

203 例低出生体重新生儿心脏手术的早期疗效及死亡原因分析



鲁超, 郁丽娜, 韦锦峰, 梁杰贤, 庄建, 王晟

广东省心血管病研究所 广东省医学科学院(广州 510080)

【摘要】 目的 分析 203 例低出生体重 (<2 500 g) 新生儿行心脏外科手术的早期疗效, 并对住院期间死亡的患者进行原因分析。方法 回顾性分析广东省人民医院心脏病研究所自 2003 年 6 月到 2017 年 6 月间行开胸心脏手术的低出生体重新生儿的围手术期相关的临床资料, 其中男 124 例、女 79 例, 早产儿 151 例, 平均出生体重 (1 719±515) g。203 例低出生体重新生儿中, 平均手术时年龄 (32.7±20.2) 天, 平均手术时体重 (1 994±486) g。对住院期间死亡的患者 (包括家长放弃治疗后死亡的病例) 进行原因分析。结果 术前 103 例患者合并肺炎, 98 例患者需要术前机械通气支持呼吸, 26 例患者因病情需要急诊手术。所有患者均在气管插管全身麻醉下行先天性心脏病矫治术, 其中行非体外循环手术 108 例, 体外循环手术 95 例, 平均体外循环时间 (96.5±71.7) min, 平均主动脉阻断时间 (51.8±45.5) min。术后平均机械通气时间 (9.1±21.5) d, 术后平均住院时间 (26.7±19.3) d。术后主要的并发症包括肺炎、贫血、肺不张、败血症、胸腔内出血、膈肌麻痹、心功能不全等。住院期间共死亡 29 例, 总体死亡率为 14.3%, 其中术中死亡 4 例, 术后早期死亡 (72 h 内) 14 例, 放弃治疗 2 例。住院期间患者心脏术后死亡的主要原因依次是低心排综合征、重症感染、弥漫性血管内凝血障碍、急性肾衰竭以及肺动脉高压危象等。结论 总体上来说, 对低出生体重新生儿早期施行心脏外科手术是安全而有效的。手术的难易程度是影响患者预后的关键, 良好的围手术期管理能够降低患者围手术期死亡和并发症发生的风险。

【关键词】 新生儿; 低出生体重; 先天性心脏病手术; 早期疗效; 死亡原因

Early outcomes of 203 neonates with low birth weight undergoing cardiac surgery and analysis of death causes

LU Chao, YU Lina, WEI Jingfeng, LIANG Jiexian, ZHUANG Jian, WANG Sheng

Guangdong Cardiovascular Institute, Guangdong Medical Science Academy, Guangdong General Hospital, Guangzhou 510080, P.R.China

Corresponding author: ZHUANG Jian, Email: zhuangjian5413@tom.com; WANG Sheng, Email: shengwang_gz@163.com

【Abstract】 Objective To analyze the early outcomes of 203 neonates with low birth weight (<2 500 g) undergoing cardiac surgery, and to analyze the causes of death during hospitalization. **Methods** From June 2003 to June 2017, medical records of 203 neonates with low birth weight undergoing congenital heart surgery in Guangdong General Hospital were reviewed retrospectively. There were 124 males and 79 females, including 151 premature infants. The average birth weight was 1 719±515 g, the average age at operation was 32.7±20.2 d, the average weight at operation was 1 994±486 g, and the causes of death during hospitalization (including neonates given up on treatments) were analyzed. **Results** Totally 103 patients had pneumonia, 98 patients needed mechanical ventilation to support breathing, and 26 patients needed emergency operation before operation. All patients undergoing congenital heart surgery were treated with general anesthesia with tracheal intubation, including 108 patients under non cardiopulmonary bypass (CPB) and 95 patients under CPB, the mean CPB time was 96.5±71.7 min and the mean aorta cross clamp time was 51.8±45.5 min. The average postoperative mechanical ventilation time was 9.1±21.5 d and the average postoperative length of stay was 26.7±19.3 d. The major postoperative complications included pneumonia, anemia, atelectasis, septicemia, intrapleural hemorrhage, diaphragm paralysis and cardiac dysfunction. 29 patients died during hospitalization, the overall mortality rate was 14.3%. Four patients died in the operation room, 14 patients died 72 hours after operation and 2 patients were

DOI: 10.7507/1007-4848.201712039

基金项目: 国家自然科学基金 (U1401255); 广东省科技项目 (2017A070701013)

通信作者: 庄建, Email: zhuangjian5413@tom.com; 王晟, Email: shengwang_gz@163.com

given up. The main causes of hospitalized death were low cardiac output syndrome, severe infection, disseminated intravascular coagulation disorder, acute renal failure and pulmonary hypertension crisis. **Conclusion** Overall, early cardiac surgery for low birth weight neonates is safe and effective. The difficulty of the cardiac surgery is the key to the prognosis. Strengthening of perioperative management can improve the quality of operation and reduce the risk of mortality and morbidity during hospitalization.

【Key words】 Neonates; low birth weight; congenital heart surgery; early outcome; death cause

低出生体重新生儿 (low birth weight neonates, LBWN) 是指出生 1 h 内体重 ≤ 2500 g 的新生儿, 包括早产儿和小于胎龄儿^[1]。合并先天性心脏病的 LBWN 往往病情危重, 且内科治疗效果差而急需外科干预。虽然近些年来, 外科技术、麻醉管理、体外循环和围手术期重症监护水平都得到很大提高, 但是相对于正常体重新生儿手术, LBWN 心脏手术的围手术期死亡率依然很高 (10%–24%)^[2-3]。LBWN 心脏手术的早期高死亡率和高并发症发生率的原因至今仍然并不清楚^[4], 为此, 我们回顾性分析广东省人民医院心脏病研究所自 2003 年 6 月到 2017 年 6 月间行开胸心脏手术的 LBWN 的围手术期相关的临床资料, 并对住院期间死亡的患者进行原因分析, 现报道如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料

本组共有 203 例 LBWN, 其中男性 124 例, 女性 79 例, 早产儿 151 例, 平均出生体重 (1719 \pm 515) g, 平均手术时年龄 (32.7 \pm 20.2) d, 平均手术时体重 (1994 \pm 486) g。所有患儿均经过彩色多普勒超声心动图确诊, 复杂先天性心脏病患儿则加行心脏螺旋 CT 检查。患儿出生后均有不同程度的术前合并症并在新生儿重症监护病房接受治疗, 其中合并肺炎 103 例, 败血症 14 例, 坏死性小肠结肠炎 15 例, 支气管肺发育不良 27 例, 新生儿缺血缺氧性脑病 16 例, 贫血 29 例, 电解质酸碱平衡紊乱 23 例, 颅内出血 18 例, 甲状腺功能减退 13 例。99 例患者需要术前机械通气支持呼吸, 26 例患者因病情需要急诊手术。手术指征如下: VSD/ASD/PFO: 中-大型缺损, 充血性心力衰竭经内科治疗无法控制; TOF: 进展性低氧血症, 反复出现缺氧发作, 药物治疗效果不佳; PS+/ASD 或 VSD: 超声心动图提示肺动脉跨瓣压差在 40 mmHg 以上并有明显血流动力学影响。

1.2 手术方法

患儿入室后保温, 麻醉诱导采用静脉注射咪达唑仑 0.1 mg/kg 或丙泊酚 1~2 mg/kg, 芬太尼 3~5

$\mu\text{g}/\text{kg}$ 以及顺苯磺酸阿曲库铵 0.2 mg/kg 或罗库溴铵 0.8~1 mg/kg。麻醉诱导后行气管插管并连接 GE-Ohmeda A/S5 麻醉机并行压力控制机械通气, 术中根据呼气末二氧化碳浓度及血气分析调整机械通气参数。气管插管后行有创动脉压力监测并建立深静脉通路, 监测鼻咽温及肛温并予变温床及电暖吹风机保温, 经食管置入超声探头予协助检查及诊断。

患儿的诊断、手术及体外循环方式见表 1。所有入院的患儿 203 例患者中, 体外循环患者 96 例, 非体外循环患者 107 例。非体外循环患儿中 89 例为单纯 PDA 患者, 行右侧卧位侧开胸 PDA 结扎术, 另外 18 例非体外循环患者中有 8 例为 CoA 矫治术+/PDA, 行右侧卧位侧开胸 CoA 矫治术+/PDA 结扎术; 4 例为 PA+IVS, 行 A-P 分流术+Brock 术; 4 例为 PA+VSD, 行 Blalock-Taussig 分流术; 1 例为 TGA+IVS, 行 Blalock-Taussig 分流术; 1 例为 IAA, 行 IAA 矫治术。96 例体外循环患儿中, 36 例为 VSD/ASD/PFO, 在 CPB 下行 VSD/ASD/PFO 根治术 (其中 4 例需要 DHCA); 10 例为 PS+/ASD 或 VSD, 在 CPB 下行 PS 矫治+/ASD 或 VSD 修补术 (其中 4 例为心脏不停跳); 9 例为 TOF, 在 CPB 下行 TOF 根治或姑息术 (其中 3 例需要 DHCA, 3 例为心脏不停跳); 7 例为 TGA+IVS, 在 CPB 下行 Switch 手术 (1 例为改良 Rastelli 手术, 1 例需要 DHCA); 7 例为 TGA+VSD, 在 CPB 下行 Switch 手术 (1 例为改良 Rastelli 手术, 1 例需要 DHCA); 7 例为 CoA+VSD+/ASD, 在 CPB 下行 CoA+VSD+/ASD 矫治术; 6 例为 TAPVC, 在 CPB 下行 TAPVC 矫治术 (1 例需要 DHCA); 4 例为 PA+VSD, 在 CPB 下行右室流出道重建术; 4 例为 PTA+VSD, 在 CPB 下行 PTA 矫治术+/VSD 修补术 (全部需要 DHCA); 3 例为 IAA+/VSD, 在 CPB 下行 IAA 矫治术+/VSD 修补术 (全部需要 DHCA); 2 例为 ASD+AP-window, 在 CPB 下行 ASD+AP-window 修补 (全部需要 DHCA); 1 例为 PA+IVS, 在 CPB 下行右室流出道重建术。体外循环心肌保护均采用单次顺行灌注改良 St.Thomas 冷

表 1 204 例低出生体重新生儿的诊断、手术方式及死亡情况

诊断	手术方式	例数(例)	CPB 方式	死亡(例)
PDA	PDA 结扎术	89	非 CPB	5
CoA+/PDA	CoA 矫治术+/PDA 结扎	8	非 CPB	1
PA+IVS	A-P 分流术+Brock 术	4	非 CPB	2
	右室流出道重建术	1	CPB	
PA+VSD	Blalock-Taussig 分流	4	非 CPB	1
	右室流出道重建术	4	CPB	1
PS+/ASD 或 VSD	PS 矫治+ASD 或 VSD 修补	6	CPB	1
	PS 矫治	4	CPB+心脏不停跳	
VSD/ASD/PFO	VSD/ASD/PFO 根治术	36	CPB+DHCA (4)	3
ASD+AP-window	ASD+AP-window 修补	2	CPB+DHCA	
TOF	TOF 根治术	3	CPB+DHCA	1
	TOF 姑息术	6	CPB+心脏不停跳(3)	2
TAPVC	TAPVC 矫治术	6	CPB+DHCA (1)	3
TGA+IVS	Switch 手术	6	CPB	1
	改良 Rastelli 手术	1	CPB+DHCA	
	Blalock-Taussig 分流	1	非 CPB	
TGA+VSD	Switch 手术	6	CPB+DHCA (1)	2
	改良 Rastelli 手术	1	CPB	
CoA+VSD+/ASD	CoA 矫治术+ VSD+/ASD	7	CPB+DHCA	2
PTA+/VSD	PTA 矫治术+/VSD 修补术	4	CPB+DHCA	3
IAA+/VSD	IAA 矫治术+/VSD 修补术	3	CPB+DHCA	1
	IAA 矫治术	1	非 CPB	

PDA: 动脉导管未闭; CoA: 主动脉缩窄; ASD: 房间隔缺损; VSD: 室间隔缺损; PFO: 卵圆孔未闭; TOF: 法洛四联症; TAPVC: 完全性肺静脉异位引流; TGA: 完全性大动脉转位; IVS: 室间隔完整; PA: 肺动脉闭锁; PS: 肺动脉狭窄; PTA: 永存动脉干; IAA: 主动脉弓离断; Switch 手术: 动脉转位术; A-P 分流术: 主-肺动脉分流术; Brock 手术: 肺动脉闭锁式扩张术; Blalock-Taussig 手术: 锁骨下动脉-肺动脉分流术; AP-window: 主肺动脉窗; 改良 Rastelli 手术: 改良心内隧道并心外管道连接术; DHCA: 深低温停循环

晶体心肌保护液, 超滤为常规+改良相结合, 维持转流中较高的 Hct (0.28 ~ 0.30), 同时监测并调整患儿的血浆胶体渗透压, 使其达到术前基础值的 60% 以上。

所有患儿术后均返回 ICU 并置于开放式暖床并维持环境温度在 25 ~ 26℃。采用压力控制下同步间歇指令通气及容量补偿呼吸模式并根据肺功能和心功能状态给予加强肺保护、强心、利尿、扩血管等支持治疗。

1.3 统计学分析

采用 SPSS IBM 统计软件进行统计处理, 统计方法采用卡方检验。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

所有患者均在气管插管全身麻醉下行先天性心脏病矫治术, 其中行非体外循环手术 108 例, 体外循环手术 95 例, 平均体外循环时间 (96.5±71.7) min, 平均主动脉阻断时间 (51.8±45.5) min。术后平均机械通气时间 (9.1±21.5) d, 术后平均住院时间 (26.7±19.3) d。术后延迟关胸 47 例, 28 例患者术后拔除气管导管后因为呼吸、循环等原因需要再次气管插管, 35 例患者存在非计划的再次手术 (主要是包括开胸止血和膈肌折叠), 术后主要的并发症包括肺炎、贫血、肺不张、败血症、胸腔内出血、膈肌麻痹、心功能不全等。

住院期间共死亡 29 例 (表 1), 总体死亡率为

14.3%，其中术中死亡 4 例，术后早期死亡（72 h 内）14 例，放弃治疗 4 例。5 例 PDA 死亡原因：2 例 PDA 术后重症肺炎，1 例术前凝血功能差术后肺出血，1 例 PDA 合并重度主动脉瓣狭窄，弓狭窄术后家属放弃治疗，1 例术前合并左心室发育不良综合征，术后重度低心排。24 例非 PDA 死亡原因：术中死亡 4 例，其中 1 例为术前重症感染，术中松解受压肺时，肺出血无法控制导致呼吸、循环衰竭；另外 3 例为停机后重度低心排，反复抢救无效后宣布死亡。术后放弃治疗 3 例，其中 1 例为合并重症肺炎，1 例合并特发性肺动脉高压危象，1 例合并 21-三体综合征。术后 ICU 死亡 17 例，其中 8 例为术后重度低心排，5 例为术后重症感染，多器官衰竭，3 例为术后弥漫性血管内凝血障碍，反复肺出血、气道出血导致呼吸、循环衰竭，1 例为 21-三体综合征，急性白血病导致死亡。

体外循环、PDA、手术难度分级、体重与死亡的关系见表 2，其中体外循环患儿死亡 20 例（20.8%），非体外循环患儿死亡 9 例（8.4%）， $P < 0.05$ ；单纯 PDA 患儿死亡 5 例（5.6%），非 PDA 患儿死亡 24 例（21.1%）， $P < 0.05$ ；手术难度分级（1~3 级）患儿死亡 13 例（7.8%），手术难度分级（4~5 级）患儿死亡 16 例（42.1%）， $P < 0.01$ ；低出

生体重（1 500 ~ 2 500 g）患儿死亡 23 例（17.7%），极低出生体重（1 000 ~ 1 500 g）患儿死亡 6 例（10.9%）， $P > 0.05$ 。住院期间患者心脏术后死亡的主要原因依次是低心排综合征、重症感染、弥漫性血管内凝血障碍、急性肾衰竭以及肺动脉高压危象等。

3 讨论

LBWN 大约占有先天性心脏病患儿数量的 8% ~ 23%^[5-6]，而合并先天性心脏疾病的 LBWN 大都是早产儿，且病情危重并合并各种非心脏相关的器官功能障碍^[7]。在等待体重增加的几个星期或几个月内，这些 LBWN 有加重肺部感染、胃肠道缺血、贫血、缺血缺氧性脑病等并发症的风险，并且肺循环和体循环压力的异常变化容易导致心肌和冠脉发育障碍，所以不能单纯为了增加患儿体重而延期手术^[8-9]。

过去几十年来，不少国家的心脏中心都报道了 LBWN 先天性心脏疾病手术相关的死亡率和并发症情况，不过大都存在病例数量较少的问题。表 3 显示近几年来全球各中心 LBWN 开胸心脏手术的院内死亡情况（PDA 除外），院内死亡率在 11% ~ 24% 之间。我国由于小儿先心病外科的起步

表 2 体外循环、PDA、手术难度分级、体重与死亡的关系（例）

项目	例数	术中死亡	术后放弃治疗	总体死亡	死亡率 (%)	P 值
体外循环	96	4	2	20	20.8	<0.05
非体外循环	107	0	2	9	8.4	
PDA	89	0	1	5	5.6	<0.05
非 PDA	114	4	3	24	21.1	
手术难度分级 (1~3 级)	165	1	2	13	7.8	<0.01
手术难度分级 (4~5 级)	38	4	2	16	42.1	
低出生体重 (1 500~2 500 g)	130	4	3	23	17.7	>0.05
极低出生体重 (1 000 ~ 1 500 g)	55	0	1	6	8.2	
超低出生体重 (<1 000 g)	18	0	0			

表 3 全球各中心 LBWN 开胸心脏手术的院内死亡情况（PDA 除外）

医院	国家	年份	死亡数/总数 (例)	死亡率 (%)
Children hospital of philadelphia ^[13]	USA	2005	25/105	24
General Hospital Linz ^[14]	Germany	2009	6/46	13
Westmead Children's Hospital ^[15]	Australia	2011	7/58	12.1
University of Ulsan ^[4]	Korea	2011	23/102	22.5
Morgan Stanley Children hospital ^[16]	USA	2014	16/146	11.0
Guangdong Cardiovascular Institute	China	2017	24/114	21.1

较晚,接受 LBWN 心脏手术的中心也特别少,目前也就我院有 8 年期间 60 例^[10],上海儿童医学中心^[11]有 10 年 46 例和广州市妇女儿童医疗中心^[12]3 年 24 例 LBWN 的报道,未见其他心脏中心的相关报道(PDA 除外)。我们回顾性总结我院 14 年来 LBWN 的基本资料,共有 203 例 LBWN 患儿,其中非 PDA 患儿 114 例,心脏术后死亡 24 例,院内死亡率为 21.1%,与韩国 Ulsan 心脏中心相似,但与欧美等发达国家的相比还有一定的差距。在这 203 例 LBWN 中,我们发现手术难度分级(1~3 级)患儿 165 例,死亡 13 例(7.8%),手术难度分级(4~5 级)患儿 38 例,死亡 16 例(42.1%),差异具有显著性,这提示手术的难易程度跟患者的预后关系非常密切。而在手术难度分级(4~5 级)患儿的手术中,死亡率最高的是 PTA 矫治术,手术 4 例,死亡 3 例,死亡率高达 75%;其次是 TAPVC 矫治术,手术 6 例,死亡 3 例,死亡率高达 50%。

Kabra 等^[17]研究发现,在 426 例持续存在 PDA 的低出生体重患儿中,内科治疗无效而进行外科手术的患儿死亡率高达 22%,明显高于接受手术的患儿。我院所有手术当中死亡率最低的是 PDA 结扎术,手术 89 例,死亡 5 例,院内死亡率 5.6%,略低于德州儿童心脏中心的 9.7% (8/83)^[18]和费城地铁健康医学中心的 9.6% (10/104)^[19]。我院 5 例 PDA 死亡原因:2 例 PDA 术后重症肺炎,1 例术前凝血功能差术后肺出血,1 例 PDA 合并重度主动脉瓣狭窄,弓狭窄术后家属放弃治疗,1 例术前合并左心室发育不良综合征,术后重度低心排。而对于 114 例非 PDA 患儿,术中及术后早期死亡的最主要原因是重度低心排,而早期发现和去除诱因是治疗重度低心排的关键,包括排除各种低心排的诱发因素,如术中心肌保护不良、手术操作损伤、冠状动脉缺血、张力性气胸以及低血容量等。另一个重要的死亡原因是由重症感染引起的全身多器官功能衰竭。相对于足月新生儿,LBWN 全身各器官发育受限,更可能暴露于中心静脉导管、机械通气、静脉营养、类固醇激素的应用、ICU 住院时间延长等感染的危险因素中,导致其感染的概率是后者 5~10 倍^[20],而加强感染的控制,尤其肺部感染的控制是围手术期治疗的关键。术后凝血功能障碍也是影响患儿预后的重要原因,紫绀型先天性心脏病、肝功能障碍、血液稀释、反复再次开胸手术、低体温、外科出血均会加重患儿的术后凝血功能障碍^[21],对于危重症患儿,缩短 CPB 时间尤其是深低温停循环时间对改善患儿术后凝血功能也有很大帮助。

我们发现, LBWN 的出生体重并不能预测患儿的预后,出生体重在 1 500 g~2 500 g 之间的患儿共有 130 例,院内死亡 23 例,死亡率 17.7%;而出生体重<1 500 g 的极低体重患儿共有 73 例,院内死亡 6 例,死亡率 8.2%。在 114 例非 PDA 患儿中,出生体重在 1 500 g~2 500 g 之间的患儿共有 97 例,院内死亡 21 例,死亡率 21.6%;出生体重小于 1 500 g 的极低体重非 PDA 患儿共有 17 例,院内死亡 3 例,死亡率 17.6%。同样类似的结果在国外多篇文献都有报道,极低出生体重(<1.5 kg)的患儿的预后并不差于 LBW 患儿的预后^[4, 8, 22]。在我院所有 203 例 LBWN 中,手术日体重最小的 PDA 患儿是 650 g,手术日体重最小的非 PDA 患儿是 1 130 g。

综上所述,我们认为对低出生体重新生儿早期施行心脏外科手术是安全而有效的。手术的难易程度是影响患者预后的关键,良好的围手术期管理能够降低患者围手术期死亡和并发症发生的风险。

参考文献

- Rosenberg A. The IUGR newborn. *Semin Perinatol*, 2008, 32(3): 219-224.
- Reddy VM. Cardiac surgery for premature and low birth weight neonates. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu*, 2001, 4: 271-276.
- Ades AM, Dominguez TE, Nicolson SC, *et al*. Morbidity and mortality after surgery for congenital cardiac disease in the infant born with low weight. *Cardiol Young*, 2010, 20(1): 8-17.
- Seo DM, Park JJ, Yun TJ, *et al*. The outcome of open heart surgery for congenital heart disease in infants with low body weight less than 2500 g. *Pediatr Cardiol*, 2011, 32(5): 578-584.
- Kramer HH, Trampisch HJ, Rammos S, *et al*. Birth weight of children with congenital heart disease. *Eur J Pediatr*, 1990, 149(11): 752-757.
- Rosenthal G L, Wilson P D, Permutt T, *et al*. Birth weight and cardiovascular malformations: a population-based study. The Baltimore-Washington Infant Study. *Am J Epidemiol*, 1991, 133(12): 1273-1281.
- Tanner K, Sabrine N, Wren C. Cardiovascular malformations among preterm infants. *Pediatrics*, 2005, 116(6): e833-e838.
- Williams GD, Cohen RS. Perioperative management of low birth weight infants for open-heart surgery. *Paediatr Anaesth*, 2011, 21(5): 538-553.
- Azaki A, Johnson NC, Anagnostopoulos PV, *et al*. Cardiac surgery in low birth weight infants: current outcomes. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2011, 12(3): 409-413.
- 曾嵘, 庄建, 陈寄梅, 等. 低出生体重儿及早产儿心脏手术的早期疗效分析. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2012, 19(3): 227-231.
- 陈浩, 徐志伟, 王浩, 等. 低体质量新生儿先天性心脏病手术的危险因素. *中华胸心血管外科杂志*, 2017, 33(5): 271-275.
- 杨盛春, 陈欣欣, 崔虎军, 等. 24 例低体重危重先天性心脏病患儿的外科治疗. *中华胸心血管外科杂志*, 2012, 28(11): 680-682.

- 13 Ades A, Johnson BA, Berger S. Management of low birth weight infants with congenital heart disease. *Clin Perinatol*, 2005, 32(4): 999-1015.
- 14 Lechner E, Wiesinger-Eidenberger G, Weissensteiner M, *et al.* Open-heart surgery in premature and low-birth-weight infants--a single-centre experience. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2009, 36(6): 986-991.
- 15 Padley JR, Cole AD, Pye VE, *et al.* Five-year analysis of operative mortality and neonatal outcomes in congenital heart disease. *Heart Lung Circ*, 2011, 20(7): 460-467.
- 16 Kalfa D, Krishnamurthy G, Duchon J, *et al.* Outcomes of cardiac surgery in patients weighing. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 148(6): 2499-2506.
- 17 Kabra NS, Schmidt B, Roberts RS, *et al.* Neurosensory impairment after surgical closure of patent ductus arteriosus in extremely low birth weight infants: results from the Trial of Indomethacin Prophylaxis in Preterms. *J Pediatr*, 2007, 150(3): 229-234.
- 18 Naik-Mathuria B, Chang S, Fitch ME, *et al.* Patent ductus arteriosus ligation in neonates: preoperative predictors of poor postoperative outcomes. *J Pediatr Surg*, 2008, 43(6): 1100-1105.
- 19 Alexander F, Chiu L, Kroh M, *et al.* Analysis of outcome in 298 extremely low-birth-weight infants with patent ductus arteriosus. *J Pediatr Surg*, 2009, 44(1): 112-117.
- 20 Clapp DW. Developmental regulation of the immune system. *Semin Perinatol*, 2006, 30(2): 69-72.
- 21 Kettner SC, Pollak A, Zimpfer M, *et al.* Heparinase-modified thrombelastography in term and preterm neonates. *Anesth Analg*, 2004, 98(6): 1650-1652.
- 22 Curzon CL, Milford-Beland S, Li JS, *et al.* Cardiac surgery in infants with low birth weight is associated with increased mortality: analysis of the Society of Thoracic Surgeons Congenital Heart Database. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2008, 135(3): 546-551.

收稿日期: 2017-12-13 修回日期: 2018-01-02

本文编辑: 董敏