

· 论 著 ·

DOI: 10.13498/j.cnki.chin.j.ecc.2021.05.03

## 新生儿微小化心肺转流策略的临床应用

吴柯叶, 孟保英, 周 星, 张设设, 张 程, 丁以群

**[摘要]:**目的 总结新生儿心脏直视手术中微小化心肺转流(CPB)管理策略,并探讨其临床可行性和有效性。方法 回顾性分析 2015 年 5 月至 2020 年 10 月于本中心行 CPB 下心脏直视手术的新生儿(年龄 $\leq 28$ 天)共 243 例,包括传统 CPB 组( $n=55$ )和微小化 CPB 组( $n=188$ ),进一步分为传统超滤组( $n=55$ )、微小化非超滤组( $n=63$ )和微小化超滤组( $n=125$ ),比较三组预充量、无血预充率、超快通道率、红细胞压积(HCT)、术后机械通气时间、ICU 时长及住院时长等指标。评价序贯疗法的效果时分为序贯疗法组( $n=36$ )和非序贯疗法组( $n=60$ ),比较两组术后 12 h 和 24 h 胸引量。结果 微小化 CPB 组的 ICU 时长明显短于传统 CPB 组( $P < 0.05$ ),多因素模型发现微小化 CPB 与高无血预充率独立相关( $P < 0.05$ ),但两组其他指标的差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。与传统超滤组相比,微小化非超滤组患儿尿量明显更高( $P < 0.05$ ),但两组在其他指标方面差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。采用序贯疗法的患儿 12 h 和 24 h 胸引量均明显低于未采用序贯疗法的患儿( $P < 0.05$ ),且分别在 3 种手术方式中作亚组分析发现结果相似。结论 新生儿微小化 CPB 策略具有可行性,可以减少临床用血、缩短 ICU 时长,且序贯疗法可以显著降低复杂性手术患儿术后出血量,改善临床结局。

**[关键词]:** 微小化心肺转流;新生儿;心脏直视手术;超滤;目标导向灌注;序贯疗法

### Clinical application of miniaturized cardiopulmonary bypass strategy in neonatal open heart surgery

Wu Keye, Meng Baoying, Zhou Xing, Zhang Sheshe, Zhang Cheng, Ding Yiqun

Department of Cardiothoracic Surgery, Shenzhen Children's Hospital, Shenzhen 518038, China

Corresponding author: Meng Baoying, Email: szmengbaoying@163.com

**[Abstract]: Objective** To summarize the miniaturized cardiopulmonary bypass (CPB) strategy in neonatal open heart surgery, and to explore its clinical feasibility and effectiveness. **Methods** We retrospectively analyzed the data of 243 neonates (age $\leq 28$  days) who underwent open heart surgery from May 2015 to October 2020. Patients were divided into conventional CPB group ( $n=55$ ) and miniaturized CPB group ( $n=188$ ). Priming volume, bloodless priming rate, ultra-fast track rate, hematocrit, mechanical ventilation time and length of ICU stay after surgery were collected. When evaluating the effect of sequential therapy, they were divided into sequential therapy group ( $n=36$ ) and non-sequential therapy group ( $n=60$ ). The chest tube output (CTO) at 12h and 24h postoperatively were compared between the two groups. **Results** The length of ICU stay in the miniaturized CPB group was significantly shorter than that in the conventional CPB group ( $P < 0.05$ ). We found that miniaturized CPB was independently correlated with high bloodless priming rate ( $P < 0.05$ ) in the multivariate models. The urine volume in the ultrafiltration group was significantly lower than that in the non-ultrafiltration group ( $P < 0.05$ ). The 12h and 24h CTO of children who received sequential therapy was significantly lower than that in non-sequential therapy group ( $P < 0.05$ ), and the results were similar in subgroup analysis in the three surgical methods. **Conclusion** The neonatal miniaturized CPB strategy is feasible, which can reduce the use of blood and shorten the length of ICU stay, and sequential therapy can significantly reduce postoperative bleeding in children with complex surgery and improve their clinical outcomes.

**[Key words]:** Miniaturized cardiopulmonary bypass; Neonate; Open heart surgery; Ultrafiltration; Arget-directed flow perfusion; Sequential therapy

**基金项目:** 深圳市医疗卫生三名工程项目(SZSM201612003);  
深圳市医学重点学科建设经费资助(SZ XK036);深圳市科  
委基础研究面上项目(JCYJ20190809170811489)  
**作者单位:** 518038 深圳,深圳市儿童医院胸心外科  
**通信作者:** 孟保英,Email:szmengbaoying@163.com

随着心肺转流(cardiopulmonary bypass, CPB)、外科及术后监护技术的不断发展,先天性心脏病直视手术逐渐出现低龄及低体重化的趋势,同时对 CPB 技术提出了更高的要求<sup>[1]</sup>。目前儿科 CPB 策略大多源自成人 CPB 经验,尤其新生儿 CPB 缺乏统

一、规范的管理方法<sup>[2]</sup>。本文拟通过描述和比较本中心心脏直视手术中新生儿微小化 CPB 管理策略,为改善术后临床结局、减少血制品的使用提供依据。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 回顾性分析 2015 年 5 月至 2020 年 10 月于本中心行 CPB 下心脏直视手术的新生儿(年龄 $\leq 28$ 天)共 243 例,其中男 143 例(58.9%),女 100 例(41.2%);平均年龄(11.8 $\pm$ 7.6)d,平均体重(3.2 $\pm$ 0.6)kg。术中使用的 CPB 策略包括传统组(n=55)和微小化组(n=188);为评价微小化 CPB 中选择性不使用超滤的效果,进一步分为传统超滤组(n=55)、微小化非超滤组(n=63)和微小化超滤组(n=125)进行结局比较;序贯疗法仅在主动脉缩窄(coarctation of aorta, COA)矫治术、大动脉调转术(arterial switch operation, ASO)和主动脉弓离断(interrupted aortic arch, IAA)矫治术中使用,CPB 微小化组中行此三种手术的新生儿共 96 人,分为序贯疗法组(n=36)和非序贯疗法组(n=60);再根据手术种类的不同,分别在三种手术中作亚组分析。

**1.2 CPB 策略** 患儿均使用 Stokert-S5 型(Munich, Germany)人工心肺机,选用 FX05(Terumo Corp, Tokyo, Japan)或 Micro/VKMO11000(Maquet, Rastatt, Germany)氧合器。CPB 中灌注压力维持在 30~50 mmHg,在足够的灌注流量下,如果灌注压力始终低于 30 mmHg,则给予去氧肾上腺素。主动脉阻断后,以 20 ml/kg 的单次剂量给予改良 St.Thomas 心脏停搏液,若主动脉阻断时间超过 60 min,则加灌一次,剂量同前。

**传统 CPB 策略:**2016 年之前采用传统 CPB 策略;静脉储血罐的高度在手术台下方 20~30 cm;所有管道内径均为 1/4 英寸,管道长 300 cm,预充量 300 ml;预充液常规使用乳酸林格液、红细胞悬液(1~1.5 U)、50 ml 新鲜冰冻血浆或 50 ml 人白蛋白,预充药物包括乌司他丁(10 000 IU/kg)、肝素(2 500 IU)和呋塞米(速尿)(注射 1 mg/kg,最大 10 mg/次);此外,新生儿均采用改良超滤。

**微小化 CPB 策略:**本中心自 2016 年 12 月起应用微小化 CPB 管路,策略的具体内容如下:①静脉储血罐的高度与手术台高度相等,泵头悬挂、尽量靠近手术台;②平面报警贴片贴于氧合器液面标志的 25~30 ml 处,保证开机前储血罐内液平面几乎为零;③ CPB 管道长 110 cm,新生儿 CPB 管路中的主泵管、动、静脉管路及左心引流管内径均为 3/16 英寸,预充量 80 ml,其中使用自体血逆预充技术(retrograde autologous priming, RAP)时预充量为 65 ml;

④使用负压辅助静脉引流装置(vacuum assisted venous drainage, VAVD),维持压力 $\leq -25$  mmHg;⑤预充液采用复方电解质溶液(Baxter healthcare Corp, Shanghai, China),预充药物为乌司他丁(10 000 IU/kg)和肝素(1 500~2 000 IU),当术前红细胞压积(hematocrit, HCT)低于 0.38 时,预充 0.5 U 的红细胞;⑥在手术消毒切口前静脉推入呋塞米注射液 1 mg/kg(最大 5 mg/次),CPB 管路中不常规接入超滤器,仅在以下情况下选择性使用超滤:手术时间短、术中术野吸回大量晶体液或利尿效果不满意,导致停机前贮血器液平面较高,则临时加装常规超滤器;患儿术前存在严重心功能衰竭导致严重水钠潴留,或 CPB 结束后需要输注血小板、冷沉淀等则使用改良超滤;⑦采用目标导向灌注,灌注师通过监测患者脑氧饱和度、混合静脉氧饱和度、有创动脉血压和乳酸等来确定灌注时最合适的流量;⑧应用序贯疗法:停 CPB 后即刻由外周静脉快速输注血小板(0.5 U/kg),同时进行改良超滤,血小板输注结束后停改良超滤,予以鱼精蛋白中和,依次输注冷沉淀(1 U)、纤维蛋白原(0.2 g)、凝血酶原复合物(100~150 U)。根据医院血小板的配备和供给情况决定是否进行序贯治疗,即能匹配到合适的血小板即采用序贯疗法。⑨温度管理:手术前对手术室和手术台进行预热,使其温度保持在 30℃左右;注意在麻醉期间保持患儿体温;在 CPB 前保持预充液的温度;CPB 中缩短超滤时间或在超滤过程中予以血液保温,防止体温下降;主动脉开放后保持室温在 30℃左右,手术台使用温毯持续保温,提前加热转运辐射台,防止停机后核心温度下降,保持核心温度不低于 36℃;⑩超快通道临床应用。

**1.3 麻醉管理** 患儿手术由同一麻醉及外科医生团队完成,均采用静吸复合麻醉,气管插管和机械辅助通气。患儿术前出现心功能衰竭或伴有肺部疾病或其它遗传代谢病,则采用常规心脏麻醉;其余患儿均采用超快通道麻醉。超快通道麻醉方案为:静脉注射咪达唑仑 0.1 mg/kg、舒芬太尼 1  $\mu$ g/kg、丙泊酚 1.5 mg/kg、顺阿曲库铵 0.3 mg/kg 诱导,术中持续给予瑞芬太尼及右美托咪啶泵注,并吸入七氟烷维持麻醉。患儿均采用胸骨正中切口,肝素化后(400 U/kg),待 ACT 达到 480 s 时开始 CPB。超快通道是指在手术室内拔除气管插管;对实行超快通道麻醉的患儿,根据术后血气和麻醉机呼吸参数进行评估是否实施超快通道。

**1.4 资料收集** 观察指标包括一般临床资料、CPB

预充量、术中尿量、无血预充率、入 ICU 即刻动脉血气分析指标、术后机械通气时长、超快通道率、超滤使用率、血制品输注情况、12 h 及 24 h 胸液引流量、术后 ICU 时长、住院时长及院内死亡率等。

**1.5 统计学分析** 采用 Stata 12.1 统计软件进行数据统计分析,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义, 所有检验均采用双侧检验。计量资料采用均数  $\pm$  标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 或中位数和四分位间距 [Q(Q1, Q3)] 表示, 两组之间比较采用  $t$  检验或 Wilcoxon 秩和检验; 计数资料采用频数和百分比 [n(%)] 表示, 组间比较采用卡方检验 ( $\chi^2$ ) 或 Fisher 确切概率法。

为了确定 CPB 策略与手术结局的相关性, 构建多因素回归模型调整了患者的性别、手术年龄、术前体重、术前肺炎、术前机械通气、手术复杂度评分、CPB 时间、主动脉阻断时间和手术时长, 分类性结局指标采用多因素 logistic 回归模型, 连续性结局指标采用多因素线性回归模型进行分析。

**2 结果**

**2.1 一般情况** CPB 传统组和微小化组策略下, 两组患儿的性别、手术年龄、术前体重、术前是否肺炎、术前有无机械通气、手术复杂度评分、主动脉阻断时

间及手术时长的差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。传统组的 CPB 时间明显短于微小化组 ( $P < 0.05$ ), 见表 1。

**2.2 传统组和微小化组策略的结局指标比较** 微小化组 ICU 时长明显短于传统组 ( $P = 0.007$ ); 传统组新生儿全部实施改良超滤, 微小化组的患儿的超滤率明显低于传统组 ( $P < 0.001$ ); 两组在无血预充率、术后 HCT、超快通道率、术后机械通气时长、再插管率和住院时长方面差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见表 2。

**2.3 两种 CPB 策略对手术结局的影响分析** CPB 策略仅与患儿无血预充率显著相关 ( $P = 0.035$ ), 即微小化组与无血预充率高独立相关; 但是在超快通道、再插管、院内死亡、术后机械通气时长、ICU 时长和住院时长等两组间差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 见表 3 和表 4。

**2.4 超滤组和非超滤组的结局比较** 与传统超滤组相比, 微小化非超滤组患儿尿量明显更高 ( $P = 0.017$ ); 两组在其他指标如无血预充率、术后 HCT、超快通道率、术后机械通气时长、ICU 时长、住院时长方面差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。与微小化非超滤组相比, 微小化超滤组患儿尿量明显更少 ( $P <$

表 1 两组患儿的一般情况比较

项目	传统组 (n=55)	微小化组 (n=188)	P 值
男性 [n(%)]	27(49.1)	116(61.7)	0.095
年龄 (d)	10(7, 17)	10(5.5, 18)	0.596
体重 (kg)	3.2 $\pm$ 0.5	3.1 $\pm$ 0.6	0.335
术前肺炎 [n(%)]	11(20.0)	30(16.0)	0.481
术前机械通气 [n(%)]	18(32.7)	42(22.3)	0.116
手术复杂度评分 $\geq 3$ 分 [n(%)]	32(58.2)	123(65.4)	0.326
心肺转流时间 (min)	86.5 $\pm$ 34.3	110.4 $\pm$ 55.0	0.003
主动脉阻断时间 (min)	41(28, 53)	48(32, 62)	0.068
手术时长 (min)	150(130, 180)	170(146, 210)	0.133

表 2 两组患儿的结局指标比较

项目	传统组 (n=55)	微小化组 (n=188)	P 值
无血预充率 (%)	29.1	43.0	0.064
术后红细胞压积	0.380 $\pm$ 0.057	0.364 $\pm$ 0.062	0.095
超快通道率 (%)	10.9	12.2	0.790
术后机械通气时长 (h)	39.2(17.0, 65.3)	26.7(17.8, 64.5)	0.714
再插管率 (%)	3.6	7.5	0.316
超滤 [n(%)]	55(100.0)	125(66.5)	<0.001
ICU 时长 (d)	4.9(3.0, 7.9)	3.9(2.8, 4.9)	0.007
住院时长 (d)	10(8, 13)	10(8, 15)	0.557

表 3 CPB 策略对分类性结局指标的影响分析

分类性结局指标	优势比(OR)	95%置信区间(CI)	P 值
无血预充	2.24	1.06~4.72	0.035
超快通道	0.85	0.28~2.57	0.780
再插管	1.73	0.35~8.49	0.500
院内死亡	1.20	0.13~11.09	0.872

表 4 CPB 策略对连续性结局指标的影响分析

连续性结局指标	$\beta$ 值	<i>t</i> 值	P 值
术后机械通气时长	9.05	0.97	0.332
ICU 时长	0.89	0.98	0.326
住院时长	-1.18	-0.87	0.383

0.001), ICU 和住院时间明显更长( $P < 0.05$ )。见表 5。

**2.5 序贯疗法的效果分析** 采用序贯疗法的患儿 12 h 和 24 h 胸引量明显低于未采用序贯疗法的患儿( $P < 0.05$ );对 3 种手术方式做亚组分析,采用序

贯疗法的患儿 12 h 和 24 h 胸引量均明显低于非序贯疗法者( $P < 0.05$ )。见表 6。

### 3 讨论

相较于成人 CPB, 儿童管路的预充量占自身血容量比例更大, 容易导致血液稀释和组织水肿, 而在新生儿心脏手术中表现则更为明显<sup>[3]</sup>, 因其各器官系统发育尚不成熟, 对血液稀释和组织水肿的耐受性较差, 进而导致血液携氧能力下降和术后出血; 与此同时, 新生儿的心脏手术往往更加复杂, 手术时间相对较长, 因此新生儿在 CPB 下行心脏手术更容易发生不良结局<sup>[4]</sup>。为了应对这一问题, 有研究者提出应用超滤或输血等措施, 然而这些措施也存在一些潜在的缺点<sup>[5]</sup>; 应用超滤会增加 CPB 的预充量, 以及血液与非内皮材料的接触面积, 从而增加血液稀释和炎症反应的程度; 库存血液的输注同样可能会引发一系列炎症反应, 增加器官功能障碍、术后早期发热和过敏的风险, 影响患儿预后<sup>[6-7]</sup>。也有研

表 5 超滤组和微小化非超滤组结局的比较

项目	传统超滤组(n=55)	微小化非超滤组(n=63)	P 值*	微小化超滤组(n=125)	P 值#
尿量(ml)	50(20,100)	80(50,100)	0.017	20(5,60)	<0.001
无血预充率(%)	29.1	34.9	0.499	47.2	0.111
术后红细胞压积	0.380±0.057	0.364±0.059	0.139	0.364±0.063	0.971
超快通道率(%)	10.9	12.7	0.764	11.2	0.763
术后机械通气时长(h)	39.2(17.0,65.3)	24.2(6.7,46.0)	0.241	27.1(19.3,66.2)	0.236
ICU 时长(d)	3.9(2.8,4.9)	3.9(2.9,5.8)	0.489	5.1(3.8,8.7)	0.012
住院时长(d)	10(8,13)	8.5(7,12)	0.161	12(9,15)	0.001

注: \* 为传统超滤组与微小化非超滤组比较; # 为微小化超滤组与微小化非超滤组比较

表 6 两组患儿术后胸引量的比较

项目	序贯疗法(n=36)	非序贯疗法(n=60)	P 值
总			
12 h 胸引量(ml)	19(13,25)	30(22,50)	<0.001
24 h 胸引量(ml)	31(23,40)	52(35,70)	<0.001
COA 矫治术(n=58)			
12 h 胸引量(ml)	20(15,28)	27(20,40)	0.036
24 h 胸引量(ml)	38(30,42)	46(35,70)	0.049
ASO(n=25)			
12 h 胸引量(ml)	16(10,20)	35(25,48)	0.006
24 h 胸引量(ml)	26(18,35)	49(39,60)	0.023
IAA 矫治术(n=13)			
12 h 胸引量(ml)	25(13,25)	66(35,95)	0.018
24 h 胸引量(ml)	32(23,38)	74(45,114)	0.023

注: COA: 主动脉缩窄; ASO: 大动脉调转术; IAA: 主动脉弓离断

究<sup>[8]</sup>报道输血会增加严重并发症的风险,且与输血相关的急性肺损伤会增加术后机械通气时间,是造成发病和死亡的主要原因之一。因此近年来也有很多学者提出了多种 CPB 节血策略<sup>[9]</sup>。

本中心自 2016 年起应用微小化 CPB 及 RAP 技术,将新生儿预充量降至 65 ml,且逐步形成了一套具有特色的微小化 CPB 策略<sup>[10]</sup>。本研究结果证实了微小化 CPB 策略与无血预充率独立相关,说明微小化管路及选择性使用超滤能显著降低红细胞预充量,大大减少了新生儿心脏直视手术中血液制品的使用;与传统的 CPB 系统相比,微小化 CPB 系统在减少预充量方面表现出了显著的优势。

术后机械通气时间延长与呼吸机相关性肺炎、ICU 和住院时间以及住院费用的增加紧密相关,且新生儿群体更容易发生延迟拔管或拔管失败的情况<sup>[11]</sup>。在本中心,新生儿中同样实行围术期快速通道麻醉策略,尽早拔管以减少机械通气时间。本研究中,微小化组患儿的术后机械通气时长(26.7 h)略低于传统组患儿(39.2 h),但统计学分析发现差异无统计学意义,说明微小化 CPB 策略在新生儿的应用并不能显著减少患儿术后机械通气时长。然而,相比于传统组 CPB 策略下患儿(4.9 d),微小化组 CPB 策略下新生儿的术后 ICU 滞留时长(3.9 d)显著降低。

本中心实行微小化组 CPB 中选择性使用超滤<sup>[12]</sup>,本研究中,微小化组 CPB 策略下有 33.5% 的新生儿未使用超滤,这部分患儿的尿量(80 ml)明显高于传统组 CPB 策略下超滤的患儿(50 ml),然而其他结局指标未发现明显差异。说明部分新生儿 CPB 手术在微小化 CPB 策略下也可以实现不超滤;这种基于微小化 CPB 的选择性不使用超滤的策略不会延长术后机械通气时长、术后 ICU 停留时长和住院时长。

术后出血与不良事件的增加紧密相关,如透析、体外膜氧合支持等<sup>[5]</sup>。新生儿凝血系统发育不成熟,出生后易出现维生素 K1 依赖的凝血因子缺乏,易导致术后出血;且新生儿 CPB 预充量较大,导致血液稀释后凝血因子浓度的稀释,同时新生儿心脏手术的时间较长等原因也更易导致术后出血<sup>[13]</sup>。有研究者提出:输注红细胞、血小板、冷沉淀和凝血因子是目前恢复止血平衡的标准护理<sup>[14]</sup>,然而,对于心肺储备能力有限的幼儿,往往无法耐受短时间内大量输入血制品<sup>[15]</sup>。本研究中,在出血量较大的 COA 矫治术、ASO 和 IAA 矫治术三种复杂性手术过程中,序贯性输注血小板、冷沉淀或纤维蛋白原,术后注意体温管理,维持核心温度不低于 36℃,结果显

示术后胸引量明显低于非序贯疗法的患儿,三种手术分别比较也有相似的结果,故充分说明序贯疗法能显著降低 COA 矫治术、ASO 和 IAA 矫治术患儿的术后出血量、改善患儿凝血功能,且不会在短时间内造成较大的容量负担。

近年来,目标导向灌注的概念逐渐引入儿科 CPB 中,有研究已证实目标导向灌注在减少心脏手术相关急性肾损伤的发生率方面是有效的<sup>[16]</sup>。本团队微小化 CPB 策略中实施了目标导向灌注,通过监测脑氧饱和度、混合静脉氧饱和度、有创动脉血压和乳酸等指标,为每个患者制定个性化的 CPB 策略<sup>[17]</sup>。然而,目前目标导向灌注的概念仅用于 CPB 的操作、监测与管理过程中,并未具体评价目标导向灌注对患儿各器官功能的影响及术后康复的作用。

综上所述,本中心新生儿微小化 CPB 策略主要包括缩短 CPB 管路、选择性不使用超滤、体温管理、目标导向灌注及序贯疗法。微小化 CPB 策略可以减少临床用血、缩短 ICU 时长、不延长术后机械通气时长和住院时长,且序贯疗法可以显著降低复杂心脏手术患儿术后出血量,改善临床结局。期待目标导向灌注对新生儿术后康复作用的评价研究,从而为每个新生儿实现真正的个性化 CPB 管理。

#### 参考文献:

- [1] Bojan M. Recent achievements and future developments in neonatal cardiopulmonary bypass [J]. *Paediatr Anaesth*, 2019, 29(5): 414-425.
- [2] Medikonda R, Ong CS, Wadia R, *et al*. Trends and updates on cardiopulmonary bypass setup in pediatric cardiac surgery [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2019, 33(10): 2804-2813.
- [3] Mejak BL, Lawson DS, Ing RJ. Con: modified ultrafiltration in pediatric cardiac surgery is no longer necessary [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2019, 33(3): 870-872.
- [4] Costa ACBA, Parham DR, Ashley JE, *et al*. A table mounted cardiopulmonary bypass system for pediatric cardiac surgery [J]. *Ann Thorac Surg*, 2018, 106(3): e163-e165.
- [5] Guzzetta NA, Allen NN, Wilson EC, *et al*. Excessive postoperative bleeding and outcomes in neonates undergoing cardiopulmonary bypass [J]. *Anesth Analg*, 2015, 120(2): 405-410.
- [6] Boettcher W, Redlin M, Dehmel F, *et al*. Asanguineous priming of miniaturized paediatric cardiopulmonary bypass circuits for congenital heart surgery: independent predictors associated with transfusion requirements and effects on postoperative morbidity [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 53(5): 1075-1081.
- [7] McRobb CM, Ing RJ, Lawson DS, *et al*. Retrospective analysis of eliminating modified ultrafiltration after pediatric cardiopulmonary bypass [J]. *Perfusion*, 2017, 32(2): 97-109.