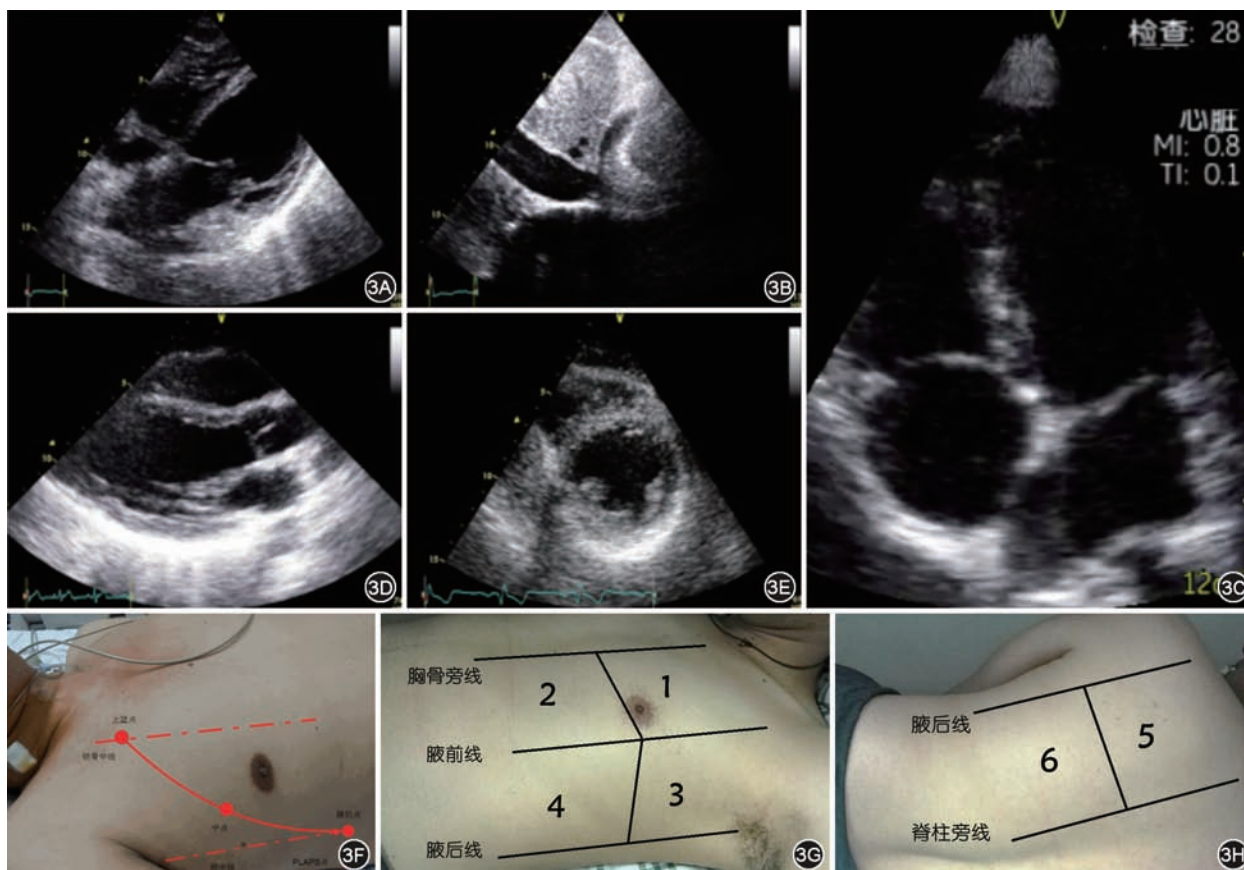


图3 改良重症患者急诊超声筛查方案(CCUE) 3A 剑突下四腔心切面 3B 剑突下下腔静脉长轴切面 3C 胸骨旁左心室长轴切面 3D 胸骨旁左心室短轴切面乳头肌水平 3E 心尖四腔心切面 3F 肺部超声M点定位法 3G 肺部超声8分区法 3H 肺部超声12分区法

转换酶2感染细胞,促进血管紧张素Ⅱ生成,后者激活肺组织血管紧张素Ⅰ亚型受体,诱导肺泡上皮细胞受损、脱落、凋亡等,促进肺成纤维细胞增殖,一定程度增加肺血管通透性,在诱导急性肺损伤时发挥重要作用^[20-21]。继发性肺损伤主要与机体过度应激反应、异常驱动的自主呼吸和高循环动力学、重力依赖性病变分布和机械通气相关损伤有关^[22-24]。原发性肺损伤的治疗关键在于早期诊断、早期抗病毒、及时恢复免疫机能等治疗,在无特效抗病毒药物的情况下,维持生命,等待患者自身免疫机能抵御病毒是重要治疗。预防继发性肺损伤关键在于器官保护,为原发性损伤恢复提供时间。避免继发性肺损伤,实施保护性治疗是目前治疗过程中的重点。

1. 重症超声有助于快速筛查COVID-19患者呼吸衰竭病因。COVID-19患者呼吸衰竭的原因主要与肺损伤相关,但不能忽略其他原因导致的呼吸衰竭,如气道、胸腔、胸壁顺应性和肺血管,以及心源性因素等,筛查呼吸衰竭原因在治疗过程中至关重要并贯穿始终,尤其在单纯肺损伤出现无法解释的

呼吸衰竭时,超声评估流程采用基于CCUE的各种方案,如改良CCUE,评估以快速定性为主,必要时采用精细的评估流程与评估路径。

2. 肺部超声可辅助制定COVID-19患者的氧疗方式,预警病情发展趋势,动态监测病情演变,评估治疗效果。COVID-19诊疗方案^[13]强调,重症患者应及时接受氧疗,避免持续低氧血症。根据呼吸窘迫和/或低氧血症的严重程度决定氧疗方式(鼻导管或面罩吸氧,高流量鼻导管氧疗或无创机械通气,有创机械通气),及时评估是否缓解,避免长时间高浓度氧疗。在治疗过程中,何时从无创转向有创机械通气以及如何动态评估肺部情况是治疗难点,肺部超声可以实现动态连续评估,动态监测病情演变,评估治疗效果,如B线增加与减少,B线区域增加与减少,实变面积与体积的增加与减少等。

3. 重症超声有助于指导和保障COVID-19患者肺保护性通气的实施。对使用无创机械通气和/或高流量氧疗支持下,不能稳定维持脉搏血氧饱和度在90%以上、循环波动和明显呼吸窘迫症状(自主呼吸异常驱动、呼吸频率过快、辅助呼吸肌动度大、

过度通气、烦躁不安)的患者,应尽早气管插管并应用肺保护性通气策略进行呼吸支持。尽可能避免有创机械通气患者在插管前已需要高浓度氧的呼吸支持,导致插管后成为重度 ARDS。插管后应实施小潮气量、低平台压、较高呼吸末正压,酌情使用肌松剂、俯卧位通气(每天俯卧时间 12 h 以上)等保护策略^[25-27]。若顽固性低氧,有指征实施肺复张时,建议使用超声评估肺复张潜能和效果。肺部超声表现为多部位大面积肺实变或融合 B 线的患者,肺顺应性往往极差^[28]。长时间高参数的有创机械通气可能加重呼吸及相关器官损伤,对经过恰当的有创呼吸机治疗仍存在高碳酸血症或严重急性肺心病的患者应早期行体外膜肺氧合(ECMO)支持,以更好地进行肺和右心保护。COVID-19 患者肺保护性通气实施的具体指导意见如下:

(1)基于传统小潮气量、低平台压的超级保护性通气策略:基于肺损伤机制,强调 COVID-19 患者应遵循传统小潮气量、低平台压、较高的呼吸末正压,以维持合适的氧和二氧化碳目标;同时需要关注异常驱动的自主呼吸与呼吸波动对肺造成的损伤,强调维持呼吸稳定的重要性。其中包括适时应用肌松剂、俯卧位通气等,与传统保护性通气策略共同组成了超级保护性通气策略,即 P-V (protective ventilation)策略。

(2)动态肺部超声检查是达到肺保护性通气小潮气量目标的重要保障:肺部病变加重,常是重力依赖和非均一性的,需要运用小潮气量达到肺保护的目。肺部超声的 8 分区尤其 12 分区检查,契合了重力依赖的特点,有助于进行小潮气量通气的管理,动态的肺部超声检查可以在小潮气量通气情况下,及时发现肺部病变变化。

(3)膈肌超声有助于自主呼吸强度评估与选择氧疗方式^[29-30]:异常增强的呼吸驱动导致自主呼吸明显增强,是 COVID-19 患者肺损伤的重要原因。不稳定的呼吸状态、呼吸波动亦需要关注。应用膈肌超声评估膈肌厚度及其增厚率有助于选择合适的氧疗方式,稳定患者呼吸状态。

(4)重症超声有助于评估和管理重症 COVID-19 患者的俯卧位通气治疗:当重症 COVID-19 机械通气患者接受 P-V 策略后,氧合指数低于 150 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa),肺部病变不均一性明显,或者合并右心功能不全时可以实施俯卧位通气治疗,即为保护性俯卧位通气(P-P)。俯卧位通气过程中,通过重症超声评估肺重力依赖

区的肺复张情况,亦可通过肺部超声半定量评分预测俯卧位通气的有效性,如双侧前下肺区正常气化可预测俯卧位通气改善氧合,并指导俯卧位通气治疗时间和频率^[31-32]。俯卧位通气治疗时的肺部超声评估分区法共 16 个检查区,各区域的检查方法与 12 分区方案相同^[31]。俯卧位通气治疗过程中,动态的半定量评分重要而有益。同时,俯卧位通气时常需深镇静,甚至肌松治疗,会对循环造成影响,也需要结合超声血流动力学监测评估,选择更适宜的心输出量,起到肺循环保护的作用。

4. 重症超声有助于决策 COVID-19 顽固性低氧患者的肺复张策略。COVID-19 患者在进行有创机械通气治疗时,肺部超声可以从肺部病变的均一程度、严重程度、是否存在动态支气管征象、潮式肺复张综合判断肺复张潜能^[28];在实施肺复张时,可通过超声定性或半定量评分进行评估,了解肺复张条件、复张时间和复张效果,并且避免肺复张带来的气压伤及循环功能紊乱,帮助选择合适的呼吸末正压水平^[28]。需要强调的是重症 COVID-19 患者,实施肺复张需谨慎,是否存在顽固性低氧、判断肺复张过程中循环的安全性、评估肺复张潜能、评估肺复张过程安全性、评估肺复张后效果、评估肺复张过程中出现的并发症。

5. 重症超声有助于 COVID-19 患者实现肺保护性循环管理策略。运用重症超声监测容量与心功能,包括替代心输出量的指标 VTI,有利于精准的循环管理^[3]。肺脏作为几乎接受 100% 心输出量的器官,同时也作为左心室的后向器官,精准的循环管理可减轻肺水肿的发生发展,同时在选择液体和血管活性药物治疗时,应遵守微循环保护的 5 避免原则,即避免高灌注、稀释、渗漏、高中心静脉压(CVP)、过高剂量的单一血管活性药,有益于肺保护,即肺保护性循环管理策略(P-C)。

6. 重症超声指导 COVID-19 患者保护性治疗策略与分层管理。预防 COVID-19 患者继发性损伤治疗的关键在于落实保护性肺通气策略和循环管理策略的实施。在重症超声指导下,精准循环管理,结合肺保护性通气策略的实施,以达到肺保护,减少 ARDS 的发生发展;同时达到降低肺动脉压,减少急性肺高压发生与保护右心功能、减少急性肺心病发生发展的目的。与其他原因导致的 ARDS 类似,由于 COVID-19 的肺部损伤经常从无至有,从轻至重,所以分层管理非常必要。从识别高危因素预防肺损伤发生,至轻度肺损伤实施肺和循环保护性

策略预防肺损伤的发生发展,再至中重度肺损伤实施器官保护性救治改善结局,保护性治疗理念要贯穿始终。

7. 重症超声有助于 COVID-19 机械通气患者脱机的精准实施。脱机是 COVID-19 患者机械通气过程中非常关键的环节。通过脱机前后对患者心功能评估、膈肌功能评估和肺部半定量评分(见《重症超声临床应用技术规范》^[18]中脱机超声评估流程图),可帮助掌握最佳的脱机时机,同时对可能导致脱机失败的原因进行评估,及时调整治疗方案,最大限度避免患者脱机失败,甚至拔管失败造成的干预再损伤,有可能降低患者病死率和医务人员感染率。

(二)重症超声在 COVID-19 循环管理中的应用

1. COVID-19 患者的循环功能可表现为不同阶段、不同程度的损伤,需要关注。COVID-19 的肺部损伤始于肺泡上皮细胞,之后间质毛细血管与内皮进一步受损,故影像学经常表现为磨玻璃影至严重渗出,再到实变,且经常表现为重力依赖,因此肺部从原发损伤至继发损伤,体现了肺损伤的血流动力学改变的内涵。与呼吸衰竭比,重症 COVID-19 患者的循环受累常被认为发生较晚,甚至不重视。一般认为,病变进展快、出现大面积实变和为解决致死性低氧血症而采取的有创机械通气治疗,是造成急性肺心病和后续循环波动的主要原因。心肌损伤多与液体过负荷、急性肺心病或较长时间低氧血症相关。实际上,在重症的早期阶段,只要出现低氧和呼吸困难,机体即会出现循环反应,包括心率增快,心肌收缩力增强,常会同时合并容量问题,尤其存在基础疾病,如高血压、缺血性心脏病、慢性阻塞性肺疾病,老年性心血管改变时,更易表现出循环波动,只是阶段性与程度不同而已,血流动力学监测至关重要。由于 ICU 资源有限,许多患者在院期间(包括住 ICU 期间)感染管控不到位导致脓毒症或感染性休克可能是引发心肺损伤、进而出现远端器官功能障碍的重要原因。

2. 循环波动的初始监测评估选择:基于临床评估,尽快放置外周动脉导管和中心静脉导管,进行持续有创动脉压和 CVP 监测,及时行动静脉血气分析,同时行重症超声检查,根据病情谨慎选择脉搏指示连续心排量监测(PiCCO)或漂浮导管监测血流动力学^[3]。

3. 重症超声有助于快速明确 COVID-19 患者循环状态,指导循环管理。通过心脏超声(心尖四腔

心、胸骨旁左心室长轴和短轴、剑突下四腔心、剑突下下腔静脉长短轴切面)和肺部 12 分区法,按照血流动力学诊治六步法评估路径可快速了解患者的容量、心脏功能、流量状态和器官灌注,制定血流动力学管理方案(见《重症超声临床应用技术规范》中血流动力学诊治六步法流程^[18])。可行情况下测量下腔静脉直径、左心室射血分数、左心室流出道 VIT 用于连续动态评估患者容量状态和容量反应性、左心室收缩功能、左心输出量,必要时进行血流相关的超声血流动力学评估^[18,33],以较低的 CVP、合适的心率、合适的泵功能、合适的血压、合适的器官灌注为目的进行血流动力学管理。

4. 重症超声评估右心功能,为 COVID-19 患者心肺管理提供重要信息。COVID-19 患者可能因低氧肺血管痉挛、高碳酸血症、炎症反应等多种因素导致肺血管阻力增加,发生急性肺心病,影响右心功能。机械通气本身尤其是肺保护性通气执行不到位时会进一步升高肺动脉压,加重右心功能损伤。若同时存在液体管理中的容量过负荷时,则发生概率更高。右心功能不全对循环和呼吸管理策略具有至关重要的影响^[34]。重症超声可以快速发现右心功能改变^[34-35],并分析其病因,为 COVID-19 患者心肺管理提供重要信息(见《重症超声临床应用技术规范》中右心功能超声评估流程图^[18])。

5. 重症超声评估 COVID-19 患者的左心功能:从现有 COVID-19 患者的救治经验看,与重症急性呼吸综合征(SARS)开始即表现为严重肺损伤不同,COVID-19 初期表现并不严重,但有些患者后期会出现急剧恶化的多器官衰竭,机制上可能为一种“炎症风暴”^[36-37],机体常发生失控的炎症反应。在低氧、呼吸窘迫、严重应激、炎症等引起机体异常反应的情况下,左心可出现应激节段-整体增强-弥漫减弱的特征性表现。其中心脏弥漫抑制,常发生于致死性低氧血症进行气管插管过程中或突发心跳骤停复苏后,长时间缺氧与炎症反应等亦可能导致患者出现心脏弥漫抑制。心跳骤停后的循环衰竭,应是心跳骤停后的弥漫性心功能抑制和乳酸性酸中毒导致的血管张力下降的综合作用。患者如合并感染或心肌梗死,亦会出现相应的心脏改变。重症超声可通过快速定性、定量综合评估法对左心收缩功能不全进行病因评价和治疗指导(图 4)。

(三)重症超声有助于及时发现患者心肺基础疾病情况

COVID-19 重症患者中老年人居多,多合并缺

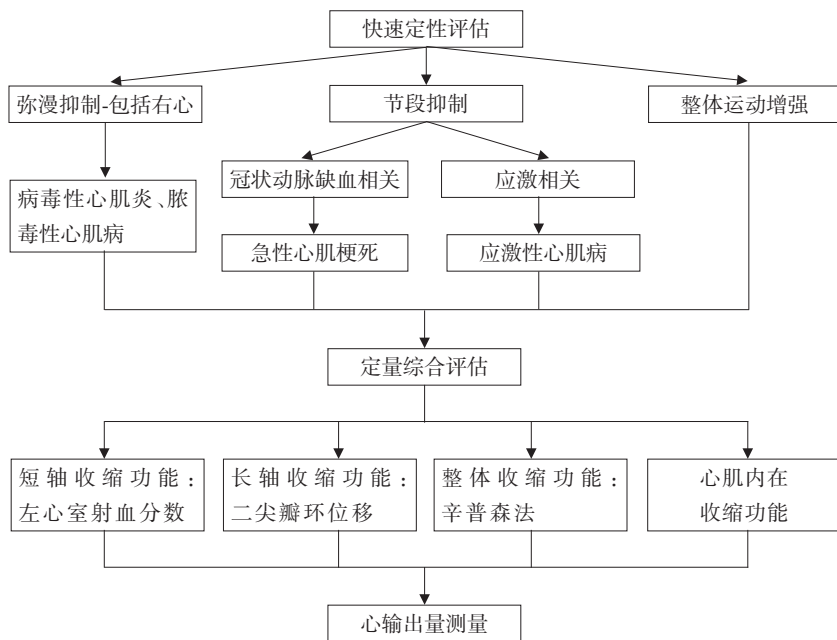


图4 超声评估左心室收缩功能流程图

血性心脏病、高血压、老年瓣膜病、慢性肺原性心脏病等基础疾病。重症超声有利于评估原有基础疾病情况、预警治疗风险和制定治疗决策,同时有利于认识基础疾病对 COVID-19 患者的重症管理,包括急性肺心病判断、液体管理和肺脏情况等的影响。超声评估患者合并慢性心脏基础疾病主要包括室壁厚薄、心腔大小及形态异常等。肺部慢性基础疾病超声评估主要包括胸膜均匀情况、厚度与活动度、B 线不均匀性等改变。

(四)重症超声在 COVID-19 患者 ECMO 管理中具有重要作用

作为一种严重呼吸循环衰竭的支持手段 ECMO,是 COVID-19 患者最后的挽救治疗措施,经过肺保护性通气、肌松剂、俯卧位通气、肺复张等呼吸治疗仍不能改善的致命性低氧血症患者,应尽早接受 ECMO 支持。由于病情进展,患者可出现持续的二氧化碳潴留,应用常规机械通气难以控制亦是实施 ECMO 治疗的重要指征。实施 ECMO 支持应由经验丰富的体外生命支持团队建立,并由具备 ECMO 运维能力的专业医护人员进行后续管理。重症超声可以辅助判断 ECMO 的应用指征及选择类型^[38];实时指导置管过程中导管位置及监测流量,进行血流动力学和肺部病变评估,指导撤机时机。

(五)重症超声有助于实现心肺以外的器官管理

重症 COVID-19 患者在心、肺损伤后,常快速出

现多器官受累。对心肺以外器官的支持,重点强调以保护心肺氧输送为基础,认识器官灌注的前向动脉血流量的自我调节功能,重视器官灌注的后向管理。重症超声可对不同器官功能和器官血流调节功能进行评估,指导器官导向的重症管理治疗方案^[18]。

(六)重症超声有助于建立基于快速精细重症分级的 COVID-19 救治体系

基于重症超声评估的快速精细 COVID-19 重症分级,涵盖肺保护性通气、循环保护、氧耗器官保护的救治体系,是落实保护为先的救治理念,达到降低 COVID-19 患者重症发生率和病死率的重要保障。重症超声在基于快速精细 COVID-19 重症分级的救治体系中占有举足轻重的地位(表 2)。

(七)重视重症超声在治疗 COVID-19 机体失调的异常反应中的价值

COVID-19 患者在疾病发生发展过程中,常出现体温突发上升、呼吸困难加重、循环波动明显、器官功能急剧恶化等。多数专家认为,这是病毒与机体的相互作用下,低氧与呼吸困难进一步加重机体对炎症及其他各种恶性刺激的失调反应。纠正低氧血症,抑制异常机体反应,合理使用目标体温管理、镇痛镇静、抗应激、抗炎症反应等治疗,同时,适当降低代谢以达到器官保护与救治的目的非常重要,其中年龄相关特点值得重视。非老年患者初始应激反应强烈,机体代偿反应明显,微循环损伤重,器官损伤较早出现,尤其是肺损伤。老年患者由于合并较多基础疾病,心血管功能退化,免疫应激反应能力不足,机体代偿反应差,初始器官功能损伤轻,掩盖了疾病进展,但可突然表现为循环衰竭致死,需特别重视。重症超声有助于早期发现器官异常改变,间接评估炎症反应强度和治疗效果。

(八)重症超声有助于明确 COVID-19 患者的治疗目标

诊疗流程目标明确,减少了病情波动即减少了不必要的接触,对特殊环境下医疗护理工作具有重大意义;病因与治疗目标明确,COVID-19 患者发生突发事件比例降低,减少了抢救即最大程度保障了患者安全,亦减少了医护人员感染的危险。

重症 COVID-19 患者在心、肺损伤后,常快速出

表2 基于重症超声的新型冠状病毒肺炎分级救治

分级	救治
1~2级	与急性呼吸窘迫综合征一致的肺保护性治疗,尤其是机械通气患者,实施基于适度镇痛镇静基础上“保护性循环策略”“保护性通气策略”“保护性俯卧位通气策略”保护原则: (1)基于肺保护的循环策略:维持较低的容量状态和合适渗透压。 (2)基于肺保护的通气策略:小潮气量(4~6 ml/kg)、合适的呼吸末正压水平、低平台压(<30 cmH ₂ O)。 (3)俯卧位通气:对严重急性呼吸窘迫综合征患者,建议行肺复张。在人力资源充足的情况下,每天应进行12 h以上的俯卧位通气。 若实施肺保护性策略仍难以达到氧输送目标时,实施静脉-静脉体外膜肺氧合支持
3级	精准血流动力学治疗策略: (1)血流动力学管理原则:较低的中心静脉压、合适的心率、合适的泵功能、合适的血压、合适的器官灌注。 (2)微循环保护原则:避免低灌注、高灌注、血液稀释、液体渗漏、单一血管活性药物过高剂量。 (3)遵循基于右心保护的机械通气治疗策略:氧合指数>150 mmHg, 动脉血二氧化碳分压<48 mmHg, 驱动压<18 cmH ₂ O, 合适的呼吸末正压, 实施俯卧位通气。 若精准血流动力学治疗策略难以达到氧输送目标, 实施静脉-动脉体外膜肺氧合支持
4级	1~2级、3级治疗基础上的器官功能保护策略,即保证心肺氧输送前提下的器官功能保护支持: (1)根据器官自我调节功能选择合适目标血压。 (2)根据器官对中心静脉压耐受性,积极推进中心静脉压越低越好的策略
5级	1~2级、3级治疗基础上重点实施脑保护治疗策略:基于脑血流、脑氧监测及脑电监测指导下的脑保护治疗策略
特殊级	循环未受累合并其他单一器官功能受损:给予单一器官的支持治疗

注:1 cmH₂O=0.098 kPa; 1 mmHg=0.133 kPa

(九)基于重症 COVID-19 救治体系的重症超声实施流程

入住ICU的COVID-19患者病情均非常危重,医护人员防护非常严格。运用重症超声进行器官功能评估,尤其是呼吸和血流动力学评估时需遵循重症超声实施的流程化原则,包括规范的操作流程和评估路径。强调基于心肺评估的多器官评估,包括从结构到血流与功能的全面评价。主要应用的重症超声流程包括:

1. 心肺的快速评估,以改良CCUE为基础,必要时应用血流相关超声血流动力学评估流程(FREE):当患者出现呼吸循环波动时,先实施改良CCUE方案,应用血流动力学六步法流程评估,推荐进行下腔静脉直径、左心室射血分数、左心室流出道VIT的定量评估;若仍不能解决循环管理问题时,可增加评估切面与测量,如增加剑突下下腔静脉短轴切面、胸骨旁右心室流入道切面、胸骨旁主肺动脉长轴切面等,运用FREE流程进行血流动力学评估^[18]。

2. 肺部超声评估,首选8分区法/12分区法,必要时28分区法^[39],进行连续半定量评分。当8分区法/12分区法不能完成肺部病变的完整评估时,尤其肺部超声以B模式分布为主的重症患者,需进行全面半定量评价时,可谨慎采用28分区法。

3. 心脏超声评估,在常规切面无法获取时,可实施剑突下多切面评估。COVID-19患者的心脏超声检查常因肺气干扰,胸骨旁和心尖心脏超声切面

获取相对困难,鉴于临床实践经验,选择剑突下心脏切面包括但不局限于剑突下四腔心切面、剑突下下腔静脉长轴和短轴切面、经肝下腔静脉长轴切面、剑突下左心室短轴切面、剑突下大动脉短轴切面、剑突下主肺动脉长轴切面进行评估^[18](图5)。

4. 心肺以外的器官功能超声评估:当患者出现除心肺以外的器官损伤时,需进行器官的超声评估,肾脏、胃肠、颅脑的评估相应流程与评估路径见《重症超声临床应用技术规范》^[18]。

六、重症超声有助于提升COVID-19患者相关操作技术成功率

医务人员在救治COVID-19患者时,由于疾病具有较强的传染性,需要二级甚至三级防护,在厚重的防护服和护目镜下,任何操作包括日常相对简单的外周静脉穿刺和采血均非常困难,且容易造成感染。为此,无论是中心静脉置管、动脉置管、外周静脉穿刺、静脉采血,抑或胃肠管放置,建议有条件时应用超声,有助于提高穿刺成功率和减少操作时间^[40]。

七、重症超声有助于提升COVID-19患者护理安全与质量

护理在重症COVID-19患者的救治作用中毋庸置疑。此类重症患者的重症治疗相关护理量巨大,同时对护理治疗与安全性要求非常高,除了上述的中心静脉置管、动脉置管、外周静脉穿刺、静脉采血等相关操作技术外,重症治疗相关的如气道管理、胸部物理治疗、肠道功能管理、皮肤管理等操作和

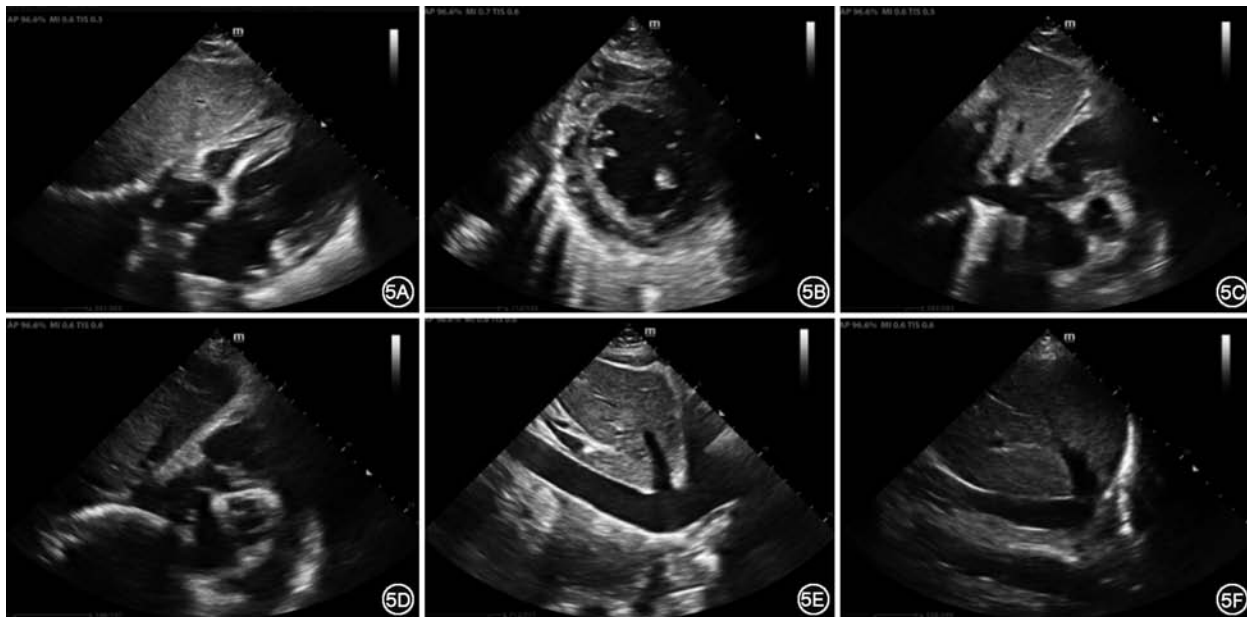


图5 心脏超声的剑突下多切面 5A 剑突下四腔心切面 5B 剑突下左心室短轴切面 5C 剑突下大动脉短轴切面 5D 剑突下肺动脉分支长轴切面 5E 剑突下下腔静脉长轴切面 5F 经肝下腔静脉长轴切面

治疗,重症超声导向的管理均至关重要,有助于提升护理安全与质量^[11]。

八、COVID-19 超声检查的感染防控

严格按照国家防控措施执行,遵从防护为先、穿时密闭、脱时防污和脱后洗净的原则。超声检查时医护人员的防护标准,在无明近距离飞沫和血液接触环境下,单纯行心脏、肺部、血管或其他脏器检查时,可按一次性工作帽、防护眼镜(防雾型)和/或防护面屏、医用防护口罩(N95)、一次性防护服、一次性乳胶手套、一次性鞋套、速干手消毒剂(75%乙醇)配备物资^[41-42]。有分泌物或污染物喷溅至医务人员身上和面部风险时,建议加用全面型呼吸器防护。患者的院内获得性感染防控措施根据相关规范进行。超声机器仅供确诊患者专用。超声机器使用前后应在关机状态下用75%医用酒精擦拭消毒,包括主机外壳和显示器。体表超声探头在接触患者前后均需消毒,推荐使用含有季铵盐类或者过氧化氢的消毒剂擦拭消毒。超声整机可低频次使用紫外线消毒(1周1次)。

九、远程医疗与人工智能

COVID-19 疫情的暴发,导致重症救治专业医务人员严重不足且救治能力差异较大。厚重的防护服和护目镜等又直接限制了传统听诊等疾病信息获取的可行性。因此,以重症超声为核心,实现望、触、叩、听可视化的远程移动重症医学网络体系,通过交互式电子流程实现现场医疗行为指导

和质量质控;将现场音视频、可视化检查、监护和辅助检查信息与远程专家实时共享,实现对急救现场、转运和院内患者救治的全程实时监控,将有希望提高 COVID-19 重症救治的准确性及抢救效率。

ICU 集合了监测设备、生命支持设备、影像监测数据,患者病历数据以及其他检验检查数据等大量数据,这些多维、复杂的数据往往需要高年资医师凭借多年临床经验进行有效分析才可能得出相对可靠的诊治策略。因此,借助人工智能技术开展数据挖掘,预测预后、预警事件和辅助决策,提出 COVID-19 更佳诊治方案是临床需求和研究方向。

十、局限性

本指导意见具有以下局限性:(1)时间紧迫,不能充分考虑所有临床问题。(2)指导意见主要基于重症超声用于重症患者既往的诊疗经验及现在对 COVID-19 救治的经验证据,故需进一步完善。

执笔者:张丽娜(中南大学湘雅医院重症医学科 国家老年疾病临床医学研究中心);尹万红(四川大学华西医院重症医学科);何伟(首都医科大学附属北京同仁医院重症医学科);张宏民(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院重症医学科);刘丽霞(河北医科大学第四医院重症医学科);朱然(中国医科大学附属第一医院重症医学科);武钧(上海交通大学附属瑞金医院重症医学科);蔡书翰(武汉大学中南医院重症医学科);晁彦公(清华大学第一附属医院重症医学科);王小亭(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院重症医学科 西藏自治区人民医院重症医学科)

参与制定者:段军(中日友好医院重症医学科);尚秀玲(福建省立医院重症医学科);艾山木(陆军特色医学中心重症医学科);许强宏(浙江医院重症医学科);吕立文(广西壮族自治区人民医院急诊科);陈文劲(首都医科大学北京宣武医院神经外科ICU);刘海涛(哈尔滨医科大学附属肿瘤医院重症医学科);任宏(上海儿童医学中心重症医学科);朱英(杭州市第一人民医院重症医学科);朱炜华(昆明医科大学附属第二医院重症医学科);钱招昕(中南大学湘雅医院心内科);刘志勇(中南大学湘雅医院重症医学科);马新华(中南大学湘雅医院重症医学科);李莉(中南大学湘雅医院重症医学科);赵春光(中南大学湘雅医院重症医学科);曹岚(中南大学湘雅医院重症医学科);孙杨(中南大学湘雅医院重症医学科);柴文昭(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院医务处);赵华(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院重症医学科);丁欣(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院重症医学科);陈焕(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院重症医学科);张青(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院重症医学科);李易(四川大学华西医院重症医学科);曾琴兵(清华大学附属华信医院重症医学科);刘景仑(重庆医科大学附属第一医院重症医学科);崔嵩(大连市中心医院重症医学科);方巍(青岛大学附属医院重症医学科);吴健锋(中山大学附属第一医院重症医学科);司向(中山大学附属第一医院重症医学科);许镜清(福建省立医院重症医学科);李敏(福建省立医院重症医学科);卢神雷(福建省立医院重症医学科);杨建钢(大同市第三人民医院重症医学科);胡波(武汉大学中南医院重症医学科);李璐(武汉大学中南医院重症医学科);杨晓(武汉大学中南医院重症医学科);秦爱华(武汉大学中南医院重症医学科);贾本涛(武汉大学中南医院重症医学科);董江(武汉大学中南医院重症医学科);丁仁彧(中国医科大学附属第一医院重症医学科);陈铭铭(中国医科大学附属第一医院重症医学科);王常松(哈尔滨医科大学附属肿瘤医院重症医学科);刘玲(东南大学附属中大医院重症医学科);尚游(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科);余愿(华中科技大学同济医学院附属协和医院重症医学科)

审阅专家:刘大为(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院重症医学科);管向东(中山大学附属第一医院重症医学科);邱海波(东南大学附属中大医院重症医学科);陈德昌(上海交通大学附属瑞金医院重症医学科);艾宇航(中南大学湘雅医院重症医学科);康焰(四川大学华西医院重症医学科);马晓春(中国医科大学附属第一医院重症医学科);严静(浙江医院重症医学科);胡振杰(河北医科大学附属第四医院重症医学科);于凯江(哈尔滨医科大学附属第一医院重症医学科);李建国(武汉大学中南医院重症医学科);李维勤(东部战区总医院重症医学科);周发春(重庆医科大学附属第一医院重症医学科)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Zhu N, Zhang D, Wang W, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019 [J]. *N Engl J Med*, 2020, 382(8): 727-733. DOI: 10.1056/NEJMoa2001017.
- [2] 王小亭, 刘大为, 于凯江, 等. 中国重症超声专家共识 [J]. *中华内科杂志*, 2016, 55(11): 900-912. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2016.11.020.
- [3] 刘大为, 王小亭, 张宏民, 等. 重症血流动力学治疗——北京共识 [J]. *中华内科杂志*, 2015, 54(3): 248-271. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2015.03.021.
- [4] Bernheim A, Mei X, Huang M, et al. Chest CT findings in coronavirus disease-19 (COVID-19): relationship to duration of infection [J]. *Radiology*, 2020, 295(3): 200463. DOI: 10.1148/radiol.2020200463.
- [5] Chung M, Bernheim A, Mei X, et al. CT imaging features of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) [J]. *Radiology*, 2020, 295(1):200230. DOI: 10.1148/radiol.20200230.
- [6] Kanne JP. Chest CT findings in 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) infections from Wuhan, China: key points for the radiologist [J]. *Radiology*, 2020, 295(1):200241. DOI: 10.1148/radiol.2020200241.
- [7] 刘茜, 王荣帅, 屈国强, 等. 新型冠状病毒肺炎死亡尸体系统解剖大体观察报告 [J]. *法医学杂志*, 2020, 36(1): 19-21. DOI: 10.12116/j.issn.1004-5619.2020.01.00.
- [8] Xu Z, Shi L, Wang Y, et al. Pathological findings of COVID-19 associated with acute respiratory distress syndrome [J]. *Lancet Resp Med*, 2020, 8(4): 420-422. DOI: 10.1016/s2213-2600(20)30076-x.
- [9] Duan Y, Qin J. Pre-and posttreatment chest ct findings: 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) pneumonia [J]. *Radiology*, 2020, 295(1):200323. DOI: 10.1148/radiol.2020200323.
- [10] Peng Q, Wang X, Zhang L. Findings of lung ultrasonography of novel corona virus pneumonia during the 2019-2020 epidemic [J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46(5): 1-2. DOI: 10.1007/s00134-020-05996-6.
- [11] Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, et al. International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound [J]. *Intensive Care Med*, 2012, 38(4): 577-591. DOI: 10.1007/s00134-012-2513-4.
- [12] Repesse X, Charron C, Vieillard-Baron A. Acute cor pulmonale in ARDS: rationale for protecting the right ventricle [J]. *Chest*, 2015, 147(1): 259-265. DOI: 10.1378 / chest.14-0877.
- [13] 国家卫生健康委员会. 新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第七版)[S/OL]. (2020-03-03). [2020-03-03] <http://www.nhc.gov.cn/yzygj/s7653p/202003/46c9294a7dfe4cef80dc7f5912eb1989/files/ce3e6945832a438eaae415350a8ce964.pdf>.
- [14] Wang X, Liu D, He H, et al. Using critical care chest ultrasonic examination in emergency consultation: a pilot study [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2015, 41(2): 401-406. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2014.09.010.
- [15] 丁欣, 王小亭, 陈焕, 等. 不同床旁肺部超声评估方案评估膈肌点位置与征象的研究 [J]. *中华内科杂志*, 2015, 54(9): 778-782. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2015.09.009.
- [16] Volpicelli G, Mussa A, Garofalo G, et al. Bedside lung ultrasound in the assessment of alveolar-interstitial syndrome [J]. *Am J Emerg Med*, 2006, 24(6): 689-696. DOI: 10.1016/j.ajem.2006.02.013.
- [17] Soummer A, Perbet S, Brisson H, et al. Ultrasound assessment

- of lung aeration loss during a successful weaning trial predicts postextubation distress[J]. *Crit Care Med*, 2012,40:2064-2072. DOI: 10.1097/CCM.0b013e31824e68ae.
- [18] 尹万红,王小亭,刘大为,等.重症超声临床应用技术规范[J]. *中华内科杂志*, 2018, 57(6): 397-417. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2018.06.004.
- [19] 张青,刘大为,王小亭,等.超声测量不同部位下腔静脉内径形变指数的研究初探[J]. *中华内科杂志*, 2015, 54(6): 491-495. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2015.06.004.
- [20] Zhang H, Penninger JM, Li Y, et al. Angiotensin-converting enzyme 2 (ACE2) as a SARS-CoV-2 receptor: molecular mechanisms and potential therapeutic target [J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46 (4): 586-590. DOI: 10.1007 / s00134-020-05985-9.
- [21] Li R, Qiao S, Zhang G. Analysis of angiotensin-converting enzyme 2 (ACE2) from different species sheds some light on cross-species receptor usage of a novel coronavirus 2019-nCoV [J]. *J Infect*, 2020,80 (4): 469-496. DOI: 10.1016/j.jinf.2020.02.013.
- [22] Gernoth C, Wagner G, Pelosi P, et al. Respiratory and haemodynamic changes during decremental open lung positive end-expiratory pressure titration in patients with acute respiratory distress syndrome [J]. *Crit Care*, 2009, 13(2): R59. DOI: 10.1186/cc7786.
- [23] Pan C, Chen L, Zhang YH, et al. Physiological correlation of airway pressure and transpulmonary pressure stress index on respiratory mechanics in acute respiratory failure [J]. *Chin Med J (Engl)*, 2016, 129(14): 1652-1657. DOI: 10.4103 / 0366-6999.185855.
- [24] Gattinoni L, Tonetti T, Quintel M. Regional physiology of ARDS [J]. *Crit Care*, 2017, 21(Suppl 3): 312. DOI: 10.1186 / s13054-017-1905-9.
- [25] 中华医学会呼吸病学分会, 中国医师协会呼吸医师分会. 新型冠状病毒肺炎防治专家意见 [J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2020, 43 (6): 473-489. DOI: 10.3760 / cma. j. cn112147-112147-20200321-00392.
- [26] Hubmayr RD, Kallet RH. Understanding pulmonary stress-strain relationships in severe ARDS and its implications for designing a safer approach to setting the ventilator [J]. *Respir Care*, 2018, 63(2): 219-226. DOI: 10.4187 / respcare. 05900.
- [27] Wilcox SR, Richards JB, Fisher DF, et al. Initial mechanical ventilator settings and lung protective ventilation in the ED [J]. *Am J Emerg Med*, 2016, 34(8):1446-1451. DOI: 10.1016/j.ajem.2016.04.027.
- [28] Vikram FS, Michael AM, Carolyn SC. Beyond low tidal volume ventilation: treatment adjuncts for severe respiratory failure in acute respiratory distress syndrome [J]. *Crit Care Med*, 2018, 46(11): 1820-1831. DOI: 10.1097/CCM.0000000000003406.
- [29] Bouthemad B, Brisson H, Le-Guen M, et al. Bedside ultrasound assessment of positive end-expiratory pressure-induced lung recruitment[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2011, 183(3): 341-347. DOI: 10.1164 / rccm. 201003-0369OC.
- [30] Schreiber A, Bertoni M, Goligher EC. Avoiding respiratory and peripheral muscle injury during mechanical ventilation: diaphragm-protective ventilation and early mobilization[J]. *Crit Care Clin*, 2018, 34(3): 357-381. DOI: 10.1016 / j. ccc. 2018.03.005.
- [31] Matamis D, Soilemezi E, Tsagourias M, et al. Sonographic evaluation of the diaphragm in critically ill patients. Technique and clinical applications[J]. *Intensive Care Med*, 2013, 39(5):801-810. DOI: 10.1007/s00134-013-2823-1.
- [32] Wang X, Ding X, Zhang H, et al. Lung ultrasound can be used to predict the potential of prone positioning and assess prognosis in patients with acute respiratory distress syndrome [J]. *Crit Care*, 2016, 20(1): 385. DOI: 10.1186 / s13054-016-1558-0.
- [33] Ding X, Liu D, Cao Y, et al. Ten things to be considered in practicing critical care echocardiography [J]. *Chin Med J (Engl)*, 2018, 131(14): 1738-1743. DOI: 10.4103 / 0366-6999.235868.
- [34] 王小亭,刘大为,张宏民,等.重症右心功能管理专家共识 [J]. *中华内科杂志*, 2017, 56(12): 962-973. DOI: 10.3760 / cma.j.issn.0578-1426.2017.12.019.
- [35] 尹万红,王小亭,刘大为,等.中国重症经食管超声临床应用专家共识(2019) [J]. *中华内科杂志*, 2019, 58(12): 869-882. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2019.12.002.
- [36] Huang C, Wang Y, Li X, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China [J]. *Lancet (London, England)*, 2020, 395(10223): 497-506. DOI: 10.1016/s0140-6736(20)30183-5.
- [37] Zhou F, Yu T, Du R, et al. Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study[J/OL]. *Lancet*, 2020, 395(10229): 1054-1062. DOI:10.1016/S0140-6736(20)30566-3.
- [38] Peris A, Lazzeri C, Cianchi G, et al. Clinical significance of echocardiography in patients supported by venous-venous extracorporeal membrane oxygenation[J]. *J Artif Organs*, 2015, 18(2): 99-105. DOI: 10.1007/s10047-015-0824-2.
- [39] Tatiana B, Luna G, Serena G, et al. Lung ultrasound for the screening of interstitial lung disease in very early systemic sclerosis[J]. *Ann Rheum Dis*, 2013, 72 (3): 390-395. DOI: 10.1136/annrheumdis-2011-201072.
- [40] 张青,王小亭,张宏民,等.重症相关操作迈入新时代 [J]. *中华内科杂志*, 2019, 58(7): 481-484. DOI: 10.3760 / cma. j. issn.0578-1426.2019.07.001.
- [41] 国家卫生健康委医政医管局. 国家卫生健康委办公厅关于进一步加强疫情期间医疗机构感染防控工作的通知 [EB/OL]. [2020-03-13]. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/zhengcwj/202003/0c85996bb762437581e98317365fa01c.shtml>.
- [42] 国家卫生健康委医政医管局. 新冠肺炎疫情期间医务人员防护技术指南(试行) [S/OL]. (2020-02-21). [2020-03-13]. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/zhengcwj/202003/0c85996bb762437581e98317365fa01c.shtml>.

(收稿日期:2020-02-19)

(本文编辑:胡朝晖)