

· 论 著 ·

DOI: 10.13498/j.cnki.chin.j.ecc.2020.06.07

## 重症心脏瓣膜病患者术中应用改良超滤技术处理 剩余机血对凝血功能和液体负荷的影响

袁从虎, 钱 静, 郭 震, 于广东, 纪月珑

**[摘要]:**目的 评价改良超滤用于重症心脏瓣膜病患者心肺转流(CPB)后剩余机血处理对凝血功能的影响。方法 择期行瓣膜置换术的重症心脏瓣膜病患者 60 例,随机分为直接回输组(DF 组, n=30)和改良超滤组(MUF 组, n=30)。DF 组 CPB 停机后机血回收入储血袋后在需要时回输,而 MUF 组 CPB 结束后通过改良超滤浓缩机体血液并回输机血直至 CPB 管路剩余血全部回输体内。分别于诱导后(T1)、CPB 开始(T2)、CPB 结束(T3)、术后 1 h(T4)、术后 6 h(T5)和术后 24 h(T6)监测凝血功能, T3~T6 的净液体量、纤维蛋白原和凝血酶原复合物使用量、异体输血量、鱼精蛋白肝素量, 术后 24 h 胸腔引流量, 以及呼吸机支持时间、ICU 停留时间和住院时间。**结果** MUF 组 T3~T4 时点的血红蛋白(Hb)显著高于 DF 组( $P<0.05$ ); T4 时点的小板和 D-二聚体显著高于 DF 组; T4~T5 时点鱼精蛋白、纤维蛋白原和凝血酶原复合物的使用量 DF 组显著高于 MUF 组, 而 DF 组晶体补液量低于 MUF 组, 浓缩红细胞使用量和胸腔引流量高于 MUF 组; 在 CPB 结束后的改良超滤中, MUF 组平均额外滤除 787 ml 的液体, 同时剩余机血全部回输体内。此外各时间点的活化凝血时间、部分凝血活酶时间、凝血酶原时间以及胶体溶液使用量、血浆使用量、24 h 胸液量、尿量和术中超滤量均无显著性差异。**结论** 与机血直接回输相比, 重症瓣膜病患者 CPB 后剩余机血经改良超滤回输后可有效提高患者术后短期 Hb 水平, 减少异体血输注、胸腔引流量和促凝药物的使用, 但并不能改善术后总出血量和临床结果。

**[关键词]:** 心脏瓣膜置换; 心肺转流; 改良超滤; 转流剩余机血; 血液保护

### Effect of modified ultrafiltration techniques for the treatment of residual cardiopulmonary bypass volume on coagulation and fluid load in patients with severe heart valve disease

Yuan Conghu, Qian Jing, Guo Zhen, Yu Guangdong, Ji Yuelong

Department of Anesthesiology, the Third People's Hospital Yancheng City, Jiangsu Yancheng 224001, China

**[Abstract]: Objective** To evaluate the effect of modified ultrafiltration on coagulation function by processing residual cardiopulmonary bypass (CPB) blood in patients with severe valvular heart disease after CPB. **Methods** Sixty patients with severe valvular disease were randomly divided into two groups: direct retransfusion group (DF group, n=30) and modified ultrafiltration group (MUF group, n=30). In DF group, at the end of CPB, the residual blood was recycled into the blood storage bag and re-transfused back when needed, while in MUF group, the body blood was concentrated by MUF and all the CPB blood was transfused back to the body immediately after CPB. Coagulation function was monitored at six time points: after anesthesia induction (T1), at the beginning of CPB (T2), at the end of CPB (T3), 1, 6 and 24 hours after the operation (T4, T5 and T6). Net fluid volume, fibrinogen and prothrombin complex, allogeneic blood transfusion, heparin and protamine were monitored at T3-T6 respectively. Thoracic drainage volume at 24 hours after the operation, ventilation duration, ICU stay and hospital stay were recorded. **Results** The concentration of HB at T3-T4 and the concentration of platelet and D-dimer at T4 in MUF group were significantly higher than those in DF group ( $P<0.05$ ); the use of protamine, fibrinogen and prothrombin complex at T4-T5 in DF group were significantly higher than those in MUF group; however, the amount of crystal fluid supplement was lower than that in MUF group, the use of packed red blood cells and the chest drainage were higher than those in MUF group; the average filtered fluid in the MUF group was 787 ml, and the CPB blood was all returned to the body. In addition, there was no significant difference in ACT, APTT, PT as well as the use of colloidal solution, plasma, 24 hour

作者单位: 224001 盐城, 江苏盐城市第三人民医院麻醉科(袁从虎、钱 静、于广东、纪月珑); 200003 上海, 上海市胸科医院体外循环科(郭 震)

chest drainage, urine and intraoperative ultrafiltration between the two groups. **Conclusion** Compared with direct retransfusion, the processing of residual CPB blood by MUF in patients with severe valvular disease can effectively improve the short-term Hb level, reduce allogeneic blood transfusion, chest drainage and the use of coagulant, but it can not improve the total amount of chest drainage and clinical results.

**[Key words]:** Heart valve replacement; Cardiopulmonary bypass; Modified ultrafiltration;  
Residual cardiopulmonary bypass volume; Blood conservation

心肺转流 (cardiopulmonary bypass, CPB) 结束后循环管路中的剩余机血 (residual cardiopulmonary bypass volume, cpbV) 有直接回输、离心分离回输、超滤回输等不同的处理方案。为了减少异体血的使用,避免异体血输注相关并发症和围术期血液保护的精细化管理,多项研究比较了 cpbV 的处理方案,但最佳措施仍不明确<sup>[1-2]</sup>。一项调查研究显示,英国大多数中心通过洗涤处理后回输洗涤红细胞,但这会滤除血浆和血小板,影响凝血功能,而直接回输会增加液体负荷或造成术后早期肝素反跳<sup>[3]</sup>。改良超滤技术凭借其 CPB 后仍可进一步浓缩体内血液,并同期处理 cpbV 的优势广泛应用于婴幼儿心脏手术,达到减轻血液稀释和组织水肿,改善术后心肺功能和血液保护的目的<sup>[4]</sup>。成人重症心脏瓣膜病患者组织间质液体储留显著,凝血功能受损,尽管已有研究证实改良超滤在成人 CPB 中同样具有浓缩血液,减轻组织水肿的作用,但通过改良超滤处理 cpbV 以优化血液保护策略的效果有待确认<sup>[5-6]</sup>。本研究拟通过前瞻性随机对照研究,评价在重症心脏瓣膜病瓣膜置换术中应用改良超滤技术处理剩余机血对凝血功能和液体负荷的影响。

## 1 资料与方法

**1.1 患者选择** 选取 2018 至 2019 年盐城市第三人民医院择期行瓣膜置换术的重症心脏瓣膜病患者 60 例,采用随机数字表法随机分为机血直接回输组 (DF 组, n=30) 和改良超滤组 (MUF 组, n=30)。成人重症心脏瓣膜病诊断参照本院之前的研究<sup>[5]</sup>,入选标准为年龄  $\geq 18$  岁,体重 50~80 kg, NYHA 分级 III 或 IV 级,凝血功能无异常、无其他心脏合并症,无心梗或脑梗病史,无心脏手术史和抗凝药物服用史。所有手术均由同一组外科医生、麻醉师和灌注师完成。本研究已获本院伦理委员会批准 (伦审 2018-15),并与患者或其家属签署知情同意书。

**1.2 麻醉与 CPB** 采用咪达唑仑 0.05~0.15 mg/kg,芬太尼 3~5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,丙泊酚 1~2 mg/kg,维库溴铵 0.1 mg/kg 麻醉诱导。术中以芬太尼 20~30  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,丙泊酚 3~5 mg/(kg·h),维库溴铵 0.1 mg/(kg·h)

及七氟烷 0.5%~3% 吸入维持麻醉。CPB 采用 STOCKERT-C 型人工心肺机 (STOCKERT 公司,德国)、SX18 膜式氧合器 (Terumo 公司,日本) 和国产管道与动静脉插管 (菲拉尔,宁波) 建立。选择乳酸林格液 (百特,美国) 700 ml,羟乙基淀粉 (费森尤斯卡比,德国) 500 ml 和肝素 2 500 U 预充。CPB 采用浅低温 (35°C),流量 2.2~2.4 L/(m<sup>2</sup>·min),血压维持 50~70 mm Hg,采用 4:1 含血冷停搏液进行心肌保护。

**1.3 cpbV 的处理方法** cpbV 定义为:CPB 停机后静脉储血罐、膜肺、微栓滤器及管道内的所有血液。DF 组 CPB 结束后用乳酸林格液将 cpbV 排至储血袋在术后 6 h 内回输;MUF 组于 CPB 结束,血流动力学稳定后开始改良超滤,流量 400 ml/min,同时将 cpbV 在主泵控制下通过乳酸林格液置换来补充机体容量,直至 cpbV 全部回输体内。两组在主动脉插管拔除前均保持整个 CPB 管道处于预充备用状态以备二次转机。通过常规超滤和异体血输注维持 CPB 中血红蛋白浓度大于 80 g/L,停 CPB 大于 90 g/L。

**1.4 监测指标** 分别于监测诱导后 (T1)、CPB 开始 (T2)、CPB 结束 (T3)、术后 1 h 时 (T4)、术后 6 h (T5) 和术后 24 h (T6) 的活化凝血时间 (activated clotting time, ACT)、血细胞比容 (hematocrit, HCT)、血红蛋白 (hemoglobin, Hb)、凝血酶原时间 (prothrombin time, PT)、部分凝血活酶时间 (activated partial thromboplastin time, APTT)、纤维蛋白原 (fibrinogen, FIB)、D-二聚体 (D-dimer)、血小板计数 (platelet, PLT), T3~T6 的净液体量、纤维蛋白原和凝血酶原复合物使用量、异体输血量、鱼精蛋白量,术后 24 h 胸腔引流量,以及呼吸机辅助时间、ICU 停留时间和住院时间。

**1.5 统计方法** 采用 SPSS 10.0 统计学软件进行分析,所有数值均表示为平均值 $\pm$ 标准偏差 ( $\bar{x}\pm s$ ) 或数值 (百分比)。计量资料比较用成组 *t* 检验进行分析,计数资料比较采用  $\chi^2$  检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

两组患者性别、年龄、身高、体重等术前基线资

料及 CPB 时间、升主动脉阻断时间、术后剩余机血量均无统计学差异 ( $P > 0.05$ )。DF 组和 MUF 组分别死亡 3 例和 2 例,死亡率无显著差异 ( $P > 0.05$ )。两组术后机械辅助时间、ICU 停留和住院时间均无显著差异 ( $P > 0.05$ ),患者基础资料和术中资料详见表 1。

表 1 两组患者一般资料及临床指标的比较 (n=30)

项目/组别	DF 组	MUF 组	P 值
年龄(岁)	62±14	64±11	0.32
性别(男)	14	17	0.16
体重(kg)	63±16	67±12	0.21
体表面积(m <sup>2</sup> )	1.52±0.16	1.61±0.21	0.14
NYHA II/III/IV (n)	9/18/3	7/17/6	0.41
EF (%)	45±11	44±9	0.51
Hb 浓度(g/L)	126±18	129±14	0.14
PLT(×10 <sup>9</sup> /L)	167.48	186.39	0.31
伴发疾病			
糖尿病(n)	8	6	0.69
高血压(n)	17	14	0.37
高血脂(n)	9	13	0.28
手术方案			
AVR(n)	12	14	0.45
MVR(n)	7	8	0.63
DVR(n)	11	8	0.57
合并 CABG(n)	5	7	0.51
合并 Maze(n)	6	9	0.38
合并 TVP(n)	17	14	0.44
CPB 时间(min)	131±32	128±28	0.64
主动脉阻断时间(min)	98±21	96±27	0.57
术中失血量(ml)	681±113	632±109	0.49
cpbV 量(ml)	798±67	832±58	0.29
呼吸辅助时间(h)	17.4±7.4	18.9±6.5	0.31
ICU 停留时间(d)	3.6±0.4	3.1±0.6	0.42
术后住院时间(d)	12.8±4.2	13.7±6.2	0.38
死亡率 [n(%)]	3(10)	2(6.7)	0.39

注:EF:射血分数;MVR:二尖瓣置换;AVR:主动脉置换;DVR:双瓣置换;CABG:冠状动脉旁路移植术;Maze:迷宫手术;TVP:三尖瓣成形;cpbV:剩余机血。

MUF 组 T3~T4 时点的 Hb 显著高于 DF 组 ( $P < 0.05$ );T4 时点的 PLT 和 D-dimer 显著高于 DF 组;术后 T4~T5 时点鱼精蛋白、FIB 和凝血酶原复合物的使用量 DF 组显著高于 MUF 组;而在 T4~T5 时点,DF 组晶体补液量低于 MUF 组,浓缩红细胞使用量和胸液引流量高于 MUF 组;在 CPB 结束后的改

良超滤中,MUF 组平均额外滤除 787 ml 的液体,同时 cpbV 全部回输体内。此外各时间点的 ACT、APTT、PT 等凝血指标,以及胶体溶液使用量、血浆使用量、24 h 胸液量、尿量和术中超滤量均无显著性差异。患者围术期凝血指标和液体管理指标详见表 2 和表 3。

### 3 讨论

1991 年,Naik 等创立改良超滤并作为一种新型的超滤技术应用于低体重的婴幼儿患者。改良超滤可滤出体内多余的水份,提高血细胞比容,减轻心脏的容量负荷和心肌细胞的水肿,减少术后出血,减少血液制品的使用,在婴幼儿 CPB 手术中已广泛应用并得到认可<sup>[4,7]</sup>。之前的研究显示,在成人 CPB 中改良超滤同样安全可行,可充分的滤除体内多余的液体,降低机体的容量负荷,提高肺的顺应性和氧合指数,改善肺功能。成人重症瓣膜病患者常表现出组织水肿和凝血功能障碍的特点<sup>[6,8]</sup>,本团队前期的研究显示在重症瓣膜病患者中应用改良超滤可以更便捷有效的改善组织水肿,降低死亡率和并发症,降低住院费用<sup>[5]</sup>。本研究在前期研究基础上进一步评估了改良超滤在成人重症瓣膜病手术 cpbV 的处理对围术期凝血功能、血液保护和体液管理中的作用。

2017 年欧洲心胸外科协会的成人心脏手术血液管理指南及 2019 年联合欧洲心胸麻醉协会和欧洲心血管灌注委员会共同发布的成人心脏手术 CPB 指南均将机血回输列为 I 或 II A 类推荐,但并没有对回输方式做出推荐<sup>[9-10]</sup>。目前主要有直接回输、通过自体血回收机离心分离浓缩红细胞回输和超滤后回输。Campbell 等<sup>[11]</sup>研究显示,离心血液回收组患者的血小板数量减少,血凝块形成时间延长且最大血凝块硬度降低,但手术后 4 h 胸腔引流量基本一致。虽然有很多小样本研究通过动脉插管直接回输入患者体内和通过离心泵离心回收的优劣,但结果异质性较大,尚无统一论。另一方法是通过回收袋收集机器余血,在术后 ICU 需要时回输虽可减轻围术期容量负荷,但会造成肝素反跳、胸引量增多,甚至出血并发症和二次开胸。虽然有研究结果支持 CPB 结束后小量的 cpbV 手术后应尽早直接回输,而对于较多的 cpbV 通过离心回收处理的证据也并不一致。在一项涉及 80 例患者的研究显示,离心回收在术后失血量和冰冻血浆的使用量均显著低于直接回输,术后 D-dimer 水平也显著较低,这说明离心回收通过滤除内源性组织因子,减轻 CPB 中

表 2 两组患者围术期凝血指标比较(n=30)

项目时间	T1		T2		T3	
	DF 组	MUF 组	DF 组	MUF 组	DF 组	MUF 组
ACT(s)	118±19	109±21	687±217	669±281	128±21	121±25
APTT(s)	37.23±7.21	38.29±6.36	/	/	/	/
PT(s)	13.3±2.4	14.2±3.1	/	/	/	/
FIB(g/L)	2.87±1.21	2.94±1.43	/	/	/	/
D-dimer(μg/ml)	1.34±1.58	1.42±1.86	/	/	/	/
PLT(×10 <sup>9</sup> /L)	146±41	152±37	121±38	123±42	108±23	111±31
Hb(g/L)	13.8±3.2	13.4±4.3	7.96±2.64	8.13±1.97	8.2±2.14	10.5±2.75*
肝素(U)	/	/	221±115	231±128	/	/
鱼精蛋白(mg)	/	/	/	/	298±78	311±79

  

项目时间	T4		T5		T6	
	DF 组	MUF 组	DF 组	MUF 组	DF 组	MUF 组
ACT(s)	126±22	124±18	118±15	119±18	114±16	118±21
APTT(s)	43±21	44±18	41±16	42±17	40±14	42±12
PT(s)	17.1±3.42	16.8±2.6	16.2±1.6	15.8±2.2	14.4±2.5	14.1±1.9
FIB(g/L)	1.98±1.12	2.01±1.31	2.14±1.23	2.08±1.31	2.12±1.23	2.14±1.21
D-dimer(μg/ml)	6.3±1.12	6.2±1.21	5.6±2.1	5.7±1.2	5.7±1.3	5.5±1.6
PLT(×10 <sup>9</sup> /L)	111±36	138±51*	138±37	141±46	141±34	143±48
Hb(g/L)	8.3±3.1	10.4±3.1*	9.4±2.8	9.5±3.1	10.4±3.2	10.1±2.8
肝素(U)	/	/	/	/	/	/
鱼精蛋白(mg)	32±8	21±4*	17±4	12±4*	/	/

注:/:无参数; \* 组间比较  $P < 0.05$ 。

表 3 两组患者围术期液体管理(n=30)

项目时间	T2		T3		T4		T5		T6	
	DF 组	MUF 组	DF 组	MUF 组	DF 组	MUF 组	DF 组	MUF 组	DF 组	MUF 组
S <sub>fib</sub> (g)	/	/	/	/	1.78±0.65	1.54±0.47*	0.25±0.04	0.09±0.01*	/	/
S <sub>pc</sub> (U)	/	/	/	/	538±217	467±189*	132±89	117±48*	/	/
Cry(ml)	798±137	784±146	624±387	618±253	158±138	285±132*	486±175	613±236*	2857±398	2974±365
Colloid(ml)	738±114	729±21	341±76	386±89	115±68	121±86	313±95	327±72	612±128	601±146
Prbc(U)	/	/	1.89±0.18	1.31±0.22	0.37±0.12	0.14±0.05*	1.25±0.36	0.98±0.21*	2.43±0.47	2.28±0.36
Platlet(U)	/	/	/	/	0.38±0.12	0.34±0.21	0.42±0.24	0.46±0.18	0.48±0.23	0.51±0.19
Plasma(ml)	/	/	/	/	159±74	164±65	187±46	192±71	184±54	197±48
Urine(ml)	/	/	813±386	887±297	104±361	178±298	685±364	743±435	2875±483	2904±369
V <sub>DF</sub> (ml)	/	/	1480±481	1531±526	/	/	/	/	/	/
V <sub>muf</sub> (ml)	/	/	0	787±132*	/	/	/	/	/	/
V <sub>drain</sub> (ml)	/	/	/	/	113±89	79±45*	189±97	158±110*	358±103	384±116

注:/:无参数; S<sub>fib</sub>:纤维蛋白原补充; S<sub>pc</sub>:凝血酶原复合物补充; Cry:晶体溶液补充量; Colloid:胶体溶液补充量; Prbc:浓缩红细胞; Platlet:血小板补充量; Plasma:血浆; Urine:尿量; V<sub>DF</sub>:常规超滤量; V<sub>muf</sub>:改良超滤量; V<sub>drain</sub>:胸腔引流量; \*:组间比较  $P < 0.05$ 。

的凝血激活和纤溶亢进导致的术后出血<sup>[1]</sup>。Scarscia 等<sup>[12]</sup>通过比较不回输与经离心处理回输 cpbV 发现,离心回收诱导增强凝血酶生成和纤溶激活,且降低纤溶抑制,术后胸腔引流量增加且血浆输注率

升高,但可提高术后短期血红蛋白水平(术中与 CPB 结束后 2 h 均有显著差异;  $P = 0.003$ )。重症瓣膜病患者常常因组织水肿,停机时 cpbV 较多,CPB 后并不能全部回输 cpbV,以免造成停机后的容

量超负荷。本研究结果显示,两组虽然在术中常规超滤达到 1 500 ml 的超滤量,但停机后机器余血仍达到 800 ml 左右。如果将 cpbV 离心仅能回收红细胞,血浆、凝血因子和血浆蛋白将被丢弃,而全部回输则会明显加重容量负荷,这对重症瓣膜病患者非常不利。

对于重症瓣膜患者,CPB 后 cpbV 较多时,笔者借鉴婴幼儿改良超滤使用的经验,通过 CPB 停机后的改良超滤进一步浓缩全身血液,提高 Hb 浓度和胶体渗透压,同时将 CPB 管路余血在超滤短期内迅速回输给患者补充超滤的容量丢失,在手术室完成快速回输机器全部余血。一项纳入 573 名患者的随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)研究发现通过改良超滤处理 cpbV 可减少术后胸腔引流量,降低术后早期并发症率和输血量<sup>[13]</sup>。但在一项纳入 200 名患者的 RCT 研究中,比较了超滤 cpbV 与直接输注 cpbV 的效果。该研究发现超滤处理 cpbV 对同种异体输血率、术后出血、出院时 Hb 水平无影响<sup>[2]</sup>。本研究显示,CPB 后的改良超滤组超滤后即刻和术后 1 h 的 Hb 和 PLT 均显著高于直接回输组,而在术后 6 h 之后,随着对照组 cpbV 的回输,两组间差异消失;但术后 6 h 以内的鱼精蛋白、纤维蛋白原和凝血酶原复合物的使用量和胸液引流量改良超滤组明显较少。这说明通过改良超滤在 CPB 结束即刻快速回输机血可以提高术后短期的 Hb 浓度,改善携氧能力,同时避免机血延迟回输带来的肝素反跳和术后短期止血药物的使用,但对于 24 h 的胸液引流量并无显著影响。

另一方面,CPB 后通过改良超滤回输机血可进一步浓缩机体血液,逆转 CPB 的稀释,提高胶体渗透压,减轻术后的容量负荷。本研究显示,在术后 6 h 内改良超滤组的晶体使用量高于对照组,这主要是因为对照组术后的机血回输减少了晶体液的使用。但改良超滤组仅仅比对照组多出 100 ml 的输入量,对照组术后却比改良超滤组多 800 ml 的 cpbV 量,术后直接回输机血的容量负荷明显大于改良超滤组。但该研究并未将术后胶体渗透压和代表组织水肿的肺、肾损伤功能指标包含在内,两组的术后各时段尿量,呼吸机辅助时间和 ICU 停留以及住院时间均无显著性差异,因此,改良超滤对于改善组织水肿的证据有所欠缺,仍需更完善的研究证实。

综上所述,改良超滤用于重症心脏瓣膜病瓣膜置换术 CPB 后处理 cpbV,可减少异体血输注和止血药物的使用,术后短期内提高 Hb 浓度和 PLT 数量,

改善携氧能力和凝血功能,但对围术期临床结果没有显著影响。由于目前文献报道结论相互矛盾,对于明确 CPB 管路内剩余血液的最佳处理方法仍缺乏强有力的证据。

#### 参考文献:

- [1] Muraki R, Totsugawa T, Nagata K, *et al*. Cell salvage processing of residual cardiopulmonary bypass volume in minimally invasive cardiac surgery[J]. *Heart Vessels*, 2019, 34(8): 1280-1286.
- [2] Whitlock R, Mathew J, Eikelboom J, *et al*. Processed residual pump blood in cardiac surgery: the processed residual blood in cardiac surgery trial[J]. *Transfusion*, 2013, 53(7): 1487-1492.
- [3] Issitt R, Sheppard S. Dealing with pericardial suction blood and residual pump volume: a review of current practices in the UK[J]. *Perfusion*, 2011, 26(1): 51-55.
- [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] 袁从虎,吉林,张亚军.改良超滤联合常规超滤用于重症心脏瓣膜病患者瓣膜置换术的效果[J]. *中华麻醉学杂志*, 2012, 32(6): 661-664.
- [6] Zakkar M, Guida G, Angelini GD. Modified ultrafiltration in adult patients undergoing cardiac surgery[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2015, 20(3): 415-421.
- [7] 孙煦,朱悦倩,杨菁,等.动脉到动脉改良超滤技术在小儿心脏手术中的应用[J]. *中国体外循环杂志*, 2019, 17(6): 341-344.
- [8] 孙煦,王东进,陈扬.改良超滤联合常规超滤用于重症心脏瓣膜病患者瓣膜置换术的效果评价[J]. *中国循环杂志*, 2013, 28(z1): 183.
- [9] Pagano D, Milojevic M, Meesters MI, *et al*. 2017 EACTS/EACTA guidelines on patient blood management for adult cardiac surgery[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2018, 53(1): 79-111.
- [10] Authors/Task Force Members, Kunst G, Milojevic M, *et al*. 2019 EACTS/EACTA/EBCP guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery[J]. *Br J Anaesth*, 2019, 123(6): 713-757.
- [11] Campbell J, Holland C, Richens D, *et al*. Impact of cell salvage during cardiac surgery on the thrombelastometric coagulation profile: a pilot study[J]. *Perfusion*, 2012, 27(3): 221-224.
- [12] Scarscia G, Rotunno C, Nanna D, *et al*. Pump blood processing, salvage and re-transfusion improves hemoglobin levels after coronary artery bypass grafting, but affects coagulative and fibrinolytic systems[J]. *Perfusion*, 2012, 27(4): 270-277.
- [13] Torina AG, Silveira-Filho LM, Vilarinho KAS, *et al*. Use of modified ultrafiltration in adults undergoing coronary artery bypass grafting is associated with inflammatory modulation and less postoperative blood loss: a randomized and controlled study[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2012, 144(3): 663-670.

(收稿日期:2020-06-15)

(修订日期:2020-08-31)