

Medtronic

Professional Quest™

Vol. 67

心臓外科手術の症例に INVOS™ を上手に使用することで 人工心肺中の血流の把握と急性腎障害の予測が可能となる



若松 禎人 先生

順天堂医院
臨床工学室 主任

学歴

1994年3月 日本工学院専門学校卒業
臨床工学技士免許取得
2013年4月 順天堂大学大学院医学研究科医科学専攻入学
2015年3月 順天堂大学大学院医学研究科医科学専攻卒業

職歴

1994年4月 新東京病院 ME室 入職
2005年1月 新東京病院退職
2005年2月 順天堂大学医学部附属順天堂医院 臨床工学室入職
2021年1月 東京医薬看護専門学校 講師

現在に至る

所属学会等

日本体外循環技術医学会
日本人工臓器学会
日本臨床工学技士会

資格

体外循環技術認定士 (125-2010)
透析技術認定士 (第9836)
医学修士 (修第30号)

はじめに

近赤外線組織酸素飽和度 (NIRS) のモニタリングの歴史は意外に新しいものである。1977年にその概念が発表され製品化されたのが INVOS™ である。

INVOS™ が本邦で承認を取得したのが1995年であり、先だって海外では1993年に臨床の場で使用され始めている。

以降約30年、脳酸素飽和度のモニタリングは無論であるが、数々の有益な使用方法も報告されている。

当施設においても症例に合わせて様々な使用方法を行い、その有用性の評価を行っている。その試みからも、INVOS™ による組織酸素飽和度 (regional Saturation of Oxygen : rSO₂) のモニタリングは、非生理的な循環であり血流が大きく変動する人工心肺の施行症例こそ非常に有益であり、切り離せないものであると強く認識している。

INVOS™ の主な使用場所は、手術室と集中治療室である。当院の手術室では、心臓外科と小児外科の多くの症例で使用している。心臓外科手術では、術中の血行動態の変化が大きいかことや手術手技によっては動脈の遮断を伴うことから rSO₂ のモニタリングの有用性は言うまでもない。また、小児外科では、手術中に腎臓の rSO₂ を監視することで腹部主要臓器の血流の変化が把握でき、低酸素の予防につながり術中管理の安全性が向上することを報告している¹⁾。

本稿では、様々な使用経験を踏まえて、当施設での人工心肺使用時の rSO₂ のモニタリング方法とその有用性を紹介したい。今回紹介するのは、人工心肺を使用する成人と小児の症例に対する心臓外科手術での INVOS™ を使用した NIRS モニタリング方法である。成人では、弓部大動脈の人工血管置換術での血流分布を把握するためのモニタリング方法を、小児では急性腎障害 (Acute Kidney Injury : AKI) を予防するためのモニタリング方法を解説する。

1. 大血管手術での脳分離体外循環で 血流を把握するためのINVOS™の上手な使い方

弓部大動脈の人工血管置換術では、順行性の脳分離体外循環が行われる時がある。順行性の脳分離体外循環は、腕頭動脈、左総頸動脈と左鎖骨下動脈に送血カニューレを挿入して循環が確立される。この体外循環では、血液が目的の場所に確実に送れているのかを確認する方法として、INVOS™を使用したrSO₂のモニタリングが必須である。両総頸動脈の血流は、左右の前額部に貼付したセンサでのrSO₂が指標となる。また、両鎖骨下動脈への送血の確認は、両橈骨動脈に挿入したカニューレから観血式に動脈圧をモニタリングすることで行っている。しかし、症例によってはその動脈圧のモニタリングが困難であることがある。例えば、内シャントがある透析患者であったりカニューレ自体の挿入が困難であったりする症例がそうである。実際にそのような状況に遭遇した際にrSO₂のモニタリングがその代替案となるのか調査を行った。方法は、INVOS™の成人用センサを左右の前額部と上腕二頭筋に貼付し(図.1)、脳分離体外循環中のそのrSO₂の推移を検証した。



図.1 上腕に貼付したINVOS™のセンサ

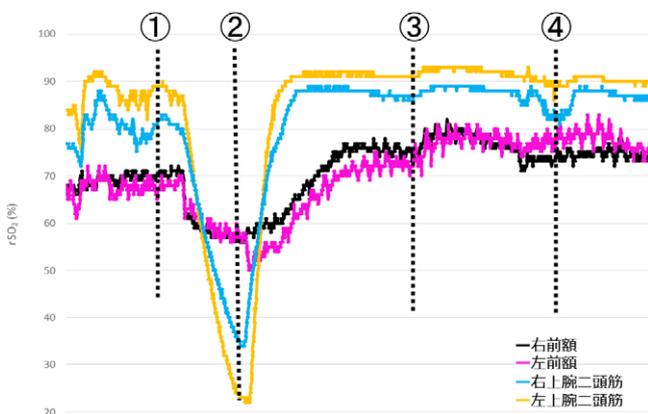


図.2 脳分離体外循環での各rSO₂の推移

- ①で循環停止となり4か所のrSO₂は下降する。
- ②左鎖骨下動脈、左総頸動脈、右腕頭動脈の順番に脳分離体外循環が開始される。
- ③脳分離体外循環の開始に伴いrSO₂の上昇を認める。
- ④体循環が再開する。
左右の上腕二頭筋のrSO₂は前額部よりも大きく変化するのが特徴である。

その推移を図.2に示す。循環停止によって4か所のrSO₂は顕著に低下する。その後、脳分離体外循環の各血管への送血開始に伴い相対する部位のrSO₂が上昇したことが確認できる。また、その際のrSO₂は、循環停止前の値を目標として行うことで、目的とする部位に必要な血流量の目安となる。

「大血管手術での頭部および上腕二頭筋のrSO₂のモニタリングは、脳分離体外循環の送血流量の目安となる。循環停止前の数値を指標として送血流量の調整が行えることから、体外循環中の安全な管理の一助となる。」

成人症例での使用に際しては、センサを貼付する場所には注意すべきポイントがある。それは脂肪組織が多いと赤色光が減少され測定値に影響を及ぼすと指摘されていることや²⁾、筋肉量との相関の良さが報告されていることである³⁾。それらの報告から、センサの貼付部位は可能な限り脂肪が少ない箇所であり、かつ筋肉量が多い箇所を選択する必要がある。例えば、上肢では、前述の上腕二頭筋であり、下肢のモニタリングの場合には、ふくらはぎが良く選択されている。しかし、ふくらはぎでのモニタリングの場合には、患者の体格や体位、貼付するスタッフの「さじ加減」でセンサを貼付する場所が同一であるとは言い難いのも事実である。そこで最近では、脂肪の少ない足底部の筋肉の周辺にセンサを貼付し安定した数値を得られていることも報告する(図.3)。ただ、この場所は骨が近いこともあり貼付する際には注意が必要であるとも考えている。



図.3 足底部へのINVOS™センサの貼付

2. 小児症例での急性腎障害の発症を予防するための INVOS™の上手な使い方

AKIは、人工心肺を使用した心臓手術後の合併症のなかでは発生頻度が高い。

特に2歳以下で高くなることや、AKI発症は、ICUの滞在の長期化と死亡率上昇のリスク因子とされている^{4) 5) 6)}。

小児領域での血清クレアチニン値（以下、sCr）に関しては、母親の生体の影響が残る新生児ではその基準値が出生後から日齢ごとに変化をしていき、幼小児期では成長に伴い、数か月から1年

ごとに上昇していくこと、さらにはAKI発症時のsCrの上昇が成人より遅く24時間以上を要することや、わずかな上昇でも生命予後に関与するとされる。このため小児領域におけるAKIの診断方法には既存の方法よりもより早く感度が高い診断方法が必要と考えられている^{5) 7)}。

我々は以前から人工心肺症例での小児患者に対して尿中の好中球ゼラチナーゼ結合性リポカリン（尿中NGAL）の推移を観察し、AKI発症と尿中NGAL値との相関を研究していた。AKIを発症した症例では、術中に要因があることが示唆された⁸⁾。

先行研究において、術後AKIの発症症例においては、ICU入室時に尿中NGALが上昇している事が多いが、さらにAKI発症の予測感度を高める必要があると考えられた。そこで術中に腎臓への血流の評価と腎臓周辺の組織酸素飽和度を測定する事が可能な、NIRSモニタリングを用いて再検証した。

新生児の局所組織酸素化を監視するためのNIRSの使用は、1980年代に初めて臨床的に導入された。NIRSモニタリングとAKI発症に関する報告は、集中治療を要する小児領域では有用であるとされている。しかし、絶対値ではないその数値の解釈は依然として議論的となりおり正常値や危険な低下範囲などの意見はさまざまである。また小児に限って言えば対象となる症例が少ないこともその理由の一つであると思われる⁹⁾。

我々の施設において、腎臓でのNIRSモニタリング時は、設定した閾値以下で経過した時間と深さの二次元パラメータであるArea Under the Curve (AUC) を活用し、脱飽和度の程度を定量化した腎rSO₂スコア (%min) として評価を行っている(図.4)。センサは前額部、および右腎臓周囲に貼付している。腎臓周囲のセンサは肋骨と骨盤の中位(脊椎のT10-L2)に脊椎に対して平行になるように貼付している(図.5)。rSO₂の値は、手術室入室時から退出時まで2秒毎に収集した。その解析には、メトロニック社製のINVOS™専用の解析ソフト (INVOS Analytics Tool Version12) を使用し、全身麻酔導入時のrSO₂をベースラインとして設定しその推移を検証した。(図.6)。rSO₂の累積飽和度は、ベースラインからの低下時、ベースラインから20%低下時と25%低下時で検証した。



図.4 AUCのリアルタイムモニタリング画面表示(下線)



図.5 腎臓周囲のrSO₂モニタリング

センサの貼付位置は、肋骨と骨盤の中位(脊椎のT10-L2)に脊椎に対して並行になるように貼付している。



	Ch1	Ch2
Baseline	59(8.44)	71(8.44)
AUC(From INVOS)	377	2080
AUC(user Calc)	358	2027
Skin Closure rSO2	--	--

図.6 INVOS Analytics Tool Version12の表示画面
ベースラインと演算したい低下率を任意で設定が可能である。AUCを表示させる。赤く塗りつぶされている部分がAUCである。そのAUCの数値は下段に表示される。

腎臓のrSO₂スコアの比較を図.7に示す。腎臓rSO₂スコアは、ベースラインからの低下量では非AKI群の中央値が943.0% minに対してAKI群は1637.5% minであった。ベースラインから20%低下では、非AKI群の中央値が8.0% minに対してAKI群は85.5% minであり、ベースラインから25%低下では非AKI群の中央値が1.0% minに対してAKI群は32.5% minでありいずれでも有意な相関を認めた ($p < 0.001$)。

以上の結果から、rSO₂の変化がめまぐるしく変動する手術中では、数値の低下毎にアクションを起こすことはもちろん必要であるが、累積の低下量も把握しその量の蓄積が増加しないように管理を行うことが重要であると考え¹⁰⁾。

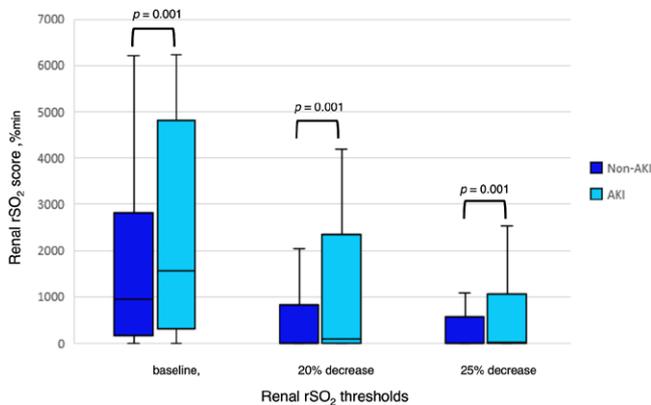


図.7 腎臓rSO₂スコアのベースラインからの低下と20%および25%低下での相関のグラフ

腎臓rSO₂スコアは、ベースラインからの低下量、ベースラインから20%低下量、25%低下量で有意な相関を認めた ($p < 0.001$)。

「小児心臓手術中の腎臓のrSO₂のモニタリングは、測定値の変化(数値)をモニタリングするだけでなく、適切な低下率を設定しベースラインから低下率を逸脱した累積飽和度の量を監視することが重要である。」

おわりに

INVOS™を上手に使用することは、目的とする部位の血流や臓器の虚血をモニタリングすることが可能となる。それは、心臓外科手術での人工心肺の使用症例においては、特殊な体外循環を行う場合の血流量の調整とその把握をすることができ、小児では急性腎障害の予防につながるということである。

References

- Miyake Y, et al. *Pediatr Surg Int.* 2022;38(5):737-42. PMID:35246727
- Homma S, et al. *J Biomed Opt.* 1996;1(4):418-24. PMID:23014785
- Nakayama M, et al. *J Anesth.* 2002;16(2):127-30. PMID:14517663
- Selewski DT, et al. *Pediatrics.* 2015;136(2):e463-73. PMID:26169430
- Guignard JP, et al. *Pediatrics.* 1999;103(4):e49. PMID:10103341
- Li S, et al. *Crit Care Med.* 2011;39(6):1493-9. PMID:21336114
- Uemura O, et al. *Clin Exp Nephrol.* 2011;15(5):694-9. PMID:21505953
- Wakamatsu Y, et al. *Jpn J Extra-Corporeal Technology.* 2020;47 (1):8-14.
- Harer MW, et al. *Front Pediatr.* 2020;8:241. PMID:32528917
- Wakamatsu Y, et al. *Journal of Clinical Medicine.* 2023;12(6).

販売名 INVOSモニタリングシステム
 医療機器承認番号 30100BZX00181000
 製造販売元 コヴィディエンジャパン株式会社

使用目的又は効果、警告・禁忌を含む使用上の注意点等の情報につきましては製品の電子添文をご参照ください。

© 2023 Medtronic. Medtronic及びMedtronicロゴマークは、Medtronicの商標です。
 TMを付記した商標は、Medtronic companyの商標です。

Medtronic

お問い合わせ先
 コヴィディエンジャパン株式会社

Tel : 0120-998-971
 medtronic.co.jp