

Title	近赤外分光法による非侵襲的脳酸素代謝モニタリング
Sub Title	
Author	斎藤, 良一(Saito, Ryoichi) 市来 啓, 潔(Ichikizaki, Kiyoshi)
Publisher	慶應医学会
Publication year	2004
Jtitle	慶應医学 (Journal of the Keio Medical Society). Vol.81, No.2 (2004. 6) ,p.109- 115
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	講座
Genre	Journal Article
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00069296-20040600-0109">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00069296-20040600-0109</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

講 座

## 近赤外分光法による非侵襲的脳酸素代謝モニタリング

独立行政法人国立病院機構東京医療センター脳神経外科

さいとう りょう いち いち きざき きよし  
齋 藤 良 一・市来 潔

**Key Words :** near-infrared spectroscopy, cerebral oxygenation, monitoring

### はじめに

脳は虚血や低酸素に対して容易に障害を受けやすく、脳酸素代謝モニターは脳神経外科や救急医療の場において極めて重要である。その侵襲的モニタリング法として、血管内にカテーテルを挿入することにより内頸静脈酸素飽和度測定が行われているが、より簡便な脳の非侵襲的酸素モニタリングが望まれる。従来、脳の非侵襲的モニターは厚い頭蓋骨があるため困難とされたが、近赤外線分光分析装置の出現により頭皮から可能となった。近赤外線分光法は近赤外光が生体組織を透過する際、血液中のヘモグロビンが近赤外光を吸収し、その酸素化状態により吸光度が変化することを利用して酸化、還元ヘモグロビンの濃度変化を測定している。この装置は開発当初の1980年代は頭蓋骨が薄く光学的に有利である新生児の脳研究に主に応用されてきた。モニタープローブは近赤外光照射部と光検出部からなる。光検出器は脳組織や頭蓋骨の影響で極めて減衰された光を正確に測定するため超高感度であることが要求される。この分野では日本の技術力がすばらしく、ノーベル物理学賞を昨年受賞された小柴昌俊博士のニュートリノの研究で有名になったカミオカンデの心臓部である光電子増倍管を開発した浜松ホトニクス社が作成した近赤外線分光分析装置 NIRO 500 により成人の脳酸素モニターを確実にした。これにより成人においても脳の酸化および還元ヘモグロビン濃度の変化を相対的に経時的に観察されるようになった。しかし、その変動を相対的に評価することが可能であるが、絶対的評価ができずその使用は限られていた。その後さらに改良され、これまでの機能に加え絶対的指標である脳内の総ヘモグロビン濃度に対する酸素化ヘモグロビンの割合 (tissue oxygenation index, TOI) の測定を可能にした近赤外線分光分析装置 NIRO 300 が1998

年に開発された。これにより幅広い臨床応用がより現実的となった。当院ではこの装置を導入しその臨床応用を研究してきたが、プローブを頭皮に密着させるだけで極めて簡便に脳の酸素モニターができその有用性が明らかになってきた。以下に測定装置の基本原理とモニタリングの実際についてこれまでの報告例を紹介しながら述べる。

### 測 定 法

#### 1. 測定原理

近赤外線分光法 (near infrared spectroscopy, NIRS) は吸光物質を含む溶液に光を照射した時の光の減衰と吸光物質の濃度の関係を示す Beer-Lambert の法則を基に光の散乱を考慮して導かれた modified Beer-Lambert 法を基本測定原理としている<sup>1)</sup>。これは次ぎのように表される。 $\Delta OD = \epsilon(\lambda) \cdot \Delta c \cdot d \cdot B$

$\Delta OD$  : 吸光度の変化,  $\epsilon(\lambda)$  : モル吸光係数,  $\lambda$  : 光の波長  $\Delta c$  : 吸光物質濃度変化  $d$  : 距離,  $B$  : differential pathlength factor

すなわち吸光度の変化を測定することにより吸光物質の濃度変化を計算することができる。組織内の酸化、還元ヘモグロビン、酸化チトクロームオキシダーゼは近赤外光を吸収するためこれらの濃度変化を相対的に測定することができる。

また NIRS を用いた測定法として modified Beer-Lambert 法以外に空間分解分光法 (spatial resolved spectroscopy) がある。空間分解分光法では測定部位の異なる複数の受光部からなるプローブを用いて入射光の減衰の程度を測定している。

距離 ( $\rho$ ) に対する吸光度 (OD) の変化率 ( $\partial OD / \partial \rho$ ) は次式で表される。

$$\partial OD / \partial \rho = 1 / \ln 10 \cdot (\sqrt{3} \epsilon^*(\lambda) k \cdot c + 2 / \rho) k$$

k : 光散乱特

性を表す未知定数

複数の受光部のプローブより測定された吸光度 (OD) の変化率より相対濃度  $k_c$  を以下のように求める。

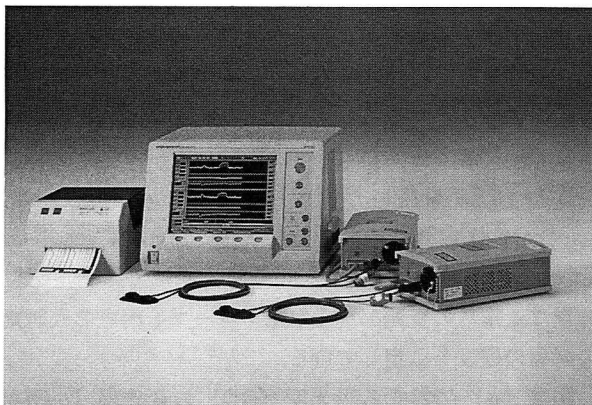
$$k_c = 1/3\epsilon(\lambda) * (\ln 10 * \partial OD / \partial \rho - 2/\rho)^2$$

これにより酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンの相対濃度が求められ次式により総ヘモグロビン濃度に対する酸素化ヘモグロビン濃度の割合である TOI (tissue oxygenation index) を計算することができ、絶対的指標として用いることができる。

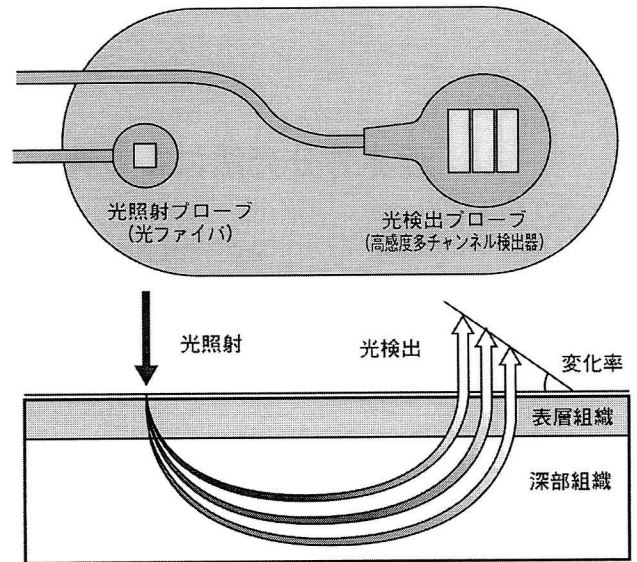
$$TOI = (HbO_2 / (HbO + HbR)) * 100$$

また位相分解分光法や時間分解分光法により絶対濃度を測定することが可能であるが測定が煩雑で装置も高額となり普及していない。

モニタープローブは近赤外光照射部と光検出部からなるが、NIRO300では光源として4波長の半導体レーザーが用いられ照射プローブへ導かれる。照射強度はレーザークラス1で生体に安全である(国際規格, IEC60825-1に基づく)。検出器は照射部から通常5cm離れており3mm間隔で配列された3つの受光素子(シリコンフォトダイオード)からなる(第1図, 第2図)。中央の受光素子より吸光度の時間変化を測定し modified Beer-Lambert 法により吸光物質の濃度変化を測定し、3つの受光素子の受光光量の差より吸光度の変化率を測定し SRS 法により TOI 値を算出している。これにより酸化ヘモグロビン濃度変化、還元ヘモグロビン濃度変化、総ヘモグロビン濃度変化、チトクロームオキシダーゼの濃度変化、TOI 値が表示される。測定は最短0.5秒間隔で行なわれ連続表示されるため短時間の変化をリアルタイムで表示可能である。



第1図 NIRO 300 本体



第2図 NIRO 300 プローブ

## 2. 測定部位

頭皮から測定した NIRS は頭蓋外組織の骨や頭皮の血流をどの程度反映しているのかという問題が生じる。これについては種々の検討がなされている。プローブの近赤外線照射部と検出部は5cm離れているが、頭蓋に入射した光が脳組織で反射された反射光を検出している。この照射部と受光部の間隔が広がると頭蓋内の寄与が大きく、頭皮、頭蓋の影響を減少させる。照射プローブと光検出部をバナナ状につなぐ領域が測定領域となるが<sup>2)</sup>、その距離が4cmなら脳表より0.45-1.35cmの深さではNIRSで測定した酸化ヘモグロビン、還元ヘモグロビン、総ヘモグロビン変化はいずれもPET (Positron Emission Tomography) で測定した局所脳血流変化と有意に相関し、さらに脳表から2.7cmの深さまではNIRSで捕らえた総ヘモグロビンの変化はPETで測定した局所血流変化と有意な相関を示したと報告されている<sup>3)</sup>。

また頸動脈内膜剥離術中に外頸動脈と内頸動脈をクランプした際の前頭部から記録した TOI 値の変動を、Laser Doppler Flowmetry (LDF) による皮膚血流、Transcranial Doppler を用いた患側中大脳動脈の mean Flow Velocity (FV) の変動と比較した研究がある<sup>4)</sup>。外頸動脈のクランプにより60例全例で皮膚血流は低下したが、TOI 値は8例を除き52例で変動しなかった。TOI 値が変動した8例では外頸動脈クランプに伴い平均血圧の変動が  $\Delta FV$  の変動がみられ体血圧、頭蓋内外の側副路の存在による影響が強く疑われた。内

頸動脈クランプにより FV は 60 例中 56 例で変動し, このうち TOI 値は 49 例で変動した. FV が変化しなかった 4 例で TOI 値が変動した例は認められなかった. この結果 FV 変動に対する TOI 値の感度と特異度はそれぞれ 87.5%, 100% であった. また内頸動脈クランプに伴う TOI 値の変動 (% change TOI) と FV の変動 (% change FV) では有意な正の相関関係が見られたが, TOI 値 (% change TOI) の変動と LDF の変動 (% change LDF) では相関関係は認められなかった. これらの結果は TOI は高い感度と特異度を持って脳の酸素化を反映していることを示している.

また頭蓋内のどこのヘモグロビンを捉えているかも問題となる. 測定領域には動脈, 毛細血管, 静脈が含まれるが NIRS ではすべての血管のヘモグロビンの情報を得ている. 脳血管の静脈相は約 70% であるといわれ NIRS のデータは静脈血のヘモグロビンの酸素化状態に大きく影響されると考えられている. しかし心臓血管外科手術の際の人工心肺中に得られた TOI 値と内頸静脈酸素飽和度 (SjO<sub>2</sub>) を比較検討した報告があるが, 両者に相関は認められていない<sup>9)</sup>. SjO<sub>2</sub> の変動は TOI の変動より有意に大きく, SjO<sub>2</sub> のほうがより鋭敏に変化するとも言われている. SjO<sub>2</sub> は脳全体の酸素代謝を反映するが NIRS では局所的な酸素代謝情報を得ており, これら測定部位の違いや変化に対する sensitivity の相違により両者は必ずしも相関しないと考えられている. NIRO では脳局所組織内のヘモグロビン, すなわち動脈血, 毛細管, 静脈血のヘモグロビンの総和を捕らえていると解釈すべきである.

NIRS の測定領域に血腫が存在すると血腫のヘモグロビンの影響を受けることがあるので注意する必要がある. しかしこれを応用して Gopinath<sup>9)</sup>らは頭部外傷患者において頭蓋内血腫のある半球側と血腫のない対側半球における NIRS の吸光度を比較して血腫の診断について研究した. 吸光度の変化 ( $\log_{10}(I_N/I_H)$  IN: 血腫対側における反射光強度, IH: 血腫側における反射光強度) は硬膜下血腫, 硬膜外血腫の厚さが 1.5 cm 以下では厚さと有意に相関した. また NIRS の変化は脳圧変化や神経所見の変化より早く現れ, 頭部外傷後の遅発性脳内血腫を NIRS により早期に診断することが可能と報告している.

### 3. モニタリング法

NIRO 300 ではプローブを 2 つ有し体表上に装着するのみで酸化-還元ヘモグロビン濃度変化, 総ヘモグロビン濃度変化, 酸化一還元チトクローム変化および

TOI を 2 か所よりモニタリングできる. 通常頭髪のない前額部に装着し前頭葉の情報を得るが, 運動領野や視覚領野などを測定する際はそれぞれの部位に装着することが求められる. 救急領域では脳のみならず全身の酸素代謝障害も把握する必要があり, 脳と全身の酸素代謝の指標として筋肉の TOI を測定するため我々はプローブを前額部と上腕部に装着している. プローブの装着に際し, プローブと皮膚を密着させプローブを遮光用のラバーで覆うようにする.

## モニタリングの実際

### 1. 神経活動時の脳酸素代謝の変動

正常者において神経活動時の脳酸素代謝の変動を NIRS により捉えることが可能である. 手指運動負荷により運動中枢での脳血流が増加し, 一般に酸化ヘモグロビンと総ヘモグロビンが増加し還元ヘモグロビンは低下する<sup>7,8)</sup>. 計算や言語活動時では左前頭葉においては酸化ヘモグロビン, 総ヘモグロビンは増加し還元ヘモグロビンは変化しないか減少する<sup>9,10)</sup>. 光刺激では後頭葉において酸化ヘモグロビン, 総ヘモグロビンは増加するが還元ヘモグロビンの変化は一様ではないと報告されている<sup>11-13)</sup>. PET を用いた研究では神経活動時には脳血流は平均 40% 増加するものの脳酸素消費量 (CMRO<sub>2</sub>) は平均 5% の軽度増加にとどまる結果, 脳酸素摂取率 (OEF) は減少するいわゆる luxury perfusion を示すといわれている<sup>14)</sup>. 神経活動時の NIRS の結果は一般に神経活動時には著明な脳血流増大にともない総ヘモグロビン, 酸化ヘモグロビンは増加するが, それに比べ還元ヘモグロビンの変化が小さいため静脈内では見かけ上変化しないかむしろ減少するものと考えられている.

しかし神経活動時の NIRS は健常者において必ずしも様な変化を示すわけではない. 言語活動時の左前頭葉における NIRS 変化は 3 型に分類される<sup>15)</sup>. パターン A は言語活動時に酸化ヘモグロビンと総ヘモグロビンが増加するもの, パターン B は逆に酸化ヘモグロビンと総ヘモグロビンが減少するものでパターン A と B では還元ヘモグロビンは低下ないしは変化しない, パターン C は酸化ヘモグロビンと総ヘモグロビンが増加し還元ヘモグロビンも増加するものである. これらの型のうちパターン A がもっとも多く見られる. このパターンの出現は年齢の影響を大きく受け, 高齢では若年者にくらべパターン A の頻度は減少しパターン B, C の頻度が増加するのに対して, 若年者ではパターン A が大半でパターン B, C は少ない. また高齢者では言語活動時の

酸化ヘモグロビンと総ヘモグロビンの増大反応が低下することも報告されている<sup>9)</sup>。

また疾患によりこの反応が変化する。脳卒中後の失語症症例では言語活動時における NIRS 変化はパターン C が最も多くなる<sup>10)</sup>。失語症症例では言語活動に際し正常者よりも酸素消費量が亢進していることが推測される。健常者では言語活動に際し、左前頭葉のみならず左頭頂葉においても総ヘモグロビンと酸化ヘモグロビンの上昇がみられるが、アルツハイマー病では左頭頂部における両者の上昇はみられず、逆にともに減少することが報告される<sup>9)</sup>。

精神神経科領域では精神分裂病（統合失調症）患者において mirror drawing task 施行時の両側前頭葉における NIRS 変化を記録した報告がある<sup>10)</sup>。健常者では左または両側前頭葉で酸化ヘモグロビンと総ヘモグロビンは上昇し、還元ヘモグロビンは減少したのに対し精神分裂病症例では task 時に左前頭葉では NIRS が変化せず右前頭葉で総ヘモグロビン、酸化ヘモグロビンがむしろ減少する変化や左前頭葉では総ヘモグロビン、酸化ヘモグロビンの上昇があるものの右前頭葉では逆に総ヘモグロビンが減少するなど奇異な現象（dysregulated pattern）が観られ半球間の統合障害と関連していると報告されている。

## 2. 術中モニタリング

脳神経外科領域では頸部内頸動脈狭窄に対する頸動脈内膜剥離術（CEA）において、術中頸動脈一時遮断に伴い発生する脳虚血の酸素代謝モニタリングとして用いられている。NIRS は前頭部よりモニターし、脳波や SEP（体性感覚誘発電位）と組み合わせて用いられている。内頸動脈遮断による脳虚血により通常酸化ヘモグロビンが減少し、還元ヘモグロビンが増加し、総ヘモグロビンと TOI は減少する。CEA の術中に NIRS と Transcranial Doppler を用いた患側中大脳動脈の mean Flow Velocity (FV) の変動を比較すると<sup>17)</sup>、内頸動脈クランプに伴い低下する酸化ヘモグロビン濃度と mean FV の減少は有意に相関した。また酸化ヘモグロビンが  $6.8 \mu\text{M/l}$  以上低下した症例では、全例脳波の抑制化を来し中大脳動脈血流速度が 60% 以上の低下する高度脳虚血を示し、酸化ヘモグロビンが  $5 \mu\text{M/l}$  未満の低下にとどまった症例では高度脳虚血を呈した症例は皆無であったことから NIRS を用いて高度脳虚血を生じる閾値を求めることが可能であると報告されている<sup>17)</sup>。TOI 値については後述するが、我々の施設では TOI 値が内頸動脈遮断中に 60% 以上保たれることを指標とし

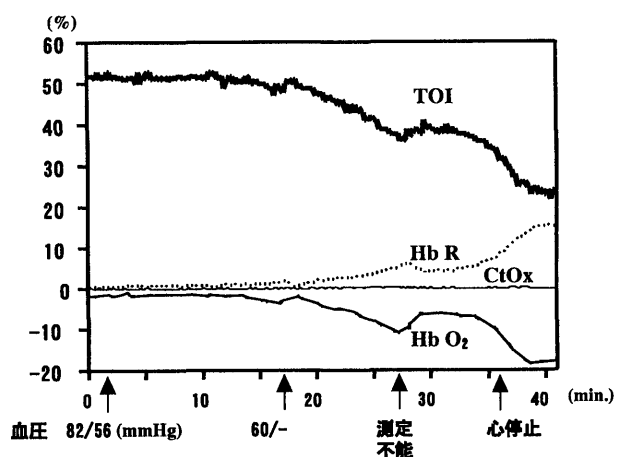
ている。

また CEA 以外に心臓血管外科手術の人工心肺中の脳虚血のモニタリングとして NIRS が使用されている<sup>5)</sup>。また内頸動脈閉塞術を要する脳動脈瘤症例では、処置に先行して内頸動脈バルーン閉塞テストを行なうが、テストの判定に NIRS が用いられている。

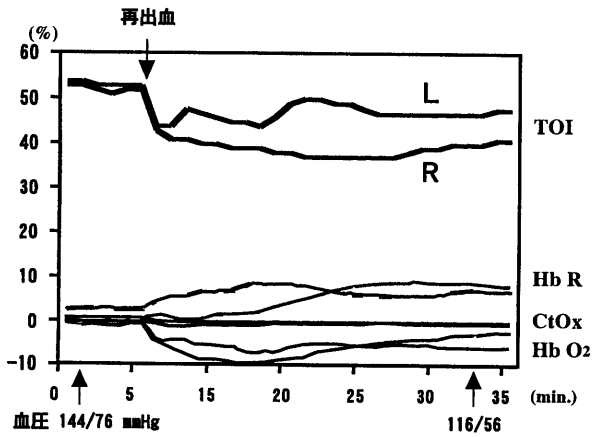
## 3. 救命救急領域における NIRO 300 モニタリング

NIRO 300 は近年開発された装置であり TOI の測定が可能である。それまでは酸化、還元ヘモグロビンの相対的変動の観察が可能であったものの絶対的指標がなく、症例毎の脳酸素代謝の経時的变化を観察することに NIRS が使用されてきた。このため症例ごとの酸素代謝障害の絶対評価は行なわれず、救命センターでの NIRS の使用は限られていた。TOI により症例間の比較が可能となったが、TOI のモニタリングについての報告は少なく我々は TOI の変動と正常値と異常値について検討した<sup>18)</sup>。当院で NIRO 300 によりモニターした症例を以下に示す。プローブは前額部に装着した。また症例により全身の酸素代謝障害の指標として筋肉の NIRS を捕らえるために前腕部にもプローブを装着した。

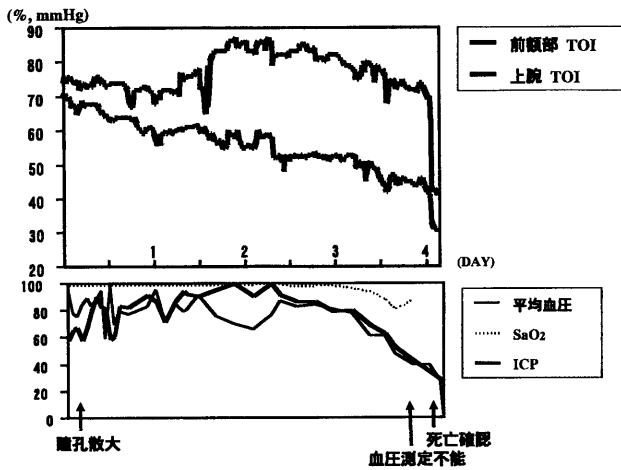
症例 1（第 3 図）：45 歳 男性。意識レベル 300 (JCS) で入院した重症くも膜下出血の患者である。両側瞳孔散大しており保存的に加療したが次第に血圧低下、心停止にいたった。前額部に装着したプローブより脳の TOI を測定した。入院時は約 50% であったが、血圧低下に伴い酸化ヘモグロビン (Hb O<sub>2</sub>) は減少、還元ヘモグロビン (Hb R) は増加し TOI は低下した。TOI は心停止後約 20% まで低下した。



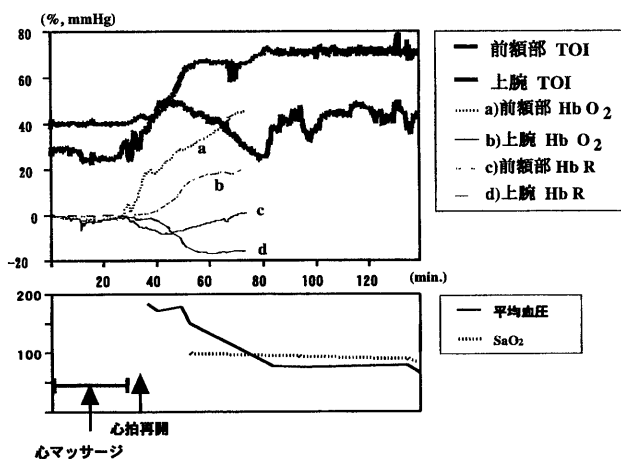
第 3 図 症例 1 心停止を来した症例における NIRS 変化



第4図 症例2 くも膜下出血後再出血を来した症例における NIRS 変化



第5図 症例3 脳圧亢進症例における NIRS 変化



第6図 症例4 心肺停止後蘇生した症例における NIRS 変化

症例2 (第4図): 84歳 女性. 意識レベル 100 (JCS) で入院したくも膜下出血の患者で, 両側の前額部にプローブを装着した. 測定された脳の TOI は約 55% であった. 入院後再出血を来し両側瞳孔散大した. 再出血後酸化ヘモグロビンは急激に減少, 還元ヘモグロビンは増加し TOI は急速に低下し 40% 台となった.

症例3 (第5図): 51歳 女性. 重症くも膜下出血で入院. 脳圧 (ICP) をモニターし, さらに NIRS プローブを前額部, 上腕部に装着した. 脳圧亢進し意識レベル 300 (JCS), 両側瞳孔散大となった. 脳の TOI (前額部 TOI) は筋肉の TOI (上腕部 TOI) より低く, 脳圧亢進に伴い脳の TOI は徐々に低下したが筋肉の TOI は保たれていた. その後血圧低下し TOI は両者とも低値となった.

症例4 (第6図): 50歳 男性. 心肺停止で来院, 心肺蘇生術施行後心拍再開した. 前額部, 上腕部より測定した脳と筋肉の TOI はそれぞれ約 25%, 40% で心マッサージ中は特に変化を認めなかったが, 心拍再開し血圧上昇後, 酸化ヘモグロビンは増加, 還元ヘモグロビンは減少し TOI は増加した. 筋肉の TOI が脳の TOI よりすみやかに 60% 以上に回復したが, 脳の TOI は 50% 未満でその後意識の回復は見られなかった.

#### 4. 脳の TOI 値

##### 1) 正常値 (第1表)

我々は TOI の正常値を検討するため健康人 5 人の脳と筋肉の TOI を測定した.

プローブは前額部と前腕に装着した. 脳の TOI は 65~82% (平均 75.4 ± 7.5%) で筋肉の TOI は 67~73% (平均 69.4 ± 2.9%) であった. 脳の TOI 値は筋肉の TOI 値より有意に高値であった<sup>18)</sup>.

第1表 各疾患における TOI

疾患	n	TOI	% (mean ± SD)
健康者	5	TOI-A	69.4 ± 2.9
		TOI-B	75.4 ± 7.5
CPA	4	TOI-A	34.2 ± 8.3
		TOI-B	23.2 ± 4.1
SAH	14	TOI-A	68.8 ± 3.4
		TOI-B	55.6 ± 7.3
CPAR	4	TOI-A	70.2 ± 3.4
		TOI-B	46.2 ± 5.9

TOI-A: 筋肉の TOI TOI-B: 脳の TOI

CPA: 心肺停止 蘇生後 SAH: くも膜下出血 CPAR: 心肺停止 蘇生後

## 2) 脳損傷時の TOI

重症な脳障害例で TOI 値を測定したところ、救命救急センターに搬入された心肺停止患者 (CPA) では脳の TOI は平均  $23.2 \pm 4.1\%$  ( $n=4$ , 22-40%), 筋肉の TOI は  $34.2 \pm 8.3\%$  まで低下しており両者とも正常者に比べ有意な低下であった。心肺停止蘇生後症例 (CPAR) では脳の TOI は  $46.2 \pm 5.9\%$  ( $n=4$ , 42-55%) と正常に比べ有意に低く、筋肉の TOI は  $70.2 \pm 3.4\%$  と回復していた。重症くも膜下出血で昏睡状態の症例では脳の TOI は  $55.6 \pm 7.3\%$  ( $n=14$ , 39-68%), 筋肉の TOI 値は  $66.8 \pm 3.4\%$  であった。これら疾患群においては脳の TOI 値は健常者の TOI 値より有意に低く、またいずれの群でも脳の TOI 値は筋肉の TOI 値より低下していた。

## 3) 脳と筋肉の TOI の比較

脳と筋肉の TOI を測定することにより脳と全身の酸素代謝状態を比較検討することができる。健常人では脳の TOI は平均  $75.4 \pm 7.5\%$  で筋肉の TOI (平均  $69.4 \pm 2.9\%$ ) より有意に高値を示した。NIRS ではその測定データは主に静脈血の酸素状態に影響されると考えられているが脳の酸素摂取率は他臓器より高いため内頸静脈酸素飽和度は混合静脈血より低値を示すと言われ、脳の TOI が筋肉の TOI を下回ることが推測されたが、実際は逆であった。しかし前述したように TOI 値と内頸静脈酸素飽和度を比較検討すると必ずしも相関はないことが示されており、臓器別に固有の値を示すものと考えられる。脳に障害があると脳と筋肉の TOI 値が逆転して脳の TOI 値が筋肉の TOI 値より低下する<sup>18,19)</sup>。心肺停止蘇生後症例 (CPAR)、重症くも膜下出血症例では前述のごとく、脳の TOI 値は筋肉の TOI 値より低く、その差は有意である。この逆転現象をモニターすることにより脳の障害を評価することが可能である。

## NIRS を用いたモニタリングの解釈

連続モニターすれば酸化、還元ヘモグロビン濃度の相対的变化により脳の酸素代謝異常を捕らえることはもちろん可能で確実であるが、症例間の比較は不能である。では TOI 値のみで脳の酸素代謝異常を検出できるのだろうか。健常者の TOI は  $75.4 \pm 7.5$  ( $n=5$ )、重症くも膜下出血症例では  $55.6 \pm 7.3$  ( $n=14$ ) で、CPAR では  $46.2 \pm 5.9$  ( $n=4$ )、心肺停止症例 (CPA) では  $23.2 \pm 4.1$  ( $n=4$ ) であった。これら疾患群における TOI の低下は健常者と比較して有意であった。このように

TOI 値が各疾患で有意に低下すること、また CPA でもっとも低い TOI が示されることは TOI 値のみで脳酸素代謝の異常を検出することが可能であることを示唆している。

健常者では全例脳の TOI は 63% 以上であった。CPAR では 42-55%, CPA では 22-40% で全例 60% 未満であった。正常値を求めるにはさらに症例を増やさねばならないが、60% 未満は異常であることが示唆される。重症くも膜下出血では 39-68% で 60% 以上が 3 例あった。NIRO の測定領域に血腫が存在するとそのヘモグロビンにより TOI 値が影響されることが言われており、出血症例では TOI 値の信頼性に注意すべきかもしれない。脳の TOI 値が 60% 未満なら酸素代謝障害の異常が示唆されるが、60% 以上なら正常であるとは必ずしも言えないことにも留意すべきである。正常では脳の TOI 値は筋肉の TOI 値より高く示されるが、これを利用して脳酸素代謝の異常を検出することも可能であるが、脳の TOI 値が 60% 以上でも筋肉の TOI 値を下回っていれば脳酸素代謝障害の存在が示唆される。脳梗塞症例においてもその逆転がみられる<sup>18,19)</sup>。

また TOI 値は脳の局所の値のみを反映しており、測定部位により focal lesion の異常を検出できないことに留意すべきである。いわゆる global brain damage を生じるような血圧低下や脳圧亢進、低酸素血症などでは前額部からのモニターで異常を検出することが可能な良い適応であると思われる。

近赤外線分光分析装置の発達により簡便に酸素代謝情報の絶対値まで評価することが可能となったが、その特性に留意すれば手軽に有用な脳の酸素情報を得ることが可能と思われる。またその非侵襲性ゆえ起立性低血圧<sup>20)</sup> や精神科領域の臨床研究<sup>16)</sup> にも広く応用されており、今後の発展が期待される。

## 文 献

- 1) 片山容一, 酒谷薫: 臨床医のための近赤外分光法 (日本脳代謝モニタリング研究会編集). 新興医学出版社, p. 1-10, 2002
- 2) Gratton G, Maier J, Fabiani M, Mantulin W, Gratton E: Feasibility of intracranial near-infrared optical scanning. *Psychophysiology* 31: 211-215, 1994
- 3) Hock C, Villringer K, Muller-Spahn F, Wenzel R, Heekeren H, Schuh-Hofer S, Hofmann M, Minoshima S, Schwaiger M, Dirnagl U, Villringer A: Decrease in parietal cerebral hemoglobin oxygenation during performance of a verbal fluency task in patients with Alzheimer's disease monitored by means of near-infrared spectroscopy (NIRS) -correlation with si-

- multaneous rCBF-PET measurements. *Brain Res* 755 : 293-303, 1997
- 4) Al-Rawi PG, Smielewski P, Kirkpatrick PJ : Evaluation of a near-infrared spectrometer (NIRO 300) for the detection of intracranial oxygenation changes in the adult head. *Stroke* 32 : 2492-2500, 2001
  - 5) amashita K, Kazui T, Terada H, Washiyama N, Suzuki K, Bashar AHM : Cerebral oxygenation monitoring for total arch replacement using selective cerebral perfusion. *Ann Thorac Surg* 72 : 503-508, 2001
  - 6) Gopinath S, Robertson CS, Contant CF, Narayan RK, Grossman RG, Chance B : Early detection of delayed traumatic intracranial hematomas using near-infrared spectroscopy. *J Neurosurg* 83 : 438-444, *J Neurosurg* 1995
  - 7) Kleinschmidt A, Obrig H, Requardt M, Merboldt KD, Dirnagl U, Villringer A, Frahm J : Simultaneous recording of cerebral blood oxygenation changes during human brain activation by magnetic resonance imaging and near-infrared spectroscopy. *J Cereb Blood Flow Metab* 16 : 817-826, 1996
  - 8) Hirth C, Obrig H, Villringer K, Thiel A, Bernarding J, Muhlnickel W, Flor H, Dirnagl U, Villringer A : Non-invasive functional mapping of the human motor cortex using near-infrared spectroscopy. *Neuroreport* 7 : 1977-1981, 1996
  - 9) Hock C, Muller-Spahn F, Schuh-Hofer S, Hofmann M, Dirnagl U, Villringer A : Age dependency of changes in cerebral hemoglobin oxygenation during brain activation : A near-infrared spectroscopy study. *J Cereb Blood Flow Metab* 15 : 1103-1108, 1995
  - 10) Sakatani K, Xie Y, Lichty W, Li S, Zuo H : Language-activated cerebral blood oxygenation and hemodynamic changes of the left prefrontal cortex in poststroke aphasic patients A near-infrared spectroscopy study. *Stroke* 29 : 1299-1304, 1998
  - 11) Kato T, Kamei A, Takashima S, Ozaki T : Human visual cortical function during photic stimulation monitoring by means of near-infrared spectroscopy. *J Cereb Blood Flow Metab* 13 : 516-520, 1993
  - 12) Meek JH, Elwell CE, Khan MJ, Romaya J, Wyatt JS, Delpy DT, Zeki S : Regional changes in cerebral haemodynamics as a result of a visual stimulus measured by near infrared spectroscopy. *Proc R Soc Lond B* 261 : 351-356, 1995
  - 13) Heekeren HR, Obrig H, Wenzel R, Eberle K, Ruben J, Villringer K, Kurth R, Villringer A : Cerebral haemoglobin oxygenation during sustained visual stimulation-a near-infrared spectroscopy study. *Phil Trans R Soc Lond B* 352 : 743-750, 1997
  - 14) Fox P, Raichle ME : Focal physiological uncoupling of cerebral blood flow and oxidative metabolism during somatosensory stimulation in human subjects. *Proc Natl Acad Sci USA* 83 : 1140-1144, 1986
  - 15) Sakatani K, Lichty W, Xie Y, Li S, Zuo H : Effects of aging on language-activated cerebral blood oxygenation changes of the left prefrontal cortex : Near-infrared spectroscopy study. *J Stroke Cerebrovascular Dis* 8 : 398-403, 1999
  - 16) Okada F, Tokumitsu Y, Hoshi Y, Tamura M : Impaired interhemispheric integration in brain oxygenation and hemodynamics in schizophrenia. *Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci* 244 : 17-25, 1994
  - 17) Kirkpatrick PJ, Lam J, Al-Rawi P, Smielewski P, Czosnyka M : Defining thresholds for critical ischemia by using near-infrared spectroscopy in the adult brain. *J Neurosurg* 89 : 389-394, 1998
  - 18) 堀口崇, 斎藤良一, 各務宏, 山本紳一郎, 菊野隆明, 中村芳樹, 市来崙潔 : 重症脳損傷患者における近赤外線分光分析装置 (NIRO 300) を用いた脳酸素代謝障害の評価. *日本救急医学会雑誌*, 12 : 1-10, 2001
  - 19) 堀口崇, 斎藤良一, 稲橋丈司, 山本紳一郎, 菊野隆明, 中村芳樹, 市来崙潔 : 救命救急センターにおける近赤外線分光分析装置 (NIRO 300) を用いた脳酸素代謝障害の評価 - 第二報 -. *日本救急医学会雑誌*, 13 : 174-182, 2002
  - 20) Harms MPM, Colier WNJM, Wieling W, Lenders JWM, Secher NH, Lieshout JJ. Orthostatic tolerance, cerebral oxygenation, and blood velocity in humans with sympathetic failure. *Stroke* 31 : 1608-1614, 2000