

麻酔，集中治療における局所組織 酸素飽和度モニターの有用性

自治医科大学

とちぎ子ども医療センター 小児手術集中治療部 門崎 衛

キーワード：局所組織酸素飽和度，麻酔，集中治療

連絡先：〒329-0498 栃木県下野市薬師寺3311-1

Tel：0285-58-7770

Fax：0285-44-8473

E-mail：m-kado@jiici.ac.jp

近赤外線を用いた局所組織酸素飽和度 (rSO_2) は、センサーを前額部に装着することにより、皮下3-4cmの前頭葉組織酸素飽和度を非侵襲的に測定することが可能である。このため、心臓手術麻酔、特に脳循環評価が問題となる低体温循環停止や脳分離対外循環を行う大血管手術を中心に使用されてきた^{1, 2)}。しかし、近年、麻酔に止まらず、救急や集中治療における患者評価において、既存の患者監視装置以上の情報が得られる可能性が報告されている³⁾。そこで、本講演では rSO_2 の測定原理、影響する因子について解説し、麻酔ならびに集中治療における有用性について解説する。

測定原理と rSO_2 に影響する因子

測定原理

近赤外線を用いた空間分光法による測定となる。近赤外線は装着部から皮下3cm程度の深さまでしか到達できない。加えて、通過した組織全ての酸素飽和度を反映するため、複数の血流の多い組織を経由した場合は全体を反映してしまい空間分解能としては低い。脳の酸素飽和度測定を目的とした場合、皮膚、骨とも、皮下組織の薄い部分にセンサーを装着することが、安定した測定の条件となる。一般に前頭部中央に装着すると測定値は安定する。ところが左右の脳半球の血流比較

を目的に左右に装着した場合、前額の外側は、皮下を脈管が走行するため皮下組織血流の影響を受けやすく、頭蓋内血流を反映していない左右差が生じてしまうことがあるため注意が必要である⁴⁾。脳以外の臓器血流評価においては、エコー検査で皮下から3cmまでの距離に目的臓器を捉えられることを確認し、他の血流のある組織が介在しないことを確認してセンサーを装着することで臓器特異性を高めることが可能となる。たとえば、大腿の筋や成人の移植腎、小児の移植肝は安定した測定が可能である。

rSO_2 に影響する因子

rSO_2 は酸化ヘモグロビン (Hb) / 総Hb をパーセント表示したものである。このため測定値の低下は酸化Hbの低下か総Hb (酸化Hb + 還元Hb) の増加により惹き起こされると考えられる。

臨床的には、酸素供給消費バランスを反映して変化する。臓器の酸素消費は体温に規定されるため、他の要因が一定であれば rSO_2 は体温に依存して変化する。供給は単位時間にどれだけHbが酸素を運んでくるかで決まるため、Hb量、Hb酸素飽和度、臓器血流量で規定される。 rSO_2 は鬱血の影響も受ける。酸化ヘモグロビン (Hb) / 総Hb は鬱血の程度で変化する。一般に、鬱血が軽度の場合は変化なし、軽度上昇する。高度鬱血が続

いて初めて低下するため、注意が必要である。

大血管手術における利用法

rSO₂モニターは弓部大血管置換術における上大静脈脱血、右腕頭、左総頸、左鎖骨下動脈送血を用いた脳分離対外循環（ICP）の評価に広く用いられている。頸動脈の送血管が抜けると低下し、また右前頭部rSO₂は右腕頭動脈分岐部にあって送血できない場合や右鎖骨下動脈に迷入した場合も低下する²⁾。しかし、rSO₂モニターはこのような、単純な送血トラブルの評価に止まらない。前述のように重要供給バランスをも評価できることから、体温管理や赤血球輸血を考える上でも利用できる。分枝送血流量は体格の大きな若い男性では600ml/minでは不十分であることが多い。BSA > 1.7では10ml/kg/minまでゆっくり増量し、脳灌流圧30-50mmHg、rSO₂ > 50%を得るように心肺技師と協議する。10ml/kg/minまで送血流量を増加してもrSO₂が低い場合は赤血球輸血によりHb値を増加させ酸素供給を増加させる。それでも改善できない場合は炭酸ガス負荷にてPaCO₂値を上昇させる。

術後の痙攣を予防する上では、血液組織温度格差を少なくする体温管理が重要である。これは、空気の液体に対する溶解度は体温に依存するため5度以上の血液組織温度格差は気泡を生じさせる可能性があるためである。心肺技師は送血（動脈）脱血（静脈）温度格差で調節していることが多いが、肥満患者では冷却によるafter drop現象により、組織温（直腸温）が静脈血温より低くなっている場合がある。したがって、送脱血温度格差に加えて、食道直腸温度格差も含めて5度以内の温度格差で復温することが肝要である。気泡発生の点では、加温と異なり、冷却中は安全度が高いため7度以内の温度格差が容認される。したがってショック状態の患者では急速冷却（温度格差<7度）、緩徐加温（温度格差<5度）が原則となる。以上、安全なICPに向けては外科医、心肺技師と情報を共有し、協議することが必要である。

大血管手術以外での臨床応用

rSO₂は大血管手術麻酔以外でも非常に有用な場面がある。しかし、残念なことに以下に紹介する使用法は、臨床の場面であまり活用されていないのが現状である。

1) 末梢血管手術での有用性

前頭部rSO₂は脳分離対外循環における分枝送血の評価に有効であることはすでに知られている。すなわち、左右の前頭部左右の前頭部rSO₂は腕頭動脈や総頸動脈に挿入した送血管からの血流を反映して鋭敏に変化する²⁾。この現象は四肢末梢でも応用できる。

従来、心房細動の患者などに見られる四肢の動脈血栓閉塞に対する血栓除去や動脈閉塞性硬化症に対する血行再建の効果判定はパルスドップラー検査により行われてきた。しかし、この評価は定性的であり、術中評価としては便利性に乏しい。これに対し、血行障害を来している領域の筋の表在する皮膚にrSO₂センサーを装着すれば、術中、定量かつ連続的に手術効果を評価可能である⁵⁾。パルスオキシメーターを応用した評価も試みられているが、血流が不十分な場合の評価は不正確となる。このような場合であっても四肢筋肉をターゲットとするrSO₂は鋭敏な定量評価が可能であり、血行再建効果を鋭敏に評価できる。術後の再閉塞が心配されるような患者では、術後にベッドサイドモニターとして続けて利用することで、非侵襲的に監視することも可能である。

2) 心肺蘇生時の有用性

rSO₂はパルスオキシメーター（SpO₂）と異なり、非拍動流環境でも測定が可能である。末梢循環不全や心停止のような自己脈が得られないような状況で、絶大な威力を発揮する。すなわち、心臓マッサージを行うような状況ではパルスオキシメーターが有効に機能しないのに対し、rSO₂は状況を良く反映する。すなわち、有効な心マッサージと人工呼吸が行われた場合、脳の酸素供給が維持されるため、rSO₂は上昇する。また、心停止患者を発見した場合、あるいは、手術中の心停止イ

ベントに遭遇した場合、蘇生開始時の rSO_2 は予後を考える上で重要である。これは rSO_2 値が40%以下で、低ければ低いほど、また、その時間が長ければ長いほど脳後遺症につながると考えられるからである。

以上より rSO_2 は心肺蘇生効果の判定に有効であり、手術中はもちろんのこと、救急領域でも臨床応用の有効性が検討されている。

3) 補助循環 (PCPS) 使用時の有用性

心原生ショックではPCPSが導入される場合がある。この場合、体血流を補助するポンプが非拍動性の遠心ポンプであるため、高流量で補助した場合は、脈圧が小さくなる。このような状況では、パルスオキシメーターは有効に機能できない場合が多いのに対し、 rSO_2 は安定した測定が可能である⁶⁾。加えて、仮に拍動流が得られた場合でも、PCPSからの送血が大腿部から行われると、心臓から拍出される血液より酸素化が良好な血液が単径部から送られるため、左右の手の SpO_2 が異なる場合がある。特に間質浮腫により肺での酸素化が高度に障害された場合は、PCPSの補助流量を低下させると、左手 SpO_2 は100%なのに対し、右手 SpO_2 が80-90%と低下する。これは、左手の SpO_2 はPCPS送血を反映するのに対し、右手の SpO_2 は自己心肺血を強く反映するためである。このような状況では全身での酸素供給消費バランスを総合的に評価する上では、混合静脈血(SvO_2)を評価することが推奨されてきた。しかし、まずは前頭部の rSO_2 を評価することが重要である。これは、致死性ショック状態では脳後遺症なく治療することが肝要であり、心臓だけを保護できても治療目的を果たせない。また、緊急でPCPSを装着するような場合は、 rSO_2 は非侵襲的で、かつ簡便確実に行えることから、PCPSの装着前から、ただちに検査を開始し、 $rSO_2 > 50\%$ が得られるように治療を開始し、PCPS装着後も、流量や人工呼吸設定を調節する上で、指標とする。その後、必要があればスワンガツカテーテルを挿入し肺動脈圧や SvO_2 をモニターとして追加し、治療を継続することを我々は推奨する。

4) 患者評価への応用

緊急手術では十分な患者評価をまたず、手術麻酔をしなければならないような場合がある。

このような場合も rSO_2 は非常に有効な情報が得られる。 rSO_2 は非観血的に心拍出の評価に有効である⁷⁾。これは体温、Hb値、Hb酸素飽和度に変化がない環境では、 rSO_2 は心拍出を反映して変化するからである。貧血がなく、体温、 SpO_2 が正常であれば、 rSO_2 は正常値である60-70%を示すことが期待される。心疾患の既往のある患者で、体温が正常で貧血がない、加えてパルスオキシメーターでの SpO_2 は98%と正常、しかし頭部 rSO_2 が45%だった場合はどう考えるべきだろうか。体温、Hb量、Hb酸素飽和度に異常がないのに rSO_2 が低い、これは、酸素消費は正常、供給が低下、酸素供給低下の原因は心拍出が高度に低下しているためと考えられる。したがって、このような症例は低心機能患者と考えられる。心疾患を有する緊急患者や心臓麻酔では、患者入室後、まずは rSO_2 モニターを装着しawake controlを測定する。測定値が低い場合は、心抑制の少ない薬剤を選択し、その後、麻酔導入薬投与の影響を確認しながら、導入を進めることで、導入時のトラブルを軽減できる⁸⁾。低い rSO_2 値を改善させる上では、血中の二酸化炭素を呼気終末二酸化炭素濃度45mmHg程度に貯留させることが有効である。これは炭酸ガス貯留により、脳血管の拡張と交感神経刺激による心拍出増加が得られるためである。低血圧による脳血流低下が心配されるような状況でも、このような呼吸管理を行い、脳血流を維持し、その効果を rSO_2 は評価することができる。

以上、本モニターは大血管手術時の利用にとどまらず、重症患者の麻酔管理に極めて有用である。

参考文献

- 1) Moritz S, Kasprzak P, Arlt, M et al: Accuracy of cerebral monitoring in detecting cerebral ischemia during carotid endarterectomy: A Comparison of Transcranial

- Doppler Sonography, Near-infrared Spectroscopy, Stump Pressure, and Somatosensory Evoked Potentials. *Anesthesiology*, 107 : 563-569, 2007
- 2) Scholl FG, Webb D, Christian K, et al: Rapid diagnosis of cannula migration by cerebral oximetry in neonatal arch repair. *Ann Thorac Surg*, 82 : 325-7, 2006
 - 3) Murkin JM: Cerebral oximetry: Monitoring the brain as the index organ. *Anesthesiology*, 114 : 12-3, 2011
 - 4) Sophie N. Davie, B.Sc.; Hilary P. et al : Impact of Extracranial Contamination on Regional Cerebral Oxygen Saturation: A Comparison of Three Cerebral Oximetry Technologies. *Anesthesiology*, 116 : 834-840, 2012
 - 5) Wakimoto M, Kadosaki M, Nagata H et al: The usefulness of near-infrared spectroscopy in the anesthetic management of endovascular aortic aneurysm repair. *J anesth*, 26 : 932-35, 2012
 - 6) Argiriadou H, Anastasiadis K, Antonitsis P, et al: Use of cerebral oximetry for monitoring cardiac output during off-pump implantation of Jarvik 2000 left ventricular assist device. *Artif Organs*, 34 : 267-71, 2010
 - 7) Paquet C, Deschamps A, Denault AY, et al: Baseline regional cerebral oxygen saturation correlates with left ventricular systolic and diastolic function. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 22 : 840-6, 2008
 - 8) Denault A, Deschamps A, Murkin JM: A proposed algorithm for the intraoperative use of cerebral near-infrared spectroscopy. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth*, 11 : 274-81, 2007