

DOI:10.12025/j.issn.1008-6358.2019.20170923

脑组织氧饱和度临床应用研究进展

田鹏声¹, 马宏昌²

1. 中国医学科学院北京协和医学院国家心血管病中心阜外医院麻醉中心, 北京 100037

2. 高碑店市燕赵医院外科, 保定 074099

[摘要] 脑组织氧饱和度(cerebral tissue oxygen saturation, $S_{ct}O_2$)监测仪能无创、持续地监测 $S_{ct}O_2$, 而 $S_{ct}O_2$ 反映脑组织氧供和氧耗的平衡状态。多种因素可以影响 $S_{ct}O_2$, 如心肺功能异常、脑组织的灌注情况和代谢情况、血液成分改变和 pH 改变、颅内血管的生理病理改变、药物、体温和全身代谢情况的改变、术中体位及吸氧浓度的改变。因此, 能影响上述因素的疾病、临床干预手术措施均会造成 $S_{ct}O_2$ 改变, 其中围术期 $S_{ct}O_2$ 过低可导致术后认知功能障碍(postoperative cognitive dysfunction, POCD)、术后恶心呕吐(postoperative nausea and vomiting, PONV)和谵妄等神经系统并发症。本文对 $S_{ct}O_2$ 监测在心脏大血管手术、颈动脉内膜剥脱术、单肺通气手术、骨科手术等手术及儿科中的应用作一综述, 以期对 $S_{ct}O_2$ 的临床价值和进一步研究提供参考。

[关键词] 脑组织氧饱和度; 术后认知功能障碍; 术后恶心呕吐; 儿科

[中图分类号] R 446.11 **[文献标志码]** A

Research progress in clinical application of cerebral tissue oxygen saturation

TIAN Peng-sheng¹, MA Hong-chang²

1. Center of Anesthesia, Fuwai Hospital, National Center for Cardiovascular Diseases, Chinese Academy of Medical Science & Peking Union Medical College, Beijing 100037, China

2. Department of General Surgery, Gaobeidian Yanzhao Hospital, Baoding 074099, Hebei, China

[Abstract] Cerebral tissue oxygen saturation ($S_{ct}O_2$) monitor can monitor $S_{ct}O_2$ noninvasively and continuously. $S_{ct}O_2$ reflects the equilibrium state of oxygen supply and oxygen consumption in the brain tissue. Many factors can affect $S_{ct}O_2$, such as cardiopulmonary dysfunction, cerebral tissue perfusion and metabolism, changes of blood components and pH, the physiological and pathological changes of intracranial vessels, drug, changes in body temperature and body metabolism, changes in body position and oxygen inhalation concentration during the operation. Therefore, $S_{ct}O_2$ changes can be caused by diseases, clinical interventions, and surgery methods that can affect the above factors. Low $S_{ct}O_2$ in the perioperative period can cause postoperative neurocognitive dysfunction (POCD), postoperative nausea and vomiting (PONV), delirium, and other complications. This article reviews the application of $S_{ct}O_2$ in cardiac macrovascular surgery, carotid endarterectomy, single lung ventilation, orthopedic surgery, and Pediatrics, in order to provide reference for the clinic value and further research of $S_{ct}O_2$.

[Key Words] cerebral tissue oxygensaturation; postoperative cognitive dysfunction; postoperative nausea and vomiting; Pediatrics department

1 脑组织氧饱和度(cerebral tissue oxygen saturation, $S_{ct}O_2$)监测的原理

1.1 基本原理 近红外光是介于可见光和中红外光之间的电磁波, 在 20 世纪 90 年代初开始应用于组织氧饱和度(S_tO_2)监测。 S_tO_2 监测的基本原理是改良的朗伯-比尔定律, 即由于组织内的氧合血红蛋白和去氧血红蛋白的光吸收系数不同, 当光源穿过组织的时候可以将其加以区分, 以氧合血红蛋白

含量除以总血红蛋白含量, 即得到 S_tO_2 ^[1]。

1.2 $S_{ct}O_2$ 监测原理 $S_{ct}O_2$ 监测设备能通过探测器光源发射装置发出近红外光源, 近处光源接收装置接收穿过头皮各层与颅骨的信号, 远处光源接收装置接收穿过头皮各层、颅骨及脑组织的信号, 两者相减即得到 $S_{ct}O_2$ ^[2]。将探测器贴在患者前额两侧, 可以持续、安全、无创地测量患者的 S_tO_2 。

1.3 不同 $S_{ct}O_2$ 监测设备监测原理的比较 目前不

[收稿日期] 2017-10-31

[接受日期] 2018-05-15

[作者简介] 田鹏声, 副主任医师, E-mail: 285590711@qq.com

同 $S_{ct}O_2$ 监测设备的准确性各有优劣,区别主要集中于光源数量及波长范围。部分仪器发出四段光源,部分仪器发出两段光源,最新出现的仪器能发出五段光源。两段波长仅能探测氧合血红蛋白和去氧血红蛋白,而不能探测同一区域的其他吸光团(如黑色素)^[3],而更多波长的光源能产生更多的数据,反映更多的变量,进而鉴别组织中其他的吸光团(如黑色素、胎粪),提高测量准确性。

2 $S_{ct}O_2$ 监测在心脏外科中的应用

术中脑保护一直是麻醉医师关注的焦点。尤其是在心脏手术中,传统的监测手段不能敏感地探测重要器官灌注的急性改变,而良好的灌注是维持器官功能的关键。近红外光谱仪(near infrared spectrum instrument, NIRS)NIRS 作为最新的监测技术,被越来越多的用于心脏直视手术中脑氧合能力的评估。维持足够的 $S_{ct}O_2$ 能减少心脏手术后神经系统并发症和认知功能障碍的发生^[4]。

2.1 体外循环(cardiopulmonary bypass, CPB)

在心脏直视手术中,常需用 CPB 来代替心肺功能。CPB 过程中血液氧合是否充分、组织灌注是否能满足组织代谢的需求,临床上只能通过血气分析和皮肤温度、皮肤颜色、尿量等临床指标来判断,而血气分析结果仅反映血液的氧合和代谢情况,不能反映组织灌注情况,皮肤温度、颜色和尿量等的改变对组织灌注的反映有延迟。因此, $S_{ct}O_2$ 作为反映脑组织灌注及代谢状态的敏感指标,越来越多地应用于 CPB 中。Vida 等^[5]发现,在心脏手术围术期, $S_{ct}O_2$ 下降与术后并发症的发生较乳酸有更强的相关性。Lopez 等^[6]指出,心脏手术中高氧状态可导致患者肾脏和脑过氧化损伤,因此在心脏手术中应维持正常氧供。影响 $S_{ct}O_2$ 的因素较多。Kobayashi 等^[7]发现,脑萎缩、左心室功能差、贫血和血液透析与择期心脏手术患者低 $S_{ct}O_2$ 相关。Razlevic 等^[8]在婴儿心脏手术中发现,超过 20% 的患儿出现 $S_{ct}O_2$ 下降,其中动脉血压是其最重要的影响因素。

2.2 先心病手术 婴幼儿发育不完善,各器官处在快速生长阶段,脑组织灌注不足会影响其神经系统发育。因此,在先心病患儿的心脏矫治手术中,维持全身组织器官良好的灌注和氧供显得很重要。Rüffer 等^[9]通过用多普勒彩色超声监测在心脏手术中行 RCP 婴儿双侧基底动脉、颈内动脉、大脑前动脉和大脑中动脉的平均血流速度和双额 $S_{ct}O_2$,发

现 $S_{ct}O_2$ 与双侧半球血流速度相关。Hansen 等^[10]在左室发育不全综合征患儿中发现,围术期 $S_{ct}O_2$ 可能影响其认知发展。Hayashida 等^[11]发现,小于 4 岁的患儿在心脏手术过程中,更容易出现因低血压引起的脑缺血,可能与脑血流自身调节缺陷和 CPB 过程中血液被稀释有关。

3 $S_{ct}O_2$ 在颈动脉内膜剥脱术(carotid endarterectomy, CEA)中的应用

CEA 是治疗重度颈动脉粥样硬化性狭窄,并预防或延缓缺血性脑卒中的有效方法。CEA 术中需要阻断手术侧的颈内动脉以完成手术,在阻断颈内动脉时通常需要适当升高血压以保证脑组织灌注,此时可以用 $S_{ct}O_2$ 来反映脑组织灌注情况。Kamenskaya 等^[12]发现,在 CEA 夹闭颈内动脉过程中, $S_{ct}O_2$ 持续 $<60\%$ 可使缺血性中风的风险升高 10 倍、认知功能障碍的风险升高 8 倍,而术前 $S_{ct}O_2 < 50\%$ 能使缺血性中风在围术期和术后早期的风险性升高 6 倍。Perez 等^[13]通过监测 CEA 术中患者 $S_{ct}O_2$ 和脑电图(electroencephalogram, EEG)发现, $S_{ct}O_2$ 比 EEG 更能准确反映脑灌注。

CEA 术中转流是避免颈内动脉阻断后脑灌注下降的有效手段,但转流可导致斑块脱落,从而增加中风的风险。因此,术中是否需要转流及应用标准目前仍存在争议。因此有学者试图探寻用 $S_{ct}O_2$ 监测来指导 CEA 术中转流,但是很难确定需要转流的准确阈值。Jonsson 等^[14]用 Foresight[®] $S_{ct}O_2$ 监测仪监测在局麻下行 CEA 患者的双侧 $S_{ct}O_2$,发现 $S_{ct}O_2$ 预测脑组织缺血和判断是否需要转流的敏感性和特异性较颈动脉残端压更高。

上述研究表明,CEA 术中持续监测 $S_{ct}O_2$,可协助手术医师判断患者脑灌注是否受到影响和影响程度,是否需要升压及升压程度,以及是否需要转流,进而有利于减少或避免相关神经系统并发症的发生。

4 $S_{ct}O_2$ 在心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation, CPR)中的应用

尽管 CPR 治疗策略不断改进,院外和院内心脏骤停(cardiac arrest, CA)的发生率还是很高。Cournoyer 等^[15]发现,复苏良好患者的 $S_{ct}O_2$ 明显高于复苏不良的患者,长时间无法使 $S_{ct}O_2$ 高于 30% 可以考虑停止复苏。Nishiyama 等^[16]发现,复

苏过程中, $S_{ct}O_2 > 40\%$ 与良好的神经功能预后独立相关。Genbrugge 等^[17]发现,复苏过程中自主循环恢复患者的 $S_{ct}O_2$ 升高更多。Fukuda 等^[18]发现,到达医院时 $S_{ct}O_2$ 过低预示患者较难恢复自主循环。Schewe 等^[19]指出,密切观察 $S_{ct}O_2$ 有助于及时判断自主循环恢复或内脏再次停搏,复苏过程中较高的 $S_{ct}O_2$ 与自主循环恢复相关,而机械胸外按压能获得较高的 $S_{ct}O_2$ 。

5 $S_{ct}O_2$ 在单肺通气(one-lung ventilation, OLV)手术中的应用

胸科手术 OLV 对心肺功能影响较大,术中应密切监测 $S_{ct}O_2$ 。Li 等^[20]发现,胸科手术 OLV 患者术后认知功能障碍(postoperative cognitive dysfunction, POCD)与术中 $S_{ct}O_2$ 下降相关。Brinkman 等^[21]用 FORE-SIGHT®监测 $S_{ct}O_2$ 发现,在 OLV 过程中, $S_{ct}O_2$ 普遍下降。因此,尽管心肺有强大的储备功能,也不能避免患者在 OLV 过程中出现 $S_{ct}O_2$ 下降。尤其对于老年患者和有基础心肺疾病的患者,在 OLV 过程中应持续监测 $S_{ct}O_2$,以避免相关并发症的发生。

6 $S_{ct}O_2$ 在骨科手术中的应用

骨科手术多持续时间较长、出血较多,常需要控制性降压以保证术野清晰,而降压易影响脑部灌注,尤其易导致有基础血管病变或心肺功能减退的老年患者出现相关并发症。因此, $S_{ct}O_2$ 监测也常应用于骨科手术,其中在沙滩椅位肩关节镜手术应用最多,目前多集中于体位对 $S_{ct}O_2$ 的影响。Meex 等^[22]对比了侧卧位和沙滩椅位肩关节镜手术中患者的 $S_{ct}O_2$,发现超过 55% 的沙滩椅位患者 $S_{ct}O_2$ 下降,侧卧位患者仅 5%。Kim 等^[23]发现,老年患者腰椎手术中持续 $S_{ct}O_2 < 60\%$ 与术后第 7 天 POCD 的发生率相关。Trafidlo 等^[24]也发现, $S_{ct}O_2$ 维持在正常水平能减少俯卧位腰椎手术后 POCD 的发生。Salazar 等^[25]观察了 125 例行全膝关节置换术的 65 岁以上患者术中 $S_{ct}O_2$ 与 POCD 的关系,发现术中所有患者 $S_{ct}O_2$ 明显下降,术后 3 个月, 26.4% 的患者出现心理症状, 16.8% 的患者出现记忆力下降。Mori 等^[26]发现,对于在全麻下行沙滩椅位肩关节镜手术的患者,当维持其 $MAP > 60 \text{ mmHg}$ 时, $S_{ct}O_2$ 能维持在正常范围内。

7 $S_{ct}O_2$ 在儿科的应用

在新生儿科,吸氧是维持早产儿生命体征和保证其生存率的基本措施,但吸氧浓度过高或持续时间过长可导致早产儿发生严重的视网膜病变(retinopathy of prematurity, ROP)和支气管病变。 $S_{ct}O_2$ 监测仪有可能成为协助医师判断早产儿吸氧浓度的有效工具。Vesoulis 等^[27]在新生儿出生后 4 d 内对其进行血氧饱和度(SpO_2)、 $S_{ct}O_2$ 和 NIRS 监测,发现与 SpO_2 相比, $S_{ct}O_2$ 预测 ROP 风险的特异性更高。Pichler 等^[28]认为,在早产儿出生后快速转运和复苏过程中,可以用 $S_{ct}O_2$ 监测来指导吸氧,以减少脑缺氧负荷。Schat 等^[29]通过监测坏死性肠炎(necrotizing enterocolitis, NEC)早产儿脑、肝脏、脐下 $S_{ct}O_2$ 发现,监测脑和内脏 $S_{ct}O_2$ 有助于区分复杂性与非复杂性 NEC。此外,由于婴幼儿的颅骨厚度、头曲率与成年人有差异,因此 NIRS 仪器探测器应与小儿解剖结构相匹配,目前仍在探索中。

8 $S_{ct}O_2$ 的其他临床应用

五官科一些内窥镜手术中,如鼻内窥镜术中由于腔道较深且腔道骨骼表面覆盖的软组织较薄,止血困难,常须降低血压来减少术野出血,以保证手术视野清晰,而术中低血压就可能引起脑组织灌注不良,进而引起 POCD、PONV 或使麻醉恢复室(postanesthesia care unit, PACU)停留时间延长^[30]。还有文献^[31]指出, $S_{ct}O_2$ 监测有助于判断中风类型和部位,双侧 $S_{ct}O_2$ 差异超过 10% 时,较低的一侧可能出现了中风,其中出血性中风较缺血性中风患者的 $S_{ct}O_2$ 更低。但是,目前区分缺血性中风和出血性中风的 $S_{ct}O_2$ 界限尚未明确。

9 躯体 $S_{ct}O_2$ 监测的研究

不同组织器官的血流自我调节能力不一致,因此监测不同部位的 $S_{ct}O_2$ 具有重要意义,其中肾区、肝区、腹部、肢体 $S_{ct}O_2$ 越来越多受到关注。Ricci 等^[32]在婴儿心脏手术 CPB 过程中,发现其脑 NIRS 值持续低于躯体 NIRS 值,而躯体 NIRS 常表现高饱和度现象。Kim 等^[33]指出,肾 $S_{ct}O_2$ 对术后并发症预测较 $S_{ct}O_2$ 更优。

10 小结

不同品牌的 $S_{ct}O_2$ 监测仪采取不同的计算方

法,而且目前 $S_{ct}O_2$ 的正常值范围尚未确定且缺乏标准的干预流程,使其临床应用受到限制。目前 $S_{ct}O_2$ 监测的临床应用局限于心脏和大血管手术,其他领域还处于科研阶段,且多集中于术中 $S_{ct}O_2$ 下降与术后并发症相关性。这些研究表明, $S_{ct}O_2$ 与术后并发症有显著相关性,术中避免 $S_{ct}O_2$ 持续下降,有助于改善患者的预后。而对于 $S_{ct}O_2$ 监测仪器,准确性是最重要的。

手术过程中有多种因素会对 $S_{ct}O_2$ 产生影响,给 $S_{ct}O_2$ 变化原因的分析带来困难。但是随着研究的深入, $S_{ct}O_2$ 的应用将不断扩展,同时其监测的无创手段也有利于其在临床的推广。除 $S_{ct}O_2$ 外,目前对其他组织器官 S_tO_2 的研究逐渐增多,如肾区、肝区、骨骼肌(三角肌、股四头肌等)、脐周(肠系膜)等。术中这些区域 S_tO_2 的改变是否比 $S_{ct}O_2$ 更加明显,与临床并发症的相关性是否更强,在不同种类手术中的作用是否不同,以及不同的干预手段的效果等,都需进一步的研究。

参考文献

- [1] HERZOG B, SCHULTHEISS A, GIESINGER J. On the validity of beer-lambert law and its significance for sunscreens [J]. *Photochem Photobiol*, 2018, 94(2): 384-389.
- [2] STEENHAUT K, LAPAGE K, BOVÉ T, et al. Evaluation of different near-infrared spectroscopy technologies for assessment of tissue oxygen saturation during a vascular occlusion test [J]. *J Clin Monit Comput*, 2017, 31(6): 1151-1158.
- [3] MADSEN P L, SKAK C, RASMUSSEN A, et al. Interference of cerebral near-infrared oximetry in patients with icterus [J]. *Anesth Analg*, 2000, 90(2):489-493.
- [4] BIEDRZYCKA A, LANGO R. Tissue oximetry in anaesthesia and intensive care [J]. *Anaesthesiol Intensive Ther*, 2016, 48(1):41-48.
- [5] VIDA V L, TESSARI C, CRISTANTE A, et al. The role of regional oxygen saturation using near-infrared spectroscopy and blood lactate levels as early predictors of outcome after pediatric cardiac surgery [J]. *Can J Cardiol*, 2016, 32(8): 970-977.
- [6] LOPEZ M G, PRETORIUS M, SHOTWELL M S, et al. The risk of oxygen during cardiac surgery (ROCS) trial: study protocol for a randomized clinical trial [J]. *Trials*, 2017, 18(1):295.
- [7] KOBAYASHI K, KITAMURA T, KOHIRA S, et al. Factors associated with a low initial cerebral oxygen saturation value in patient-s undergoing cardiac surgery [J]. *J Artif Organs*, 2017, 20(2):110-116.
- [8] RAZLEVICA I, RUGYTE D C, STRUMYLAITE L, et al.

Assessment of risk factors for cerebral oxygen desaturation during neonatal and infant general anesthesia: an observational, prospective study [J]. *BMC Anesthesiol*, 2016, 16(1):107.

- [9] RUFFER A, TISCHER P, M? NCH F, et al. Comparable cerebral blood flow in both hemispheres during regional cerebral perfusion in infant aortic arch surgery [J]. *Ann Thorac Surg*, 2017, 103(1):178-185.
- [10] HANSEN J H, ROTHERMANN I, LOGOTETA J, et al. Neurodevelopmental outcome in hypoplastic left heart syndrome: Impact of perioperative cerebral tissue oxygenation of the Norwood procedure [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 151(5):1358-1366.
- [11] HAYASHIDA M, KIN N, TOMIOKA T, et al. Cerebral ischaemia during cardiac surgery in children detected by combined monitoring of BIS and near-infrared spectroscopy [J]. *Br J Anaesth*, 2004, 92(5):662-669.
- [12] KAMENSKAYA O V, LOGINOVA I Y, LOMIVOROTOV V V. Brain oxygen supply parameters in the risk assessment of cerebral complications during carotid endarterectomy [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2017, 31(3):944-949.
- [13] PEREZ W, DUKATZ C, ELDALATI S, et al. Cerebral oxygenation and processed EEG response to clamping and shunting during carotid endarterectomy under general anesthesia [J]. *J Clin Monit Comput*, 2015, 29(6):713-720.
- [14] JONSSON M, LINDSTRÖM D, WANHAINEN A, et al. Near infrared spectroscopy as a predictor for shunt requirement during carotid endarterectomy [J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2017, 53(6):783-791.
- [15] COURNOYER A, ISEPPON M, CHAUNY J M, et al. Near-infrared spectroscopy monitoring during cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis [J]. *Acad Emerg Med*, 2016, 23(8):851-862.
- [16] NISHIYAMA K, ITO N, ORITA T, et al. Regional cerebral oxygen saturation monitoring for predicting interventional outcomes inpatients following out-of-hospital cardiac arrest of presumed cardiac cause: A prospective, observational, multicenter study [J]. *Resuscitation*, 2015, 96:135-141.
- [17] GENBRUGGE C, MEEX I, BOER W, et al. Increase in cerebral oxygenation during advanced life support in out-of-hospital patients is associated with return of spontaneous circulation [J]. *Crit Care*, 2015, 19(1):112.
- [18] FUKUDA T, OHASHI N, NISHIDA M, et al. Application of cerebral oxygen saturation to prediction of the futility of resuscitation for-out-of-hospital cardiopulmonary arrest patients: a single-center, prospective, observational study: can cerebral regional oxygen saturation predict the futility of CPR? [J]. *Am J Emerg Med*, 2014, 32(7):747-751.
- [19] SCHEWE J C, THUDIUM M O, KAPPLER J, et al. Monitoring of cerebral oxygen saturation during resuscitation

- in out-of-hospital cardiac arrest: a feasibility study in a physician staffed emergency medical system [J]. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2014, 22 :58.
- [20] LI X M, LI F, LIU Z K, et al. Investigation of one-lung ventilation postoperative cognitive dysfunction and regional cerebral oxygen saturation relations[J]. *J Zhejiang Univ Sci B*, 2015, 16(12):1042-1048.
- [21] BRINKMAN R, AMADEO R J, FUNK D J, et al. Cerebral oxygen desaturation during one-lung ventilation: correlation with hemodynamic variables [J]. *Can J Anaesth*, 2013, 60 (7):660-666.
- [22] MEEUX I, VUNDELINCKX J, BUYSE K, et al. Cerebral tissue oxygen saturation values in volunteers and patients in the lateral decubitus and beach chair positions: a prospective observational study [J]. *Can J Anaesth*, 2016, 63 (5): 5375-43.
- [23] KIM J, SHIM J K, SONG J W, et al. Postoperative cognitive dysfunction and the change of regional cerebral oxygen saturation in elderly patients undergoing spinal surgery[J]. *Anesth Analg*, 2016, 123(2):436-444.
- [24] TRAFIDŁO T, GASZYŃSKI T, GASZYŃSKI W, et al. Intraoperative monitoring of cerebral NIRS oximetry leads to better postoperative cognitive performance: a pilot study[J]. *Int J Surg*, 2015, 16(Pt A):23-30.
- [25] SALAZAR F, DOÑATE M, BOGET T, et al. Relationship between intraoperative regional cerebral oxygen saturation trends and cognitive decline after total knee replacement: a post-hoc analysis[J]. *BMC Anesthesiol*, 2014 , 14 (1) :58.
- [26] MORI Y, YAMADA M, AKAHORI T, et al. Cerebral oxygenation in the beach chair position before and during general anesthesia inpatients with and without cardiovascular risk factors[J]. *J Clin Anesth*, 2015, 27(6):457-462.
- [27] VESOULIS Z A, LUST C E, LIAO S M, et al. Early hyperoxia burden detected by cerebral near infrared spectroscopy is superior to pulse oximetry for prediction of severe retinopathy of prematurity[J]. *J Perinatol*, 2016, 36 (11):966-971.
- [28] PICHLER G, URLESBERGER B, BAIK N, et al. Cerebral oxygen saturation to guide oxygen delivery in preterm neonates for the immediate transition after birth: a 2-center randomized controlled pilot feasibility trial [J]. *J Pediatr*, 2016, 170:73-78. e1-4.
- [29] SCHAT T E, SCHURINK M, VANDERLAAN M E, et al. Near-infrared spectroscopy to predict the course of necrotizing enterocolitis[J]. *PLoS One*, 2016, 11(5):e0154710.
- [30] HELLER J A, DEMARIA S JR, GOVINDARAJ S, et al. Cerebral oximetry monitoring during sinus endoscopy [J]. *Laryngoscope*, 2015, 125(4):E127-E131.
- [31] ABRAMO T J, HARRIS Z L, MEREDITH M, et al. Cerebral oximetry with cerebral blood volume index in detecting pediatric stroke in a pediatric ED[J]. *Am J Emerg Med*, 2015, 33(11):1622-1629.
- [32] RICCI Z, HAIBERGER R, TOFANI L, et al. Multisite near infrared spectroscopy during cardiopulmonary bypass in pediatric patients[J]. *Artif Organs*, 2015, 39(7):584-590.
- [33] KIM J W, SHIN W J, PARK I, et al. Splanchnic oxygen saturation immediately after weaning from cardiopulmonary bypass can predict early postoperative outcomes in children undergoing congenital heart surgery [J]. *Pediatr Cardiol*, 2014, 35(4):587-595.

[本文编辑] 姬静芳