

体外膜肺氧合技术在儿科急性呼吸衰竭中的应用进展

杜彦强, 王 义, 洪小杨

作者单位: 710003 陕西, 西安交通大学附属儿童医院儿童重症医学科(杜彦强, 王 义); 100700 北京, 中国人民解放军总医院第七医学中心儿科医学部重症医学科(洪小杨)

作者简介: 杜彦强, 医学硕士, 主治医师, 研究方向: 儿童急危重症救治。E-mail: duyanqiang_xaetty@163.com

通信作者: 洪小杨, 医学博士, 副主任医师, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 儿科体外生命支持。E-mail: jyhongxy@163.com



洪小杨, 医学博士, 副主任医师, 硕士研究生导师, 中国人民解放军总医院第七医学中心儿科医学部重症医学科主任。社会任职: 中国医师协会儿童重症医师分会常务委员兼总干事; 中国医学救援协会儿科救援分会委员兼秘书长; 中国医师协会体外生命支持专业委员会委员, 儿科学组副组长; 中国生物医学工程学会体外循环分会青年委员; 北京市医学会儿科分会青年委员; 中国生物医学工程学会北京市体外循环分会委员; 《中华儿科杂志》《中华实用儿科临床杂志》《中国小儿急救医学》杂志编委; 国家自然科学基金函审专家。研究方向为体外生命支持系统在儿童重症医学中的应用。近年来一直从事儿童重症医学和体外循环工作,

率先在国内儿童重症监护室(PICU)建立了一套以体外膜肺氧合(ECMO)技术为核心的体外生命支持系统, 具备对全年龄段重症患儿进行心、肺、肝及肾脏进行替代治疗。以第一作者在国内发表论文 50 余篇, 参加编写儿童重症医学方面专著 5 部, 主编 2 部, 获全军医疗成果二等奖 2 项。参与多项国家级、军队课题研究, 主持科技部重点研发专项 1 项, 国家自然科学基金项目 1 项, 北京市课题 3 项, 军队课题 1 项。

【摘要】 体外膜肺氧合(ECMO)对严重心肺功能衰竭的患者可提供强有力的循环和呼吸支持, 同时也是心肺功能衰竭患者等待心肺移植期间歇期的主要体外生命支持手段。已有大量的循证医学证据肯定了 ECMO 在儿童急性呼吸窘迫综合征(PARDS)中的救治作用, 但在其他原因导致的急性呼吸衰竭中的应用报道较少, 该文就目前 ECMO 在儿科急性呼吸衰竭中的应用进展作一综述。

【关键词】 儿童; 体外膜肺氧合; 急性呼吸衰竭

【中图分类号】 R 725.6 【文献标识码】 A 【文章编号】 1674-3806(2023)07-0651-05
doi:10.3969/j.issn.1674-3806.2023.07.03

Advances in the application of extracorporeal membrane oxygenation in pediatric acute respiratory failure DU Yan-qiang, WANG Yi, HONG Xiao-yang. Department of Pediatric Care Unit, Children's Hospital Affiliated to Xi'an Jiaotong University, Shaanxi 710003, China

【Abstract】 Extracorporeal membrane oxygenation(ECMO) can provide strong circulatory and respiratory support for patients with severe cardiac and pulmonary failure. ECMO is also the primary means of extracorporeal life support for the cardiac and pulmonary failure patients waiting for heart or lung transplantation during the rest period. A large amount of evidence-based medical evidence has confirmed the role of ECMO in the treatment of pediatric acute respiratory distress syndrome(PARDS), but there are few reports on its application in acute respiratory failure caused by other causes. This paper reviews the current application progress of ECMO in pediatric acute respiratory failure.

【Key words】 Children; Extracorporeal membrane oxygenation(ECMO); Acute respiratory failure

体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)的辅助原理是将机体血液从静脉端引

出, 通过膜肺进行氧合并排出二氧化碳后, 再经动脉或静脉回输到体内, 起到临时人工心肺的作用, 可为

原发病的恢复赢得宝贵时间^[1]。根据工作原理的不同,可分为静脉-静脉体外膜肺氧合(veno-venous extracorporeal membrane oxygenation, VV-ECMO)和静脉-动脉体外膜肺氧合(veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation, VA-ECMO)^[2]。儿童急性呼吸窘迫综合征(pediatric acute respiratory distress syndrome, PARDS)是由各种肺内外致病因素所致的弥漫性肺炎^[3],以难治性的低氧血症为主要临床表现,最终因持续性肺脏通气/血流比例失调而引发不良结局,其病死率高达18%~24%^[3,4]。ECMO已成功用于PARDS及成人急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)的救治,并取得了良好疗效^[5,6]。虽然ECMO已被证明可改善PARDS患者的氧合及预后,但其在儿科其他急性呼吸衰竭临床救治中的作用尚未得到详细研究。本文结合相关文献证据,对ECMO在儿科PARDS以外的其他急性呼吸衰竭中的应用进展进行综述。

1 ECMO在儿童气道梗阻相关急性呼吸衰竭中的应用

颈胸部肿瘤、气道内肿瘤或异物、严重呼吸道及纵隔内感染均可导致外压性或内源性气道梗阻^[7,8],并发急性呼吸衰竭,常规机械通气无法通畅气道时,严重威胁患者生命,此时ECMO可作为一种“桥梁”为呼吸道梗阻的解除提供帮助,为原发病的治疗赢得宝贵的时间。韩国学者报道1例18岁女孩因巨大甲状腺导致气管受压移位,行甲状腺切除术中因氧合难以维持而给予VV-ECMO治疗,随后在ECMO辅助下顺利切除甲状腺,并在气管内植入支架,术后恢复良好^[9]。甲状腺癌常侵犯气管及颈部淋巴结,导致患者因严重的上气道梗阻而出现呼吸困难,需紧急手术切除肿瘤,但部分患者因气道受压严重,无法建立人工气道,同时人工气道易影响手术视野,不利于喉返神经的保护,可以使用VV-ECMO建立体外循环,从而避免人工气道的不利影响,同时为机体提供足够的氧合,为手术创造条件。国内报道1例甲状腺癌患者在VV-ECMO辅助下顺利完成肿瘤切除及气管重建,同时避免了喉返神经的损伤,说明了ECMO在此类患者中起到了充分的桥梁作用^[10]。日本学者报道1例15岁的男孩因前纵隔巨大肿瘤压迫气管导致严重的呼吸衰竭,考虑到气管插管期间使用镇静药或肌松药可能会导致致命性的完全性气道阻塞,遂建立VV-ECMO后给予气管插管并在其气管内植入气管支架,以保障气道通畅,同时完成了肿块的穿刺活检,确诊为T淋巴瘤细胞淋巴瘤,为后续的化疗创造了条件,国内外也有类似的成功案例^[11-12]。儿童是发生气道异物的

高危人群,大多可行支气管镜取出异物,但部分患儿合并有严重缺氧,难以耐受支气管镜治疗,此时可在ECMO辅助下行异物取出术。美国一项多中心的回顾性研究共报道3例儿童因异物吸入导致严重的呼吸衰竭,无法耐受常规支气管镜检查,遂在VV-ECMO辅助下成功取出气道异物,无相关并发症发生^[13],为儿童异物所致困难气道的治疗提供了新的思路,值得儿科医师借鉴。因此,基于目前临床实践现状,应用ECMO救治气道梗阻相关呼吸衰竭是可行的,同时,早期启动ECMO可以为气道手术的整个围术期保驾护航^[14]。

2 ECMO在儿童外伤所致急性呼吸衰竭中的应用

据2023年4月国际体外生命支持组织(Extracorporeal Life Support Organization, ELSO)统计,全球累计应用ECMO救治儿童病例高达12 784例^[15],多为肺部感染性疾病及呼吸衰竭^[16],而应用于肺部创伤的不多,与此类患儿本身存在活动性出血,加之体外循环期间需要抗凝,有加重出血、危及生命的可能。但近年来有研究发现,创伤患者可无肝素化运转ECMO^[17-18],使得此类患者出血风险大为降低。笔者曾应用VV-ECMO救治1例儿童车祸伤患儿,虽使用肝素抗凝治疗,但并未发生严重出血风险^[19],可能与其没有肺外器官出血,应用ECMO期间引起额外出血的风险较低有关^[17]。国外一项研究回顾了1998—2014年ELSO数据库中85例接受ECMO治疗的胸部钝挫伤患者的临床资料,发现63例(74.1%)接受VV-ECMO治疗,32例(37.6%)在ECMO前接受了有创手术,12例(14.1%)在ECMO后接受了有创手术,发生出血性并发症25例(29.4%),其中手术部位出血12例(14.1%),置管部位出血16例(18.8%),两者均有6例(7.1%),总的生存率为74.1%^[20],说明一些创伤患者采用ECMO治疗后预后良好,但仍需进一步研究哪些亚群的创伤患者获益最多。美国一项回顾性研究共纳入425例胸部外伤患儿,6例(1.4%)接受了ECMO治疗,总的生存率为83%,支持在严重胸部外伤儿童中使用ECMO作为潜在的干预措施^[21]。国内关于重度肺爆震伤患者的研究发现,与呼吸机治疗相比,ECMO治疗可快速、持续改善患者的顽固性低氧血症和呼吸困难,缩短机械通气时间和住ICU时间,降低病死率^[22]。因此,随着经验的增长和安全性的提高,外伤不应被视为ECMO的禁忌证,对于外伤后引起的急性呼吸衰竭可尽早给予ECMO辅助治疗,为手术创造条件,可能使患儿获益更多。

3 ECMO在儿童支气管哮喘(简称哮喘)相关急性呼吸衰竭中的应用

哮喘是儿童时期常见的慢性呼吸系统疾病,以慢

性气道炎症和气道高反应性为特征的异质性疾病,需要长期、规范、个体化的持续治疗^[23],常因接触变应原、刺激物或呼吸道感染而诱发哮喘急性发作,严重时可并发致死性哮喘(near-fatal asthma, NFA),导致致死性的呼吸衰竭,是哮喘最严重的临床表现^[24],病死率高达 30%^[25]。NFA 患儿通常存在严重的低氧血症和高碳酸血症,与肺内分流和通气不足有关^[26],同时因气道持续痉挛导致气道压明显增高,机械通气过程中极易发生呼吸机相关肺损伤(ventilator-associated lung injury, VALI),严重威胁患儿生命^[27]。由于 NFA 是一个可逆性、急性发作过程,ECMO 可以通过降低 NFA 患儿呼吸机参数来减少 VALI 的发生,直到支气管痉挛消退,哮喘持续状态缓解。据 ELSO 1992 年 3 月至 2016 年 3 月统计数据发现^[28],共有 24 147 例成人患者接受体外生命支持治疗,其中 272 例 NFA 患者接受 ECMO 治疗,中位辅助时长为 174.6 h,辅助后吸入氧浓度(81.2% vs 48.8%, $P < 0.001$)、气道峰压(38.2 cmH₂O vs 25.0 cmH₂O, $P < 0.001$)、平均气道压(21.4 cmH₂O vs 14.2 cmH₂O, $P < 0.001$)均显著降低,总的出院存活率为 83.5%,提示 ECMO 在 NFA 患者救治中有重大的应用前景。近期 ELSO 又回顾性分析了 2009—2019 年 10 年间使用 ECMO 救治的 15~35 岁的哮喘持续状态患者的临床资料,共纳入 137 例患者,93% 的患者应用 VV-ECMO 辅助治疗,中位辅助时长 97 h,且青少年(15~19 岁)与青年人(20~35 岁)相比辅助时长更短(93 h vs 152 h, $P < 0.05$),最终 90% 的患者存活至出院^[29],说明 ECMO 在此类疾病的治疗中具有巨大的潜力。儿童相关病例报道较少,韩国学者报道 1 例 6 岁的男孩因严重的哮喘持续状态而给予 VV-ECMO 辅助治疗 62 h,患儿病情缓解,脱机后无不良事件发生^[30]。因此,基于目前循证医学证据,使用 ECMO 挽救 NFA 的成功率高达 85%,但 ECMO 前心脏骤停与死亡率增加有关^[31]。因此,在常规标准治疗的基础上,若患儿仍存在持续性低氧血症、酸中毒和血流动力学不稳等无法纠正时,应尽早考虑 ECMO 治疗。

4 ECMO 在儿童塑型性支气管炎(plastic bronchitis, PB)相关急性呼吸衰竭中的应用

PB 又称纤维素性支气管炎、管塑性支气管炎、纤维蛋白性支气管炎等,是一种罕见但危及生命的呼吸系统急症,是各种原因导致的内生性支气管管型局部或广泛堵塞支气管,可导致急性呼吸衰竭^[32],病死率高达 60%^[33]。急性期通过支气管镜吸出塑型物是目前唯一能快速缓解患儿症状的有效治疗方法^[34],但

部分患儿存在严重的低氧血症,无法耐受支气管镜检查,可尝试给予 ECMO 辅助后再行支气管镜检查,从而挽救患儿生命^[35]。Nojima 等^[36]报道 1 例 5 岁的男孩因甲型流感病毒感染导致气胸和 PB,由于存在严重的呼吸和循环衰竭,给予 VA-ECMO 辅助治疗 4 d, VV-ECMO 辅助治疗 5 d,最终治愈。Brogan 等^[37]报道 1 例患有努南综合征和法洛四联症的 3 岁男孩接受了右心室流出道重建术,术后并发 PB,给予 VA-ECMO 辅助 9 d,期间进行了 11 次支气管镜治疗,连续 3 d 进行支气管肺泡灌洗,最终将气道塑型物完全清除,治愈出院。Tonan 等^[38]报道 1 例 11 岁女孩因哮喘并发 PB,在 VV-ECMO 辅助下行纤维支气管镜检查发现左主支气管大量分泌物堵塞,随后在 ECMO 辅助下每天进行 1~2 次支气管镜治疗,共辅助治疗 4 d 后脱离体外循环,最终治愈出院。国内学者报道 1 例 4 岁女孩因腺病毒肺炎继发 PB, VV-ECMO 辅助下行支气管镜检查,成功取出塑型物,共辅助治疗 7 d,最终治愈出院^[33]。笔者中心的 3 例感染相关 PB 患儿均因严重的呼吸衰竭无法耐受支气管镜检查,在 VV-ECMO 辅助下通过支气管镜去除塑型物后均恢复良好^[35]。因此,基于目前国内外研究现状,对于 PB 相关急性呼吸衰竭患儿,若常规治疗无效,可及早给予 ECMO 治疗,能促进肺功能的恢复,提高此类患儿的生存率。

5 ECMO 在儿童肺出血相关急性呼吸衰竭中的应用

肺出血是危及生命的呼吸系统急危重症,病死率为 6.5%~38%^[39-41],儿科罕见^[42],但因其短时间内危及患者生命,救治难度大,值得临床医师重视。早在 20 年前就有学者报道 8 例肺出血患儿在给予内科保守治疗及机械通气治疗无效后给予 ECMO 辅助治疗,治疗后 8 例患儿均存活,并未增加出血相关并发症,说明 ECMO 在伴有肺出血的呼吸衰竭患者中不是禁忌证,而是一种有效维持生命的支持疗法^[43]。近年来,也有相关报道进一步证实 ECMO 在肺出血患者中的疗效。有学者报道 1 例 5 周龄的小婴儿因特发性肺含铁血黄素沉着症(idiopathic pulmonary hemosiderosis, IPH)合并有肺出血和急性呼吸衰竭入院,给予机械通气后氧合进行性恶化,遂行 ECMO 辅助治疗,同时给予甲泼尼龙冲击治疗原发病后治愈出院^[44],说明 ECMO 在 IPH 患儿合并严重肺出血时具有巨大的潜在治疗作用,同时可为不明原因肺出血患儿的肺活检创造条件。美国学者报道 1 例 14 岁儿童因系统性红斑狼疮(systemic lupus erythematosus, SLE)并发弥漫性肺泡出血(diffuse alveolar hemorrhage, DAH)导致严重的呼吸衰竭,给予 VV-ECMO 辅助后手术切除右肺

上叶和中叶,术后恢复良好,无神经系统及出凝血相关并发症发生^[45]。英国学者报道2例成人抗中性粒细胞胞浆抗体(antineutrophil cytoplasmic antibody, ANCA)相关肺出血患者在常规机械通气时氧合难以维持,呼吸衰竭进行性加重,给予VV-ECMO辅助治疗后均治愈出院^[46]。Finkel等^[47]报道1例肉芽肿性多血管炎(granulomatosis with polyangiitis, GPA)患儿,因严重肺出血而给予VV-ECMO辅助治疗,辅助期间给予多次支气管镜检查清除气道内血凝块,最终好转出院。ELSO回顾性分析了2010—2020年10年间ECMO支持治疗抗中性粒细胞胞浆抗体相关血管炎(antineutrophil cytoplasmic antibody-associated vasculitis, AAV)患者的资料,共计135例患者,其中儿科患者34例,虽然50%的患儿合并有肺出血,但总体生存率高达76%,肺出血并没有增加患儿的病死率,说明无论是否存在肺出血,VV-ECMO可作为AAV诊断和治疗的支持“桥梁”^[48]。除免疫性疾病相关肺出血外,目前临床实践发现在感染性疾病相关肺出血患者中ECMO辅助治疗同样安全有效。国内学者报道1例病毒性肺炎继发DAH患者,因严重的呼吸衰竭,对常规治疗无效,给予VV-ECMO辅助治疗后治愈^[49]。大咯血是肺结核致命性并发症,常导致严重的呼吸衰竭,危及患者生命。Araki等^[50]报道1例26岁男性肺结核患者因大咯血而出现严重呼吸衰竭,导致持续性低氧血症和呼吸性酸中毒,给予VV-ECMO辅助治疗后进一步予支气管动脉栓塞、支气管镜清除血凝块等治疗后好转出院。因此,基于目前临床实践,在传统治疗方法难以控制急性肺出血相关严重呼吸衰竭的情况下可以应用ECMO改善患儿氧合,为原发病的诊断争取时间,同时为原发病的治疗做好“桥梁”作用。

6 结语

随着ECMO技术的不断革新与发展,其应用领域也在不断扩大,VV-ECMO在气道内异物、气道内支架植入、癌性气道阻塞、外伤后严重肺损伤、NFA及PB相关急性呼吸衰竭、各种原因所致肺出血等领域的应用越来越多,为此类患儿的临床救治提供了新的思路,值得临床医师借鉴,但仍需多中心、大样本的临床研究来评价其安全性和有效性。

参考文献

- [1] Jenks CL, Raman L, Dalton HJ. Pediatric extracorporeal membrane oxygenation[J]. Crit Care Clin, 2017,33(4):825-841.
- [2] Hadaya J, Benharash P. Extracorporeal membrane oxygenation[J]. JAMA, 2020,323(24):2536.
- [3] Heidemann SM, Nair A, Bulut Y, et al. Pathophysiology and man-

- agement of acute respiratory distress syndrome in children[J]. Pediatr Clin North Am, 2017,64(5):1017-1037.
- [4] Wong JJ, Jit M, Sultana R, et al. Mortality in pediatric acute respiratory distress syndrome: a systematic review and meta-analysis[J]. J Intensive Care Med, 2019,34(7):563-571.
- [5] Cui Y, Zhang Y, Dou J, et al. Venovenous vs. venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in infection-associated severe pediatric acute respiratory distress syndrome: a prospective multicenter cohort study[J]. Front Pediatr, 2022,10:832776.
- [6] Badulak J, Antonini MV, Stead CM, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for COVID-19: updated 2021 guidelines from the Extracorporeal Life Support Organization[J]. ASAIO J, 2021,67(5):485-495.
- [7] Mandal A, Kabra SK, Lodha R. Upper airway obstruction in children[J]. Indian J Pediatr, 2015,82(8):737-744.
- [8] Ogunleye AO, Nwaorgu OG, Sogebi OA. Upper airway obstruction in Nigeria: an aetiological profile and review of the literature[J]. Trop Doct, 2001,31(4):195-197.
- [9] Choi EK, Kim DY, Kim JO. Supraglottic airway device and venoarterial extracorporeal membrane oxygenation support for curative surgery in a patient with huge thyroid mass: a case report[J]. Saudi J Anaesth, 2022,16(2):226-228.
- [10] He B, Zhang S, Ren L, et al. Case report: thyroid carcinoma invading trachea: multidisciplinary resection and reconstruction assisted by extracorporeal membrane oxygenation[J]. Front Oncol, 2023,12:990600.
- [11] Liang L, Su S, He Y, et al. Early extracorporeal membrane oxygenation as bridge for central airway obstruction patients caused by neck and chest tumors to emergency surgery[J]. Sci Rep, 2023,13(1):3749.
- [12] Pizarro C, Davies RR, Theroux M, et al. Surgical reconstruction for severe tracheal obstruction in Morquio A syndrome[J]. Ann Thorac Surg, 2016,102(4):e329-e331.
- [13] Park AH, Tunkel DE, Park E, et al. Management of complicated airway foreign body aspiration using extracorporeal membrane oxygenation(ECMO)[J]. Int J Pediatr Otorhinolaryngol, 2014,78(12):2319-2321.
- [14] Kim CW, Kim DH, Son BS, et al. The feasibility of extracorporeal membrane oxygenation in the variant airway problems[J]. Ann Thorac Cardiovasc Surg, 2015,21(6):517-522.
- [15] Extracorporeal Life Support Organization. ECLS registry report of the Extracorporeal Life Support Organization(ELSO)[EB/OL]. [2023-04-18]. <https://www.elseo.org/registry/internationalsummaryandreports/internationalsummary.aspx>.
- [16] Barbaro RP, Paden ML, Guner YS, et al. Pediatric Extracorporeal Life Support Organization registry international report 2016[J]. ASAIO J, 2017,63(4):456-463.
- [17] 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.
- [18] Lee YY, Baik HJ, Lee H, et al. Heparin-free veno-venous extracor-

- poreal membrane oxygenation in a multiple trauma patient: a case report[J]. *Medicine*(Baltimore), 2020,99(5):e19070.
- [19] 杜彦强,楚建平,王 义,等.体外膜肺氧合辅助.纤维支气管镜引导单肺通气及右肺切除救治一例车祸伤患儿[J]. *中国小儿急救医学*,2021,28(8):737-740.
- [20] Jacobs JV, Hooft NM, Robinson BR, et al. The use of extracorporeal membrane oxygenation in blunt thoracic trauma: a study of the Extracorporeal Life Support Organization database[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2015,79(6):1049-1054.
- [21] Fenton SJ, Hunt MM, Ropski PS, et al. Use of ECMO support in pediatric patients with severe thoracic trauma[J]. *J Pediatr Surg*, 2019, 54(11):2358-2362.
- [22] 陈检明,钟 京,宋志明,等.体外膜肺氧合与呼吸机治疗重度肺爆震伤的疗效比较[J]. *中华创伤杂志*,2022,38(11):992-998.
- [23] Fainardi V, Esposito S, Chetta A, et al. Asthma phenotypes and endotypes in childhood[J]. *Minerva Med*, 2022,113(1):94-105.
- [24] Rubin BK, Pohanka V. Beyond the guidelines: fatal and near-fatal asthma[J]. *Paediatr Respir Rev*, 2012,13(2):106-111.
- [25] Restrepo RD, Peters J. Near-fatal asthma: recognition and management[J]. *Curr Opin Pulm Med*, 2008,14(1):13-23.
- [26] Serrano-Pariente J, Plaza V. Near-fatal asthma: a heterogeneous clinical entity[J]. *Curr Opin Allergy Clin Immunol*, 2017,17(1):28-35.
- [27] Kao CC, Jain S, Guntupalli KK, et al. Mechanical ventilation for asthma: a 10-year experience[J]. *J Asthma*, 2008,45(7):552-556.
- [28] Yeo HJ, Kim D, Jeon D, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for life-threatening asthma refractory to mechanical ventilation: analysis of the Extracorporeal Life Support Organization registry[J]. *Crit Care*, 2017,21(1):297.
- [29] Grennan KN, Maul TM, Nelson JS. Extracorporeal life support for status asthmaticus: early outcomes in teens and young adults[J]. *ASAIO J*, 2022,68(10):1305-1311.
- [30] Ju MH, Park JJ, Jhang WK, et al. Extracorporeal membrane oxygenation support in a patient with status asthmaticus[J]. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg*, 2012,45(3):186-188.
- [31] Medar SS, Peek GJ, Rastogi D. Extracorporeal and advanced therapies for progressive refractory near-fatal acute severe asthma in children[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2020,55(6):1311-1319.
- [32] Maqsood A, Imel LR. Plastic Bronchitis[J]. *N Engl J Med*, 2022,386(8):780.
- [33] Zhang FZ, Qin L, Yuan JX, et al. Plastic bronchitis due to adenoviral infection: a case report[J]. *BMC Pediatr*, 2020,20(1):61.
- [34] Pérez Ruiz E, López Castillo MC, Caro Aguilera P, et al. Management and treatment of pediatric plastic bronchitis[J]. *Arch Bronconeumol*, 2017,53(8):467-468.
- [35] 郭张妍,杜彦强,周 勇,等.静脉-静脉体外膜肺氧合抢救严重塑型性支气管炎三例并文献复习[J]. *中国小儿急救医学*,2023, 30(3):225-228.
- [36] Nojima T, Naito H, Obara T, et al. Plastic bronchitis in a five-year-old boy treated using extracorporeal membrane oxygenation: a case report[J]. *Arch Acad Emerg Med*, 2021,9(1):e16.
- [37] Brogan TV, Finn LS, Pyskaty DJ Jr, et al. Plastic bronchitis in children: a case series and review of the medical literature[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2002,34(6):482-487.
- [38] Tonan M, Hashimoto S, Kimura A, et al. Successful treatment of severe asthma-associated plastic bronchitis with extracorporeal membrane oxygenation[J]. *J Anesth*, 2012,26(2):265-268.
- [39] Fartoukh M, Khoshnood B, Parrot A, et al. Early prediction of in-hospital mortality of patients with hemoptysis: an approach to defining severe hemoptysis[J]. *Respiration*, 2012,83(2):106-114.
- [40] Lee TW, Wan S, Choy DK, et al. Management of massive hemoptysis: a single institution experience[J]. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*, 2000,6(4):232-235.
- [41] Radchenko C, Alraiyes AH, Shojae S. A systematic approach to the management of massive hemoptysis[J]. *J Thorac Dis*, 2017,9(Suppl 10):S1069-S1086.
- [42] Wong KS, Lien R, Hsia SH. Major hemoptysis in adolescents[J]. *Indian J Pediatr*, 2005,72(6):537-538.
- [43] Kolovos NS, Schuerer DJ, Moler FW, et al. Extracorporeal life support for pulmonary hemorrhage in children: a case series[J]. *Crit Care Med*, 2002,30(3):577-580.
- [44] Gutierrez S, Shaw S, Huseni S, et al. Extracorporeal life support for a 5-week-old infant with idiopathic pulmonary hemosiderosis[J]. *Eur J Pediatr*, 2014,173(12):1573-1576.
- [45] Kimura D, Shah S, Briceno-Medina M, et al. Management of massive diffuse alveolar hemorrhage in a child with systemic lupus erythematosus[J]. *J Intensive Care*, 2015,3:10.
- [46] Yusuff H, Malagon I, Robson K, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for life-threatening ANCA-positive pulmonary capillaritis. A review of UK experience[J]. *Heart Lung Vessel*, 2015,7(2):159-167.
- [47] Finkel R, Honig J, Chao CP, et al. The use of ECMO in pediatric granulomatosis with polyangiitis[J]. *Pediatr Rheumatol Online J*, 2022,20(1):35.
- [48] O'Neil ER, Quinn RE, Olson TL, et al. Extracorporeal membrane oxygenation support for antineutrophil cytoplasmic antibody-associated vasculitides: an ELSO registry analysis[J]. *ASAIO J*, 2022,68(4):553-560.
- [49] Zhang L, Liu L, Lin C, et al. Early initiation of extracorporeal membrane oxygenation(ECMO) in emergency department to rescue severe diffuse alveolar hemorrhage[J]. *Am J Emerg Med*, 2021,39:250.e1-250.e3.
- [50] Araki T, Uehara N, Kamijo H, et al. Successful rescue of life-threatening hemoptysis caused by pulmonary tuberculosis bridging with extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Intern Med*, 2022,61(23):3611-3615.
- [收稿日期 2023-07-11][本文编辑 吕文娟 余 军]

本文引用格式

杜彦强,王 义,洪小杨.体外膜肺氧合技术在儿科急性呼吸衰竭中的应用进展[J]. *中国临床新医学*,2023,16(7):651-655.