

• 综述 •

急性肺源性心脏病与急性呼吸窘迫综合征

张峰 曹权 左祥荣

210029 江苏南京, 南京医科大学第一附属医院重症医学科

通讯作者: 左祥荣, Email: 13913979197@139.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.03.017

【摘要】 急性呼吸窘迫综合征(ARDS)是一种以快速进展的低氧血症伴非心源性肺水肿为特征的呼吸困难状态。尽管诊断和治疗方法在不断进步,但 ARDS 的病死率在全世界范围内仍高达 40%~50%。在一些研究中发现,相当数量的 ARDS 患者合并急性肺源性心脏病(ACP),并且 ACP 与 ARDS 患者病死率独立相关,日益引起大家的关注。通过回顾近年来的相关研究,对 ARDS 合并 ACP 的流行病学、发病机制、诊断方法,尤其是作为诊断基础的超声心动图等进行深入总结,并阐明右心保护性通气策略及俯卧位通气对肺血管及右心的保护作用,为 ARDS 合并 ACP 的治疗提供新的思路。

【关键词】 急性呼吸窘迫综合征; 急性肺源性心脏病; 右心功能不全; 超声心动图; 俯卧位通气

基金项目: 国家自然科学基金(81200159); 江苏省“六大人才高峰”项目(2012-WS-028); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(JX10231801)

Acute cor pulmonale in acute respiratory distress syndrome Zhang Feng, Cao Quan, Zuo Xiangrong

Department of Critical Care Medicine, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu, China

Corresponding author: Zuo Xiangrong, Email: 13913979197@139.com

【Abstract】 Acute respiratory distress syndrome (ARDS) is a severe respiratory condition that is characterized by rapidly progressive hypoxemia with noncardiogenic pulmonary edema. Despite the improvement of therapeutic methods, the mortality of ARDS is in the range of 40%-50% all over the world. Some studies have shown that a significant number of patients with ARDS had acute cor pulmonale (ACP), and ACP is independently associated with the mortality of patients with ARDS, which has attracted wide attention in recent years. This paper reviewed recent related studies, summarized the prevalence, pathogenesis and diagnostic approaches of ACP in ARDS, especially echocardiography which was considered as a cornerstone for ACP diagnosis, and elucidated the beneficial effects of right ventricular protective ventilatory strategy and prone-positioning on the pulmonary vasculature and right heart, in order to provide a novel idea for the therapy of ACP in ARDS.

【Key words】 Acute respiratory distress syndrome; Acute cor pulmonale; Right ventricular dysfunction; Echocardiography; Prone position ventilation

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81200159); Six Talent Peaks Project in Jiangsu Province (2012-WS-028); Project Funded by Jiangsu University of Science and Engineering (JX10231801)

急性呼吸窘迫综合征(ARDS)是一种以快速进展的低氧血症伴非心源性肺水肿为特征的呼吸困难状态。到目前为止,尽管对 ARDS 的认识和治疗方法在不断进步,但其发病率及总体病死率在过去的 10~15 年并没有较大变化。相关观察研究表明,ARDS 的院内病死率为 40%~50%^[1-4]。

越来越多的学者开始探索是否在 ARDS 发病机制和治疗方面还有潜在的、被忽视的环节。其中有一个发现引起了诸多学者的重视,那就是有相当数量 ARDS 患者合并急性肺源性心脏病(ACP)。ACP 与其他多种临床疾病的不良转归相关,如慢性阻塞性肺疾病急性发作、肺栓塞。从 20 世纪 80 年代开始,研究者发现 ACP 可发生于 ARDS 中^[5]。早在 1977 年, Zapol 和 Snider^[6]就发现 ARDS 死亡患者存在持续较高的肺循环阻力(PVR),存活患者 PVR 会随着病情改善逐渐下降,而 PVR 增加是导致右心功能不全和 ACP 的主要因素。Jardin 和 Vieillard-Baron^[7]进一步研究发现, ARDS 患者气道平台压(Pplat) > 26 cmH₂O (1 cmH₂O = 0.098 kPa) 时急性右心功能不全发生率和病死率会显著增加,提示 ACP 会影响 ARDS 患者的预后。一项纳入 226 例使用保护性机

械通气的 ARDS 患者的研究表明, ACP 与 ARDS 病死率独立相关^[8]。近年来 ARDS 合并 ACP 引起广泛关注,相关研究也取得了一定进展,现综述如下。

1 ARDS 合并 ACP 的流行病学

ACP 的发生率在保护性机械通气策略实施前后有明显区别。在实施之前, Jardin 等^[5]在一组采用高气道压力通气的 25 例 ARDS 患者中使用经胸超声心动图(TTE)来描述右室功能,结果显示 ACP 发生率高达 60%,并且所有右心室严重扩张患者均死亡。2001 年, Vieillard-Baron 等^[9]通过经食管超声心动图(TEE)发现 75 例采用肺保护性通气(Pplat < 30 cmH₂O, 呼气末正压(PEEP) 7 cmH₂O)患者机械通气 2 d 后 ACP 的发生率为 25%; 2007 年,该研究者又报道了一个更高的发生率 50%,但研究对象是机械通气 2 d 后氧合指数(PaO₂/FiO₂)仍低于 100 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa) 的重度 ARDS 患者^[10]。Boissier 等^[8]在一项纳入 226 例患者的前瞻性单中心研究中发现,诊断 ARDS 前 3 d 内 ACP 的发生率为 22%,且均使用容量控制通气模式(潮气量(VT) 6 mL/kg, Pplat < 30 cmH₂O, PEEP 8~9 cmH₂O)。Lhéritier 等^[11]在一

项纳入 200 例中、重度 ARDS 患者的大型前瞻性多中心研究中发现了相似的 ACP 发生率,为 23%。国内张子洲等^[12]报道了 21 例重症 H7N9 禽流感患者中发生 ACP 6 例(28.6%),其中 ACP 在 ARDS 患者中的发生率高达 38.46%。

以往 ACP 仅被重症医师视为评估 ARDS 疾病严重性的一个标志,对预后没有直接影响。但目前的研究表明,ACP 与静息时心率显著升高、体循环血压降低、更加需要血流动力学支持相关,且与 28 d 病死率及院内病死率独立相关^[8]。

2 ARDS 合并 ACP 的发病机制

ARDS 不仅直接导致肺泡损伤,还可以直接导致肺循环损伤,主要机制^[13]有:缺氧性肺血管收缩,炎性介质和缩血管物质(如内皮素 1 等)导致肺血管收缩,间质性肺水肿导致肺血管受压,肺泡结构破坏和内皮细胞损伤,凝血功能紊乱导致肺小血管闭塞,以及肺血管重构导致 PVR 增加,肺动脉高压(PAH),右心室后负荷增加,右心室功能障碍甚至衰竭。PAH 是 ARDS 的基本特征之一^[13],也是 ACP 发病机制的中心环节和先决条件。

不适当的正压机械通气也是导致 ACP 的重要原因。正常自主呼吸时,持续的胸腔内负压使静脉回流处于最佳状态,因跨肺压低,右室后负荷有限;而正压通气时,尤其是肺损伤伴有肺顺应性下降的患者,胸腔内负压减小,甚至胸腔正压,导致全身静脉回流减少。ARDS 患者大量肺泡塌陷,肺容积明显减小,不适当的机械通气易致肺泡过度膨胀和 Pplat 过高。ARDS 患者呼吸机参数设置和通气策略明显影响右室功能:① VT:机械通气时,右室后负荷的主要决定因素是 VT,而不是气道压力^[14]。VT 过大和(或)肺顺应性严重降低导致跨肺压增高,跨肺压是导致肺泡扩张的主要因素,扩张的肺泡压迫肺毛细血管,导致 PVR 增加,右室后负荷增加。② Pplat:Pplat 过高引起跨肺压升高,导致 PVR 增加,引起右心功能不全。Jardin 和 Vieillard-Baron^[15]报道 ACP 的发生率与 Pplat 密切相关,18 cmH₂O<Pplat<26 cmH₂O 时,ACP 发生率为 10%;27 cmH₂O<Pplat<35 cmH₂O 时,ACP 发生率>30%;Pplat>35 cmH₂O 时,ACP 发生率可达 60%。③ PEEP:PEEP 在吸气和呼气时均增加右室负荷。即使严格限制 Pplat,使用高 PEEP 通气策略也会对右室功能造成损害^[16]。高 PEEP 导致右室后负荷急剧增加,右室收缩延迟导致收缩期末跨室间隔压力梯度逆转,右心室扩张。高 PEEP 可导致静脉回流减少,心排血量(CO)下降^[17]。Jardin 等^[18]发现 PEEP 可增加跨肺压,引起肺膨胀,从而增加右室流出道阻力,导致右室排血量下降。

高碳酸血症也是促进 ARDS 患者发生 PAH、ACP 的因素。高碳酸血症是小 VT 通气的结果,但也能反映肺泡死腔量,与 ARDS 病死率相关^[19]。高碳酸血症(酸中毒)可引起肺小动脉血管收缩,PVR 增加,导致 PAH。Lhéritier 等^[11]报道,动脉血二氧化碳分压(PaCO₂)>60 mmHg 是发生 ACP 的独立危险因素。

3 如何诊断和评价 ARDS 合并 ACP

3.1 肺动脉漂浮导管(PAC):PAC 是评估右室功能及肺循环的经典方法,通过 PAC 可以监测中心静脉压(CVP)、肺动脉压(PAP)、肺动脉楔压(PAOP),采用热稀释法测量 CO,计

算每搏量(SV)和 PVR、体循环阻力(SVR)等指标。PAC 既可作为诊断方法,也可作为监测方法。Osman 等^[20]在一项研究中提出 ARDS 中右心衰竭的诊断标准为:平均肺动脉压(MPAP)>25 mmHg, CVP>PAOP,每搏量指数(SVI)<30 mL/m²。PAC 可监测 CO 和混合静脉血氧饱和度(SvO₂),这两个指标可用来评估对关键治疗的反应性,如 PEEP、液体治疗及药物治疗。在 CO 任何变化都可导致 PVR 变化的特殊情况下,测量 PVR 可能不够精确,计算出的 PVR 可能低估肺循环的真实阻力。此时,跨肺压梯度(MPAP-PAOP)对评估肺血管功能不全的程度仍然有价值^[21]。除 CO 外,最有评估价值的指标为血管外肺水(EVLW)及肺血管通透性指数(PVPI)^[22],测量这些指数可用于评估 ARDS 患者的液体超负荷风险。但一项有关液体和导管治疗(FACIT 试验)及肺动脉导管在重症患者管理中临床有效性评价(PACMan 试验)的研究显示,PAC 增加并发症的发生率且无明显临床获益^[23]后,其使用开始减少。但目前临床上 PAC 仍然是 PAH 诊断的“金标准”,用于确定其严重程度并指导治疗。

3.2 超声心动图:随着 PAC 使用的减少,一种更好的可精确评估右心功能的方法亟待被发现。近年来,床旁重症超声的应用日益广泛,对于早期诊断高危型急性肺栓塞具有重要意义^[24]。在 ARDS 及其合并症的诊疗中,床旁超声也发挥着越来越重要的作用,可以辅助诊断 ARDS 肺部病变及其合并症,监测右心功能,精准指导治疗方向并优化血流动力学,有益于改善患者的预后^[25]。在早期 ACP 管理中,超声心动图可以快速获得心室大小和功能的信息,评估 CO 对治疗的反应性,观察通气周期中下腔静脉宽度的变化,通过被动抬腿试验(PLR)等测试容量反应性来评估前负荷是否充分^[26]。

超声心动图包括 TTE 和 TEE 两种方法。TTE 是无创的,可以在大多数病例中提供可靠的信息。当 TTE 受到回声反射差的限制时,可以使用 TEE。与 TTE 相比,TEE 可以更准确地发现 ACP^[11]。在 ARDS 中,可通过比较右室舒张期末面积(RVEDA)和左室舒张期末面积(LVEDA)来评估右室大小^[27]。当 0.6<RVEDA/LVEDA<1 时,提示中度右室扩张,而 RVEDA/LVEDA>1 时则提示重度右室扩张^[27]。因此,超声心动图诊断 ACP 的标准为 RVEDA/LVEDA>0.6 并且存在收缩期末室间隔矛盾运动^[27]。相对于 PAC,超声心动图具有创伤小、易实施、可重复、更直观等优势。目前推荐 ARDS 机械通气患者前 3 d 每天至少进行 1 次超声心动图检查以评估右室功能,调整呼吸机参数,减少 ACP 的发生,降低 ARDS 病死率^[28]。Mekontso 等^[29]的一项大规模前瞻性研究表明,导致 ACP 发生的 4 个独立危险因素为肺炎引起的 ARDS、驱动压>18 cmH₂O、PaO₂/FiO₂<150 mmHg、PaCO₂>48 mmHg;并据此设计了一个 ACP 风险评分(总分 0~4 分),推荐该评分>2 分的患者应常规进行 TEE 检查。心脏超声对 ACP 的诊断评估具有不可替代的重要作用^[30]。但目前还没有非常完善的超声导向的 ACP 诊疗流程,有待我们进一步探索和研究。

3.3 生物学标志物:B 型脑利钠肽(BNP)是心室牵拉的标志,可反映内皮细胞紊乱,可能是有助于临床诊断的一种潜在生物标志物。研究表明,BNP 对左心衰竭的诊断和预后

具有评估价值^[31];可作为评判脓毒症继发心功能不全和预后不良的预测指标^[32];也可反映心肺交互作用,用于指导机械通气患者脱机^[33]。Thierry等^[34]研究表明:在无左心功能不全的ARDS患者中,合并ACP者较不合并ACP者的BNP水平明显升高。BNP可能作为诊断ACP的一项辅助检查,但还需要更大样本的试验来验证。

4 如何治疗ARDS合并ACP

ARDS合并ACP的治疗原则和关键要素在于逆转始发因素,控制促发因素(如低氧血症、高碳酸血症、贫血、酸中毒、脓毒症、心律失常等)。其次,对于ACP同样适合采用其他重症疾病引起的PAH和右心衰竭的治疗原则^[13,35]:优化液体容量使右心室前负荷达到最佳;应用升压药物维持血压保证右心灌注;应用选择性肺血管扩张剂降低右心室后负荷;应用正性肌力药物增加右心收缩功能。

机械通气是ARDS治疗的重要手段,但由于机械通气可能恶化右心室功能,引起ACP,因此肺和右心室之间的相互作用可能是ARDS合并ACP患者机械通气策略的关键因素。右心保护性机械通气策略近年来受到广泛关注。尽管还没有随机对照研究证实,但右心保护性机械通气将肺循环和右心室放在临床决策过程的中心,目前已成为一个被许多人接受的正式的通气策略^[36],包括:①严格限制Pplat在27 cmH₂O以下^[15]且驱动压在17 cmH₂O以下^[8];②限制PaCO₂在60 mmHg以下^[11];③根据右室功能设置PEEP;④对最严重的ARDS患者使用俯卧位通气。这种方法可以用一句话概括为“对肺有益者就是对右心有益”,反过来同样成立。一项肺不张模型实验显示,塌陷的肺可以诱发右心室超负荷,而在肺复张后右室功能则明显改善^[37]。在一些严重的ARDS患者中应用增加PEEP的策略,当PEEP尚未使不张的肺完全复张时则导致右室SV显著下降,然而当不张的肺完全复张时反而有明显的右心保护作用^[16]。

俯卧位通气也是右心保护性机械通气策略的重要组成部分,因为俯卧位通气可以同时保护肺和右心室^[38],显著改善ARDS的氧合,降低重症ARDS病死率^[39]。这可能因为俯卧位通气改善氧合而不会明显增加PEEP,且通过使塌陷的肺复张从而降低PaCO₂和Pplat。Vieillard-Baron等^[10]探讨了短时间俯卧位通气对右心功能的影响,在这项研究中,42例重症ARDS患者中有约50%合并ACP;应用超声心动图发现,在俯卧位通气持续18 h后,患者的右心功能全部恢复正常,并且ACP患者心率减慢、左心射血分数显著改善。同时,俯卧位通气改善ACP也与减少右心室扩张和室间隔运动障碍有关。Jozwiak等^[40]进一步确定了俯卧位通气对ARDS患者血流动力学的益处,该研究表明,俯卧位通气可以降低右心室后负荷,增加左心室前负荷。在俯卧位通气过程中,PAOP增加,跨肺压降低。跨肺压升高是ARDS患者死亡的独立危险因素,PAOP增加可使肺某些区域从2区转为3区,从而减少死腔通气,而死腔通气是ARDS死亡的一个独立危险因素^[41]。但何时是实施俯卧位通气的最佳时间,哪类患者最适合,仍有待明确。虽然PaO₂/FiO₂<150 mmHg是目前一个比较明确的标准,但俯卧位通气对ARDS合并ACP但PaO₂/FiO₂>150 mmHg的患者是否有益尚不明确。

此外,体外膜肺氧合(ECMO)作为一种重要的生命支持技术,可以应用于传统疗法无法治疗的重症心、肺功能衰竭患者,等待器官本身的功能恢复,或者作为心脏移植、肺移植的过渡疗法^[42-43]。静脉-静脉ECMO(V-V ECMO)可以改善氧合,降低PaCO₂,越来越多地应用于抢救重度ARDS患者,且V-V ECMO还有助于降低PAH,减轻右心负荷^[44]。静脉-动脉ECMO(V-A ECMO)不仅能纠正低氧血症,也可维持难治性心源性休克患者血流动力学稳定^[43]。静脉-静脉体外CO₂清除(ECCO₂R)可用于避免损害心肺功能的情况,如难以接受的高碳酸血症、酸中毒和(或)有害的呼吸机设置^[45]。但目前尚缺乏足够的证据支持,有待进一步研究。

5 结论

ARDS是一种临床综合征,包含肺泡损伤及毛细血管损伤,两者都可对肺循环产生不利影响。ACP发生与多种因素有关,包括炎症、缺氧、微血栓及不恰当的机械通气。ACP与ARDS患者病死率独立相关。用PAC评估右室功能及肺循环的方法有创,临床应用受限。心脏超声对于ACP的诊断评估和治疗指导不可替代。BNP常用于左心衰竭的辅助诊断,对ACP也有一定诊断价值。对于ACP应实施右心保护性机械通气策略,在这一策略中,俯卧位通气在重症患者中扮演重要的角色。ECMO应用于传统疗法无法治疗的重症心、肺功能衰竭患者及重度ARDS患者的补救治疗。

参考文献

- [1] Villar J, Sulemanji D, Kacmarek RM. The acute respiratory distress syndrome: incidence and mortality, has it changed? [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2014, 20 (1): 3-9. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000057.
- [2] Caser EB, Zandonade E, Pereira E, et al. Impact of distinct definitions of acute lung injury on its incidence and outcomes in Brazilian ICUs: prospective evaluation of 7,133 patients [J]. *Crit Care Med*, 2014, 42 (3): 574-582. DOI: 10.1097/01.ccm.0000435676.68435.56.
- [3] Villar J, Blanco J, Anón JM, et al. The ALIEN study: incidence and outcome of acute respiratory distress syndrome in the era of lung protective ventilation [J]. *Intensive Care Med*, 2011, 37 (12): 1932-1941. DOI: 10.1007/s00134-011-2380-4.
- [4] Phua J, Badia JR, Adhikari NK, et al. Has mortality from acute respiratory distress syndrome decreased over time?: A systematic review [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2009, 179 (3): 220-227. DOI: 10.1164/rccm.200805-722OC.
- [5] Jardin F, Gueret P, Dubourg O, et al. Two-dimensional echocardiographic evaluation of right ventricular size and contractility in acute respiratory failure [J]. *Crit Care Med*, 1985, 13 (11): 952-956.
- [6] Zapol WM, Snider MT. Pulmonary hypertension in severe acute respiratory failure [J]. *N Engl J Med*, 1977, 296 (9): 476-480. DOI: 10.1056/NEJM197703032960903.
- [7] Jardin F, Vieillard-Baron A. Acute cor pulmonale [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2009, 15 (1): 67-70.
- [8] Boissier F, Katsahian S, Razazi K, et al. Prevalence and prognosis of cor pulmonale during protective ventilation for acute respiratory distress syndrome [J]. *Intensive Care Med*, 2013, 39 (10): 1725-1733. DOI: 10.1007/s00134-013-2941-9.
- [9] Vieillard-Baron A, Schmitt JM, Augarde R, et al. Acute cor pulmonale in acute respiratory distress syndrome submitted to protective ventilation: incidence, clinical implications, and prognosis [J]. *Crit Care Med*, 2001, 29 (8): 1551-1555.
- [10] Vieillard-Baron A, Charron C, Caille V, et al. Prone positioning unloads the right ventricle in severe ARDS [J]. *Chest*, 2007, 132 (5): 1440-1446. DOI: 10.1378/chest.07-1013.
- [11] Lhéritier G, Legras A, Caille A, et al. Prevalence and prognostic value of acute cor pulmonale and patent foramen ovale in ventilated patients with early acute respiratory distress syndrome: a multicenter study [J]. *Intensive Care Med*, 2013, 39 (10): 1734-1742. DOI: 10.1007/s00134-013-3017-6.
- [12] 张子洲,王佳佳,黄建安,等.重症H7N9禽流感合并急性肺

- 源性心脏病的临床特点分析[J]. 中华危重病急救医学, 2016, 28 (9): 822-827. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.09.011.
- Zhang ZZ, Wang JJ, Huang JA, et al. The characteristics of acute cor pulmonale in critically ill patients with H7N9 influenza virus infection [J]. Chin Crit Care Med, 2016, 28 (9): 822-827. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.09.011.
- [13] 潘纯, 邱海波. ALI/ARDS 肺动脉高压的发病机制和治疗策略[J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2010, 9 (5): 549-551. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6205.2010.05.029.
- Pan C, Qiu HB. Mechanisms and Treatments of Pulmonary Artery Hypertension in ALI/ARDS [J]. Chin J Respir Crit Care Med, 2010, 9 (5): 549-551. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6205.2010.05.029.
- [14] Vieillard-Baron A, Loubieres Y, Schmitt JM, et al. Cyclic changes in right ventricular output impedance during mechanical ventilation [J]. J Appl Physiol (1985), 1999, 87 (5): 1644-1650.
- [15] Jardin F, Vieillard-Baron A. Is there a safe plateau pressure in ARDS? The right heart only knows [J]. Intensive Care Med, 2007, 33 (3): 444-447. DOI: 10.1007/s00134-007-0552-z.
- [16] Mekontso DA, Charron C, Devaquet J, et al. Impact of acute hypercapnia and augmented positive end-expiratory pressure on right ventricle function in severe acute respiratory distress syndrome [J]. Intensive Care Med, 2009, 35 (11): 1850-1858. DOI: 10.1007/s00134-009-1569-2.
- [17] Michard F, Chemla D, Richard C, et al. Clinical use of respiratory changes in arterial pulse pressure to monitor the hemodynamic effects of PEEP [J]. Am J Respir Crit Care Med, 1999, 159 (3): 935-939. DOI: 10.1164/ajrccm.159.3.9805077.
- [18] Jardin F, Brun-Ney D, Cazaux P, et al. Relation between transpulmonary pressure and right ventricular isovolumetric pressure change during respiratory support [J]. Cathet Cardiovasc Diagn, 1989, 16 (4): 215-220.
- [19] Kallet RH, Zhuo H, Liu KD, et al. The association between physiologic dead-space fraction and mortality in subjects with ARDS enrolled in a prospective multi-center clinical trial [J]. Respir Care, 2014, 59 (11): 1611-1618. DOI: 10.4187/respcare.02593.
- [20] Osman D, Monnet X, Castelain V, et al. Incidence and prognostic value of right ventricular failure in acute respiratory distress syndrome [J]. Intensive Care Med, 2009, 35 (1): 69-76. DOI: 10.1007/s00134-008-1307-1.
- [21] Bull TM, Clark B, McFann K, et al. Pulmonary vascular dysfunction is associated with poor outcomes in patients with acute lung injury [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2010, 182 (9): 1123-1128. DOI: 10.1164/rccm.201002-0250OC.
- [22] Jozwiak M, Silva S, Persichini R, et al. Extravascular lung water is an independent prognostic factor in patients with acute respiratory distress syndrome [J]. Crit Care Med, 2013, 41 (2): 472-480. DOI: 10.1097/CCM.0b013e31826ab377.
- [23] Harvey S, Harrison DA, Singer M, et al. Assessment of the clinical effectiveness of pulmonary artery catheters in management of patients in intensive care (PAC-Man): a randomised controlled trial [J]. Lancet, 2005, 366 (9484): 472-477. DOI: 10.1016/S0140-6736(05)67061-4.
- [24] 林慧艳, 顾晓峰, 李海玲. 床旁超声在高危型急性肺栓塞患者中的诊断价值[J]. 中国中西医结合急救杂志, 2016, 23 (2): 191-192. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2016.02.021.
- Lin HY, Gu XF, Li HL. Bedside ultrasonography in the diagnosis of high risk acute pulmonary embolism [J]. Chin J TCM WM Crit Care, 2016, 23 (2): 191-192. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2016.02.021.
- [25] 袁婷, 姚尚龙, 尚游. 超声在急性呼吸窘迫综合征合并急性肺源性心脏病诊断和治疗中的应用[J]. 中华危重病急救医学, 2016, 28 (6): 573-576. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.06.021.
- Yuan T, Yao SL, Shang Y. Application of thoracic ultrasonography for acute cor pulmonale patients in acute respiratory distress syndrome [J]. Chin Crit Care Med, 2016, 28 (6): 573-576. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.06.021.
- [26] Vieillard-Baron A, Matthay MA, Teboul JL, et al. Experts' opinion on management of hemodynamics in ARDS patients: focus on the effects of mechanical ventilation [J]. Intensive Care Med, 2016, 42 (5): 739-749. DOI: 10.1007/s00134-016-4326-3.
- [27] Vieillard-Baron A, Prin S, Chergui K, et al. Echo-Doppler demonstration of acute cor pulmonale at the bedside in the medical intensive care unit [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2002, 166 (10): 1310-1319. DOI: 10.1164/rccm.200202-146CC.
- [28] Repessé X, Charron C, Vieillard-Baron A. Right ventricular failure in acute lung injury and acute respiratory distress syndrome [J]. Minerva Anestesiol, 2012, 78 (8): 941-948.
- [29] Mekontso DA, Boissier F, Charron C, et al. Acute cor pulmonale during protective ventilation for acute respiratory distress syndrome: prevalence, predictors, and clinical impact [J]. Intensive Care Med, 2016, 42 (5): 862-870. DOI: 10.1007/s00134-015-4141-2.
- [30] 王小亭, 刘大为. 重症超声: 急性呼吸窘迫综合征诊治中的新手段[J]. 中华内科杂志, 2012, 51 (12): 929-931. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2012.12.001.
- Wang XT, Liu DW. The role of ultrasound as a new strategy in managing acute respiratory distress syndrome [J]. Chin J Intern Med, 2012, 51 (12): 929-931. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2012.12.001.
- [31] 黄燕, 胡盛寿. 心脏移植术后 B 型利钠肽 /N 末端 B 型利钠肽原升高的临床意义 [J/CD]. 实用器官移植电子杂志, 2013, 1 (3): 180-184. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5332.2013.03.13.
- Huang Y, Hu SS. Clinical significance of elevation of B-type natriuretic peptide/N-terminal pro-B-type natriuretic peptide after heart transplantation [J/CD]. Pract J Organ Transplant (Electron Version), 2013, 1 (3): 180-184. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5332.2013.03.13.
- [32] 梅峰, 孙树印. B 型钠尿肽及前体预测脓毒症预后的研究进展 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2016, 23 (3): 334-336. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2016.03.032.
- Mei F, Sun SY. Research advances in the application of B-type natriuretic peptide and N-terminal pro-B-type natriuretic peptide as prognostic indicators for patients with sepsis [J]. Chin J TCM WM Crit Care, 2016, 23 (3): 334-336. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2016.03.032.
- [33] 蒋翠霞. 血浆脑钠肽前体和降钙素原水平检测在机械通气脱机中的应用分析 [J]. 实用检验医师杂志, 2016, 8 (2): 103-105. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7151.2016.02.012.
- Jiang CX. Application of pro-brain natriuretic peptide and procalcitonin levels detection in the ventilation offline [J]. Chin J Clin Pathol, 2016, 8 (2): 103-105. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7151.2016.02.012.
- [34] Thierry S, Lecuyer L, Brocas E, et al. Interest of the brain natriuretic peptide as a marker of acute cor pulmonale in acute respiratory distress syndrome [J]. Ann Fr Anesth Reanim, 2006, 25 (8): 815-819. DOI: 10.1016/j.annfar.2006.03.038.
- [35] 左祥荣. ICU 内肺高压的治疗进展 [J]. 中国急救医学, 2011, 31 (1): 71-74. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2011.01.020.
- Zuo XR. Research progress on pulmonary hypertension in the intensive care unit [J]. Chin J Crit Care Med, 2011, 31 (1): 71-74. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2011.01.020.
- [36] Vieillard-Baron A, Price LC, Matthay MA. Acute cor pulmonale in ARDS [J]. Intensive Care Med, 2013, 39 (10): 1836-1838. DOI: 10.1007/s00134-013-3045-2.
- [37] Duggan M, McCaul CL, McNamara PJ, et al. Atelectasis causes vascular leak and lethal right ventricular failure in uninjured rat lungs [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2003, 167 (12): 1633-1640. DOI: 10.1164/rccm.200210-1215OC.
- [38] Koulouras V, Papathanakos G, Papathanasiou A, et al. Efficacy of prone position in acute respiratory distress syndrome patients: a pathophysiology-based review [J]. World J Crit Care Med, 2016, 5 (2): 121-136. DOI: 10.5492/wjccm.v5.i2.121.
- [39] Gattinoni L, Tognoni G, Pesenti A, et al. Effect of prone positioning on the survival of patients with acute respiratory failure [J]. N Engl J Med, 2001, 345 (8): 568-573. DOI: 10.1056/NEJMoa010043.
- [40] Jozwiak M, Monnet X, Teboul JL. Optimizing the circulation in the prone patient [J]. Curr Opin Crit Care, 2016, 22 (3): 239-245. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000308.
- [41] 杨毅, 邱海波. 急性呼吸窘迫综合征救治: 需要遵循的十大原则 [J]. 中华重症医学电子杂志, 2015, 1 (1): 33-38. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096-1537.2015.01.009.
- Yang Y, Qiu HB. Acute respiratory distress syndrome: ten rules [J]. 2015, 1 (1): 33-38. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2096-1537.2015.01.009.
- [42] 孙晓叶, 沈中阳, 康永振. 体外膜肺氧合技术在实体器官移植领域中的应用 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2016, 23 (4): 439-441. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2016.04.029.
- Sun XY, Shen ZY, Zhou YZ. Application of extracorporeal membrane oxygenation technology in the field of solid organ transplantation [J]. Chin J TCM WM Crit Care, 2016, 23 (4): 439-441. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2016.04.029.
- [43] 王凯. 体外膜肺氧合在肺移植围术期的应用进展 [J/CD]. 实用器官移植电子杂志, 2016, 4 (3): 190-192. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5332.2016.03.016.
- Wang K. Progress in the application of extracorporeal membrane oxygenation for perioperative lung transplantation [J/CD]. Pract J Organ Transplant (Electron Version), 2016, 4 (3): 190-192. DOI: 10.3969/j.issn.2095-5332.2016.03.016.
- [44] Reis MD, van Thiel R, Brodie D, et al. Right ventricular unloading after initiation of venovenous extracorporeal membrane oxygenation [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2015, 191 (3): 346-348. DOI: 10.1164/rccm.201408-1404LE.
- [45] Del SL, Cypel M, Fan E. Extracorporeal life support for adults with severe acute respiratory failure [J]. Lancet Respir Med, 2014, 2 (2): 154-164. DOI: 10.1016/S2213-2600(13)70197-8.

(收稿日期: 2016-11-22)