

· 综 述 ·

DOI: 10.13498/j.cnki.chin.j.ecc.2020.03.16

## 体外膜氧合在严重胸部创伤中的应用

宋志明, 窦 燕, 陈松林, 易云峰

[摘要]: 严重胸部创伤无论在平时还是战时都是导致人类创伤死亡的最主要原因之一。随着社会经济的快速发展,以高速度和高能量引起的严重胸部创伤病情变得更严重和更复杂,当临床上运用常规呼吸机控制呼吸和辅助治疗无效,甚至心肺功能较长时间无法恢复,及时运用体外膜氧合(ECMO)生命支持技术能较好的解决这个问题。笔者结合国内外目前运用ECMO原理针对严重胸部创伤后心肺衰竭病例的救治方法和并发症进行综述,认识ECMO在严重胸部创伤救治中的重要性,对ECMO救治策略和救治措施进行了分析。为更加科学规范的ECMO救治提供一定理论和实践参考,也为将来医疗小分队配备更加便携的ECMO前移到一线救治提供思路。

[关键词]: 胸部创伤;救治;体外膜氧合;体外生命支持;呼吸衰竭

### Application of extracorporeal membrane oxygenation in severe chest trauma

Song Zhiming, Dou Yan, Chen Songlin, Yi Yunfeng

Department of Cardiothoracic Surgery, the 909th Hospital of PLA, Dongnan Hospital Affiliated to Xiamen University, Zhangzhou 363000, China

Corresponding author: Yi Yunfeng, Email: yyfeng.dor1969@163.com

[Abstract]: Serious chest trauma is one of the main causes of human traumatic death both in peacetime and wartime. With rapid development of social economy, severe chest traumas caused by high-speed and high-energy injuries have become more serious and complex. When mechanical ventilation and adjuvant therapy are ineffective, and the patients' cardiopulmonary function cannot be restored for a long time, timely use of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) life support technology can be a better solution. By reviewing the treatment methods and complications of cardiopulmonary failure cases based on the application of ECMO at home and abroad, the author recognized the importance of ECMO in the treatment of severe chest trauma, and analyzed the treatment strategy and measures of ECMO. This provides a theoretical and practical reference for more scientific and standardized ECMO treatment, and also provides ideas for future medical teams equipped with more portable ECMO to move forward to the first-line treatment.

[Key words]: Chest trauma; Treatment; Extracorporeal membrane oxygenation; Extracorporeal life support; Respiratory failure

创伤是人类社会无法回避的突发问题,而胸部创伤无论在平时或战时都对人类造成了极大的威胁,特别严重的胸部损伤又是导致创伤死亡的主要原因之一。严重胸部创伤所致的严重心肺功能不全更是创伤救治的最关键所在。目前机械通气、药物治疗以及一些辅助疗法已取得一定效果,但对于部分危重症患者,心脏、大血管以及肺部功能受损严重且运用临床上常规呼吸支持和辅助治疗无效,甚至心肺功能较长时间无法恢复,及时运用体外膜氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)技术

不失为一种最合理、有效的治疗方法<sup>[1-2]</sup>。

### 1 ECMO 的原理和发展

ECMO 是以体外循环系统为基础的一种有效的体外心肺功能支持系统,其原理是将部分静脉血引流至体外,经由膜肺氧合后再泵回体内。ECMO 根据管路回流模式主要分为静脉-动脉(veno-artery, V-A) ECMO 和静脉-静脉(veno-venous, V-V) ECMO,从而达到替代心、肺功能的辅助作用。ECMO 是体外循环的衍生技术,此项技术具有划时代的意义,使长时间的心肺辅助成为可能。鉴于一系列技术问题难以解决,ECMO 始终突破不了维持数小时的时间限制,直到 1972 年 Hill 报道 ECMO 在 1 例 24 岁复合伤后发生急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)患者成功维持了

基金项目: 全军后勤科研项目(CWH17J030, CNJ14C007)

作者单位: 363000 漳州,厦门大学附属东南医院 解放军第 909 医院 心胸外科,重症医学科

通讯作者: 易云峰, Email: yyfeng.dor1969@163.com

75 h。此后 ECMO 应用于临床的例数逐步增长,特别是 2009 年公布的一项多中心随机研究结果证实 ECMO 相比对照组能显著降低 ARDS 的病死率和伤残率,ECMO 成为 ARDS 治疗中一个最具前景的新兴疗法。

## 2 ECMO 在胸部创伤致严重呼吸功能衰竭中的运用

研制 ECMO 的初衷是用于各种原因导致的急性呼吸功能衰竭和 ARDS。不同病因导致的呼吸功能衰竭和 ARDS,应用 ECMO 后的结果可能不同,严重的胸部创伤起病急,发展迅速,常常合并存在肺出血、肺破裂甚至气管断裂等情况,与自然情况下非外伤因素如慢性阻塞性肺疾病等导致的 ARDS 的表现有着不同之处,往往发生的低氧血症及呼吸衰竭是紧急且顽固性的,极难通过机械通气纠正,如不能及时改善肺功能,预后较差。Grant<sup>[3]</sup>等报告采用 ECMO 成功治愈 3 例成人难治性创伤性支气管胸膜瘘导致的呼吸衰竭患者,表明 ECMO 是治疗此类患者的新手段。Rodriguez 等<sup>[4]</sup>对 1 位因严重胸部创伤致支气管破裂而导致极严重的低氧血症和酸中毒的 26 岁女性患者应用 ECMO 进行救治获得成功。Daiki Wada<sup>[5]</sup>等也报道了 1 例小儿胸部创伤致支气管损伤中使用 ECMO 治疗呼吸衰竭的成功案例。Jeong<sup>[6]</sup>使用 ECMO 治疗 33 d,成功救治 1 位 10 岁的胸部创伤后严重肺挫伤的患儿,并随访 2 年,患儿恢复良好。国内王凤云<sup>[7]</sup>报道采用 ECMO 救治 1 例严重胸部创伤后主支气管断裂行左全肺切除术,右肺重度创伤性湿肺患者。ECMO 替代肺的功能,使得严重受损的肺得到休息,为肺功能的恢复提供了有利的条件,因而 ECMO 成为治疗严重胸部创伤后呼吸功能衰竭的最有效、最合理的治疗措施之一<sup>[8]</sup>。

严重胸部创伤易导致肺毛细血管损伤、肺间质及肺泡内血液渗出和间质水肿,进而产生肺内氧气及二氧化碳交换和弥散功能障碍,最终出现低氧血症和呼吸功能衰竭,对于此类患者大多采用静脉-静脉(veno-venous, V-V)ECMO。Robba<sup>[9]</sup>等对 2000~2016 年期间成人创伤后 ARDS 采用 ECMO 治疗情况回顾性分析表明,VV ECMO 的有效性和安全性均有显著优势。Menaker<sup>[10]</sup>等比较研究 10 年间成人创伤患者使用 ECMO 治疗的相关数据,结果显示 V-V ECMO 能明显改善患者的预后。Kimmoun<sup>[11]</sup>等的实验表明 V-V ECMO 治疗期间联合俯卧位通气对改善 ARDS 患者肺的顺应性和氧合功能效果显著。但是对于 ECMO 的治疗时机、生存率提高情况、干预时间及撤机时机等尚存在争议<sup>[12]</sup>,尽管如此,目前仍主张对传统机

械通气等治疗效果欠佳患者尽早使用 V-V ECMO,避免肺部损伤进一步恶化<sup>[13]</sup>。

## 3 ECMO 在胸部创伤致严重心脏功能衰竭中的运用

严重胸部创伤致心脏、大血管损伤,从而导致心脏功能严重受损,极易出现心脏骤停和死亡,预后十分凶险。文献报道心脏及大血管损伤患者入院后死亡率仍高达 30%,未经急救或手术治疗的患者入院前死亡率几乎 100%。Fagnoul<sup>[14]</sup>等研究数据显示院内采用 ECMO 支持治疗胸部创伤导致的心脏骤停抢救成功率也仅有 4%~25%。Stroehle<sup>[15]</sup>报道了对严重胸部创伤导致创伤性主动脉夹层患者采用快速 ECMO 干预后再行主动脉支架置入术的成功救治策略。2017 年 Kudo Shunsuke<sup>[16]</sup>采用 ECMO 成功救治 1 位胸部外伤导致心脏破裂致心跳骤停患者,他认为对于创伤性心脏破裂和心脏骤停患者,ECMO 做为开胸手术前的急救措施是可行的。国内学者<sup>[17]</sup>采用急诊体外循环手术抢救创伤性心脏和大血管损伤患者均取得一定成效。创伤导致心脏功能衰竭、心脏骤停甚至死亡主要的原因在于出血,其本身的死亡率就极高,对于其抢救必须分秒必争,近年来的研究表明 30 min 内启动 ECMO 有利于患者的预后<sup>[18]</sup>。ECMO 越来越多运用于创伤后心脏及大血管损伤救治中的生命支持,主要是因为可以使自身心脏及肺得到充分休息,为其功能恢复及创伤愈合赢得宝贵时间;但因较难设计完成临床上的随机对照试验研究,其应用指征、相关参数等有待于进一步临床实验。

## 4 ECMO 在严重胸部创伤应用中的并发症

对于严重胸部创伤致呼吸机能和循环功能衰竭的患者,往往合并有出血、多发伤、复合伤甚至多脏器功能障碍,其凝血功能等内环境本身已经紊乱;尽管 ECMO 在严重胸部创伤临床救治方面积累了一定经验,技术方面也有了较大的提高,产品的材料不断更新,但 ECMO 运行过程中最主要的弊端是扰乱血液系统功能、影响动脉的血流动力学以及造成内外源性的感染,因而出血、感染、血栓等并发症的发生率较高<sup>[19]</sup>。

**4.1 出血** ECMO 支持治疗期间,必须采用全身肝素化避免血液凝固<sup>[20]</sup>,而运行 ECMO 整个过程对内源性凝血、外源性凝血及共同途径均有激活<sup>[21]</sup>;导致凝血因子水平下降甚至维持低水平,凝血酶和补体激活物又激活血小板,使血小板计数减少、黏附及集聚功能衰退<sup>[22]</sup>,严重胸部创伤或复合伤部分患者

本身存在出血,体内的凝血因子和血小板等均流失较多,所以运行 ECMO 整个过程中出血甚至溶血风险都难以避免。据报道,ECMO 运行期间出现不同程度出血的患者高达 12%~52%(消化道出血、肺内出血及颅内出血等)<sup>[23]</sup>。出血主要发生在使用 ECMO 的头 1 周内<sup>[24]</sup>,个性化的制定血液保护策略,有效的监测 ECMO 辅助期间凝血功能的改变,及时调整抗凝策略,并规范应用促凝血药物及血液制品,对 ECMO 顺利运行和患者凝血功能恢复均具有重要意义<sup>[25]</sup>。

GESAR 随机临床实验推荐在 ECMO 运行期间维持血小板大于  $100 \times 10^9/L$ ,血红蛋白维持在  $140 g/L$ ;Agerstrand 等<sup>[26]</sup>则建议采取限制性输血,输血阈值控制在  $70 g/L$ 。尽管已使用肝素涂层的循环回路,采用肝素抗凝仍是 ECMO 期间必需措施<sup>[20,27]</sup>。个性化监测凝血功能,综合判断所需抗凝强度,才能在出血与栓塞之间找到合适的平衡点<sup>[28]</sup>。Northrop 等<sup>[29]</sup>比较 ECMO 期间凝血监测的 2 种不同策略对运行过程的影响,即仅监测活化凝血时间(activated clotting time, ACT)和联合监测凝血因子 Xa、抗凝血酶、血栓弹力图,结果发现联合监测策略可将 ECMO 管道出血发生率从 22%降至 12%,穿刺部位出血发生率从 38%降至 25%。虽然 ACT 监测简便快捷,但不能完全反映凝血全过程,对患者真实凝血紊乱情况判断不明,从而导致调整肝素用量精准度较差。

**4.2 感染** 由于严重胸部创伤或多发伤、相对的长期卧床、中心导管、禁食及不良的营养状态等,ECMO 治疗又使得机体免疫系统发生变化,如补体系统、细胞因子、内皮及吞噬细胞等的减少或功能减弱,明显增加了感染的风险<sup>[30]</sup>。据报道,ECMO 期间院内感染发生率为 9%~65%,感染严重影响 ECMO 患者预后<sup>[31]</sup>,因此应积极预防和控制。最常见的感染部位为肺部、尿路、血液也是常见的部位;致病菌较多,以凝固酶阴性葡萄球菌、念珠菌、肠杆菌、铜绿假单胞菌较常见<sup>[32]</sup>。国外学者<sup>[33]</sup>研究结果表明,ECMO 对氨基糖苷类、大环内酯类等大多数抗菌药物的药代动力学均产生影响。因而在 ECMO 治疗期间,抗菌药物使用的种类及使用强度、时间存在争议。孙各琴<sup>[34]</sup>等认为可首先经验性使用广谱抗菌药物,Dzierba<sup>[35]</sup>则认为需根据培养和药敏试验结果调整抗菌药物种类剂量。

**4.3 血栓栓塞** ECMO 支持过程中血液处于持续高凝状态,血栓的发生率高达 20%<sup>[23]</sup>。循环管路或套件血栓最常见。体内血栓易导致脑梗塞的出现,严重胸部创伤又常合并颅脑外伤,治疗期间应密切关注神经系统症状和体征的变化,颅脑创伤出血和

脑血栓会相互影响病情,混淆病因易犯原则性错误,如有脑出血倾向或已发生脑出血可能要立即中止 ECMO,而若发现有脑梗死表现则应适当提高 ECMO 辅助流量,故对产生症状的来源要仔细的甄别,部分患者甚至导致远期的脑实质损害如惊厥、听力丧失、精神发育迟缓及残疾等<sup>[36-37]</sup>。

**4.4 多器官功能障碍** ECMO 治疗可发生心脏、肺、肾脏、肝脏等多器官功能障碍,其中肾功能衰竭最常见,也可多脏器功能相继和同时发生衰竭。对于严重胸部创伤或多发伤患者,因呼吸循环功能衰竭且伴有严重的低血压和低氧血症,ECMO 期间可能加剧胸腔和肺部出血、肺不张及肺部感染等,也可导致心跳骤停和肝功能异常等。ECMO 后肾功能衰竭的发生率较其它脏器高,其原因可能与缺血、缺氧、炎性介质释放、血红蛋白管型阻塞、创伤等因素有关,维持肾脏充足的血液循环和组织氧供是预防和处埋肾功能不全的基础<sup>[38]</sup>,对于此类患者,可采取联合使用连续肾替代治疗或腹膜透析治疗,减少并发症,提高救治的成功率<sup>[39]</sup>。

## 5 ECMO 在严重胸部创伤中的应用展望

严重的胸部创伤是一种伤情复杂、救治难度大、并发症多及死亡率高,能否及时、有效地维持呼吸、循环功能稳定,是提高救治率、降低死亡率的关键<sup>[40]</sup>。采用 ECMO 救治严重的胸部创伤患者也取得了良好的效果。一定要认识到 ECMO 技术是一把“双刃剑”,其“高创伤”、“高消耗”及“高并发症”仍然是目前没有完全解决的问题,国际统计数据示 ECMO 死亡率仍然高达 60%<sup>[41]</sup>;对其使用的人员培训水平、资质及相互配合度都参差不齐,极易造成人为的并发症,酿成不可挽回的损失,所以要求开展 ECMO 循环辅助工作单位应具有体外循环下心脏手术的基础,若有冠状动脉造影及介入和外科冠脉搭桥的能力更佳<sup>[42]</sup>;ECMO 的循环管路或套件也将要进一步更新,使得其携带和转运更加便捷,穿刺插管更符合血管的生理等。有理由相信,随着科技的进步,ECMO 必将在严重的胸部创伤乃至其他创伤救治中的地位越来越重要。

## 参考文献:

- [1] Maslach-Hubbard A, Bratton SL. Extracorporeal membrane oxygenation for pediatric respiratory failure: history, development and current status[J]. World J Crit Care Med, 2013, 2(4): 29-39.
- [2] Lee S, Chaturvedi A. Imaging adults on extracorporeal membrane oxygenation (ECMO)[J]. Insights Imaging, 2014, 5(6): 731-742.
- [3] Grant AA, Lineen EB, Klima A, et al. Refractory traumatic bron-

- chopleural fistula: is extracorporeal membrane oxygenation the new gold standard[J]? *J Card Surg*, 2020, 35(1): 242-245.
- [4] Rodriguez-Ruiz E, Barral-Segade P, Fernandez-Gonzalez AL, et al. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation as a bridge to traumatic bronchial fistula closure[J]. *Rev Esp Anestesiol Reanim*, 2019, 66(10): 533-536.
- [5] Wada D, Hayakawa K, Maruyama S, et al. A paediatric case of severe tracheobronchial injury successfully treated surgically after early CT diagnosis and ECMO safely performed in the hybrid emergency room[J]. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2019, 27(1): 49.
- [6] Lee OJ, Cho YH, Hwang J, et al. Long-term extracorporeal membrane oxygenation after severe blunt traumatic lung injury in a child[J]. *Acute Crit Care*, 2019, 34(3): 223-227.
- [7] Wang FY, Fang B, Yu ZH, et al. Severe thoracic trauma caused left pneumonectomy complicated by right traumatic wet lung, reversed by extracorporeal membrane oxygenation support—a case report[J]. *BMC Pulm Med*, 2019, 19(1): 30.
- [8] Lee JJ, Hwang SM, Ko JH, et al. Efficacy of veno-venous extracorporeal membrane oxygenation in severe acute respiratory failure[J]. *Yonsei Med J*, 2015, 56(1): 212-219.
- [9] Robba C, Ortu A, Bilotta F, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for adult respiratory distress syndrome in trauma patients: A case series and systematic literature review[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2017, 82(1): 165-173.
- [10] Menaker J, Tesoriero RB, Tabatabai A, et al. Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (VV ECMO) for acute respiratory failure following injury: outcomes in a high-volume adult trauma center with a dedicated unit for VV ECMO[J]. *World J Surg*, 2018, 42(8): 2398-2403.
- [11] Kimmoun A, Roche S, Bridey C, et al. Prolonged prone positioning under VV-ECMO is safe and improves oxygenation and respiratory compliance[J]. *Ann Intensive Care*, 2015, 5(1): 35.
- [12] Lotz C, Roewer N, Muellenbach RM, et al. Respiratory and extracorporeal lung support[J]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*, 2016, 51(9): 574-581.
- [13] Bosarge PL, Raff LA, McGwin G Jr, et al. Early initiation of extracorporeal membrane oxygenation improves survival in adult trauma patients with severe adult respiratory distress syndrome[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2016, 81(2): 236-243.
- [14] Fagnoul D, Combes A, De Backer D, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2014, 20(3): 259-265.
- [15] Stroehle M, Lederer W, Schmid S, et al. Aortic stent graft placement under extracorporeal membrane oxygenation in severe multiple trauma[J]. *Clin Case Rep*, 2017, 5(10): 1604-1607.
- [16] Kudo S, Tanaka K, Okada K, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for blunt cardiac rupture[J]. *Am J Emerg Med*, 2017, 35(11): e1-e2.
- [17] 陈祥舟, 刘梅, 彭莉, 等. 体外循环在心脏及大血管损伤急救中的应用[J]. *局解手术学杂志*, 2011, 20(5): 483-485.
- [18] Pellegrino V, Hockings LE, Davies A. Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation for adult cardiovascular failure[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2014, 20(5): 484-492.
- [19] Abras D, Combes A, Brodie D, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in cardiopulmonary disease in adults[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 63(25 Pt A): 2769-2778.
- [20] Brechot N, Demondion P, Santi F, et al. Intra-aortic balloon pump protects against hydrostatic pulmonary oedema during peripheral venoarterial-extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*, 2018, 7(1): 62-69.
- [21] Guerrero B, Lopez M. Overview of the coagulation system and laboratory tests for its study[J]. *Invest Clin*, 2015, 56(4): 432-454.
- [22] Chung JH, Yeo HJ, Kim D, et al. Changes in the levels of beta-thromboglobulin and inflammatory mediators during extracorporeal membrane oxygenation support[J]. *Int J Artif Organs*, 2017, 40(10): 575-580.
- [23] Mandawat A, Rao SV. Percutaneous mechanical circulatory support devices in cardiogenic shock[J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2017, 10(5): e004337.
- [24] Dalton HJ, Reeder R, Garcia-Filion P, et al. Factors associated with bleeding and thrombosis in children receiving extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 196(6): 762-771.
- [25] 黑飞龙. 不断提升体外循环专业的血液管理水平[J]. *中国体外循环杂志*, 2018, 16(5): 257.
- [26] Agerstrand CL, Burkart KM, Abrams DC, et al. Blood conservation in extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome[J]. *Ann Thorac Surg*, 2015, 99(2): 590-595.
- [27] 梁碧霞, 黑飞龙, 王惠, 等. 两种抗凝剂保存富血小板血浆的效果研究[J]. *中国体外循环杂志*, 2018, 16(5): 268-272.
- [28] 中国医师协会体外生命支持专业委员会. 成人体外膜氧合循环辅助专家共识[J]. *中华重症医学电子杂志*, 2018, 4(2): 114-122.
- [29] Northrop MS, Sidonio RF, Phillips SE, et al. The use of an extracorporeal membrane oxygenation anticoagulation laboratory protocol is associated with decreased blood product use, decreased hemorrhagic complications, and increased circuit life[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2015, 16(1): 66-74.
- [30] Passmore MR, Fung YL, Simonova G, et al. Inflammation and lung injury in an ovine model of extracorporeal membrane oxygenation support[J]. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*, 2016, 311(6): L1202-L1212.
- [31] Biffi S, Di Bella S, Scaravilli V, et al. Infections during extracorporeal membrane oxygenation: epidemiology, risk factors, pathogenesis and prevention[J]. *Int J Antimicrob Agents*, 2017, 50(1): 9-16.
- [32] Charbonney E, Wilcox E, Shan Y, et al. Systemic angiotensin-1/2 dysregulation following cardiopulmonary bypass in adults[J]. *Future Sci OA*, 2017, 3(1): FSO166.
- [33] Gelisse E, Neuville M, de Montmollin E, et al. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) does not impact on amikacin pharmacokinetics: a case-control study[J]. *Intensive Care Med*, 2016, 42(5): 946-948.
- [34] 孙各琴, 李斌飞, 叶子, 等. 体外膜肺氧合支持治疗患者的感染危险因素分析[J]. *中华胸部外科电子杂志*, 2016, 3(4): 209-215.
- [35] Dzierba AL, Abrams D, Brodie D, et al. Medicating patients during extracorporeal membrane oxygenation: the evidence is building[J]. *Crit Care*, 2017, 21(1): 66.
- [36] Wien MA, Whitehead MT, Bulas D, et al. Patterns of brain in-

- jury in newborns treated with extracorporeal membrane oxygenation[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2017, 38(4): 820-826.
- [37] Schiller RM, van den Bosch GE, Muetzel RL, *et al*. Neonatal critical illness and development: white matter and hippocampus alterations in school-age neonatal extracorporeal membrane oxygenation survivors[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2017, 59(3): 304-310.
- [38] Wengenmayer T, Rombach S, Ramshorn F, *et al*. Influence of low-flow time on survival after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR)[J]. *Crit Care*, 2017, 21(1): 157.
- [39] Suga N, Matsumura Y, Abe R, *et al*. A safe procedure for connecting a continuous renal replacement therapy device into an extracorporeal membrane oxygenation circuit[J]. *J Artif Organs*, 2017, 20(2): 125-131.
- [40] 易云峰. 确立重度肺爆震伤救治中体外膜肺氧合的地位[J]. *创伤外科杂志*, 2019, 21(7): 558-560.
- [41] Keebler ME, Haddad EV, Choi CW, *et al*. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in cardiogenic shock[J]. *JACC Heart Fail*, 2018, 6(6): 503-516.
- [42] Yannopoulos D, Bartos JA, Raveendran G, *et al*. Coronary artery disease in patients with out-of-hospital refractory ventricular fibrillation cardiac arrest[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2017, 70(9): 1109-1117.
- (收稿日期:2020-03-19)  
(修订日期:2020-04-20)
- 
- (上接第 130 页)
- [12] Wahba A, Milojevic M, Boer C, *et al*. 2019 EACTS/EACTA/EBCP guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2020, 57(2): 210-251.
- [13] 王伟. 以循证思维促进体外循环规范化的发展[J]. *中国体外循环杂志*, 2019, 17(3): 129-131.
- [14] 中国生物医学工程学会体外循环分会, 章晓华, 黑飞龙. 建立我国体外循环专业技术规范刻不容缓[J]. *中国体外循环杂志*, 2019, 17(4): 193-194.
- [15] Combes A, Hajage D, Capellier G, *et al*. Extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome[J]. *N Engl J Med*, 2018, 378(21): 1965-1975.
- [16] Brodie D, Slutsky AS, Combes A. Extracorporeal life support for adults with respiratory failure and related indications: a review[J]. *JAMA*, 2019, 322(6): 557-568.
- [17] Guglin M, Zucker MJ, Bazan VM, *et al*. Venoarterial ECMO for adults: JACC scientific expert panel[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 73(6): 698-716.
- [18] Eckman PM, Katz JN, El Banayosy A, *et al*. Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation for cardiogenic shock: an introduction for the busy clinician[J]. *Circulation*, 2019, 140(24): 2019-2037.
- [19] Vallabhajosyula S, Prasad A, Bell MR, *et al*. Extracorporeal membrane oxygenation use in acute myocardial infarction in the united states, 2000 to 2014[J]. *Circ Heart Fail*, 2019, 12(12): e005929.
- [20] Naito N, Cook K, Toyoda Y, *et al*. Artificial lungs for lung failure: JACC technology corner[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 72(14): 1640-1652.
- [21] Chew HC, Iyer A, Connellan M, *et al*. Outcomes of donation after circulatory death heart transplantation in Australia[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2019, 73(12): 1447-1459.
- [22] International Summary of the ECMO Registry of the Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). <http://www.else.org/Registry/Statistics/InternationalSummary.aspx>. Accessed 20 Aug 2019.
- [23] 李呈龙, 侯晓彤, 黑飞龙, 等. 2018 中国体外生命支持情况调查分析[J]. *中华医学杂志*, 2019, 99(24): 1911-1915.
- [24] Abrams D, Garan AR, Abdelbary A, *et al*. Position paper for the organization of ECMO programs for cardiac failure in adults[J]. *Intensive Care Med*, 2018, 44(6): 717-729.
- [25] 中国医师协会体外生命支持专业委员会. 成人体外膜氧合循环辅助专家共识[J]. *中华医学杂志*, 2018, 98(12): 886-894.
- [26] 中国医师协会呼吸医师分会危重症医学专业委员会, 中华医学会呼吸病学分会危重症医学学组. 体外膜式氧合治疗成人重症呼吸衰竭推荐意见[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2019, 42(9): 660-684.
- [27] 中华医学会器官移植学分会, 国家肺移植质量管理与控制中心. 肺移植围手术期体外膜肺氧合应用指南(2019 版)[J]. *器官移植*, 2019, 10(4): 402-409.
- [28] 中国老年医学学会急诊医学分会, 中国老年医学学会急诊医学分会 ECMO 工作委员会. 成人体外膜肺氧合辅助心肺复苏 (ECPR) 实践路径[J]. *中华急诊医学杂志*, 2019, 28(10): 1197-1203.
- [29] 侯晓彤. 规范发展体外膜氧合循环辅助支持[J]. *中国体外循环杂志*, 2018, 16(4): 193-195.
- [30] 侯晓彤. 危重症患者的体外膜氧合辅助治疗: 机遇与挑战[J]. *中华医学杂志*, 2019, 99(25): 1942-1944.
- [31] Zakhary B, Shekar K, Diaz R, *et al*. Position paper on global extracorporeal membrane oxygenation education and educational agenda for the future: A statement from the extracorporeal life support organization ECMOed taskforce[J]. *Crit Care Med*, 2020, 48(3): 406-414.
- [32] Husain-Syed F, Ricci Z, Brodie D, *et al*. Extracorporeal organ support (ECOS) in critical illness and acute kidney injury: from native to artificial organ crosstalk[J]. *Intensive Care Med*, 2018, 44(9): 1447-1459.
- [33] Abrams D, Grasselli G, Schmidt M, *et al*. ECLS-associated infections in adults: what we know and what we don't yet know[J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46(2): 182-191.
- [34] Schmidt M, Pham T, Arcadipane A, *et al*. Mechanical ventilation management during extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome. an international multicenter prospective cohort[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2019, 200(8): 1002-1012.
- (收稿日期:2019-12-19)  
(修订日期:2019-12-26)