

• 临床经验 •

静脉-静脉体外膜肺氧合抢救严重肺挫伤患儿

4 例临床分析

郭张妍 吕喆 杜彦强 张华 王义

国家儿童区域医疗中心(西北),西安交通大学附属儿童医院(西安市儿童医院)儿童重症医学科,西安 710003

通信作者:王义, Email: wangyichengxian@163.com

【摘要】 目的 分析静脉-静脉体外膜肺氧合(VV-ECMO)抢救严重肺挫伤患儿的临床有效性。**方法** 回顾分析 2021 年 4 月至 2024 年 12 月西安市儿童医院儿童重症医学科收治的 4 例接受 VV-ECMO 治疗的严重肺挫伤患儿的临床资料,分析总结患儿的一般资料、入院 24 h 内实验室指标、影像学特征、支气管镜下表现、诊疗经过及治疗转归。**结果** 4 例患儿均为男性;年龄分别为 4 岁 9 个月、6 岁 5 个月、8 岁 10 个月、9 岁 7 个月;1 例为高空坠落伤,3 例为车祸伤,均伴有多发性骨折;4 例患儿均于伤后 1~4 h 进展至呼吸困难,2~5 h 予以气管插管有创呼吸机辅助通气;3 例患儿入院时心率加快,均应用去甲肾上腺素治疗;4 例患儿肺部均存在细湿啰音。4 例患儿肺部影像学均提示弥漫性渗出性改变;支气管镜下可见弥漫性肺出血,1 例同时存在右肺中间支气管破裂。4 例患儿经常规机械通气均不能纠正氧合,故于伤后 8~22 h 开始行 VV-ECMO 治疗,其中 1 例在 ECMO 辅助下行右侧胸腔探查术。经治疗后,4 例患儿气道血性分泌物逐渐减少,肺部影像学提示渗出性改变吸收,支气管镜下未见出血,顺利撤离 ECMO,最终治愈出院。**结论** 严重肺挫伤患儿可很快出现呼吸困难,需在伤后数小时内予以呼吸机辅助通气;常规呼吸机辅助通气无效时,ECMO 可挽救生命,如救治及时,预后良好。

【关键词】 儿童; 静脉-静脉体外膜肺氧合; 严重肺挫裂伤**基金项目:** 陕西省西安市儿童医院院级项目(2022E05)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250428-00405

Clinical analysis of veno-venous extracorporeal membrane oxygenation rescue in four cases of severe pulmonary contusion in children

Guo Zhangyan, Lyu Zhe, Du Yanqiang, Zhang Hua, Wang Yi

National Children's Regional Medical Center (Northwest), Department of Critical Care Medicine, Children's Hospital Affiliated to Xi'an Jiaotong University (Xi'an Children's Hospital), Xi'an 710003, China

Corresponding author: Wang Yi, Email: wangyichengxian@163.com

【Abstract】 Objective To analyze the clinical effectiveness of veno-venous extracorporeal membrane oxygenation (VV-ECMO) in rescuing children with severe pulmonary contusion. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of four children with severe pulmonary contusion who were treated with VV-ECMO in the pediatric intensive care unit of Xi'an Children's Hospital from April 2021 to December 2024. The general data, laboratory indicators within 24 hours after admission, imaging features, bronchoscopic findings, diagnostic and treatment processes, as well as therapeutic outcomes of the children were analyzed. **Results** All four pediatric cases were male, aged 4 years and 9 months, 6 years and 5 months, 8 years and 10 months, and 9 years and 7 months, respectively. One case resulted from a high-altitude fall and three from traffic accidents, all presenting with multiple fractures. All four cases progressed to dyspnea within 1–4 hours post-injury and received endotracheal intubation with invasive ventilator support within 2–5 hours. Three cases exhibited tachycardia upon admission and were treated with norepinephrine, all four cases presented with fine moist rales in the lungs. Imaging studies revealed diffuse exudative changes in all four cases. Bronchoscopy identified diffuse pulmonary hemorrhage, with one case additionally showing rupture of the right intermediate bronchus. Conventional mechanical ventilation failed to correct oxygenation in all cases, prompting initiation of VV-ECMO therapy within 8–22 hours post-injury. One case underwent right thoracic exploration under ECMO support. Following treatment, all four cases demonstrated gradual reduction in bloody airway secretions, resolution of pulmonary exudative changes on imaging, and absence of hemorrhage on bronchoscopy. They were successfully weaned off ECMO and ultimately discharged as cured. **Conclusions** Severe pulmonary contusion rapidly leads to respiratory distress, requiring ventilator-assisted ventilation within hours of injury. When conventional ventilator support is ineffective, ECMO can be life-saving, with timely intervention yielding favorable prognosis.

【Key words】 Child; Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation; Severe pulmonary contusion**Fund program:** Hospital-level Project of Xi'an Children's Hospital, Shaanxi Province (2022E05)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20250428-00405

严重肺挫伤作为一种高致死率的胸部创伤,在临床急救中一直是极为棘手的问题。传统治疗方法,如机械通气和药物治疗,在面对严重肺挫伤时效果往往有限,患者大多因呼吸衰竭而死亡。有文献报道,10%~20% 的严重创伤患者可进展为呼吸衰竭甚至急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome,ARDS),病死率高达 50%~80%^[1-2]。体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)是治疗重度 ARDS 的有效手段之一^[3-4]。静脉-静脉体外膜肺氧合(veno-venous extracorporeal membrane oxygenation, V-V ECMO)在严重肺挫伤致呼吸衰竭中的应用受到越来越多关注,可为严重创伤患者提供足够的组织灌注和氧合、纠正酸中毒,为心肺功能恢复及进一步治疗发挥“桥梁”作用^[5]。目前国内 ECMO 在严重创伤患者中的应用和报道极少。本院近年来应用 V-V ECMO 成功救治 4 例严重肺挫伤患儿,报告如下。

1 资料与方法

1.1 研究对象:选择 2021 年 4 月至 2024 年 12 月本院儿童重症医学科收治的经胸部影像学检查提示严重肺挫伤,并接受 V-V ECMO 抢救治疗的患儿作为研究对象。

1.2 伦理学:本研究符合医学伦理学标准,并经西安市儿童医院医学伦理委员会批准(审批号:20250037),所有治疗和检测均获得过患儿法定监护人的知情同意。

1.3 资料收集:收集患儿的一般资料、入院 24 h 内实验室指标、影像学特征、支气管镜下表现、诊疗经过及治疗转归。

1.4 统计学方法:采用描述性分析,计数资料用例数(%)表示;计量资料均呈非正态分布,以范围表示。

2 结果

2.1 一般资料(表 1):4 例患儿均为男性;年龄 4 岁 9 个月~9 岁 7 个月;1 例为高空坠落伤,3 例为车祸伤。所有患儿既往身体健康,无基础疾病;均于伤后 1~4 h 进展至呼吸困难,2~5 h 予以气管插管有创呼吸机辅助通气。1 例坠落伤患儿遭受轻度闭合性脑损伤,伴有轻度意识障碍[格拉斯哥昏迷评分(Glasgow coma scale, GCS)为 10 分],其他 3 例患儿均保持意识清楚。3 例患儿在入院时心率加快,均使用了去甲肾上腺素治疗。4 例患儿肺部均存在细湿啰音。

2.2 实验室指标(表 2):4 例患儿中,有 3 例出现白细胞计数(white blood cell count, WBC)升高,3 例以中性粒细胞比例(percentage of neutrophils, NEUT%)升高为主,1 例 WBC 正常;3 例出现血红蛋白(hemoglobin, Hb)下降,2 例血小板计数(platelet count, PLT)下降;C-反应蛋白(C-reactive protein,

CRP)及降钙素原(procalcitonin, PCT)均升高。4 例患儿均有不同程度的器官功能受损,表现为超敏肌钙蛋白 T(high-sensitivity troponin T, hs-TnT)、肌酸激酶(creatine kinase, CK)、肌酸激酶同工酶(MB isoenzyme of creatine kinase, CK-MB)、丙氨酸转氨酶(alanine transaminase, ALT)、天冬氨酸转氨酶(aspartate transaminase, AST)均升高;1 例患儿存在急性肾损伤(acute kidney injury),表现为血尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、血肌酐(serum creatinine, SCr)升高。

表 1 4 例严重肺挫伤患儿一般情况及症状体征						
例序	性别	年龄	损伤原因	基础疾病	意识状态	心率(次/min)
例 1	男性	4 岁 9 个月	坠落伤	无	意识清楚	180
例 2	男性	6 岁 5 个月	车祸伤	无	意识清楚	175
例 3	男性	8 岁 10 个月	车祸伤	无	GCS 评分 10 分	183
例 4	男性	9 岁 7 个月	车祸伤	无	意识清楚	126

例序	血压(mmHg)	受伤至呼吸困难时间(h)	受伤至气管插管时间(h)	血管活性药物	肺部湿啰音
例 1	122/70	3	4	去甲肾上腺素	有
例 2	118/72	2	3	去甲肾上腺素	有
例 3	114/65	1	2	去甲肾上腺素	有
例 4	110/80	4	5	无	有

注:GCS 为格拉斯哥昏迷评分;1 mmHg=0.133 kPa

2.3 影像学特征及支气管镜下表现:4 例患儿肺部影像学均提示弥漫性渗出性改变,其中典型病例呈现肺坠落征的特征性表现,如肺叶不张、萎缩和移位(图 1)。4 例患儿均接受了支气管镜检查,且镜下均可见弥漫性肺出血(图 2);1 例患儿同时存在右肺中间支气管破裂。

2.4 诊疗经过及转归:4 例患儿伤后 4 h 内均出现呼吸困难,在外院行气管插管呼吸机辅助通气后,被紧急转运至本院儿童重症医学科。入院后均采用肺保护性通气策略进行有创机械通气,并根据患儿病情调整呼吸机参数。4 例患儿均伴有多处骨折及其他器官挫伤。入院后均予以积极止血、纠正贫血、输注血浆、充分镇静镇痛等对症治疗。4 例患儿均因气管导管内可见较多血性液体,同时伴有氧合欠佳,予以支气管镜下止血,但镜下可见弥漫性肺出血。经治疗 8~22 h 后,患儿气道血性分泌物仍较多,故采用压力控制型辅助/控制(pressure control-assist/control, PC-A/C)通气模式,同时调整呼吸机参数:吸入氧浓度(fraction of inspired oxygen, FiO₂)为 1.00,平均气道压(mean airway pressure, MAP)为 22~25 cmH₂O(1 cmH₂O=0.098 kPa),呼气末正压(positive end-expiratory

表 2 4 例严重肺挫伤患儿入院 24 h 内主要实验室指标													
例序	WBC(×10 ⁹ /L)	NEUT%	Hb(g/L)	PLT(×10 ⁹ /L)	CRP(mg/L)	PCT(μg/L)	hs-TnT(ng/L)	CK(U/L)	CK-MB(U/L)	BUN(mmol/L)	SCr(μmol/L)	ALT(U/L)	AST(U/L)
例 1	24.49	0.804	105	114	60.59	47.78	187.0	8 038	137	14.49	141	446	1 075
例 2	21.23	0.813	80	91	38.60	21.40	18.5	1 788	143	5.70	54	344	1 045
例 3	11.38	0.784	79	66	46.80	9.31	145.0	1 600	126	8.30	69	85	249
例 4	27.97	0.812	109	226	23.07	5.92	233.6	1 449	69	5.08	45	74	117

注:WBC 为白细胞计数,NEUT% 为中性粒细胞比例,Hb 为血红蛋白,PLT 为血小板计数,CRP 为 C-反应蛋白,PCT 为降钙素原,hs-TnT 为超敏肌钙蛋白 T,CK 为肌酸激酶,CK-MB 为肌酸激酶同工酶,BUN 为血尿素氮,SCr 为血肌酐,ALT 为丙氨酸转氨酶,AST 为天冬氨酸转氨酶

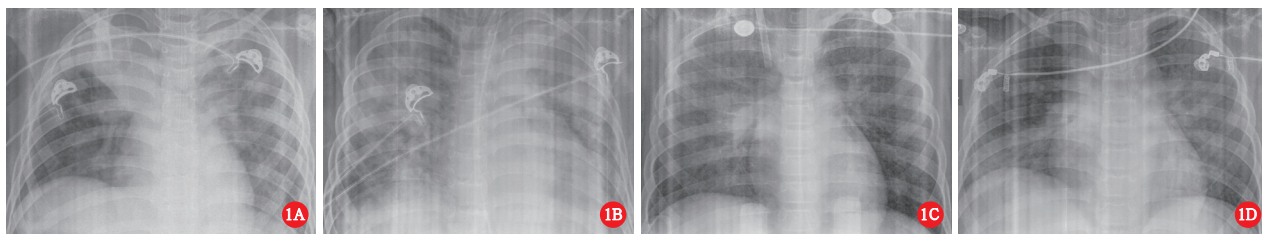


图1 1例8岁10个月男性严重肺挫伤患儿肺部影像学表现 入院时X线胸片提示:双肺斑片影,考虑双肺挫伤,右肺上叶不张(A);18 h后复查X线胸片提示:双肺斑片影较前增多,双肺挫伤(B);经静脉-静脉体外膜肺氧合(VV-ECMO)治疗5 d后复查X线胸片提示:双肺斑片影较前明显吸收,双肺挫伤较前减轻(C);体外膜肺氧合(ECMO)撤离后复查X线胸片提示:双肺斑片影吸收(D)

pressure, PEEP)为12~15 cmH₂O。在高呼吸机参数下,脉搏血氧饱和度(pulse oxygen saturation, SpO₂)维持在0.83~0.87;复查X线胸片均提示双肺斑片影较前增多,结合氧合指数,考虑为ARDS,遂予以经皮B超引导下穿刺右侧颈内静脉及股静脉,建立VV-ECMO支持治疗。开始转流后,全流量辅助(100~150 mL·kg⁻¹·min⁻¹),气流量/血流量比例为1:1.5,降低呼吸机参数;转流稳定后根据血气分析结果调整气流量和血流量。1例患儿在ECMO辅助下行右侧胸腔探查术,可见较多血性液体,因存在肺坏死,支气管完全断裂,无法吻合,且肺组织血运差,遂行右肺切除术。4例患儿中,2例在ECMO前予肝素负荷剂量100 U/kg。ECMO期间2例应用小剂量肝素抗凝(5~10 U·kg⁻¹·h⁻¹),1例应用甲磺酸萘莫司他抗凝(1 mg/kg),1例未用抗凝剂;治疗期间,维持PLT>50×10⁹/L,血细胞比容(hematocrit, HCT)>0.35,严密动态监测中心静脉压(central venous pressure, CVP)、心功能及下腔静脉超声情况,并结合乳酸等参数,精准指导补液和调整ECMO目标流量。1例患儿存在AKI,予连续性肾脏替代治疗(continuous renal replacement therapy, CRRT),与ECMO串联实施。经治疗,4例患儿气道血性分泌物逐渐减少,肺部影像学提示渗出性改变吸收,支气管镜下未见出血,顺利撤离ECMO;1例患儿出现深静脉血栓,2例转入骨科行骨折手术,后期均顺利出院。4例患儿入院至启动ECMO时间为8~22 h,ECMO治疗时间为86~215 h,总住院时间为24~40 d(表3)。

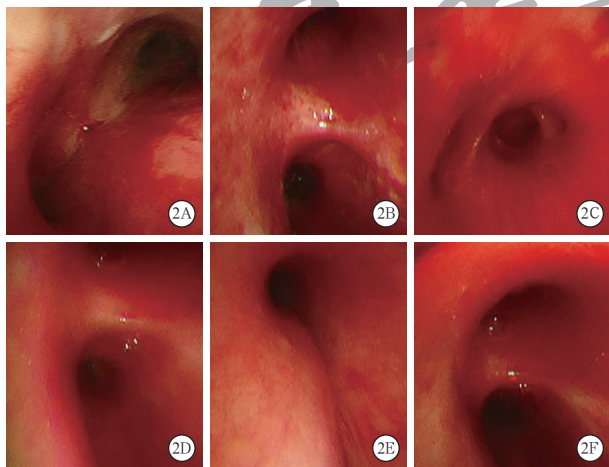


图2 1例8岁10个月男性严重肺挫伤患儿支气管镜下表现 入院时支气管镜下可见隆突(A),右肺上叶(B)和下叶(C)支气管腔内、中间段支气管腔内(D)、左主支气管入口(E)及左肺上下叶支气管腔内(F)均可见较多血性分泌物

表3 4例严重肺挫伤患儿VV-ECMO治疗情况

例序	入院至启动ECMO时间(h)	ECMO治疗时间(h)	ECMO相关并发症	有创机械通气时间(h)
例1	8	145	无	166
例2	12	165	右股静脉血栓	256
例3	18	215	无	312
例4	22	86	无	122

例序	抗凝策略	总住院时间(d)	预后
例1	小剂量肝素	27	治愈
例2	无	24	治愈
例3	甲磺酸萘莫司他	40	治愈
例4	小剂量肝素	31	治愈

注:VV-ECMO为静脉-静脉体外膜肺氧合,ECMO为体外膜肺氧合

3 讨论

肺挫伤是严重胸部创伤的常见并发症,可导致ARDS和呼吸衰竭,病死率较高。传统机械通气虽可提供呼吸支持,但在严重病例中可能因高气道压力和容积损伤加重肺损伤。近年来,ECMO作为一种挽救性治疗手段,在肺挫伤中的应用逐渐增多^[6]。ECMO通过体外氧合和二氧化碳清除,可显著改善氧合状态,减少机械通气对肺的进一步损伤。Jacobs等^[7]报告了85例胸部创伤患者接受ECMO治疗情况,其中74.1%接受VV-ECMO,29.4%出现出血并发症,但74.1%好转出院,表明ECMO能提升严重胸部创伤患者存活率,且出血风险未显著增加。Zangbar等^[8]基于倾向评分匹配将14 106例严重胸部创伤患者分为VV-ECMO组和非VV-ECMO组,结果显示,VV-ECMO组院内病死率显著低于非VV-ECMO组(22.3%比37.3%, $P<0.001$)。综合分析以上研究发现,ECMO在严重肺挫伤患者中具有显著的临床效果。另外,ECMO也被报道在其他部位多发伤患者中效果显著,包括钝性腹部创伤伴有需要探查性剖腹术的内出血^[9]和创伤性脑损伤^[10-11]。

ECMO的辅助原理是将血液从机体静脉端引出,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体内,起到临时人工心肺的作用^[3],彻底达到肺休息策略,给严重创伤患者的救治带来希望^[12]。然而,ECMO的应用仍面临挑战,尤其是抗凝管理、并发症风险(如出血和感染)、患者选择等。严重创伤患者因有较高的出血风险而难以进行全身抗凝,增加了ECMO治疗难度^[13],所以VV-ECMO在创伤患者中的应用一直存在争议。国内关于此方面的报道极少。近年来,随着ECMO设备的不断进步,包括离心泵、肝素涂层

管路及聚甲基戊烯氧合器的应用,已显著降低了患者对抗凝剂的需求和血栓形成的风险。越来越多的证据表明针对创伤患者可使用无肝素的 ECMO^[14-17],且无肝素 VV-ECMO 持续时间最长可达 11 d^[16]。本研究 4 例患儿中,有 2 例应用小剂量肝素,1 例使用甲磺酸萘莫司他,1 例未使用抗凝剂,ECMO 期间均未出现出血加重和血栓。所以,个体化抗凝策略非常重要。甲磺酸萘莫司他是一种丝氨酸蛋白酶抑制剂,具有多靶点抗凝效应,主要通过抑制凝血酶及 VIIa、Xa、XIIa 等关键凝血因子活性而发挥抗凝作用,并具有抗纤溶作用、抗血小板活性,能抑制胰蛋白酶、激肽释放酶-激肽系统、补体系统等^[18]。甲磺酸萘莫司他的半衰期为 8 min,进一步减少了其对体内凝血功能的干扰。对于高出血风险患者,甲磺酸萘莫司他被视为 ECMO 期间较安全的局部抗凝药物^[19]。除此之外,为了确保 ECMO 长时间运作,应将血流量尽量设置为 >1.5 L/min,以防止凝血,所有凝血因子应通过外周静脉输注,同时要持续监测凝血指标。

本研究中 4 例患儿均为外伤致双肺严重挫伤合并出血,经有创呼吸机辅助通气及纤维支气管镜下治疗后仍存在顽固性低氧血症,主要是因为肺挫伤导致肺实质细胞损害、肺泡和毛细血管出血、肺间质水肿,显著影响了肺部的通气和换气功能。由于肺泡壁毛细血管通透性增加,液体渗出到肺泡和间质空间,加剧了呼吸困难,导致低氧血症和高碳酸血症。4 例患儿在高呼吸机参数下氧合仍难以维持,气道血性分泌物较多,立即行 VV-ECMO。经治疗,患儿氧合明显改善,逐渐下调呼吸机参数,气道血性分泌物逐渐减少,肺部影像学提示渗出性改变较前吸收,支气管镜下未见出血,顺利撤离 ECMO。何时启动 ECMO 是一个挑战。延迟实施 ECMO 可能导致不可逆的肺和心脏损伤,也可导致其他不良结果^[20]。所以,早期启动 ECMO 可能具有优势,如缩短机械通气时间以防止高压和高 FiO₂ 通气致医源性肺损伤,以及提供足够的氧合和组织灌注,使肺和心脏充分休息。本研究中 4 例患儿均于入院 22 h 内启动 ECMO,最终好转出院。

综上所述,ECMO 可作为一种抢救方法,提供创伤性肺休息,预示 ECMO 在多发创伤治疗中的应用前景可能更为广阔。ECMO 在治疗创伤患者时仍面临挑战,特别是启动时机和抗凝策略的选择,亟待未来研究进一步探索和解决。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 郭张妍: 酝酿和设计实验、实施研究、采集数据、分析/解释数据、起草文章; 吕喆: 对文章的知识性内容作批评性审阅; 杜彦强: 采集数据、分析/解释数据、起草文章; 张华: 酝酿和设计实验、对文章的知识性内容作批评性审阅、行政、技术或材料支持; 王义: 酝酿和设计实验、分析/解释数据、起草文章、对文章的知识性内容作批评性审阅、行政、技术或材料支持

参考文献

- [1] 李阳, 张连阳. 简明损伤定级 / 损伤严重程度评分的研究进展与误用解析 [J]. 中华创伤杂志, 2021, 37 (1): 11-14. DOI: 10.3760/cma.j.cn501098-20201230-00752.
- [2] Watkins TR, Nathens AB, Cooke CR, et al. Acute respiratory distress syndrome after trauma: development and validation of a predictive model [J]. Crit Care Med, 2012, 40 (8): 2295-2303. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3182544f6a.

- [3] 张文稳, 秦秉玉, 赵丽霞, 等. 体外膜肺氧合区域救治模式在重症心肺疾病患者中的应用 [J]. 中华危重病急救医学, 2021, 33 (5): 596-599. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20201202-00740.
- [4] 吴永然, 惠越, 陈伟, 等. 使用双腔导管实施静脉-静脉体外膜肺氧合治疗高处坠落多发伤致重度 ARDS 患儿 1 例 [J]. 中华危重病急救医学, 2022, 34 (10): 1092-1094. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220419-00391.
- [5] Wang CT, Zhang L, Qin T, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in trauma patients: a systematic review [J]. World J Emerg Surg, 2020, 15 (1): 51. DOI: 10.1186/s13017-020-00331-2.
- [6] Powell EK, Reynolds TS, Webb JK, et al. Early veno-venous extracorporeal membrane oxygenation is an effective strategy for traumatically injured patients presenting with refractory respiratory failure [J]. J Trauma Acute Care Surg, 2023, 95 (2S Suppl 1): S50-S59. DOI: 10.1097/TA.0000000000004057.
- [7] 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): 1049-1053; discussion 1053-1054. DOI: 10.1097/TA.0000000000000790.
- [8] Zangbar B, Rafieezadeh A, Prabhakaran K, et al. Extracorporeal membrane oxygenation is associated with decreased mortality in non-acute respiratory distress syndrome patients following severe blunt thoracic trauma [J]. J Trauma Acute Care Surg, 2025, 98 (4): 593-599. DOI: 10.1097/TA.0000000000004544.
- [9] Arlt M, Philipp A, Voelkel S, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in severe trauma patients with bleeding shock [J]. Resuscitation, 2010, 81 (7): 804-809. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2010.02.020.
- [10] Muellenbach RM, Kredel M, Kunze E, et al. Prolonged heparin-free extracorporeal membrane oxygenation in multiple injured acute respiratory distress syndrome patients with traumatic brain injury [J]. J Trauma Acute Care Surg, 2012, 72 (5): 1444-1447. DOI: 10.1097/TA.0b013e31824d68e3.
- [11] Kruit N, Prusak M, Miller M, et al. Assessment of safety and bleeding risk in the use of extracorporeal membrane oxygenation for multitrauma patients: a multicenter review [J]. J Trauma Acute Care Surg, 2019, 86 (6): 967-973. DOI: 10.1097/TA.0000000000002242. Erratum in: J Trauma Acute Care Surg, 2019, 87 (3): 744. DOI: 10.1097/TA.0000000000002454.
- [12] Vobruba V, Vobruba J, Bělohávek J, et al. Endobronchial stenting on VV-ECMO in a 6-month-old girl with right lung agenesis and severe stenosis of the left main bronchus [J]. Perfusion, 2018, 33 (7): 599-601. DOI: 10.1177/0267659118768153.
- [13] Hu PJ, Griswold L, Raff L, et al. National estimates of the use and outcomes of extracorporeal membrane oxygenation after acute trauma [J]. Trauma Surg Acute Care Open, 2019, 4 (1): e000209. DOI: 10.1136/tsaco-2018-000209.
- [14] Lorini FL, Grazioli L, Manfredi R, et al. A prolonged and successful heparin-free extracorporeal membrane oxygenation run in isolated thoracic trauma: a case report [J]. Int J Artif Organs, 2020, 43 (4): 288-291. DOI: 10.1177/0391398819887400.
- [15] Ryu KM, Chang SW. Heparin-free extracorporeal membrane oxygenation in a patient with severe pulmonary contusions and bronchial disruption [J]. Clin Exp Emerg Med, 2018, 5 (3): 204-207. DOI: 10.15441/ceem.17.252.
- [16] Park JM, Kim CW, Cho HM, et al. Induced airway obstruction under extracorporeal membrane oxygenation during treatment of life-threatening massive hemoptysis due to severe blunt chest trauma [J]. J Thorac Dis, 2014, 6 (12): E255-E258. DOI: 10.3978/j.issn.2072-1439.2014.10.22.
- [17] Wen PH, Chan WH, Chen YC, et al. Non-heparinized ECMO serves a rescue method in a multitrauma patient combining pulmonary contusion and nonoperative internal bleeding: a case report and literature review [J]. World J Emerg Surg, 2015, 10: 15. DOI: 10.1186/s13017-015-0006-9.
- [18] 共识专家组. 抗凝技术在危重症肾脏替代治疗应用的中国专家共识 (2023 年版) [J]. 中华肾脏病杂志, 2023, 39 (2): 155-164. DOI: 10.3760/cma.j.cn441217-20220809-00815.
- [19] Lee JH, Park JH, Jang JH, et al. The role of nafamostat mesilate as a regional anticoagulant during extracorporeal membrane oxygenation [J]. Acute Crit Care, 2022, 37 (2): 177-184. DOI: 10.4266/acc.2021.01312.
- [20] Haile DT, Scheers GJ. Optimal time for initiating extracorporeal membrane oxygenation [J]. Semin Cardiothorac Vasc Anesth, 2009, 13 (3): 146-53. DOI: 10.1177/1089253209347924.

(收稿日期: 2025-04-28)
(本文编辑: 孙茜 马英)