

论著·临床研究 doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2023.15.005

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms2/detail/50.1097.R.20230505.1115.018.html\(2023-05-05\)](https://kns.cnki.net/kcms2/detail/50.1097.R.20230505.1115.018.html(2023-05-05))

## 心脏瓣膜手术中低脑氧发生情况及其对早期预后的影响\*

丁梦, 赵文君, 魏蔚<sup>△</sup>

(四川大学华西医院麻醉科, 成都 610041)

**[摘要]** **目的** 探讨心脏瓣膜手术中低脑氧发生情况及其对早期预后的影响。**方法** 纳入 2017 年 8 月至 2018 年 5 月于四川大学华西医院在浅低温体外循环(CPB)下行择期心脏瓣膜手术的患者 190 例。术中监测患者双侧局部脑组织氧饱和度(rScO<sub>2</sub>), 定义患者术中出现 rScO<sub>2</sub><55%持续 5 min 为低脑氧事件, 根据是否发生低脑氧事件分为低脑氧组(L 组)和正常脑氧组(N 组)。比较两组临床资料, 分析低脑氧的发生情况及其对预后的影响。**结果** 纳入患者中有 99 例发生了低脑氧, 在发生低脑氧的患者中, 73 例患者发生于 CPB 期间。L 组术前血糖水平低于 N 组, 脑钠肽水平高于 N 组, 差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。两组术后 ICU 停留时间、总住院时间、术后急性肾损伤(AKI)发生率、术后最高脑钠肽水平、CPB 后最高乳酸水平的差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。二分类 logistic 回归分析显示年龄>65 岁( $OR=5.557, 95\%CI: 1.660\sim 18.604, P<0.05$ )和 CPB 时间>120 min( $OR=4.178, 95\%CI: 2.046\sim 8.530, P<0.05$ )是术中发生低脑氧的危险因素, 基础 rScO<sub>2</sub>>60%( $OR=0.400, 95\%CI: 0.269\sim 0.962, P<0.05$ )为发生低脑氧的保护因素。**结论** 心脏瓣膜手术中有一半患者发生低脑氧, 多发生于 CPB 期间。低脑氧可增加 AKI 发生率、血乳酸水平, 延长患者 ICU 停留时间和总住院时间。

**[关键词]** 体外循环; 心脏瓣膜手术; 低脑氧饱和度; 急性肾损伤; ICU 停留时长; 总住院时间

**[中图分类号]** R654.2

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1671-8348(2023)15-2267-05

## Occurrence of hypoxia in heart valve surgery and its effect on early prognosis\*

DING Meng, ZHAO Wenjun, WEI Wei<sup>△</sup>

(Department of Anesthesiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610041, China)

**[Abstract]** **Objective** To investigate the incidence of hypoxia in heart valve surgery and its impact on early prognosis. **Methods** A total of 190 patients who underwent elective heart valve surgery using mild hypothermic extracorporeal circulation (CPB) at West China Hospital of Sichuan University from August 2017 to May 2018 were included. The oxygen saturation (rScO<sub>2</sub>) of bilateral brain tissue was monitored during the operation. A low cerebral oxygen event was defined as rScO<sub>2</sub><55% for 5 minutes during the operation. According to the occurrence of hypoxic events, the participants were divided into two groups: the hypoxic group (group L) and the normal cerebral oxygenated group (group N). The clinical data of the two groups were compared, and the incidence of hypoxia and its impact on prognosis were analyzed. **Results** Hypoxemia occurred in 99 patients, and of those cases, 73 cases occurred during CPB. The preoperative blood glucose in the group L was lower than group N, and brain natriuretic peptide was higher than group N ( $P<0.05$ ). There were statistically significant differences in the following variables between the two groups: postoperative ICU stay time, total hospitalization time, incidence of postoperative acute kidney injury (AKI), brain natriuretic peptide after surgery, and peak lactic acid after CPB ( $P<0.05$ ). Dichotomous logistic regression analysis showed that being over 65 years old ( $OR=5.557, 95\%CI: 1.660-18.604, P<0.05$ ) and having a CPB time over 120 minutes ( $OR=4.178, 95\%CI: 2.046-8.530, P<0.05$ ) were risk factors for intraoperative hypoxia, while having a basic rScO<sub>2</sub> level above 60% ( $OR=0.400, 95\%CI: 0.269-0.962, P<0.05$ ) was a protective factor against hypoxia. **Conclusion** Hypoxia occurs in half of the patients undergoing heart valve surgery, primarily during CPB. Low cerebral oxygen levels can increase the incidence of AKI, blood lactic acid levels, and prolong the

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目(81971772)。 作者简介: 丁梦(1996-), 住院医师, 硕士, 主要从事氧供需监测研究。 <sup>△</sup> 通信作者, E-mail: weiw@scu.edu.cn。

length of stay for patients in ICU and total hospitalization time.

**[Key words]** extracorporeal circulation; heart valve surgery; low cerebral oxygen saturation; acute kidney injury; length of ICU stay; total length of hospital stay

心脏直视手术需在体外循环的辅助下完成,确保在为机体提供基础氧供的同时,获得清晰、安静、无血的术野,使手术能安全、顺利进行<sup>[1]</sup>。但是在体外循环(CPB)期间,由于血流动力学改变、血液稀释、氧解离曲线左移、机体炎性反应等多种原因<sup>[2-3]</sup>,机体极易发生氧供与氧耗的失衡,产生氧债,最终导致不可逆的缺氧性损伤及器官功能损害。在氧供下降的初期,传统监测指标几乎不出现异常<sup>[4]</sup>,而当动脉血氧饱和度、混合静脉血氧饱和度、血乳酸等反映氧供需平衡的指标出现异常时,局部组织常常已缺氧一段时间,此时即使立即采取有效措施也不能完全避免缺氧性损伤的发生,严重时可导致重要器官功能损害甚至死亡<sup>[5]</sup>。近年来应用近红外光谱(near infrared spectroscopy, NIRS)技术监测脑额叶皮层组织内氧合血红蛋白含量和非氧合血红蛋白含量,得到该部位包括动脉血、静脉血及混合动静脉血在内的所有血液的氧合状态<sup>[6]</sup>,即局部脑组织氧饱和度,具有无创、廉价、实时、便捷的特点。它作为传统监测手段的补充已经被应用于心脏大血管手术、胸科手术、颈动脉内膜剥脱手术、心肺复苏、新生儿重症监护等领域<sup>[7-10]</sup>。局部脑组织氧饱和度监测在减少术后神经系统并发症的积极作用被某些研究所证实<sup>[11]</sup>,但仍有一定争议<sup>[12]</sup>。本研究主要关注 CPB 辅助下心脏瓣膜手术中患者发生的低脑组织氧饱和度(rScO<sub>2</sub>),分析其影响因素及与患者预后的关系,以期为更好地应用 NIRS 技术进行围手术期管理提供依据,为心脏手术患者围手术期维持氧供需平衡的管理提供思路,避免氧债产生,降低术后不良事件发生率,改善患者预后。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

本研究为前瞻性观察性队列研究。研究通过四川大学医学伦理委员会批准(伦理编号:2017342),并在术前与患者及家属谈话,签署知情同意书。纳入 2017 年 8 月至 2018 年 5 月于四川大学华西医院在浅低温 CPB 下行择期心脏瓣膜手术的患者 190 例,其中男 102 例,女 88 例,平均年龄(54.21±11.97)岁。定义患者术中出现双侧局部 rScO<sub>2</sub><55%持续 5 min 为低脑氧事件,根据是否发生低脑氧事件分为低脑氧组(L 组)和正常脑氧组(N 组)。

纳入标准:(1)年龄 18~80 岁;(2)拟行择期心脏瓣膜手术;(3)手术需要 CPB 辅助。

排除标准:(1)患有中枢神经系统疾病;(2)有中枢神经系统手术史;(3)预计手术时间≤2 h。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 术前基线资料收集

术前 1 d 收集患者基线资料。(1)人口统计学资料:性别、年龄、体重、身高、体重指数;(2)术前检查结果:血红蛋白、肌酐、尿素氮、胆红素、天门冬氨酸氨基转移酶/丙氨酸氨基转移酶(AST/ALT)值、脑利钠肽(brain natriuretic peptide, BNP)、肌钙蛋白、心脏彩超、头部 CT;(3)术前合并症及疾病史情况:美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists, ASA)分级、是否有肝肾功能不全、是否有心功能不全、是否发生过心脑血管意外、是否存在颈动脉狭窄、是否存在神经系统疾病、手术史、外伤史。

#### 1.2.2 术中监测

rScO<sub>2</sub> 监测:采用近红外光组织血氧参数无损监测仪(爱琴医疗 EGOS-600 系列近红外光组织血氧参数无损监测仪)对患者双侧大脑半球局部 rScO<sub>2</sub> 进行监测。入室后用酒精棉球对患者前额部皮肤进行去脂消毒。将左、右脑氧饱和度探头分别置于左、右前额,使左、右探头发光点分别位于眉骨上方 1.5~2.5 cm 处,左、右脑氧饱和度探头边缘均距前正中线 1~2 cm。务必保证传感探头与皮肤紧密贴合、接触良好,贴合好后使用绷带妥善固定,使其避光。系统每分钟采集 1 次 rScO<sub>2</sub> 数据并保存。

常规监测包括五导联心电图、脉搏氧饱和度、呼气末二氧化碳、有创动脉压、中心静脉压、鼻咽温。分别在患者入室时、心肺转流术前、心肺转流术中每小时、心肺转流术后 20 min、手术医生关胸时采集动脉血进行血气分析。

#### 1.2.3 术后随访

随访指标包括:重症监护室(ICU)停留时间、总住院时间;血红蛋白、肌酐、尿素氮、AST/ALT 值、脑钠肽(BNP)、肌钙蛋白;术后并发症情况(是否有新发的肝肾功能不全)。

### 1.3 统计学处理

采用 SPSS20.0 软件对数据进行统计分析。对符合正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,采用 *t* 检验,非正态分布计量资料以  $M(P_{25}, P_{75})$  表示,采用参数检验。用二分类的 logistic 回归分析法分析低脑氧事件影响因素。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 低脑氧事件发生情况

最终纳入 190 例浅体温 CPB 下行心脏瓣膜手术患者,其中有 99 例患者发生了低脑氧,在发生低脑氧的患者中,73 例患者发生于 CPB 期间。

### 2.2 基线资料比较

两组患者性别、年龄、体重指数、ASA 分级、术前血红蛋白、肌酐、尿素氮水平、ALT/AST 值、肌钙蛋

白、左室射血分数(EF)值及左心室大小差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。L 组术前血糖低于 N 组, BNP 水平高于 N 组( $P<0.05$ ), 见表 1。

2.3 随访结果比较

L 组及 N 组术后最高肌酐水平、最高尿素水平、最高 ALT/AST 值及术后 EF 值比较, 差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。L 组急性肾损伤(AKI)发生率、

ICU 停留时间、总住院时间、术后最高 BNP、术中最高乳酸水平均明显高于 N 组( $P<0.05$ ), 见表 2。

2.4 低脑氧事件的影响因素

用二分类 logistic 回归分析术中发生低脑氧事件的危险因素, 发现年龄 $>65$  岁和 CPB 时间 $>120$  min 是发生低脑氧事件的危险因素( $P<0.05$ ),  $rScO_2>60\%$  为发生低脑氧事件的保护性因素, 见表 3。

表 1 两组患者基线资料比较

项目	L 组(n=99)	N 组(n=91)	P
性别(男/女, n/n)	41/58	40/51	0.152
年龄( $\bar{x}\pm s$ , 岁)	53.66 $\pm$ 12.98	55.08 $\pm$ 10.56	0.412
体重指数( $\bar{x}\pm s$ , kg/m <sup>2</sup> )	23.17 $\pm$ 3.87	23.97 $\pm$ 3.34	0.673
ASA 分级[n(%)]			0.786
III	95(95.96)	88(96.70)	
IV	4(4.04)	3(3.30)	
血红蛋白( $\bar{x}\pm s$ , g/dL)	135.12 $\pm$ 19.90	136.29 $\pm$ 17.96	0.683
肌酐[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), $\mu$ mol/L]	68(61, 81)	74(62, 86)	0.205
尿素氮[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), mmol/L]	5.80(4.60, 6.85)	5.50(4.25, 6.40)	0.282
AST/ALT[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ )]	1.21(0.89, 1.50)	1.10(0.90, 1.43)	0.913
血糖[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), mmol/L]	4.90(4.62, 5.47)	5.10(4.77, 5.92)	0.038
BNP[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), pg/mL]	782(208, 2157)	420(141, 1226)	0.019
肌钙蛋白[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), ng/L]	13.90(9.80, 23.20)	12.90(9.20, 22.30)	0.475
EF 值[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), %]	61.50(53.20, 67.00)	62.00(54.00, 67.20)	0.581
左心室大小[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), mm]	52(45, 60)	53(47, 58)	0.205

表 2 两组患者术后资料比较

项目	L 组(n=99)	N 组(n=91)	P
术后最高肌酐水平[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), $\mu$ mol/L]	83.00(68.40, 98.30)	91.00(74.50, 111.25)	0.107
术后最高尿素氮水平[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), mmol/L]	8.30(6.85, 10.80)	8.80(6.30, 10.79)	0.718
术后最高 AST/ALT[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ )]	3.43(2.30, 4.56)	2.87(2.00, 3.69)	0.445
术后 EF 值[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), %]	56.50(49.00, 62.00)	56.00(47.00, 61.75)	0.445
术后最高 BNP[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), pg/mL]	1 986(883, 3 228)	1 227(582, 2 505)	0.026
AKI 发生率[n(%)]	40(40.40)	6(6.59)	$<0.001$
ICU 停留时间[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), d]	3.50(2.25, 5.00)	3.00(2.00, 4.00)	0.013
总住院时间[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), d]	19(14, 23)	15(12, 21)	0.002
术中最高乳酸水平[M( $P_{25}$ , $P_{75}$ ), mmol/L]	3.20(2.50, 3.90)	2.80(2.20, 3.40)	0.033

表 3 低脑氧事件影响因素单因素分析结果

危险因素	分类	低脑氧事件发生率(%)	P	OR	95%CI
年龄	$>65$ 岁	72.4	0.005	5.557	1.660~18.604
	$<65$ 岁	49.1			
CPB 时间	$>120$ min	69.7	$<0.001$	4.178	2.046~8.530
	$<120$ min	40.3			
基础 $rScO_2$	$>60\%$	35.1	$<0.001$	0.400	0.269~0.962
	$>65\%$	72.4			

3 讨 论

按照  $rScO_2$  绝对值小于 55%, 持续超过 5 min 作为低脑氧事件的标准, 纳入的 190 例患者中, 有 99 例患者发生了低脑氧。而发生低脑氧的患者中, 73 例患者发生在 CPB 期间。ZHENG 等<sup>[13]</sup> 系统评价了成人心脏手术患者应用脑 NIRS 监测的情况, 发现约 50% 的心脏手术患者在手术过程中发生了一次或多次的局部  $rScO_2$  下降, 这与本研究结果类似<sup>[13]</sup>。心脏瓣膜手术中低脑氧发生率较高, 大多发生于 CPB 期间。患者的  $rScO_2$  在 CPB 过程中有所下降, 主要是由 CPB

时氧供与氧耗的特点和脑组织利用能量的特点两方面原因导致的<sup>[2-3]</sup>。CPB 时组织灌注压降低,非搏动性血流代替搏动性血流,使微循环障碍发生率增高,并且这种非搏动性血流使体内儿茶酚胺类物质释放增加,易导致局部血管收缩,局部组织灌注减少或无灌注,进而导致局部组织缺血缺氧。CPB 时常有一定的血液稀释,血液稀释不仅导致脑细胞水肿发生率增高,而且由于血液稀释、手术及 CPB 导致的红细胞破坏增加、输入库存血红细胞变形能力降低等原因使血红蛋白水平降低,有效携氧的血红蛋白减少,组织易发生缺血缺氧。低灌注导致的局部组织乳酸产生增加、pH 值降低,库存血中二磷酸甘油酸水平较低,动脉血二氧化碳浓度降低,心肌保护需要低体温等系列活动导致氧解离曲线左移,氧解离障碍,组织利用氧困难。此外,动脉血二氧化碳浓度降低时,脑血管收缩,脑血流减少,易发生脑组织缺血缺氧。CPB 开始时由于有免疫细胞如单核细胞、巨噬细胞的活化,血液与 CPB 管路的接触,核心体温变化,血流动力学改变,肠道内毒素的释放等原因,应激激素水平明显增高,全身炎症反应启动,过度炎症反应使机体氧耗增加,更易缺血缺氧。由于心脏手术及 CPB 的特点,约一半的患者在手术过程中发生了低脑氧,本研究结果提示有必要对 CPB 的患者进行脑氧监测,特别是 CPB 期间,有助于及时发现脑组织缺氧。

进一步分析显示,低脑氧组及正常脑氧组 ICU 停留时间、总住院时间、术后 AKI 发生率、术后最高 BNP、术中最高乳酸的差异有统计学意义。低脑氧组表现出更高 CPB 后乳酸水平、术后最高 BNP 水平及 AKI 发生率,更长的 ICU 停留时间与总住院时间。发生低脑氧时,局部的脑组织发生了氧供需不平衡,需氧量大于供氧量,葡萄糖有氧化过程受阻,丙酮酸无法顺利完成三羧酸循环产能,丙酮酸通过无氧酵解转化为乳酸,此时细胞内氢离子堆积,pH 值下降,同时由于无氧酵解产生三磷酸腺苷(ATP)减少,细胞供能不足,引起细胞损伤<sup>[14]</sup>。由于上述原因,CPB 时导致组织缺血缺氧,局部乳酸堆积。CPB 后由于组织恢复搏动性灌注,灌注压增高,末梢循环改善,局部组织堆积的乳酸释放入血,血中乳酸含量增加,加之恢复正常循环后,各个器官的缺血再灌注损伤,乳酸水平将进一步升高。CPB 后高乳酸水平常提示组织灌注不良,细胞缺血缺氧,器官功能障碍,术后肾功能不全发生率增高。乳酸作为一项反映组织灌注不良的指标在临床上广泛应用,高乳酸血症更是循环衰竭、脏器功能损伤、疾病预后不良、近远期死亡率增加的标志物<sup>[15]</sup>。但临床上由于乳酸水平的获得依赖于血气检查,特别是 CPB 时由于灌注不足等原因,血液中的乳酸并不能完全反映此时的组织灌注及氧供需情况,有滞后性与不确切性的特点,当血乳酸水平明显升高时,组织已经缺血缺氧一段时间,此时即使立即

采取补救措施也无法完全避免器官的缺氧性损伤<sup>[16]</sup>。相比乳酸而言,局部 rScO<sub>2</sub> 是一个更快、更灵敏的实时监测局部组织氧供需情况的指标。

本研究还发现年龄 > 65 岁和 CPB 时间 > 120 min 是发生低脑氧的危险因素,而基础 rScO<sub>2</sub> > 60% 为发生低脑氧事件的保护性因素。年龄较大的患者发生低脑氧的可能性更大,这与多篇研究的结果相似<sup>[15,17-18]</sup>。随着年龄增加,机体功能逐渐减退,脑细胞萎缩,脑容量减少,脑氧代谢减慢,脑血管发生退行性变,脑血流减慢,在 CPB 条件下更容易产生氧供与氧需失衡,局部 rScO<sub>2</sub> 降低,导致低脑氧事件的发生<sup>[17]</sup>。另有研究表明,随着年龄增长,近红外光在颅内传播的距离变长,传播时间增加,能量衰减增加,rScO<sub>2</sub> 降低<sup>[19-21]</sup>。由于 CPB 时氧供与氧耗的特点和脑组织利用能量的特点,CPB 时易发生大脑的缺氧性损伤。CPB 时间长也意味着手术难度相对高及创伤相对大,此时术中红细胞破坏增多、血液稀释。随着手术时间延长脑细胞水肿概率增加、机体过度炎症反应、体内乳酸堆积、氧离曲线左移等原因也使机体发生低脑氧事件的概率增加。提示减少 CPB 时间可能会减少术中低脑氧的发生,降低大脑缺氧性损伤的发生率。

本研究还存在一些不足,未记录血管活性药物的准确使用情况,无法评估血管活性药物对 rScO<sub>2</sub> 的影响,导致观察结果的相对局限性,血管活性药物对局部 rScO<sub>2</sub> 的影响应行进一步研究。且随访时间较短,只关注患者在院情况,未对患者术后长时间预后资料进行收集。本研究为观察性研究,研究效能有限,对低脑氧干预的作用还有待进一步研究验证,后续可行大样本、多中心的随机对照试验。

综上所述,心脏瓣膜手术中约有一半患者发生低脑氧,多发生于 CPB 期间。低脑氧可增加 AKI 发生率、升高血乳酸水平,延长患者 ICU 停留时间和总住院时间。年龄 > 65 岁、CPB 时间 > 120 min 是术中发生低脑氧的危险因素,基础 rScO<sub>2</sub> > 60% 是其保护因素。

## 参考文献

- [1] HESSEL E A. What's new in cardiopulmonary bypass[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2019, 33(8):2296-2326.
- [2] JUFAR A H, LANKADEVA Y R, MAY C N, et al. Renal and cerebral hypoxia and inflammation during cardiopulmonary bypass[J]. Compr Physiol, 2021, 12(1):2799-2834.
- [3] BRONICKI R A, HALL M. Cardiopulmonary bypass-induced inflammatory response: pathophysiology and treatment[J]. Pediatr Crit Care



- Med, 2016, 17(Suppl. 1): 272-278.
- [4] MAYER K, TRZECIAK S, PURI N K. Assessment of the adequacy of oxygen delivery[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2016, 22(5): 437-443.
- [5] JANOTKA M, OSTADAL P. Biochemical markers for clinical monitoring of tissue perfusion[J]. *Mol Cell Biochem*, 2021, 476(3): 1313-1326.
- [6] MARTIN W, MARCO F, VALENTINA Q. Progress of near-infrared spectroscopy and topography for brain and muscle clinical applications[J]. *J Biomed Opt*, 2007, 12(6): 062104.
- [7] TAKEGAWA R, HAYASHIDA K, ROLSTON D M, et al. Near-infrared spectroscopy assessments of regional cerebral oxygen saturation for the prediction of clinical outcomes in patients with cardiac arrest: a review of clinical impact, evolution, and future directions[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2020, 7: 587930.
- [8] KHAN J M, MCINNIS C L, ROSS-WHITE A, et al. Overview and diagnostic accuracy of near infrared spectroscopy in carotid endarterectomy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2021, 62(5): 695-704.
- [9] FRANZINI S, MORANDI A, PALMISANI F, et al. Cerebral oxygenation by near-infrared spectroscopy in infants undergoing thoracoscopic lung resection[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2021, 31(9): 1084-1091.
- [10] FRANK VAN B, PETRA L, GUNNAR N. Monitoring neonatal regional cerebral oxygen saturation in clinical practice: value and pitfalls[J]. *Neonatology*, 2008, 94(4): 237-244.
- [11] MURNIECE S, SOEHLE M, VANAGS I, et al. Near infrared spectroscopy based clinical algorithm applicability during spinal neurosurgery and postoperative cognitive disturbances[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2019, 55(5): 179.
- [12] HOLMGAARD F, VEDEL A G, RASMUSSEN L S, et al. The association between postoperative cognitive dysfunction and cerebral oximetry during cardiac surgery: a secondary analysis of a randomised trial[J]. *Br J Anaesth*, 2019, 123(2): 196-205.
- [13] ZHENG F, SHEINBERG R, YEE M, et al. Cerebral near-infrared spectroscopy monitoring and neurologic outcomes in adult cardiac surgery patients: a systematic review [J]. *Anesth Analg*, 2013, 116(3): 663-676.
- [14] PINO R M, SINGH J. Appropriate clinical use of lactate measurements[J]. *Anesthesiology*, 2020, 134(4): 637-644.
- [15] ROBU C B, KONINCKX A, DOCQUIER M A, et al. Advanced age and sex influence baseline regional cerebral oxygen saturation as measured by near-infrared spectroscopy: subanalysis of a prospective study [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2020, 34(12): 3282-3289.
- [16] LEE Y S, KIM W Y, YOO J, et al. Correlation between regional tissue perfusion saturation and lactate level during cardiopulmonary bypass[J]. *Korean J Anesthesiol*, 2018, 71(5): 361-367.
- [17] BORAITA R J, IBORT E G, TORRES J M D, et al. Factors associated with a low level of physical activity in adolescents from La Rioja (Spain) [J]. *An Pediatr (Engl Ed)*, 2022, 96(4): 326-333.
- [18] PAPAPOPOULOS G, KARANIKOLAS M, LI ARMAKOPOULOU A, et al. Baseline cerebral oximetry values in elderly patients with hip fractures: a prospective observational study [J]. *Injury*, 2011, 42(11): 1328-1332.
- [19] KOBAYASHI K, KITAMURA T, KOHIRA S, et al. Cerebral oximetry for cardiac surgery: a pre-operative comparison of device characteristics and pitfalls in interpretation [J]. *J Artif Organs*, 2018, 21(4): 412-418.
- [20] YUAN Y, CASSANO P, PIAS M, et al. Transcranial photobiomodulation with near-infrared light from childhood to elderliness: simulation of dosimetry [J]. *Neurophotonics*, 2020, 7(1): 015009.
- [21] KOBAYASHI K, KITAMURA T, KOHIRA S, et al. Cerebral oximetry for cardiac surgery: a pre-operative comparison of device characteristics and pitfalls in interpretation [J]. *J Artif Organs*, 2018, 21(4): 412-418.

(收稿日期: 2022-12-15 修回日期: 2023-05-08)

(编辑: 石芸)