

· 综述 ·

# 近红外光谱脑氧饱和度监测用于颈动脉内膜剥脱术的研究进展

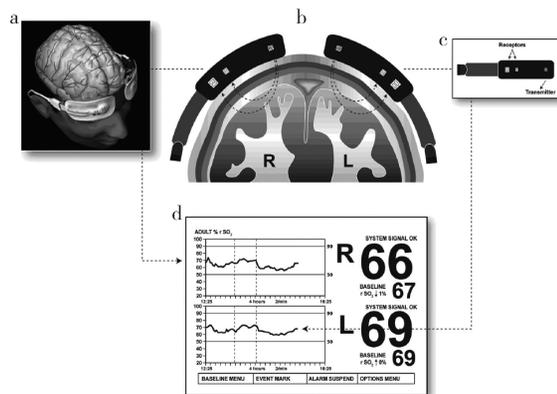
于芸 韩如泉

颈动脉内膜剥脱术 (carotid endarterectomy, CEA) 是目前治疗有症状性颈动脉狭窄的常用外科方法<sup>[1]</sup>。患者能否从 CEA 手术中获益,取决于围术期神经系统不良事件的发生率<sup>[2]</sup>。术后神经系统不良事件包括血栓栓塞和脑高灌注综合征 (cerebral hyperperfusion syndrome, CHS)<sup>[2]</sup>。围术期卒中的危险因素包括手术操作引起的斑块脱落、术中颈内动脉临时阻断期间的低灌注<sup>[3]</sup>。严格细致的麻醉前评估、合理的围术期麻醉管理方案、及时发现术中脑缺血缺氧并给予有效的干预措施,对于改善患者术后转归、提高生存质量至关重要。

### 近红外光谱脑氧饱和度监测仪基本原理

围术期脑缺血缺氧的治疗有效性有赖于早期诊断<sup>[4]</sup>。近红外光谱 (near-infrared spectroscopy, NIRS) 脑氧饱和度监测仪 (以下简称 NIRS 监测仪) 具有无创、可连续监测等优点,临床上已用于心脏及大血管手术、CEA、颅脑创伤、头高位手术及新生儿脑缺血缺氧的监测<sup>[5-7]</sup>。Jöbsis 于 1977 年首先将 NIRS 用于局部脑氧饱和度 (regional cerebral oxygen saturation, rScO<sub>2</sub>) 的监测。在额部放置无创电极片,近红外光 (700~1 000 nm) 能穿透头颅表层的结构,包括头皮、颅骨,从而到达脑组织 (图 1)。光在颅内的衰减主要与氧合血红蛋白、脱氧血红蛋白等光吸收分子 (发色基团) 有关,而每一种发色基团都具有独特的光吸收特性<sup>[6]</sup>。光在传播媒介中亦具有散射效应,根据改良的 Beer-Lambert 定律,可以推导出不同发色基团 (如氧合血红蛋白) 的浓度,通过计算氧合血红蛋白占氧合及脱氧血红蛋白总和的百分比得出 rScO<sub>2</sub><sup>[6,8]</sup>。NIRS 监测仪测定的是局部脑组织中动脉、静脉、毛细血管血液中血红蛋白的氧饱和度,由脑氧代谢率 (氧需) 及脑氧供所决定,脑组织动脉和/或静脉血的容积变化对其也有一定影响。NIRS 监测仪的准确性受以下因素影响:皮肤颜色、性别以及影响额部动脉血-静脉血容积比的因素 (包括颅内压的变化、脑静脉流出受阻、血管活性药及麻醉药的使用、体位变化) 等<sup>[9]</sup>。

目前已有 5 种 NIRS 监测仪通过了美国食品药品监督管理局 (FDA) 的批准用于临床,包括 CerOx (Ornim 公司, 美国), EQUANOX7600 和 8004CA (NoninMedical 公司, 美



注: a. 电极放置在前额部; b. 两侧大脑半球的信号传输到显示器; c. 每侧的电极包括 1 个发射器和 2 个接受器; d. 右侧 (R) 和左侧 (L) 大脑半球的脑氧饱和度数值呈现在显示器上,较大的数字为实时数值,较小的数字的基线值

图 1 近红外光谱脑氧饱和度仪使用示意图<sup>[14]</sup>

国), FORE-SIGHT (CAS Medical Systems, 美国) 以及 INVOS (Somanetics Corporation Troy, 美国)<sup>[10]</sup>。虽然各种型号的 NIRS 监测仪具体计算法则有所区别,但基本原理相同<sup>[11]</sup>。

### NIRS 监测仪在 CEA 手术的应用现状

无论采用何种麻醉方法 (全麻或局麻), CEA 期间的脑监测都至关重要。因为它不仅能监测脑功能状态、识别易遗漏的新发神经功能缺损,也能降低围术期中、颈动脉夹层及急性动脉闭塞的发生率<sup>[2]</sup>。传统的脑功能监测包括经颅多普勒 (transcranial Doppler, TCD)、体感诱发电位、脑电图等,实施这些监测方法耗时较长、对操作者临床经验要求较高,且部分患者颞窗不良限制了 TCD 的临床应用;而 NIRS 监测仪无创、操作简便,可应用于全部患者。NIRS 监测仪可用于 CEA 手术的各个阶段,在全麻诱导、术中、转运过程中及重症监护病房 (intensive care unit, ICU) 留置期间,均可提供连续监测。

**脑缺血监测** 在 CEA 手术期间, NIRS 监测仪可用于监测颈动脉临时阻断相关的脑低灌注,协助判断是否需要放置分流管,监测其他原因引起的脑缺血 (如心律失常、心力衰竭、通气不足或麻醉药的影响)<sup>[12]</sup>。在 CEA 手术后, NIRS 监测仪可监测颈动脉重建后最初几个小时内的脑缺血,通常由颈动脉血栓形成、夹层或闭塞、栓塞及其他原因造成<sup>[13]</sup>。

rScO<sub>2</sub> 监测可协助临床医师判断是否需要放置分流管,

DOI: 10.12089/jca.2018.08.026

基金项目:北京市属医院科研培育项目 (PX2017037);北京市医院管理局扬帆计划 (ZYLX201708);登峰人才团队计划 (DFL20180502)

作者单位:100050 首都医科大学附属北京天坛医院麻醉科  
通信作者:韩如泉, Email: ruquan.han@gmail.com

尤其是在对侧颈内动脉狭窄严重程度高的患者中<sup>[2]</sup>。甚至在没有明确的临床症状时, rScO<sub>2</sub> 就能反映脑灌注降低, 提示医师采取其他相应的诊断方法来检测颈动脉重建的通畅程度, 以识别导致脑缺血的其他因素。早期发现颈内动脉临时阻断期间的脑灌注能帮助外科医师调整手术方法, 选择性放置分流管以恢复脑灌注<sup>[2]</sup>。颈内动脉阻断期间, 同侧 rScO<sub>2</sub> 下降通常超过 20%<sup>[14]</sup>。糖尿病患者则更容易出现 rScO<sub>2</sub> 下降<sup>[15]</sup>。有学者认为, rScO<sub>2</sub> 下降超过 20% 与 CEA 围术期脑缺血相关, 需采取干预措施, NIRS 监测仪可用于 CEA 术中判断是否需要放置分流管<sup>[2, 3, 16]</sup>。若以 rScO<sub>2</sub> 下降 16% 为临界值检测全麻下行 CEA 术中的脑缺血, 阳性预测值和阴性预测值分别为 76% 和 99%, 表明 NIRS 监测仪可用于排除那些不需要放置分流管的患者<sup>[17]</sup>。

关于预测脑缺血事件的 rScO<sub>2</sub> 预警阈值, 目前仍存在争议。研究发现, 对于全麻下行 CEA 手术的患者, 若以 rScO<sub>2</sub> 下降 20% 作为预测是否需放置分流管及神经系统并发症的临界值, 则敏感度和特异度分别为 30% 及 98%; 若以 rScO<sub>2</sub> 下降 12% 作为临界值, 则敏感度和特异度分别为 75% 及 77%。因此, 以 rScO<sub>2</sub> 下降超过 12% 作为预测颈动脉临时阻断期间继发性脑缺血的临界值更为可靠<sup>[18]</sup>。对于局麻下行 CEA 手术的患者, 以同侧 rScO<sub>2</sub> 下降 9% 作为临界值, 预测颈动脉阻断期间出现脑缺血症状的敏感度和特异度分别为 95% 和 81%<sup>[19]</sup>。但也有证据表明, NIRS 监测仪预测 CEA 术中有临床症状的脑缺血时, 敏感度及特异度均不理想, 分别为 60% 和 25%<sup>[15, 17]</sup>。因此, 预测脑缺血的 rScO<sub>2</sub> 合理阈值仍有待进一步研究。

若在用 NIRS 监测仪监测 rScO<sub>2</sub> 的同时, 使用 TCD 监测患侧大脑中动脉平均血流速度, 可有效检测气体及固体栓子引起的脑缺血, 对术者分离颈动脉的过程非常有帮助<sup>[2]</sup>。检测到斑块破裂引起的微栓子可使术者改变外科方法或在切开颈内动脉的早期控制其远端<sup>[20]</sup>。既往研究发现, CEA 手术开始前的头颈部体位(过伸及旋转)可能压迫颈动脉及椎动脉系统, 尤其是那些血管迂曲的患者。此外, 心律失常(如房颤)、全麻下通气不足亦可降低脑氧供、导致急性脑缺血事件。这种情况下, 在传统监测的基础上使用 NIRS 监测, 可检测到 rScO<sub>2</sub> 下降, 为麻醉科和外科团队提供警示<sup>[2, 12]</sup>。

**脑过度灌注监测** CHS 是 CEA 术后较为少见的严重并发症, 发生率为 0.2%~18.9%, 表现为头痛、癫痫、脑水肿, 严重时发生脑内出血, 死亡率高达 40%。因此, 识别 CHS 至关重要<sup>[21]</sup>。目前常采用 TCD 监测协助判断是否发生 CHS, 大脑中动脉平均流速达到术前的两倍与 CHS 密切相关。但是, 在大约 20% 的患者中, 由于颞部骨窗不足不能使用 TCD。对于这些患者, NIRS 监测仪则是术后脑功能监测的很好的替代方法, 有助于识别 CHS<sup>[13]</sup>。

Ogasawara 等<sup>[21]</sup>研究发现, 松开颈内动脉阻断夹后即刻 rScO<sub>2</sub> 的升高与术后即刻的脑血流呈线性相关。松开颈动脉阻断后即刻 rScO<sub>2</sub> 的升高与术后即刻脑血流的增加呈

线性相关, 以 rScO<sub>2</sub> 较基础值升高 5% 为界值检测 CEA 术后高灌注, 敏感度和特异度分别为 100% 和 86.4%。此外, 术毕时 rScO<sub>2</sub> 升高与 CEA 术后即刻的脑血流增加相关性极强。以 rScO<sub>2</sub> 升高 10% 作为临界值检测术后 CHS 的敏感度和特异度均为 100%。因此, 术中 rScO<sub>2</sub> 监测可识别 CEA 术后脑高灌注的高危人群。但也有研究发现, 颈动脉临时阻断期间 rScO<sub>2</sub> 较阻断前下降超过 10% 是术后即刻脑高灌注的独立预测因素之一<sup>[22]</sup>。近期的一项前瞻性研究表明, TCD 与 NIRS 监测均可独立预测 CHS 的发生, 但预测发生 CHS 的 rScO<sub>2</sub> 临界值目前仍存在争议, 因此联合使用 NIRS 监测仪和 TCD 能更准确地识别发生 CHS 的高危患者<sup>[13]</sup>。

**其他术后并发症监测** 在进行 CEA 手术的患者中, 术后认知功能障碍 (postoperative cognitive dysfunction, POCD) 的发生率约为 25%, 其原因可能为临时阻断期间的微栓子、低灌注以及全麻等<sup>[23]</sup>。Kamenskaya 等<sup>[24]</sup>回顾了 466 例行 CEA 手术的患者, 发现围术期神经系统并发症的危险因素包括术前 rScO<sub>2</sub> 低于 50% 及颈内动脉临时阻断期间患侧 rScO<sub>2</sub> 下降超过 20%。术前 rScO<sub>2</sub> 低于 50% 者卒中风险增加 6 倍, 颈内动脉临时阻断期间患侧 rScO<sub>2</sub> 下降超过 20% 者卒中风险增加 10 倍, 术后早期认知功能障碍的风险增加 8 倍。此外, 术前 rScO<sub>2</sub> 低于 50% 及颈内动脉临时阻断期间患侧 rScO<sub>2</sub> 下降超过 20% 的患者住院时间延长。

**血管活性药物对脑氧合的影响** 颈动脉狭窄的患者常出现脑血管自动调节功能受损, 脑血流依赖于动脉压, 因此在 CEA 术中为保证脑灌注、避免发生分水岭卒中, 临时阻断期间应避免低血压<sup>[25]</sup>。Pennekamp 等<sup>[25]</sup>纳入了 11 例在全麻下行 CEA 手术的患者, 分别给予麻黄碱(5~10 mg)或苯肾上腺素(50~100 μg)纠正术中低血压, 结果发现, 给予麻黄碱后, rScO<sub>2</sub> 从(70±7)% 升高至(73±6)%; 而给予苯肾上腺素后, rScO<sub>2</sub> 从(71±7)% 下降至(66±9)%。线性回归分析显示 rScO<sub>2</sub> 的变化与麻黄碱引起的平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)的变化呈正相关, 但苯肾上腺素在升高 MAP 的同时却降低 rScO<sub>2</sub>, 可能与 α 受体介导的脑血管收缩有关。在一项双盲随机对照研究中, Aliane 等<sup>[26]</sup>比较了麻黄碱和苯肾上腺素治疗 CEA 术中低血压时对 rScO<sub>2</sub> 的影响, 结果表明麻黄碱对 rScO<sub>2</sub> 影响更小, 因此, 当 CEA 术中发生低血压时, 麻黄碱是更好的选择。但仍需进行大样本随机对照研究来验证不同的血管收缩药对脑氧合的影响, 指导 CEA 术中升压药物的合理使用。

## 小 结

使用 NIRS 监测仪可对 CEA 术中及术后脑灌注进行实时、连续监测, 有助于降低 CEA 围术期脑缺血及脑高灌注的风险, 具有很好的应用前景。但仍需进行前瞻性、大样本的研究来验证 rScO<sub>2</sub> 预测脑缺血、脑高灌注的预警阈值、有效改善 rScO<sub>2</sub> 的干预措施及指导术中升压药物的合理使用。

## 参 考 文 献

- [1] Ederle J, Dobson J, Featherstone RL, et al. Carotid artery

- stenting compared with endarterectomy in patients with symptomatic carotid stenosis (International Carotid Stenting Study): an interim analysis of a randomised controlled trial. *Lancet*, 2010, 375 (9719): 985-997.
- [2] Radak D, Sotirovic V, Obradovic M, et al. Practical use of near-infrared spectroscopy in carotid surgery. *Angiology*, 2014, 65 (9): 769-772.
- [3] Zogogiannis ID, Iatrou CA, Lazarides MK, et al. Evaluation of an intraoperative algorithm based on near-infrared refracted spectroscopy monitoring, in the intraoperative decision for shunt placement, in patients undergoing carotid endarterectomy. *Middle East J Anaesthesiol*, 2011, 21 (3): 367-373.
- [4] Ng JL, Chan MT, Gelb AW. Perioperative stroke in noncardiac, nonneurosurgical surgery. *Anesthesiology*, 2011, 115 (4): 879-890.
- [5] Yu Y, Lu Y, Meng L, et al. Monitoring cerebral ischemia using cerebral oximetry: pros and cons. *J Biomed Res*, 2015, 30 (1): 1-4.
- [6] Davies DJ, Su Z, Clancy MT, et al. Near-infrared spectroscopy in the monitoring of adult traumatic brain injury: a review. *J Neurotrauma*, 2015, 32 (13): 933-941.
- [7] Jeong H, Jeong S, Lim HJ, et al. Cerebral oxygen saturation measured by near-infrared spectroscopy and jugular venous bulb oxygen saturation during arthroscopic shoulder surgery in beach chair position under sevoflurane-nitrous oxide or propofol-remifentanyl anesthesia. *Anesthesiology*, 2012, 116 (5): 1047-1056.
- [8] Jobsis FF. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science*, 1977, 198 (4323): 1264-1267.
- [9] Bickler PE, Feiner JR, Rollins MD. Factors affecting the performance of 5 cerebral oximeters during hypoxia in healthy volunteers. *Anesth Analg*, 2013, 117 (4): 813-823.
- [10] Zheng F, Sheinberg R, Yee MS, et al. Cerebral near-infrared spectroscopy monitoring and neurologic outcomes in adult cardiac surgery patients: a systematic review. *Anesth Analg*, 2013, 116 (3): 663-676.
- [11] Denault A, Deschamps A, Murkin JM. A proposed algorithm for the intraoperative use of cerebral near-infrared spectroscopy. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*, 2007, 11 (4): 274-281.
- [12] Wutzler A, Nee J, Boldt LH, et al. Improvement of cerebral oxygen saturation after successful electrical cardioversion of atrial fibrillation. *Europace*, 2014, 16 (2): 189-194.
- [13] Pennekamp CW, Immink RV, den Ruijter HM, et al. Near-infrared spectroscopy can predict the onset of cerebral hyperperfusion syndrome after carotid endarterectomy. *Cerebrovasc Dis*, 2012, 34 (4): 314-321.
- [14] Pedrini L, Magnoni F, Sensi L, et al. Is near-infrared spectroscopy a reliable method to evaluate clamping ischemia during carotid surgery? *Stroke Res Treat*, 2012, 2012: 156975.
- [15] Stilo F, Spinelli F, Martelli E, et al. The sensibility and specificity of cerebral oximetry, measured by INVOS-4100, in patients undergoing carotid endarterectomy compared with awake testing. *Minerva Anesthesiol*, 2012, 78 (10): 1126-1135.
- [16] Nielsen HB. Systematic review of near-infrared spectroscopy determined cerebral oxygenation during non-cardiac surgery. *Front Physiol*, 2014, 5: 93.
- [17] Pennekamp CW, Immink RV, den Ruijter HM, et al. Near-infrared spectroscopy to indicate selective shunt use during carotid endarterectomy. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2013, 46 (4): 397-403.
- [18] Friedell ML, Clark JM, Graham DA, et al. Cerebral oximetry does not correlate with electroencephalography and somatosensory evoked potentials in determining the need for shunting during carotid endarterectomy. *J Vasc Surg*, 2008, 48 (3): 601-606.
- [19] Jonsson M, Lindstrom D, Wanhainen A, et al. Near Infrared Spectroscopy as a Predictor for Shunt Requirement During Carotid Endarterectomy. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2017, 53 (6): 783-791.
- [20] Mommertz G, Das M, Langer S, et al. Early control of distal internal carotid artery during carotid endarterectomy: does it reduce cerebral microemboli? *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 2010, 51 (3): 369-375.
- [21] Ogasawara K, Sakai N, Kuroiwa T, et al. Intracranial hemorrhage associated with cerebral hyperperfusion syndrome following carotid endarterectomy and carotid artery stenting: retrospective review of 4494 patients. *J Neurosurg*, 2007, 107 (6): 1130-1136.
- [22] Komoribayashi N, Ogasawara K, Kobayashi M, et al. Cerebral hyperperfusion after carotid endarterectomy is associated with preoperative hemodynamic impairment and intraoperative cerebral ischemia. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2006, 26 (7): 878-884.
- [23] Mracek J, Holeckova I, Chytra I, et al. The impact of general versus local anesthesia on early subclinical cognitive function following carotid endarterectomy evaluated using P3 event-related potentials. *Acta Neurochir (Wien)*, 2012, 154 (3): 433-438.
- [24] Kamenskaya OV, Loginova IY, Lomivorotov VV. Brain oxygen supply parameters in the risk assessment of cerebral complications during carotid endarterectomy. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2017, 31 (3): 944-949.
- [25] Pennekamp CW, Immink RV, Moll FL, et al. Differential effect of phenylephrine and ephedrine on cerebral haemodynamics before carotid cross-clamping during carotid endarterectomy. *Br J Anaesth*, 2012, 109 (5): 831-833.
- [26] Aliane J, Duale C, Guesmi N, et al. Compared effects on cerebral oxygenation of ephedrine vs phenylephrine to treat hypotension during carotid endarterectomy. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 2017, 44 (7): 739-748.