

· 论 著 ·

DOI: 10.13498/j.cnki.chin.j.ecc.2020.01.04

婴幼儿微小化体外循环手术中超滤的选择性使用

吴柯叶, 丁以群, 孟保英, 王元祥, 张设设, 周 星

[摘要]:目的 探讨婴幼儿心脏直视手术中微小化体外循环(ECC)策略下选择性使用超滤的可行性和有效性。方法 回顾性分析 2015 年 5 月至 2019 年 7 月行 ECC 下心脏直视手术的体重 ≤ 15 kg 婴幼儿共 1 816 例,分为传统 ECC($n=644$)和微小化 ECC($n=1172$)。两组并进行一般情况比较,对术后结局按是否使用超滤分为传统超滤组($n=492$)和微小化不超滤组($n=1009$)进行比较;再根据患儿体重进行分层(体重 ≤ 4 kg, 4 kg $<$ 体重 ≤ 8 kg, 8 kg $<$ 体重 ≤ 15 kg),比较不同 ECC 策略下两组预充量、尿量、无血预充率、超快通道率、血细胞比容(HCT)、乳酸(Lac)、术后机械通气时间及 ICU 滞留时间等指标。结果 微小化 ECC 患儿的预充量明显低于传统组。不同体重下超滤组的尿量和无血预充率明显低于不超滤组($P<0.05$)。体重 ≤ 4 kg 的患儿中超滤组术后 Lac 略高于不超滤组($P<0.05$), 4 kg $<$ 体重 ≤ 8 kg 的患儿中超滤组术后 HCT 略高于不超滤组($P<0.05$),其余血气指标差异均无统计学意义($P>0.05$)。仅 8 kg $<$ 体重 ≤ 15 kg 的患儿中微小化不超滤组的超快通道率略高于超滤组($P<0.05$),其余体重患儿中两组差异无统计学意义($P>0.05$);仅体重 ≤ 4 kg 的患儿中两组的术后 ICU 滞留时长的差异无统计学意义,其余体重患儿中微小化不超滤组的术后机械通气时长和术后 ICU 滞留时长均明显低于超滤组($P<0.05$)。结论 使用微小化 ECC 管路和选择性使用超滤的策略可以减少临床用血、不延长术后机械通气时间和术后 ICU 滞留时间。

[关键词]: 微小化体外循环;超滤;婴幼儿;心脏直视手术;无血预充

Selective use of ultrafiltration in open heart surgery with mini-extracorporeal circulation in infants and young children

Wu Keye, Ding Yiqun, Meng Baoying, Wang Yuanxiang, Zhang Sheshe, Zhou Xing

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

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

[Abstract]: Objective To explore the feasibility and effectiveness of selective use of ultrafiltration in infants and young children undergoing open heart surgery with mini-extracorporeal circulation (ECC). **Methods** We retrospectively analyzed the data of 1816 pediatric patients (weight ≤ 15 kg) who underwent open heart surgery from March 2015 to July 2019. Patients were divided into ultrafiltration group with conventional ECC ($n=492$) and non-ultrafiltration group with mini-ECC ($n=1009$). Priming volume, bloodless priming rate, ultra-fast track rate, hematocrit, lactic acid levels, mechanical ventilation time and length of stay in the ICU after surgery were collected. **Results** Priming volume in mini-ECC group was significantly lower than that in conventional ECC group. The urine volume and bloodless priming rate of the ultrafiltration group with different body weight were significantly lower than those of the non-ultrafiltration group ($P<0.05$). Only in children whose weight was >4 kg and ≤ 8 kg, the ultra-fast track rate of the ultrafiltration group was lower; there was no significant difference in the mechanical ventilation time and the length of stay in the ICU between the two groups with children's weight ≤ 4 kg ($P>0.05$). The mechanical ventilation time and the length of stay in the ICU were significantly lower in the non-ultrafiltration group than those in the ultrafiltration group among other children ($P<0.05$). **Conclusion** The selective use of ultrafiltration based on mini-ECC can reduce the use of blood, but without prolonging mechanical ventilation time and length of stay in the ICU.

[Key words]: Mini-extracorporeal circulation; Ultrafiltration; Infant; Open heart surgery; Bloodless priming

基金项目:深圳市医疗卫生三名工程(SZSM201612003);深圳市卫生计划系统科研项目(SZXJ2018044)

作者单位:518038 深圳,深圳市儿童医院胸心外科

通讯作者:孟保英,Email:szmengbaoying@163.com

超滤(ultrafiltration, UF)最初由肾透析技术发展而来,现已被广泛应用于小儿体外循环(extracorporeal circulation, ECC)中,目前常用于儿科 ECC 的超滤类型主要包括常规超滤和改良超滤^[1]。既往研究已证实超滤可以通过去除体内多余的水分和炎性

介质减轻 ECC 过程中的血液稀释,从而增加血细胞比容(hematocrit, HCT)、血浆胶体渗透压和凝血因子浓度,有利于减少术后出血、减少血液制品的使用和全身炎症反应^[2]。也有研究报道,改良超滤可以改善术后患儿的心、肺功能,缩短术后 ICU 滞留时间和平均住院时长^[3]。然而超滤也存在一些潜在的缺点。它通过增加 ECC 预充量及异物接触面积,延长血液与非内皮异物的接触时间,从而增加血液稀释及炎症反应^[4];超滤过程中发生在主动脉插管处的血液分流可能导致血流动力学不稳定、大脑缺血;超滤期间也可能发生低钾血症、溶血、空气栓塞、体温过低和心室颤动;超滤增加了手术操作,延长了手术时长,增加了医疗费用^[5]。本中心自 2016 年起应用微小化 ECC,且不再常规加装超滤器。本研究通过比较微小化 ECC 策略下选择性不超滤和传统 ECC 策略下超滤患儿的临床结局,探讨婴幼儿心脏直视手术中微小化 ECC 策略下选择性不使用超滤的可行性和有效性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2015 年 5 月至 2019 年 7 月于本中心行 ECC 下心脏直视手术的体重 ≤ 15 kg 婴幼儿共 1 816 例,其中男 957(52.7%)例,女 859(47.3%)例;中位年龄 6.6(3.0,14.3)月;平均体重 (7.1 ± 3.1) kg。术中使用的 ECC 策略包括传统 ECC($n=644$)和微小化 ECC($n=1\ 172$);为评价微小化 ECC 中选择性不超滤的效果,结局比较时分为两组:传统超滤组($n=492$)和微小化不超滤组($n=1\ 009$);再根据患儿体重进行分层(体重 ≤ 4 kg, 4 kg $<$ 体重 ≤ 8 kg, 8 kg $<$ 体重 ≤ 15 kg)。

1.2 ECC 策略 本中心在 2016 年 7 月以前使用传统 ECC,之后使用微小化 ECC,并于 2018 年 4 月引入基于微小化 ECC 的自体血逆预充(retrograde autologous priming, RAP)技术。患儿均使用 Stokert-S 5 型(Stockert GmbH, Germany)人工心肺机,随机选用 FX05(Terumo Corp, Tokyo, Japan)或 Micro/VK-MO 11000(Maquet, Rastatt, Germany)氧合器。传统 ECC 组所有管道内径均为 1/4 英寸,管道长 300 cm,预充量 300 ml,体重 ≤ 10 kg 的患儿,均采用改良超滤, 10 kg $<$ 体重 ≤ 15 kg 的患儿采用常规超滤。微小化 ECC 管道长 110 cm,体重 ≤ 4 kg 的患儿 ECC 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(结合 RAP 技术后预充量 65 ml); 4 kg $<$ 体重 ≤ 8 kg 的患儿 ECC 管路中的动脉管路和左心引流管为 3/16 英寸,主泵管、静脉

管、心内吸引管为 1/4 英寸,预充量 100 ml(结合 RAP 技术后预充量 80 ml); 8 kg $<$ 体重 ≤ 15 kg 的患儿左心引流管为 3/16 英寸,其余管道内径均为 1/4 英寸,预充量 120 ml(结合 RAP 技术后预充量 90 ml)。微小化 ECC 策略主要体现在:①泵头悬挂,尽量靠近手术台;②缩减管道直径及长度,减少预充量;③使用负压辅助静脉引流(vacuum assisted venous drainage, VAVD)装置,维持压力 ≤ -25 mm Hg;④平面报警贴片贴于氧合器液面标志的 25~30 ml 处,保证开机前贮血罐内液平面几乎为零;⑤根据术中贮血器液体平面选择性使用超滤。

ECC 中婴幼儿灌注压力维持在 30~50 mm Hg,在足够的灌注流量下,如果灌注压力始终低于 30 mm Hg,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,一般情况下仅灌注一次;如果主动脉阻断时间超过 60 min,则加灌一次,剂量同前。体重 >10 kg 患儿,先阻断上、下腔静脉后再灌注心脏停搏液,切开右心房经冠状静脉窦由心外吸引吸器除大部分停搏液,避免血液过度稀释。

传统 ECC:常规接入超滤器且大部分常规使用超滤,呋塞米注射液加入预充液中,剂量 1 mg/kg(最大 10 mg/次)。微小化 ECC:在手术消毒切皮前静脉推入速尿剂呋塞米注射液 1 mg/kg(最大 10 mg/次),以期通过肾脏排出体内多余的水钠,ECC 管路中不接入超滤器,仅在以下情况下选择性使用超滤:①手术时间短,或者术中术野吸回大量晶体液,或者使用利尿剂后效果不满意,导致停 ECC 前贮血器液平面较高,则临时在 ECC 管路系统中加装免预充的常规超滤;②患儿术前存在严重心功能衰竭导致严重水钠潴留,或者 ECC 结束后需要输注血小板、冷沉淀等,则使用改良超滤。

1.3 麻醉管理 患儿手术均由同一麻醉医生团队及外科手术医生组完成;均采用静脉复合麻醉,气管插管和机械辅助通气。本中心在国内较早倡导超快通道麻醉在小儿先天性心脏病外科中的应用,超快通道麻醉给予静脉注射咪达唑仑 0.1 mg/kg、舒芬太尼 1 μ 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、右美托咪啶,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),ACT 达到 400 s 后开始 ECC。手术结束后视患儿心肺功能情况积极实施手术室内拔除气管插管。

1.4 资料收集 观察指标包括一般临床资料,ECC 预充量,术中尿量,无血预充率,入 ICU 即刻动脉血

气分析指标,包括 HCT 和乳酸(lactic acid, Lac)等,术后呼吸机通气时长、超快通道率、超滤率及术后 ICU 滞留时长等。

1.5 统计学分析 采用 Stata 12.1 统计学软件进行数据处理与分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义,所有检验均采用双侧检验。计量资料以均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$)或中位数(四分位间距)表示,计数资料采用频数和率表示。计量资料两组之间比较采用 t 检验或 Wilcoxon 秩和检验,计数资料组间比较采用卡方检验(χ^2)或 Fisher's 确切概率法。

因在微小化 ECC 中根据患儿体重进行管道和预充量选择,故结局比较时同样根据体重进行分层分析。

2 结果

2.1 一般情况 不同 ECC 策略下患儿的性别、年龄、体重、术前是否机械通气、主动脉阻断时间、手术时长及超快通道率的差异均无统计学意义($P > 0.05$)。传统 ECC 的患儿术前存在肺炎的比例高于

微小化组($P < 0.05$);微小化组的 ECC 时间略长于传统组($P < 0.05$);而传统组患儿的超滤率明显高于微小化组($P < 0.05$),详见表 1。

2.2 预充及尿量 微小化 ECC 患儿预充量明显减少,不超滤组的患儿尿量和无血预充率均明显高于超滤组($P < 0.05$),见表 2。分层分析结果显示,不同体重的患儿中,不超滤组的患儿尿量均明显高于超滤组($P < 0.05$),而在体重 ≤ 4 kg 的患儿中,超滤组与不超滤组无血预充率的差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 3。

2.3 HCT 及 Lac 分析 超滤组入 ICU 时的 HCT 略高于不超滤组($P < 0.05$),但微小化不超滤组的 HCT 在 0.35 左右波动;而两组患儿入 ICU 时 Lac 的差异并无统计学意义($P > 0.05$),见表 2。分层分析结果显示,仅 $4 \text{ kg} < \text{体重} \leq 8 \text{ kg}$ 的患儿中超滤组的 HCT 略高于不超滤组($P < 0.05$),其余体重患儿中差异均无统计学意义($P > 0.05$);在体重 ≤ 4 kg 的患儿中超滤组入 ICU 时的 Lac 略高于不超滤组($P < 0.05$),见表 3。

表 1 两组患儿的一般情况

项目	传统 ECC(n=644)	微小化 ECC(n=1 172)	P 值
男性[n(%)]	343(53.3)	614(52.4)	0.722
年龄(月)	7.3(3.6,14.6)	6.1(2.6,14.0)	0.437
体重(kg)	7.3 \pm 3.1	7.0 \pm 3.1	0.126
术前肺炎[n(%)]	142(22.1)	167(14.3)	<0.001
术前机械通气[n(%)]	30(4.7)	44(3.8)	0.351
ECC 时间(min)	73.0 \pm 34.4	78.4 \pm 37.5	0.003
主动脉阻断时间(min)	38.5 \pm 22.8	40.5 \pm 22.0	0.069
手术时长(min)	154.2 \pm 75.8	149.9 \pm 91.7	0.304
超快通道率[n(%)]	395(61.3)	671(57.3)	0.091
超滤率[n(%)]	492(76.4)	163(13.9)	<0.001

表 2 患儿结局指标的比较

项目	传统超滤组(n=492)	微小化不超滤组(n=1 009)	P 值
尿量(ml)	60(30,110)	150(100,215)	<0.001
无血预充率(%)	17.5	51.7	<0.001
入 ICU 时 HCT	0.369 \pm 0.049	0.354 \pm 0.103	0.002
入 ICU 时 Lac(mmol/L)	1.9 \pm 1.8	1.9 \pm 1.2	0.959
超快通道率(%)	57.9	63.1	0.052
术后机械通气时长(h)	22.3(4.0,48.8)	4.9(2.7,21.4)	<0.001
ICU 滞留时长(d)	3.1 \pm 1.7	1.9 \pm 1.8	<0.001

注:术后机械通气时长不包括超快通道患儿。传统超滤组 207 例(42.1%),微小化不超滤组 372 例(36.9%),不符合正态分布,两组指标比较采用非参数检验。

表 3 不同体重的分层分析比较

项目	体重≤4 kg			4 kg<体重≤8 kg			8 kg<体重≤15 kg		
	传统组 (n=78)	微小化组 (n=111)	P 值	传统组 (n=247)	微小化滤组 (n=546)	P 值	传统组 (n=167)	微小化组 (n=352)	P 值
预充量 (ml)	300	80(RAP; 65)	/	300	100(RAP;80)	/	300	120(RAP;90)	/
尿量 (ml)	41(13,67)	100(70,140)	<0.001	60(30,110)	133(90,180)	<0.001	80(50,135)	200(150,300)	<0.001
无血预充率 (%)	11.5	21.6	0.072	6.1	31.7	<0.001	37.1	92.3	<0.001
入 ICU 时 HCT	0.374±0.058	0.363±0.060	0.187	0.378±0.047	0.356±0.045	<0.001	0.354±0.045	0.348±0.161	0.628
入 ICU 时 Lac (mmol/L)	3.2±2.6	2.6±1.7	0.039	1.7±1.6	1.9±1.1	0.090	1.4±0.6	1.7±1.0	0.001
超快通道率 (%)	16.7	20.7	0.485	55.5	55.7	0.956	80.8	88.1	0.028
术后机械通气时长 (h)	41.9(17.0,68.3)	20.7(5.5,42.7)	0.016	16.2(3.8,45.8)	4.2(2.7,17.0)	<0.001	20.5(2.9,42.0)	3.0(1.7,4.3)	0.002
ICU 滞留时长 (d)	4.2±2.4	3.7±2.9	0.243	3.1±1.7	1.9±1.7	<0.001	2.7±1.4	1.2±0.9	<0.001

注:术后机械通气时长不包括超快通道患儿。传统超滤组 207 例(42.1%),微小化不超滤组 372 例(36.9%),不符合正态分布,两组指标比较采用非参数检验。

2.4 术后呼吸功能恢复情况及 ICU 滞留时间 微小化不超滤组的术后机械通气时长和术后 ICU 滞留时长均明显低于超滤组 ($P < 0.05$),而两组的超快通道率的差异无统计学意义 ($P > 0.05$),见表 2。分层分析结果显示,仅 $8 \text{ kg} < \text{体重} \leq 15 \text{ kg}$ 的患儿中微小化不超滤组的超快通道率略高于超滤组 ($P < 0.05$),其余体重患儿中两组差异无统计学意义 ($P > 0.05$);仅体重 $\leq 4 \text{ kg}$ 的患儿中两组的术后 ICU 滞留时长的差异无统计学意义,其余体重患儿中微小化不超滤组的术后机械通气时长和术后 ICU 滞留时长均明显低于超滤组 ($P < 0.05$),见表 3。

3 讨论

在 20 世纪末 21 世纪初,超滤因在一定程度上能减轻血液稀释和全身炎症反应而被广泛接收和应用,然而有研究者认为这种有效性主要是因为当时 ECC 的管路和预充量巨大,滤除患者体内多余的水分和炎性介质是非常必要的^[9];且随着 ECC 技术的发展,人们越来越多的发现了超滤能导致血流动力学不稳定、大脑缺血、低血钾、溶血现象、空气栓塞等缺点^[3]。为了解决预充量和血液稀释的矛盾,减轻全身炎症反应,降低血制品的使用,近年来微小化 ECC 逐渐成为各中心研究的热点。目前主要通过缩短管道长度、缩小管径、使用内置动脉滤器膜肺、逆预充等方式实现微小化 ECC,显著减小预充量^[6-7]。本中心通过不断的经验积累,逐渐建立了一套具有特色的微小化 ECC 方法^[8],并从 2018 年 4 月起成功应用基于微小化 ECC 的自体血逆预充技术,实现预充量由原来的 300 ml 降到新生儿预充量仅为 65 ml。随着预充量的降低,患儿血液稀释减少,超滤的必要性下降^[9]。

传统 ECC 中预充量大,相对于体重较小的患儿会导致过度的血液稀释,术中 HCT 偏低,有研究表明,ECC 期间的低 HCT 与不良临床结局有关^[9]。因此往往需要输注库存红细胞和全血或其他血液制品,然而,输血被认为与影响患儿术后早期体温升高、过敏及器官功能障碍等预后有关^[10]。因此,减少血制品的使用是 ECC 的重要目标之一。在本研究中,不超滤组的无血预充率明显高于超滤组;而在 $8 \text{ kg} < \text{体重} \leq 15 \text{ kg}$ 的患儿中,微小化 ECC 下不超滤患儿无血预充率高达 92.3%。不超滤患儿入 ICU 的 HCT 虽然略低于超滤组,但在临床上,HCT 在 0.35 左右并没有达到输血的阈值。因此,笔者认为使用微小化 ECC 管路的大部分患儿可以避免使用超滤,仅极少部分患儿选择性使用超滤,可以达到减少甚至避免血制品使用,维持入 ICU 时满意的 HCT 和良好的组织供氧。

本中心实行基于微小化 ECC 下的选择性超滤的一个重要步骤是在减少预充量的基础上,外科消毒切皮前静脉注射呋塞米,希望通过生物超滤器——肾脏来排出患儿体内多余的水钠。本研究中,不超滤患儿的尿量明显多于超滤组,充分说明在减少预充量,避免血液过度稀释的基础上,通过肾脏亦可以达到血液浓缩目的(避免使用超滤器)。此外,生物超滤并没有因接入外部超滤器而导致的炎症反应和其他不良反应的缺点,可以通过患儿自身进行调节,避免电解质的严重紊乱。

超快通道麻醉能够有效降低呼吸机相关肺炎、ICU 滞留时间、住院时间、住院费用等,成功的超快通道不仅需要良好的围术期麻醉管理,还需要良好的血流动力学和内部功能的维持,因此认为超快通

道成功率或者术后机械通气时长是患儿术后呼吸功能评估的重要指标^[11-12]。此外,有研究者认为术后 ICU 滞留时间延长能反映儿科心脏手术的恢复情况^[13]。在本研究中两组的超快通道率无明显差异,虽然术后机械通气时长有明显差异,但微小化 ECC 策略下选择性使用超滤的患儿一般病情较重,术前有机械通气或心功能衰竭,患儿术后恢复较慢,需要术后呼吸机辅助通气,相对应的,选择性不使用超滤的患儿病情较轻。故此结果充分说明大部分心脏直视 ECC 手术通过不超滤也可以实现高的超快通道率,亦不会延长术后呼吸机通气时间。

传统 ECC 及微小化 ECC 策略下的超滤率分析发现传统不超滤患儿的体重集中在 8 kg 以上,且比率较少。体重较重,体内血容量相对较大,200~250 ml 的预充量(不使用超滤)相对来说不容易引起过度血液稀释;而且这些患儿多被诊断为简单性先天性心脏病,手术时间相对较短,不容易引起心肌水肿。而微小化 ECC 策略下大部分患儿不使用超滤,对于体重无明显要求,2~15 kg 患儿均可在微小化 ECC 管路的基础上实现不超滤。但有极少一部分微小化 ECC 管路组的患儿术中选择性使用了超滤。这种情况往往由于:大量心脏晶体停搏液由术野引流至贮血罐,导致贮血罐短期内液平明显偏高,因 ECC 时间短,利尿剂无法在短时间内发挥作用,将多余的水分经由患儿肾脏排出,故临时加装免预充超滤器行常规超滤,且超滤结束后将超滤器内血液回输至贮血器;若患儿术前存在严重心功能衰竭导致严重水钠潴留,或者 ECC 结束后需要输注血小板、冷沉淀等,则采用改良超滤去除多余的水和钠,为后续的血液制品输注提供容量空间。

综上所述,婴幼儿 ECC 中大部分患儿弃用超滤、部分患儿选择性使用超滤在临床上可以实现,但这种选择性使用超滤需要根据不同的 ECC 策略进行抉择,基于微小化 ECC 的选择性不超滤需要满足以下条件:严格控制预充量、术前使用利尿剂保证充足的尿量、ECC 期间维持良好的肾脏灌注压、使用晶体心脏停搏液且避免其回流至贮血罐。这种基于微小化 ECC 的选择性使用超滤的策略可以减少临床用血、不延长术后机械通气时间和术后 ICU 滞留时间。因此,基于微小化 ECC 下的选择性使用超滤可以达到良好的临床效果,值得临床推广应用。

参考文献:

- [1] Wang S, Palanzo D, Undar A. Current ultrafiltration techniques before, during and after pediatric cardiopulmonary bypass procedures[J]. *Perfusion*, 2012, 27(5): 438-446.
- [2] Redlin M, Boettcher W, Kukucka M, et al. Blood transfusion during versus after cardiopulmonary bypass is associated with post-operative morbidity in neonates undergoing cardiac surgery [J]. *Perfusion*, 2014, 29(4): 327-332.
- [3] McRobb CM, Mejak BL, Ellis WC, et al. Recent advances in pediatric cardiopulmonary bypass [J]. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*, 2014, 18(2): 153-160.
- [4] 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.
- [5] Kuratani N, Bunsangaroen P, Srimueang T, et al. Modified versus conventional ultrafiltration in pediatric cardiac surgery: a meta-analysis of randomized controlled trials comparing clinical outcome parameters[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 142(4): 861-867.
- [6] Pereira SN, Zumba IB, Batista MS, et al. Comparison of two techniques of cardiopulmonary bypass (conventional and mini CPB) in the trans- and postoperative periods of cardiac surgery[J]. *Rev Bras Cir Cardiovasc*, 2015, 30(4): 433-442.
- [7] Holmannova D, Kolackova M, Mandak J, et al. Effects of conventional CPB and mini-CPB on neutrophils CD162, CD166 and CD195 expression[J]. *Perfusion*, 2017, 32(2): 141-150.
- [8] 刘怀普,丁以群,吴柯叶,等.微小化体外循环对婴幼儿心脏外科超快通道麻醉的影响[J]. *中国体外循环杂志*, 2019, 17(3): 149-152.
- [9] 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.
- [10] Resar LM, Frank SM. Bloodless medicine: what to do when you can't transfuse[J]. *Hematology Am Soc Hematol Educ Program*, 2014, 2014(1): 553-558.
- [11] Fukumishi T, Oka N, Yoshii T, et al. Early extubation in the operating room after congenital open-heart surgery[J]. *Int Heart J*, 2018, 59(1): 94-98.
- [12] Joshi RK, Aggarwal N, Agarwal M, et al. Assessment of risk factors for a sustainable "on-table extubation" program in pediatric congenital cardiac surgery: 5-year experience[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2016, 30(6): 1530-1538.
- [13] Zhang C, Meng B, Wu K, et al. Comparison of two cardiopulmonary bypass strategies with a miniaturized tubing system: a propensity score-based analysis[J]. *Perfusion*, 2019. [Epub ahead of print]

(收稿日期: 2019-10-14)

(修订日期: 2019-11-22)