

· 论 著 ·

DOI: 10.13498/j.cnki.chin.j.ecc.2021.01.03

体外膜氧合技术在危重症新生儿救治的临床应用

李小兵, 颜崇兵, 崔云, 沈立, 李佳, 张育才, 龚小慧, 张儒舫

[摘要]:目的 总结体外膜氧合(ECMO)技术在危重症新生儿救治中的临床应用经验。**方法** 回顾性分析 2016 年 11 月至 2019 年 8 月,在上海市儿童医院危重症新生儿中实施 ECMO 支持的 11 例患儿临床资料,包括患儿的一般资料、临床诊断、实验室指标、ECMO 支持过程中各种并发症和住院时间等。**结果** 11 例患儿中成功脱机 8 例,脱机率 72.7%,存活 6 例,存活率 54.6%。11 例患儿 ECMO 辅助时间为 39~228(95.81±59.31)h,住院时间为 4~44(25.00±11.48)d。ECMO 撤机时呼吸衰竭组乳酸(Lac)、正性肌力药物评分和氧合指数(OI)较 ECMO 前均显著降低($P < 0.05$);心力衰竭组正性肌力药物评分和 OI 显著降低($P < 0.05$)。ECMO 撤离时,死亡患儿的正性肌力药物评分和 OI 显著高于生存患儿($P < 0.05$)。死亡患儿的住院时间较存活患儿短($P < 0.05$);而存活患儿 ECMO 撤机时 Lac、正性肌力药物评分和 OI 值较 ECMO 前有显著性降低($P < 0.05$)。**结论** ECMO 技术是一种有效的应用于危重症新生儿救治的心肺支持措施,但存在多种并发症发生风险,严格掌握指征,提高 ECMO 管理水平,降低并发症可提高患儿的撤机率及存活率。

[关键词]: 新生儿;体外膜氧合;呼吸功能不全;心脏功能不全;体外生命支持;并发症

The application of extracorporeal membrane oxygenation in the treatment of critically ill neonates

Li Xiaobing, Yan Chongbing, Cui Yun, Shen Li, Li Jia, Zhang Yucai, Gong Xiaohui, Zhang Rufang
Department of Pediatric Cardiothoracic Surgery, Shanghai Children's Hospital, Shanghai Jiao Tong University,
Shanghai 200062, China

Corresponding author: ZhangRufang, Email: zhangrf@shchildren.com.cn;

Gong Xiaohui, Email: gongxh@shchildren.com.cn

[Abstract]: Objective To summarize the clinical application experience of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) technology in the treatment of critically ill neonates. **Methods** The clinical data of 11 critically ill neonates supported with ECMO in Shanghai Children's Hospital from November 2016 to August 2019 were retrospectively analyzed. The data of general information, clinical diagnosis, laboratory results, procedure of ECMO, various complications, and hospital length of stay were collected. **Results** Eight cases successfully weaned from ECMO (72.7%), in which six cases survived (54.6%). The ECMO duration was 95.81±59.31 hours (range from 39 to 228 hours), and the length of hospital stay was 25.00±11.48 days (range from 4 to 44 days). Blood lactic acid (Lac), vasoactive-inotropic score and oxygenation index (OI) significantly decreased in respiratory failure group after ECMO weaning ($P < 0.05$). In heart failure group, vasoactive-inotropic score and OI significantly reduced as well after ECMO weaning ($P < 0.05$). Compared with the survival group, the vasoactive-inotropic score and OI were significantly higher ($P < 0.05$) and the hospital length of stay was significantly shorter ($P < 0.05$) in the death group after ECMO weaning. In the survival group, Lac, vasoactive-inotropic score and OI were significantly decreased after ECMO treatment ($P < 0.05$). **Conclusion** ECMO is an effective supportive measure in the treatment of critically ill neonates, however the risk of complications is still high. It is necessary to grasp the clinical indications, improve the management of ECMO and reduce various complications for the improvement of the weaning and survival rates in critically ill neonates.

[Key words]: Neonate; Extracorporeal membrane oxygenation; Respiratory insufficiency; Cardiac insufficiency; Extracorporeal life support; Complication

基金项目:上海市科技攻关计划(12411952409)

作者单位:200062 上海,上海市儿童医院 上海交通大学附属儿童医院心胸外科(李小兵、沈立、李佳、张儒舫),新生儿科(颜崇兵、龚小慧),重症医学科(崔云、张育才)

通信作者:张儒舫,Email:zhangrf@shchildren.com.cn;龚小慧,Email:gongxh@shchildren.com.cn;

体外膜氧合 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO) 技术是一种中短期心肺支持系统,是中短期替代危重症患者心肺功能的重要手段。国际体外生命支持组织 (extracorporeal life support organization, ELSO) 2019 年数据显示,相对成人和儿童,新生儿呼吸疾病 ECMO 支持预后最佳,存活率可达 73%,而新生儿心脏疾病存活率为 43%^[1]。国内新生儿 ECMO 技术起步晚,近年来随着 ECMO 技术的推广与发展,应用该技术的单位逐渐增加,但总量仍不多。新生儿心肺发育有其特殊性,ECMO 技术应用时要特别关注,现回顾性分析本院近年来新生儿接受 ECMO 支持的临床资料,总结临床应用经验,为进一步提高 ECMO 技术应用于危重症新生儿提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 2016 年 11 月至 2019 年 8 月,在上海市儿童医院共计 11 例新生儿接受了 ECMO 治疗。所有纳入病例均获得患儿监护人的书面知情同意。其中男 10 例,女 1 例。年龄 ≤ 28 d,平均 (8.09 ± 11.58) d,体重 2.5~4.5 (3.46 ± 0.59) kg,病种分布为:胎粪吸入综合征 (meconium aspiration syndrome, MAS) 3 例;新生儿持续性肺动脉高压 (persistent

pulmonary hypertension of newborn, PPHN) 3 例;大血管转位 (transposition of the great arteries, TGA) 3 例;完全性肺静脉异位引流 (total anomalous pulmonary venous connection, TAPVC) 1 例;主动脉弓中断 (interruption of aortic arch, IAA) 1 例。统计患儿 ECMO 治疗前后的氧合指数 (oxygenation index, OI)、乳酸 (lactic acid, Lac)、正性肌力药物评分。OI 计算公式为:OI = 平均气道压 (mmHg) × 吸入氧浓度 (%) × 100 / 导管后动脉氧分压 (mmHg)^[2]。正性肌力药物评分 = 肾上腺素 × 100 + 异丙肾上腺素 × 100 + 米力农 × 10 + 氨力农 × 1 + 多巴胺 × 1 + 多巴酚丁胺 × 1^[2]。患儿基本资料见表 1。

1.2 ECMO 的适应证选择 根据 ELSO 最新发布的新生儿呼吸衰竭指南及小儿心脏衰竭指南^[3-4],本院选择的适应证为:①预估心肺衰竭可逆;②呼吸衰竭患儿:OI ≥ 40;严重呼吸衰竭失代偿,干预治疗无反应;③心力衰竭患儿:心脏畸形矫形满意;术后低心排或不能脱离体外循环;术后心脏骤停常规心肺复苏效果不佳;④患儿监护人同意。

1.3 ECMO 设备耗材 ECMO 采用离心泵 (MAQUET 或 SORIN)、中空纤维膜式氧合器 (Medos HI-LITE 800LT) 及套包、空氧混合器、动静脉插管及变温系统。若患儿在辅助中出现连续 3 h 少尿、无尿、肌酐

表 1 ECMO 患儿基本资料

编号	性别	年龄	体重 (kg)	诊断	心肺复苏	CPB 时间 (min)	阻断时间 (min)	ECMO 前 OI (mmHg)	ECMO 前 正性肌力药评分 (分)	腹透/CRRT	ECMO 时间 (h)	住院时间 (d)	ECMO 撤离	患儿结局
1	男	23 d	2.5	TGA/ASD/PDA/PH	是	141	80	17	35	CRRT	114	20	成功	死亡
2	女	18 h	3.27	MAS	否	/	/	86	50	CRRT	157	144	成功	存活
3	男	26 h	3.15	MAS	否	/	/	41	105	/	68	25	成功	存活
4	男	72 h	2.83	TGA/PFO/PH	是	132	83	75	34	CRRT+腹透	51	12	失败	死亡
5	男	27 d	4.5	IAA/VSD/ASD/PDA	否	450	91	23.5	30	/	72	35	成功	死亡
6	男	5 h	3.85	MAS	否	/	/	53	165	CRRT	148	31	成功	存活
7	男	12 h	3.84	PPHN	否	/	/	76	300	CRRT	54	4	失败	死亡
8	男	4 h	3.13	PPHN	否	/	/	51.8	80	CRRT	50	35	成功	存活
9	男	24 h	3.2	TGA/ASD/PDA/PH	否	131	85	12.8	25	腹透	39	27	成功	存活
10	男	28 d	4.1	TAPVC/ASD/PH	否	81	49	12	30	腹透	73	26	成功	存活
11	男	18 h	3.75	PPHN	否	/	/	47	400	CRRT	228	16	失败	死亡

注:“/”表示未使用或无相关数据。MAS:胎粪吸入综合征;PPHN:新生儿持续性肺动脉高压;IAA:主动脉弓离断;VSD:室间隔缺损;ASD:房间隔缺损;TAPVC:完全性肺静脉异位连接;TGA:大动脉转位;PDA:动脉导管未闭;PH:肺动脉高压;PFO:卵圆孔未闭;CRRT:连续肾脏替代治疗;OI:氧合指数

和尿素氮 >2 倍正常值或液体超载情况时,采用腹膜透析或在 ECMO 循环管道中接入连续肾脏替代治疗 (continuous renal replacement therapy, CRRT) 系统。

1.4 患儿管理

1.4.1 插管及 ECMO 系统预充 全部患儿均采用静脉-动脉(veno-artery, V-A)模式建立 ECMO。呼吸疾病患儿 6 例采用经右侧颈内动脉置管(8 F/10 F)及颈内静脉插管(10 F/12 F)建立 ECMO。心脏病患儿 5 例采用主动脉插管(8 F/10 F)及右房插管(12 F/14 F)、左房插管(12 F)建立 ECMO。采用醋酸钠林格液为 ECMO 预充的基础液,预充排气后采用浓缩红细胞 150 ml、20%人血白蛋白 25 ml、肝素 625 U、10%葡萄糖酸钙 5 ml 和 5%碳酸氢钠 20 ml 置换出基础液。

1.4.2 呼吸管理 所有患儿呼吸机设置为保护性肺通气参数:压力调节容量控制+同步间歇指令通气模式,吸入氧浓度 30%~40%,呼吸频率 8~25 次/min,潮气量 4~6 ml/kg,吸气时间 0.4~0.7 s,呼吸末正压 5~10 cmH₂O,吸气峰压 15~20 cmH₂O,预防气道损伤及肺泡塌陷。

1.4.3 循环管理 根据有创血压监测数据,下调血管活性药物剂量,维持平均动脉压 30~60 mmHg。依据血气指标调整患儿的辅助流量,早期高流量 [100~180 ml/(kg·min)] 辅助,根据血流动力学监测情况、乳酸(Lac)值、血气结果、静脉混合血氧和饱和度、指脉氧饱和度、尿量、静脉压等及时调整流量,维持患儿生命体征平稳。

1.4.4 凝血管理 建立 ECMO 前给予患儿肝素 125 U/kg,建立后持续泵入肝素 4~60 U/(kg·h),每 2 h 监测一次,维持活化凝血时间(activated clotting time, ACT)在 150~220 s。术中不能脱离体外循环直接过渡为 ECMO 的患儿,根据 ACT 值,中和部分肝素。每日监测肝肾、血常规及凝血功能。ECMO 运行中血细胞比容 <0.30 、血小板计数 $<50\times 10^9/L$ 、纤维蛋白原含量 <1.5 g/L 均予补充。患儿出现活动性出血时予开胸止血处理。每 4 h 检查 ECMO 系统有无血栓形成,静脉回血端 1/4 转 3/8 接口处易形成湍流而出现血栓,重点观察。

1.4.5 ECMO 期间其它措施 针对持续性肺动脉高压患儿在治疗过程中应用一氧化氮及降低肺动脉压力的靶向药物。ECMO 期间应给予镇静、镇痛处理。ECMO 早期易出现液体超载,循环稳定后及时应用利尿剂、腹膜透析或 CRRT(连接方式为氧合器后引血,泵前/氧合器前回血)降低容量负荷。针对患儿的操作须严格执行无菌操作,预防院内感染发生。心脏术后患儿均为延迟关胸,易发生纵隔感染,应根

据药物敏感试验,选择合适抗菌药物。根据患儿病情,选择静脉或肠内营养,大部分患儿 ECMO 术前存在胃肠道缺氧,肠内营养应严格评估后执行。

1.4.6 ECMO 撤机 每日监测心脏超声、头颅 B 超、胸片评估心肺脑功能。心肺功能逐渐恢复后考虑撤离 ECMO,撤机时增加血管活性药物、恢复呼吸机参数,观察患儿生命体征及内环境变化。上调肝素剂量,逐渐降低流量,流量低于 100 ml/min 后夹闭动静脉插管,打开 ECMO 侧路防止 ECMO 管路堵塞。观察 1 h,患儿生命体征无明显变化,血气指标满意,可撤离 ECMO。

1.5 统计学处理 采用 SPSS 21.0 软件对数据进行统计分析,正态分布的连续性资料采用均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,两组数据组间比较采用独立样本 t 检验,组内比较采用配对 t 检验;非正态分布的连续性资料采用中位数和四分位数间距[$Q(Q_1, Q_3)$]表示,两组组间比较采用 Mann-Whitney 检验;组内比较采用 Wilcoxon 检验, $P < 0.05$ 为有显著性差异。

2 结果

2.1 一般情况 11 例患儿中成功撤机 8 例,撤机率 72.7%,存活 6 例,死亡 5 例,存活率 54.6%。ECMO 中 3 例患儿死亡(2 例因发生内环境持续恶化;1 例因发生严重溶血);ECMO 后 2 例患儿死亡(2 例均因发生并发症后监护人放弃)。全组患儿 ECMO 辅助时间为 39~228(95.81 \pm 59.31)h,住院时间为 4~44(25.00 \pm 11.48)d。5 例心力衰竭患儿体外循环时间为 81~450(187.00 \pm 148.90)min,阻断时间为 49~91(77.60 \pm 16.49)min。

2.2 ECMO 支持前后临床指标比较 呼吸衰竭组 ECMO 撤机时 Lac、正性肌力药物评分和 OI 值较 ECMO 前均显著降低($P < 0.05$);心力衰竭组 ECMO 撤机时正性肌力药物评分和 OI 值较 ECMO 前显著降低($P < 0.05$);见表 2。

2.3 死亡患儿和存活患儿临床指标比较 死亡患儿与存活患儿比较,ECMO 前所有指标组间均无显著性差异($P > 0.05$);ECMO 撤离时,死亡患儿的正性肌力药物评分和 OI 值显著高于存活患儿($P < 0.05$);死亡患儿的住院时间较存活患儿短($P < 0.05$);其余指标组间比较无显著性差异($P > 0.05$)。死亡患儿 ECMO 撤机时 OI 值较 ECMO 前显著降低($P < 0.05$);死亡患儿 ECMO 撤机时 Lac、正性肌力药物评分较 ECMO 前无显著降低($P > 0.05$);存活患儿 ECMO 撤机时 Lac、正性肌力药物评分和 OI 值较 ECMO 前有显著性降低($P < 0.05$);见表 3。

表 2 ECMO 支持前后指标比较

分组指标	ECMO 前	ECMO 撤离时	t/z	P 值
呼吸衰竭组 (n=6)				
Lac (mmol/L)	9.85 (7.20, 11.48)	1.80 (1.23, 4.70)	-1.992	0.046
正性肌力药物评分 (分)	133.33±64.01	6.50±1.64	4.888	0.005
OI	52.40 (45.50, 78.50)	6.45 (3.33, 11.25)	-2.201	0.028
心力衰竭组 (n=5)				
Lac (mmol/L)	15.00 (7.85, 17.50)	2.50 (2.05, 8.80)	-1.826	0.068
正性肌力药物评分 (分)	30.80±3.96	11.60±4.22	11.393	0.000
OI	17.00 (12.40, 49.25)	15.00 (7.00, 15.00)	-2.023	0.043

注:OI:氧合指数;Lac:乳酸

表 3 死亡与存活患儿指标比较

分组指标	死亡组 (n=5)	存活组 (n=6)	t/z	P 值
Lac (mmol/L)				
ECMO 前	10.30 (7.40, 17.50)	12.45 (7.20, 38.00)	-0.184	0.931
ECMO 撤离时	2.60 (1.65, 9.00)	2.20 (1.23, 4.33) [#]	-0.913	0.429
正性肌力药物评分 (分)				
ECMO 前	35.70±25.88	42.77±27.94	-0.459	0.662
ECMO 撤离时	12.74±3.67	6.78±4.41 [#]	-2.270	0.030
OI				
ECMO 前	35.00 (32.00, 200.00)	65.00 (28.75, 120.00)	-0.432	0.676
ECMO 撤离时	13.00 (8.00, 15.00) [#]	5.00 (5.00, 8.50) [#]	2.403	0.040
ECMO 时间 (h)	103.80±73.84	89.17±50.64	0.390	0.706
住院时间 (d)	17.40±11.48	31.33±7.23	-2.458	0.036

注:OI:氧合指数;Lac:乳酸;#表示与同一指标 ECMO 前比较 P<0.05

2.4 并发症及随访情况 机械并发症 3 例(1 例患儿输注血小板后出现管路堵塞,紧急撤离 ECMO,2 例患儿静脉回血端转接口处出现血栓)。11 例患儿均发生血小板减少症;9 例发生肾功能不全;5 例心脏支持患儿中 3 例发生胸腔出血,1 例发生心律失常,1 例发生纵隔感染合并消化道穿孔,1 例发生颅内出血;6 例呼吸支持患儿中 3 例发生颅内出血,1 例发生溶血。6 例存活患儿,随访 1~4 年,目前 4 例患儿健康,未见异常。1 例患儿存在神经系统发育落后及继发癫痫,仍需后续治疗;1 例患儿 ECMO 中发生惊厥,目前存在脑损伤后改变,须行康复治疗。

3 讨论

ECMO 技术是体外循环技术的延伸,其主要应用目的是保障组织灌注,等待心肺功能恢复,等待心肺移植及供体捐献。1971 年, Hill 等应用膜式氧合器对 1 例多脏器损伤合并呼吸窘迫综合征的患者进

行了肺功能替代治疗并取得成功,标志 ECMO 技术正式在临床上应用。目前 ECMO 技术在各种危重患者救治中发挥非常重要的作用。自 1989 年 ELSO 组织建立,截止至 2019 年 12 月,全球共计 43 707 例新生儿 ECMO 病例,占 ECMO 总数的 32.8%,总的存活率为 65.5%^[1]。ECMO 管理技术要求高,限制了该技术的广泛应用。2008 年,国内才有报道将其应用于儿科领域,其中新生儿占比极少。

新生儿呼吸衰竭仍是 ECMO 技术最常见的应用指征,心脏术后心力衰竭是 ECMO 技术另一常见应用指征。ELSO 最新的统计数据显示心脏病应用 ECMO 的数量近年大幅增加^[1]。ECMO 适应证也逐渐增加,包括各种原因导致的心脏骤停或作为新生儿终末期心脏病患儿的桥梁作用,为患儿等待心脏移植争取时间^[5-6]。De Jesus-Brugman 等^[7]报告采用 ECMO 技术改善了该院 Norwood 手术患儿的结局。Dohain 等^[8]研究显示小儿心脏术后需要 ECMO

技术支持的患儿,双心室矫治患儿较单心室矫治患儿生存率高。于新迪等^[9]研究显示对于出现严重心衰或心脏骤停的先天性心脏病术后新生儿应及时快速给予 ECMO 辅助。本组患儿总的存活率达 54.6%, ECMO 支持后临床指标较 ECMO 前好转,故认为 ECMO 技术是危重症新生儿救治一种有效的心肺支持措施。

ECMO 支持期间并发症及相关临床指标可影响患儿结局。一项多中心的研究表明,ECMO 支持的新生儿及儿科患儿中,多达 60%~70% 伴有肾损伤,其中多数在 ECMO 治疗的 48 h 内出现,且肾损伤与 ECMO 治疗时间延长及死亡率增加相关^[10]。ECMO 期间经常出现溶血,插管可能会影响溶血的进展,溶血与 ECMO 期间使用 CRRT 及国际标准化比值 >3.5 相关^[11]。本组最常见并发症是血小板减少症,考虑 ECMO 期间血小板破坏有关,应密切监测及时补充。肾功能不全是另一常见并发症,应积极应用 CRRT 或腹膜透析治疗。ECMO 期间凝血功能的管理尤为重要,呼吸衰竭患儿 3 例发生颅内出血;心力衰竭患儿 3 例发生胸腔出血,1 例颅内出血。Howard 等^[12] 报告研究发现患儿的乳酸清除率与生存率存在密切关系,ECMO 后 72 h 仍存在高 Lac 血症与死亡率呈正相关,Lac 持续 >7 mmol/L 的婴儿更有可能死亡。本组存活患儿与死亡患儿临床指标比较结果显示 ECMO 后 Lac、正性肌力药物评分仍然较高预示患儿结局不佳,但本组数量较少,未得出定量指标。提高 ECMO 期间管理技术,降低并发症以及改善 ECMO 期间患儿临床指标是患儿存活关键因素。

患儿远期随访也是一项重要工作,可判断远期生活质量。Boyle 等^[13] 系统回顾分析发现大多数 ECMO 幸存者的智商在正常范围,但是在神经系统发育、认知能力、运动功能、语言能力及听力等方面存在不同程度损害。Jenks 等^[14] 报告使用 ECMO 患儿应进行神经系统的影像检查并进行长期随访。全组存活患儿术后均进行了神经系统的影像检查,其中 2 例患儿存在神经系统并发症,需要康复治疗,4 例患儿目前未见明显异常,需要长期随访观察。

4 结 论

ECMO 技术是一种有效的应用于危重症新生儿救治的心肺支持措施,但存在多种并发症发生风险,严格掌握指征,提高 ECMO 管理水平,降低并发症可提高患儿的撤机率及存活率。

参考文献:

- [1] Extracorporeal Life Support Organization. Extracorporeal Life Support Organization Registry Report; International Summary. July, 2020. <https://www.else.org/registry/statistics.aspx>.
- [2] 中国医师协会新生儿科医师分会,封志纯,洪小杨,等. 新生儿呼吸衰竭体外膜肺氧合支持专家共识[J]. 发育医学电子杂志,2018,6(3):129-133.
- [3] Wild KT, Rintoul N, Kattan J, *et al*. Extracorporeal life support organization (ELSO): guidelines for neonatal respiratory failure [J]. ASAIO J, 2020, 66(5): 463-470.
- [4] Extracorporeal Life Support Organization. Guidelines for Pediatric Cardiac Failure. December, 2018. https://www.else.org/Portals/0/IGD/Archive/FileManager/ELSO_Reformatted_2018.02.23.pdf
- [5] Allen KY, Allan CK, Su L, *et al*. Extracorporeal membrane oxygenation in congenital heart disease[J]. Semin Perinatol, 2018, 42(2): 104-110.
- [6] Stiller B, Fleck T. Role of extracorporeal membrane oxygenation in neonatal and pediatric end-stage heart patients[J]. Artif Organs, 2016, 40(1): 12-13.
- [7] De Jesus-Brugman N, Hobson MJ, Herrmann JL, *et al*. Improved outcomes in neonates who require venoarterial extracorporeal membrane oxygenation after the norwood procedure[J]. Int J Artif Organs, 2020, 43(3): 180-188.
- [8] Dohain AM, Abdelmohsen G, Ellassal AA, *et al*. Factors affecting the outcome of extracorporeal membrane oxygenation following paediatric cardiac surgery[J]. Cardiol Young, 2019, 29(12): 1501-1509.
- [9] 于新迪,杨寅愉,沈佳,等. 体外膜肺氧合在新生儿复杂先天性心脏病术后救治中的效果分析[J]. 中国体外循环杂志,2018, 16(1): 7-11.
- [10] Fleming GM, Sahay R, Zappitelli M, *et al*. The incidence of acute kidney injury and its effect on neonatal and pediatric extracorporeal membrane oxygenation outcomes: a multicenter report from the kidney intervention during extracorporeal membrane oxygenation study group[J]. Pediatr Crit Care Med, 2016, 17(12): 1157-1169.
- [11] Okochi S, Cheung EW, Barton S, *et al*. An analysis of risk factors for hemolysis in children on extracorporeal membrane oxygenation[J]. Pediatr Crit Care Med, 2018, 19(11): 1059-1066.
- [12] Howard TS, Kalish BT, Wigmore D, *et al*. Association of extracorporeal membrane oxygenation support adequacy and residual lesions with outcomes in neonates supported after cardiac surgery [J]. Pediatr Crit Care Med, 2016, 17(11): 1045-1054.
- [13] Jenks CL, Raman L, Dalton HJ. Pediatric extracorporeal membrane oxygenation[J]. Crit Care Clin, 2017, 33(4): 825-841.
- [14] Boyle K, Felling R, Yiu A, *et al*. Neurologic outcomes after extracorporeal membrane oxygenation: a systematic review[J]. Pediatr Crit Care Med, 2018, 19(8): 760-766.

(收稿日期:2020-10-26)

(修订日期:2020-11-09)