

· 论著 · 烧伤危重症与并发症 ·

回顾性分析和系统综述体外膜肺氧合在烧伤合并急性呼吸窘迫综合征救治中的临床效果



李海胜 袁志强 宋华培 罗奇志 向飞 马思远 周俊峰 谭江琳 周灵
彭毅志 罗高兴

陆军军医大学(第三军医大学)第一附属医院全军烧伤研究所,创伤、烧伤与复合伤国家重点实验室,重庆市疾病蛋白质组学重点实验室 400038

通信作者:罗高兴,Email:logxw@yahoo.com

【摘要】 目的 分析体外膜肺氧合(ECMO)治疗烧伤合并急性呼吸窘迫综合征(ARDS)患者的临床效果。**方法** 采用回顾性观察性研究和系统评价研究的方法。2014年3月—2020年7月,陆军军医大学(第三军医大学)第一附属医院全军烧伤研究所收治5例接受ECMO治疗的烧伤合并ARDS患者,均为男性,年龄40~62岁,平均烧伤总面积为58.8%体表总面积(TBSA),其中4例存在重度吸入性损伤。记录患者ECMO开始使用时间、使用模式、持续时长,是否成功脱机及死亡原因等;统计并分析患者ECMO使用前、中、后的氧合和感染指标变化。以“Extracorporeal Membrane Oxygenation”“ECMO”“burn”“inhalation”为检索词,以“Title/Abstract”为检索范围,以建库至2021年8月为检索时间范围,在《PubMed》和《Web of Science》数据库中检索并筛选符合入选标准的回顾性论著。提取文章的基本信息及患者样本量、性别、年龄、烧伤总面积、有无吸入性损伤、ECMO上机指征、ECMO开始时间、ECMO持续时间、ECMO使用模式、ECMO成功脱机率、死亡率、ECMO并发症、CRRT联用情况等资料进行分析。**结果** 5例患者于伤后平均10.2 d开始ECMO治疗,均采用静脉到静脉(VV)-ECMO模式,平均持续时间180.4 h。5例患者中3例成功脱机,其中1例患者存活。4例患者均死于多器官功能障碍综合征(MODS)和脓毒症休克。与ECMO使用前相比,使用中、使用后3例成功脱机患者的动脉血氧分压(PaO₂)和动脉血氧饱和度(SaO₂)均升高;吸入气氧浓度均下降至50%以下;氧合指数(PaO₂/吸入气氧浓度)均升高至200 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)以上;乳酸、呼吸频率均基本下降。较ECMO使用前,使用中2例未成功脱机患者的PaO₂和SaO₂均下降,乳酸均升高;2例未成功脱机病例在ECMO使用前、使用中的氧合指数均<200 mmHg, PaCO₂均>40 mmHg。与ECMO使用前相比,使用中、使用后患者的体温均无明显变化,均<38 ℃。与ECMO使用前相比,使用中4例患者的白细胞计数(略去未成功脱机病例无此项的指标,下同)基本呈显著下降趋势,使用后有所回升。与ECMO使用前相比,使用中3例患者的中性粒细胞水平略升高,且在使用后无明显变化。与ECMO使用前相比,使用中3例患者的血小板计数明显降低。ECMO使用中,所有患者的血小板计数低于血小板计数正常水平下限。与ECMO使用前相比,使用中4例死亡患者的降钙素原水平平均明显升高。3例成功脱机患者的导管微生物培养结果均为阴性。共纳入13篇文献,研究时间最早为1990年,最晚截止到2019年;6项研究样本量小于10,4项研究介于10~20,仅2篇文献样本量大于50;共295例烧伤患者接受ECMO治疗,包括157例成人和138例儿童烧伤患者;总体死亡率为48.8%(144/295);烧伤人群使用ECMO最常见的指征是重度ARDS。157例成年烧伤患者中,男95例、女62例;36例存在吸入性

DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20210803-00266

本文引用格式:李海胜,袁志强,宋华培,等.回顾性分析和系统综述体外膜肺氧合在烧伤合并急性呼吸窘迫综合征救治中的临床效果[J].中华烧伤杂志,2021,37(10):911-920. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20210803-00266.

Li HS, Yuan ZQ, Song HP, et al. Clinical application of extracorporeal membrane oxygenation in the treatment of burn patients with acute respiratory distress syndrome: a retrospective analysis and systematic review[J]. Chin J Burns, 2021, 37(10):911-920. DOI: 10.3760/cma.j.cn501120-20210803-00266.



损伤;5项研究平均烧伤总面积在27%~37%TBSA,2项研究平均烧伤总面积大于50%TBSA;最常用模式为VV-ECMO,平均于伤后26.5 h~7.4 d开始ECMO治疗,持续90 h~18 d,成功脱机率为50%~100%;最常见的并发症是出血和感染;病死率为52.9%(83/157),最常见的死亡原因为MODS和脓毒症。138例儿童烧伤患者中,77例为男童、61例为女童;29例合并吸入性损伤;3项研究平均烧伤总面积在17%~50.2%TBSA;ECMO持续165.2~324.4 h;最常见的并发症是出血;病死率为44.2%(61/138)。
结论 ECMO是挽救性治疗烧伤合并ARDS的有效手段,使用过程中应着重防治出血、感染和脏器功能障碍,亟须基于临床证据的操作指南以进一步提高ECMO的救治效果。

【关键词】 烧伤; 急性呼吸窘迫综合征; 体外膜肺氧合; 系统综述

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(82002036);重庆市自然科学基金创新群体项目(cstc2019jcyj-cxttX0001)

Clinical application of extracorporeal membrane oxygenation in the treatment of burn patients with acute respiratory distress syndrome: a retrospective analysis and systematic review

Li Haisheng, Yuan Zhiqiang, Song Huapei, Luo Qizhi, Xiang Fei, Ma Siyuan, Zhou Junyi, Tan Jianglin, Zhou Ling, Peng Yizhi, Luo Gaoxing

State Key Laboratory of Trauma, Burns and Combined Injury, Institute of Burn Research, the First Affiliated Hospital of Army Medical University (the Third Military Medical University), Chongqing Key Laboratory for Disease Proteomics, Chongqing 400038, China

【Abstract】 **Objective** To analyze the clinical effect of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in the treatment of burn patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS). **Methods** The retrospective observational study and the systematic review were applied. From March 2014 to July 2020, five burn patients with ARDS received ECMO treatment in the First Affiliated Hospital of Army Medical University (the Third Military Medical University). All the five patients were male, aged from 40 to 62 years. The average total burn surface area was 58.8% total body surface area (TBSA) and four cases had severe inhalation injury. Patient's ECMO starting time, duration and mode, and whether successfully weaned or the cause of death, and others, were recorded. Furthermore, the changes of oxygenation and infection before, during, and after utilizing ECMO were analyzed. *PubMed* and *Web of Science* from the establishment of each database to August 2021 were searched using "Extracorporeal Membrane Oxygenation", "ECMO", "burn", "inhalation" as the search terms and "Title/Abstract" as the field to retrieve the clinical articles that meet the selection criteria. Basic information were extracted from the articles, including sample size, gender, age, total burn area, inhalation injury, the indication of ECMO, the start and lasting time of ECMO, ECMO mode, rate of successful weaning, complications of ECMO, mortality, the combined application of continuous renal replacement therapy (CRRT). **Results** Five patients started venovenous ECMO on an average of 10.2 days after injury and lasted an average of 180.4 hours. Three out of 5 patients were weaned successfully with one patient survived. Four patients died of multiple organ dysfunction syndrome (MODS) and septic shock. Compared with those before ECMO treatment, the arterial oxygen partial pressure (PaO_2) and oxygen saturation in arterial blood (SaO_2) of three successfully weaned patients obviously increased during and after ECMO treatment. The fraction of inspired oxygen (FiO_2) decreased below 50% and $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ratio increased above 200 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa) during and after ECMO. Furthermore, lactic acid and respiratory rate decreased, basically. Compared with those before ECMO, PaO_2 and SaO_2 in the other two patients during ECMO, who failed to be weaned, continuously decreased while lactic acid increased. Before and during ECMO, the $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ratios of unsuccessfully weaned cases were less than 200 mmHg, and partial pressure of carbon dioxide in arterial blood (PaCO_2) were more than 40 mmHg. Compared with those before ECMO, there were no significant changes in body temperature during and after ECMO, which were less than 38 °C. Compared with those before ECMO, the leucocyte number (the index without this in unsuccessfully weaned cases was omitted, the same as below) in four patients showed a significant decrease during ECMO, but rose after removal of ECMO. The proportion of neutrophils in three patients were slightly higher during ECMO than before ECMO, and did not change significantly after removal of ECMO. Compared with those before ECMO, platelet counts in three patients were significantly reduced during ECMO, and all five patients during ECMO were below normal levels. Compared with those before ECMO, the procalcitonin levels in four deaths were significantly increased during ECMO. Catheter culture of microorganism was performed in three successfully weaned patients, all of which were negative. A total of 13 literature were included, ranging from 1990 to 2019. The sample size in 6 studies was less than 10, and the sample size in 4 studies was between 10 and 20, and only 2 literatures had a sample size larger than 50. ECMO was applied in 295 burn patients

with overall mortality of 48.8% (144/295), including 157 adults and 138 children. The most common indication of ECMO was severe ARDS. Among 157 adult burn patients (95 males and 65 females), 36 cases had inhalation injury. The average burn area was 27%–37%TBSA in 5 reported studies and was more than 50%TBSA in 2 reported studies. The most common mode was venovenous ECMO. ECMO treatment began 26.5 hours to 7.4 days after injury and lasted from 90 hours to 18 days, and the rate of successful weaning ranged from 50% to 100%. The most common complications were bleeding and infection. The mortality was 52.9% (83/157). MODS and sepsis were the leading causes of death. Among 138 pediatric burn patients (77 boys and 61 girls), 29 patients had inhalation injury. The average burn area was 17%–50.2%TBSA in 3 studies. ECMO treatment lasted from 165.2 hours to 324.4 hours. Bleeding was the most common complication. The mortality was 44.2% (61/138). **Conclusions** ECMO is an effective strategy for the salvage treatment of burns complicated with ARDS. Furthermore, the prevention and treatment of bleeding, infection and organ dysfunction should be emphasized during the use of ECMO. More importantly, evidence-based guidelines for burns are urgently needed to further improve the clinical effect of ECMO.

【Key words】 Burns; Acute respiratory distress syndrome; Extracorporeal membrane oxygenation; Systematic review

Fund program: National Natural Science Foundation of China for Youth (82002036); Science Fund for Creative Research Group of Chongqing Natural Science Foundation(cste2019jcyj-cxttX0001)

吸入性损伤、感染、肺水肿等引起的 ARDS 是严重烧伤患者的主要死亡原因之一^[1-2]。经鼻导管/面罩给氧、无创辅助通气、呼吸机辅助呼吸等是最常用的、经典的氧疗技术和手段,但这些方法都是通过提高给氧浓度、流量和压力等提高肺脏自身的通气和换气能力。近年来,随着体外生命支持技术的进步,体外膜肺氧合(ECMO)逐渐被广泛应用于严重烧伤患者的救治。ECMO 是指在体外经膜式氧合器将静脉血中的二氧化碳排除、重新氧合,再用离心泵将血液重新汇入体内血液循环,承担肺脏气体交换和心脏循环功能的体外生命支持技术^[3]。国际上最早于 1994 年出现烧伤患者应用 ECMO 的病案报道^[4],国内最早于 2017 年开始报道^[5-6]。总体上,重度 ARDS 是严重烧伤患者使用 ECMO 的主要指征,但经验相对不足,救治效果仍有待提高。本文对陆军军医大学(第三军医大学)第一附属医院全军烧伤研究所于 2014 年 3 月—2020 年 7 月收治的 5 例行 ECMO 治疗的烧伤合并 ARDS 患者进行临床资料总结,同时筛选国内外接受 ECMO 治疗烧伤人群的临床研究并进行系统综述,以期为 ECMO 应用于烧伤救治提供参考。

1 对象与方法

1.1 研究设计

本研究包括 2 个部分。第 1 部分为回顾性观察性研究,本部分研究经陆军军医大学(第三军医大学)第一附属医院伦理委员会批准,批号:KY2021084。根据该院伦理委员会相关政策,所使用患者病历资料可在不泄漏患者身份的前提下进行分析研究。第 2 部分为文献系统综述,分析目前国内烧伤患者的 ECMO 使用情况。

1.2 临床资料

5 例患者均为男性,平均年龄 48.2 岁;平均烧伤总面积为 58.8%TBSA,其中 3 例>50.0%TBSA;4 例患者存在Ⅲ度烧伤,平均Ⅲ度烧伤面积为 23.8%TBSA;4 例患者经纤维支气管镜诊断,存在重度吸入性损伤;3 例患者合并呼吸系统相关疾病;入院后 24 h,患者急性生理学和慢性健康状况评价Ⅱ(APACHEⅡ)评分平均为 15.6 分,见表 1。

1.3 治疗方法

1.3.1 常规治疗 入院后按照“中国九分法”估算烧伤总面积,休克期按照第三军医大学补液公式进行补液^[1],根据患者血流动力学监测调整补液剂

表 1 5 例接受体外膜肺氧合治疗的烧伤合并急性呼吸窘迫综合征患者的临床资料

患者编号	年龄(岁)	致伤原因	烧伤总面积(%TBSA)	Ⅲ度烧伤面积(%TBSA)	吸入性损伤	合并症	APACHEⅡ评分(分)
病例 1	43	汽油火焰烧伤	85.0	28.0	无	无	24
病例 2	49	高温蒸汽烫伤	87.0	46.0	重度	无	19
病例 3	40	瓦斯爆炸伤	80.0	35.0	重度	右侧气胸	10
病例 4	47	氨水烧伤	27.0	10.0	重度	呼吸衰竭、急性氨中毒	16
病例 5	62	氨水烧伤	15.0	0	重度	右侧气胸、呼吸衰竭、急性氨中毒	9

注:TBSA 为体表总面积,APACHEⅡ评分为急性生理学和慢性健康状况评价Ⅱ评分

量及种类,根据尿量及脏器灌注情况调整补液速度;患者中 4 例急诊入院后,行经皮快速气管切开术、股静脉和股动脉穿刺置管术,1 例院外已行气管切开和股动静脉置管;2 例早期使用亚胺培南-西司他丁、1 例使用头孢噻利、1 例使用头孢西丁、1 例使用头孢他啶预防感染,并根据血、痰、创面分泌物微生物培养结果及时调整抗生素使用方案;2 例分别于伤后第 3 天和第 6 天行四肢切削痂+Meek 植皮术。

1.3.2 ECMO 治疗 按照 ARDS 柏林诊断标准^[7],在 ECMO 上机前 24 h 内,患者均存在重度 ARDS,即氧合指数 $[\text{PaO}_2/\text{吸入气氧浓度}(\text{FiO}_2)] < 100 \text{ mmHg}$ ($1 \text{ mmHg}=0.133 \text{ kPa}$)。本回顾性观察性研究中 ECMO 上机指征为:氧合指数 $< 100 \text{ mmHg}$ 超过 6 h, $\text{PaCO}_2 > 50 \text{ mmHg}$ 持续 6 h,经提高氧浓度、增加呼气末正压(PEEP)、俯卧位通气、纤维支气管镜辅助灌洗、肺保护性通气等均无法纠正低氧血症。所有患者均采用静脉到静脉(VV)ECMO 模式,均采用手术切开颈内静脉和股静脉的插管模式。上机成功后,调整 ECMO 氧流量和离心泵转速,维持静脉血氧饱和度在 0.65~0.70;ECMO 运行期间,静脉持续泵入肝素钠,每 4 小时监测活化部分凝血活酶时间(APTT),调整肝素钠剂量使 APTT 维持在 60~80 s。ECMO 使用期间,呼吸机采用“超保护性通气策略”^[8],即使用间歇正压通气或同步间歇指令通气模式,潮气量 4~6 mL/kg,PEEP 10~20 cmH_2O ($1 \text{ cmH}_2\text{O}=0.098 \text{ kPa}$),呼吸频率在镇静、肌肉松弛状态下设置为 4~10 次/min, FiO_2 为 30%~50%。ECMO 撤机指征和方法^[9]:当患者持续 6 h 氧合指数 $> 200 \text{ mmHg}$ 、 $\text{PaCO}_2 < 45 \text{ mmHg}$,胸部 X 线片提示肺部病变明显好转时,可考虑撤机;撤机前按照“肺保护性通气策略”设置呼吸机参数,即呼吸机模式为同步间歇指令通气、PEEP $< 10 \text{ cmH}_2\text{O}$ 、 $\text{FiO}_2 < 50\%$ 、潮气量 6~8 mL/kg,逐渐下调 ECMO 血流量至 2 L/min,继续观察 24 h,若氧合指数、生命体征等无明显恶化,则可撤机。

1.3.3 连续性肾脏替代治疗(CRRT) 4 例患者在 ECMO 运行期间联合使用 CRRT。CRRT 使用指征^[10]:无法纠正的急性肾损伤、严重电解质紊乱、全身过度炎症反应、脓毒症、容量超载等。使用时,均采用额外的血管通路运行 CRRT;模式为持续静脉-静脉血液滤过或持续静脉-静脉血液透析滤过、血液流速为 150~180 mL/min、置换液输入速度为 2 000 mL/h、前后液体稀释比为 1:1,根据容量管理

需求调节脱水量,总治疗剂量在 20~40 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$;由于 ECMO 期间已行肝素抗凝,故不再额外使用抗凝剂。

1.4 观察指标

(1)ECMO 治疗情况:统计患者 ECMO 开始和持续时间、使用模式、ECMO 使用前 24 h 内氧合指数 $< 100 \text{ mmHg}$ 时长、是否使用 CRRT、血管活性药物和镇静镇痛药物使用情况、是否成功脱机、是否死亡、死亡时间、死亡原因等。(2)氧合作用:统计 ECMO 使用前 24 h 内、使用中和使用后 8 d 内,患者血气分析中 PaO_2 、 PaCO_2 、 FiO_2 、乳酸、 SaO_2 、呼吸频率等指标并计算氧合指数。(3)感染:统计 ECMO 使用前 3 d 内、使用中和使用后 8 d 内,患者体温、白细胞计数、中性粒细胞比例、血小板计数、降钙素原水平、导管微生物培养结果指标。

1.5 系统综述

按照系统综述和荟萃分析优先报告条目(PRISMA)的原则^[11],以“Extracorporeal Membrane Oxygenation”“ECMO”“burn”“inhalation”为检索词,以“Title/Abstract”为检索范围,以建库至 2021-08-16 为检索时间范围,检索《PubMed》和《Web of Science》数据库中烧伤人群行 ECMO 治疗的相关文章。将检索到的文献题录导入 EndNote X8 软件,去除重复文献,依次通过阅读题目、摘要、全文进行初筛和复筛。文献纳入标准:(1)国内外公开发表的,研究对象为烧伤患者的原始研究;(2)中文或英文文献;(3)样本量 ≥ 5 的临床研究或个案。排除标准:(1)不同期刊或会议重复发表的文献;(2)基础研究;(3)不能获取全文的文献。经过筛选,最终纳入 13 篇文献,文献筛选流程图见图 1。提取文章第一作者、发表杂志、年份、研究时间段、国家/地区、样本量、患者性别、年龄、烧伤总面积、有无吸入性损伤、ECMO 上机指征、ECMO 开始时间、ECMO 持续时间、ECMO 模式、ECMO 成功脱机率、病死率、ECMO 并发症、CRRT 联用情况等资料。

1.6 统计学处理

计数资料数据以频数(百分率)表示;计量资料数据不符合正态分布,以 $M(\min, \max)$ 表示。

2 结果

2.1 ECMO 总体治疗情况

5 例患者中 3 例患者成功脱机,其中 1 例患者存活。5 例患者平均于伤后 10.2 d 开始行 ECMO 治

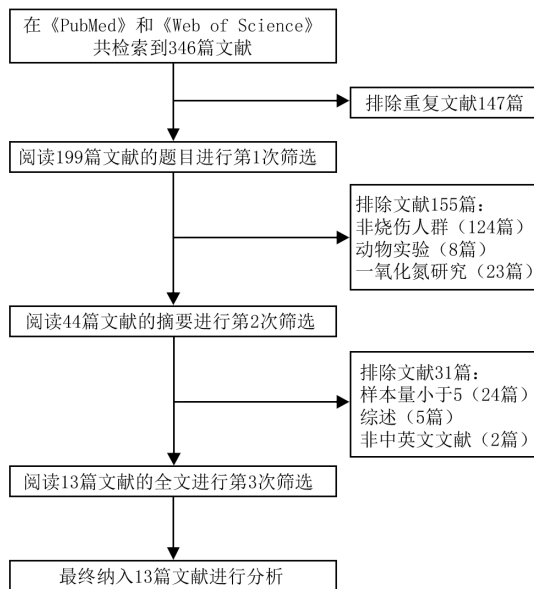


图1 行体外膜肺氧合治疗烧伤患者的回顾性论著筛选流程图

疗,平均持续时间为 180.4 h。5 例患者在上机前氧合指数均 <100 mmHg,持续时间均 >6 h,并均在 ECMO 运行期间使用镇静镇痛药物。4 例患者在 ECMO 运行期间使用了 CRRT。4 例死亡患者平均存活 23.3 d,均使用血管活性药物,最终均死于 MODS 和脓毒症休克。见表 2。

2.2 氧合作用

与 ECMO 使用前相比,成功脱机病例(病例 3、4、5)使用中、使用后的 PaO₂ 和 SaO₂ 均升高;FiO₂ 均下降至 50% 以下;氧合指数均升高至 200 mmHg 以上;乳酸、呼吸频率均基本下降。较 ECMO 使用前,2 例未成功脱机患者(病例 1、2)在使用中的 PaO₂ 和 SaO₂ 均下降,乳酸均升高;未成功脱机病例在 ECMO 使用前、使用中的氧合指数均 <200 mmHg, PaCO₂ 均 >40 mmHg。见表 3。

2.3 感染

与 ECMO 使用前相比,患者使用中、使用后的体

温(略去未成功脱机病例无此项的指标,下同)均无明显变化,均 <38 ℃。与 ECMO 使用前相比,4 例患者使用中的白细胞计数基本呈显著下降趋势,使用后有所回升;1 例患者在使用前、中、后,白细胞计数依次显著升高。与 ECMO 使用前相比,3 例患者使用中的中性粒细胞水平略升高,且在使用后无明显变化;1 例患者在使用前、中、后依次下降;1 例基本无变化。与 ECMO 使用前相比,3 例患者使用中的血小板计数明显降低;2 例患者在使用前、中、后呈升高趋势;所有患者使用中的血小板计数低于血小板计数正常水平下限(100×10⁹/L)。与 ECMO 使用前相比,4 例死亡患者使用中的降钙素原水平平均明显升高,中位数值均超过 15.0 ng/mL。3 例成功脱机病例(病例 3、4、5)进行了导管微生物培养,结果均为阴性。见表 4。

2.4 系统综述

纳入文献基本情况,见表 5。

2.4.1 总体情况 经过文献筛查,最终纳入 13 篇回顾性论著,研究时间最早为 1998 年,最晚为 2019 年;295 例烧伤患者接受 ECMO 治疗,包括 157 例成人和 138 例儿童烧伤患者;ECMO 指征多为患者出现 ARDS。其中 6 篇来自美国;2 篇国籍不详,来自国际 ELSO 数据库;2 篇来自中国台湾地区;英国、法国、德国各 1 篇。样本量均较小,6 项研究样本量 <10,4 项研究介于 10~20,仅 2 篇文献样本量 >50。4 篇研究对象为烧伤儿童^[12-15],9 篇研究对象为成年烧伤人群^[16-24];157 例成年烧伤患者中,男 95 例、女 62 例;36 例存在吸入性损伤;5 项研究中患者平均烧伤总面积在 27%~37%TBSA,2 项研究中患者烧伤总面积 >50%TBSA。138 例儿童烧伤患者中,77 例为男童,66 例为女童;29 例合并吸入性损伤;3 项研究平均烧伤总面积在 17%~50.2%TBSA。

2.4.2 ECMO 救治成功率 所有患者的总体病

表 2 5 例烧伤合并急性呼吸窘迫综合征患者行体外膜肺氧合(ECMO)治疗的总体情况

患者 编号	治疗 年份	是否成功 脱机	是否 存活	伤后死亡 时间(d)	死亡原因	上机前 24 h 氧合指数 < 100 mmHg 时长(h)	ECMO 使用 模式	伤后 ECMO 开始时间 (d)	ECMO 持续时 长(h)	是否使 用血管 活性药 物	是否使 用镇静 镇痛药 物	是否使用 CRRT
病例 1	2014	否	否	23	MODS、脓毒症休克	12	VV	20	80	是	是	是
病例 2	2018	否	否	17	MODS、脓毒症休克	7	VV	9	178	是	是	是
病例 3	2014	是	否	34	MODS、脓毒症休克	8	VV	12	279	是	是	是
病例 4	2020	是	否	19	MODS、脓毒症休克	11	VV	7	118	是	是	是
病例 5	2020	是	是	—	—	14	VV	3	247	否	是	否

注:MODS 为多器官功能障碍综合征,VV 为静脉到静脉,CRRT 为连续性肾脏替代治疗;“—”表示无此项;1 mmHg=0.133 kPa

表 3 5 例行体外膜肺氧合治疗的烧伤合并急性呼吸窘迫综合征患者各时间点氧合作用的变化[M(min,max)]

患者 编号	PaO ₂ (mmHg)			FiO ₂ (%)			氧合指数(mmHg)			PaCO ₂ (mmHg)		
	使用前	使用中	使用后	使用前	使用中	使用后	使用前	使用中	使用后	使用前	使用中	使用后
病例 1	80(57, 140)	57(43, 100)	—	90(80, 100)	33(33, 100)	—	86(61, 175)	173(100, 195)	—	44(30, 59)	47(25, 57)	—
病例 2	101(64, 137)	67(44, 135)	—	70(70, 100)	90(37, 100)	—	132(67, 166)	74(44, 365)	—	48(39, 72)	44(35, 52)	—
病例 3	86(64, 161)	89(67, 121)	165(120, 201)	70(70, 80)	38(15, 48)	45(41, 48)	123(91, 201)	238(149, 318)	380(267, 447)	37(31, 43)	34(27, 40)	38(29, 49)
病例 4	79(64, 132)	94(33, 158)	102(63, 167)	65(45, 100)	40(40, 100)	45(40, 100)	121(94, 173)	224(74, 351)	227(80, 410)	54(38, 97)	41(36, 57)	55(50, 102)
病例 5	62(56, 68)*	94(57, 162)	116(59, 207)	70(55, 70)*	35(35, 50)	35(35, 41)	97(89, 102)*	271(114, 437)	327(169, 591)	37(35, 38)*	35(29, 39)	30(23, 36)

患者 编号	乳酸(mmol/L)			呼吸频率(次/min)*			SaO ₂ (%)		
	使用前	使用中	使用后	使用前	使用中	使用后	使用前	使用中	使用后
病例 1	11.2(8.0, 13.9)	13.0(8.5, 15.0)	—	28(18, 40)	33(21, 59)	—	0.94(0.83, 100)	0.80(0.75, 0.95)	—
病例 2	2.2(1.6, 3.7)	3.5(1.4, 9.0)	—	34(25, 43)	18(14, 31)	—	0.97(0.90, 0.98)	0.93(0.76, 0.98)	—
病例 3	2.5(2.1, 2.9)	2.3(1.3, 3.5)	1.2(1.1, 1.3)	38(22, 51)	25(10, 58)	22(14, 48)	0.96(0.91, 0.99)	0.97(0.93, 0.99)	1(0.99, 1)
病例 4	2.3(1.5, 3.9)	2.1(1.2, 2.9)	1.6(1.2, 3.5)	21(17, 26)	10(10, 10)	20(20, 27)	0.93(0.89, 0.98)	0.98(0.61, 0.99)	0.98(0.91, 1)
病例 5	2.6(2.2, 2.7)*	1.4(0.9, 2.5)	1.2(0.5, 2.2)	20(19, 22)	19(12, 25)	20(16, 24)	0.94(0.91, 0.95)*	0.98(0.94, 1)	0.99(0.91, 1)

注:PaO₂为动脉血氧分压,FiO₂为吸入气氧浓度,PaCO₂为动脉血二氧化碳分压,SaO₂为动脉血氧饱和度;“*”表示该数据样本量为 3,“φ”表示该指标样本量为 8~72,其余数据样本量为 7~65;“—”表示无此项;1 mmHg=0.133 kPa

表 4 5 例行体外膜肺氧合治疗的烧伤合并急性呼吸窘迫综合征患者各时间点感染指标的变化[M(min,max)]

患者 编号	体温(℃)*			白细胞计数(×10 ⁹ /L)			中性粒细胞比例		
	使用前	使用中	使用后	使用前	使用中	使用后	使用前	使用中	使用后
病例 1	37.9(36.6, 39.1)	36.4(35.3, 36.9)	—	11.3(2.3, 28.7)	5.3(2.0, 13.9)	—	0.94(0.76, 0.96)	0.94(0.81, 0.97)	—
病例 2	37.6(36.8, 38.3)	36.9(36.2, 37.9)	—	10.9(9.1, 15.0)	7.8(6.8, 13.0)	—	0.89(0.85, 0.92)	0.90(0.80, 0.93)	—
病例 3	36.8(35.6, 37.8)	37.2(35.4, 37.9)	37.1(35.6, 39.6)	11.5(8.6, 12.3)	8.1(6.8, 13.7)	16.6(11.2, 29.8)	0.88(0.85, 0.89)	0.91(0.88, 0.94)	0.93(0.90, 0.96)
病例 4	37.2(36.7, 40)	36.6(36.5, 37.0)	36.7(36.0, 38.1)	8.5(4.4, 13.7)	20.1(18.3, 36.6)	37.1(35.7, 38.5)#	0.89(0.85, 0.91)	0.95(0.91, 0.96)	0.95(0.94, 0.95)#
病例 5	37.5(37.0, 38.5)	37.8(37.0, 39.3)	37.4(36.6, 40.0)	12.7*	9.4(7.5, 16.2)	9.5(4.5, 31.0)	0.89*	0.85(0.80, 0.96)	0.81(0.70, 0.97)

患者 编号	血小板计数(×10 ⁹ /L)			降钙素原(ng/mL)			导管微生物 培养结果
	使用前	使用中	使用后	使用前	使用中	使用后	
病例 1	15.5(7.0, 38.0)	18.0(4.0, 44.0)	—	16.1(8.3, 96.8)	38.8*	—	—
病例 2	135.5(105.0, 148.0)	61.0(39.0, 104.0)	—	32.9(23.6, 61.7)	66.1(35.8, 154.8)	—	—
病例 3	55.0(40.0, 81.0)	82.0(57.0, 149.0)	107.0(28.0, 156.0)	14.7(13.6, 16.0)	32.4(24.5, 111.7)	38.3(26.0, 66.9)	阴性
病例 4	74.5(65.0, 86.0)	7.5(5.0, 35.0)	94.5(89.0, 100.0)#	2.4(1.7, 6.5)	17.0(2.7, 118.5)	1.2(0.6, 1.8)#	阴性
病例 5	108.0*	72.0(13.0, 100.0)	131.0(51.0, 239.0)	—	1.6(0.6, 3.3)	1.8(0.9, 4.4)	阴性

注:“*”表示该数据样本量为 1,“#”表示该数据样本量为 2,“φ”表示该指标样本量为 8~70,其余数据样本量为 3~12;“—”表示无此项

死率为 48.8%。成年烧伤患者死亡数为 83 例,总病死率为 52.9%;最常见的死亡原因是 MODS、脓毒症;共有 4 篇文献报道成功脱机率^[16-18,20]。共 61 例烧伤患儿死亡,总病死率为 44.2%。

2.4.3 ECMO 运行情况 成年烧伤患者中,ECMO 最常见的指征是重度 ARDS,最常用模式为 VV-ECMO;共有 5 篇文献报道 ECMO 开始时间,介于 26.5 h~7.4 d^[10,14-16,18];ECMO 持续时间在 90 h~

表 5 13 篇回顾性论著的烧伤人群体外膜肺氧合(ECMO)使用情况

人群类别与第一作者 (发表年份)	例数	烧伤总面积(% TBSA)	吸入性 损伤 (例)	ECMO 指征	伤后 ECMO 开始 时间	ECMO 持续时 间	ECMO 模式	CRRT (例)	死亡 (例)	死亡原因
成年烧伤人群										
Marcus ^[16] (2019)	20	30	2	ARDS	—	249 h	静脉到静脉	—	8	ARDS、颅内出血
Dadras ^[17] (2019)	8	37	1	ARDS	—	388 h	—	4	3	脓毒症
Szentgyorgyi ^[18] (2018)	5	27.8	5	重度 ARDS	7.4 d	18 d	静脉到静脉	4	1	MODS
Chiu(2018) ^[19]	5	82.9	5	重度 ARDS	—	119 h	静脉到静脉	4	3	—
Ainsworth ^[20] (2018)	14	27	4	重度 ARDS	—	276 h	—	9	6	—
Nosanov ^[21] (2017)	30	17.0	8	呼吸衰竭、 肺部感染、 ARDS	—	—	—	—	16	MODS
Hsu ^[22] (2017)	6	89.0	5	ARDS、心源性 休克	26.5 h	169.6 h	2 例静脉到静 脉、4 例静 脉到动脉	—	5	MODS、脓毒症休克、 心源性休克
Burke ^[23] (2017)	58	—	—	重度 ARDS	130 h	185 h	44 例静脉到静 脉、14 例静 脉到动脉	32	33	—
Soussi ^[24] (2016)	11	31	6	重度 ARDS	4 d	90 h	8 例静脉到静 脉、2 例静脉 到动脉、1 例 静脉到静脉 与静脉到动 脉混合使用	—	8	MODS
儿童烧伤人群										
Thompson ^[12] (2020)	113	—	19	重度 ARDS	—	177.0 h	37 例静脉到静 脉、73 例静 脉到动脉、 3 例未报道	51	54	—
Eldredge ^[13] (2019)	8	17	3	重度 ARDS	7.5 d	11 d	静脉到静脉	—	1	—
Kane ^[14] (1999)	12	50.2	4	重度 ARDS	7.8 d	165.2 h	—	—	4	ARDS
Pierre ^[15] (1998)	5	41.8	3	—	—	324.4 h	—	3	2	—

注:ARDS 为急性呼吸窘迫综合征,MODS 为多器官功能障碍综合征,TBSA 为体表总面积,CRRT 为连续性肾脏替代治疗;“—”表示无此项

18 d,其中 4 篇文献报道在 240 h 以上^[16-18,20],3 篇在 100~200 h^[19,22-23],1 篇为 90 h^[24]。儿童烧伤患者 ECMO 使用指征基本为重度 ARDS,于伤后 7.5、7.8 d^[13-14]开始使用 ECMO,持续 165.2~324.4 h;一半以上患儿使用静脉到动脉(VA)-ECMO 模式。

2.4.4 并发症 成年烧伤人群最常见的并发症是创面、消化道和颅内出血,其次是感染。5 篇文献 90 例患者中 53 例联合使用 CRRT^[17-20]。儿童烧伤人群中只报道了出血并发症^[12-13,15]。

3 讨论

感染、吸入性损伤等引起的 ARDS 是烧伤患者死亡的重要原因之一。ECMO 技术被认为是 ARDS

的挽救性治疗手段^[25]。ECMO 技术国内最早于 20 世纪末被用于临床,主要用于心脏外科领域,但机器不易携带。近年来,随着小型便携式 ECMO 机器的研发和使用,ECMO 被广泛应用于 ARDS、暴发性心肌炎、急性心肌梗死等^[8]。但烧伤患者 ECMO 的应用相对较少^[26]。国际上于 1994 年报道了首例 ECMO 用于烧伤合并 ARDS 救治的个案^[4]。国内于 2017 年首次报道 1 例用 ECMO 救治的化学烧伤患者^[5],2018 年昆山爆炸事件中也有 1 例患者使用 ECMO^[6]。虽然不断有 ECMO 用于烧伤救治的个案报道和临床研究^[27],但大都为单中心、回顾性研究,且无统一、公认的 ECMO 烧伤临床应用共识或标准,导致目前 ECMO 应用于烧伤救治的总体治疗效果不

尽如人意。本研究通过回顾性分析 5 例烧伤患者 ECMO 的总体治疗效果以及系统综述烧伤人群 ECMO 的使用情况,从而为 ECMO 在烧伤患者的使用提供临床依据和参考。

烧伤患者使用 ECMO 的总体治疗效果与其他人群基本类似。本研究通过系统综述观察到,使用 ECMO 的烧伤患者病死率 12.5%~83.3%,总病死率为 48.8%。其他人群中 VV-ECMO 病死率为 40%,VA-ECMO 病死率为 55%^[28]。但与其他人群相比,烧伤患者可能同时存在皮肤创面、吸入性损伤、感染、重要脏器损伤等,ARDS 通常仅是烧伤患者的并发症之一,而 ECMO 只是整体治疗中的一环,仅能为治疗原发病赢得时间。因此,ECMO 的治疗效果与创面封闭、感染控制、脏器功能维护等息息相关。本回顾性观察性研究中,4 例死亡患者有 2 例已成功脱机,但最终因脓毒症休克、MODS 死亡。文献综述显示,MODS 和脓毒症是使用 ECMO 烧伤患者死亡的主要原因^[18-19,21-22,24]。进一步分析显示,烧伤总面积越大,使用 ECMO 烧伤患者的病死率越高。患者平均烧伤总面积>80%TBSA 的 2 项研究中,患者病死率分别为 60%^[19]和 83.3%^[22];而患者平均烧伤总面积<30%TBSA 的 3 项研究中,患者病死率分别为 42.9%^[20]、20%^[18]和 53.3%^[21]。此外,吸入性损伤也可能降低 ECMO 的治疗效果。现有研究中,合并吸入性损伤的比例越高,病死率相对越高。因此,现有情况下 ECMO 可能仅作为严重烧伤合并 ARDS 患者的挽救性治疗手段。ECMO 的使用需综合考虑原发病严重程度和进展情况、合并症、并发症、社会经济因素、ECMO 团队经验等^[29]。

另一方面,ECMO 对氧合作用的改善相对比较确切,特别是氧合指数、高碳酸血症和呼吸窘迫症状。文献报道中,烧伤患者 ECMO 的成功脱机率分别为 50%^[17]、70%^[16]、71.4%^[20]、100%^[18]和 63.7%^[12],显著高于救治成功率。本回顾性观察性研究人群的成功脱机比例为 3/5。并且,成功脱机病例使用 ECMO 后,PaO₂ 和 SaO₂ 度升高,FiO₂ 下降至 50% 以下,氧合指数升高至 200 mmHg 以上,乳酸、呼吸频率呈下降趋势。但未成功脱机病例,ECMO 上机后氧合指数<200 mmHg,PaCO₂>40 mmHg,乳酸继续升高。本课题组推测,氧合指数无改善、二氧化碳清除效果不佳可能与原发病持续恶化有关,预示 ECMO 治疗可能失败。

急性肾损伤和液体超载是接受 ECMO 治疗的

ARDS 患者常见并发症。据统计,ECMO 治疗的患者中急性肾损伤的发生率为 70%~85%^[3,30],可能与 ECMO 氧合器和管路置放引起的肾脏血流紊乱、过度炎症反应、缺血再灌注损伤有关。因此,ECMO 多联合使用 RRT^[31]。RRT 有助于替代肾脏功能、精细化容量管理、清除炎症因子、维持酸碱及电解质平衡等,进而利于 ARDS 的恢复。目前,ECMO 和 RRT 的连接方式包括独立 RRT 血管通路、滤器接入 ECMO 环路、RRT 设备接入 ECMO 环路等。但是,ECMO 联用 RRT 的时机、抗凝等仍需进一步规范。

现有研究显示,使用 ECMO 患者中约 40% 存在脓毒症,并且脓毒症可增加患者的死亡风险^[28]。年龄、ECMO 使用时长、静脉管路、ECMO 血管回路、原发疾病等是 ECMO 使用患者发生脓毒症的危险因素^[28]。因此,ECMO 运行期间需密切监测感染和脓毒症的发生,如定期进行血微生物培养、胸部 X 线片、感染和脏器功能监测等。此外,需要加强手卫生、管路消毒、血管通路护理等预防脓毒症发生。感染源消除和抗生素使用是治疗脓毒症的关键。ECMO 运行期间可预防性使用抗生素^[32],可根据当地微生物流行病学和患者微生物培养结果选择合适的抗生素^[33]。ECMO 本身或许可改善抗生素的药代动力学和药效动力学^[34],但现有研究显示成人 ECMO 对万古霉素、替加环素、美罗培南、卡泊芬净、两性霉素 B 脂质体等抗生素的药代动力学和药效动力学无显著影响,不需要调整剂量^[35-36],但是仍然建议根据血药浓度变化进行个体化治疗^[37]。

此外,严重烧伤患者使用 ECMO 期间还需进一步优化抗凝方案减少出血并发症^[38],调整营养供给方式和构成比以维持机体能量代谢需求^[39],输注血液制品补充减少的红细胞、血小板等^[40-41],ECMO 与俯卧位通气、机械通气等联合促进肺脏恢复^[42],控制合适的镇痛镇静深度^[43]等。因此,ECMO 是一个复杂的生命支持系统,需要多学科团队共同实施,更亟须相关的临床操作指南来规范和指导 ECMO 的实施和精细化管理。

综上所述,本回顾性观察性研究总结分析了 5 例烧伤患者 ECMO 的临床疗效,并对国外接受 ECMO 治疗烧伤人群的临床研究进行了系统综述,以期为 ECMO 在烧伤患者的推广和应用提供依据和基础。本研究显示,烧伤患者 ECMO 的救治成功率与其他人群基本类似,并且 ECMO 可明确改善患者的氧合作用,清除血中过多的二氧化碳,减轻呼吸

窘迫症状。出血是 ECMO 最常见的并发症,MODS 和脓毒症是使用 ECMO 患者的主要死亡原因。有效控制感染、快速封闭创面、脏器功能维护等全身治疗是 ECMO 治疗成功的决定性因素。ECMO 在烧伤领域的应用仍处于起步阶段,存在许多争议和难以解决的问题,亟须基于临床证据的操作指南以进一步提高 ECMO 的治疗效果。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Li H, Zhou J, Peng Y, et al. The progress of Chinese burn medicine from the Third Military Medical University-in memory of its pioneer, Professor Li Ao[J/OL]. Burns Trauma, 2017, 5: 16[2021-08-23]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28573147/>. DOI:10.1186/s41038-017-0082-z.
- [2] Li H, Yao Z, Tan J, et al. Epidemiology and outcome analysis of 6325 burn patients: a five-year retrospective study in a major burn center in Southwest China[J]. Sci Rep, 2017, 7:46066. DOI: 10.1038/srep46066.
- [3] Song H, Yuan Z, Peng Y, et al. Extracorporeal membrane oxygenation combined with continuous renal replacement therapy for the treatment of severe burns: current status and challenges[J]. Burns Trauma, 2021, 9:tkab017[2021-08-23]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34212063/>. DOI: 10.1093/burnst/tkab017.
- [4] Ombrellaro M, Goldthorn JF, Harnar TJ, et al. Extracorporeal life support for the treatment of adult respiratory distress syndrome after burn injury[J]. Surgery, 1994, 115(4):523-526.
- [5] Pu Q, Qian J, Tao W, et al. Extracorporeal membrane oxygenation combined with continuous renal replacement therapy in cutaneous burn and inhalation injury caused by hydrofluoric acid and nitric acid[J]. Medicine (Baltimore), 2017, 96(48):e8972. DOI:10.1097/MD.00000000000008972.
- [6] 张永宏,郭光华,沈国良,等.“八二”昆山工厂铝粉尘爆炸事故特重度烧伤患者重度吸入性损伤救治分析[J]. 中华烧伤杂志, 2018, 34(7): 455-458. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2018.07.007.
- [7] Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition[J]. JAMA, 2012, 307(23): 2526-2533. DOI:10.1001/jama.2012.5669.
- [8] 中国心胸血管麻醉学会,中华医学会麻醉学分会,中国医师协会麻醉学医师分会,等.不同情况下成人体外膜肺氧合临床应用专家共识(2020版)[J]. 中国循环杂志, 2020, 35(11): 1052-1063. DOI:10.3969/j.issn.1000-3614.2020.11.002.
- [9] 吕琳,高国栋,龙村.体外膜肺氧合在严重烧伤救治中的应用进展[J]. 中华烧伤杂志, 2015, 31(6):468-470. DOI:10.3760/cma.j.issn.1009-2587.2015.06.023.
- [10] 血液净化急诊临床应用专家共识组.血液净化急诊临床应用专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2017, 26(1): 24-36. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2017.01.007.
- [11] Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews [J]. J Clin Epidemiol, 2021, 134: 178-189. DOI: 10.1016/j.jclinepi.2021.03.001.
- [12] Thompson KB, Dawoud F, Castle S, et al. Extracorporeal membrane oxygenation support for pediatric burn patients: is it worth the risk?[J]. Pediatr Crit Care Med, 2020, 21(5):469-476. DOI:10.1097/PCC.0000000000002269.
- [13] Eldredge RS, Zhai Y, Cochran A. Effectiveness of ECMO for burn-related acute respiratory distress syndrome[J]. Burns, 2019, 45(2):317-321. DOI:10.1016/j.burns.2018.10.012.
- [14] Kane TD, Greenhalgh DG, Warden GD, et al. Pediatric burn patients with respiratory failure: predictors of outcome with the use of extracorporeal life support[J]. J Burn Care Rehabil, 1999, 20(2):145-150. DOI:10.1097/00004630-199903000-00030.
- [15] Pierre EJ, Zwischenberger JB, Angel C, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in the treatment of respiratory failure in pediatric patients with burns[J]. J Burn Care Rehabil, 1998, 19(2): 131-134. DOI:10.1097/00004630-199803000-00009.
- [16] Marcus JE, Piper LC, Ainsworth CR, et al. Infections in patients with burn injuries receiving extracorporeal membrane oxygenation[J]. Burns, 2019, 45(8): 1880-1887. DOI: 10.1016/j.burns.2019.04.023.
- [17] Dadras M, Wagner JM, Wallner C, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome in burn patients: a case series and literature update[J/OL]. Burns Trauma, 2019, 7: 28[2021-08-23]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31696126/>. DOI:10.1186/s41038-019-0166-z.
- [18] Szentgyorgyi L, Shepherd C, Dunn KW, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in severe respiratory failure resulting from burns and smoke inhalation injury[J]. Burns, 2018, 44(5): 1091-1099. DOI:10.1016/j.burns.2018.01.022.
- [19] Chiu YJ, Ma H, Liao WC, et al. Extracorporeal membrane oxygenation support may be a lifesaving modality in patients with burn and severe acute respiratory distress syndrome: experience of Formosa Water Park dust explosion disaster in Taiwan[J]. Burns, 2018, 44(1):118-123. DOI:10.1016/j.burns.2017.06.013.
- [20] Ainsworth CR, Dellavolpe J, Chung KK, et al. Revisiting extracorporeal membrane oxygenation for ARDS in burns: a case series and review of the literature[J]. Burns, 2018, 44(6): 1433-1438. DOI:10.1016/j.burns.2018.05.008.
- [21] Nosanov LB, McLawhorn MM, Vigiola Cruz M, et al. A national perspective on ECMO utilization use in patients with burn injury [J]. J Burn Care Res, 2017, 39(1):10-14. DOI:10.1097/BCR.0000000000000555.
- [22] Hsu PS, Tsai YT, Lin CY, et al. Benefit of extracorporeal membrane oxygenation in major burns after stun grenade explosion: experience from a single military medical center[J]. Burns, 2017, 43(3):674-680. DOI:10.1016/j.burns.2016.08.035.
- [23] Burke CR, Chan T, McMullan DM. Extracorporeal life support use in adult burn patients[J]. J Burn Care Res, 2017, 38(3): 174-178. DOI:10.1097/BCR.0000000000000436.
- [24] Soussi S, Gallais P, Kachatryan L, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in burn patients with refractory acute respiratory distress syndrome leads to 28% 90-day survival[J]. Intensive Care Med, 2016, 42(11):1826-1827. DOI:10.1007/s00134-016-4464-7.
- [25] Banavasi H, Nguyen P, Osman H, et al. Management of ARDS - what works and what does not[J]. Am J Med Sci, 2021, 362(1): 13-23. DOI:10.1016/j.amjms.2020.12.019.
- [26] Hebert S, Erdogan M, Green RS, et al. The use of extracorporeal membrane oxygenation in severely burned patients: a survey of north American burn centers[J]. J Burn Care Res, 2021, 6:irab103. DOI:10.1093/jber/irab103.
- [27] Grant AA, Ghodsizad A, Ingram W. ECMO in the burn patient: the time has come[J]. Current Trauma Reports, 2019(5):154-159.
- [28] Gopalakrishnan R, Vashisht R. Sepsis and ECMO[J]. Indian J Thorac Cardiovasc Surg, 2020, 37(Suppl 2): S1-8. DOI: 10.1007/s12055-020-00944-x.

- [29] Akoumianaki E, Jonkman A, Sklar MC, et al. A rational approach on the use of extracorporeal membrane oxygenation in severe hypoxemia: advanced technology is not a panacea[J]. *Ann Intensive Care*, 2021, 11(1): 107. DOI: 10.1186/s13613-021-00897-3.
- [30] Ostermann M, Lumlertgul N. Acute kidney injury in ECMO patients[J]. *Crit Care*, 2021, 25(1): 313. DOI: 10.1186/s13054-021-03676-5.
- [31] Zeidman AD. Extracorporeal membrane oxygenation and continuous kidney replacement therapy: technology and outcomes—a narrative review[J]. *Adv Chronic Kidney Dis*, 2021, 28(1): 29-36. DOI: 10.1053/j.ackd.2021.04.004.
- [32] O'Horo JC, Cawcutt KA, De Moraes AG, et al. The evidence base for prophylactic antibiotics in patients receiving extracorporeal membrane oxygenation[J]. *ASAIO J*, 2016, 62(1): 6-10. DOI: 10.1097/MAT.0000000000000287.
- [33] Gong Y, Peng Y, Luo X, et al. Different infection profiles and antimicrobial resistance patterns between burn ICU and common wards[J]. *Front Cell Infect Microbiol*, 2021, 11: 681731. DOI: 10.3389/fcimb.2021.681731.
- [34] Abdul-Aziz MH, Roberts JA. Antibiotic dosing during extracorporeal membrane oxygenation: does the system matter? [J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2020, 33(1): 71-82. DOI: 10.1097/ACO.0000000000000810.
- [35] Hahn J, Choi JH, Chang MJ. Pharmacokinetic changes of antibiotic, antiviral, antituberculosis and antifungal agents during extracorporeal membrane oxygenation in critically ill adult patients[J]. *J Clin Pharm Ther*, 2017, 42(6): 661-671. DOI: 10.1111/jcpt.12636.
- [36] Jamal JA, Economou CJ, Lipman J, et al. Improving antibiotic dosing in special situations in the ICU: burns, renal replacement therapy and extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2012, 18(5): 460-471. DOI: 10.1097/MCC.0b013e32835685ad.
- [37] Cotta MO, Roberts JA, Lipman J. Antibiotic dose optimization in critically ill patients[J]. *Med Intensiva*, 2015, 39(9): 563-572. DOI: 10.1016/j.medin.2015.07.009.
- [38] Szymanski MW, Hafzalah M. Extracorporeal membrane oxygenation anticoagulation[M/OL]. *Treasure Island (FL): StatPearls*, 2021[2021-09-21]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34033395>.
- [39] Davis RC, Durham LA, Kiraly L, et al. Safety, tolerability, and outcomes of enteral nutrition in extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Nutr Clin Pract*, 2021, 36(1): 98-104. DOI: 10.1002/ncp.10591.
- [40] Karam O, Nellis ME. Transfusion management for children supported by extracorporeal membrane oxygenation[J]. *Transfusion*, 2021, 61(3): 660-664. DOI: 10.1111/trf.16272.
- [41] Callaghan S, Cai T, McCafferty C, et al. Adsorption of blood components to extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) surfaces in humans: a systematic review[J]. *J Clin Med*, 2020, 9(10): 3272. DOI: 10.3390/jcm9103272.
- [42] Liu C, Chen Y, Chen Y, et al. Effects of prone positioning during extracorporeal membrane oxygenation for refractory respiratory failure: a systematic review[J]. *SN Compr Clin Med*, 2021, 15: 1-7. DOI: 10.1007/s42399-021-01008-w.
- [43] Yu X, Gu S, Li M, et al. Awake extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome: which clinical issues should be taken into consideration[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8: 682526. DOI: 10.3389/fmed.2021.682526.

(收稿日期: 2021-08-03)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

本刊可直接使用英文缩写的常用词汇

已被公知公认的缩略语如 ATP、CT、DNA、HBsAg、Ig、mRNA、PCR、RNA, 可不加注释直接使用。对本刊常用的以下词汇, 也允许在正文中图表以外处直接使用英文缩写(按首字母排序)。

脱细胞真皮基质(ADM)	重症监护病房(ICU)	动脉血氧分压(PaO ₂)
丙氨酸转氨酶(ALT)	白细胞介素(IL)	磷酸盐缓冲液(PBS)
急性呼吸窘迫综合征(ARDS)	角质形成细胞(KC)	反转录-聚合酶链反应(RT-PCR)
天冬氨酸转氨酶(AST)	半数致死烧伤面积(LA50)	全身炎症反应综合征(SIRS)
集落形成单位(CFU)	内毒素/脂多糖(LPS)	超氧化物歧化酶(SOD)
细胞外基质(ECM)	丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)	动脉血氧饱和度(SaO ₂)
表皮生长因子(EGF)	最低抑菌浓度(MIC)	体表总面积(TBSA)
酶联免疫吸附测定(ELISA)	多器官功能障碍综合征(MODS)	转化生长因子(TGF)
成纤维细胞(Fb)	多器官功能衰竭(MOF)	辅助性 T 淋巴细胞(Th)
成纤维细胞生长因子(FGF)	一氧化氮合酶(NOS)	肿瘤坏死因子(TNF)
3-磷酸甘油醛脱氢酶(GAPDH)	负压伤口疗法(NPWT)	血管内皮生长因子(VEGF)
苏木精-伊红(HE)	动脉血二氧化碳分压(PaCO ₂)	负压封闭引流(VSD)

本刊编辑委员会