

· 论 著 ·

DOI: 10.13498/j.cnki.chin.j.ecc.2021.02.04

小儿体外心肺复苏临床结果的回顾性研究

邓宇航, 罗丹东, 朱卫中, 郭予雄, 章晓华, 温树生, 陈寄梅, 庄 建, 周成斌

[摘要]:目的 本文总结单中心小儿体外心肺复苏 (ECPR) 的临床结果, 探讨死亡与并发症的高危因素, 以指导临床治疗。**方法** 回顾性分析 2015 年 1 月至 2018 年 12 月单中心开展小儿 ECPR 患者 (<14 岁) 的临床资料, 一般特征包括性别、年龄、体重、身长、体外膜氧合 (ECMO) 前血压, 以及心肺转流时间、主动脉阻断时间等。比较死亡患儿和存活患儿的脱机率, 评估与生存率和并发症相关的危险因素。**结果** 52 例患儿接受了 ECPR 救治, 男 33 例, 女 19 例, 平均年龄 (15.3 ± 6.4) 月, 复杂先天性心脏病 (先心病) 35 例, 简单先心病 13 例, 非心脏病 4 例, 共有 19 例 (36.5%) 患儿成功脱离 ECMO, 有 10 例 (19.6%) 存活至出院。非先心病患儿存活率明显高于复杂先心病患儿 ($P = 0.017$), 相对于存活患儿, 死亡患儿在 ECPR 插管前的血乳酸值明显升高 ($OR = 3.014$, $P = 0.016$)。ECPR 患儿并发症中, 27 例患儿发生肾脏损害并接受了肾脏替代疗法 (RRT), 11 例患儿出现需要处理的出血并发症, 3 例患儿发生了血栓并发症以及 7 例患儿存在神经系统损伤。对需要接受 RRT 治疗的患儿, ECMO 持续时间、低动脉血压是患儿接受 RRT 治疗的高危因素。**结论** 小儿 ECPR 前高乳酸、复杂先心病是死亡危险因素; 并发症中以肾功能不全为主; ECMO 持续时间越长、术前平均动脉压越低, 需进行 RRT 治疗的风险越高。

[关键词]: 体外膜氧合; 小儿; 心肺复苏; 先天性心脏病; 并发症; 肾替代疗法

Clinical results of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in children: a single-center retrospective study

Deng Yuhang, Luo Dandong, Zhu Weizhong, Guo Yuxiong, Zhang Xiaohua, Wen Shusheng, Chen Jimei, Zhuang Jian, Zhou Chengbin

Department of Cardiac surgery, Guangdong Provincial Cardiovascular Institute, Guangdong Provincial Key Laboratory of South China Structural Heart Disease, Guangdong Provincial People's Hospital, Guangdong Academy of Medical Sciences, Guangzhou 510030, China

Corresponding author: Zhou Chengbin, Email: zcbwww@163.com

[Abstract]: Objective To summarize the clinical results of a single center pediatric extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) and to explore the independent risk factors of death and complications, so as to guide the clinical treatment. **Methods** The clinical data of pediatric patients (<14 years old) who underwent ECPR in our center from January 2015 to December 2018 were retrospectively analyzed. Baseline characteristics included gender, age, weight, length, blood pressure before extracorporeal membrane oxygenation (ECMO), CPB time, aortic cross-clamp (ACC) time etc. We compared the weaning rates between the dead and the survival children and evaluated risk factors associated with mortality rate and complications. **Results** Among 52 patients underwent ECPR with the average age of (15.3 ± 6.4) months (33 males, 19 females), there were 35 cases of complex congenital heart disease (CHD), 13 cases of simple CHD and 4 cases of non-heart disease. 19 cases (36.5%) were successfully weaned from ECMO and 10 cases (19.6%) survived to discharge. The survival rate of children with non CHD was significantly higher than that of children with complex CHD ($P = 0.017$). Compared with survivors, the lactate levels before ECPR intubation were significantly higher in non-survivors ($OR: 3.014$, 95% CI: 1.230–7.381, $P = 0.016$). Among the complications of ECPR, 27 patients had renal damage and received renal replacement therapy (RRT), 11 cases had bleeding complications, 3 cases had thrombosis complications and 7 cases had neurological damage. The duration of ECMO and hypotension were independent risk factors for children who received RRT. **Conclusion** The

基金项目: 广东省科技计划项目 (2020A111128030); 广东省人民医院课题 (GDPHDJ202037)

作者单位: 510030 广州, 华南理工大学医学院 (邓宇航); 510030 广州, 广东省心血管病研究所, 广东省华南结构性心脏病重点实验室, 广东省人民医院 (广东省医学科学院) 心外科 (邓宇航、罗丹东、朱卫中、郭予雄、章晓华、温树生、陈寄梅、庄 建、周成斌)

通信作者: 周成斌, Email: zcbwww@163.com

high lactate level before ECPR and complex CHD were independent risk factors of death. The main complications were renal insufficiency. The longer the ECMO duration and the lower preoperative mean arterial pressure were, the higher the risk of RRT treatment would be.

[Key words]: Extracorporeal membrane oxygenation; Pediatric; Cardiopulmonary resuscitation; Congenital heart disease; Complication; Renal replacement therapy

体外心肺复苏 (extracorporeal cardiopulmonary resuscitation, ECPR) 是对传统心肺复苏 (conventional cardiopulmonary resuscitation, CCPR) 不能恢复自主循环 (restoration of spontaneous circulation, ROSC) 或反复心脏骤停不能维持血流动力学稳定的患者, 快速实施体外膜氧合 (extracorporeal membrane oxygenation, ECMO) 技术替代心肺功能, 以保证重要脏器有效灌注与充足氧供^[1]。2009 年至 2015 年间, 体外生命支持组织 (Extracorporeal Life Support Organization, ELSO) 的数据显示新生儿和儿科 ECPR 的数量分别增加了 35% 和 67%^[2], 与接受 CCPR 的儿童相比, ECPR 插管儿童的神经系统预后更佳。因此, 当心脏骤停的病因被认为是“可能恢复或适合心脏移植”时, 美国心脏协会 (American Heart Association, AHA) 建议对该心脏病患儿考虑使用 ECPR^[3]。对于小儿患者, 国外各中心所报告的 ECPR 出院生存率从 14% 到 56% 不等^[4]。与 ECPR 生存相关的危险因素包括神经系统并发症, 高乳酸和较长的 ECMO 持续时间等^[5]。国内儿童 ECPR 起步较晚, 对于控制 ECPR 生存相关危险因素的经验不足。本文回顾单中心小儿 ECPR 临床资料, 探讨死亡与并发症的高危因素, 以指导临床治疗。

1 资料与方法

1.1 临床资料 本研究是经广东省人民医院伦理审查委员会审核批准 (GDREC2019775H) 后进行的一项单中心回顾性研究。该研究纳入了本院在 2015 年 1 月至 2018 年 12 月之间接受 ECPR 的所有 14 岁 (不包含) 以下患者。ECPR 的定义是在院内心脏骤停的心肺复苏中使用 ECMO。

当发生心脏骤停, 经过 CCPR 处理 5~10 min 不能恢复 ROSC 或恢复 ROSC 但不能维持循环稳定, 随时可能再次心脏骤停, 启动 ECPR 救治流程, 告知家属, ECMO 团队组装 ECMO 管路, 外科建立插管。ECMO 管路主要有 ECMO 套包 (索林) 或离心泵 (美敦力) 和膜肺 (Medos) 的组装管路。插管地点分布在手术室、小儿 ICU 或普通病房。ECMO 持续时间定义为从插管开始到最终拔管的时间。插管部位分为中央插管 (胸骨正中切开, 升主动脉/右房)、腹股沟插管 (股静脉/动脉) 或右颈部插管 (颈内静脉/颈

总动脉)。采集 ECMO 转流前后的生命体征, 记录患儿 ECMO 前 24 h 内血气分析中最差的 pH、乳酸 (lactic acid, Lac) 和 HCO_3^- 离子数值; 收集 ECMO 转流后 24 h 内的实验室检测指标, 包括血红蛋白、血小板计数、淋巴细胞、胆红素、白蛋白和肌酐 (creatinine, Cr) 等。

1.2 ECMO 相关并发症的分类如下 ①严重出血并发症, 定义为需要返回手术室止血或其他需要处理的出血事件。②严重血栓并发症, 膜肺或管路中可见血栓, 需要更换管路。③ECMO 期间病原体培养阳性, 包括呼吸道分泌物、尿液、血液、伤口分泌物或胸骨培养物。④严重肾脏损害, 需接受连续肾脏替代治疗 (continuous renal replacement therapy, CRRT); 启动 CRRT 的标准包括少尿肾衰竭、尿毒症、严重电解质紊乱和代谢紊乱。⑤神经系统并发症; 包括脑出血、脑梗塞、癫痫发作、脑死亡和脑循环障碍等, 主要表现为昏迷、抽搐、四肢肌肉强直、瞳孔对光反射异常等体格检查异常。

主要结局是生存至出院, 次要结局是生存至 ECMO 脱机。本研究评估了影响 ECMO 生存和并发症的因素, 特别是需要接受 CRRT 治疗的肾脏并发症因素。

1.3 统计分析 计量资料采用 t 检验、均数 $\pm$ 标准误 ($\bar{x}\pm s_x$) 表示, 卡方检验用以比较分类变量。运用单变量 logistic 回归模型评估与 ECPR 后出院生存相关的所有潜在因素, 然后使用与出院生存率相关的所有临床因素和统计学上显著因素拟合多变量 logistic 回归模型。采用单变量 logistic 回归模型评估与接受 CRRT 相关的所有潜在因素, 然后使用与 CRRT 相关的统计学上显著因素拟合多变量 logistic 回归模型, 并报告原始比值比 (OR)。所有统计分析均使用 SPSS 23.0 版本进行, $P<0.05$ 被认为有显著统计学意义。

2 结果

2.1 一般特征 共有 52 名患儿获得 ECPR 支持被纳入研究, 其中 13 名为新生儿 (≤ 28 d), 30 名婴儿 (28 d~1 岁) 和 9 名儿童患者 (1~14 岁)。其中 19 例 (36.5%) 患者存活至脱机, 10 例 (19.6%) 存活至出院。存活组和死亡组之间, 包括性别、年龄、体重、

身長、心肺转流 (cardiopulmonary bypass, CPB) 时间、主动脉阻断 (aortic cross clamp, ACC) 时间、ECPR 前血压等没有统计学差异,见表 1。

52 例 ECPR 患儿的主要病种是先天性心脏病 (简称先心病, $n=48$), 其中复杂先心病 ($n=35$) 包括法洛四联症、陶-宾综合征、右心室双出口、左心发育不全综合征、先天性大血管转位等; 简单先心病 ($n=13$) 主要有房间隔缺损、室间隔缺损等。非先心病 ($n=4$) 病种包括爆发性心肌炎、新生儿败血症、先天性膈疝。复杂先心病患儿存活率为 8.6%, 简单先心病存活率 23%, 非先心病患儿全部存活出院 ($P=0.017$)。存活与死亡患儿 ECMO 支持时间没有显著差异。单因素分析中, 存活患儿相较死亡患儿的 CCPR 时间更短 ($P=0.037$)。

2.2 ECPR 插管地点和部位 ECPR 插管地点在手术室、心外 ICU 以及普通住院病房 (表 2), 心外 ICU 建立 ECPR 的例数最多, 在手术室插管开展 ECPR 的存活率高 ($P<0.05$)。根据患儿的年龄、体重、外周血管粗细以及手术方式等决定插管部位, 然而 ECPR 插管部位 (中央、颈部、腹股沟) 在存活率方面无显著统计差异。

2.3 ECPR 前的实验室指标 ECPR 前存活与死亡

患儿的血红蛋白、血小板计数、淋巴细胞、胆红素、白蛋白和 Cr 等数值没有统计学差异。死亡患儿的肌酸激酶同工酶 (creative kinase MB, CKMB) 明显高于存活患儿 ($P=0.001$)。ECPR 前 24 h 最差血气分析中, 存活患儿的 Lac、pH 和 HCO_3^- 值均低于死亡患儿 ($P<0.01$), 见表 3。

2.4 ECMO 的并发症 ECMO 的主要并发症如图 1 所示, 分别包括肾功能不全、出血、神经系统并发症、感染和血栓。其中肾功能不全是最常见的并发症,

表 2 ECPR 的插管地点和部位 [$n(\%)$]

项目	存活患者 ($n=10$)	死亡患者 ($n=42$)	P 值
插管地点			0.045
手术室	3 (60)	2 (40.0)	
心外复苏室	6 (13.9)	37 (86.1)	
普通病房	1 (25.0)	3 (75.0)	
插管部位			0.257
中央插管	6 (14.6)	35 (85.4)	
颈部插管	2 (40.0)	3 (60.0)	
腹股沟插管	2 (33.3)	4 (66.6)	

表 1 ECPR 患儿的一般特征 ($\bar{x}\pm s\bar{x}$)

	存活患儿 ($n=10$)	死亡患儿 ($n=42$)	P 值
男性 [$n(\%)$]	7 (21.2)	26 (78.8)	0.633
年龄 (月)	19.8 $\pm$ 10.9	15.3 $\pm$ 6.4	0.718
体重 (kg)	8.4 $\pm$ 2.6	7.5 $\pm$ 1.4	0.715
身長 (cm)	35.8 $\pm$ 10.0	53.8 $\pm$ 5.2	0.355
手术患儿 ($n=41$)			
CPB 时间 (min)	133.2 $\pm$ 45.2	150.1 $\pm$ 17.7	0.322
ACC 时间 (min)	58.6 $\pm$ 18.4	81.6 $\pm$ 9.4	0.785
ECPR 前血压			
MAP (mmHg)	49.0 $\pm$ 4.6	42.3 $\pm$ 2.6	0.330
ECMO 持续时间 (h)	87.5 $\pm$ 14.8	89.8 $\pm$ 8.2	0.388
入院主要诊断	0.017		
复杂先心病 [$n(\%)$]	3 (8.5)	32 (91.5)	
简单先心病 [$n(\%)$]	3 (23)	10 (77.0)	
非先心病 [$n(\%)$]	4 (100)	0 (0)	
CCPR 时间 (min)	34.9 $\pm$ 2.4	96.9 $\pm$ 3.8	0.037
术后至 ECMO 启动转流的间隔时间 (min)	350 $\pm$ 37.4	418 $\pm$ 52.6	0.552

注: CPB: 心肺转流; ACC: 主动脉阻断; ECPR: 体外心肺复苏; MAP: 平均动脉压; ECMO: 体外膜氧合; CCPR: 传统心肺复苏

表 3 ECPR 前的实验室指标($\bar{x} \pm s\bar{x}$)

项目	存活患者 (n=10)	死亡患者 (n=42)	P 值
血红蛋白(g/L)	119.0±7.0	118.6±3.7	0.593
血小板计数($\times 10^9/L$)	198.7±50.5	86.2±15.6	0.076
淋巴细胞计数($\times 10^9/L$)	2.5±0.5	2.4±0.3	0.449
胆红素($\mu\text{mol/L}$)	35.5±9.8	45.8±6.6	0.361
白蛋白(g/L)	26.0±2.8	23.9±1.4	0.611
Cr($\mu\text{mol/L}$)	59.7±8.1	78.1±6.1	0.065
CKMB(U/L)	84.7±36.0	262.8±32.5	0.001
血气分析			
pH	7.4±0.0	7.3±0.0	0.006
Lac(mmL/L)	2.0±0.4	10.7±0.7	0.003
HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	23.5±1.0	20.7±1.4	0.008
PaCO ₂ (mmHg)	37.1±3.3	44.0±3.7	0.123
PaO ₂ (mmHg)	220.5±45.4	172.9±20.2	0.820

注:Cr:肌酐;CKMB:肌酸激酶同工酶;Lac:乳酸;PaCO₂:动脉二氧化碳分压;PaO₂:动脉氧分压

少尿是突出表现,均采用 CRRT 治疗,主要方式包括血液透析和腹膜透析两种,其中腹膜透析 14 例,血液透析 5 例。在本研究中,有 3 名患儿因肾功能衰竭引起的严重高钾血症在 ECPR 前接受 CRRT 治疗,有 19 例(70.3%)患儿是 ECPR 后因少尿接受 CRRT 治疗。出血或血栓形成并发症在两组之间无明显差异。7 名(13.4%)患儿在 ECMO 期间有神经系统并发症表现,在存活与死亡患儿之间并无显著的统计学差异($P = 0.505$),3 名(5%)患者在 ECMO 期间血培养阳性,无 1 例患儿存活至出院。

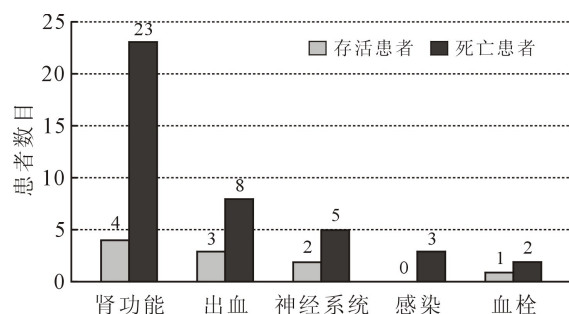


图 1 ECPR 患儿的并发症分布

2.5 接受 CRRT 的相关因素 肾脏损伤是本中心最常见并发症,均采用 CRRT 支持治疗。对 CRRT 相关因素进行了多元 Logistic 回归分析(表 4)。单因素分析中 ECMO 持续时间、ECPR 前的平均动脉压以及 ECPR 前是否 ROSC 均与进行 CRRT 治疗有关。随着 ECMO 持续时间的增加,接受 CRRT 治疗的概率会有所增加。ECPR 前患儿的平均动脉压降低也

将导致接受 CRRT 的概率增加。是否 ROSC 与接受 CRRT 存在负相关。ECPR 前曾经历过 ROSC 的患儿,相较于未经 ROSC 患儿,接受 CRRT 的危险将会增加。多元 Logistic 回归模型中,并未发现 ECPR 前 Cr 值与接受 CRRT 显著相关($P = 0.400$)。

表 4 CRRT 相关危险因素的多元 logistic 回归分析

项目	OR	95%CI	P 值
ECMO 持续时间	1.039	1.002~1.078	0.038
平均动脉压	0.920	0.856~0.989	0.023
CKMB	1.002	0.997~1.007	0.348
血小板	1.003	0.994~1.012	0.503
ROSC	0.013	0.001~0.173	0.001

注:ECMO:体外膜氧合;CKMB:肌酸激酶同工酶;
ROSC:自主循环恢复

2.6 与生存相关的危险因素 对出院生存相关的危险因素进行 Logistic 回归模型分析(表 5)。单因素分析中,相关危险因素包括复杂先心病、插管地点、CKMB 指标、Lac 水平以及 HCO₃⁻ 的浓度。将以上五种指标纳入多元回归分析后发现,插管前患儿的乳酸水平与生存相关(中位数为 10.35 mmol/L)。本中心高 Lac 水平患儿(Lac>10.35 mmol/L)的死亡危险约是低 Lac 患儿的 3 倍。而入院诊断为复杂先心病的患儿,其死亡危险较之非复杂先心病患儿更高,具有显著的统计学意义。HCO₃⁻ 可能是与生存相关的危险因素之一,但在本研究中,由于样本量等问题,尚未发现其与 ECMO 患儿的出院生存相关。

表 5 ECPR 患儿生存相关危险因素

项目	OR	95%CI	P 值
复杂先心病	2.436	1.014~3.274	0.033
插管地点	4.740	-----	0.093
CKMB	1.646	-----	0.200
Lac	3.014	1.230~7.381	0.016
HCO ₃ ⁻	1.398	0.962~2.032	0.079
CCPR 时间	1.157	-----	0.172

注:CKMB:肌酸激酶同工酶;Lac:乳酸;HCO₃⁻:碳酸氢根离子;
CCPR:传统心肺复苏

3 讨论

相对于成年 ECPR,小儿 ECPR 报道仍有限。AHA 在 2016 年发布的指南评估中显示,相较于院内 CCPR 时间超过 10 min 的患儿,ECPR 更能改善患儿的出院生存率,且具有良好的神经功能预后^[6]。2000 年至 2011 年间,该组织研究了 3 765 例患者,其中 591 (16%) 接受了 ECPR,3 165 (84%) 接受了 CCPR,ECPR 患儿 40% (237/591) 的出院率远高于 CCPR 患儿 27% (862/3 165) 出院生存率^[7-8]。本文根据单中心的数据探讨影响 ECPR 后有利结局的临床相关因素。

3.1 心脏骤停及复杂先心病 在新生儿重症监护病房(NICU)中收治的新生儿和婴儿中,有 1%~2.2% 的概率发生心脏骤停,而在儿科重症监护病房(PICU)中收治的患儿中,则有 2%~6% 的心脏骤停^[10-11]。已报道的出院患儿数据,婴儿的存活率介于 20%~61% 之间,儿科人群中存活率则介于 10%~44% 之间^[12]。在本项单中心回顾性研究中,患者群体中 ECPR 的总体存活率为 19%,低于 2018 年 ELSO 注册报告的数据^[13],可能与本研究为先心病比例高相关。多因素分析中复杂先心病是死亡的危险因素。而在 Schmidt 等人提出的 SAVE 评分中指出,先心病是一项重要的危险因素^[14]。复杂先心病患儿往往意味着更长的手术持续时间、心脏残余畸形以及愈发不良的一般状况。研究指出在接受心脏直视手术后得到 ECMO 支持的儿童中,约有四分之一有解剖学上的残留问题^[15],该数据在复杂先心病患儿中比例可能更高,其中以残余分流及肺动脉高压为主。积极评估所有术后儿科心脏手术患者的残留病变,早期发现残留病变和再次干预能够有效改善 ECPR 的临床预后。

3.2 高 Lac 水平 CPR 持续时间长或心脏停跳时间较长的患儿可能会发生明显的代谢性酸中毒和血

清 Lac 升高。ECMO 后持续性代谢性酸中毒和血清 Lac 升高可能是由于 ECMO 流量不佳而引起的,其与插管大小或位置、出血、血容量不足、填塞、过度血管舒张、侧支径流过多或左心室扩张有关^[16]。在本研究中,幸存者和非幸存者之间的 Lac 水平存在显著差异 ($P=0.016$),这表明血 Lac 水平是 ECMO 患儿病情恶化的独立危险因素,研究结果与其他研究相似,较高的 Lac 水平与 ECMO 脱机失败及死亡显著相关^[17]。因此,尽早应用 ECMO 逆转灌注不良和清除 Lac 血症对于 ECPR 的预后至关重要^[18]。

3.3 低灌注时间 延长的低灌注时间将导致器官终末期损害,例如严重的肾脏或中枢神经系统损伤,预后不良。因此,应尽早决定使用 ECPR 以保持器官功能。在波士顿儿童医院,若患儿经过两轮药物复苏后 ROSC 失败,且心肺复苏持续时间为 21~45 min^[16],则启动 ECPR。在本研究中,低灌注持续时间为 34.9~96.9 min,部分患儿的 ECPR 程序时间过长。单因素分析中,CCPR 时间与患儿的生存率有关 ($P=0.037$)。在心脏术后高危患儿中,延迟关胸及常备预充好的 ECMO 设备或能节省 ECPR 时间。

3.4 肾脏并发症 急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)是本中心 ECMO 患儿最常见并发症。ECMO 支持基础上进行 CRRT 的主要目的是治疗或预防液体超负荷,AKI 和电解质失衡^[19-20]。ELSO 注册中心的回顾性研究表明,死亡患儿往往存在更多的 AKI 和 CRRT 倾向,AKI 和 CRRT 均可独立预测 ECMO 治疗后新生儿及儿童的死亡风险^[21]。本研究中 ECMO 持续时间长、低平均动脉血压等会导致患儿接受 CRRT 的机率增加,从而影响患儿的远期预后。但存活和死亡患儿 ECPR 前的 Cr 水平在统计学上并无差异,表明患儿术前未存在肾脏损伤,ECPR 后发生急性肾损伤,可能是心脏骤停及 CPR 期间出现的肾脏低灌注状态所致^[22]。因此,本研究认为可能是 AKI 而非 CRRT 本身会增加患儿的死亡风险^[23]。

3.5 不足之处 本研究中的不足主要有患儿 ECPR 数量有限,病种以先心病为主,不能全面反应 ECPR 患儿的预后,危险因素的分析变量不足,仍需进行多中心研究来提高患儿的样本量。

4 结论

单中心研究显示非心脏手术患儿的存活率高,复杂先心病降低小儿 ECPR 的存活率。肾功能不全并发症是小儿 ECPR 的主要并发症,与 ECPR 的持续时间、ECPR 前的平均动脉压相关。ECPR 前 24 h 内血 Lac 值是评价小儿 ECPR 预后的关键危险因素。

参考文献:

- [1] Chonde M, Escajeda J, Elmer J, *et al*. Challenges in the development and implementation of a healthcare system based extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (ECPR) program for the treatment of out of hospital cardiac arrest[J]. *Resuscitation*, 2020, 148: 259–265.
- [2] Bembea MM, Ng DK, Rizkalla N, *et al*. Outcomes after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation of pediatric in-hospital cardiac arrest: a report from the get with the guidelines–resuscitation and the extracorporeal life support organization registries[J]. *Crit Care Med*, 2019, 47(4): e278–e285.
- [3] 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.
- [4] Shin TG, Choi JH, Jo IJ, *et al*. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in patients with inhospital cardiac arrest: a comparison with conventional cardiopulmonary resuscitation[J]. *Crit Care Med*, 2011, 39(1): 1–7.
- [5] Kleinman ME, de Caen AR, Chameides L, *et al*. Part 10: pediatric basic and advanced life support: 2010 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations[J]. *Circulation*, 2010, 122(16 Suppl 2): S466–S515.
- [6] Philip J, Burgman C, Bavare A, *et al*. Nature of the underlying heart disease affects survival in pediatric patients undergoing extracorporeal cardiopulmonary resuscitation[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 148(5): 2367–2372.
- [7] Dennis M, McCanny P, D'Souza M, *et al*. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for refractory cardiac arrest: a multicentre experience[J]. *Int J Cardiol*, 2017, 231: 131–136.
- [8] Lasa JJ, Jain P, Raymond TT, *et al*. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in the pediatric cardiac population: in search of a standard of care[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2017, 19(2): 125–130.
- [9] Pabst D, El-Banayosy A, Soleimani B, *et al*. Predictors of survival for nonhighly selected patients undergoing resuscitation with extracorporeal membrane oxygenation after cardiac arrest[J]. *ASAIO J*, 2018, 64(3): 368–374.
- [10] Tsukahara K, Toida C, Murguruma T. Current experience and limitations of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrest in children: a single-center retrospective study[J]. *J Intensive Care*, 2014, 2(1): 68.
- [11] Kim DH, Kim JB, Jung SH, *et al*. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: predictors of survival[J]. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 49(4): 273–279.
- [12] Extracorporeal Life Support Organization. Extracorporeal Life Support Organization Registry Report: International Summary. Ann Arbor, Michigan: Extracorporeal Life Support Organization; 2020 [EB/OL]. 2020. <https://www.else.org/registry/statistics/InternationalSummary.aspx>
- [13] Foglia EE, Langeveld R, Heimall L, *et al*. Incidence, characteristics, and survival following cardiopulmonary resuscitation in the quaternary neonatal intensive care unit[J]. *Resuscitation*, 2017, 110: 32–36.
- [14] Schmidt M, Burrell A, Roberts L, *et al*. Predicting survival after ECMO for refractory cardiogenic shock: the survival after veno-arterial-ECMO (SAVE)-score[J]. *Eur Heart J*, 2015, 36(33): 2246–2256.
- [15] Kim SJ, Kim HJ, Lee HY, *et al*. Comparing extracorporeal cardiopulmonary resuscitation with conventional cardiopulmonary resuscitation: a meta-analysis[J]. *Resuscitation*, 2016, 103: 106–116.
- [16] Alsoufi B, Awan A, Manlihot C, *et al*. Does single ventricle physiology affect survival of children requiring extracorporeal membrane oxygenation support following cardiac surgery[J]? *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2014, 5(1): 7–15.
- [17] 刘颖悦,洪小杨,周更须,等. 体外膜肺氧合在儿童先天性心脏病术后心功能衰竭救治中的应用[J]. *中国体外循环杂志*, 2016, 14(1): 42–45.
- [18] Guo Z, Yang Y, Zhang W, *et al*. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in children after open heart surgery[J]. *Artif Organs*, 2019, 43(7): 633–640.
- [19] Michels G, Wengenmayer T, Hagl G, *et al*. Recommendations for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR): consensus statement of DGIIN, DGK, DGTHG, DGfK, DGNI, DGAI, DIVI and GRC[J]. *Clin Res Cardiol*, 2019, 108(5): 455–464.
- [20] Thajudeen B, Kamel M, Arumugam C, *et al*. Outcome of patients on combined extracorporeal membrane oxygenation and continuous renal replacement therapy: a retrospective study[J]. *Int J Artif Organs*, 2015, 38(3): 133–137.
- [21] Gupta P, Beam B, Schmitz ML. Outcomes associated with the use of renal replacement therapy in children receiving extracorporeal membrane oxygenation after heart surgery: a multi-institutional analysis[J]. *Pediatr Nephrol*, 2015, 30(6): 1019–1026.
- [22] Villa G, Katz N, Ronco C. Extracorporeal membrane oxygenation and the kidney[J]. *Cardiorenal Med*, 2015, 6(1): 50–60.
- [23] Zarbock A, Kellum JA, Schmidt C, *et al*. Effect of early vs delayed initiation of renal replacement therapy on mortality in critically ill patients with acute kidney injury: the ELAIN randomized clinical trial[J]. *JAMA*, 2016, 315(20): 2190–2199.

(收稿日期:2020-11-03)

(修订日期:2020-11-27)