

## · 临床研究 ·

# 患儿主动脉弓部手术中局部脑氧饱和度和躯体氧饱和度的变化

张莉 施晓华 莫绪明 钟治球 费建 金恒芳 贾建

**【摘要】** 目的 观察和比较局部脑氧饱和度 (SctO<sub>2</sub>) 和躯体氧饱和度 (SstO<sub>2</sub>) 在患儿主动脉弓部手术中的变化。方法 收集 2015 年 1 月至 2017 年 2 月收治的主动脉弓缩窄 (coarctation of aorta, COA) 或主动脉弓离断 (interruption of aortic arch, IAA) 合并心内畸形, 择期在心肺转流 (cardiopulmonary bypass, CPB) 联合选择性脑灌注 (selective cerebral perfusion, SCP) 下行一期矫治术的患儿 21 例, 男 16 例, 女 5 例, 年龄 12 d 至 11 个月, 体重 3~6 kg ASA III 或 IV 级。采用全身麻醉和常规监测, 同时持续监测右额部和背部局部组织氧饱和度, 分别为 SctO<sub>2</sub> 和 SstO<sub>2</sub>。于诱导时 (T<sub>0</sub>)、切皮时 (T<sub>1</sub>)、CPB 开始 (T<sub>2</sub>)、SCP 开始 (T<sub>3</sub>)、停 SCP (T<sub>4</sub>)、主动脉开放 (T<sub>5</sub>)、停 CPB (T<sub>6</sub>)、术毕 (T<sub>7</sub>) 时记录 SctO<sub>2</sub>、SstO<sub>2</sub>、中心静脉氧饱和度 (ScvO<sub>2</sub>)。结果 与 T<sub>0</sub> 时比较, T<sub>2</sub>、T<sub>5</sub>、T<sub>6</sub> 时 SctO<sub>2</sub> 明显降低 ( $P < 0.05$ )。T<sub>0</sub>—T<sub>4</sub> 时 SctO<sub>2</sub> 明显高于 SstO<sub>2</sub> ( $P < 0.05$ ); T<sub>5</sub>—T<sub>7</sub> 时 SctO<sub>2</sub> 明显低于 SstO<sub>2</sub> ( $P < 0.05$ )。SctO<sub>2</sub> 与 ScvO<sub>2</sub> 的 Pearson 相关系数  $r = 0.80$  ( $P < 0.05$ )。结论 在患儿主动脉弓部手术中, SctO<sub>2</sub> 和 SstO<sub>2</sub> 差异和变化较大, 可以依据其变化趋势, 指导术中精细化调控。

**【关键词】** 患儿; 主动脉弓缩窄; 脑氧饱和度; 躯体氧饱和度

## Comparison of cerebral and somatic tissue oxygenation during pediatric aortic arch repair surgery

ZHANG Li, SHI Xiaohua, MO Xuming, ZHONG Zhiqiu, FEI Jian, JIN Hengfang, JIA Jian. Department of Anesthesiology, Children's Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210008, China

Corresponding author: SHI Xiaohua, Email: shixiaohua8203@126.com

**【Abstract】 Objective** To investigate the comparison of cerebral tissue oxygen saturation (SctO<sub>2</sub>) and somatic tissue oxygen saturation (SstO<sub>2</sub>) during pediatric aortic arch surgery. **Methods** Twenty-one cases undergoing corrective surgery of coarctation of aorta or interruption of aortic arch from January 2015 to February 2017 were collected. There were 16 males and 5 females. The age ranged from 12 days to 11 months with the ASA physical status III or IV. All children underwent surgical procedures under cardiopulmonary bypass (CPB) and selective cerebral perfusion (SCP). The conventional general anesthesia induction and monitoring were conducted, and the cerebral tissue oxygen saturation (SctO<sub>2</sub>) and somatic tissue oxygen saturation (SstO<sub>2</sub>) were continuously measured. The parameters including SctO<sub>2</sub>, SstO<sub>2</sub>, ScvO<sub>2</sub> of different time points were recorded separately induction (T<sub>0</sub>), skin incision (T<sub>1</sub>), at the beginning of CPB (T<sub>2</sub>), beginning of SCP (T<sub>3</sub>), the end of SCP (T<sub>4</sub>), aortic opening (T<sub>5</sub>), the end of CPB (T<sub>6</sub>), the end of operation (T<sub>7</sub>). **Results** The SctO<sub>2</sub> were significantly lower with statistic difference at T<sub>2</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>6</sub> compared with that at T<sub>0</sub> ( $P < 0.05$ ). The SctO<sub>2</sub> were higher than SstO<sub>2</sub> at T<sub>0</sub> - T<sub>4</sub> ( $P < 0.05$ ), and lower than SstO<sub>2</sub> at T<sub>5</sub> - T<sub>7</sub> ( $P < 0.05$ ). Pearson correlation coefficient between SctO<sub>2</sub> and ScvO<sub>2</sub> is 0.80 ( $P < 0.05$ ). **Conclusion** SctO<sub>2</sub> and SstO<sub>2</sub> have great differences and changes during pediatric aortic arch surgery. According to the changing trend, continual monitoring and control of SctO<sub>2</sub> and SstO<sub>2</sub> may be used as a guide to make more precise interventions.

**【Key words】** Pediatric; Coarctation of aorta; Cerebral tissue oxygen saturation; Somatic tissue oxygen saturation

主动脉弓缩窄 (coarctation of aorta, COA) 或主动脉弓离断 (interruption of aortic arch, IAA) 合并心内畸形手术难度大, 术中要求视野清晰, 需要在深

低温停循环<sup>[1]</sup>或低温低流量复合选择性脑灌注<sup>[2]</sup>下进行。维护重要脏器特别是脑和脊髓的灌注, 是提高手术成功率, 降低神经系统并发症的关键。脑灌注的监测手段包括: 灌注压监测、血流监测、代谢监测等。脑灌注压 (CPP) 是预测儿童脑损伤不良后果的精准指标, 有创颅内压监测可能导致操作损伤和并发症, 而无创颅内压监测, 如鼓膜移位测定、

DOI: 10.12089/jca.2019.07.003

基金项目: 江苏省“六大人才高峰”项目 (2016-WSW-084)

作者单位: 210008 南京医科大学附属儿童医院麻醉科

通信作者: 施晓华, Email: shixiaohua8203@126.com

视神经鞘直径测量等,在应用上存在限制。经颅多普勒超声(TCD)可检测颅内脑底动脉环上各个主要动脉血流动力学和血流生理参数,但检查依赖操作者技术,具有一定主观性。利用脑代谢监测评估脑灌注越来越受到关注,术中持续、无创、实时地监测脑及脊髓的灌注是提高 COA/IAA 手术质量的重要保障。通过近红外光谱仪(NIRS)获得的局部组织氧饱和度( $StO_2$ )可以实时反映人体微循环的氧平衡,其变化往往先于 MAP、HR 和心指数(CI)。本研究探讨 NIRS 持续监测局部脑氧饱和度( $SctO_2$ )和躯体氧饱和度( $SstO_2$ )在患儿主动脉弓重建合并心内畸形矫治术中对组织灌注的评估和应用价值。

### 资料与方法

**一般资料** 本研究为前瞻性研究,选取 2015 年 1 月至 2017 年 2 月南京医科大学附属儿童医院收治的 COA 或 IAA 合并心内畸形拟行矫治术的患儿,性别不限,年龄 12 d 至 11 个月,体重 3~6 kg, ASA III 或 IV 级,主动脉缩窄处直径/降主动脉直径 $<0.5$ ,狭窄段长度 5~15 mm。

**麻醉方法** 患儿入室后常规监测 HR、ECG、 $SpO_2$  和 BP。麻醉诱导通过静脉注射盐酸戊乙奎醚 0.01 mg/kg、芬太尼 10  $\mu$ g/kg、咪达唑仑 0.1 mg/kg、罗库溴铵 0.6 mg/kg,经鼻插入气管导管行机械通气,调节呼吸参数, $V_T$  6~8 ml/kg,RR 24~28 次/分, I:E 1:1.5~2,  $FiO_2$  40%, CPB 前调节  $P_{ET}CO_2$  在 45~50 mmHg。插管后行右上肢和下肢动脉、右颈内静脉穿刺置管,分别监测上下肢 BP 和 CVP。麻醉维持采用静-吸复合麻醉,切皮和 CPB 开始前间断推注芬太尼 10~20  $\mu$ g/kg、咪达唑仑 0.1 mg/kg,术中持续泵注罗库溴铵 0.1 mg  $\cdot$  kg $^{-1}$   $\cdot$  h $^{-1}$ ,当 HR、BP 较麻醉前基础值上升幅度 $>20\%$ 时,吸入七氟醚加深麻醉。手术采用胸骨正中切口,上下腔静脉插管,COA 患儿经升主动脉插管,IAA 患儿经升主动脉和经动脉导管行降主动脉插管通过 Y 管连接体同时进行灌注。肝素化后建立 CPB,采用 JOSTRA HL 20 型人工心肺机,DEDICO 901 型膜式氧合器,先中低温中高流量,流量 100~150 ml  $\cdot$  kg $^{-1}$   $\cdot$  min $^{-1}$ ,阻断主动脉和上下腔静脉,主动脉根部灌注 HTK 心停跳液,行心内畸形矫治,继续将体温降至 20~22  $^{\circ}C$ ,将主动脉插管插入无名动脉行选择性脑灌注(selective cerebral perfusion, SCP),流量 20~40 ml  $\cdot$  kg $^{-1}$   $\cdot$  min $^{-1}$ ,进行主动脉弓重建。停 CPB 后调节呼吸参数适当过度通气,并给予肾上腺素 0.05~0.10

$\mu$ g  $\cdot$  kg $^{-1}$   $\cdot$  min $^{-1}$ 、米力农 0.5  $\mu$ g  $\cdot$  kg $^{-1}$   $\cdot$  min $^{-1}$ 等血管活性药支持循环,维持上肢 MAP $>40$  mmHg。

**观察指标** 记录患儿诱导时( $T_0$ )、切皮时( $T_1$ )、CPB 开始( $T_2$ )、SCP 开始( $T_3$ )、停 SCP( $T_4$ )、主动脉开放( $T_5$ )、停 CPB( $T_6$ )、术毕( $T_7$ )时的  $SctO_2$ 、 $SstO_2$ 、 $SpO_2$ 、上下肢 MAP 及肛温,并同步抽取动脉血 1 ml 做血气分析,记录  $PaCO_2$ 、Hct、乳酸浓度等;抽取中心静脉血 1 ml 测定中心静脉氧饱和度(central venous oxygen saturation,  $ScvO_2$ )。采用 FORE-SIGHT 氧合监测仪(CAS medical system, Branford CT)持续监测  $StO_2$ ,两个探头分别放置在患儿右侧额部及背部  $T_{10}$ — $L_2$  位置,以深色弹力绷带覆盖避光,所测数据分别代表  $SctO_2$  及  $SstO_2$ 。

**统计分析** 采用 SPSS 15.0 统计软件进行数据分析。正态分布计量资料以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,采用重复测量方差分析,应用 Pearson 相关系数来衡量相关性。 $P<0.05$  为差异有统计学意义。

### 结 果

本研究共纳入 21 例患儿,男 16 例,女 5 例,早产儿 2 例,合并其它心内畸形 3 例;二、三尖瓣重度关闭不全 1 例,冠状动脉起源异常 1 例, Taussing-Bing 畸形 1 例。CPB 时间(185.5 $\pm$ 0.0) min,主动脉阻断时间(68.2 $\pm$ 17.1) min, SCP 时间(23.7 $\pm$ 6.3) min,术后带管时间(6.5 $\pm$ 1.6) d,重症监护室停留时间(11.7 $\pm$ 2.3) d,手术后住院时间(25.8 $\pm$ 8.1) d。

与  $T_0$  时比较,  $T_2$ 、 $T_5$ 、 $T_6$  时  $SctO_2$  明显降低( $P<0.05$ )。  $T_0$ — $T_4$  时  $SctO_2$  明显高于  $SstO_2$  ( $P<0.05$ )。  $T_5$ — $T_7$  时  $SctO_2$  明显低于  $SstO_2$  ( $P<0.05$ ) (表 1)。

$SctO_2$  与  $ScvO_2$  的 Pearson 相关系数  $r=0.80$  ( $P<0.05$ ) (图 1)。

### 讨 论

主动脉弓重建术中脑及脊髓等重要脏器的灌注和氧供需平衡是影响患儿预后的重要因素,也是麻醉管理的核心任务之一。患复杂性先天性心脏病(congenital heart disease, CHD)的患儿,中枢神经系统在形态与功能上均不成熟,缺氧更是会影响血脑屏障的发育<sup>[3]</sup>。术中降主动脉阻断后因远端缺血所致的脊髓缺血改变,可能导致 $<2$ 月龄的患儿术后截瘫<sup>[4]</sup>。因此,对 COA/IAA 患儿围术期脊髓灌注的监测非常重要。Booth 等<sup>[5]</sup>认为,躯干背外侧  $SstO_2$  可以很好地反映脊髓前动脉的血供,其通过前

表 1 患儿不同时点生理变量的比较 ( $\bar{x} \pm s, n = 21$ )

指标	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>
SctO <sub>2</sub> (%)	70.3±3.5	67.6±3.5	58.6±3.5 <sup>a</sup>	79.6±4.0	71.8±2.5	51.8±2.3 <sup>a</sup>	59.0±2.8 <sup>a</sup>	61.3±6.0
SstO <sub>2</sub> (%)	58.8±5.8 <sup>b</sup>	55.1±6.2 <sup>b</sup>	46.4±6.7 <sup>b</sup>	39.6±5.2 <sup>b</sup>	50.5±4.9 <sup>b</sup>	75.8±4.4 <sup>b</sup>	70.5±2.3 <sup>b</sup>	69.5±6.2 <sup>b</sup>
SpO <sub>2</sub> (%)	99.6±0.4	99.6±0.4	99.6±0.4	99.8±0.2	99.9±0.1	99.6±0.4	99.5±0.4	99.4±0.6
ScvO <sub>2</sub> (%)	70.7±5.7	68.4±5.2	56.4±5.0	78.3±4.0	74.4±3.4	58.5±7.8	60.3±5.7	62.3±9.1
上肢 MAP(mmHg)	65.9±3.8	63.4±3.0	56.4±3.4	57.6±4.5	54.1±2.5	57.3±4.1	60.2±3.9	59.9±5.1
下肢 MAP(mmHg)	44.2±8.5	42.4±7.7	38.7±6.7	22.1±4.8	28.1±9.5	45.2±9.5	48.5±9.6	50.7±10.7
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	45.3±3.8	42.4±3.4	38.9±2.6	31.2±1.8	29.7±1.2	31.6±1.5	35.1±3.5	37.9±3.1
Hct(%)	38.3±2.1	38.0±2.2	37.2±2.1	21.0±1.8	20.6±2.7	25.1±1.8	28.7±1.6	34.3±1.5
肛温(℃)	37.0±0.5	36.6±0.4	36.2±0.4	20.1±1.2	19.6±1.2	28.6±2.6	36.5±0.5	36.1±0.5
乳酸(mmol/L)	1.3±0.2	1.3±0.3	1.6±0.3	2.5±0.3	3.7±0.4	3.1±0.3	2.6±0.3	2.5±0.4

注:与 T<sub>0</sub>比较,<sup>a</sup>P<0.05;与 SctO<sub>2</sub>比较,<sup>b</sup>P<0.05

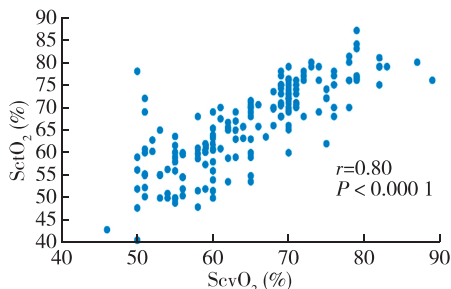


图 1 患儿 SctO<sub>2</sub>与 ScvO<sub>2</sub>的 Pearson 相关性分析

额及 T<sub>10</sub>—L<sub>2</sub>背外侧 StO<sub>2</sub>监测发现,在 CPB 局部脑灌注期间,SstO<sub>2</sub>下降明显。本研究通过 NIRS 连续监测 SctO<sub>2</sub>和 SstO<sub>2</sub>,实时了解脑及脊髓灌注,以期对患儿的神经系统进行更好的保护。

本研究中,将诱导时 SctO<sub>2</sub>作为基础值,下降超过 2 个标准差时,视为有临床意义<sup>[6]</sup>。研究中发现,上肢 MAP<40 mmHg 时,SctO<sub>2</sub>下降>2 个标准差,通过液体治疗或血管活性药应用,SctO<sub>2</sub>可以恢复至诱导时水平,但较上肢 MAP 恢复缓慢。各病例间诱导时 SstO<sub>2</sub>差异较大,且与下肢 MAP 并不完全一致,可能与侧枝循环有关,良好的侧枝循环是改善主动脉狭窄远端灌注的重要条件。CPB 开始初期,SctO<sub>2</sub>、ScvO<sub>2</sub>呈一过性降低,可能是脑血流与脑代谢失匹配造成的。SCP 开始后,SstO<sub>2</sub>急剧下降,而 SctO<sub>2</sub>明显上升;SCP 结束降主动脉开放后,SstO<sub>2</sub>迅速上升,而 SctO<sub>2</sub>明显下降,在 CPB 结束后逐步趋向一致,但仍然 SstO<sub>2</sub>>SctO<sub>2</sub>。可能的原因是降主动脉开放后,远端灌注急速增加,脑部呈现相对灌注

不足<sup>[7]</sup>;复温过程中,SctO<sub>2</sub>降低明显,是由于温度升高使脑耗氧量增加,而此时脑的灌注压与之不匹配造成的。

对于严重 COA 的患儿,出生后 PDA 的关闭将严重影响狭窄远端的灌注<sup>[8]</sup>。在脑血流的调节中,动脉血液中的 O<sub>2</sub>和 CO<sub>2</sub>是两个重要调节因素<sup>[9]</sup>。当 O<sub>2</sub>和 CO<sub>2</sub>的张力发生改变时,可引起脑血管阻力的改变,继而导致脑血流的变化。对于 PDA 依赖性 COA,诱导后不恰当的过度通气可使上下肢压差增大<sup>[10]</sup>,SctO<sub>2</sub>与 SstO<sub>2</sub>差值加大,提示 PDA 下端组织灌注受到影响。在本研究中,根据 SctO<sub>2</sub>与 SstO<sub>2</sub>的差异通过调节呼吸参数,维持适度呼吸酸、降低吸氧浓度可改善 SstO<sub>2</sub>,避免 PDA 下端组织缺血缺氧。手术矫治后,下半身血供大幅增加,脑部呈现相对供血不足,需要一定的灌注压维持脑血流。停 CPB 后,尽管出于降低肺动脉压的考虑需要过度通气,但 PaCO<sub>2</sub>过低可能导致脑血管收缩而造成脑血流减少。实时监测 SctO<sub>2</sub>及 SstO<sub>2</sub>,可以作为除 MAP、CVP 之外的一项敏感参数来指导呼吸调控及血管活性药的应用,从而进行神经功能保护。

ScvO<sub>2</sub>是 CPB 中比较容易获得的数据,反映危重患者全身氧供需平衡的瞬时变化,能早期发现组织缺氧,优于其他传统的血流动力学参数<sup>[11]</sup>。Weiss 等<sup>[12]</sup>对 155 例平均年龄 12 d 的患儿进行对比研究,发现 ScvO<sub>2</sub>与动静脉血氧分压、氧摄取分数密切相关,而与 SpO<sub>2</sub>不相关,ScvO<sub>2</sub>可以比 SpO<sub>2</sub>更早发现组织低氧血症,从而更准确反映患儿氧供和氧需情况。本研究中,通过检测不同时点 ScvO<sub>2</sub>的变

化,发现其与 SctO<sub>2</sub>的变化具有一致性,相关性达到 0.80,间接表明 SctO<sub>2</sub>监测的准确性,可作为 CHD 中了解氧供需的指标之一。颈内静脉血氧饱和度 (SjvO<sub>2</sub>)也与 SctO<sub>2</sub>值相关<sup>[13]</sup>,前者被认为是测定脑氧饱和度的有效指标。但 SjvO<sub>2</sub>是通过颈内静脉逆行置管至颈静脉球部监测静脉氧饱和度,在患儿操作有困难且并发症多,不易实施。

深低温微流量 CPB 结合 SCP 可以提供良好的手术视野<sup>[14]</sup>,但灌注不足会引起脑组织缺血缺氧,灌注过度则加重脑细胞水肿,同时增加脑部氧负荷<sup>[15]</sup>。持续监测 SctO<sub>2</sub>及 SstO<sub>2</sub>可以作为缺血缺氧的早期预警信号,实时的指导灌注医师调整灌注流量。本研究中 IAA 患儿脑灌期间,通过监测 SctO<sub>2</sub>及 SstO<sub>2</sub>指导灌注医师将灌注流量降至 20~30 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>,维持 SctO<sub>2</sub>在 60%~70%。术后 30 d 随访患儿,无神经并发症发生。本研究中还呈现了其它可能与 StO<sub>2</sub>相关的指标,如:MAP,PaCO<sub>2</sub>,红细胞压积,肛温,乳酸等,因这些指标不是本研究的重点,故不作展开讨论。

综上所述,在患儿复杂 CHD 手术中,CPB 对发育中的大脑及脊髓导致的损伤亟需研究和处理。实时监测 CPB 中脑及脊髓的灌注及氧供需平衡,并对存在神经损伤的患儿进行早期干预,将是今后努力的目标。尽管 StO<sub>2</sub>用于新生儿/婴儿的临床研究尚有许多局限性,StO<sub>2</sub>的正常值和临界值有待确定<sup>[16]</sup>,其对临床的指导意义亦存在分歧,但利用 StO<sub>2</sub>监测的实时性,观察其动态变化,了解组织(特别是脑及脊髓组织)灌注及氧供氧耗,可以指导麻醉及心肺转流的精细化管理,从而对大脑及脊髓有更好的保护。

### 参 考 文 献

- [1] Kajimoto M, Ledee DR, Olson AK, et al. Selective cerebral perfusion prevents abnormalities in glutamate cycling and neuronal apoptosis in a model of infant deep hypothermic circulatory arrest and reperfusion. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2016, 36(11): 1992-2004.
- [2] Kim H, Sung SC, and Choi KH. A novel arterial cannulation technique for selective regional cerebral perfusion. *Ann Thorac Surg*, 2017, 103(4): e385-e388.
- [3] Klamt JG, Vicente WVA, Garcia LV, et al. Neuroprotective anesthesia regimen and intensive management for pediatric cardiac surgery with cardiopulmonary bypass: a review and initial experience. *Braz J Cardiovasc Surg*, 2017, 32(6): 523-529.
- [4] Nguyen L, Cook SC. Coarctation of the aorta: Strategies for improving outcomes. *Cardiol Clin*, 2015, 33(4): 521-530.
- [5] Booth EA, Dukatz C, Ausman J, et al. Cerebral and somatic venous oximetry in adults and infants. *Surg Neurol Int*, 2010, 1: 75.
- [6] Baik N, Urlesberger B, Schwabegger B, et al. Reference ranges for cerebral tissue oxygen saturation index in term neonates during immediate neonatal transition after birth. *Neonatology*, 2015, 108(4): 283-286.
- [7] Reinsfelt B, Westerlind A, Ricksten SE. The effects of sevoflurane on cerebral blood flow autoregulation and flow-metabolism coupling during cardiopulmonary bypass. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2011, 55(1): 118-123.
- [8] Langley SM, Sunstrom RE, Reed RD, et al. The neonatal hypoplastic aortic arch: decisions and more decisions. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu*, 2013, 16(1): 43-51.
- [9] Hoiland RL, Bain AR, Rieger MG, et al. Hypoxemia, oxygen content, and the regulation of cerebral blood flow. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2016, 310(5): R398-R413.
- [10] Mishima A, Nomura N, Ukai T, et al. Aortic coarctation repair in neonates with intracardiac defects: the importance of preservation of the lesser curvature of the aortic arch. *J Card Surg*, 2014, 29(5): 692-697.
- [11] Kakuta N, Kawahito S, Mita N, et al. Usefulness of central venous oxygen saturation monitoring during bidirectional Glenn shunt. *J Med Invest*, 2013, 60(3-4): 272-275.
- [12] Weiss M, Dullenkopf A, Kolarova A, et al. Near-infrared spectroscopic cerebral oxygenation reading in neonates and infants is associated with central venous oxygen saturation. *Paediatr Anaesth*, 2005, 15(2): 102-109.
- [13] Naguib AN, Winch PD, Sebastian R, et al. The correlation of two cerebral saturation monitors with jugular bulb oxygen saturation in children undergoing cardiopulmonary bypass for congenital heart surgery. *J Intensive Care Med*, 2017, 32(10): 603-608.
- [14] Andropoulos DB, Easley RB, Brady K, et al. Neurodevelopmental outcomes after regional cerebral perfusion with neuromonitoring for neonatal aortic arch reconstruction. *Ann Thorac Surg*, 2013, 95(2): 648-654.
- [15] Keeling WB, Leshnowar BG, Hunting JC, et al. Hypothermia and selective antegrade cerebral perfusion is safe for arch repair in type a dissection. *Ann Thorac Surg*, 2017, 104(3): 767-772.
- [16] Sood ED, Benzaquen JS, Davies RR, et al. Predictive value of perioperative near-infrared spectroscopy for neurodevelopmental outcomes after cardiac surgery in infancy. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 145(2): 438-445 e431; discussion 444-435.

(收稿日期:2018-09-04)