

· 论 著 ·

DOI: 10.13498/j.cnki.chin.j.ecc.2020.05.11

新型改良低预充体外循环系统的临床应用

刘 刚,李勇男,刁晓林,高思哲,周 纯,闫姝洁,王 茜,滕 媛,王 建,吉冰洋

[摘要]:目的 评价新型改良低预充体外循环系统(FUWAI-SAVE 系统)的临床效果。方法 收集 2015 年 1 月 1 日至 2018 年 1 月 31 日在中国医学科学院阜外医院心脏外科体外循环下成人手术的患者资料,进行 1:1 倾向性评分匹配回顾性队列研究,共匹配成功 1 070 名 FUWAI-SAVE 组患者和 1 070 名常规组患者。主要结局指标为围体外循环期红细胞输注率。结果 匹配后两组患者基线数据无差异。FUWAI-SAVE 组围体外循环期输血率明显下降(红细胞:34.8% vs. 27.2%, $P=0.0002$;新鲜冰冻血浆:19.1% vs. 12.6%, $P<0.0001$;血小板:0.9% vs. 0.1%, $P=0.0065$)。FUWAI-SAVE 组患者 ICU 医疗费用及住院总费用均明显低于常规组患者。两组患者其他术后结局无明显统计学差异。结论 FUWAI-SAVE 系统减少临床血制品使用并节约医疗花费。

[关键词]: 体外循环;低容量预充;FUWAI-SAVE 系统;倾向性评分匹配分析;血液保护;心脏手术

A novel modified cardiopulmonary bypass with low prime volume – FUWAI – SAVE system

Liu Gang, Li Yongnan, Diao Xiaolin, Gao Sizhe, Zhou Chun, Yan Shujie, Wang Qian, Teng Yuan, Wang Jian, Ji Bingyang

Department of Cardiopulmonary Bypass, Fuwai Hospital, National Center for Cardiovascular Diseases, Chinese Academy of Medical Science and Peking Union Medical College, Beijing 100037, China

Corresponding author: Ji Bingyang, Email: jibingyang@fuwai.com

[Abstract]: Objective This study was evaluate the clinical outcomes of FUWAI-SAVE system and to share its application experience. **Methods** This was a propensity-matched observational cohort study. Patients who underwent cardiac surgery in Fuwai Hospital discharged from 1/1/2015 to 31/1/2018 were evaluated. After 1:1 propensity-matching, a cohort with 1 070 patients underwent conventional cardiopulmonary bypass (CPB) and 1 070 patients underwent the FUWAI-SAVE system was created. The primary outcome was red blood cell transfusion rate. **Results** There was no significant difference between the two groups in demographic characteristics. Red cell blood transfusion was significantly decreased in the FUWAI-SAVE group (34.8% vs 27.2%, $P=0.0002$), and the same with fresh frozen plasma and platelet transfusion (19.1% vs 12.6%, $P<0.0001$; 0.9% vs 0.1%, $P<0.0001$). Compared to the conventional CPB group, FUWAI-SAVE group exhibited less intensive care unit costs and in-hospital costs. No significant difference was observed regarding mortality between the two groups. **Conclusion** The FUWAI-SAVE system can reduce perioperative transfusion and save health care costs.

[Key words]: Cardiopulmonary bypass; Low prime volume; FUWAI-SAVE system; Propensity-matched study; Blood conservation; Cardiac surgery

心肺转流(cardiopulmonary bypass, CPB)是心脏直视手术的重要辅助技术,促进了心脏外科的发展^[1]。自 1953 年首例 CPB 手术问世以来,其相关

材料及技术已得到极大改进,包括泵、氧合器、管路以及心肌保护、抗凝技术等。尽管传统 CPB 系统很安全,但仍旧存在较明显的血液稀释、凝血功能紊乱以及全身炎症反应等缺陷^[2]。当今医疗技术的发展使心脏外科进入微创化时代,体外循环亦然,目前迷你体外循环(minimal extracorporeal circulation, MECC)在欧洲应用已较广泛^[3]。MECC 整合缩短的闭式管路和离心泵,无动脉微栓滤器及硬壳式回流室。MECC 具有诸多优点,包括整个环路的表面

作者单位:100037 北京,中国医学科学院阜外医院体外循环中心[刘 刚、高思哲(研究生)、周 纯、闫姝洁、王 茜、滕媛、王 建],信息中心(刁晓林);730030 甘肃,兰州大学第二医院心脏外科(李勇男)

通讯作者:吉冰洋,Email:jibingyang@fuwai.com

生物活性涂层;无静脉储血室故无气血直接接触界面;离心泵对血细胞的破坏更少;预充量少血液稀释度更小^[4];含大量炎性介质的术野出血经过处理后再回输等。2019 年 10 月欧洲成人 CPB 指南将 MECC 作为 CPB 期间血液保护及提高生物相容性为 IIa 级推荐, B 级证据^[5]。但 MECC 成本高昂且存在较长学习曲线^[6], 无静脉储血室会导致术野出血较多的开放心脏的心脏手术术中血容量丢失太多而被迫输血, 对于体型相对较小的亚洲人影响更为显著。

本院体外循环中心参考部分 MECC 的设计特点, 针对一些方面进行了改进, 联合应用改良缩短管路、整合动脉微栓滤器的氧合器、负压辅助静脉引流装置(vacuum assisted venous drainage, VAVD)、迷你停搏液装置, 构建新型改良低容量预充 MECC 系统——FUWAI-SAVE 系统。本研究旨在探究 FUWAI-SAVE 系统的安全性及实效性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集 2015 年 1 月 1 日至 2018 年 1

月 31 日在中国医学科学院阜外医院行 CPB 下心脏外科手术的成人患者资料。纳入标准:①患者年龄 ≥ 18 周岁;②各种病因引起需进行 CPB 下心脏直视手术。排除标准:①行心脏移植或心肺联合移植;②行急诊手术;③行二次开胸手术;④行杂交手术;⑤行深低温 CPB 的大血管手术。根据接受的 CPB 方式分为: FUWAI-SAVE 组 1 070 例和常规组 18 617 例。将年龄、性别、射血分数、欧洲心脏手术风险评分(EuroSCORE I)以及实验室检查(含丙氨酸转氨酶、天冬氨酸转氨酶、乳酸脱氢酶、肌酸激酶、肌酐、尿素氮、白细胞、中性粒细胞、红细胞、血红蛋白、血细胞比容、血小板)进行 1:1 倾向性评分匹配, 共 1 070 对患者匹配成功。匹配后两组患者基线资料均无统计学差异, 标准化均数差(standard mean difference, SMD) < 0.1 (表 1)。

1.2 FUWAI-SAVE 系统 FUWAI-SAVE 系统与常规 CPB 系统构成对比见表 2, FUWAI-SAVE 系统结构示意图见图 1。

1.3 CPB 管理 本院所有常规心脏外科 CPB 手术

表 1 匹配后两组患者基线变量比较

项目	总体(n=2 140)	常规组(n=1 070)	FUWAI-SAVE 组(n=1 070)	SMD
年龄(岁)	56.1(46.4, 63.8)	55.8(47.3, 63.3)	56.5(44.9, 64.2)	0.03
男性[n(%)]	1 224(57.2)	626(58.5)	598(55.9)	0.05
BMI(kg/m ²)	23.8(21.5, 26)	23.8(21.5, 26.1)	23.8(21.5, 26)	0.02
EuroSCORE	2(2, 3)	2(2, 4)	2(2, 3)	0.03
射血分数(%)	60.8(58, 65)	60.2(58, 65)	61(57.6, 65)	0.01
NYHA III ~ IV 级[n(%)]	363(17.0)	198(18.5)	165(15.4)	0.07
不稳定心绞痛[n(%)]	111(5.2)	64(6)	47(4.4)	0.08
心肌梗死[n(%)]	257(12)	115(10.7)	142(13.3)	0.01
高血压[n(%)]	786(36.7)	391(36.5)	395(36.9)	0.02
糖尿病[n(%)]	364(17)	178(16.6)	186(17.4)	0.07
谷氨酸转氨酶(IU/L)	22(14, 35)	22(14, 35)	23(15, 34)	0.03
天冬氨酸转氨酶(IU/L)	23(17, 35)	23(17, 37)	22(17, 34)	0.01
乳酸脱氢酶(IU/L)	173(148, 205)	173.5(147, 204)	172(150, 205)	0.01
肌酸激酶(IU/L)	58(43, 80)	55(41, 76)	61(45, 85)	0.04
肌酐(μ mol/L)	85(70.6, 101.7)	84.6(71, 102)	85.5(70.4, 101.6)	0.01
尿素氮(mmol/L)	6.1(4.9, 7.7)	6.2(5, 7.7)	6.1(4.7, 7.7)	0.04
白细胞($\times 10^9/L$)	11(8.9, 13.5)	11(8.9, 13.5)	11(9, 13.5)	0.03
中性粒细胞(%)	91.8(88.3, 94.1)	91.8(88.4, 94.1)	91.7(88.3, 94)	0.04
红细胞($\times 10^{12}/L$)	3.7(3.3, 4)	3.7(3.3, 4)	3.7(3.3, 4)	0.03
血红蛋白(g/L)	111(100, 122)	111(100, 121)	112(101, 122)	0.03
血细胞比容(L/L)	0.3(0.3, 0.4)	0.3(0.3, 0.4)	0.3(0.3, 0.4)	0.01
血小板计数($\times 10^9/L$)	135(107, 167)	133(105, 167)	136(109, 167)	0.03

注: BMI: 身体质量指数; NYHA: 美国纽约心脏病协会心功能分级; 连续性变量均表示为中位数(25 分位数, 75 分位数); SMD: 标准化均数差。

表 2 两组 CPB 系统对比

项目	FUWAI-SAVE 组	常规组
膜式氧合器	整合动脉微栓滤器的氧合器	普通氧合器
人工血管路套包	阜外改良低预充管道包	阜外常规管道包
微栓过滤器	整合式	分离式动脉微栓滤器
心肌保护液	迷你停搏液(钾离子浓度 600 mmol/L,晶:血 1:30)	改良托马斯停搏液(钾离子浓度 100 mmol/L,晶:血 1:4)
停搏液灌注管路	微量停搏液灌注管路	1:4 氧合血心脏停搏灌注管路
其他装置	VAVD	无
回路管道长度及管径	动静脉管路内径均为 3/8 英寸,动脉管路 140 cm,静脉管路 3/8 英寸 125 cm。主泵管 77 cm,管路总长度 342 cm。	动脉管路内径 3/8 英寸长度 165 cm,静脉管路内径 1/2 英寸长度 185 cm,主泵管长度 193 cm,氧合器出口至动脉微栓滤器之间管路内径 3/8 英寸,长度 120 cm。总长度 663 cm。
静态预充量	750 ml	1 250 ml

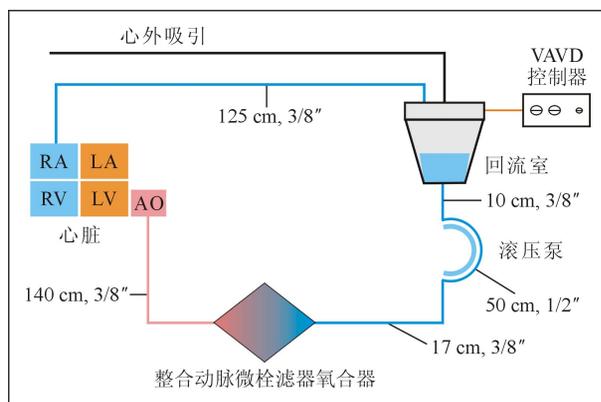


图 1 FUWAI-SAVE 系统示意图

患者麻醉诱导维持及转中管理均采取相同策略。所有患者术前禁食水,入手术室后,行心电监护,开放前臂静脉通路,面罩吸氧,局麻下行桡动脉穿刺监测动脉压。咪达唑仑、依托咪酯、罗库溴铵/苯磺酸阿曲库胺、舒芬太尼静脉麻醉诱导后行气管插管。间断追加舒芬太尼、咪达唑仑,持续泵注苯磺酸阿曲库胺、右美托咪定和丙泊酚麻醉维持。转流过程中维持灌注流量 2.0~2.4 L/(m²·min);平均动脉压 55~75 mm Hg;混合静脉血氧饱和度(75±10)%;温度为浅低温,根据手术需求维持于 30~34℃;心肌停搏液复灌时间控制在 30 min。

1.3.1 输红细胞指征 ①CPB 后患者血红蛋白<80 g/L,输注红细胞;②CPB 期间患者血红蛋白<60 g/L,或存在脑缺血风险的患者血红蛋白<70 g/L 应当输红细胞;③对心肺功能受限、活动出血、实验室或临床参数(如混合静脉血氧饱和度、心电图或超声心动图)等提示存在重要脏器缺血,可考虑输注红细胞适当提高患者血红蛋白水平;④当患者血红蛋白>100 g/L 时,除非新发生重要脏器缺血,不需要输红细胞。

1.3.2 血小板输注指征 当患者血小板计数<50×10⁹/L 且有出血时,输注血小板。

1.3.3 新鲜冰冻血浆输注指征 ①凝血酶原时间>1.5 倍正常值或>17 s、国际标准化比值>1.6、活化部分凝血酶时间>2 倍正常值,合并出血;②大量输入库存全血或浓缩红细胞后(出血量或输血量相当于患者自身血容量约 70 ml/kg);③血液回收洗涤红细胞量达到自身血容量 30%时;④无凝血酶原复合物时,用于紧急对抗华法林的抗凝血作用(5~8 ml/kg);⑤抗凝血酶Ⅲ缺乏引起肝素耐药者。

1.4 结局指标 主要结局指标为围 CPB 期(CPB 开始后至出院)红细胞输注率。次要结局指标包括围 CPB 期新鲜冰冻血浆输注率、血小板输注率、血制品输注量、术后主要并发症发生率(即脑血管意外、肝功能衰竭、肾功能衰竭、心肌梗死、胸腔引流 >1 000 ml 及机械通气时间>48 h)、胸腔引流量、机械通气时间、主动脉内球囊反搏置入率、体外膜氧合置入率、ICU 时间、住院时间、院内死亡率、ICU 费用及住院费用。

1.5 统计学分析 连续性变量用中位数(四分位间距)表示,组间比较采用非参数检验;分类变量用频数和百分比表示,组间比较采用 X² 检验或 Fisher 精确概率法。统计分析软件采用 SAS® 9.4 软件。所有的统计检验均采用双侧检验, P < 0.05 将被认为所检验的差别有统计意义。

2 结果

2.1 两组患者术中结果比较 两组患者手术种类见表 3。FUWAI-SAVE 组患者中位手术时间、CPB 时间和主动脉阻断时间分别为 285 min、92 min 和 61

min。FUWAI-SAVE 组超滤量显著降低。见表 3。

2.2 两组患者围 CPB 期血制品使用比较 两组患者围 CPB 期血制品使用比较见表 4。FUWAI-SAVE 组围 CPB 期输血率和输血量均明显下降。

2.3 两组患者术后结局比较 两组患者术后结局比较见表 5。FUWAI-SAVE 组胸腔引流量和机械通气时间低于常规组。尽管术后 ICU 和住院时间无统计学差异, FUWAI-SAVE 组患者 ICU 医疗费用及住院总费用均明显低于常规组患者。两组患者其他术后结局亦无明显统计学差异。

3 讨论

根据全球血液保护指南, 目前围 CPB 期应用的血液保护方法常包括以下几种: MECC、迷你停搏液、VAVD、自体血预充等减少稀释容量的方法, 以及生物相容性涂层管道、自体红细胞回收、平衡超滤、改良超滤等其他方法^[5]。随着心脏外科微创手术的发展, 具备密闭式环路、低预充量、涂层管路和氧合器以及离心泵转流等特点的 MECC 应用逐年增多。2019 年 10 月欧洲成人 CPB 指南推荐 MECC 为 CPB 期间血液保护 II a 级推荐, B 级证据。本团队前期一项纳入 41 篇随机对照研究的 meta 分析显示: MECC

可降低心脏外科患者术后心血管并发症发生率, 同时降低了输血率^[8]; 一系列前瞻性及回顾性研究证明 MECC 可减轻血液稀释, 减少围术期输血^[9-10], 另外可减少血栓栓塞事件^[11]。本中心早期曾应用 MECC 初步证明其安全有效^[12]。然而由于 MECC 存在一些固有缺点, 目前在国内乃至世界范围内仍未广泛应用^[13]。因此, 国内外各中心根据指南推荐设计出符合本中心临床应用需求的 CPB 系统。

目前国内很多中心常将 VAVD 用于新生儿及低体重患儿, 以解决插管过细带来的引流不畅问题, 减少预充量^[14]; 此外, VAVD 用于微创心脏外科手术, 可保证充分引流, 并减少围术期血制品使用^[15]。尽管应用 VAVD 可减小预充量, 降低输血率效果明显, 但由于其存在溶血及气栓侵入风险, 美国心脏外科血液保护指南将 VAVD 合并缩短管路列为 II b(C) 推荐^[4]。尽管应用微量停搏液可明显降低停搏液灌注过程中的晶体入量, 但单独应用微量停搏液并未明显降低输血率^[16-17]。目前多将微量停搏液与其他血液保护策略合用, 以达到降低 CPB 期间输血率的目的^[18-19]。

FUWAI-SAVE 系统目前已常规应用于本中心 CPB 下心脏外科手术, 其中起到关键作用的是以下

表 3 匹配后两组患者术中结果比较

项目	总体(n=2 140)	常规组(n=1 070)	FUWAI-SAVE 组(n=1 070)	P 值
术种				
单纯瓣膜手术[n(%)]	754(35.2)	364(34.0)	390(36.4)	0.2394
单纯 CABG[n(%)]	741(34.6)	375(35.0)	366(34.2)	0.6826
瓣膜合并 CABG[n(%)]	142(6.6)	68(6.4)	74(6.9)	0.6023
先天性心脏病[n(%)]	329(15.4)	140(13.1)	189(17.7)	0.0033
其他[n(%)]	174(8.1)	123(11.5)	51(4.8)	<0.0001
手术时间(min)	280(240, 323)	271(227, 319)	285(252, 326)	<0.0001
CPB 时间(min)	95(74, 124)	97(75, 125)	92(72, 123)	0.0311
主动脉阻断时间(min)	65(47, 87)	68(51, 90)	61(45, 84)	<0.0001
超滤量(ml)	1 500(1 000, 2 000)	1 500(1 000, 2 000)	1 350(800, 2 000)	0.0240

注: CABG: 冠状动脉旁路移植术; 连续性变量均表示为中位数(25 分位数, 75 分位数)。

表 4 匹配后两组患者围 CPB 期血制品使用比较

项目	总体(n=2 140)	常规组(n=1 070)	FUWAI-SAVE 组(n=1 070)	P 值
红细胞输注率[n(%)]	663(31)	372(34.8)	291(27.2)	0.0002
红细胞输注量(U)	4(2, 4)	4(2, 4)	2(2, 4)	0.0096
新鲜冰冻血浆输注率[n(%)]	339(15.8)	204(19.1)	135(12.6)	<0.0001
新鲜冰冻血浆输注量(U)	4(4, 8)	4(4, 8)	4(4, 8)	0.7579
血小板输注率[n(%)]	11(0.5)	10(0.9)	1(0.1)	0.0065
血小板输注量(U)	1(1, 1)	1(1, 1)	1(1, 1)	0.8038

注: 连续性变量均表示为中位数(25 分位数, 75 分位数)。

表 5 匹配后两组患者术后结局比较

项目	总体(n = 2 140)	常规组(n = 1 070)	FUWAI-SAVE 组(n = 1 070)	P 值
脑血管事件[n(%)]	4(0.2)	2(0.2)	2(0.2)	1.0000
肝功能衰竭[n(%)]	19(0.9)	11(1)	8(0.7)	0.4894
肾功能衰竭[n(%)]	105(4.9)	58(5.4)	47(4.4)	0.2710
心肌梗死[n(%)]	16(0.7)	8(0.7)	8(0.7)	1.0000
胸腔引流量(ml)	610(430,910)	710(510,1015)	530(360,780)	<.0001
胸腔引流量>1 000 ml[n(%)]	47(2.2)	31(2.9)	16(1.5)	0.0269
机械通气时间(h)	15(12,19)	16(13,20)	15(12,18)	<.0001
机械通气时间>48 h[n(%)]	83(3.9)	46(4.3)	37(3.5)	0.3136
IABP 置入[n(%)]	13(0.6)	4(0.4)	9(0.8)	0.1642
ECMO 置入[n(%)]	3(0.1)	2(0.2)	1(0.1)	0.5634
ICU 时间(h)	48(24,96)	48(24,96)	48(24,96)	0.2674
住院时间(d)	14(12,19)	14(12,19)	15(12,19)	0.2228
住院死亡率[n(%)]	13(0.6)	7(0.7)	6(0.6)	0.7809
ICU 花费(万元)	2.659(1.545,4.569)	2.828(1.600,4.961)	2.434(1.489,4.174)	0.0002
住院花费(万元)	9.330(7.771,11.933)	9.454(7.895,12.192)	9.252(7.675,11.474)	0.0350

注:IABP:主动脉内球囊反搏;ECMO:体外膜氧合;连续性变量均表示为中位数(25 分位数,75 分位数)。

四部分:①整合改良缩短管路;②整合动脉微栓滤器的氧合器,在不增加动脉栓塞风险的同时减少了分离式动脉微栓滤器所占的静态预充量;③通过 VAVD 给回流室施加-20 mm Hg 左右负压而实现不依赖重力落差的主动引流,在安全负压范围内可以减小回流室和患者之间的高度差,并使管路缩短变细,且能维持有效的静脉引流量;④迷你停搏液钾离子浓度高,减少了停搏液中的晶体部分,减少转流过程中的血液稀释。因此,该低容量预充 CPB 系统被命名为 FUWAI-SAVE 系统。同时,这也体现出该系统节约临床用血、节约医疗花费并挽救生命的特点。

过度的血液稀释会降低重要器官的氧供、损伤各组织器官、引发功能障碍。为纠正这一状态,可以使用超滤技术滤除多余水分或输注红细胞,然而对于低体重低血容量患者,只能通过输注红细胞来纠正。大量研究显示输血可能造成如感染、溶血、过敏反应等严重后果^[20-21]。与欧美国家相比,我国人口普遍体重较小,血容量相对偏少,在心脏外科直视手术中发生过度血液稀释而需要输血的可能性更高。

本研究显示 FUWAI-SAVE 系统可显著减少成人心脏外科围 CPB 期血制品(含红细胞、新鲜冰冻血浆及血小板 T)输注率及平均输注量,并减少胸腔引流量、缩短机械通气时间。因此,应用 FUWAI-SAVE 系统可有效减少 CPB 下心脏直视手术的临床用血量,有助于降低临床风险,缓解我国紧张的血液供应。同时本研究显示 FUWAI-SAVE1 系统降低医

疗费用,其中 FUWAI-SAVE 组患者 ICU 费用较常规组减少 3 943 元,因此 FUWAI-SAVE 系统存在缓解医疗经济负担的潜力。目前 FUWAI-SAVE 系统已表现出显著的临床获益及社会效益,但今后该系统仍有进一步改进发展的空间,随着材料技术的发展,将来还可以实现应用泵肺一体的氧合器及同时应用逆行自体血预充等技术方法,进一步减轻血液稀释,取得更佳的血液保护效果。

参考文献:

- [1] 吉冰洋,闫姝洁,章晓华,等. 从经验到循证:《2019 欧洲成人心脏手术心肺转流指南》解读[J]. 中国体外循环杂志,2020,18(1):3-7.
- [2] Paparella D, Yau TM, Young E. Cardiopulmonary bypass induced inflammation: pathophysiology and treatment. An update[J]. Eur J Cardiothorac Surg, 2002, 21(2): 232-244.
- [3] Remadi JP, Marticho P, Butoi I, et al. Clinical experience with the mini-extracorporeal circulation system: an evolution or a revolution[J]? Ann Thorac Surg, 2004, 77(6): 2172-2175.
- [4] Society of Thoracic Surgeons Blood Conservation Guideline Task Force, Ferraris VA, Brown JR, et al. 2011 update to the society of thoracic surgeons and the society of cardiovascular anesthesiologists blood conservation clinical practice guidelines[J]. Ann Thorac Surg, 2011, 91(3): 944-982.
- [5] 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.
- [6] Curtis N, Vohra HA, Ohri SK. Mini extracorporeal circuit cardiopulmonary bypass system: a review[J]. Perfusion, 2010, 25(3):

- 115-124.
- [7] Peter C Austin. An introduction to propensity score methods for reducing the effects of confounding in observational studies[J]. *Multivariate Behav Res*, 2011, 46(3):399-424.
- [8] Sun Y, Gong B, Yuan X, *et al*. What we have learned about minimized extracorporeal circulation versus conventional extracorporeal circulation: an updated meta-analysis [J]. *Int J Artif Organs*, 2015, 38(8): 444-453.
- [9] Elci ME, Kahraman A, Mutlu E, *et al*. Effects of minimal extracorporeal circulation on the systemic inflammatory response and the need for transfusion after coronary bypass grafting surgery[J]. *Cardiol Res Pract*, 2019, 2019: 1726150.
- [10] Ellam S, Pitkanen O, Lahtinen P, *et al*. Impact of minimal invasive extracorporeal circulation on the need of red blood cell transfusion[J]. *Perfusion*, 2019, 34(7): 605-612.
- [11] Ranucci M, Baryshnikova E. Inflammation and coagulation following minimally invasive extracorporeal circulation technologies[J]. *J Thorac Dis*, 2019, 11(Suppl 10): S1480-S1488.
- [12] 曾庆东,刘刚,李勇男,等. 新型闭式体外循环系统临床应用初探[J]. *中国分子心脏病学杂志*,2016,16(2): 1628-1632.
- [13] Baikoussis NG, Papakonstantinou NA, Apostolakis E. The "benefits" of the mini-extracorporeal circulation in the minimal invasive cardiac surgery era[J]. *J Cardiol*, 2014, 63(6): 391-396.
- [14] 席大伟,俞承忠,邱海燕. 新生儿心脏手术应用负压辅助静脉引流技术初探[J]. *中国医学科学院学报*,2015,37(2): 230-233.
- [15] 程实,谷天祥,修宗谊,等. 真空辅助静脉引流技术在微创心脏手术中的应用[J]. *中国医疗器械杂志*,2011,35(6): 428-430.
- [16] Stammers AH, Tesdahl EA, Mongero LB, *et al*. Does the type of cardioplegic technique influence hemodilution and transfusion requirements in adult patients undergoing cardiac surgery[J]? *J Extra Corpor Technol*, 2017, 49(4): 231-240.
- [17] Borden RA 2nd, Ball C, Grady PM, *et al*. Microplegia vs 4:1 blood cardioplegia: effectiveness and cost savings in complex cardiac operations [J]. *Ann Thorac Surg*, 2020. [Epub ahead of print].
- [18] Koechlin L, Zenklusen U, Doebele T, *et al*. Clinical implementation of a novel myocardial protection pathway in coronary artery bypass surgery with minimal extracorporeal circulation [J]. *Perfusion*, 2019, 34(4): 277-284.
- [19] Stamou SC, Lopez C, Novello C, *et al*. Modified whole blood microplegia in high-risk patients [J]. *J Card Surg*,2019, 34(3): 118-123.
- [20] Delaney M, Wendel S, Bercovitz RS, *et al*. Transfusion reactions: prevention, diagnosis, and treatment [J]. *Lancet*, 2016, 388(10061): 2825-2836.
- [21] Mazer CD, Whitlock RP, Fergusson DA, *et al*. Restrictive or liberal red-cell transfusion for cardiac surgery [J]. *N Engl J Med*, 2017, 377(22): 2133-2144.

(收稿日期:2020-06-17)

(修订日期:2020-08-06)

(上接第 282 页)

- [4] Tartamella F, Vassallo MC, Berlot G, *et al*. Thromboelastographic predictors of venous thromboembolic events in critically ill patients: are we missing something[J]? *Blood Coagul Fibrinolysis*, 2016, 27(7): 804-811.
- [5] 徐弋,程波. 血栓弹力图评估创伤后下肢静脉血栓患者凝血功能的价值[J]. *中华创伤杂志*,2017,33(12):1127-1132.
- [6] 王霞,王春艳. 血栓弹力图的应用进展[J]. *现代医药卫生*, 2017,33(6):853-855.
- [7] Duffield C, Davies R, Baclay P. Advanced in thromboelastograph technology[J]. *Anaesthesia*, 2018, 73(3): 398-399.
- [8] Schramko A, Suojäranta-Ylinen R, Niemi T, *et al*. The use of balanced HES 130/0.42 during complex cardiac surgery;effect on blood coagulation and fluid balance;a randomized controlled trial [J]. *Perfusion*, 2015, 30(3): 224-232.
- [9] Svendsen OS, Farstad M, Mongstad A, *et al*. Is the use of hydroxyethyl starch as priming solution during cardiac surgery advisable? A randomized, single-center trial [J]. *Perfusion*, 2018, 33(6): 483-489.
- [10] Ghijssels I, Himpe D, Rex S. Safety of gelatin solutions for the priming of cardiopulmonary bypass in cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis [J]. *Perfusion*, 2017, 32(5): 350-362.
- [11] 张鼎,张洁,张涛元,等. 不同预充方式对单瓣置换术患者凝血功能影响的研究[J]. *中国体外循环杂志*,2018,16(6):346-350.
- [12] Weiskopf RB, James MF. Update of use of hydroxyethyl starches in surgery and trauma[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2015, 78(6 Suppl 1): S54-S59.
- [13] Hosseinzadeh Maleki M, Derakhshan P, Rahmanian Sharifabad A, *et al*. comparing the effects of 5% albumin and 6% hydroxyethyl starch 130/0.4 (voluven) on renal function as priming solutions for cardiopulmonary bypass;a randomized double blind clinical trial [J]. *Anesth Pain Med*, 2016, 6(1): e30326.
- [14] Ortmann E, Rubino A, Altemimi B, *et al*. Validation of viscoelastic coagulation tests with during cardiopulmonary bypass [J]. *J Thromb Haemost*, 2015, 13(7): 1207-1216.
- [15] Peng HT, Grodecki R, Rizoli S, *et al*. A comparative study of tissue factor and kaolin on blood coagulation assays using rotational thromboelastometry and thromboelastography [J]. *Blood Coagul Fibrinolysis*, 2016, 27(1): 31-41.
- [16] 陈冠伊,欧阳锡林,吴靖辉,等. 血栓弹力图与常规凝血四项评价临床患者凝血功能的对比研究[J]. *中国实验血液学杂志*,2015,23(2):546-551.

(收稿日期:2020-01-16)

(修订日期:2020-05-08)