

· 临床研究 ·

不同体外循环预充策略对 11~25 kg 先天性心脏病患儿心内直视手术围手术期的影响

张小贞 崔素娟 郑惠灵 王璐 刘高峰

【摘要】 目的:探讨不同体外循环(ECC)预充策略对 11~25 kg 先天性心脏病(CHD)患儿心内直视手术围手术期的影响。**方法:**回顾性分析 2020 年 2 月至 2021 年 11 月收治的 116 例 11~25 kg 心内直视手术 CHD 患儿的 ECC 预充策略。观察组为 2021 年 1 月至 11 月采用婴儿型国产膜式氧合器、动脉微栓过滤器及 ECC 管道的 58 例患儿,静态预充量分别为 80、35、130 mL;对照组为 2020 年 2 月至 12 月采用幼儿型国产膜式氧合器、动脉微栓过滤器及 ECC 管道的 58 例患儿,静态预充量分别为 150、80、210 mL。对比 2 组围手术期的临床指标。**结果:**观察组 ECC 预充总量显著低于对照组($P<0.01$),其中库存红细胞预充量明显少于对照组($P<0.01$);观察组 16 例(27.59%)患儿预充库存红细胞,对照组 57 例(98.28%),2 组比较差异有统计学意义($P<0.01$);对照组 5 例患儿术中追加红细胞,观察组 0 例,但 2 组比较差异无统计学意义($P>0.05$)。围手术期观察组阻断后、停机前、停机后的红细胞压积、血浆胶体渗透压均高于对照组($P<0.01$),停机后乳酸值低于对照组($P=0.031$)。2 组停机前及停机后脑组织血红蛋白浓度指数、脑组织氧合指数和停机前混合静脉血氧饱和度比较差异有统计学意义($P<0.05$)。对照组 51 例(87.93%)应用改良超滤技术,观察组 9 例(15.52%)($P<0.05$);观察组机械通气时间、重症监护病房(ICU)停留时间与术后 24 h 尿量均低于对照组($P<0.05$)。**结论:**11~25 kg CHD 患儿 ECC 预充采用婴儿型膜式氧合器、动脉微栓及 ECC 管路是安全可行的,能有效减少血制品的使用,降低总预充量,改善预后。

【关键词】 先天性心脏病;心内直视手术;体外循环;围手术期

doi: 10.3969/j.issn.1673-6583.2025.01.014

Effects of different prime strategies during extracorporeal circulation on perioperative care of children 11 ~ 25 kg of weight with congenital heart disease undergoing open heart surgery

ZHANG Xiaozhen, CUI Sujuan, ZHENG Huiling, WANG Lu, LIU Gaofeng Department of Cardiothoracic Surgery, The 988 Hospital of Joint Service Support Force of the Chinese People's Liberation Army, Zhengzhou 450042, China

【Abstract】 Objective: To explore the effect of different prime strategies during extracorporeal circulation (EEC) on the perioperative care of children with congenital heart disease undergoing open heart surgery. **Methods:** A total of 116 children (body weight 11-25 kg) with congenital heart disease underwent open heart surgery using different prime strategies during ECC were retrospective recruited. Among them, 58 children who received infantile type domestic membrane oxygenator and arterial micro thrombus filters and ECC pipes from January to November 2021 were included in the observation group, with static prime volumes of 80, 35, and 130 mL, respectively, and 58 children who received children's type domestic membrane oxygenator and arterial micro thrombus filters and ECC pipes from February to December 2020 served as a control group, with static prime volumes of 150, 80, and 210 mL, respectively. Clinical measurements during the perioperative period were compared between the two groups. **Results:**

Total prime volume and use of stored blood during ECC were significantly lower in the observation group than those in the control group (all $P < 0.01$). Sixteen cases (27.59%) in the observation group and 57 cases (98.28%) in the control group were primed with stock red blood cells ($P < 0.01$). During ECC, red blood cells were added in 5 cases in the control group but none in the observation group ($P > 0.05$). Compared with the control group, both hematocrit and colloidal osmotic pressure were higher after aortic occlusion and cardiac arrest before and after termination of ECC in the observation group (all $P < 0.01$), but the level of lactate after ECC was lower ($P = 0.031$). The two groups also differ significantly with respect to cerebral tissue hemoglobin concentration index and oxygenation index before and after termination of ECC and mixed venous oxygen saturation before termination of ECC (all $P < 0.05$). Modified ultrafiltration technique was applied to 51 cases (87.93%) in the control group and 9 cases (15.52%) in the observation group, respectively ($P < 0.05$). Time of endotracheal intubation, duration of stay in intensive care unit, and 24-hour urine output were lower in the observation group compared to the control group (all $P < 0.05$). **Conclusion:** The use of infant membrane oxygenator, arterial microtubule, and pipeline during the prime period of ECC in children with congenital heart disease and body weight of 11-25 kg is safe and feasible, which could effectively reduce the use of blood products, decrease total prime volume, and improve prognosis.

【Key words】 Congenital heart disease; Open heart surgery; Extracorporeal circulation; Perioperative period

儿童新陈代谢旺盛,对底物及氧的需求较大,但体重较小,心脏直视体外循环(ECC)手术预充量相对较大,为满足氧供需求常需预充一定量的异体红细胞。但越来越多的研究证明输血除可能导致血液传染病的传播外,还会增加患者炎症反应及院内感染的风险^[1],且呼吸机辅助、重症监护病房(ICU)停留时间和住院时间延长,增加死亡率^[2]。除此之外,日益增加的手术量使血液资源出现短缺,甚至影响择期手术的实施^[3-4]。因此,减少血制品的应用,或采用无血预充 ECC 心脏手术,可降低输血相关并发症的发生。为降低预充量、减少异体血的输注,各心脏中心采用的缩短血液与异体管路接触面积、超滤技术及血液回收等方法取得了良好的效果^[5-7]。本研究探讨 11~25 kg 先天性心脏病(CHD)患儿改变 ECC 预充管路后围手术期输血及近期预后情况。

1 对象与方法

1.1 研究对象

纳入 2020 年 2 月至 2021 年 11 月在 ECC 下行心脏直视手术的 116 例 11~25 kg CHD 患儿。排除标准:(1)复杂型 CHD;(2)预计手术时间大于 3 h。对照组为 2020 年 2 月至 12 月采用幼儿型 ECC 管路的 58 例患儿,观察组 2021 年 1 月至 11 月采用婴儿型 ECC 管路的 58 例患儿。对照组男性

31 例,女性 27 例,年龄(4.41 ± 1.99)岁,体质量(17.43 ± 3.96)kg,身高(102.84 ± 12.66)cm,体表面积(0.71 ± 0.14)m²;室间隔缺损 28 例,房间隔缺损合并室间隔缺损 15 例,房间隔缺损合并室间隔缺损及动脉导管未闭 3 例,肺动脉瓣狭窄 4 例,肺动脉瓣狭窄合并房间隔缺损 3 例,法洛四联症 2 例,部分型心内膜垫缺损 3 例。观察组男性 33 例,女性 25 例,年龄(4.51 ± 1.97)岁,体质量(17.59 ± 4.01)kg,身高(103.04 ± 12.60)cm,体表面积(0.72 ± 0.14)m²;室间隔缺损 26 例,房间隔缺损合并室间隔缺损 17 例,房间隔缺损合并室间隔缺损及动脉导管未闭 4 例,肺动脉瓣狭窄 3 例,肺动脉瓣狭窄合并房间隔缺损 2 例,法洛四联症 3 例,部分型心内膜垫缺损 3 例。2 组临床资料比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)。本研究经医院伦理委员会审批通过(批号:988YY2020081LLSP)。

1.2 麻醉及 ECC 方法

所有患儿均采用静脉-吸入复合麻醉,术中予以常规生命体征及动脉血气分析监测。ECC 采用 Stockert S3 型人工心肺机(德国史托克有限公司),2 组均在浅低温($30 \sim 34$ °C)ECC 下完成手术,转中平均动脉压控制在 $40 \sim 65$ mmHg,红细胞比容(HCT) $0.23 \sim 0.32$,混合静脉血氧饱和度(SvO_2) 65% 以上,心肌停搏液为升主动脉根部阻断后灌注

冷晶体 St.Thomas 液或国产 HTK 液。2 组术中均采用无创近红外光谱仪 (NIRS) 实时监测脑氧合情况, 为避免外界光干扰, 用弹力绷带将探头固定在患儿前额正中。对照组采用广东东莞科威医疗器械有限公司幼儿型国产膜肺、动脉微栓过滤器、ECC 管道, 静态预充量分别为 150、80、210 mL, 腔静脉引流管直径 3/8 英寸, 其余循环管路直径均为 5/16 英寸, 灌注流量 100~150 mL/(kg·min), 预充库存血 1~2 U, 常规连接超滤器, 进出口分别与 ECC 动、静脉管路相连。观察组采用广东东莞科威医疗器械有限公司婴儿型国产膜肺、动脉微栓过滤器、ECC 管道, 静态预充量分别为 80、35、130 mL, 主泵管直径 5/16 英寸, 其余循环管路直径均为 1/4 英寸, 灌注流量 90~120 mL/(kg·min)。患儿麻醉后 HCT 0.32 以下者, 预充 1 U 红细胞, 其余患儿均实施无血预充, 根据转中 HCT 及进入循环内的晶体液总量决定是否使用超滤器。2 组使用超滤的患儿均在复温期间开始常规超滤技术, 停机后行经典改良超滤技术。

ECC 中血气分析指标显示 HCT 低于 0.21, 剩余碱 (BE) < -3, 且 $\text{SvO}_2 < 60\%$, 乳酸 (Lac^+) > 3 mmol/L, 脑氧饱和度下降或 < 50%, 采用超滤技术及提高灌注流量后, 临床指征改善仍不佳时, 则输注一定量的库存红细胞^[8]。

1.3 观察指标

(1) 对比 2 组术中 ECC 预充量、预充库存红细胞总量及例数、转中追加库存红细胞例数、ECC 时间、主动脉阻断时间、使用超滤例数、不同时

间点血气分析指标、血浆胶体渗透压 (COP)、灌注流量、脑组织血红蛋白浓度指数 (THI)、脑组织氧合指数 (TOI)、 SvO_2 ; (2) 对比 2 组术后机械通气时间、ICU 停留时间、住院时间、12 h 生化指标、24 h 尿量。

1.4 统计学分析

使用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。2 组术后 12 h 生化指标为非正态分布的计量资料, 以中位数 (四分位数间距) 表示, 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验, 其他计量资料为正态分布, 以均数 ± 标准差表示, 组间比较采用独立样本 t 检验。计数资料以例数 (构成比) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验。2 组临床资料诊断数据及转中追加红细胞例数理论频数小于 5, 采用 Fisher 精确概率法。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2组ECC预充管理

观察组氧合器、动脉微栓过滤器、ECC 管道预充量分别为 80、35、130 mL, 明显少于对照组的 150、80、210 mL, 差异有统计学意义 ($P < 0.01$)。观察组红细胞、新鲜冰冻血浆预充总量均明显少于对照组 ($P < 0.01$)。对照组 1 例 (1.72%) 法洛三联症患儿术前 HCT 0.48, 采用无血预充, 其余患儿均预充库存红细胞。观察组仅 16 例 (27.59%) 患儿预充红细胞, 体质量为 11~14 kg, 2 组比较差异有统计学意义 ($P < 0.01$)。对照组 5 例 (8.62%) 患儿转中追加库存红细胞, 观察组均无追加, 2 组比较差异无统计学意义 ($P = 0.057$)。见表 1。

表1 2组ECC预充管理比较

项目	对照组 ($n=58$)	观察组 ($n=58$)	统计值	P
库存红细胞/U	1.43 ± 0.45	0.34 ± 0.58	11.340	<0.01
新鲜冰冻血浆/mL	119.14 ± 16.99	102.07 ± 28.88	3.879	<0.01
晶体总量/mL	112.95 ± 44.64	83.62 ± 19.89	4.570	<0.01
胶体总量/mL	417.57 ± 55.97	225.00 ± 24.51	21.001	<0.01
预充总量/mL	530.52 ± 30.39	308.62 ± 13.24	50.984	<0.01
库存红细胞预充/例 (%)	57 (98.28)	16 (27.59)	62.120	<0.01
转中追加红细胞/例 (%)	5 (8.62)	0	-	0.057

2.2 2组不同时间点血气分析指标及COP

观察组阻断后、停机前、停机后 HCT、COP 值均高于对照组, 2 组比较差异有统计学意义 ($P < 0.01$); 观察组停机后 Lac^+ 值低于对照组, 2 组比较差异有统计学意义 ($P = 0.031$)。2 组其他时间点血气分析指标及 COP 值比较, 差异无统计学

意义 ($P > 0.05$)。见表 2。

2.3 2组患儿临床指标比较

观察组灌注流量比对照组低, 但差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。观察组使用超滤例数少于对照组, 差异有统计学意义 ($P < 0.01$)。观察组 ICU 停留时间、机械通气时间与术后 24 h 尿量均低于

对照组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。2 组术后 ($P>0.05$)。见表 3。
12 h 血清中各项生化指标差异均无统计学意义

表2 2组患儿动脉血气分析重要指标和COP值

项目	时间	对照组 (n=58)	观察组 (n=58)	t	P
pH	转机前	7.39±0.50	7.38±0.60	0.098	0.922
	阻断后	7.37±0.60	7.38±0.70	0.083	0.934
	停机前	7.37±0.70	7.38±0.80	0.072	0.943
	停机后	7.39±0.70	7.40±0.60	0.083	0.934
PaO ₂ /mmHg	转机前	181±16	184±19	−0.795	0.428
	阻断后	218±52	223±46	−0.453	0.652
	停机前	218±42	215±33	0.363	0.717
	停机后	154±22	160±19	−1.602	0.112
HCT	转机前	0.35±0.03	0.34±0.03	1.782	0.077
	阻断后	0.24±0.02	0.26±0.02 ⁽¹⁾	−7.260	<0.010
	停机前	0.25±0.01	0.26±0.01 ⁽¹⁾	−6.359	<0.010
	停机后	0.33±0.02	0.35±0.03 ⁽¹⁾	−5.127	<0.010
Lac ⁺ 值/mmol·L ^{−1}	转机前	0.98±0.23	0.94±0.24	1.003	0.318
	阻断后	1.92±0.38	1.84±0.32	1.138	0.257
	停机前	1.90±0.41	1.81±0.33	1.257	0.211
	停机后	1.40±0.37	1.26±0.31 ⁽¹⁾	2.188	0.031
BE	转机前	1.17±1.67	1.09±1.35	0.306	0.760
	阻断后	0.91±2.00	1.10±1.83	−0.532	0.596
	停机前	1.07±1.83	1.34±1.50	−0.886	0.378
	停机后	1.79±1.37	1.71±1.52	0.320	0.749
COP/mmHg	转机前	17.00±1.33	17.00±1.09	1.756	0.082
	阻断后	11.45±0.84	11.91±0.78 ⁽¹⁾	−3.092	0.002
	停机前	11.95±0.80	12.52±0.92 ⁽¹⁾	−3.542	0.001
	停机后	15.57±1.71	16.55±1.40 ⁽¹⁾	−3.386	0.001

注：与对照组比较，⁽¹⁾ $P<0.05$ ；pH为酸碱度，PaO₂为动脉血氧分压

表3 2组患儿临床指标比较

项目	对照组 (n=58)	观察组 (n=58)	统计值	P
灌注流量/mL·(kg·min) ^{−1}	117.72±7.98	104.33±7.21	9.485	0.275
ECC时间/min	70.02±19.97	69.21±17.69	0.231	0.817
主动脉阻断时间/min	32.09±14.55	31.76±13.21	0.127	0.899
超滤例数/例(%)	51 (87.93)	9 (15.52) ⁽¹⁾	60.900	<0.01
术后24 h尿量/mL	396.81±64.62	359.31±49.94 ⁽¹⁾	3.497	0.001
机械通气时间/h	12.69±4.08	10.50±3.86 ⁽¹⁾	2.967	0.004
ICU停留时间/h	29.81±8.19	26.77±6.94 ⁽¹⁾	2.157	0.033
住院时间/d	10.45±2.43	10.47±1.85	−0.043	0.966
术后12 h生化指标				
谷丙转氨酶/U·L ^{−1}	27.0 (21.0, 35.0)	280 (22.00, 31.3)	−0.558	0.577
谷草转氨酶/U·L ^{−1}	108.5 (82.3, 154.3)	109.0 (81.0, 149.0)	−0.174	0.862
尿素氮/mmol·L ^{−1}	5.1 (4.2, 6.0)	5.1 (4.3, 5.8)	−0.017	0.987
肌酐/μmol·L ^{−1}	22.0 (18.0, 26.0)	21.0 (18.0, 25.3)	−0.849	0.396
肌酸激酶/IU·L ^{−1}	1 640.0 (1 380.0, 2 588.0)	1 585.0 (1 232.3, 2 132.8)	−1.041	0.298
肌酸激酶同工酶/IU·L ^{−1}	55.5 (45.0, 78.0)	56.5 (47.0, 78.3)	−0.472	0.637
乳酸脱氢酶/IU·L ^{−1}	599.0 (490.0, 757.3)	612.5 (512.0, 718.3)	−0.191	0.849

注：与对照组比较，⁽¹⁾ $P<0.05$

2.4 2组不同时间点氧合情况

观察组 THI 及 TOI 各时间点均大于对照组,且 2 组停机前及停机后比较,差异有统计学意义 ($P<$

0.05)。2 组停机前 SvO₂ 比较,差异有统计学意义 ($P<0.05$)。见表 4。各组患儿术后均无明显的运动、感觉或意识障碍等神经系统并发症。

表4 2组患儿不同时间点氧合情况比较

项目	时间	对照组 (n=58)	观察组 (n=58)	t	P
THI	转机前	2.02±0.10	2.05±0.11	-1.519	0.132
	阻断后	1.95±0.12	1.98±0.12	-1.528	0.129
	停机前	1.98±0.15	2.16±0.08 ⁽¹⁾	-10.286	<0.01
	停机后	2.05±0.09	2.27±0.04 ⁽¹⁾	-16.466	<0.01
TOI	转机前	64.26±4.42	65.67±5.76	-1.483	0.141
	阻断后	65.84±4.49	65.91±5.72	-0.072	0.943
	停机前	64.38±4.74	68.28±2.76 ⁽¹⁾	-5.413	<0.01
	停机后	64.76±3.33	68.55±2.45 ⁽¹⁾	-6.985	<0.01
SvO ₂ /%	转机前	73.53±5.38	72.03±4.34	1.652	0.101
	阻断后	71.76±3.43	71.31±3.19	0.729	0.468
	停机前	67.79±4.90	76.88±3.21 ⁽¹⁾	-11.814	<0.01
	停机后	77.16±3.30	78.26±2.98	-1.890	0.061

注:与对照组比较,⁽¹⁾ $P<0.05$

3 讨论

ECC 预充可以使血液的黏稠度降低、HCT 下降,为维持不同温度下的 HCT 水平,临床中会加入一定量的红细胞以满足机体正常的氧供,但异体红细胞的输注会增加血液传染病传播的概率。虽然近年来因输注异体红细胞导致的传染病已得到很大改善^[6],但仍可能引起术后脏器功能不全,特别是呼吸功能及右心功能,同时会增加院内感染的风险,影响患儿术后的临床转归^[9]。有研究发现术后机械通气时间的延长和严重并发症的发生与库存红细胞的输注密切相关,且输血相关的急性肺损伤是并发症和死亡发生的首要原因^[10]。有研究指出,心脏手术的输血量高达 20%~60%^[11],部分医院出现“血荒”,影响手术的正常开展。ECC 是非生理性的血液循环过程,异物接触、血液稀释、肝素化、输注异体血等过程会使机体存在全身炎症反应、血液破坏、凝血功能障碍、传染病等风险^[12]。为降低血液与 ECC 管路的接触面积、减少异体血的输注,甚至达到无血预充的目的,近年来 ECC 设备和技术在不断地改进。目前,国内各心脏中心 11~25 kg CHD 患儿行心脏直视手术时多采用幼儿型 ECC 设备,甚至儿童型,静态预充总量为 500~700 mL,血液稀释度较大。

减少预充量,同时降低术中输注库存红细胞的总量,缩小血液与 ECC 管路的接触面积,有助于降

低全身炎症反应的程度^[13]。因此,本中心对 25 kg 以下的 CHD 患儿行改良 ECC 预充方案,采用婴儿型管路,使预充总量控制在 300 mL 左右。本研究 2 组预充管理方法中,观察组晶体、胶体、库存红细胞及新鲜冰冻血浆预充量均显著低于对照组 ($P<0.01$),且观察组仅有 16 例 (27.59%) 患儿预充红细胞,其余 42 例 (72.41%) 患儿实现无血预充;而对照组因循环管路较长,预充量较大,为满足患儿氧供需求,57 例 (98.28%) 患儿预充红细胞,其中 5 例 (8.62%) 患儿转中血气分析显示 HCT 低于 0.20,采用超滤技术及提高灌注流量,缺氧症状及 HCT 水平仍未明显改善,给予追加一定量的红细胞。因此,血制品输注的减少与相应硬件设施的改进密不可分。

观察组预充量较小,阻断后、停机前、停机后 HCT 及 COP 均高于对照组 ($P<0.01$)。观察组灌注流量较对照组低,原因可能是对照组腔静脉引流管直径为 3/8 英寸 (1 英寸=2.54 cm),其余为 5/16 英寸,而观察组循环管路直径均为 1/4 英寸,致使静脉回流量偏少,灌注流量下降,且血气分析指标中观察组 Lac⁺ 值各时间点均低于对照组,均<3 mmol/L,而 2 组各时间点 THI、TOI 及 SvO₂ 均在正常范围,患儿术后均顺利脱机,无相关神经系统并发症。本研究发现,在良好的 HCT 前提下且 SvO₂ 满意 (>60%) 时,只要温度和流量匹配,

较低的灌注流量可以满足患儿的氧供需求,与黄国栋等^[14]的研究相符。2 组停机前及停机后 THI 及 TOI 差异有统计学意义,而 2 组停机后 SvO₂ 差异无统计学意义,考虑 THI、TOI 反映脑组织局部的氧合情况,而 SvO₂ 反映整体静脉的血氧饱和度, SvO₂ 监测的是上、下腔静脉引至氧合器储蓄罐入口处的静脉血,引入过程中会有空气吸入,因此 SvO₂ 与 TOI 的变化并不完全一致,且 TOI 受脑组织水肿和栓塞的影响^[15]。ECC 时间、主动脉阻断时间受手术方式的影响,与 ECC 预充管理无直接关系,2 组比较差异无统计学意义 ($P>0.05$);对照组术后 24 h 尿量多于观察组,与对照组预充总量较多,稀释度偏大有关,2 组比较差异有统计学意义 ($P=0.001$)。观察组 ICU 停留时间、机械通气时间明显少于对照组,说明改变预充管理策略有助于改善患儿近期预后。

超滤技术对减轻组织水肿、提高 HCT 水平、改善心肺功能、稳定血流动力学等方面有着显著的效果,尤其是改良超滤技术在儿童和婴幼儿 ECC 管理中的优势已经被广泛认可^[16-17],但也存在一些缺点,如增加 ECC 预充量、异体管道的接触面积、手术时间,影响血压及核心温度,造成气体栓塞^[18-19]。基于这些缺点,加之 ECC 技术的不断精进及相应配套材料的改进,诸多研究证实超滤技术不再是 ECC 必需的技术^[20-22]。本研究观察组有 49 例 (84.48%) 患儿未使用超滤技术,围手术期 HCT 均在正常范围,表明超滤技术并非必须的。通过缩短循环管路,可以维持正常的 HCT 水平,从而减少超滤技术的使用、缩短手术时间、降低住院费用。

本研究在安全的前提下通过改变 ECC 预充方法,缩短血液与管道的接触面积,从而减少预充总量及血制品的输注,甚至达到无血预充的目的,有效降低了异体血输注相关并发症的发生,缓解血荒危机,显著提高 HCT 及 COP 水平,且合理使用超滤技术,可降低住院费用,具有良好的社会效益。

参 考 文 献

- [1] 杨欣,李艺,魏丽惠. 重视妇科围手术期患者的血液管理[J]. 中国妇产科临床杂志, 2019, 20(6):481-482.
- [2] 王梧垚,张航,陈文,等. 高龄患者冠状动脉旁路移植术后通气时间延长的危险因素和围术期结果分析[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2023, 30(7):995-1001.
- [3] 张慧,容可,王思贤,等. 骨科择期手术备血策略的建立及术中用血分析[J]. 临床输血与检验, 2022, 24(3):333-337.
- [4] 阙彬,饶春晖,万政佐,等. 自体血液回输技术对颈椎手术患者的应用效果、免疫功能及凝血功能的影响[J]. 中国现代医生, 2020, 58(27):110-113.
- [5] 黄国金,明腾,叶瑶,等. 无血预充技术在婴幼儿体外循环中的应用[J]. 江西医药, 2022, 57(10):1580-1584, 1690.
- [6] 高思哲. 改良低预充体外循环系统在心脏外科血液保护中的临床应用研究[D]. 北京: 中国医学科学院, 2023.
- [7] 吴柯叶,丁以群,孟保英,等. 婴幼儿微小化体外循环手术中超滤的选择性使用[J]. 中国体外循环杂志, 2020, 18(1):12-16.
- [8] 黎笔熙,张燕辉,陈利民,等. 小儿体外循环环节约用血的研究进展[J]. 华南国防医学杂志, 2018, 32(1):63-66.
- [9] 占刘英,陈见南. 导致新生儿呼吸窘迫综合征患儿输血 ≥ 3 次的危险因素及其并发症分析[J]. 国际检验医学杂志, 2022, 43(7):873-876.
- [10] Jongerius I, Porcelijn L, van Beek AE, et al. The role of complement in transfusion-related acute lung injury[J]. Transfus Med Rev, 2019, 33(4):236-242.
- [11] 黄培菊,梁杰贤,王晟. 心脏外科手术患者围手术期血液管理研究进展[J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2024, 45(2):214-220.
- [12] 袁从虎,张亚军,宋建祥,等. 改良超滤联合常规超滤对重症瓣膜病患者瓣膜置换术后肺保护的作用[J]. 国际心血管病杂志, 2021, 48(1):48-52.
- [13] 常影,刘泽雄,季晓鹏,等. 体外循环肺损伤机制与肺保护策略研究进展[J]. 长春中医药大学学报, 2023, 39(7):817-821.
- [14] 黄国栋,曹凡. 临床研究低体重婴幼儿的体外循环特点和管理策略[J]. 广东医学, 2013, 34(9):1352-1355.
- [15] Taussky D, Austen L, Toi A, et al. Sequential evaluation of prostate edema after permanent seed prostate brachytherapy using CT-MRI fusion[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 62(4):974-980.
- [16] 尹记辉. 平衡超滤技术在体外循环下心内直视手术治疗小儿先天性心脏病中的应用效果[J]. 中国医学创新, 2023, 20(26):10-14.
- [17] 方恒晓,范悦,莫安胜,等. 不同超滤方式对体外循环瓣膜置换术后患者心肺功能、补体和炎性介质的影响[J]. 现代生物医学进展, 2023, 23(13):2494-2498.
- [18] 曹凡,周娜,刘文华,等. 体重 ≤ 5 kg 婴儿简单先天性心脏病外科术中微小化体外循环管路应用改良超滤和常规超滤的比较[J]. 中国循环杂志, 2021, 36(2):166-171.
- [19] 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.
- [20] 郑丰楠,梁彦锴,孟保英,等. 重新审视婴幼儿心肺转流中改良超滤的使用[J]. 中国体外循环杂志, 2021, 19(1):61-64.
- [21] 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.
- [22] 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.

(收稿:2024-07-12 修回:2024-11-16)

(本文编辑:洪玮)