

· 综述 ·

DOI:10.12095/j.issn.2095-6894.2018.05.013

脑氧饱和度监测在小儿麻醉中的应用进展

侯娇艳,徐勇,旷昕 (南华大学附属第一医院麻醉科,湖南 衡阳 421001)

The progress of cerebral oxygen saturation monitoring in pediatric anesthesia

HOU Jiao-Yan, XU Yong, KUANG Xin

Department of Anesthesiology, The First Affiliated Hospital of South China University, Hengyang 421001, China

【Abstract】 Cerebral oxygen saturation monitoring is a novel and non-invasive method which uses near infrared spectroscopy to measure the oxygen supply and oxygen demand balance of brain tissue. It has the characteristics of high sensitivity and specificity, and can detect the balance of oxygen supply and demand in the brain area in a timely manner. Cerebral oxygen balance is easier to be broken in pediatric patients, and the decrease of regional cerebral oxygen saturation is related to the occurrence of postoperative neurological complications. The real-time monitoring of cerebral oxygen saturation can guide and assist perioperative anesthesia management of pediatric patients, which is beneficial to the adjustment of anesthesia plan, can guide the use of drugs, and reduce the incidence of perioperative complications. In this paper, the principle and influencing factors of regional cerebral oxygen saturation monitoring and its applications in pediatric anesthesia are reviewed.

【Keywords】 regional cerebral oxygen saturation; near infrared spectroscopy; pediatric anesthesia; infants and children; cerebral hypoxia

【摘要】 脑氧饱和度监测是利用近红外光谱技术测量脑组织氧供给和氧需求平衡状态的一种新型的无创监测方法,具有灵敏度和特异度高等特性,能够及早发现所测定脑区的氧供需平衡状况。小儿患者脑氧平衡更容易被打破,而局部脑氧饱和度的降低与术后神经并发症的发生有关。脑氧饱和度的实时监测能够为小儿患者围术期麻醉管理提供指导和帮助,有利于麻醉计划的调整,指导术中用药,降低围术期相关并发症的发生。现对局部脑氧饱和度监测的原理、影响因素及其在小儿麻醉中的应用进展作一综述。

【关键词】 局部脑氧饱和度;近红外线光谱;小儿麻醉;婴幼儿;脑缺氧

【中图分类号】 R96 **【文献标识码】** A

0 引言

小儿与成人在心理、生理、药理学上均存在差异,其各器官系统功能尚未发育成熟。因此,在小儿麻醉管理期间应采取相应的处理措施。小儿麻醉作为临床麻醉学的一个亚学科,越来越受到关注。接受手术和重症监护的新生儿仍有显著的发病率和死亡率,常与缺氧/缺血性事件有关^[1]。婴幼儿机体代谢旺盛,对氧的需求比成人高得多,麻醉中极易产生低氧血症及组织缺氧^[2],缺氧时脑细胞的生物氧化过程可发生障碍,导致神经元急性坏死和凋亡,给小儿留下终生残疾。因此,在小儿麻醉过程中监测脑部氧供与氧耗平衡非常重要。脑组织局部脑氧饱和度 (regional cerebral oxygen saturation, rSO₂) 的下降与脑缺氧几乎同时发生^[3]。脑氧饱和度监测主要采用近红外线光

谱 (near infrared spectroscopy, NIRS) 技术,其可提供无创、在体、实时的监测组织氧合。在区域组织氧合检测的近红外光谱的变化可以反映氧供需之间的动态平衡^[4]。目前有许多关于 rSO₂ 监测在小儿麻醉中的应用研究。本文拟对 rSO₂ 监测在小儿麻醉中应用的研究进展作一综述,以期对 rSO₂ 监测的相关研究和临床应用提供参考。

2 脑氧饱和度监测

2.1 rSO₂ 的基本原理 1977年,Jobsis首次提出使用近红外光无创检测生物组织氧合的思路^[5]。rSO₂ 监测主要应用的是 NIRS 技术,即在颅骨闭合状态下通过近红外光谱法直接测量 rSO₂。近红外光谱法测量血氧饱和度以改良朗伯·比尔定律 (the Lambert-

收稿日期:2017-12-22;接受日期:2018-02-04

基金项目:湖南省自然科学基金省市联合基金(2017JJ4049)

作者简介:侯娇艳。硕士生。研究方向:脑保护与术后认知功能障碍。E-mail:297152700@qq.com

通讯作者:旷昕。博士,主任医师。研究方向:脑保护与术后认知功能障碍。E-mail:kx6924@126.com

Beer Law)^[6] ($[x] = \Delta A / Lx\epsilon([x])$:吸收 NIRS 的物质浓度, ΔA :NIRS 的衰减量, L :NIRS 的穿透路径长度, ϵ :NIRS 的衰减系数)和光散射理论为基础,利用还原血红蛋白和氧合血红蛋白的光吸收系数差别,通过计算吸收谱比值,从而得出局部血红蛋白的氧饱和度^[7]。由于大脑组织中动静脉交错,静脉约占 75%,动脉约占 20%,毛细血管约占 5%,所以,NIRS 监测的脑氧饱和度反映的是局部大脑氧饱和度,主要代表静脉部分。因此,在低血压、动脉搏动较弱、深低温、体外循环、循环停止等条件下使用不受限。

2.2 rSO₂ 的影响因素 rSO₂ 监测作为一种新型的监测手段能够直观反映脑部供需平衡的变化,具有无创,操作简单、反应灵敏、迅速、实时监测等特点,为临床工作提供了极大的方便^[8]。但临床使用过程中还是会遇到一些影响监测结果准确性的因素,例如技术人员操作的熟练程度,患者全身病理生理变化等。Kishi 等^[9] 研究结果显示,rSO₂ 与患者的年龄呈负相关,与血红蛋白浓度呈正相关,而与患者的身高、体质量及头围无明显相关性,此外监测探头放置的位置也会对 rSO₂ 的数值产生影响。王锦权等^[10] 研究发现 rSO₂ 与给氧浓度呈负相关,与体温、动脉血碱剩余(BE)呈正相关,此外,全身的氧供情况及大脑的有效灌注压也会对 rSO₂ 的数值产生影响。Fuchs 等^[11] 研究发现体位也会对 rSO₂ 的数值产生影响,麻醉状态下坐位时 rSO₂ 明显降低,而清醒状态下的健康志愿者 rSO₂ 随体位变化不明显。此外,血氧饱和度、动脉血气指标、血压等因素也不同程度地影响 rSO₂。因此,应该在考虑以上诸多影响 rSO₂ 结果因素的前提下,综合评价 rSO₂ 数值变化的临床意义。

3 rSO₂ 监测在小儿麻醉中的应用

3.1 rSO₂ 监测在小儿神经外科手术麻醉中的应用

神经外科手术中小儿麻醉安全是一项重要的工作,涉及到手术各个环节。小儿神经系统发育尚不完善,且呼吸系统对药物敏感,极易引起术后苏醒延迟和呼吸困难等并发症,神经外科手术的质量和预后在一定程度上与手术前后的麻醉管理有关。rSO₂ 监测主要利用的是 NIRS,其可以连续无创地测量反映组织氧合情况:氧合血红蛋白、脱氧血红蛋白和细胞色素 aa3 的浓度变化,再根据改良朗伯·比尔定律就可以计算出氧饱和度。Macnab 等^[12] 研究表明 NIRS 传感器可以位于棘突或椎板上,可快速监测脊髓氧合状态,从而能够在术中预警即将发生的血管损害的脊髓。然而 rSO₂ 监测在神经外科手术中的应用还有一

定的局限性。Büchner 等^[13] 在一项研究中表明,近红外光谱仪无法检测严重脑损伤患者的脑氧饱和度。该研究对 31 例严重脑损伤(蛛网膜下腔出血或严重脑外伤)的患者使用了近红外光谱仪监测脑氧饱和度,并同时进行了有创颅内压和脑灌注压监测。研究发现,近红外光谱仪对严重脑损伤患者监测失败率高。而有创监测显示出 100% 监测成功率和良好的数据质量。唐玲珊等^[14] 认为,近红外光谱仪监测成功率低,主要是因为:①传感器和皮肤之间存在潮湿的空间;②颅骨瓣下血肿;③开颅手术后硬膜下存在空气。与成人相比,小儿大脑耗氧量相对较大,更不易耐受缺氧。虽然 rSO₂ 对缺氧非常敏感,但应根据患者具体情况来合理使用 rSO₂ 监测措施,从而在临床工作中做出正确的干预。

3.2 rSO₂ 监测在小儿心脏手术麻醉中的应用 脑血氧饱和度已广泛应用于接受心脏手术的新生儿管理中^[4]。先天性心脏病手术神经系统并发症发生率的相关报道为 2%~25%^[15]。由于小儿心脏手术,尤其是复杂性先天性心脏病手术,术后大多仍需较长时间呼吸及循环支持,早期神经系统并发症的表现多易被镇静、肌肉松弛等情况所掩盖,所以围术期的脑功能监测非常重要。在体外循环中,低温、血液稀释等会干扰正常的脑氧供需平衡,常规方法难以监测这方面的变化。而 rSO₂ 的抗干扰性能强,能够准确地反映患者脑组织氧合状态的变化^[16],对于保证围术期大脑灌注,优化麻醉手术方案等具有重要指导意义。Gottlieb 等^[15] 通过研究双向监控脑氧饱和度的结果在小儿先天性心脏病中主动脉插管错位识别的应用,发现在心脏外科手术中 NIRS 可以监测局部脑氧饱和度指数的变化,如果局部脑氧饱和度指数明显降低,可通过恢复 rSO₂ 到基线值来避免潜在的神经系统并发症。局部脑氧饱和度降低意味着脑氧供需之间的失衡。因此快速识别局部脑氧饱和度指数的不良变化并及时的干预可能有助于预防小儿心脏手术后的神经损伤。该研究结果还表明,用 NIRS 监测双向 rSO₂ 指数可及时识别主动脉插管错位、在不同时机调整套管的定位,并且可以避免在体外循环期间由于脑血流低灌注导致的不良预后。Cetin 等^[17] 通过比较研究右美托咪定和异丙酚镇静在儿科心脏导管插入术期间的脑氧合,发现脑组织氧饱和度低于基线值 15%~20% 时被建议作为预测脑缺血的最佳阈值;脑组织氧饱和度下降至基线值 50% 以下时,即使是很短一段时间,也会导致明显的认知功能障碍或神经损伤,增加发病率和住院费用。黄志勇等^[18] 选择

2个月~3岁心脏病患儿81例,术中连续监测 rSO_2 变化,其研究结果发现 rSO_2 能较准确反映此类手术中的脑氧合状态,降温阶段 rSO_2 较高,不宜过度灌注;复温阶段,脑耗量增加,同时脑血流速度加快, rSO_2 降低,故应避免复温过快,并适时增加流量,适当提高脑灌注压。然而Gottlieb等^[19]研究发现在紫绀型先天性心脏病的小儿患者中利用NIRS监测 rSO_2 有一定的局限性,慢性紫绀患者中利用NIRS并不能监测 rSO_2 。总而言之,这些研究表明术中持续监测 rSO_2 以预测脑缺血是有价值的,可以使临床麻醉医生及时发现小儿患者术中脑缺血/缺氧的发生,并及时做出药物或生理干预,以减少术后神经系统并发症。

3.3 rSO_2 监测在小儿椎管内麻醉中的应用 小儿椎管麻醉在国内应用较多,对5岁以上小儿下腹及下肢手术可以应用腰麻或硬膜外麻醉^[20]。马守菁等^[21]研究发现在硬膜外麻醉后15~20 min,MAP逐渐下降,但对 rSO_2 影响不大。当麻醉平面过高时,由于小儿的解剖生理特点,很少能代偿呼吸负荷,尤其是1岁以下的小儿在基础麻醉和连硬外麻醉下,术中牵拉胸、腹腔神经反射及血容量不足等均会造成 rSO_2 下降。患儿在体位变换时(侧卧位) rSO_2 下降明显,提示侧卧位手术最好应选用气管内插管全麻,以策安全。以上研究结果表明,在小儿硬膜外麻醉时持续监测 rSO_2 是有价值的。术中血压、体位等可不同程度地影响 rSO_2 ,而 rSO_2 可敏感地测定脑氧运输或消耗上的改变,连续反映脑氧供需情况,可以让临床麻醉医生根据情况及时做出干预,以减少术后神经系统并发症。

3.4 rSO_2 监测在小儿腹腔镜手术麻醉中的应用 与传统的开放手术相比,腹腔镜已成为一种流行的手术工具。在小儿外科领域,腹腔镜手术更是随着腹腔镜器械、录影设备的微型化而日益拓展其手术范畴。与传统的外科手术相比,腹腔镜手术有减少伤口疼痛、瘢痕形成,相对创伤小、失血失液少,以及利于患者术后早期恢复活动而减少肺部并发症等优点。Tuna等^[22]对40例行阑尾切除术的小儿患者进行研究,随机均分为腹腔镜手术组和开放手术组,分别记录两组不同时间阶段 rSO_2 的变化,结果发现小儿腹腔镜手术下二氧化碳气腹不影响脑氧合。虽然有关小儿术中脑氧合是否受气腹影响的数据有限,但Tuna等的研究结果可以给临床工作一些提示,我们也可以深入研究小儿腹腔镜手术中 rSO_2 的变化,以便给患者选择更恰当的手术方式和麻醉方案。

3.5 rSO_2 监测在小儿吸入全身麻醉中的应用 在临床麻醉中小儿患者属于特殊群体,其心理、生理等方面均与成人有较大差异,尤其是婴幼儿心智方面尚不够成熟,对父母亲人有强烈的依赖性,入手术室后容易焦虑不安或产生哭闹、拒绝医务人员各种操作等行为,进而影响手术进程。而吸入麻醉药因其具有可控性强、无创、刺激性小、诱导迅速、术后苏醒快等特点,在小儿麻醉中的应用越来越广泛。而 rSO_2 监测在吸入麻醉药既能达到适当的麻醉深度,又可降低脑缺血缺氧事件的发生率。Rhondali等^[23]通过研究在小于2岁的儿童中七氟醚对局部脑氧饱和度的影响发现,吸入1 MAC的七氟醚诱导后, rSO_2 明显增加。该实验通过研究95名儿童的案例发现,采用七氟醚吸入麻醉诱导后,尽管平均动脉压降低, rSO_2 却显著增加,但是小于6个月的婴儿增加的幅度比大于6个月的婴儿低(≤ 6 月: $rSO_2 c = +13%$, > 6 月: $rSO_2 c = +22%$; $P < 0.0001$)。Lee等^[24]通过研究麻醉恢复程度的临床相关参数与局部脑氧饱和度之间的关系发现,在应用七氟醚和地氟醚的小儿普通全麻恢复期间, rSO_2 明显降低,其降低可能与麻醉恢复和七氟醚的使用程度有关。可见在吸入全身麻醉中应用 rSO_2 监测对我们临床麻醉的工作具有一定的指导意义。

4 rSO_2 监测在小儿麻醉中的应用展望

多年来,在临床工作中,机体的氧合状况始终是倍受关注的生命监测指标之一,但目前广泛应用的血气分析和经皮氧饱和度监测所得到的结果仅是血液中的氧分压和肢端搏动的小动脉血氧饱和度,而不是脑组织的含氧情况^[25]。而 rSO_2 应用NIRS技术作为一种新型的监测手段,能够直观反映脑部供需平衡的变化。婴幼儿机体代谢旺盛,对氧的需求量较大,与成人相比,小儿大脑耗氧量相对较大,更不易耐受缺氧。因此,在小儿患者围术期麻醉管理中利用 rSO_2 监测脑氧合状态是非常有意义的。目前,NIRS脑氧监测技术正处于从科学研究转向临床应用的阶段,欧美等发达国家已在某些临床领域(如婴幼儿心脏外科及神经外科手术等)中广泛应用,国内研究也日益增多。未来该监测技术在小儿患者中应用的发展方向包括以下几个方面。(1)拓展研究 rSO_2 监测技术在新生儿及早产儿脑组织氧供需平衡监测中的应用。(2)深入研究脑氧饱和度监测在小儿患者其他临床领域(如小儿胸外科及腹腔镜术中麻醉监测等)的应用。(3)深入研究 rSO_2 与颅内压、灌注压、颈静脉血氧饱和度、脑组织氧分压等参数的相关性,与这些脑

氧检测技术进行多模态联合监测,全面反映和评估小儿患者脑氧代谢和血流动力学情况。

5 结论与展望

局部脑氧饱和度监测利用 NIRS 技术能够实时、准确、无创地反映脑组织的氧合情况及脑血流动力学的变化,利于及时发现小儿患者术中脑部缺血/缺氧事件,有助于麻醉计划的调整,对术中麻醉管理具有指导作用,对减少围手术期中枢神经系统并发症,提高患者的生存质量有重大意义。然而,由于个体间 rSO_2 基础值的差异较大,且 rSO_2 会受到一些因素的影响,不能单纯地以 rSO_2 绝对值来判定预后,要综合考虑其影响因素后才可做出相对正确的临床分析。因此,需要进一步研究 rSO_2 监测在小儿患者中的应用价值,以期小儿患者围术期麻醉管理提供帮助。大量的文献及临床经验都表明,NIRS 监测 rSO_2 分析技术联合多种脑监测手段的临床应用具有广泛前景。

【参考文献】

[1] Koch HW, Hansen TG. Perioperative use of cerebral and renal near-infrared spectroscopy in neonates: a 24-h observational study [J]. *Paediatr Anaesth*,2016,26(2):190-198.

[2] 刘宝珍,宋子贤,张艳红,等. 小儿麻醉的临床特点[J]. *河北医药*,2016,38(2):272-275.

[3] Zhang D, Hou X, Liu Y, et al. The utility of amplitude-integrated EEG and NIRS measurements as indices of hypoxic ischaemia in the newborn pig[J]. *Clin Neurophysiol*,2012,123(8):1668-1675.

[4] Sood BG, McLaughlin K, Cortez J. Near-infrared spectroscopy: applications in neonates [J]. *Semin Fetal Neonatal Med*, 2015, 20(3):164-172.

[5] Jöbsis FF. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters [J]. *Science*,1977,198(4323):1264-1267.

[6] 梁发,韩如泉. 近红外线光谱监测局部脑氧饱和度及其临床应用[J]. *国际麻醉学与复苏杂志*,2012,33(12):833-837.

[7] 陈红转,康荣田. 局部脑氧饱和度监测在老年患者术中应用的研究进展[J]. *国际麻醉学与复苏杂志*,2016,37(8):732-735.

[8] 刘珊珊,李恩有. 脑氧饱和度监测在老年患者中的应用进展[J]. *中华临床医师杂志(电子版)*,2013,7(24):11798-11800.

[9] Kishi K, Kawaguchi M, Yoshitani K, et al. Influence of patient variables and sensor location on regional cerebral oxygen saturation measured by INVOS 4100 near-infrared spectrophotometers [J]. *Neurosurg Anesthesiol*,2003,15(4):302-306.

[10] 王锦权,禹文全,潘爱军,等. 脑氧饱和度影响因素的临床研究[J]. *中国急救医学*,2002,22(5):284-285.

[11] Fuchs G, Schwarz G, Kulier A, et al. The influence of positioning on spectroscopic measurements of brain oxygenation [J]. *Neurosurg Anesthesiol*,2000,12(2):75-80.

[12] Macnab AJ, Gagnon RE, Gagnon FA. Near infrared spectroscopy for intraoperative monitoring of the spinal cord [J]. *Spine*,2002,27(1):17-20.

[13] Büchner K, Meixensberger J, Dings J, et al. Near-infrared spectroscopy—not useful to monitor cerebral oxygenation after severe brain injury [J]. *Zentralbl Neurochir*,2000,61(2):69-73.

[14] 唐玲珊,石翊飒. 脑氧饱和度监测在大型手术中的临床应用进展[J]. *中国现代医药杂志*,2012,14(12):118-121.

[15] Gottlieb EA, Fraser CD Jr, Andropoulos DB, et al. Bilateral monitoring of cerebral oxygen saturation results in recognition of aortic cannula malposition during pediatric congenital heart surgery [J]. *Paediatr Anaesth*,2006,16(7):787-789.

[16] 腾铁超,丁海曙,龚庆成,等. 近红外光谱监测体外循环手术中脑组织氧合状况的研究[J]. *光谱学与光谱分析*,2006,26(5):828-832.

[17] Cetin M, Birbicer H, Halliöglu O, et al. Comparative study between the effects of dexmedetomidine and propofol on cerebral oxygenation during sedation at pediatric cardiac catheterization [J]. *Ann Card Anaesth*,2016,19(1):20-24.

[18] 黄志勇,蒋红英,常勇男. 婴幼儿心脏手术中连续脑氧饱和度监测及临床意义[J]. *实用医学杂志*,2003,19(1):41-42.

[19] Gottlieb EA, Mossad EB. Limitations of cerebral oxygenation monitoring by near-infrared spectroscopy in children with cyanotic congenital heart disease and profound polycythemia [J]. *Cardiothorac Vasc Anesth*,2014,28(2):347-349.

[20] 钱福元. 小儿麻醉 211 例分析 [J]. *中国现代医生*,2008,46(27):100,104.

[21] 马守菁,陈昆洲. 脑氧饱和度监测在小儿麻醉中的应用 [J]. *临床麻醉学杂志*,1998,14(6):381-381.

[22] Tuna AT, Akkoyun I, Darcin S, et al. Effects of carbon dioxide insufflation on regional cerebral oxygenation during laparoscopic surgery in children: a prospective study [J]. *Rev Bras Anesthesiol*, 2016,66(3):249-253.

[23] Rhondali O, Juhel S, Mathews S, et al. Impact of sevoflurane anesthesia on brain oxygenation in children younger than 2 years [J]. *Paediatr Anaesth*,2014,24(7):734-740.

[24] Lee Y, In J, Chung S, et al. Emergence cerebral oxygen desaturation without hemodynamic compromise in pediatric patients [J]. *Korean J Anesthesiol*,2010,59(1):9-12.

[25] 周丛乐. 近红外光谱技术对新生儿脑组织氧检测的应用与展望 [J]. *中国新生儿科杂志*,2012,27(6):361-364.