

Nouvelles techniques de monitoring cérébral en réanimation pédiatrique — Spectroscopie proche infrarouge (NIRS)

New brain monitoring techniques during intensive paediatric care — Near infrared spectroscopy (NIRS)

N. Tafer · M. Ferraty · I. Del Campo Fuentes · P. Desnoyes · P. Mauriat

© SRLF et Springer-Verlag France 2011

Introduction

NIRS (*near infrared spectroscopy*) signifie en français : spectroscopie dans le proche infrarouge (SPIR). Il s'agit d'une technique de spectroscopie dont le principe repose sur l'absorption des rayons proche infrarouge par la matière organique.

Cette méthode d'analyse des substances organiques a largement été utilisée dans l'industrie chimique et agroalimentaire, avant d'être appliquée en clinique par Jobsis en 1977 pour quantifier l'oxygénation tissulaire [1].

Principe de fonctionnement

L'originalité de ce système se trouve au niveau de l'électrode qui présente une diode émettrice et deux diodes réceptrices (Fig. 1). Ainsi, deux faisceaux en formes de banane, un superficiel et un profond, traversent les tissus à une profondeur maximale de 1,5 cm. Le volume exploré est d'environ 10 ml. La soustraction de ces deux signaux permet de s'affranchir des tissus superficiels. Les photons, absorbés par des substances chromophores, le sont dans les tissus biologiques par l'hémoglobine (Hb) dans des spectres différents selon la charge en oxygène : de 650 à 1 000 nm pour la désoxyHb et de 700 à 1 150 nm pour l'oxyHb. Le logiciel détermine le rapport désoxyHb/oxyHb et il en déduit la saturation tissulaire en oxygène (rSO_2) de l'organe monitoré (Fig. 1).

La valeur normale de la rSO_2 dépend de l'organe exploré et de son métabolisme propre (Tableau 1). La rSO_2 repré-

sente en temps réel, la balance entre l'apport et la consommation d' O_2 . Le compartiment cérébral contient 70 % de sang veineux et 30 % de sang artériel évalué au PET scan, et la rSO_2 cérébrale résultante est autour de 60 %, reflet d'une extraction importante de l'oxygène par le tissu cérébral ; inversement, la rSO_2 rénale est aux environs de 90 %, car l'extraction de l'oxygène est directement sous la dépendance du débit aortique.

Que représente la rSO_2 cérébrale

La rSO_2 représente en temps réel, la balance entre apport et consommation d' O_2 . Il s'agit d'un véritable index d'hypoxie et d'ischémie cérébrale dans le contexte des patients à risques. Il a été démontré que la rSO_2 cérébrale peut refléter l'activité cérébrale chez le sujet réveillé.

Facteurs influençant la rSO_2 cérébrale

Les facteurs qui influencent la rSO_2 sont, d'une part, le niveau d'oxygénation cérébrale, et d'autre part, le niveau de la capnie, en sachant que la diminution du débit sanguin cérébral est corrélée à la baisse de la PCO_2 . Les variations de la rSO_2 cérébrale chez l'enfant sont le plus souvent en

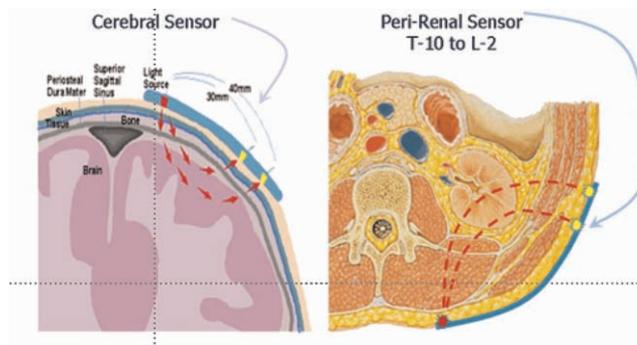


Fig. 1 Position des électrodes cérébrale et rénale

N. Tafer (✉) · M. Ferraty · I. Del Campo Fuentes · P. Desnoyes · P. Mauriat
Service d'anesthésie-réanimation II du Dr Alexandre Ouattara, réanimation chirurgicale des cardiopathies congénitales, groupe hospitalier Sud, avenue-de-Magellan, F-33604 Pessac cedex, France
e-mail : nadir.tafer@chu-bordeaux.fr

rapport avec les variations de la capnie ; situation très fréquente lorsque les patients sont en ventilation artificielle.

Le niveau de l'Hb retentit étroitement sur les valeurs de la rSO₂ cérébrale ; l'anémie réduisant la capacité de transport de l'O₂ au tissu cérébral.

Toute situation responsable d'une variation prolongée du débit sanguin cérébral entraîne une variation de même sens des valeurs de la rSO₂ cérébrale et cela malgré l'autorégulation dont bénéficie la circulation cérébrale.

Les variations du métabolisme cérébral, qu'elles soient consécutives à une hyperthermie, entraînent, dans ce cas, une baisse de la rSO₂ liée à l'augmentation de la consommation d'O₂ par le cerveau, ou qu'elles soient consécutives à une forte sédation pharmacologique, entraînent une augmentation de la rSO₂ par défaut de consommation de l'O₂ (Tableau 1).

Indications pédiatriques

En chirurgie cardiaque pédiatrique

La chirurgie cardiaque pédiatrique est la discipline où la NIRS a été la plus étudiée, probablement en raison des enjeux neurologiques de cette spécialité. En effet, de nombreux auteurs se sont intéressés au devenir neurologique de ces jeunes patients, par des scores évaluant le développement psychomoteur, les troubles neurocognitifs et la qualité de vie à long terme [2–6]. Toutes ces études retrouvent une morbidité neurologique allant de 12 à 27 %, même si des progrès considérables en termes de mortalité ont été accomplis par cette discipline qui intervient précocement sur des malformations de plus en plus complexes.

Dans une série nord-américaine portant sur 22 nouveaux opérés d'un syndrome d'hypoventre gauche, une IRM cérébrale a été réalisée, avant et après intervention. En postopératoire, 73 % des patients présentaient des lésions ischémiques contre 23 % en préopératoire. Les auteurs démontraient que des valeurs de rSO₂ cérébrales, inférieures à 45 % pendant une durée supérieure à 180 minutes sont associées à des complications ischémiques cérébrales [7].

Tableau 1 Valeurs normales de la rSO₂ par organe comparées à la SaO₂

	SaO ₂ (%)	rSO ₂ (%)
Cerveau	100	60
Cœur	100	50
Foie	100	70
Rein	100	90
Intestin	100	80
Muscle	100	80
Total	100	70

En revanche, Kussman et al., en raison de la très faible morbidité neurologique, n'ont pu déterminer de relation entre la rSO₂ cérébrale peropératoire et les complications neurologiques chez 114 nouveaux-nés et petits nourrissons. Finalement, ce résultat est cohérent avec la publication de Dent et al. [7], étant donné la faible durée où la rSO₂ cérébrale était inférieure à 45 % dans l'ensemble de leur cohorte [8].

Une étude expérimentale sur des porcelets a testé la NIRS durant la CEC. Différentes conditions de température, de débit et d'hématocrite ont été appliquées. Le niveau de rSO₂ cérébrale s'améliorait avec l'augmentation du débit de la CEC, de l'hématocrite et avec la baisse de la température [9].

En clinique, plusieurs publications ont, de même, relevé l'intérêt de la NIRS cérébrale durant la CEC. Une diminution uni- ou bilatérale de rSO₂ cérébrale permet de diagnostiquer rapidement une mauvaise perfusion cérébrale ou une asymétrie liée à un mauvais positionnement de la canule artérielle [10] ou veineuse [11].

De la même façon, la NIRS peut apprécier l'efficacité d'une perfusion cérébrale sélective et la tolérance d'un arrêt circulatoire en hypothermie profonde [12]. Dans une étude, portant sur 46 patients adultes, opérés de la crosse aortique avec une perfusion cérébrale sélective, une chute de la rSO₂ cérébrale de plus de 20 % par rapport à la valeur de départ était fortement prédictive de complications cérébrales ischémiques [13].

Parfois, chez de grands enfants, l'abord fémoral est privilégié pour les cannulations artérielle et veineuse lors d'une CEC, voire d'une ECMO, exposant à un risque élevé d'ischémie du membre inférieur sur lequel est placée la cannule. La surveillance de la perfusion du membre par la NIRS, à l'aide d'une électrode sur le quadriceps ou les jumeaux, permet de diagnostiquer rapidement toute ischémie et de poser l'indication d'une reperfusion [14].

Intérêt de la NIRS multisite

En pédiatrie, la finesse des parois abdominales et lombaires permet d'utiliser ces électrodes pour surveiller, en continu et de façon non invasive, l'oxygénation tissulaire des reins, du foie et du territoire mésentérique. Kaufman et al. ont retrouvé une bonne corrélation entre la rSO₂ mésentérique recueillie par une électrode appliquée sur la face antérieure de la paroi abdominale et le pH_i gastrique mesuré par tonométrie [15].

Ainsi, la perfusion rénale peut être appréciée par une électrode positionnée au niveau lombaire (T10–L2). La rSO₂ rénale s'est avérée être un marqueur robuste prédictif de dysfonction rénale. Sur une série de 29 nouveau-nés, Hoffman et al. ont retrouvé que chaque heure passée à moins de 60 % de rSO₂ rénale multipliait par deux la créatinine plasmatique au troisième jour postopératoire [16].

La NIRS multisite (cerveau, rein, mésentère, muscles), utilisée en postopératoire de chirurgie cardiaque, permet de détecter précocement une perfusion inadéquate et de traiter rapidement l'hypoperfusion globale ou sélective [17]. Une étude récente, portant sur 23 enfants en postopératoire de chirurgie cardiaque, démontre l'intérêt de la NIRS multisite pour prédire l'augmentation des lactates. Il existe une corrélation étroite et inverse entre les rSO_2 et le taux de lactates dans les 24 heures postopératoires. Des valeurs de rSO_2 cérébrale et rénale inférieures ou égales à 65 % sont prédictives (sensibilité : 95 % et spécificité : 83 %) de lactates supérieures ou égales à 3 mmol/l [18].

Avantages et inconvénients par rapport aux techniques de référence

Avantages

Une corrélation significative entre la rSO_2 cérébrale et la saturation veineuse centrale en oxygène (SVO_2) a pu être déterminée [19] ouvrant des perspectives à ce monitoring non invasif dans le cadre de la réanimation des états de choc à la phase initiale en pédiatrie. De plus, l'association d'électrodes cérébrales et d'électrodes mésentérique et/ou rénale donne, comme l'ont démontré Hoffman et al. [20], une corrélation plus étroite avec la SVO_2 qu'une simple électrode cérébrale. Ainsi, seule la NIRS à l'aide de plusieurs électrodes donne aux médecins la possibilité d'apprécier sélectivement la perfusion d'organes dont l'extraction d' O_2 et les débits sont différents (Tableau 2).

Inconvénients

En présence de tissu adipeux trop épais, le signal est de mauvaise qualité. Les électrodes de NIRS, de par la profondeur du faisceau, ne peuvent explorer que la zone corticale du cerveau en regard de leur position et enregistrer les perturbations qui s'y produisent. Par ailleurs, elles sont sensibles aux variations du débit sanguin cérébral local entraîné par une

hypoperfusion régionale ou de la globalité d'un hémisphère. Mais des atteintes localisées dans la profondeur du cortex, comme des microembolies, ne produisent pas de variations de la rSO_2 .

Lors de surveillances prolongées (plusieurs jours) de la rSO_2 cérébrale, chez certains nouveau-nés, il a été noté l'apparition d'un érythème en regard de la diode émettrice. Ces lésions sont bénignes et disparaissent rapidement après le déplacement de l'électrode (Tableau 2).

Rôle de l'IDE dans l'installation et la surveillance

Description du matériel

Le matériel se compose d'un moniteur et de deux boîtiers sur lesquels se raccordent les électrodes. Sur la partie droite de l'écran du moniteur s'affichent les différentes valeurs de rSO_2 , les deux chiffres supérieurs correspondent à la rSO_2 cérébrale des deux hémisphères, les deux inférieurs aux rSO_2 somatiques choisies (rein, mésentères, membres...). Sur la partie centrale de l'écran apparaissent les courbes représentatives de l'évolution des rSO_2 cérébrales et somatiques de la NIRS au cours du temps sur une durée maximale de 24 heures. Mais les données numériques de la totalité de la durée de la surveillance du patient peuvent être sauvegardées sur un support USB et visualisées sur un ordinateur.

Des niveaux d'alarmes supérieurs et inférieurs peuvent être réglés, faisant apparaître les chiffres en rouge lorsque les zones à risques sont atteintes.

Plusieurs types d'électrodes spécifiques existent en fonction du poids du patient et des sites explorés :

- des électrodes néonatales cérébrales et des électrodes somatiques ;
- des électrodes pédiatriques pour un poids inférieur à 40 kg, il existe un seul modèle pour tous les sites ;
- des électrodes adultes pour un poids supérieur à 40 kg, il existe un seul modèle pour tous les sites.

Installation de la NIRS

Il faut en premier, préparer le matériel adapté à la taille, au poids du patient et à la localisation : moniteur, boîtier et rallonges de câble, électrodes.

Surveillance cérébrale

Avant de coller l'électrode sur la peau, il est conseillé de la nettoyer et d'appliquer un protecteur cutané, par exemple le Cavillon[®], ensuite il faut éviter de la placer sur des cheveux ce qui modifie la transmission du signal.

Tableau 2 Comparaison rSO_2/SVO_2

rSO_2	SVO_2
Technique non invasive	Technique invasive
Mesure possible avec circulation non pulsée	Pas de mesure si débit non pulsé
Indicateur régional d'apport et de consommation d' O_2	Indicateur global d'apport et de consommation d' O_2
Diagnostic spécifique d'hypoperfusion d'organe	Pas de diagnostic d'hypoperfusion régionale surtout si SvO_2 normale

Chez les enfants de petits poids, dont la peau du front est fragile, il est possible de ne pas coller les électrodes. Dans ce cas, il faut appliquer soigneusement les électrodes cérébrales en les maintenant appuyées, par exemple, à l'aide d'un bandeau. La mesure du périmètre crânien permet de choisir la taille du jersey ou de la bande en évitant de trop serrer.

Il est préférable de ne pas utiliser une seule électrode, placée au centre du front.

Surveillance rénale et/ou musculaire

Après nettoyage de la zone et application de Cavillon[®], l'électrode est collée sur peau saine et son fonctionnement est vérifié, témoin d'un bon raccordement au moniteur de NIRS. La bonne réception du signal émis par l'électrode se traduit sur le moniteur par plusieurs traits verts en regard du chiffre de l'électrode concernée.

Il est important de ne pas appliquer de corps gras sur la zone réservée à l'électrode sinon elle n'adhère pas et la mesure s'en trouve faussée.

Pour éviter les érythèmes de contact que certains patients peuvent développer, il peut être proposé de déplacer l'électrode, plus ou moins fréquemment en fonction de la tolérance locale. Mais, il n'y a pas de risques d'échauffement, de brûlure cutanée par le faisceau, car l'eau qui constitue l'essentiel des tissus vivants absorbe très peu le rayonnement dans le proche infrarouge.

Phase de surveillance

Chez un sujet sain, dont l'équilibre hémodynamique et l'oxygénation tissulaire sont normaux, il a été constaté que la valeur de la rSO₂ rénale était supérieure de 5 à 20 % à la rSO₂ cérébrale, par exemple : 80 % de rSO₂ rénale et 60 % de rSO₂ cérébrale.

Lorsqu'il est noté une diminution de la rSO₂ cérébrale en dessous de 50 % ou lorsqu'une chute de plus de 20 % survient, il est recommandé d'en rechercher les causes et d'agir sur le plan thérapeutique, afin d'éviter des complications liées à l'hypoxie cérébrale.

Par ailleurs, comme expliqué précédemment, le risque d'insuffisance rénale est très élevé (créatinine × 2) chaque heure passée avec une rSO₂ rénale en dessous de 60 %.

Avec des électrodes cérébrales et somatiques, l'égalisation des valeurs, puis l'inversion signifient une instabilité hémodynamique avec vasoconstriction périphérique.

Des situations classiques de soins en réanimation sont marquées par des variations significatives des rSO₂ et d'une façon plus précoce que les autres paramètres peuvent le faire (fréquence cardiaque, SaO₂, pression artérielle...). Parmi les situations responsables d'instabilité hémodynamique, on peut noter : les aspirations trachéobronchiques, les changements de position, l'extubation, etc.

En présence de valeurs anormales

- Il faut s'assurer de la position, du choix des électrodes et de la fiabilité de la mesure, vérifier l'index de qualité du signal ;
- prévenir le médecin.

Cas particulier d'un patient sous ECMO en réanimation

Lors des mobilisations et du nursing de l'enfant, il y a des risques de déplacement secondaire des canules du circuit extracorporel. Si une variation brutale de la rSO₂c est observée, il faut en premier suspecter un problème de positionnement de la canule. Si une cannulation périphérique a été réalisé, la surveillance de la rSO₂ musculaire peut être adjointe à celle de la rSO₂c pour détecter précocement une perfusion insuffisante du membre.

L'arrêt de la surveillance par la NIRS est une décision médicale, elle s'effectue lorsque le patient est stable et en l'absence de gestes pouvant mettre en péril l'oxygénation tissulaire du patient.

Conclusion

En pédiatrie, particulièrement en réanimation périopératoire des cardiopathies congénitales pédiatriques, la NIRS est en passe de devenir un standard du monitoring non invasif, simple à utiliser et de surveillance aisée. Elle permet d'optimiser la perfusion d'organe qui est l'objectif principal de réanimation. La NIRS donne directement la SO₂ régionale de façon non invasive et permet de reconnaître rapidement une dysfonction d'organe et de la traiter. Ce monitoring non invasif deviendra certainement incontournable comme l'est devenue la SaO₂ périphérique.

Conflit d'intérêt : les auteurs déclarent ne pas avoir de conflit d'intérêt.

Références

1. Jobsis FF (1977) Non-invasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science* 198(4323):1264–7
2. Bellinger DC, Jonas RA, Rappaport LA, et al (1995) Developmental and neurologic status of children after heart surgery with hypothermic circulatory arrest or low-flow cardiopulmonary bypass. *N Engl J Med* 332(9):549–55
3. Newburger JW, Bellinger DC (2006) Brain injury in congenital heart disease. *Circulation* 113(2):183–5
4. Ballweg JA, Wernovsky G, Gaynor JW (2007) Neurodevelopmental outcomes following congenital heart surgery. *Pediatr Cardiol* 28(2):126–33

5. Latal B, Helfricht S, Fischer JE, et al (2009) Psychological adjustment and quality of life in children and adolescents following open-heart surgery for congenital heart disease: a systematic review. *BMC Pediatr* 9:6
6. Kussman BD, Wypij D, DiNardo JA, et al (2009) Cerebral oximetry during infant cardiac surgery: evaluation and relationship to early postoperative outcome. *Anesth Analg* 108(4):1122–31
7. Dent CL, Spaeth JP, Jones BV, et al (2006) Brain magnetic resonance imaging abnormalities after the Norwood procedure using regional cerebral perfusion. *J Thorac Cardiovasc Surg* 131(1):190–7
8. Kussman BD, Wypij D, DiNardo JA, et al (2009) Cerebral oximetry during infant cardiac surgery: evaluation and relationship to early postoperative outcome. *Anesth Analg* 108(4):1122–31
9. Hagino I, Anttila V, Zurakowski D, et al (2005) Tissue oxygenation index is a useful monitor of histologic and neurologic outcome after cardiopulmonary bypass in piglets. *J Thorac Cardiovasc Surg* 130(2):384–92
10. Gottlieb EA, Fraser CD Jr, Andropoulos DB, et al (2006) Bilateral monitoring of cerebral oxygen saturation results in recognition of aortic cannula malposition during pediatric congenital heart surgery. *Paediatr Anaesth* 16(7):787–9
11. Ing RJ, Lawson DS, Jaggars J, et al (2004) Detection of unintentional partial superior vena cava occlusion during a bidirectional cavopulmonary anastomosis. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 18(4):472–4
12. Andropoulos DB, Stayer SA, Diaz LK, et al (2004) Neurological monitoring for congenital heart surgery. *Anesth Analg* 99(5):1365–75
13. Olsson C, Thelin S (2006) Regional cerebral saturation monitoring with near-infrared spectroscopy during selective antegrade cerebral perfusion: diagnostic performance and relationship to postoperative stroke. *J Thorac Cardiovasc Surg* 131(2):371–9
14. Schachner T, Bonaros N, Bonatti J, et al (2008) Near infrared spectroscopy for controlling the quality of distal leg perfusion in remote access cardiopulmonary bypass. *Eur J Cardiothorac Surg* 34(6):1253–4
15. Kaufman J, Almodovar MC, Zuk J, et al (2008) Correlation of abdominal site near-infrared spectroscopy with gastric tonometry in infants following surgery for congenital heart disease. *Pediatr Crit Care Med* 9(1):62–8
16. George M, Hoffman MD, Nancy S, et al (2005) Perioperative perfusion assessed by somatic NIRS predicts postoperative renal dysfunction. *Anesthesiology* 103:A1327
17. Tweddell JS, Ghanayem NS, Hoffman GM (2010) Pro: NIRS is “standard of care” for postoperative management. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu* 13(1):44–50
18. Chakravarti SB, Mitnacht AJ, Katz JC, et al (2009) Multisite near-infrared spectroscopy predicts elevated blood lactate level in children after cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 23(5):663–7
19. Tortoriello TA, Stayer SA, Mott AR, et al (2005) A non-invasive estimation of mixed venous oxygen saturation using near-infrared spectroscopy by cerebral oximetry in pediatric cardiac surgery patients. *Paediatr Anaesth* 15(6):495–503
20. Hoffman GM, Stuth EA, Berens RJ, et al (2003) Two-site near-infrared transcutaneous oximetry as a non-invasive indicator of mixed venous oxygen saturation in cardiac neonates. *Anesthesiology* 99:A1393