

# 輸液と近赤外分光法モニタリング

日本大学医学部麻酔科学分野 廣瀬倫也

キーワード：近赤外分光法，輸液，ヘモグロビン濃度

連絡先：廣瀬倫也

〒173-8610 東京都板橋区大谷口上町30-1

Tel：03-3972-8111

Fax：03-3972-9448

E-mail：hirose.noriya@nihon-u.ac.jp

## 要 旨

近赤外分光法（NIRS: Near-infrared spectroscopy）によるモニタリングは，脳組織や筋組織の酸素飽和度（ $rSO_2$ ）や循環変化を無侵襲かつ簡便に評価できるため，幅広く臨床で用いられている．NIRSには幾つかの測定法があるが，基本となる測定原理はBeer-Lambert則であり，組織に入射した近赤外光が組織内のヘモグロビンに吸収される特性を利用している．つまり，測定値はヘモグロビン濃度の変化に影響を受けることになり，臨床においては，出血（貧血），輸液（血液希釈）ならびに赤血球輸血の影響を反映する．事実， $rSO_2$ はヘモグロビン濃度と正の相関関係にあり，ヘモグロビン濃度の低下に伴い $rSO_2$ は低下することが知られている．一方，ヘモグロビン濃度の低下はNIRS測定法上の重要な因子である光路長（組織内にて近赤外光が発光器から受光器まで進む距離）を延長させるため，貧血や血液希釈に伴う $rSO_2$ の低下は組織における実際の酸素化状態と一致しない（過大評価される）ことも指摘されている．しかし，現状では，この貧血や血液希釈に伴う光路長延長が $rSO_2$ 低下にどの程度影響するかは明確にされておらず，日常臨床での $rSO_2$ の評価ではヘモグロビン濃度変化の影響が十分に考慮されていない可能性がある．筆者は今回，輸液による血液希釈がNIRS測定値に及ぼす影響について確認する目的で，以前，自身が行った脊髄も膜下麻酔導入後の妊婦の局所脳組織におけるNIRS測定値の変化を調べた研究結果をもとに検討した．その結果，輸液によるヘモグロビン濃度の低下に伴い，局所脳組織の $rSO_2$ （ $\equiv$  TOI）と酸素化ヘモグロビン濃度はいずれも低下し，これらはともに輸液量と負の相関関係にあることが確認された．本稿では，これまでの知見と自身の検証結果をもとに，臨床でのNIRSモニタリングにおいて輸液の影響をどのように評価すべきか提案する．

## <はじめに>

近赤外分光法(NIRS: Near-infrared spectroscopy)によるモニタリングは，局所組織の酸素飽和度( $rSO_2$ )を指標として，組織の酸素代謝変化や循環変化を無侵襲に簡便かつ連続的に評価できるため，幅広く臨床で用いられている．特に，周術期管理においては，高次脳機能障害などの重篤な合併症の発現を未然に防ぐ目的に脳組織を対象とし

たモニタリングが実施されている．NIRSの基本原理はBeer-Lambert則（組織に照射された近赤外光が組織内のヘモグロビンに吸収される性質）であり，測定値は輸液や輸血に伴うヘモグロビン濃度の変化に影響を受ける．事実， $rSO_2$ はヘモグロビン濃度と正の相関関係にあり，ヘモグロビン濃度の低下に伴い $rSO_2$ は低下することが知られている<sup>1,2)</sup>．現状，照射される近赤外光の種類，

表 1 臨床使用されている NIRS モニター

機種名 (最新機種)	INVOS 5100C	NIRO 200NX	FORE-SIGHT ELITE	TOS OR	SenSmart X-100	Reginal Oximetry Root O3
製造メーカー (国内シェア)	メドトロニック ≒ 80%	浜松ホトニクス ≒ 16%	CAS Medical System ?	フジタ医科機器 ≒ 2%	テルモ ?	マシモ ?
酸素飽和度表示	rSO <sub>2</sub>	TOI	StO <sub>2</sub>	rSO <sub>2</sub>	rSO <sub>2</sub>	rSO <sub>2</sub>
酸素飽和度測定原理	SRS法 (非公開)	SRS法(+ MBL法)	MBL法	MBL法	MBL法	MBL法
採用近赤外光	730, 810	735, 810, 850	690, 730, 770, 810, 870	770, 805, 870	730, 760, 810, 880	未公開

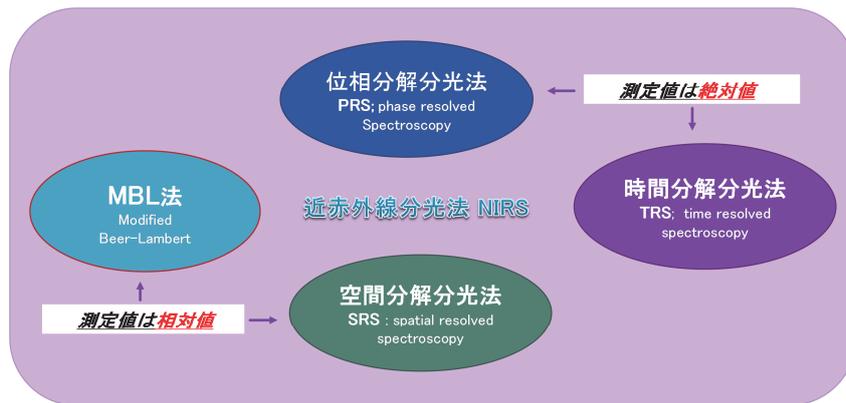


図 1 近赤外分光法の種類

特性および測定値の算出アルゴリズムなどの違いから幾つかの測定方式(図1)が存在するが、(表1)に示す通り、実際に臨床で用いられている殆どの測定機器では、照射近赤外光に定常光を用いる MBL (modified Beer-Lambert) 法および空間分解分光法 (SRS; spatial resolved spectroscopy) が採用されている。そこで、本稿では MBL 法と SRS 法から求まる局所脳組織の NIRS の測定値と輸液との関係について述べる。

<測定法の概要>

1. MBL (modified Beer-Lambert) 法

現在、臨床で使用されている NIRS 機器の多くは MBL 法にて rSO<sub>2</sub> が算出されている (表1)。測定原理の基本は前述の Beer-Lambert 則であり、rSO<sub>2</sub> の算出には酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンによる近赤外光の吸光特性の違いを利用している。機種により違いはあるが、発光器から数種類の波長の近赤外光を組織に照射し、発光器から一定距離に配置された受光器で検出され

る光強度から酸素化ヘモグロビン濃度 (O<sub>2</sub>Hb) と脱酸素化ヘモグロビン濃度 (HHb) を測定する。そして、rSO<sub>2</sub> 値は O<sub>2</sub>Hb と HHb の和である総ヘモグロビン濃度 (cHb) に対する O<sub>2</sub>Hb の割合 (O<sub>2</sub>Hb/cHb) として算出される。ただし、O<sub>2</sub>Hb および HHb の定量化には、光路長という近赤外光が発光器から受光器まで進む距離を測定アルゴリズムに組み込む必要がある。しかし、生体組織に投射された近赤外光は、標的となるヘモグロビン以外に様々な物質 (組織) の存在により散乱したり吸収されたりするため (図2)、実際の光路長は個体間では勿論、同一個体内であっても測定状況の変化に応じて変化する。そのため、MBL 法では光路長情報として平均光路長 (健康人での平均的な光路長) をアルゴリズムに代入し測定値を算出している。つまり、測定された O<sub>2</sub>Hb、HHb および rSO<sub>2</sub> の値は、厳密には絶対値として評価することは難しく、あくまでも相対値として評価する必要がある。

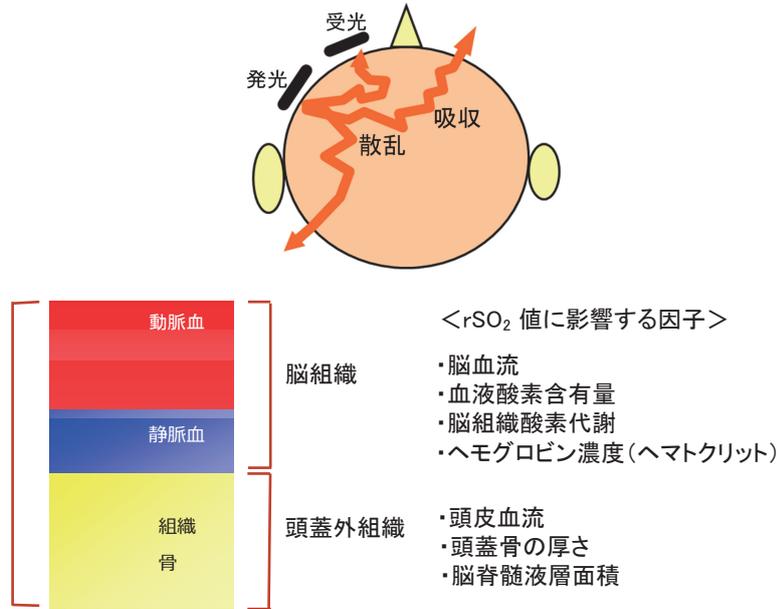


図2 照射された近赤外光に影響を及ぼす因子

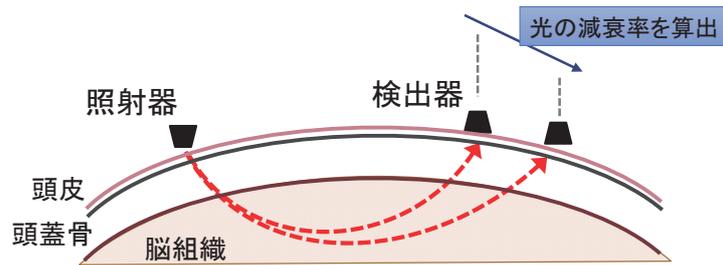


図3 SRS法の概念図

## 2. 空間分解分光法 (SRS; spatial resolved spectroscopy)

本邦で比較的シェアの高いINVOS<sup>TM</sup> 5100 (メドトロニック社製) やNIRO<sup>TM</sup> 200NX (浜松ホトニクス社製) がSRS法を採用している<sup>3)</sup>。本法では、1つの発光器に対して異なる距離に2つ以上の受光器を設置し、それぞれの受光器で検出された光量の差 (減衰率) からrSO<sub>2</sub>が算出される (図3)。その測定アルゴリズムには、MBL法では必要となる光路長の情報は不要であり、本法から求まるrSO<sub>2</sub>値はMBL法から求まるものと比較して頭蓋外組織の影響を受けにくいとされている。事実、Yoshitaniら<sup>4)</sup>によるMBL法とSRS法を比較した研究報告では、SRS法から求まるrSO<sub>2</sub>値は脳

脊髄液層面積ならびに頭蓋骨厚さの影響を受けにくいことが明らかにされている。さらに同報告では、平均動脈圧およびヘモグロビン濃度とrSO<sub>2</sub>との関係についても調べられており、SRS法の方がいずれの因子からも影響を受けにくいことが示されている。この結果は、SRS法は脳組織の酸素飽和度や循環モニタリングの測定方式としてMBL法よりも優れている可能性を示唆するものである。しかし、MBL法と同様、SRS法にて照射される近赤外光は定常光であり、測定状況の変化に応じて散乱や吸収の度合いに変化が生じるため、求まるrSO<sub>2</sub>は絶対値ではなく相対値として評価する必要がある。

「心臓血管麻酔における近赤外線脳酸素モニターの使用指針」

3. 近赤外線脳酸素モニターの基本

3) 使用上の注意点

(2) 平均光路長について

a. 貧血

(抜粋)

ヘモグロビン濃度が低下すると、光量としては吸収されずに遠くまで届く光の量が多くなり平均光路長は延長することになる。貧血の状態では平均光路長を測定した研究では1.3倍程度延長しており、実際の測定値より過大評価される。

図4 日本心臓麻酔学会のガイドライン

< NIRS モニタリングとヘモグロビン濃度 >

表題の通り、本稿では輸液がNIRSの測定値に及ぼす影響について後述するが、その輸液による影響とは血液希釈によるヘモグロビン濃度の低下に他ならない。そのため、まずは血液希釈を含めたヘモグロビン濃度の変化とNIRSモニタリングとの関係について述べる。NIRSの測定値に影響を及ぼす代表的な因子としては、頭蓋骨の厚さ、脳脊髄液層面積、頭皮血流、平均動脈圧およびヘモグロビン濃度が知られている<sup>4,7)</sup>。そのうち、頭蓋骨の厚さはあくまでも個体間に差があるもので、同一個体内では一定である。また、脳脊髄液層面積も急激な脳浮腫などが生じない限り、基本的には同一個体内であまり変化しないと考えられる。つまり、これら頭蓋外組織がNIRSの測定値に及ぼす影響については、測定値を個体間で比較する場合に考慮が必要となる。一方、頭皮血流、平均動脈圧およびヘモグロビン濃度は同一個体内において容易に変動しうる因子であるため、臨床にて一般的に実施されている同一個体への経時モニタリングにおいては、その影響を考慮する必要がある。しかし、実際にわれわれが患者の周術期管理をおこなう際は、患者ごとに目標値は異なるが、脳血流維持のために脳血流自動調節能が働く範囲内に血圧を維持する。したがって、NIRSモニタリング時に平均動脈圧が適切に維持されている場合は、頭皮血流の変化を除き、ヘモグロビン濃度の変化がrSO<sub>2</sub>値に及ぼす影響さえ解かれれば、目的とする脳組織の酸素化（酸素代謝変化）状態をより正確に評価できることになる。

MBL法およびSRS法から求まるrSO<sub>2</sub>の値はともに、ヘモグロビン濃度と正の相関関係にある。つまり、rSO<sub>2</sub>の値は出血や輸液により低下し、赤血球輸血により上昇することになる。一方、ヘモグロビン濃度の変化はrSO<sub>2</sub>の測定値に重要に関与する光路長を変化させることも指摘されている。このことはNIRSモニタリング上の注意点として既に認識されており、事実、NIRSの使用に関するガイドライン等にも記載されている。例として、心臓血管麻酔学会が発行している「心臓血管麻酔における近赤外線脳酸素モニターの使用指針」における該当部分を示す（図4）。この文章を要約すると、「ヘモグロビン濃度が低下した状態でのモニタリングでは、rSO<sub>2</sub>の値は実際の脳組織の酸素化状態よりも低く提示される」ということになる。この点については、以下に紹介する研究報告が重要な根拠となっている。Yoshitaniら<sup>2)</sup>は、人工股関節置換術を受ける患者を対象に、術中の出血に伴うヘモグロビン濃度の変化とINVOS™ 4100Sから求まるrSO<sub>2</sub>および頸静脈球酸素飽和度(SjO<sub>2</sub>)の変化を調べ、rSO<sub>2</sub>は出血によるヘモグロビン濃度の低下に伴い低下したが、SjO<sub>2</sub>は変化しなかったことを報告している。さらにYoshitaniら<sup>8)</sup>は、人工心肺下に心臓外科手術を受ける患者を対象に、人工心肺の導入前、導入中および離脱後のヘモグロビン濃度、NIRO™ 100から求まるrSO<sub>2</sub> (TOI: tissue oxygen index) ならびにO<sub>2</sub>Hb、さらにはNIRSの測定方式の1種であるPRS法 (phase resolved spectroscopy) から求まる光路長をそれぞれ測定し、それらの関

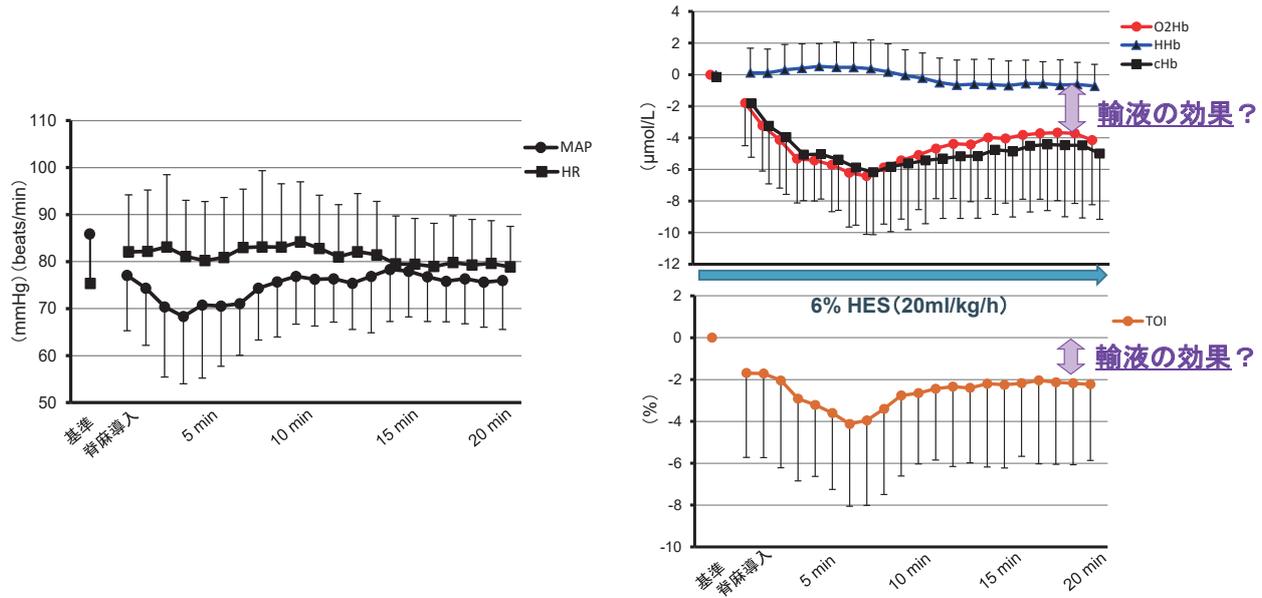


図5 帝王切開術に対する脊髄くも膜下麻酔導入前後の母体のNIRS測定値 (文献11より引用改変)

係性について調べている。その結果では、人工心肺導入によるヘモグロビン濃度の低下に伴いO<sub>2</sub>Hbは低下し、光路長は延長したが、TOIは変化しなかったことが示された。これらの報告からは、ヘモグロビン濃度の変化に対し、光路長は反比例的に、rSO<sub>2</sub>は比例的に変化すること、また、MBL法から求まるrSO<sub>2</sub>の値はSRS法から求まる値に比べて、ヘモグロビン濃度の変化に影響を受けやすいことが改めて理解される。

#### <輸液がNIRS測定値に及ぼす影響>

著者はこれまで、脊髄くも膜下麻酔(脊麻)下に帝王切開術をうける正期産妊婦を対象に、NIRS(NIRO<sup>TM</sup> 100および200NX)を用いて、脊麻導入前後の母体局所脳組織における酸素飽和度指標(TOI)および血液量指標(O<sub>2</sub>Hb, HHbおよびcHb)の経時変化について調べる研究をおこなってきた<sup>9,13)</sup>。いずれの研究結果においても、脊麻導入直後から約5分間に生じた急激な血圧低下に伴い、TOI, O<sub>2</sub>HbおよびcHbはいずれも低下することが確認され、また、低下したこれらの指標は、血圧変動が落ち着くに従い上昇(回復)に転じることが確認された(図5)。したがって、脊麻導入直後のTOIやO<sub>2</sub>Hbの低下は、脳血流自

動調節能が急激な血圧低下に対応しきれずに生じたものと考えられた。一方、血圧の安定とともに上昇に転じたTOIやO<sub>2</sub>Hbは、脊麻導入から20分が経過しても基準値レベルまでの回復に至らなかった。この結果は、脳血流自動調節能の理論と矛盾するが、測定中には比較的急速に膠質輸液がおこなわれており、また、手術開始前で出血もないため、純粋に輸液による血液希釈(ヘモグロビン濃度の低下)の影響を反映したものと推察できる。そこで今回、これまでの自身の研究データを用いて輸液量とNIRSの測定指標との関係について再検証した。

過去の研究データを抽出し、(図6)に示した方法で検証した。検索項目については、輸液量とNIRSの測定値変化の算出には実測値を用い、ヘモグロビン濃度変化(推定値)は、ヘモグロビン術前検査値(実測値)、体重から推定した循環血漿量(正期産妊婦では35%増加と仮定)および輸液量から算出した。検証項目は、輸液前後のヘモグロビン濃度変化とNIRSの各種測定値変化、総輸液量と輸液前後のNIRS測定値変化量との相関性とした。その結果、総輸液量平均703 mlに対し、ヘモグロビン濃度は約1.5 g/dL, O<sub>2</sub>HbとcHbはともに約4 μmol/L, TOIは約-3%輸液

(検索条件)

対象患者: 脊髄クモ膜下麻酔下に予定帝王切開術をうけた正常産婦 (n=72)  
除外症例: 酸素投与、昇圧薬投与患者

NIRS 装置: NIRO 100 または NIRO 200NX (浜松ホトニクス社製)

輸液: 6% HES 製剤 (ボルベン®) 20 ml/kg/h (麻酔導入前～導入後 20 分)

(検索項目)

① 輸液前後のヘモグロビン濃度変化と NIRS 測定値変化

<ヘモグロビン濃度(推定値)の算出>

- ・術前循環血漿量(推定量): 体重×1/13×1.35
- ・術前ヘモグロビン濃度(術前検査値)

輸液前ヘモグロビン濃度

- ・輸液量(実投与量)
- ・術後循環血漿量(推定値): 術前循環血漿量(推定量)+輸液量(実投与量)

輸液後ヘモグロビン濃度

② 輸液量と NIRS 測定値変化の相関性

<NIRS の測定項目>

- ・O<sub>2</sub>Hb(酸素化Hb濃度)
- ・HHb(脱酸素化Hb濃度)
- ・cHb(総Hb濃度)
- ・TOI(組織酸素化指数)

図6 輸液による NIRS 測定値変化の検証方法

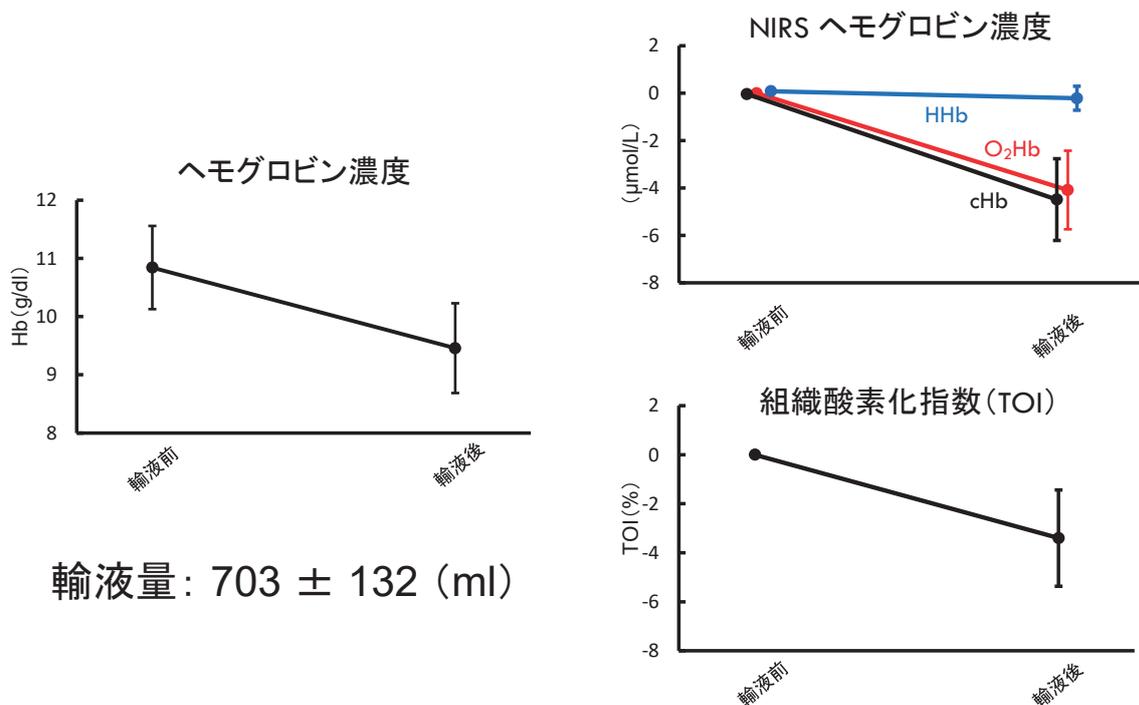


図7 輸液前後のヘモグロビン濃度変化と NIRS 測定値の変化

前からそれぞれ低下し、HHbは変化しなかった(図7)。また、輸液量とO<sub>2</sub>Hb、cHbおよびTOIの変化量との間には中等度の負の相関関係を認めましたが、輸液量とHHb変化量には相関を認めなかった(図8)。これらの結果は、前述したヘモグロビン濃度とrSO<sub>2</sub>との関係性と一致するものであったが、HHbがヘモグロビン濃度の低下に対

して変化せず、輸液量とも相関性を示さなかった結果は注目すべき点である。HHbはO<sub>2</sub>HbとともにMBL法から測定され、O<sub>2</sub>Hb、HHbならびにcHb(O<sub>2</sub>Hb+HHb)それぞれの変化の様式から組織で生じている現象を鑑別することができる。本検証結果では、O<sub>2</sub>HbとcHbはともに低下し、HHbは変化しなかった。このO<sub>2</sub>HbとcHbの変

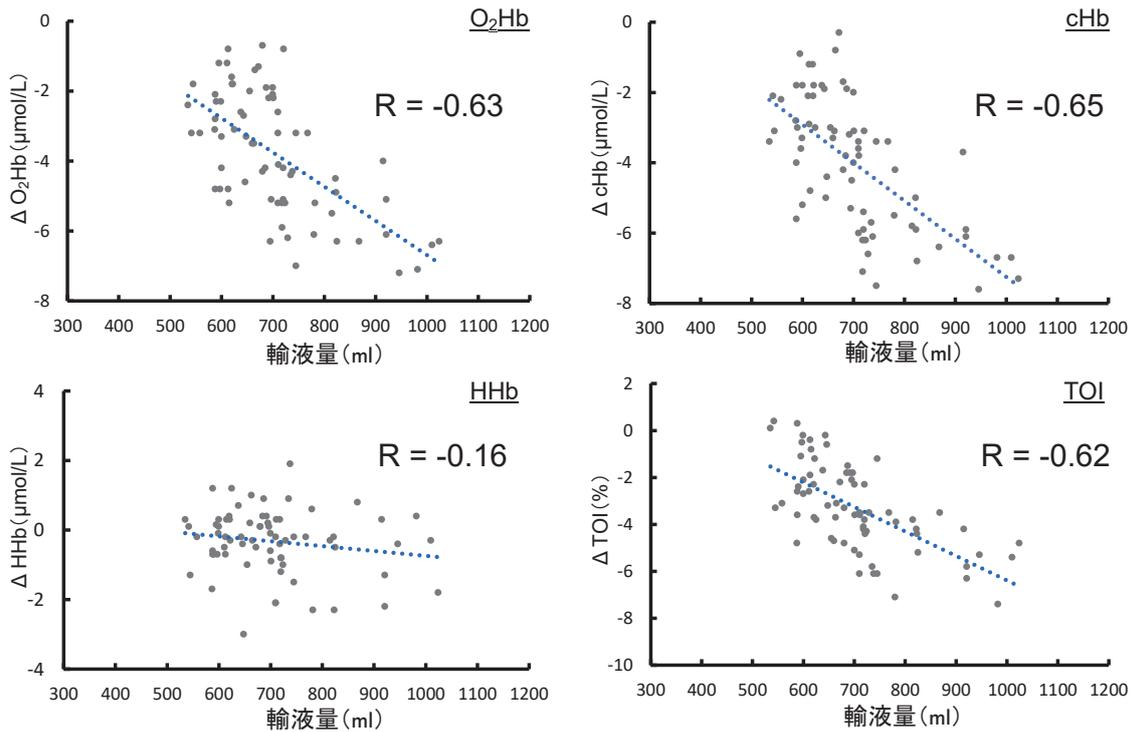


図8 輸液量と NIRS 測定値変化の相関性

化は虚血が疑われる場合の所見と同様だが、虚血の場合はHHbが上昇する。HHbの上昇は、虚血状態を含め酸素消費が供給を上回った場合にみられる。また、血液酸素飽和度と血流が一定の場合、ヘモグロビン濃度の低下は組織への酸素供給の低下に繋がる。これらを考え合わせると、本検証で認めたNIRS指標の変化は、ヘモグロビン濃度の低下により酸素供給は低下傾向となったが、消費に対しては充足している状態であったと評価できる。したがって、本検証の結論としては、輸液はヘモグロビン濃度の低下を介してrSO<sub>2</sub> (TOI) を低下させるが、1.5 g/dL程度のヘモグロビン濃度の低下では酸素供給は保たれるということになる。

<rSO<sub>2</sub>評価におけるヘモグロビン濃度の重要性>

先に述べた通り、現在、臨床で使用されているNIRS機器にて測定されるrSO<sub>2</sub>は、ヘモグロビン濃度を含め様々な因子から影響を受けるため、相対値として評価する必要がある。そのため、正常値や危険閾値も明確に定まっておらず、実際には各使用者がこれまでの知見<sup>14, 15)</sup>を頼りに評価を

おこなっている。この項では、rSO<sub>2</sub>低下の一般的な危険閾値（基準値から20%以上の低下、表示値が50%以下）を例に、臨床でのrSO<sub>2</sub>低下に対しヘモグロビン濃度の変化が実際にどの程度関与するのかについて考察する。磯部ら<sup>16)</sup>は、瀉血とアルブミン投与を繰り返してヘモグロビン濃度を低下させる新生仔豚の急性貧血モデルに、測定値を絶対値として評価できるTRS法（time resolved spectroscopy）を採用したNIRS機器を用いて、ヘモグロビン濃度変化とrSO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>Hb、HHbおよびcHbの変化との関係について調べている。その結果では、ヘモグロビン濃度が7～17g/dLの範囲においては、rSO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>HbおよびcHbはヘモグロビン濃度の低下とともに低下し、HHbは変化しないことが示された。このヘモグロビン濃度変化とNIRS測定値変化との関係は、前述のMBL法やSRS法を用いた臨床研究の結果と同様であるが、この実験でのNIRSの測定値は絶対値である。したがって、この結果に臨床で知られているrSO<sub>2</sub>低下の危険閾値をあてはめると、臨床でのモニタリング上、ヘモグロビン濃度がど

rSO<sub>2</sub>の正常値: 60~75%

rSO<sub>2</sub> 低下の危険閾値:

- ・ 基準値から **20% 以上の低下**
- ・ 表示値が **50% 以下**

例えば...

- ① 基準値 65% ⇒ 20%低下 ≒ 52% (危険閾値)
- ② 表示値 ≤ 50%

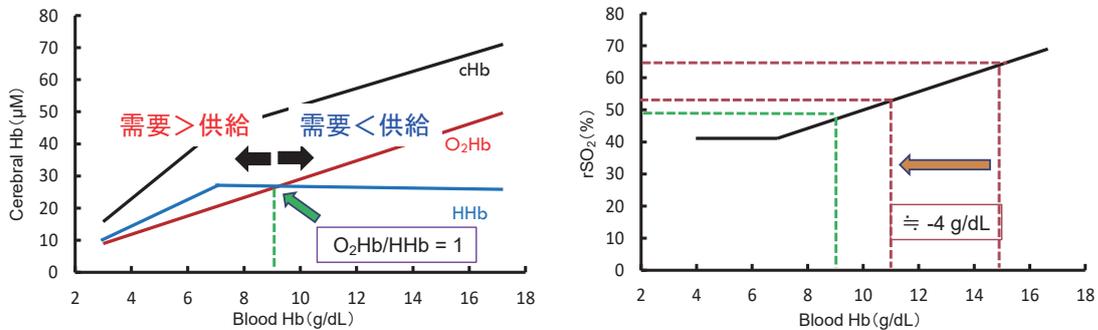


図9 rSO<sub>2</sub> 低下の危険閾値とヘモグロビン濃度 (文献 17 より引用改変)

れくらい低下すればrSO<sub>2</sub>の低下が危険閾値に達するかがわかる。(図9)に示すように、例えば、rSO<sub>2</sub>が基準値から20%低下した場合を危険閾値とすると、僅か4 g/dLのヘモグロビン濃度の低下によりrSO<sub>2</sub>は危険閾値に達することになる。また、rSO<sub>2</sub>の表示値が50%に低下した場合、つまりO<sub>2</sub>Hb/HHb = 1を危険閾値とすると、ヘモグロビン濃度が9 g/dLにまで低下すると危険閾値に達することになる。この研究は動物実験であるため、ヒトでの評価と同様に扱えるかどうかについては議論の余地がある。しかし、MBL法やSRS法から求まるrSO<sub>2</sub>は、ヘモグロビン濃度が低下した場合に実際の酸素飽和度よりも低く表示されるという事実を考慮すると、ヘモグロビン濃度の低下が僅かであっても、それがrSO<sub>2</sub>の低下に大きく影響することは間違いないと思われる。

#### <rSO<sub>2</sub>が低下した場合の対応>

rSO<sub>2</sub>を低下させる因子は多岐にわたるが、同一患者への経時モニタリング時に限れば、脳組織の血流低下、動脈血酸素含有量の低下、酸素代謝の亢進およびヘモグロビン濃度の低下が主たる要因となる。これらは、それぞれ単独で原因になる場合もあるが、実際には幾つかの要因が重なり

rSO<sub>2</sub>の低下に繋がることも少なくない。そのような場合は原因の特定が難しくなるが、ヘモグロビン濃度は僅かな低下であってもrSO<sub>2</sub>の低下に関与することを鑑み、まずはヘモグロビン濃度の低下の有無を確認すべきと考える。その上で、ヘモグロビン濃度の低下が原因として判断される場合は、赤血球輸血によるヘモグロビン濃度の補正が根本的かつ理想的な対応となる。しかし、状況により差はあるものの、輸血にてヘモグロビン濃度を上昇させるには多少の時間を要する。また、治療方針や副作用などの様々な理由により、輸血自体が憚られることもある。したがって、当面は、吸入気酸素濃度を上昇させるなど、動脈血の酸素含有量を増やすことが現実的な対応になると思われる。

#### <まとめ>

今回、輸液や出血がrSO<sub>2</sub>をはじめとするNIRSの測定値に及ぼす影響について考察した。輸液や出血に伴うヘモグロビン濃度の低下は、rSO<sub>2</sub>の低下に大きく影響する。臨床でのNIRSモニタリングでは、輸液や出血の影響を念頭に評価をおこなう必要がある。

参考文献

- 1) 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* 15: 302-6, 2003
- 2) Yoshitani K, Kawaguchi M, Iwata M, et al: Comparison of changes in jugular venous bulb oxygen saturation and cerebral oxygen saturation during variations of haemoglobin concentration under propofol and sevoflurane anaesthesia. *Br J Anaesth* 94: 341-6, 2005
- 3) 川口昌彦, 吉谷健司, 石田和慶, ほか: 本邦における周術期の近赤外線脳酸素モニター使用の現状. *日臨麻会誌* 35 : 651-9, 2015
- 4) Yoshitani K, Kawaguchi M, Miura N, et al: Effects of hemoglobin concentration, skull thickness, and the area of the cerebrospinal fluid layer on near-infrared spectroscopy measurements. *Anesthesiology* 106: 458-62, 2007
- 5) Kobayashi K, Kitamura T, Kohira S, et al: Factors associated with a low initial cerebral oxygen saturation value in patients undergoing cardiac surgery. *J Artif Organs* 20: 110-6, 2017
- 6) Sophie ND, Hilary PG: Impact of extracranial contamination on regional cerebral oxygen saturation: A comparison of three cerebral oximetry technologies. *Anesthesiology* 116: 834-840, 2012
- 7) Sorensen H, Secher NH, Siebenmann C, et al: Cutaneous vasoconstriction affects near-infrared spectroscopy determined cerebral oxygen saturation during administration of norepinephrine. *Anesthesiology* 117: 263-270, 2012
- 8) Yoshitani K, Kawaguchi M, Okuno T, et al: Measurements of optical pathlength using phase-resolved spectroscopy in patients undergoing cardiopulmonary bypass. *Anesth Analg* 104: 341-6, 2007
- 9) Kondo Y, Sakatani K, Hirose N, et al: Effect of spinal anesthesia for elective cesarean section on cerebral blood oxygenation changes: comparison of hyperbaric and isobaric bupivacaine. *Adv Exp Med Biol* 765: 109-14, 2013
- 10) Hirose N, Kondo Y, Maeda T, et al: Oxygen supplementation is effective in attenuating maternal cerebral blood deoxygenation after spinal anesthesia for cesarean section. *Adv Exp Med Biol* 876: 471-7, 2016
- 11) Hirose N, Kondo Y, Maeda T, et al: Relationship between regional cerebral blood volume and oxygenation and blood pressure during spinal anesthesia in women undergoing cesarean section. *J Anesth* 30: 603-9, 2016
- 12) Hirose N, Kondo Y, Maeda T, et al: Prophylactic infusion of phenylephrine is effective in attenuating the decrease in regional cerebral blood volume oxygenation during spinal anesthesia for cesarean section. *Int J Obstet Anesth* 37: 36-44, 2019
- 13) Kondo Y, Hirose N, Maeda T, et al: Relation between changes in regional cerebral blood volume and oxygenation and changes in cardiac output and systemic vascular resistance during spinal anesthesia in women undergoing cesarean section. *J Anesth* 33: 579-586, 2019
- 14) Beese U, Langer H, Lang W, et al: Comparison of near-infrared spectroscopy and somatosensory evoked potentials for the detection of cerebral ischemia during carotid endarterectomy. *Stroke* 29: 2032-37, 1998
- 15) Moritz S, Kasprzak P, Arlt M, et al: Accuracy of cerebral monitoring in detecting cerebral ischemia during carotid endarterec-

tomy: A comparison of transcranial doppler sonography, near-infrared spectroscopy, stump pressure, and somatosensory evoked potentials. *Anesthesiology* 107: 563-9, 2007

16) 磯部健一：近赤外線時間分解分光法による新

生児期の貧血と多血症における脳内酸素化に関する研究. 文部科学省科学研究費補助金研究成果報告書 2012 <https://kaken.nii.ac.jp/ja/file/KAKENHI-PROJECT-20591299/20591299seika.pdf>