

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2020.02.027

平衡超滤技术对小儿先心病术后炎症因子、凝血功能及肺功能的影响*

程玉梅 陈 峰 靳明扬 蔡大林 汪 洋 韩 霞

(武汉亚洲心脏病医院 心外科 ICU 湖北 武汉 430000)

摘要 目的:探讨平衡超滤技术对小儿先心病术后炎症因子、凝血功能及肺功能的影响。**方法:**选择2014年9月至2017年9月我院接诊的100例先天性心脏病患儿进行研究,通过随机数表法分为观察组55例和对照组45例,两组均于体外循环下实施心内直视手术,观察组在体外循环启动后患儿复温时开始平衡超滤,并于体外循环结束后即刻进行改良超滤,对照组仅在体外循环结束后即刻进行改良超滤。比较两组不同时间点炎症因子、凝血功能及肺功能的变化、术后恢复情况及并发症。**结果:**于体外循环结束后(术后)20 min(T_1)、术后2 h(T_2)、术后6 h(T_3)各时点,观察组血清肿瘤坏死因子(TNF)- α 、白介素(IL)-6、IL-10均明显比对照组低($P<0.05$);观察组各时点活化部分凝血活酶时间(APTT)、凝血酶时间(TT)、纤维蛋白原(FIB)均明显低于对照组($P<0.05$);观察组各时点肺静脉顺应性(Cstat)、氧合指数(OI)在各时点均明显高于对照组,肺泡-动脉氧分压梯度(AaDO₂)明显低于对照组($P<0.05$);观察组血管活性药使用时间、呼吸机使用时间和ICU住院时间均明显比对照组短($P<0.05$),观察组感染、弥散性血管性凝血、肺功能损伤等发生率明显低于对照组($P<0.05$)。**结论:**在改良超滤技术上,联合平衡超滤更有助于减轻小儿先心病术后炎症因子的释放,具有较好的凝血功能、肺功能保护作用,可有效促进术后恢复,减少围术期并发症。

关键词:先天性心脏病;平衡超滤;炎症因子;凝血功能;肺功能

中图分类号:R725.4 文献标识码:A 文章编号:1673-6273(2020)02-333-05

Effects of Balanced Ultrafiltration on Inflammatory Factors, Coagulation Function and Lung Function in Children with Congenital Heart Disease after Operation*

CHENG Yu-mei, CHEN Feng, JIN Ming-yang, CAI Da-lin, WANG Yang, HAN Xia

(Wuhan Asian Heart Hospital, ICU of Cardiac Surgery, Wuhan, Hubei, 430000, China)

ABSTRACT Objective: To study the effects of balanced ultrafiltration on the inflammatory factors, coagulation function and lung function in children with congenital heart disease after operation. **Methods:** 100 children with congenital heart disease who were treated from September 2014 to September 2017 in our hospital were selected as the research objects, they were divided into the observation group (55 cases) and the control group (45 cases) by random number table method, they underwent open heart surgery under cardiopulmonary bypass, the observation group began to balance ultrafiltration after rewarming after cardiopulmonary bypass, and underwent modified ultrafiltration was performed immediately after cardiopulmonary bypass, the control group only underwent modified ultrafiltration immediately at the end of cardiopulmonary bypass. The changes of inflammatory factors, coagulation function and lung function at different time points, postoperative recovery and incidence of complications were compared between the two groups. **Results:** At 20 min(T_1), 2h (T_2) and 6h (T_3) after cardiopulmonary bypass(postoperation), the serum tumor necrosis factor (TNF)- α , interleukins (IL)-6, IL-10, activated partial thromboplastin time (APTT), thrombin time (TT), fibrinogen (FIB) and alveolar-arterial oxygen partial pressure gradient (AaDO₂) in the observation group were significantly lower than those in the control group ($P<0.05$), the pulmonary venous compliance (Cstat) and oxygenation index (OI) were significantly higher than those in the control group, and the time of using vasoactive drugs, ventilator and ICU hospitalization were significantly shorter than those in the control group ($P<0.05$). Compared with the control group, the incidence of infection, disseminated vascular coagulation and pulmonary function were significantly decreased($P<0.05$). **Conclusion:** On the basis of modified ultrafiltration technology, the combination of balanced ultrafiltration is more helpful to reduce the release of inflammatory factors in children with congenital heart disease, and improve coagulation and pulmonary function, promote THE postoperative recovery with higher safety.

Key words: Congenital heart disease; Balanced ultrafiltration; Inflammatory factors; Coagulation function; Lung function

Chinese Library Classification(CLC): R725.4 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2020)02-333-05

* 基金项目:2017年武汉市卫健委医学科科研项目(WX17B21)

作者简介:程玉梅(1980-),女,本科,主治医师,研究方向:复杂先心、婴幼儿先心围手术期重症监护,

电话:18963980773, E-mail: 1064339959@qq.com

(收稿日期:2019-05-23 接受日期:2019-07-11)

前言

先天性心脏病(以下简称先心病)是小儿先天畸形中较为常见的疾病,在所有先天畸形中所占比例高达 28%,随着近年来医学技术的不断进步,越来越多的先心病患儿可在体外循环技术下实施心内直视术治疗^[1]。但由于婴幼儿年纪小、体质量较低、病情复杂等因素,且该技术非生理循环过程,在手术过程中极易诱导大量炎症反应、凝血功能异常、肺功能损伤等,不利于术后恢复^[2,3]。超滤技术的主要指征是血液浓缩,对血管内凝血因子、血小板计数等具有保护作用,近年来也相继有报道发现,通过给予有效的超滤技术在改善上述情况中具有重要意义,目前临床上的超滤技术主要包括常规超滤、改良超滤、平衡超滤等,但何种方式用于先心病患儿是最有益的仍处于探讨阶段^[4,5]。因此,本研究旨在探讨不同超滤技术用于小儿先心病心

内直视手术中的作用,并观察其对术后炎症因子、凝血功能及肺功能的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择 2014 年 9 月至 2017 年 9 月我院接诊的 100 例先天性心脏病患儿进行研究,研究已通过我院伦理委员会批准实施。纳入标准:①符合先天性心脏病诊断标准,且身体情况具有心内直视术治疗指征^[6];②心功能分级 I~II 级;③年龄 6 个月~5 岁;④术前凝血功能、肝肾肺功能基本正常;⑤患儿家属知情同意此研究。排除标准:①已实施过心脏病手术史;②对研究所使用相关药物过敏;③合并严重肺功能障碍。通过随机数表法分为观察组 55 例和对照组 45 例,两组一般资料见表 1,差异无统计学意义($P>0.05$)。

表 1 两组一般资料比较 [$\bar{x}\pm s$, n(%)]

Table 1 Comparison of the general data between the two groups [$\bar{x}\pm s$, n(%)]

Item		Observation group (n=55)	Control group(n=45)	χ^2/t	P
Sex(M/F)		29/26	24/21	0.004	0.952
Age(years)		2.47± 0.40	2.56± 0.37	1.158	0.250
Weight(kg)		11.07± 2.25	11.01± 2.28	0.132	0.895
Classification of cardiac function	I	23(41.82)	17(37.78)	0.168	0.682
	II	32(58.18)	28(62.22)		
Types of disease	Simple ventricular septal defect	20(36.36)	16(35.56)	0.008	0.933
	Ventricular septal defect with patent ductus arteriosus	10(18.18)	9(20.00)	0.053	0.818
	Ventricular septal defect with pulmonary hypertension	13(23.64)	12(26.67)	0.121	0.728
	Fallot's tetrad	5(9.09)	4(8.89)	0.001	0.972
	The others	7(12.73)	4(8.89)	0.373	0.542
Extracorporeal circulation time(min)		91.74± 8.43	91.52± 8.80	0.127	0.899

1.2 方法

所有患儿入院后均择期行心脏病手术,麻醉方式为气管插管静吸复合麻醉,麻醉诱导为 8%七氟烷、50 μ g 芬太尼、顺苯磺阿曲库铵 3 mg 静脉滴注,气管插管后进行机械通气,根据患儿反应调整潮气量和药物使用剂量,两组均于体外循环下实施心内直视手术,均使用 Storkert III 型心肺机,以乳酸林格式液 300~600 mL、20%人血蛋白 20 g,抑肽酶 200 万 U 进行预充,以改良冷晶体停搏液进行心肌保护,体外循环鼻咽温控制在 25℃~28℃;两组第一次灌注量为 20 mL/kg,间隔 0.5 h 反复灌注一次,剂量调整为 10 mL/kg,经冠状动脉外吸引将停搏液丢弃,术中根据红细胞压积变化情况进行常规超滤。观察组在体外循环启动后患儿复温时开始平衡超滤,流量维持在 5~10 mL/kg·min,超滤过程中密切观察复方格林液液面情况,并持续加入液体稳定储血器,并于体外循环结束后即刻进行改良超滤,令血液回输至右心房,时间约 15~20 min,超滤量

150~200 mL;对照组仅在体外循环结束后即刻进行改良超滤,超滤量 400~500 mL,滤出液由乳酸格格式液进行补充,补充量为 250~350 mL。

1.3 观察指标

采集两组患儿术前(T_0)、体外循环结束后(术后)20 min(T_1)、术后 2 h(T_2)、术后 6 h(T_3)、术后 12 h(T_4)动脉血液标本 3 mL,离心分离血清后储存于零下 40℃的冷冻箱内待检,血清肿瘤坏死因子(TNF)- α 、白介素(IL)-6、IL-10 的检测均使用北京晶美生物科技有限公司生产的酶联免疫吸附法试剂盒进行;并使用日本 Sysmex Ca-1500 型全自动凝血仪检测活化部分凝血活酶时间(APTT)、凝血酶时间(TT)、纤维蛋白原(FIB)的表达;记录各时间肺功能的变化,指标包括肺静脉顺应性(Cstat)=潮气量/呼吸停顿压-呼气终末正压,肺泡-动脉氧分压梯度(AaDO₂)=[吸入气氧分压(PiO₂)×(P大气压-P水蒸汽)-动脉血二氧化碳分压(PaCO₂)/R]-动脉血氧分压(PaO₂),其中 P 大气压=760

mmHg, P 水蒸压 =47 mmHg, R=0.8; 氧合指数(OI)= PaO₂/ 吸入氧浓度百分比(FiO₂); 并记录血管活性药使用时间、呼吸机使用时间和 ICU 住院时间及术后并发症发生率。

1.4 统计学分析

以 spss18.0 软件包处理, 正态分布计量资料用均数± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 组间比较使用独立样本 t 检验, 组内比较使用配对样本 t 检验, 计数资料以率表示, χ^2 检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组不同时间点炎症因子比较

于 T₁、T₂、T₃ 时点, 两组血清 TNF- α 、IL-6、IL-10 较 T₀ 时点比较均显著升高($P < 0.05$), 观察组血清 TNF- α 、IL-6、IL-10 在 T₁、T₂、T₃ 时点均明显比对照组低($P < 0.05$), 于 T₄ 时点, 两组血清 TNF- α 、IL-6、IL-10 较 T₀ 时点比较差异均无统计学意义($P > 0.05$), 见表 2。

表 2 两组不同时间点炎症因子比较($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of the inflammatory factors at different time points between the two groups($\bar{x} \pm s$)

Index	Groups	n	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
TNF- α (mg/L)	Observation group	55	3.25± 0.27	5.20± 0.47**	4.37± 0.42**	3.50± 0.32**	3.14± 0.29
	Control group	45	3.17± 0.30	5.81± 0.60*	5.26± 0.48*	4.05± 0.37*	3.13± 0.34
IL-6(ng/L)	Observation group	55	22.75± 2.13	34.04± 2.85**	30.11± 2.60**	25.72± 2.54**	21.97± 2.21
	Control group	45	22.67± 2.18	42.03± 3.06*	36.72± 2.75*	30.10± 2.69*	22.84± 2.40
IL-10(ng/L)	Observation group	55	4.87± 0.82	13.94± 1.56**	10.73± 1.20**	6.93± 1.00**	4.81± 0.85
	Control group	45	4.95± 0.79	20.63± 1.77*	14.34± 1.33*	9.45± 1.14*	4.94± 0.89

Note: Comparison with T₀ time points, * $P < 0.05$; Comparison with control group, ** $P < 0.05$.

2.2 两组不同时间点凝血功能比较

于 T₁、T₂、T₃ 时点, 两组 APTT、TT、FIB 较 T₀ 时点均显著升高($P < 0.05$), 观察组 APTT、TT、FIB 在 T₁、T₂、T₃ 时点均明显低

于对照组($P < 0.05$), 于 T₄ 时点, 两组 APTT、TT、FIB 较 T₀ 时点比较差异均无统计学意义($P > 0.05$), 见表 3。

表 3 两组不同时间点凝血功能比较($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Comparison of the coagulation function at different time points between the two groups($\bar{x} \pm s$)

Index	Groups	n	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
APTT(s)	Observation group	55	31.50± 1.39	36.63± 1.84**	34.32± 1.70**	32.76± 1.59**	31.22± 1.40
	Control group	45	31.43± 1.46	39.06± 1.90*	36.71± 1.82*	34.45± 1.74*	31.71± 1.38
TT(s)	Observation group	55	20.02± 1.18	23.11± 1.34**	22.53± 1.27**	21.29± 1.23**	20.06± 1.15
	Control group	45	19.89± 1.20	24.04± 1.51*	23.41± 1.35*	21.99± 1.39*	20.02± 1.24
FIB(g/L)	Observation group	55	1.97± 0.35	3.04± 0.47**	2.83± 0.41**	2.25± 0.40**	1.95± 0.39
	Control group	45	1.95± 0.38	3.58± 0.55*	3.07± 0.47*	2.87± 0.44*	1.99± 0.32

Note: Comparison with T₀ time points, * $P < 0.05$; Comparison with control group, ** $P < 0.05$.

2.3 两组不同时间点肺功能比较

于 T₁、T₂、T₃ 时点, 两组 Cstat、OI 较 T₀ 时点比较均显著降低, AaDO₂ 显著升高($P < 0.05$), 观察组 Cstat、OI 在 T₁、T₂、T₃ 时

点均明显高于对照组, AaDO₂ 明显低于对照组($P < 0.05$), 于 T₄ 时点, 两组 Cstat、AaDO₂、OI 较 T₀ 时点比较差异均无统计学意义($P > 0.05$), 见表 4。

表 4 两组不同时间点肺功能比较($\bar{x} \pm s$)

Table 4 Comparison of the pulmonary function at different time points between the two groups($\bar{x} \pm s$)

Index	Groups	n	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Cstat (mL/cmH ₂ O)	Observation group	55	6.03± 0.54	5.40± 0.37**	5.55± 0.41**	5.71± 0.50**	6.05± 0.51
	Control group	45	5.97± 0.58	4.76± 0.32*	5.03± 0.38*	5.28± 0.41*	6.01± 0.59
AaDO ₂ (mmHg)	Observation group	55	204.55± 17.40	227.86± 20.64**	220.41± 19.75**	212.04± 18.40**	205.71± 15.57
	Control group	45	203.86± 18.82	247.74± 22.82*	246.93± 18.94*	226.92± 20.28*	204.95± 18.30
OI	Observation group	55	288.76± 30.45	230.45± 22.71**	240.85± 24.11**	270.11± 27.40**	290.96± 29.40
	Control group	45	290.05± 28.46	201.24± 20.72*	210.85± 18.45*	259.44± 23.04*	289.74± 30.74

Note: Comparison with T₀ time points, * $P < 0.05$; Comparison with control group, ** $P < 0.05$.

2.4 两组术后恢复情况比较

院时间均明显比对照组短($P<0.05$),见表 5。

观察组血管活性药使用时间、呼吸机使用时间和 ICU 住

表 5 两组术后恢复情况比较($\bar{x}\pm s, h$)

Table 5 Comparison of the postoperative recovery between the two groups($\bar{x}\pm s, h$)

Groups	n	Time of using vasoactive drugs	Time of ventilator	ICU hospitalization
Observation group	55	9.75± 1.47	19.43± 2.51	43.34± 7.45
Control group	45	16.84± 2.03	28.28± 3.24	51.01± 9.27
t		20.227	15.390	4.588
P		0.000	0.000	0.000

2.5 两组并发症比较

显低于对照组($P<0.05$),见表 6。

观察组感染、弥散性血管性凝血、肺功能损伤等发生率明

表 6 两组并发症比较[n(%)]

Table 6 Comparison of the complication between the two groups[n(%)]

Groups	n	Infection	Disseminated vascular coagulation	Pulmonary function injury	The others	总发生率
Observation group	55	3(6.67)	2(4.44)	2(4.44)	3(6.67)	10(22.22)
Control group	45	5(11.11)	5(11.11)	4(8.89)	5(11.11)	19(42.22)
χ^2						4.121
P						0.042

3 讨论

体外循环是小儿先心病手术中较为常见的使用方式,有助于提高心脏手术的安全性,但体外循环可造成一系列的生理、病理性环境改变,首先是由于血液会和循环管道之间相互接触,刺激大量白细胞激活,诱导机体发生一系列炎症反应,分泌血清 TNF- α 、IL-6、IL-10 等炎症因子的表达^[7,8]。而在此过程中,凝血酶和纤溶酶之间也会发生过度激活,致使凝血因子和血小板的大量消耗,造成凝血功能紊乱,部分患儿术后甚至可出现弥散性血管性凝血,影响预后^[9,10]。此外,大量的炎症因子释放和凝血功能紊乱会直接损伤到肺,而主要机制为体外循环经由旁路途径激活补体可直接造成肺损伤,而白细胞的激活和产生大量的过敏毒素,令肺血管收缩、通透性增加,加之所释放的炎性介质、自由基等也会对肺血管造成损伤,降低肺功能,不仅不利于术后恢复,还容易增加围术期死亡率^[11,12]。

超滤技术的主要原理是以肾小球滤过,经由一个半透膜超滤器,将跨膜压差作为驱动力,令血液水分、血管内细胞成分、可溶性小分子物质、血浆蛋白等分开并滤出体外的技术^[13,14]。目前临床上的超滤技术主要包括常规超滤、改良超滤和平衡超滤,常规超滤由于出液体有限难以达到预期效果,在 1991 年时 Naik 等提出了改良超滤技术,该技术是在转流结束时使用动脉至静脉进行反向超滤,可较为快速的滤出水分、浓缩血液等,但由于改良超滤的超滤时间较短,也有学者指出其在滤出炎性介质等方面的效果欠佳^[15,16]。平衡超滤技术是 1996 年 Jourmois 所提出,该技术是指在体外循环过程中持续进行超滤液体,并给予适量晶体液的补充,维持贮血器液体平面^[17,18]。主要作用便是滤出炎性介质,弥补了改良超滤技术的滤出炎性介质不足的

缺陷^[19,20]。但也有报道发现,平衡超滤技术仅能滤出手术过程中所生成的炎性因子,无法滤过术后的炎性介质^[21,22]。为弥补这一缺陷,近年来有研究将改良超滤和平衡超滤相互结合用于心脏体外循环围术期,俞瑾等^[23]将平衡超滤联合改良超滤用于高风险心脏瓣膜置换术患者中后发现,该方式更有助于减少术中输血量,缩短术后呼吸机辅助时间,对肺功能具有一定保护作用。另也有研究也发现,通过复合平衡超滤在滤出炎性介质中效果更佳显著,可发挥更好的器官保护效应^[24,25]。

本研究结果显示,联合平衡超滤的患儿在术后炎症因子、凝血功能、肺功能等结果上均优于仅使用改良超滤的患儿,通过分析是由于联合平衡超滤,可有效降低术中炎症介质的血液浓度^[26,27],再结合改良超滤减少术后炎症因子的释放,两种技术发挥各自不同优势,进一步减少炎症因子的释放、减少凝血酶和纤溶酶的过度激活,改善凝血功能^[28,29]。潘全华^[30]的研究也得出相似结论。而在有效滤出炎症因子、改善凝血功能后,不仅可减少炎症介质对肺毛细血管内皮的损伤,还可提高胶体渗透压,减少肺功能损伤程度,对肺功能具有一定保护作用。且本研究中联合平衡超滤技术的患儿术后血管活性药使用时间、呼吸机使用时间、ICU 住院时间均更短,并发症发生率更低,显示在有效改善炎症因子、凝血功能、肺功能等情况后,具有器官保护效应有助于促进术后恢复,具有更高的安全性。

综上所述,在改良超滤技术上,联合平衡超滤更有助于减轻小儿先心病术后炎症因子的释放,具有较好的凝血功能、肺功能保护作用,可有效促进术后恢复,减少围术期并发症。

参考文献(References)

- [1] 周天津, 罗亚玲, 周雪晴, 等. 中国先天性心脏病危险因素 Meta 分析[J]. 重庆医学, 2016, 45(09): 1240-1243, 1248

- [2] 张泽伟. 先天性心脏病外科治疗的进展和挑战[J]. 实用医院临床杂志, 2016, 13(04): 26-31
- [3] 徐新利, 王敏, 李学云, 等. 先天性心脏病患儿围术期输血与术后肺损伤的相关性研究 [J]. 现代生物医学进展, 2018, 18(11): 2150-2153
- [4] Nakayama M, Kawaguchi Y, Akiba T, et al. A new peritoneal dialysis fluid for Japanese patients: a randomized non-inferiority clinical trial of safety and efficacy[J]. Clin Exp Nephrol, 2017, 21(5): 895-907
- [5] Fang Y, Guan Y, Wan C, et al. The dynamic observation of plasma concentration of antimicrobial agents during balanced ultrafiltration in vitro[J]. Artif Organs, 2014, 38(1): 48-55
- [6] 丁文祥, 苏肇伉, 朱德明. 小儿体外循环学[M]. 北京: 世界图书出版公司, 2009: 100-105
- [7] Kurniawati ER, Weerwind PW. Extracorporeal Life Support in Adult Patients: A Global Perspective of the Last Decade [J]. Dimens Crit Care Nurs, 2019, 38(3): 123-130
- [8] Rance G, Arney D, Srey R, et al. Establishing a Ventilator-Heart Lung Machine Communication Bridge to Mitigate Errors when Weaning from Bypass[J]. J Extra Corpor Technol, 2019, 51(1): 38-40
- [9] Pietribiasi M, Katzarski K, Galach M, et al. Kinetics of plasma refilling during hemodialysis sessions with different initial fluid status [J]. ASAIO J, 2015, 61(3): 350-356
- [10] Dekker NAM, van Meurs M, van Leeuwen ALI, et al. Vasculotide, an angiopoietin-1 mimetic, reduces pulmonary vascular leakage and preserves microcirculatory perfusion during cardiopulmonary bypass in rats[J]. Br J Anaesth, 2018, 121(5): 1041-1051
- [11] Kundra TS, Nagaraja PS, Bharathi KS, et al. Inhaled levosimendan versus intravenous levosimendan in patients with pulmonary hypertension undergoing mitral valve replacement [J]. Ann Card Anaesth, 2018, 21(3): 328-332
- [12] 郑坤, 张红. 体外循环肺损伤机制与肺保护策略的研究进展 [J]. 中国医药导报, 2016, 13(35): 32-35
- [13] Castro AC, Neri M, Nayak Karopadi A, et al. Wearable artificial kidney and wearable ultrafiltration device vascular access-future directions[J]. Clin Kidney J, 2018, 12(2): 300-307
- [14] Ünü S, Pagourelas E, Sezenöz B, et al. Higher ultrafiltration rate is associated with right ventricular mechanical dispersion [J]. Anatol J Cardiol, 2019, 21(4): 206-213
- [15] 赵举. 小儿改良超滤方法改进与应用扩展 [J]. 中国体外循环杂志, 2016, 14(01): 62-64
- [16] Lin CW, Aguilar S, Rao E, et al. Direct grafting of tetraaniline via perfluorophenylazide photochemistry to create antifouling, low bio-adhesion surfaces[J]. Chem Sci, 2019, 10(16): 4445-4457
- [17] Kazory A. Ultrafiltration Therapy for Heart Failure: Balancing Likely Benefits against Possible Risks [J]. Clin J Am Soc Nephrol, 2016, 11(8): 1463-1471
- [18] 刘旭. 体外循环中联合超滤方法对低龄低体质量婴幼儿心脏手术后肺功能的影响[J]. 中国临床新医学, 2018, 11(08): 789-792
- [19] Tsuji Y, Suzuki N, Hitomi Y, et al. Quantification of autonomic nervous activity by heart rate variability and approximate entropy in high ultrafiltration rate during hemodialysis [J]. Clin and Exp Nep, 2016, 21(3): 1-7
- [20] Matata BM, Scawn N, Morgan M, et al. A Single-Center Randomized Trial of Intraoperative Zero-Balanced Ultrafiltration During Cardiopulmonary Bypass for Patients With Impaired Kidney Function Undergoing Cardiac Surgery [J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2015, 29(5): 1236-1247
- [21] Flythe JE, Assimon MM, Overman RA. Target weight achievement and ultrafiltration rate thresholds: potential patient implications [J]. BMC Nep, 2017, 18(1): 185
- [22] 付志达, 方颖慧, 管玉龙, 等. 婴幼儿体外循环中零平衡超滤对炎症因子的影响[J]. 生物医学工程与临床, 2016, 20(02): 136-142
- [23] 俞瑾, 詹海婷, 李帆, 等. 改良超滤与零平衡超滤对高风险心脏瓣膜置换术患者术后心肺功能的影响 [J]. 中国体外循环杂志, 2017, 15(03): 144-147
- [24] Sun H, Tang B, Wu P. Development of Hybrid Ultrafiltration Membranes with Improved Water Separation Properties Using Modified Superhydrophilic Metal-Organic Framework Nanoparticles [J]. ACS applied materials & interfaces, 2017, 9(25): 21473-21484
- [25] Ames WA. Pro: The Value of Modified Ultrafiltration in Children After Cardiopulmonary Bypass[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2019, 33(3): 866-869
- [26] Heath M, Raghunathan K, Welsby I, et al. Using Zero Balance Ultrafiltration with Dialysate as a Replacement Fluid for Hyperkalemia during Cardiopulmonary Bypass [J]. J Extra Corpor Technol, 2014, 46(3): 262-266
- [27] 罗荣, 陈枝, 张伟强, 等. 零平衡超滤对体外循环瓣膜置换术患者白细胞介素-6、白细胞介素-10和高敏C-反应蛋白的影响[J]. 岭南心血管病杂志, 2018, 24(05): 556-560
- [28] Datt B, Munro HM, DeCampi WM. The Novel Use of a Low Prime Modified Ultrafiltration Apparatus in a 13-kg Jehovah's Witness Patient: A Case Report [J]. J Extra Corpor Technol, 2018, 50(3): 178-183
- [29] Crimi E, Hernandez-Barajas D, Seller A, et al. The Effect of Modified Ultrafiltration on Serum Vancomycin Levels During Cardiopulmonary Bypass in Cardiac Surgery [J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2019, 33(1): 102-106
- [30] 潘全华. 平衡超滤对先天性心脏病手术婴幼儿体内炎症因子及抗生药浓度的影响[J]. 医学临床研究, 2017, 34(6): 1189-1191