

儿科急危重症 ECMO 救治专题

体外膜肺氧合辅助心肺复苏治疗儿童心搏骤停临床效果分析

任玉倩, 崔云, 周益平, 单怡俊, 史婧奕, 孙汀, 熊熙

基金项目: 国家重点研发计划课题(编号:2021YFC2701805, 2021YFC2701704); 上海市科学技术委员会科技计划项目(编号: 21Y11902600); 国家自然科学基金资助项目(编号:82100085)

作者单位: 200062 上海, 上海市儿童医院, 上海交通大学医学院附属儿童医院重症医学科

作者简介: 任玉倩, 医学硕士, 主治医师, 研究方向: 危重症儿童神经发育。E-mail: renyuqian@yeah.net

通信作者: 崔云, 医学博士, 主任医师, 研究方向: 脓毒症及儿童急性呼吸窘迫综合征。E-mail: cuiyun0815@163.com



崔云, 主任医师, 上海市儿童医院重症医学科副主任。任中华儿科学会急救教学组青委会副组长, 中国医师协会儿科重症医师分会血液净化学组副组长, 中国医师协会体外生命支持分会委员, 中华医学会上海市危重病分会委员等。担任《中国小儿急救医学》杂志通讯编委。主要研究方向: 脓毒症及儿童急性呼吸窘迫综合征(PARDS), 擅长危重症儿童体外生命支持技术[体外膜肺氧合(ECMO)及连续性肾脏替代治疗(CRRT)]。以第一作者和通信作者在国际 SCI 专业期刊和国内核心专业期刊, 如 *Pediatric Crit Care Med*、*IJCEM*、*IJCEP*、《中华儿科杂志》、《中华急诊医学杂志》等发表论文 50 余篇。近 5 年来, 主持上海市科委西医引导类项目 2 项, 上海市卫生健康委员会临床多中心面上项目 1 项, 并参与国家自然科学基金、上海市科委科技攻关项目、上海申康医院发展中心新兴前沿技术项目等多项国家及上海市临床及基础科研项目。

【摘要】 目的 分析体外膜肺氧合(ECMO)辅助心肺复苏(CPR)救治儿童心搏骤停(CA)的临床效果。**方法** 回顾性分析 2015 年 12 月至 2022 年 12 月在上海市儿童医院儿童重症监护室(PICU)因 CA 接受 ECMO 辅助 CPR 治疗的 8 例患儿的临床资料, 包括原发疾病、CPR 前儿童序贯器官衰竭评估(pSOFA)评分和血管活性药物评分(VIS)、CPR 至 ECMO 转流时间间隔、ECMO 置管方式、ECMO 运行时长、ECMO 撤离成功率、出院存活率以及 ECMO 转流前和转流 24 h 后实验室检查指标等。**结果** 8 例接受 ECMO 辅助 CPR 治疗的 CA 患儿中, 死亡 5 例, 存活 3 例, ECMO 撤离成功率和出院存活率均为 37.50% (3/8)。原发疾病 7 例为暴发性心肌炎, 1 例为脓毒性休克。3 例患儿为右侧颈内静脉/颈动脉切开置管, 5 例患儿为股静脉/股动脉置管。ECMO 运行中位时长为 50.50 (3.00, 210.00) h, CPR 至 ECMO 转流最短时间间隔为 18 min, 最长为 150 min。转流后 6 例患儿予床旁连续性肾脏替代治疗(CRRT)辅助治疗, 4 例行左心减压。ECMO 相关并发症包括出血 8 例, 弥散性血管内凝血(DIC)6 例, 溶血 3 例, 血栓 1 例, 肢端缺血 1 例, 神经系统损伤 1 例。ECMO 转流 24 h 后患儿血肌酐及肝酶学指标均较转流前显著升高 ($P < 0.05$)。与死亡组比较, 存活组患儿 ECMO 转流 24 h 后乳酸(Lac)水平显著下降 ($P < 0.05$)。**结论** 体外心肺复苏(ECPR)患儿的出院存活率仍较低, 出凝血事件发生率高, ECMO 转流后 24 h Lac 水平迅速下降可能提示预后良好。

【关键词】 体外膜肺氧合; 心肺复苏; 心搏骤停; 儿童

【中图分类号】 R 654.1 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1674-3806 (2023) 07-0656-06

doi:10.3969/j.issn.1674-3806.2023.07.04

A clinical analysis of extracorporeal membrane oxygenation-assisted cardiopulmonary resuscitation in treatment of children with cardiac arrest REN Yu-qian, CUI Yun, ZHOU Yi-ping, et al. Department of Critical Care Medicine, Shanghai Children's Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200062, China

【Abstract】 Objective To analyze the clinical effectiveness of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO)-assisted cardiopulmonary resuscitation (CPR) in the treatment of children with cardiac arrest (CA). **Methods** The clinical

data of 8 pediatric patients who were admitted to the Pediatric Intensive Care Unit(PICU) of Shanghai Children's Hospital and received ECMO-assisted CPR treatment due to CA from December 2015 to December 2022 were retrospectively analyzed. These clinical data included primary diseases, pre-CPR Pediatric Sequential Organ Failure Assessment(pSOFA) score and Vasoactive Inotropic Score(VIS), CPR to ECMO diversion time, ECMO placement method, ECMO running time, success rate of ECMO weaning, survival rate at discharge, and laboratory indicators before ECMO diversion and 24 hours after ECMO diversion. **Results** Among the 8 pediatric patients with CA who received ECMO-assisted CPR treatment, 5 cases died and 3 cases survived. The success rate of ECMO weaning and the survival rate at discharge were both 37.50% (3/8). Among the patients with primary diseases, 7 cases suffered from fulminant myocarditis and 1 case suffered from septic shock. Right internal jugular vein/carotid artery dissection was performed in 3 cases, and femoral vein/femoral artery catheterization was performed in 5 cases. The median ECMO running time was 50.50(3.00, 210.00)hours. The shortest interval between CPR and ECMO diversion was 18 minutes and the longest interval was 150 minutes. After diversion, 6 cases received bedside continuous renal replacement therapy(CRRT) adjuvant treatment, and 4 cases underwent left ventricular decompression during operation. ECMO-related complications included bleeding(8 cases), disseminated intravascular coagulation(DIC)(6 cases), hemolysis(3 cases), thrombosis(1 case), limb ischemic necrosis(1 case), and neurological injury(1 case). The levels of serum creatinine(Scr) and serum liver enzymes[including alanine aminotransferase(ALT) and aspartate aminotransferase(AST)] were significantly higher in the pediatric patients 24 hours after ECMO diversion than those in the pediatric patients before ECMO diversion($P<0.05$). The level of lactic acid(Lac) in the survival group was significantly lower than that in the death group 24 hours after ECMO diversion($P<0.05$). **Conclusion** The pediatric patients with ECPR still have a lower survival rate at discharge from the hospital and a high rate of bleeding and coagulation events, and a rapid decrease in Lac level 24 hours after ECMO diversion may indicate a favorable prognosis.

[**Key words**] Extracorporeal membrane oxygenation(ECMO); Cardiopulmonary resuscitation; Cardiac arrest; Children

体外心肺复苏(extracorporeal cardiopulmonary resuscitation,ECPR)的概念于 1972 年提出。1976 年,首次将其作为传统心肺复苏(conventional cardiopulmonary resuscitation,CCPR)无效的心搏骤停(cardiac arrest,CA)患者的挽救性治疗措施。心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation,CPR)期间通过实施体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation,ECMO)技术,可有效保证重要脏器灌注与充足的氧供,为自主循环的恢复提供时间^[1]。成人回顾性研究及荟萃分析研究均显示 ECPR 可显著提高 CA 患者的出院存活率和远期生存率。2019 年美国心脏协会(American Heart Association,AHA)CPR 指南强调,具备 ECMO 技术流程、专业团队和设备的医疗机构,对于存在可逆病因的 CA 患者,可考虑使用 ECPR 技术^[2]。目前国内儿童 ECPR 仍处在探索阶段,临床应用例数有限,抢救成功率不高,影响患儿预后的因素尚不明确。本文收集 2015 年 12 月至 2022 年 12 月上海市儿童医院儿童重症监护室(pediatric intensive care unit,PICU)收治的 8 例 ECPR 患儿的临床资料进行回顾性分析,总结临床特点,为临床提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2015 年 12 月至 2022 年

12 月在上海市儿童医院 PICU 因 CA 接受 ECMO 辅助 CPR 治疗的 8 例患儿的临床资料。纳入患儿均符合 ECMO 辅助 CPR 支持指征:(1)CA 病因可逆;(2)经积极常规 CPR 救治 15 min 未能恢复自主循环或恢复自主循环但血流动力学仍不稳定者^[3]。ECMO 辅助 CPR 支持的排除标准:(1)存在不可逆的严重神经系统损害;(2)无法控制的活动性大出血;(3)终末期肿瘤;(4)存在不能通过手术或其他方式救治的原发性疾病;(5)患儿家属不同意行 ECMO 辅助治疗。8 例患儿中男 2 例,女 6 例,中位年龄 75.40(53.00,143.00)月龄,中位体重 22.00(15.00,43.00)kg。原发疾病:7 例患儿为暴发性心肌炎,1 例为脓毒性休克。8 例患儿均为院内发生 CA,3 例暴发性心肌炎患儿于 ECMO 动静脉置管过程中发生 CA,1 例暴发性心肌炎为外院发生 CA,持续 CPR 112 min 至我院 ECMO 团队到场建立 ECMO。本研究经上海市儿童医院伦理委员会批准(2018R016 F01)。

1.2 临床资料收集 通过医院电子病历系统收集患儿临床资料。(1)一般资料:年龄、性别、体重等;(2)临床观察指标:CA 原因、CPR 前血管活性药物评分(Vasoactive Inotropic Score,VIS)和儿童序贯器官衰竭评估(Pediatric Sequential Organ Failure Assessment,pSOFA)

评分、CPR 至 ECMO 转流时间间隔、初始可电击心律(患者第一个记录在案的节律为心室颤动或无脉性室性心动过速)、运行中并发症;(3)ECMO 相关指标:ECMO 置管方式、置管位置及运行时长;(4)实验室指标:ECMO 转流前和转流 24 h 后 pH 值、乳酸(lactic acid, Lac)与器官功能指标;(5)临床预后:住 PICU 时间及结局等。

1.3 ECPR 方法及管理 CA 患儿经 CPR 及药物救治,持续 15 min 未恢复自主循环,开始启动 ECPR。所有 ECPR 患儿选择静脉-动脉(veno-arterial, VA)ECMO 模式。根据患儿临床情况及血管内径尺寸分别选择经右侧颈内静脉/颈动脉和经股静脉/股动脉插管建立 ECMO。颈动脉及股动脉插管一般由血管外科医师切开置管。颈内静脉及股静脉插管一般由重症医学科医师在床旁超声引导下进行穿刺置管。股动脉插管均建立同侧股动脉远端置管灌注管以保障该侧肢体血供。ECMO 支持的起始流量设置为 80~120 ml/(kg·min),依据患者血氧饱和度、平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)、中心静脉氧饱和度(central venous oxygen saturation, $S_{cv}O_2$)及 Lac 调整 ECMO 血流量。采用静脉肝素泵注全身抗凝,保持活化凝血时间(activated clotting time, ACT)在 180~220 s。ECMO 转流期间,床旁心脏彩色多普勒动态监测心功能。若床旁超声显示心脏出现无效蠕动式收缩、左心房和左心室进行性增大和左心室湍流征,考虑左心膨胀,予放置左心引流管左心减压。每 2~6 h 评估瞳孔大小与对光反射,常规记录患儿生命体征以及 ECMO 运行情况。ECMO 撤离:ECMO 的血流量降至 10~15 ml/(kg·min),气血比 0.8:1~1.5:1,吸入氧体积分数 21%,维持以下指标 1~2 h 以上:(1)正常心率和血压;(2)正常灌注压力[MAP-中心静脉压(central venous pressure, CVP),正常范围为(55+年龄×1.5)mmHg];(3) $S_{cv}O_2 > 65\%$;

(4)心指数(cardiac index, CI)3.3~4.0 L/(min·m²),左心射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF) > 40%~50%;(5)血 Lac < 2.0 mmol/L。

1.4 统计学方法 应用 SPSS22.0 统计软件进行数据处理。计量资料以中位数(最小值,最大值)[M(min, max)]表示,组间比较采用非参数秩和检验。计数资料以例数(百分率)[n(%)]表示,组间比较采用 Fisher 确切概率法。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 CA 患儿 ECMO 相关情况 3 例患儿为右侧颈内静脉/颈动脉外科手术切开置管。5 例为股静脉/股动脉置管,股静脉均采用穿刺置管,股动脉 4 例为切开置管,1 例为穿刺置管(CA 前股动脉已留置导管)。8 例患儿中,CPR 至 ECMO 转流时间最长者为院外 ECMO 转运患儿(150 min);时间最短者为 ECMO 穿刺置管过程中发生 CA 患儿,ECPR 建立时间仅为 18 min。5 例患儿具有初始可电击心律,5 例患儿 ECMO 转流前存在肾损伤。ECMO 运行期间,6 例患儿因肾损伤或液体超载行连续性肾脏替代治疗(continuous renal replacement therapy, CRRT),4 例患儿因左心膨胀行左心减压。ECMO 运行中位时长为 50.50(3.00, 210.00)h。观察 8 例患儿 ECMO 运行期间并发症,包括出血 8 例,弥散性血管内凝血(disseminated intravascular coagulation, DIC)6 例,溶血 3 例,血栓 1 例,神经系统损伤(脑梗死)1 例,股动脉置管侧下肢出现肢端缺血 1 例。ECMO 成功撤离并出院存活 3 例,撤机成功率及出院存活率均为 37.50%(3/8)。住 PICU 时间为 3.50(1.00, 56.00)d。见表 1。出院后 3 个月随访 3 例存活患儿,脑梗死患儿患侧肢体肌力恢复正常,可正常生活;肢端缺血患儿患肢恢复可,无行走障碍,但剧烈运动受限;另 1 例患儿生活正常。

表 1 ECPR 患儿一般临床资料

临床资料	病例 1	病例 2	病例 3	病例 4	病例 5	病例 6	病例 7	病例 8
心搏骤停病因	暴发性心肌炎	暴发性心肌炎	暴发性心肌炎	脓毒性休克	暴发性心肌炎	暴发性心肌炎	暴发性心肌炎	暴发性心肌炎
CPR 前 pSOFA 评分(分)	12	15	6	16	11	10	10	12
CPR 前 VIS(分)	215	400	200	400	400	25	105	215
CPR 至 ECMO 转流时间间隔(min)	80	150	90	33	50	18	47	40
初始可电击心律	否	是	是	否	是	否	是	是
转流前肾损伤	是	是	否	是	否	否	是	是
ECMO 置管方式	切开	穿刺+切开	切开	切开	穿刺+切开	穿刺	穿刺+切开	穿刺+切开
ECMO 置管位置	右侧颈内静脉/颈动脉	右侧股动脉/左侧股静脉	右侧颈内静脉/颈动脉	右侧颈内静脉/颈动脉	左侧股动脉/右侧股静脉	左侧股动脉/右侧股静脉	左侧股动脉/右侧股静脉	左侧股动脉/右侧股静脉

续表 1

临床资料	病例 1	病例 2	病例 3	病例 4	病例 5	病例 6	病例 7	病例 8
启动后支持治疗								
CRRT	否	是	否	是	是	是	是	是
左心减压	否	是	是	否	否	是	是	否
并发症								
出血	是	是	是	是	是	是	是	是
DIC	是	是	是	是	否	否	是	是
溶血	—	是	否	否	否	是	是	否
血栓	—	否	否	否	否	是	否	否
神经系统损伤	—	否	否	否	否	是	否	否
肢端缺血	—	否	否	否	否	否	是	否
ECMO 成功撤离	否	否	否	否	否	是	是	是
预后	死亡	死亡	死亡	死亡	死亡	存活	存活	存活
ECMO 运行时长 (h)	3	67	30	26	34	210	186	210
住 PICU 时长 (d)	1	3	2	3	4	13	56	27

注：— 表示因运行时间短(3 h),未观察到

2.2 ECMR 患儿转流前和转流 24 h 后实验室指标变化比较 患儿转流 24 h 后出现纤维蛋白原(fibrinogen, Fib)显著降低($P < 0.05$),肌酐(serum creatinine, Scr)显著上升($P < 0.05$),伴有肝酶显著升高($P < 0.05$)。血 pH 值、Lac 及 $S_{cv}O_2$ 在转流前后比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 2。

表 2 8 例 ECMR 患儿转流前和转流 24 h 后实验室指标变化比较[M(min, max)]

指 标	转流前	转流 24 h 后	Z	P
血 pH 值	7.05 (6.80, 7.32)	7.25 (6.80, 7.42)	1.102	0.270
Lac (mmol/L)	14.30 (4.50, 29.00)	15.00 (0.80, 15.00)	0.732	0.464
$S_{cv}O_2$ (%)	22.50 (6.00, 42.00)	35.00 (21.00, 81.00)	1.855	0.064
Fib (g/L)	2.21 (0.92, 3.80)	0.75 (0.66, 2.86)	2.317	0.021
BUN (mmol/L)	11.30 (6.60, 21.40)	12.50 (6.60, 17.40)	0.290	0.772
Scr (μmol/L)	73.50 (41.00, 108.00)	142.00 (53.00, 229.00)	2.548	0.011
TBIL (μmol/L)	11.57 (4.17, 51.35)	29.74 (8.85, 41.28)	1.725	0.085
ALT (U/L)	36.00 (13.00, 592.00)	2204.00 (259.00, 4294.00)	2.878	0.004
AST (U/L)	321.00 (32.00, 792.00)	6340.00 (933.00, 7659.00)	3.144	0.002

注：pH 为酸碱度；尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)；总胆红素(total bilirubin, TBIL)；谷丙转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)；谷草转氨酶(aspartate aminotransferase, AST)

2.3 存活组和死亡组 ECMO 转流前和转流 24 h 后血 pH 值和 Lac 水平比较 按预后分为存活组和死亡

组,因为病例 1 的 ECMO 运行时间只有 3 h,所以死亡组只有 4 例转流 24 h 后的 pH 和 Lac 数据。与死亡组患儿比较,存活组患儿 ECMO 转流 24 h 后 Lac 水平显著下降($P < 0.05$)。见表 3。

表 3 存活组和死亡组 ECMO 转流前和转流 24 h 后血 pH 值和 Lac 水平比较[M(min, max)]

组 别	转流前 血 pH	转流前 Lac (mmol/L)	转流 24 h 后 血 pH	转流 24 h 后 Lac (mmol/L)
存活组	7.26 (7.14, 7.32)	9.50 (4.50, 13.60)	7.33 (7.32, 7.42)	1.00 (0.80, 4.00)
死亡组	6.85 (6.80, 7.19)	15.00 (10.90, 29.00)	6.97 (6.80, 7.25)	15.00 (15.00, 15.00)
P	0.071	0.089	0.057	0.029

3 讨论

3.1 在美国,每年有超过 15 000 例儿童住院期间因发生 CA 需要 CPR^[4],其中 PICU 住院患儿中 1.8% 发生院内心脏骤停(in-hospital cardiac arrest, IHCA),且心源性疾病发生率更高^[5]。近 20 年来,随着 ECMR 技术的发展,儿童 IHCA 的出院存活率由 9% ~ 13.7%^[6]提升到 35% ~ 50%^[7-8]。国际体外生命支持组织(Extracorporeal Life Support Organization, ELSO)报告,截至 2023 年 4 月,ELSO 登记 ECMR 儿童 6 729 例,出院存活率为 41%^[9]。Lasa 等^[10]分析了美国心脏协会获取指南-复苏登记处 2000—2011 年连续 12 年院内 CPR 持续时间 ≥ 10 min 患儿的临床数据,结果显示,3 756 例患儿中 84% 采用 CCPR,16% 采用 ECMR;CCPR 组出院存活率为 27%,18% 患儿神经系统预后良好;ECMR 组出院存活率为 40%,27% 神经系统预后良好。与 CCPR

相比,ECPR 的出院存活率和良好神经系统预后的比例更高。本组研究结果显示 ECPR 患儿的出院存活率为 37.50%,与既往研究报道相似。

3.2 有研究指出,CPR 至 ECMO 转流时间又称为低血流时间,是影响 CA 患者预后的重要因素。CCPR 只能提供正常心输出量的 25%~33%,随着 CPR 时间延长,CPR 患者自主循环恢复的可能性降低^[11]。在现有观察性研究中,发生 CA 到 ECPR 建立成功时间间隔越短,患者生存率越高,从 CPR 开始到 ECMO 建立时间每增加 5 min,病死率增加 4%^[12],且 ECPR 建立时间与神经功能预后密切相关^[13]。来自法国的一项研究显示,CCPR 20 min 后仍不能恢复自主循环者开始 ECPR 较 30 min 后开始实施 ECPR 组患者生存率明显升高^[14]。Reynolds 等^[15]多中心队列研究显示,经过 9~21 min 高质量 CCPR 后实施 ECPR 的患者,其神经功能预后最好。综上,实施 ECPR 的理想时间是进行 CCPR 20 min 以内,若 CA 患者通过 CCPR 恢复自主循环的可能性较低,则需要在 10~15 min 内完成是否进行 ECPR 的临床决策^[16]。本研究显示存活患儿 CPR 至 ECMO 转流时间间隔相对较短,且提前留置动静脉管路节约 ECPR 建立时间,可能是预后良好的因素。尽管如此,复苏团队的协作能力和患者的自身因素存在差异,难治性 CA 患者启动 ECPR 的最佳时机尚无明确定义。

3.3 本研究显示,ECMO 转流 24 h 后患儿的 Scr 水平较转流前明显上升,差异有统计学意义($P<0.05$),提示 ECMO 运行后易并发肾损伤。据报道,ECMO 并发急性肾损伤(acute kidney injury,AKI)的发生率为 26%~85%^[17],且在 VA-ECMO 中比静脉-静脉(venovenous, VV)-ECMO 更常见(61% vs 46%)^[18]。发生 AKI 的高危因素可能与 ECPR 前血流灌注差,缺血再灌注损伤,活性氧的产生,以及 VA-ECMO 期间平流损害肾皮质血流并上调肾素-血管紧张素-醛固酮系统,从而诱导全身血管收缩有关^[19]。

3.4 目前关于儿童 ECPR 预后影响因素的研究较少。一项关于儿童 ECPR 生存预测因素的系统评价和荟萃分析结果显示,在开始 ECPR 之前,Lac 水平的增加与死亡率的相关性最高,其次是 pH 值下降^[20]。Lac 作为一种无氧代谢产物,已被证实是反映组织灌注的可靠指标,合并代谢性酸中毒最终导致多器官功能衰竭,死亡风险增加。启动前血 pH 值 <6.60 和 Lac >18 mmol/L 是强烈降低启动 ECPR 可能性的因素^[21]。国内成人 ECPR 研究结果显示,生存组的起始 Lac 值及 ECPR 后 6 h、12 h 的 Lac 值均低于死亡组^[22]。本

组研究纳入患儿 ECMO 转流 24 h 后血 pH、Lac 水平较转流前无明显差异,但存活组转流 24 h Lac 水平显著下降($P<0.05$),提示转流 24 h 后 Lac 水平显著下降可能提示预后良好。

儿童 IHCA 死亡率高,早期识别风险、提供高质量 CPR 并及时行 ECPR 治疗可以最大限度地增加获得良好预后的机会。但目前关于 ECPR 的运用仍面临着诸多挑战,如何选择合适的病例、合适的时机(从 CPR 至 ECMO 转流的时间)、稳定器官功能和评估预后仍不明确。本研究为单中心小样本回顾性分析,研究结果有一定的局限性,亟需开展多中心、大样本的前瞻性随机对照研究,获得我国儿童 ECPR 高质量证据的临床实践方案。

参考文献

- [1] Abrams D, MacLaren G, Lorusso R, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adults: evidence and implications[J]. *Intensive Care Med*, 2022,48(1):1-15.
- [2] Soar J, Maconochie I, Wyckoff MH, et al. 2019 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations: summary from the Basic Life Support; Advanced Life Support; Pediatric Life Support; Neonatal Life Support; Education, Implementation, and Teams; and First Aid Task Forces[J]. *Circulation*, 2019,140(24):e826-e880.
- [3] Kane DA, Thiagarajan RR, Wypij D, et al. Rapid-response extracorporeal membrane oxygenation to support cardiopulmonary resuscitation in children with cardiac disease[J]. *Circulation*, 2010,122(11 Suppl):S241-S248.
- [4] Morgan RW, Kirschen MP, Kilbaugh TJ, et al. Pediatric in-hospital cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation in the United States: a review[J]. *JAMA Pediatr*, 2021,175(3):293-302.
- [5] Berg RA, Nadkarni VM, Clark AE, et al. Incidence and outcomes of cardiopulmonary resuscitation in PICUs[J]. *Crit Care Med*, 2016,44(4):798-808.
- [6] Slonim AD, Patel KM, Ruttimann UE, et al. Cardiopulmonary resuscitation in pediatric intensive care units[J]. *Crit Care Med*, 1997,25(12):1951-1955.
- [7] Rice-Townsend SE, Brogan TV, DiGeronimo RJ, et al. Characteristics of pediatric non-cardiac eCPR programs in United States and Canadian hospitals: a cross-sectional survey[J]. *J Pediatr Surg*, 2022,57(12):892-895.
- [8] Holmberg MJ, Wiberg S, Ross CE, et al. Trends in survival after pediatric in-hospital cardiac arrest in the United States[J]. *Circulation*, 2019,140(17):1398-1408.
- [9] Extracorporeal Life Support Organization. ECLS Registry Report, International Summary[EB/OL]. [2023-07-01]. <https://www.elso.org/Resources/Guidelines.Asp>.
- [10] Lasa JJ, Rogers RS, Localio R, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (E-CPR) during pediatric in-hospital cardiopulmonary arrest is associated with improved survival to discharge: a report from

the American Heart Association’s Get With the Guidelines—Resuscitation (GWTG-R) registry[J]. *Circulation*, 2016,133(2):165 – 176.

[11] Yu HY, Wang CH, Chi NH, et al. Effect of interplay between age and low-flow duration on neurologic outcomes of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation[J]. *Intensive Care Med*, 2019,45(1): 44 – 54.

[12] 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.

[13] Bartos JA, Grunau B, Carlson C, et al. Improved survival with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation despite progressive metabolic derangement associated with prolonged resuscitation[J]. *Circulation*, 2020,141(11):877 – 886.

[14] Lamhaut L, Hutin A, Puymirat E, et al. A pre-hospital extracorporeal cardio pulmonary resuscitation (ECPR) strategy for treatment of refractory out hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis[J]. *Resuscitation*, 2017,117:109 – 117.

[15] Reynolds JC, Grunau BE, Elmer J, et al. Prevalence, natural history, and time-dependent outcomes of a multi-center North American cohort of out-of-hospital cardiac arrest extracorporeal CPR candidates [J]. *Resuscitation*, 2017,117:24 – 31.

[16] Han SJ, Kim HS, Choi HH, et al. Predictors of survival following extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in patients with acute my-

ocardial infarction-complicated refractory cardiac arrest in the emergency department: a retrospective study[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2015,10:23.

[17] Ostermann M, Lumlertgul N. Acute kidney injury in ECMO patients [J]. *Crit Care*, 2021,25(1):313.

[18] Thongprayoon C, Cheungpasitporn W, Lertjitbanjong P, et al. Incidence and impact of acute kidney injury in patients receiving extracorporeal membrane oxygenation: a meta-analysis[J]. *J Clin Med*, 2019,8(7):981.

[19] Kilburn DJ, Shekar K, Fraser JF. The complex relationship of extracorporeal membrane oxygenation and acute kidney injury: causation or association? [J]. *Biomed Res Int*, 2016,2016:1094296.

[20] Sood N, Sangari A, Goyal A, et al. Predictors of survival for pediatric extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: a systematic review and meta-analysis[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2022,101(39):e30860.

[21] Nguyen DA, De Mul A, Hoskote AU, et al. Factors associated with initiation of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in the pediatric population: an international survey[J]. *ASAIO J*, 2022,68(3):413 – 418.

[22] 谭奕东. 体外心肺复苏在成人心脏骤停中的应用[J]. *中国临床新医学*, 2021,14(5):446 – 449.

[收稿日期 2023 – 07 – 03] [本文编辑 吕文娟 余 军]

本文引用格式

任玉倩,崔 云,周益平,等. 体外膜肺氧合辅助心肺复苏治疗儿童心搏骤停临床效果分析[J]. *中国临床新医学*, 2023,16(7):656 – 661.