

doi: 10.7499/j.issn.1008-8830.2018.09.002

ARDS 专题 · 讲座

## 体外膜肺氧合在儿童急性呼吸窘迫综合征中的应用

闫钢风 陆国平 陆铸今 陈伟明

(复旦大学附属儿科医院重症医学科, 上海 201102)

**[摘要]** 急性呼吸窘迫综合征 (ARDS) 患儿常需要呼吸机支持治疗, 目前推荐实施肺保护性通气策略。体外膜肺氧合 (ECMO) 能通过体外循环改善患者氧合和去除二氧化碳, 从而部分或完全替代心肺功能, 在 ARDS 应用时具有减少呼吸机相关性肺损伤、改善低氧血症等优势。近年来该技术在儿童 ARDS 应用的报道逐渐增多。该文就 ECMO 在儿童 ARDS 中的应用进行综述。

[中国当代儿科杂志, 2018, 20(9): 701-705]

**[关键词]** 体外膜肺氧合; 急性呼吸窘迫综合征; 儿童

### Application of extracorporeal membrane oxygenation in children with acute respiratory distress syndrome

YAN Gang-Feng, LU Guo-Ping, LU Zhu-Jin, CHEN Wei-Ming. Department of Pediatric Emergency and Critical Care Medicine, Children's Hospital of Fudan University, Shanghai 201102, China (Email: jinyi036@126.com)

**Abstract:** The children with acute respiratory distress syndrome (ARDS) usually require ventilatory support treatment. At present, lung protective ventilation strategy is recommended for the treatment of ARDS. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) can improve oxygenation and remove carbon dioxide by extracorporeal circuit, and can partially or completely take over cardiopulmonary function. ECMO support showed many advantages in treating severe ARDS, such as reducing ventilator-induced lung injury and correcting hypoxemia. Over the past few years, there has been an increase in the use of ECMO for ARDS in children. This paper reviews the applications of ECMO for the treatment of ARDS in children.

[Chin J Contemp Pediatr, 2018, 20(9): 701-705]

**Key words:** Extracorporeal membrane oxygenation; Acute respiratory distress syndrome; Child

急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS) 是因多种原因引起的急性弥漫性肺损伤, 导致不同程度的肺部气体交换障碍, 临床主要表现为呼吸衰竭。ARDS 也是重症监护病房 (ICU) 内常见的重要疾病之一。在治疗原发病的基础上积极给予呼吸支持是目前 ARDS 最有效的干预措施。以小潮气量联合适当的呼气末正压 (PEEP) 为核心的“肺保护性通气”可以减少呼吸机相关肺损伤的发生, 明显改善这些患者的病死率<sup>[1-2]</sup>。尽管近些年来, 在机械通气等呼吸支持技术和基础研究等方面取得了一定进展, 但 ARDS 患者的病死率仍然居高不下。特别是对于重症 ARDS 患者, 由于缺少有效的治疗措施, 其病死率

非常高。一项来自 50 多个国家的调查结果显示, 20% 左右 ARDS 患者需要呼吸机支持, 而重症病人的病死率达 46%<sup>[3]</sup>。

近年来, 体外生命支持作为一种新的生命支持技术在危重患者的救治中得到了广泛应用, 提高了这些患者救治的成功率, 逐渐成为重症医学中抢救危重患者的重要治疗措施之一。传统认为体外生命支持系统主要指体外膜肺氧合 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO), 它是一种临时对心脏或呼吸功能衰竭进行支持的临时性体外机械装置。也有学者提出, 广义的体外生命支持系统应包括 ECMO、连续肾脏替代治疗 (CRRT) 以及人工肝等体外脏器替代治疗。随着体外生命支持

[收稿日期] 2018-04-19; [接受日期] 2018-06-27

[作者简介] 闫钢风, 男, 硕士, 副主任医师。

技术的不断成熟和发展,该技术已成为重症 ARDS 患者的重要治疗措施。本文重点对 ECMO 在 ARDS 中的应用作一综述。

## 1 ECMO 介绍

ECMO 是指经静脉置管,以血泵将血液引出到体外,经氧合膜行气体交换后将血流送至主动脉(VA-ECMO)或右心房(VV-ECMO),从而为机体提供氧输送,排出二氧化碳,对循环和/或呼吸衰竭患者进行支持的治疗措施。VA-ECMO 模式既可以提供循环支持,也可以提供呼吸支持;VV-ECMO 模式仅为患者提供氧合支持,只用于呼吸衰竭患者<sup>[4]</sup>。ECMO 是一种支持性治疗,其治疗目标为:(1)为患者提供氧输送和去除二氧化碳;(2)使病变的心脏或肺“休息”,减少损伤性治疗,利于心肺功能恢复;(3)稳定重要脏器功能,作为移植过渡。

## 2 儿童 ARDS 应用 ECMO 的指征和撤离指征

儿童 ARDS 应用 ECMO 的指征同儿童呼吸系统疾病应用 ECMO 指征,包括<sup>[5]</sup>:

(1)严重呼吸衰竭:  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 60 \sim 80 \text{ mm Hg}$  或者氧合指数(OI)  $> 40$ ; (2)对常频机械通气和/或其他抢救治疗无效(高频通气、一氧化氮吸入、俯卧位等); (3)高呼吸机参数:常频呼吸机时平均气道压  $> 20 \sim 25 \text{ cm H}_2\text{O}$ ; 高频通气时平均气道压  $> 30 \text{ cm H}_2\text{O}$ ; 存在医源性气压伤; (4)高碳酸性呼吸衰竭:尽管给予合适的机械通气治疗,仍存在持续严重的呼吸性酸中毒( $\text{pH} < 7.1$ )。

通过 VV-ECMO 撤离试验的患者即可考虑撤离 ECMO 支持,具体如下<sup>[6]</sup>:患者心功能正常,原发病好转,肺功能改善(胸部影像学 and 肺顺应性改善),设置呼吸机至停止 ECMO 后可接受的参数(呼吸频率、平台压、PEEP 和吸氧浓度);维持血流速度和抗凝剂,停止氧合器的氧气供应。监测患者动脉血氧饱和度( $\text{SaO}_2$ )和二氧化碳分压( $\text{PaCO}_2$ ),若在可接受的呼吸机参数支持下,患者肺功能能满足机体气体交换,且维持时间  $\geq 1 \text{ h}$ ,即可考虑撤离 ECMO。

## 3 ECMO 在 ARDS 中的优势

### 3.1 改善氧合和清除二氧化碳,挽救生命

对于严重 ARDS 患者,因肺部气体交换功能不足,多数存在低氧血症和/或二氧化碳潴留,传统的机械通气往往较难改善这些患者的氧合和高碳酸血症,如果不能在短时间内纠正这种状态,将引起不可逆的多脏器功能损坏而导致死亡。ECMO 治疗能增加氧输送改善缺氧症状,清除二氧化碳,直至原发病好转,肺部恢复气体交换功能<sup>[7-9]</sup>。因此,ECMO 支持可作为重症 ARDS 患者对常规治疗措施失败的终极性拯救方案,使心肺功能得到休息,为挽救这些患者的生命提供了时间和空间,增加抢救成功几率。

### 3.2 更好实施肺保护性通气,减少呼吸机相关性肺损伤

对于 ARDS 患者的治疗,目前没有特效药物可选择,以积极治疗原发病和呼吸支持作为主要治疗方案。而肺保护性通气是最有效的呼吸支持手段,经循证实践证实可改善患者的预后<sup>[1,10-11]</sup>。目前指南推荐潮气量应低于  $6 \text{ mL/kg}$ ,平台压低于  $30 \text{ cm H}_2\text{O}$ 。但是,即使实施肺保护通气策略,因患者肺部病变不均一,病情轻重各异,特别是低氧血症难以纠正时,需要继续提高吸氧浓度和/或增加 PEEP 水平,所以仍然会出现持续存在的肺损伤甚至加重<sup>[12-13]</sup>。ECMO 支持时不再依赖患者自身肺功能进行气体交换,因此,可以最大程度的减小潮气量,降低驱动压,确实保证实施“肺保护性通气和肺休息”策略,最终改善患者预后。

### 3.3 危重患者的转运

严重 ARDS 患者常常合并多个脏器障碍,重要脏器功能不稳定,呼吸机参数要求高,目前现有的转运呼吸机较难达到理想效果,外出检查时风险很高,而在 ECMO 支持下进行院内转运检查时大大降低了此类风险。同样,一些重度 ARDS 患者,在常规治疗不能奏效时,需要转运到开展了 ECMO 技术的上级医疗机构进一步治疗。这些患者传统转运时,发生致命性并发症的风险极高,而在当地医院接受 ECMO 治疗后再进行转运,可以明显减少传统转运的风险,提高患者生存率<sup>[14-15]</sup>。另外,ARDS 患者因其病情复杂常需要做纤维支气管镜等一些有创操作,常规呼吸机支持条件下,

这些患者较难耐受, ECMO 支持后使得这些操作的风险明显降低。

#### 4 ECMO 在 ARDS 应用中的模式

VA-ECMO 和 VV-ECMO 均可给予呼吸支持, 因此, 此两种模式均可用于 ARDS 患者。因 VA-ECMO 创伤较大、并发症相对多, 对于无循环衰竭或肺动脉高压的患者, 倾向于选择 VV-ECMO 模式。VV-ECMO 模式避免动脉置管, 对血流动力学影响较小, 可减少置管引起的动脉缺血和体循环血栓发生风险<sup>[16]</sup>。但是这种模式因回流的氧合血与静脉血混合后再供应全身, 存在再循环因素, 可导致有效支持力度减少, 因此所提供的氧合能力低于 VA-ECMO 模式。因 VV-ECMO 对循环没有支持, 所以在实施前需对患者的心功能进行评估。与 VA-ECMO 比较, VV-ECMO 可以减少神经系统并发症, 增加冠脉氧合<sup>[17-18]</sup>, 因此近些年儿科领域 VV-ECMO 模式的应用逐渐增多<sup>[19]</sup>。有研究报道, 对于严重呼吸衰竭的儿童患者, 接受 VV-ECMO 支持者的存活率高于 VA-ECMO 治疗者<sup>[20-21]</sup>。

儿童传统的 VV-ECMO 多选择颈内静脉和股静脉置管。但这种两处置管的技术已逐步被单管双腔导管所取代。单管双腔导管最早在 2010 年应用于成人<sup>[16]</sup>, 这种插管经技术改进后在儿科领域应用不断增多<sup>[22-23]</sup>。双腔静脉插管是一根静脉插管包含引血和回输两个通路。双腔插管分别在插管的根部、中部和末梢有 3 个端口。根部和末梢的端口作为引血端抽吸患者身体上部和下部的血液, 中部端口作为回输端输送氧合血液。双腔插管的位置对 VV-ECMO 的治疗效果至关重要<sup>[24]</sup>。理想的插管位置为: 根部端口位于上腔静脉, 末梢端口位于下腔静脉和右心房交汇处稍下方, 而中部端口应置于右心房, 且开口方向正朝向三尖瓣。该插管位置的好处: (1) 氧合血通过中部端口回输后经三尖瓣直接注入右心室; (2) 最大限度减少再循环而降低氧合血的分流; (3) 避免股静脉插管, 仅用一根静脉, 对患者损伤少; (4) 操作简便, 利于紧急实施 VV-ECMO; (5) 方便患者活动或搬运(利于实施俯卧位、ECMO 转运等)<sup>[25]</sup>。其主要缺点为, 操作技术要求高, 费用高。目前国内市场上还没有儿科耗材, 因此未见有应用报道。

#### 5 ECMO 治疗 ARDS 患者的预后

既往研究发现 ECMO 在 ARDS 应用时未能提高患者的生存率<sup>[26]</sup>。而 2009 年发表在两个权威杂志上的研究结果认为 ECMO 治疗能改善 ARDS 患者的预后。其中 *Lancet* 发表的一项多中心随机对照研究将患者随机分为转运 ECMO 中心治疗的 ECMO 治疗组和接受传统机械通气治疗的传统治疗组, 结果表明 ECMO 治疗组 6 个月后病死率比传统治疗组下降 16%<sup>[13]</sup>。另外, 澳大利亚新西兰报道 H1N1 感染后导致 ARDS 患者接受 ECMO 支持, 存活率达 71%<sup>[27]</sup>。上述研究结果改变了以往的观点, 使得 ECMO 在 ARDS 的应用逐渐增多。

儿童 ARDS 的救治共识或指南均推荐体外循环治疗作为最后的终极抢救措施, 而未列入常规治疗方案, 主要是因为 ECMO 治疗对儿童 ARDS 患者的预后一直存在争议。Zabrocki 等<sup>[28]</sup>报道 411 例接受 ECMO 支持的儿童 ARDS 患者, 存活率为 47.7%。而另外有学者报道, ECMO 治疗的存活率为 67.5%<sup>[29]</sup>。两研究结果相差较大的原因可能与病人选取时机、基础疾病、病情严重程度以及 ECMO 治疗前已给予的治疗等有差异相关。2018 年 1 月 ELSO 发表数据表明, 儿童 ARDS 接受 ECMO 支持患者的存活率为 65%<sup>[30]</sup>。

儿童 ARDS 患者接受 ECMO 支持的远期预后目前尚无大样本研究报告。美国一项多中心研究, 随访 87 例儿童呼吸衰竭 ECMO 的 3 年随访, 16% 存有神经系统疾病, 出院后死亡的患者为 5%<sup>[31]</sup>。对接受 ECMO 治疗和保守治疗新生儿患者的随机研究结果表明, 在新生儿期因严重呼吸衰竭接受 ECMO 治疗的病人, 其 7 岁时的身体状况主要还是受其基础疾病的影响; 24% 的患儿认知水平低于正常年龄儿童, 18% 存在行为障碍, 28% 存在听力异常<sup>[32]</sup>。关于这些患者的长期预后及其影响因素仍需要进一步研究。

#### 6 ECMO 在 ARDS 中使用的劣势

##### 6.1 ECMO 并发症

ECMO 是重症医学领域新开展的一种心肺支持方法, 其技术要求高, 操作复杂, 管理难度大, 在支持治疗过程中会出现一系列并发症, 其中一

些并发症是致死性的。ECMO支持ARDS过程中的并发症包括机械并发症和患者并发症。机械并发症包括氧合器、系统管路、泵头等故障；患者并发症包括出血、溶血、脏器功能损害（肾脏、心脏、中枢等）、感染等。出血是ECMO最常见的并发症<sup>[33-34]</sup>，与治疗过程中全身肝素抗凝的应用有关。积极预防和处理ECMO治疗中的并发症对患者的抢救成功率和预后都至关重要。

## 6.2 技术要求高，医疗费用昂贵

ECMO实施时操作较为复杂，技术水平要求高，实际治疗时工作繁琐，也是限制其发展的主要原因，因此，目前国内儿科主要在经济发达地区开展。2016年国内调查数据显示，开展该技术的儿童医院仅10家<sup>[35]</sup>。另外，ECMO耗材昂贵，治疗费用高，因此医疗花费高，国内儿童ECMO治疗患者平均住院费用在20万元左右<sup>[34]</sup>，高昂的医疗费用也是限制该技术在国内外广泛开展的重要原因之一。

## 6.3 缺少ECMO治疗儿童ARDS规范化诊疗标准

尽管最新的儿童ARDS的国际共识推荐，对于严重ARDS患者，若呼吸衰竭的病因是可恢复的或患儿可能适宜接受肺移植时，可以考虑实施ECMO支持<sup>[36]</sup>。但是，目前缺少严格的标准来筛查出可能从该技术中获益的患者。也缺少ECMO治疗时，呼吸机参数设置的具体指南或推荐意见，以及实施肺保护性通气策略的具体细则。因此，今后应在ECMO治疗儿童ARDS患者的选择标准、患者管理等方面进行临床研究，制定出规范化的共识或指南，使更多的儿童重症ARDS患者从中受益。

## 7 小结与展望

严重ARDS患者治疗的关键措施是纠正低氧血症，但是对于接受传统机械通气治疗而氧合不能改善的患者，可发生不可逆的多脏器功能衰竭甚至死亡。ECMO治疗能够提供氧输送，清除二氧化碳，进而改善全身组织的氧供和氧耗，机体缺氧纠正后能维持血流动力学稳定。另外，接受ECMO后，机械通气参数随之降低，从而降低机械通气对心肺功能影响，让肺充分休息，赢得抢救机会。因此，ECMO在儿童重症ARDS患者的应用

越来越多。

但是，目前对于儿童ARDS应用ECMO治疗还存在较多问题：（1）现有的报道多为回顾性研究，ECMO支持对于这些患者的实际疗效、远期预后的影响还缺少有力的循证医学依据；（2）儿童ARDS接受ECMO的治疗时机、入选标准、排除标准缺少明确指征；（3）接受ECMO支持后实施肺休息策略的具体细则不明确。因此，今后还需要进一步对该技术治疗儿童ARDS进行大样本、前瞻性的研究来论证其实际应用价值。

今后ECMO治疗儿童ARDS的主要方向或趋势包括：（1）接受长时间ECMO支持的ARDS患者将越来越多；（2）降低长时间ECMO治疗的并发症，减少重要脏器功能的后遗症；（3）减少镇静镇痛，开展清醒ECMO<sup>[37]</sup>。

## [参 考 文 献]

- [1] ARDS Definition Task Force; Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition[J]. JAMA, 2012, 307(23): 2526-2533.
- [2] Acute Respiratory Distress Syndrome Network; Brower RG, Matthay MA, Morris A, et al. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome[J]. N Engl J Med, 2000, 342(18): 1301-1308.
- [3] Bellani G, Laffey JG, Pham T, et al. Epidemiology, patterns of care, and mortality for patients with acute respiratory distress syndrome in intensive care units in 50 countries[J]. JAMA, 2016, 315(8): 788-800.
- [4] Lin JC. Extracorporeal membrane oxygenation for severe pediatric respiratory failure[J]. Respir Care, 2017, 62(6): 732-750.
- [5] MacLaren G, Conrad S, Peek G. Indications for pediatric respiratory extracorporeal life support [EB/OL]. (March 2015). [https://www.elso.org/Portals/0/Files/ELSO%20guidelines%20paeds%20resp\\_May2015.pdf](https://www.elso.org/Portals/0/Files/ELSO%20guidelines%20paeds%20resp_May2015.pdf).
- [6] Extracorporeal Life Support Organization. General Guidelines for all ECLS Cases[EB/OL]. [May 8, 2018]. [https://www.elso.org/Portals/0/ELSO%20Guidelines%20General%20All%20ECLS%20Version%201\\_4.pdf](https://www.elso.org/Portals/0/ELSO%20Guidelines%20General%20All%20ECLS%20Version%201_4.pdf).
- [7] Seo DJ, Yoo JS, Kim JB, et al. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation for postoperative acute respiratory distress syndrome[J]. Korean J Thorac Cardiovasc Surg, 2015, 48(3): 180-186.
- [8] Tsai HC, Chang CH, Tsai FC, et al. Acute respiratory distress syndrome with and without extracorporeal membrane oxygenation: a score matched study[J]. Ann Thorac Surg, 2015, 100(2): 458-464.
- [9] Montisci A, Maj G, Zangrillo A, et al. Management of refractory

- hypoxemia during venovenous extracorporeal membrane oxygenation for ARDS[J]. *ASAIO J*, 2015, 61(3): 227-236.
- [10] Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. Pediatric acute respiratory distress syndrome: consensus recommendations from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2015, 16(5): 428-439.
- [11] Howell MD, Davis AM. Management of ARDS in adults[J]. *JAMA*, 2018, 319(7): 711-712.
- [12] Pipeling MR, Fan E. Therapies for refractory hypoxemia in acute respiratory distress syndrome[J]. *JAMA*, 2010, 304(22): 2521-2527.
- [13] Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2009, 374(9698): 1351-1363.
- [14] Broman LM, Frenckner B. Transportation of critically ill patients on extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Front Pediatr*, 2016, 4: 63.
- [15] Broman LM, Holzgraefe B, Palmer K, et al. The Stockholm experience: interhospital transports on extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Crit Care*, 2015, 19: 278.
- [16] 林茹, 张晨美, 谈林华, 等. 体外膜肺氧合在儿科危重病急救中的应用[J]. *中华儿科杂志*, 2012, 50(9): 649-652.
- [17] Guner YS, Khemani RG, Qureshi FG, et al. Outcome analysis of neonates with congenital diaphragmatic hernia treated with venovenous vs venoarterial extracorporeal membrane oxygenation[J]. *J Pediatr Surg*, 2009, 44(9): 1691-1701.
- [18] Rollins MD, Hubbard A, Zabrocki L, et al. Extracorporeal membrane oxygenation cannulation trends for pediatric respiratory failure and central nervous system injury[J]. *J Pediatr Surg*, 2012, 47(1): 68-75.
- [19] Rehder KJ, Turner DA, Cheifetz IM. Extracorporeal membrane oxygenation for neonatal and pediatric respiratory failure: an evidence-based review of the past decade (2002-2012)[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2013, 14(9): 851-861.
- [20] Skinner SC, Iocono JA, Ballard HO, et al. Improved survival in venovenous vs venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for pediatric noncardiac sepsis patients: a study of the Extracorporeal Life Support Organization registry[J]. *J Pediatr Surg*, 2012, 47(1): 63-67.
- [21] 庄士心, 张晨美, 闫钢风, 等. 体外膜肺氧合在儿童呼吸衰竭中应用的多中心调查[J]. *中国小儿急救医学*, 2017, 24(7): 523-527.
- [22] Lazar DA, Cass DL, Olutoye OO, et al. Venovenous cannulation for extracorporeal membrane oxygenation using a bicaval dual-lumen catheter in neonates[J]. *J Pediatr Surg*, 2012, 47(2): 430-434.
- [23] Fallon SC, Shekerdemian LS, Olutoye OO, et al. Initial experience with single-vessel cannulation for venovenous extracorporeal membrane oxygenation in pediatric respiratory failure[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2013, 14(4): 366-373.
- [24] Lindholm JA. Cannulation for veno-venous extracorporeal membrane oxygenation[J]. *J Thorac Dis*, 2018, 10(Suppl 5): S606-S612.
- [25] Banfi C, Pozzi M, Siegenthaler N, et al. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation: cannulation techniques[J]. *J Thorac Dis*, 2016, 8(12): 3762-3773.
- [26] Zapol WM, Snider MT, Hill JD, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in severe acute respiratory failure. A randomized prospective study[J]. *JAMA*, 1979, 242(20): 2193-2196.
- [27] Australia and New Zealand Extracorporeal Membrane Oxygenation (ANZ ECMO) Influenza Investigators; Davies A, Jones D, Bailey M, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for 2009 influenza A(H1N1) acute respiratory distress syndrome[J]. *JAMA*, 2009, 302(17): 1888-1895.
- [28] Zabrocki LA, Brogan TV, Statler KD, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for pediatric respiratory failure: Survival and predictors of mortality[J]. *Crit Care Med*, 2011, 39(2): 364-370.
- [29] Gray BW, Haft JW, Hirsch JC, et al. Extracorporeal life support: experience with 2,000 patients[J]. *ASAIO J*, 2015, 61(1): 2-7.
- [30] Extracorporeal Life Support Organization. ECLS registry report. international summary[EB/OL]. (Jan. 2018). <https://www.else.org/Registry/Statistics/InternationalSummary.aspx>.
- [31] Jen HC, Shew SB. Hospital readmissions and survival after nonneonatal pediatric ECMO[J]. *Pediatrics*, 2010, 125(6): 1217-1223.
- [32] McNally H, Bennett CC, Elbourne D, et al. United Kingdom collaborative randomized trial of neonatal extracorporeal membrane oxygenation: follow-up to age 7 years[J]. *Pediatrics*, 2006, 117(5): e845-e854.
- [33] Williams KE. Extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome in adults[J]. *AACN Adv Crit Care*, 2013, 24(2): 149-158.
- [34] 闫钢风, 张晨美, 洪小杨, 等. 体外膜肺在中国大陆儿科重症监护病房应用现状的多中心调查[J]. *中华儿科杂志*, 2016, 54(9): 653-657.
- [35] 闫钢风, 陆国平, 张晨美, 等. 中国儿童重症监护病房体外膜肺氧合技术应用现状调查[J]. *中国小儿急救医学*, 2016, 23(11): 750-754.
- [36] Dalton HJ, Macrae DJ; Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. Extracorporeal support in children with pediatric acute respiratory distress syndrome: proceedings from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2015, 16(5 Suppl 1): S111-S117.
- [37] Crotti S, Bottino N, Spinelli E. Spontaneous breathing during venovenous extracorporeal membrane oxygenation[J]. *J Thorac Dis*, 2018, 10(Suppl 5): S661-S669.

( 本文编辑: 邓芳明 )