

上行・弓部大動脈瘤手術における 近赤外線脳組織酸素飽和度モニタリング評価

上平 聡 應儀 成二

要 旨：近赤外線脳組織酸素飽和度モニタリングにより超低体温循環停止逆行性脳灌流法を用いた上行、弓部大動脈瘤手術症例26例を管理して、術後脳合併症を予測した。術後7例(26.9%)に脳神経症状を認め、5例の術中脳組織酸素飽和度値に異常所見を認めたが、最終的に4例(15.3%)が恒久障害に進展した。本モニター使用により術後の脳神経障害発症を予測して早期の対応が可能であると考えた。(J. Jpn. Coll. Angiol., 2003, 43: 363-367)

Key words: Near-infrared spectroscopy, Cerebral oxygen saturation, Deep hypothermic circulatory arrest, Thoracic aorta aneurysm

序 言

弓部およびその近傍の大動脈瘤手術に際しての脳保護法として、超低体温循環停止法と選択的脳灌流法が用いられているが、近年arch first法¹など手術方法や補助循環法、温度設定に様々な変遷がみられ、従来の灌流条件がそのまま適用できるかは明確とはいえない。当施設では近赤外線分光法による脳組織酸素飽和度(rSO_2)モニタリングを導入し、術中の脳灌流状態を評価しつつ弓部大動脈近傍の手術を施行してきた。本研究では術後脳合併症の臨床的特徴と予後について rSO_2 モニタリングの有用性を検討した。

対象と方法：2000年1月から2002年10月までに当科で施行した上行弓部大動脈瘤手術症例のうち、近赤外線分光法Cerebral Oximeter(Somanetics社製INVOS4100)を前額部に装着した26例を対象とした。年齢は28～88歳(平均65.8歳)、男女比1:1であった。真性大動脈瘤11例、解離性大動脈瘤15例(急性A型大動脈解離12例)で、そのうち緊急手術は14例(53.8%)であった。術式は上行および上行弓部部分置換術16例、上行弓部全置換術10例が施行された。全例胸骨正中切開でアプローチし、上下大静脈脱血、可能な限り右腋窩動脈+大腿動脈の2方向同時送血にて人工心肺を開始した。鼓膜温18℃で循環停止とし、上下大静脈に挿入した脱血管より強制送血する方法で逆行性脳灌流法を併用し、上行

および上行弓部部分置換術では末梢側吻合を、弓部全置換術例では3本の弓部分枝再建を先行させた。吻合終了直前に空気抜きを行った後、前者では通常の体外循環に戻して復温しながら中枢側吻合を行った。後者では3分枝付き人工血管を遮断して右腋窩動脈のみから送血を開始して脳灌流を再開させ、下行大動脈は遮断せずopen distal anastomosis法にて体灌流は循環停止のまま末梢側吻合を施行し、最後に通常体外循環に戻して復温しながら中枢側吻合を行った(arch First法)。麻酔導入に先立ち左右前額面にINVOS4100のプロブを固定し、左右前頭葉の脳組織酸素飽和度(rSO_2)を麻酔導入時から手術終了時まで連続してモニターした。arch First法を用いた症例での弓部分枝再建後の脳分離灌流の送血量は10ml/min/kgで開始し、10分間のcold reperfusion後に鼓膜温25℃までゆっくり復温しながら、 rSO_2 値が冷却時の鼓膜温25℃のレベルを維持するようにモニターをみながら調節した。術中の rSO_2 値の監視ポイントとしては、20%以上の左右差の出現(malperfusion) 40%以下が10分間持続(hypoperfusion)のどちらかが出現すれば異常と判定した。

結 果

術後の脳合併症は7例(26.9%)に出現し、そのうち4例(15.3%)は恒久障害が残った。7例中6例が緊急手術症例であり、4例が術前より脳神経障害を呈した症

Table Patients Outcome with Cerebrovascular Complication

No	Sex	Age(yr)	True/ Dissection	Procedure	Emergency	Preoperative Neurological Symptom	Postoperative Neurological Symptom	Cause of cerebrovascular complication	Prognosis	Detection of NIRS
1	F	43	Dissection	Total arch replacement	+	—	Clouding of consciousness, Rt hemiplegia	Debris	Permanent	—
2	F	58	Dissection	Total arch replacement	+	+	Delirium	Unknown	Good recovery	—
3	M	74	Dissection	Total arch replacement	—	—	Coma	Perioperative hypotension	Death	+
4	F	76	Dissection	Hemiarach replacement	+	+	Clouding of consciousness, Lt hemiplegia	Malperfusion of arch vessels (dissection)	Permanent	+
5	F	52	Dissection	Hemiarach replacement	+	+	Clouding of consciousness	malperfusion of arch vessels (dissection)	Good recovery	+
6	M	77	True	Total arch replacement	+	—	Clouding of consciousness, Rt hemiplegia	Perioperative hypotension	Permanent	+
7	M	64	True	Total arch replacement	+	+	Clouding of consciousness	Prolonged RCP	Good recovery	+

例で、待機手術症例の脳神経障害発症率は1/13例(7.6%)であった(Table)。4例中3例(症例2, 4, 5)は弓部分枝に解離が及んだための一過性脳虚血障害であり、症例5は破裂による意識障害であったが、いずれの症例も手術室搬入時には血流は再開され術前の rSO_2 値の異常所見は認めなかった。術後脳合併症を呈さなかった症例の典型的な術中の rSO_2 値の変動パターンを示す(Fig. 1)。体外循環開始と同時に中心冷却に伴って rSO_2 値は漸増し、80%近くまで到達。循環停止逆行性脳灌流開始により rSO_2 値は時間経過につれて漸減し、ほぼ体外循環開始前値まで低下した。脳灌流再開とともに rSO_2 値は急上昇し、復温し、体外循環離脱に伴って開始前値に戻った。arch First症例も弓部分枝再建後に脳選択灌流時期を除けばほぼ同様の傾向を認めた。術後脳合併症をきたした7例中5例では、術中の rSO_2 値で異常所見を認めた。以下症例ごとに検討した(Fig. 2, 3)。

1. malperfusion(症例4)

76歳女性。急性A型解離症例であり、上行弓部部分置換術を施行した。術前より弓部分枝に解離が及んでおり、軽度意識障害、左片麻痺を認めていた。当

初右腋窩+右大腿動脈同時送血にて体外循環を開始する予定であったが、右腋窩動脈まで解離が進展しており、大腿動脈送血のみで体外循環を開始した。しかし中心冷却中に心室細動となり、心拍動が消失した段階で、 rSO_2 値の左右差が拡大し腕頭動脈解離によるmalperfusionを呈していた。この傾向は体外循環離脱まで継続した。術後覚醒遅延、左片麻痺が出現し、CT上は右前大脳動脈、右中大脳動脈領域に広範な右脳梗塞を認めた。かかる症例を経験し、症例5でも冷却中に同様の傾向が出現したため、直ちに左腋窩動脈に送血管を挿入し対処した。この症例では術後覚醒遅延を呈したが、恒久障害を残さず軽快した。

2. hypoperfusion(症例6)

77歳男性。真性遠位弓部大動脈瘤の破裂にて緊急にarch First法を用いて上行弓部全置換術を施行した症例である。弓部分枝再建後の脳分離灌流を含めて体外循環離脱までは順調であったが、プロタミン中和後に下行大動脈吻合部から出血し止血に難渋したため、血圧低下をきたし rSO_2 値も40%以下が約20分間持続した。出血が制御され循環動態が回復するとともに rSO_2 値は回復したが、ICU帰室後に覚醒遅延、右片麻痺を認

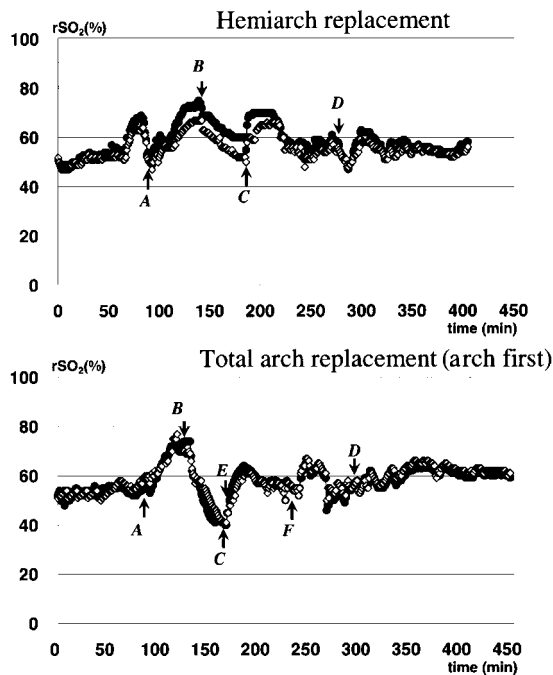


Figure 1 Left and right regional cerebral oxygen saturation (rSO₂) of one patient during ascending aorta replacement and another patient during arch replacement with arch first technique (A) beginning of cardiopulmonary bypass; (B) beginning of circulatory arrest and retrograde cerebral perfusion; (C) end of retrograde cerebral perfusion and beginning of rewarming; (D) end of cardiopulmonary bypass; (E) beginning of selective cerebral perfusion; (F) end of selective cerebral perfusion.
○: Left rSO₂, ●: Right rSO₂

め、画像診断上は多発性脳梗塞の所見を認めた。

3. 循環停止時間の遷延(症例7)

64歳男性。真性弓部大動脈瘤破裂症例であり、救急室で再破裂をきたしショック状態となったため、急速輸血、PCPS装着にて手術室に搬送された。そのまま通常の体外循環に移行し循環停止下に弓部全置換を施行したが、分枝再建に手間取り循環停止時間は78分間にも及んだ。その後の復温過程や離脱は問題なく経過したが、ICU帰室後に覚醒遅延を認めた。本症例の循環停止中のrSO₂値を見ると、40分を超えた時点で体外循環前値を下回り、さらに60分を超えた時点で急激に低下を認め、術前のショックと循環停止時間の遷延が術後の意識障害の原因と考えられた。著者らは循環停止安全許容時間を40分程度と考えており、本症例では最大でも60分の時点では分枝を遮断して腋窩動脈からの

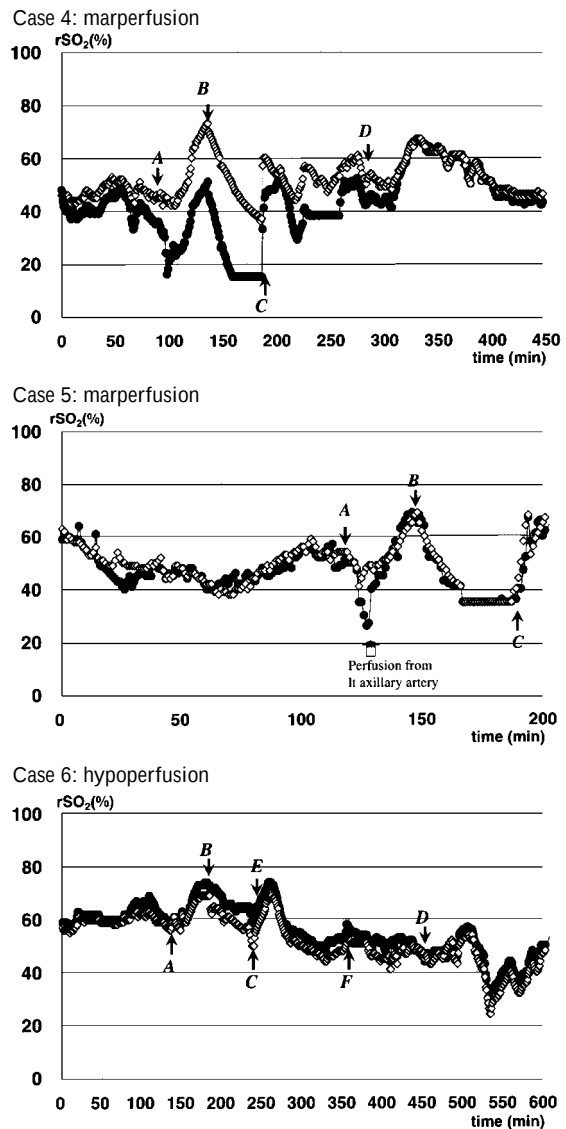


Figure 2 Change in left and right regional cerebral oxygen saturation (rSO₂) of 3 patients who had postoperatively neurological dysfunction.

○: Left rSO₂, ●: Right rSO₂

送血を開始するのが妥当であった(Fig. 3)。

考 察

近赤外線分光法による脳組織酸素モニターはreal-time表示が可能であり、簡易性、非侵襲性、連続性から体外循環中の脳血流モニターとして近年多施設にて臨床応用されている^{2,3)}。しかしながら脳内酸素飽和度

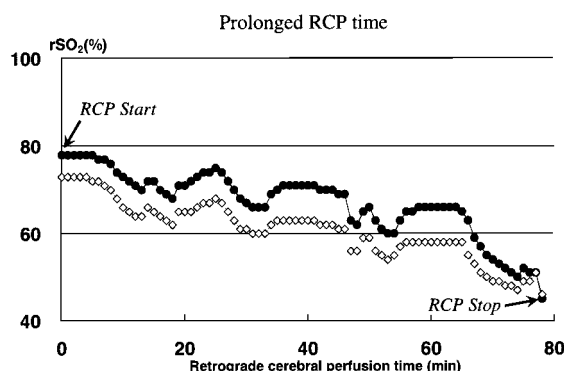


Figure 3 Change in left and right regional cerebral oxygen saturation (rSO₂) during retrograde cerebral perfusion in case 7.
○: Left rSO₂, ●: Right rSO₂

は体外循環中の血液希釈によるHbの低下、低体温による脳組織酸素消費量の減少、PCO₂などの複数因子の影響を受ける点、左右前額面の非常に微細な部位のみの情報である点、そして測定値の機種別間の信頼性や再現性に問題があり、モニターとしての評価は確立されているとはいえない。

第1の問題点であるが、一般的にrSO₂値と脳血流(CBF)の間には、 $rSO_2 = SaO_2 - k \text{値} / CBF$ ($SaO_2 = \text{動脈血酸素飽和度}$, $k = 0.75 \times CMRO_2 / 1.34 \times Hb$)の関係が理論的に導かれると報告されている⁴⁾。しかし体外循環中は血液希釈と温度変化による脳酸素消費量の変動のために、rSO₂値の変動が必ずしも脳血流の変動を反映しているとはいえない。著者らは体外循環中のrSO₂値の変動は、脳血流と脳酸素代謝のバランスの変動と理解している。すなわち、中心冷却中のrSO₂値の上昇は、脳血流増加よりむしろ低体温による脳酸素消費量の減少を反映しており、復温過程のrSO₂値の低下は、脳血流の減少というより循環停止後の酸素負債の解消のために脳酸素消費量が亢進している状態と考えている。また脳分離灌流中では温度変化、Hb値に大きな変動がない状態であることから、その温度でのrSO₂値を維持するように送血することで、適正灌流量を決定できると考える⁵⁾。以上のごとく体外循環中では常に温度変化と血液希釈を念頭におき、脳血流と脳酸素消費量のバランスの変動を考慮した上で脳組織酸素飽和度の変動パターンを監視することが本モニター使用にあたって肝要な点である。第2の測定範囲の問題は、毛髪の問題もあって前額面以外の他の領域(側頭葉や後頭葉)

の異常は検出されない点は未解決であり、今後の光トポグラフィなどマルチスキャンのデバイスの開発が待たれる。本検討でも7例中2例は本モニターでは異常所見を検出できなかった。症例1に関しては術後のCTにて左前頭葉と頭頂葉に脳梗塞を認めており、術中のdebrisによるものが推測された。また症例2は術後のCTでも特に病変を認めなかったが、術前右腕頭動脈解離による一過性の脳虚血発作をきたしており、術後にその影響が遷延したものと思われる。このように前頭葉以外の局所病変に対して異常所見の検出は不可能といえるが、逆に大脳半球全体に及ぶような灌流異常が起こった場合は、malperfusionやhypoperfusionなどの異常所見が出現することから、現時点のモニターでも患者の予後を大きく左右するような脳全体の虚血変化には十分対応でき、早期の脳保護療法の開始にも応用可能といえる。

同じ近赤外線分光法を用いても各メーカーの機種によってアルゴリズムや演算方式が異なるため、測定値解釈そのものが単純に比較できないことも大きな問題である。初期型の酸素Hb、還元Hb、総Hbの測定開始時点からの相対的変動しか評価できなかったものからすれば、現在の機種は酸素飽和度(あるいは酸素係数)として絶対値評価が可能となり、術中モニターとしては実用的となったが、酸素飽和度の解釈や許容下限最低値の設定などは個々の機種によって全く異なる。また今回著者らはReentsら²⁾と同様に許容下限値を40%以下、左右差は20%以上を異常所見と設定したが、彼らは体外循環を用いたCABG症例において術後の高次脳機能障害とrSO₂値の異常所見とは一致しなかったと報告している。しかし今回著者らの検討では、sensitivity: 71.4%, specificity: 100%であり、本検討では超低体温、循環停止の有無、血液希釈の程度などの体外循環条件が彼らとは異なるため、許容下限値や異常値の妥当性の比較は困難である。同じ機種を用いてもこのように他施設で同じ規準が適応できない可能性もあり、現時点では各施設で術後の正常症例の近赤外線データを十分蓄積した上でモニターとして使用するしかないのが実情といえる。今後機器の精度の向上と基準値の統一設定などの各メーカーの努力も期待したい。

結 語

近赤外線脳組織酸素飽和度モニタリングは、弓部大

動脈近傍の手術時の脳血流酸素代謝の変動に鋭敏に反応し、術中のmalperfusionやhypoperfusionの検出、脳循環停止時の安全許容値の設定、脳分離灌流時の灌流量の設定において有用であり、術後脳神経障害発症の予測と早期治療に応用できる。

文 献

- 1 Rokkas CK, Kouchoukos NT: Single-stage extensive replacement of the thoracic aorta: the arch-first technique. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 1999, **117**: 208-209.
- 2 Reents W, Muellges W, Franke D et al: Cerebral Oxygen Saturation Assessed by Near-Infrared Spectroscopy During Coronary Artery Bypass Grafting and Early Postoperative Cognitive Function. *Ann Thorac Surg*, 2002, **74**: 109-114.
- 3 Higami T, Kozawa S, Asada T et al: Retrograde Cerebral Perfusion Versus Selective Cerebral Perfusion as Evaluated by Cerebral Oxygen Saturation During Aortic Arch Reconstruction. *Ann Thorac Surg*, 1999, **67**: 1091-1096.
- 4 Kaminogo M, Ichikura A, Shibata S et al: Effect of Acetazolamide on Regional Cerebral Oxygen Saturation and Regional Cerebral Blood Flow. *Stroke*, 1995, **26**: 2358-2360.
- 5 Katoh T, Esato K, Gohra H et al: Evaluation of Brain Oxygenation During Selective Cerebral Perfusion by Near-Infrared Spectroscopy. *Ann Thorac Surg*, 1997, **64**: 432-436.

Evaluation of Cerebral Oxygen Saturation Assessed by Near-Infrared Spectroscopy during Deep Hypothermic Circulatory Arrest

Satoshi Kamihira and Shigetsugu Ohgi

Division of Organ Regeneration Surgery, Faculty of Medicine Tottori University, Yonago, Japan

Key words: Near-infrared spectroscopy, Cerebral oxygen saturation, Deep hypothermic circulatory arrest, Thoracic aorta aneurysm

Near-infrared spectroscopy (NIRS) is used to monitor cerebral oxygenation during ascending and arch aortic procedure under deep hypothermic circulatory arrest with retrograde cerebral perfusion (RCP). However, interpretation of the signals is controversial. The aim of the study is to predict postoperative neurologic dysfunction by means of NIRS monitoring. We evaluated right and left regional cerebral oxygen saturation (rSO₂) in 26 patients underwent ascending or total arch replacement during deep hypothermic circulatory arrest with RCP. As a result, Neurologic complications occurred in 7 patients (26.9%), four of them (15.3%) developed permanent stroke. Abnormal findings of rSO₂ during operation occurred in 5 of 7 patients such as malperfusion, hypoperfusion and decreased rSO₂ value below safety margin with prolonged RCP. We have concluded that continuous monitoring of intraoperative rSO₂ as assessed by NIRS is useful to predict postoperative global cerebral complication and to start earlier medical treatment.

(*J. Jpn. Coll. Angiol.*, 2003, **43**: 363-367)