

## 近赤外線分光法を用いた腹部大動脈瘤ステントグラフト内挿術における術中骨盤内血流の評価の試み

犬塚 和徳 海野 直樹 山本 尚人 相良 大輔 鈴木 実

**要 旨**：腹部大動脈瘤( AAA )に対するステントグラフト( SG )内挿術における術中操作による骨盤血流の変化について、近赤外線分光法を応用して評価を行った。aorto-uniliac SG + 交叉バイパス術を施行したAAAを有する患者を対象に、近赤外線酸素モニターのプロープを両側臀部に置いて、術中の臀筋の組織酸素化指標( TOI )を連続的に測定した。その結果、臀筋のTOI変化は主に内腸骨動脈の血行動態を鋭敏に反映した。非侵襲的な骨盤血流の術中モニターとして利用できることが期待される。( J Jpn Coll Angiol, 2007, 47: 39-45 )

Key words: abdominal aortic aneurysm, stent-graft, internal iliac artery, near-infrared spectroscopy, pelvic hemodynamics

### はじめに

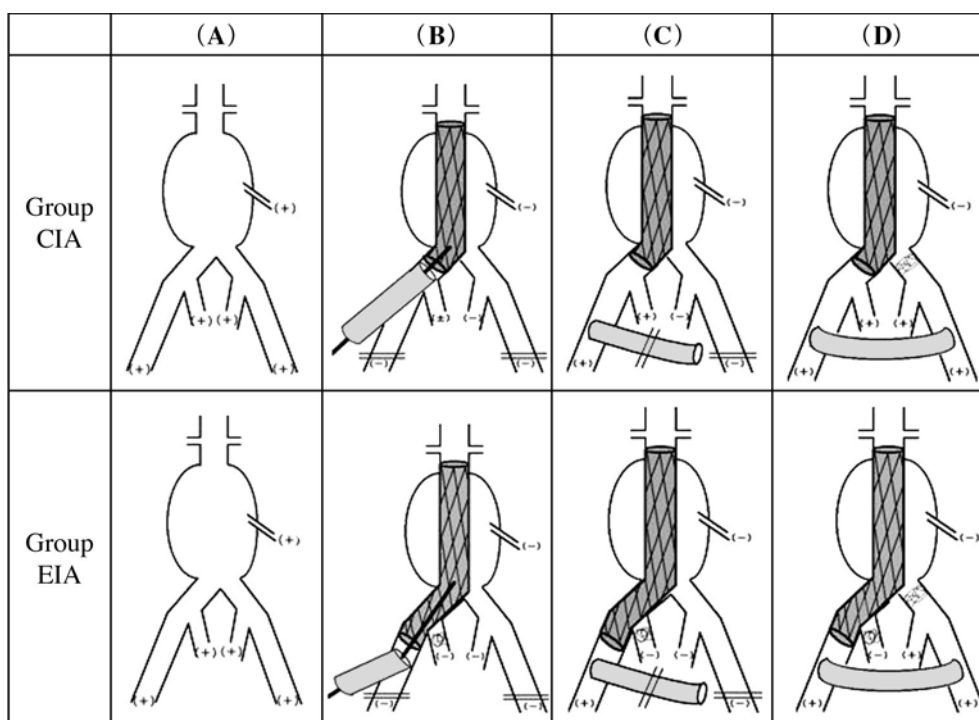
腹部大動脈瘤( abdominal aortic aneurysm: AAA ), 腸骨動脈瘤に対するステントグラフト( SG )内挿術( endovascular aneurysm repair: EVAR )では、しばしば内腸骨動脈( internal iliac artery: IIA )や下腸間膜動脈( inferior mesenteric artery: IMA )をSGで閉塞させたり、コイルで塞栓せざるをえない症例があり、その結果、腸管虚血や陰萎、臀筋跛行などの合併症が報告されている<sup>1-10)</sup>。従来の開腹人工血管置換術においては、少なくとも左右IIAのうち一側のIIAの温存または再建が術後合併症の発生を回避するために推奨されてきた<sup>11,12)</sup>。EVARにおいても近年、IIAを犠牲にせざるをえない場合に、これを再建すべきとする報告が散見される<sup>1-4)</sup>。人工血管置換術では、術中にIIAの再建が必要か否かの指標として、IIAの断端圧測定<sup>13)</sup>、ドプラによる腸管血流音の判定<sup>14)</sup>などが有用と報告されているが、開腹操作を行わないEVARでは、これらの方法は用いることができず、また、開腹操作を必要としないトノメトリー法、レーザードプラ法などによる腸管血流の評価法も広く普及するまでには至っていない。

われわれは、EVAR術中に骨盤内血流を評価できる非

侵襲的な方法を検討してきた。その一つとして、IIAの分枝( 上臀動脈と下臀動脈 )が血液を供給する臀筋に着目し、近赤外線分光法( near-infrared spectroscopy: NIRS )を用いて臀筋の組織酸素代謝を連続的に測定し、骨盤部血流の術中モニターとして有用であるか検討した。

### 対象と方法

当科で2003年9月から2005年7月までにEVARを施行されたAAAおよび腸骨動脈瘤を有する男性患者30例のうち、同意を得た28例でNIRSを用いたモニターを行った。このうち、術前の腹部大動脈造影検査または3mmスライスでの腹部骨盤部造影CT検査( HiSpeed Advantage, GE社製 )で、末梢動脈に閉塞性疾患を認めず、IMAと両側のIIA本幹が開存していることが確認された22例( 平均年齢 $78.7 \pm 5.9$ 歳 )を対象とした。平均大動脈瘤径は $5.8 \pm 0.8$ cm、6例に一側の総腸骨動脈瘤を認めた。術式は全例で全身麻酔下にaorto-uniliac SG + 交叉バイパス術を施行した( Fig. 1 )。SGはZ sten( Cook社製 )とspiral Z-sten( Medico's Hirata社製 )を連結させ、これにwoven polyester graf( UBE graft, 宇部興産社製 )を縫合固定して自作した。これを22Frイントロデューサー( Medikit社製 )に先端格納し、SGを腎動脈以



**Figure 1** Time points for pelvic hemodynamics during EVAR.  
 (A) : The start of the operation.  
 (B) : After stent-graft deployment. The delivery sheath was still inside the iliac artery just distal to the stent-graft.  
 (C) : After completing the proximal anastomosis of the crossover bypass and revascularization of the ipsilateral limb.  
 (D) : After completing the distal anastomosis of the crossover bypass and revascularization of the contralateral limb.  
 EVAR: endovascular aneurysm repair, CIA: common iliac artery, EIA: external iliac artery  
 ©2006 Elsevier Ltd. All rights reserved. Inuzuka K, Unno N, Mitsuoka H et al: Intraoperative monitoring of penile and buttock blood flow during endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2006, 31: 359–365.

下に留置した。径8mmのknitted Dacron graft( Gelsoft , Vascutek社製 )を用いて大腿 - 大腿動脈 (または外腸骨 - 大腿動脈) 交叉バイパス術を行った。全22例のうちSG末梢側のランディングゾーンを総腸骨動脈 (common iliac artery: CIA)とした12例をCIA群, 外腸骨動脈 (external iliac artery: EIA)とした10例をEIA群と分類して検討した。ランディングゾーンがEIAとなった10例の理由は, 同側の総腸骨動脈瘤の合併が6例, 偶発的なものが4例であった。SG留置対側の腸骨動脈領域には全例とも動脈瘤を認めず, エンドリーク防止のためのコイル塞栓を対側のCIAに行い, SG留置対側のEIAの血流は温存した。

今回, EVAR時の臀筋の血行動態を評価するために, 近赤外線酸素モニターであるNIRO 30X(浜松ホト

ニクス社製)を用いた。2つの測定用プローブを左右臀部に貼付固定すれば, 各々の臀筋の組織酸素化指標 (tissue oxygenation index: TOI)を連続的に測定することができる。TOIとは総ヘモグロビン中に占める酸素化ヘモグロビンの割合であり組織酸素飽和度に相当する。臀筋でのTOIの測定値は相対値となるため, 個体間での比較には手術開始時からの変化率を求めて比較検討した。照射プローブと検出プローブとの距離を4cmとし, 主に深度1cmの皮下組織血流が反映されるように規定した。左右の臀筋をモニターするため, aorto-uniliac SGを留置した側をIps-side, SG留置の反対側をCont-sideと区分した。

術中, 以下に示す(A)-(D)時のTOI値を記録した (Fig. 1)。

**Table 1** Patients' demographics and operative parameters

	Group CIA	Group EIA	p
Number of patients	12	10	
Age (yr)	80.6 ± 5.4	76.5 ± 5.7	NS
Maximum aortic diameter (cm)	5.7 ± 0.7	5.9 ± 0.9	NS
Erectile dysfunction before surgery	7	5	NS
Buttock claudication after surgery	0	0	NS
Operation time (min)	227.9 ± 42.2	245.7 ± 42.8	NS
Blood loss (ml)	346.9 ± 234.7	429.0 ± 232.1	NS
Intraoperative PaO <sub>2</sub> (mmHg)	237.9 ± 32.5	209.3 ± 51.0	NS

CIA: common iliac artery, EIA: external iliac artery, NS: not significant, PaO<sub>2</sub>: partial pressure of arterial oxygen

© 2006 Elsevier Ltd. All rights reserved. Inuzuka K, Unno N, Mitsuoka H et al: Intraoperative monitoring of penile and buttock blood flow during endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2006, **31**: 359–365.

(A) 執刀前：基準値とする。

(B) SG留置から 5 分後：この時点では、デリバリーシーブはSG下縁の腸骨動脈に挿入された状態のままであり、EIA群では両側IIAが完全に遮断されているのに対して、CIA群ではIps-sideのIIA血流が幾分残っていると考えられる。

(C) デリバリーシーブを抜去し、交叉バイパス中枢側吻合を行い、SG同側下肢血流再開の 5 分後：CIA群ではIps-sideのIIA血流が再開するのに対し、EIA群では両側のIIAは遮断されたままである。

(D) 交叉バイパス末梢側吻合を終了し、SG対側下肢血流再開の 5 分後：Cont-sideのCIAはコイル塞栓されており、CIA群では両側のIIA血流が再開するのに対し、EIA群ではCont-sideのIIAのみが血流再開した状態となる。

術前と術後の臀筋跛行、陰萎、腸管虚血の有無の判定は、問診ならびに理学的所見をもとに行った。

統計学的解析には、患者背景と術中パラメーター (mean ± SD) の比較にはMann-Whitney's U test, TOI変化率 (mean ± SEM) の群間比較と群内比較にはそれぞれ one way ANOVAと repeated measures ANOVAを用いた。p < 0.05を統計学的有意とした。

なお、手術ならびに当研究については浜松医科大学倫理審査委員会の承認および対象患者からの同意を得て行った。

## 結 果

CIA群とEIA群との患者背景、術中パラメーターの比

較では、いずれも有意差を認めなかった (Table 1)。術後の観察期間中に新たに臀筋跛行や腸管虚血、陰萎が発症した症例はなかった。

### 【CIA群】 Fig. 2A )

(B)点では、両側の臀筋TOIが基準値(A)点より有意差をもって低下したが、Cont-sideのTOI (-20.79 ± 3.90%) がIps-sideのTOI (-9.18 ± 2.93%) よりも著しく低下した。(C)点では、Ips-sideのTOIは基準値まで回復したものの、Cont-sideのTOIは依然として低下したままであった (-14.61 ± 3.58%, p < 0.05)。しかし、(D)点に至るとCont-sideのTOIも基準値近くまで改善した。

### 【EIA群】 Fig. 2B )

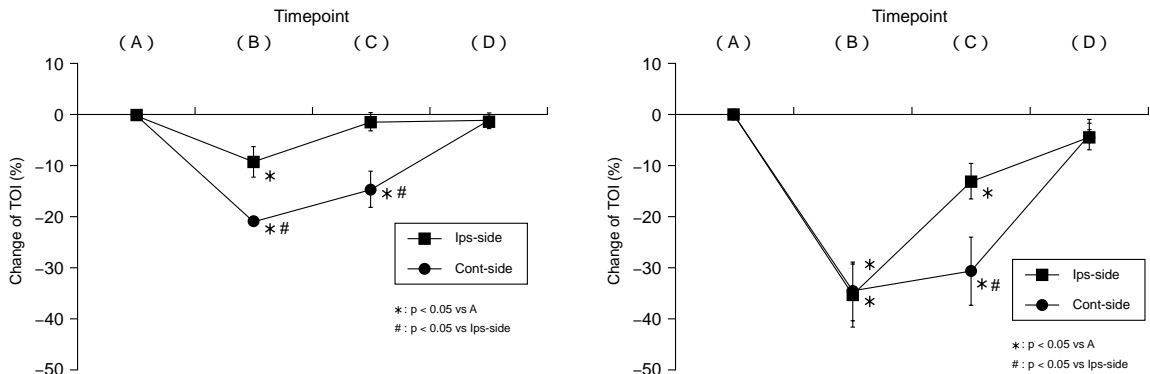
(B)点では、両側の臀筋TOIともに(A)点より約35%もの急激な低下を認めた。(C)点でIps-sideの下肢血流が再開すると、Ips-sideの臀筋TOIは上昇したものの、(A)点と比較するといまだ有意差を認めた (-13.02 ± 3.43%, p < 0.05)。一方、Cont-sideのTOIはほとんど改善することなく、依然として低値であった (-30.56 ± 6.73%, p < 0.05)。しかし、(D)点に至り、両側の臀筋TOIとも(A)点の測定値近くまで改善した。

### 【Ips-side】 Fig. 3A )

(B)点ではEIA群のTOIがCIA群のTOIよりも有意に低下した (p < 0.05)。 (C)点では、CIA群のTOIは基準値まで回復したものの、EIA群のTOIの回復は不十分であった (p < 0.05)。

### 【Cont-side】 Fig. 3B )

(B)点では両群とも著しく低下したが、EIA群のTOI

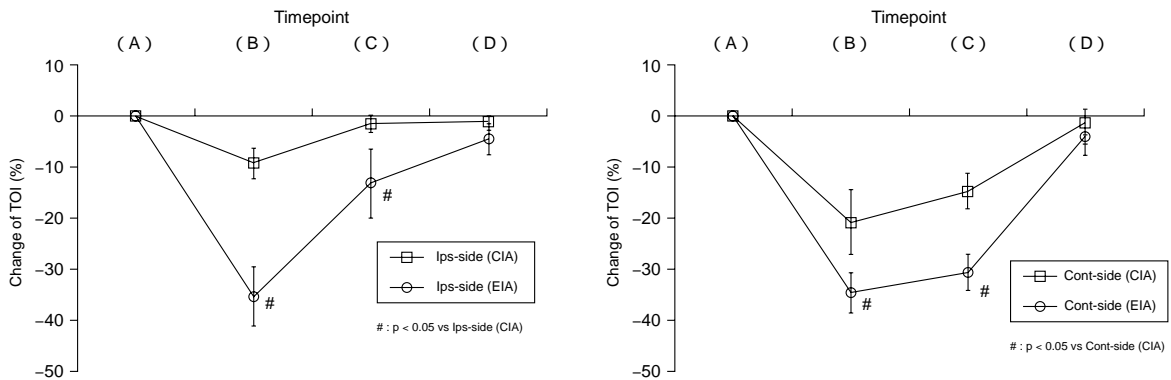


**Figure 2** Comparison of tissue oxygenation index (TOI) measured by NIRS on the side ipsilateral to the aortouniiliac stent-graft (Ips-side) and on the contralateral side (Cont-side).

A: Group CIA.  
B: Group EIA.

CIA: common iliac artery, EIA: external iliac artery

©2006 Elsevier Ltd. All rights reserved. Inuzuka K, Unno N, Mitsuoka H et al: Intraoperative monitoring of penile and buttock blood flow during endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2006, 31: 359-365.



**Figure 3** Comparison of tissue oxygenation index (TOI) measured by NIRS in Group CIA and Group EIA.

A: Ips-side.  
B: Cont-side.

CIA: common iliac artery, EIA: external iliac artery

がCIA群のTOIよりも有意に低下した( $p < 0.05$ )、(C)点では、両群とも十分な回復を示さなかったものの、EIA群のTOIはCIA群と比較して有意に低値であった( $p < 0.05$ )。

### 考 察

当科ではAAAに対するEVARの標準術式をaorto-uniliac SG + 交叉バイパス術としている<sup>15</sup>。企業製型SGの輸入がまだに認可されていない現在の本邦の環境では、自作製型SGを使用せざるをえないが、分岐型SGの作製には技術と熟練を要する。一方、aorto-

uniliac SG + 交叉バイパス術は腸骨動脈合併症例での使用に適しており、また十分な治療成績も報告されている<sup>16, 17</sup>。EVARではしばしばIIAをSGで閉塞させたり、コイルで塞栓せざるをえない症例がある。この頻度は従来の人工血管置換術の2~3倍といわれている<sup>5</sup>。IIA閉塞の結果、臀筋跛行(26~41%)、陰萎(4~12%)、腸管虚血(1~4%)などの術後合併症が生じることがある<sup>5-10</sup>。特に臀筋跛行はIIA閉塞の条件により発生頻度が異なるといわれており、IIA本幹にコイル塞栓を行った場合の発生率が10~33%であるのに対し、IIA遠位や分枝のコイル塞栓では55~100%であったと報告さ

れている<sup>1,7)</sup>。また、一側と両側のIIA閉塞の場合の臀筋跛行の発生頻度には大きな差を認めず、それぞれ36%と40%と報告されている<sup>9)</sup>。今回の研究の中ではIIA分枝に塞栓を施行した症例はなく、これが臀筋跛行の発症を認めなかった一因であると推測される。このようにEVARによる骨盤臓器の虚血障害がまれではないにもかかわらず、これらの合併を回避するために、術中に行える簡便かつ客観性に富む骨盤血流のモニター法はないのが現状である。

今回、NIRSによる術中の骨盤血流の測定を行うにあたり、可能な限り条件を一定にするため、われわれはAAAを有し、IMAと両側のIIAが開存している22症例を対象として選択した。さらにSG末梢側のランディングゾーンによりCIA群とEIA群とを分類して検討した。これはaorto-uni-EIA SGでは同側のIIAを犠牲にするのに対して、aorto-uni-CIA SGでは両側のIIAがともに温存されるため、それぞれの術式で術中の骨盤血流に及ぼす影響が異なるからである。NIRSの2つのプローブを臀部左右に貼付すれば、左右各々の臀筋のTOIを連続的に測定することが可能となった。術中操作によりTOIは即座に変化し始め、約5分でプラトーに達し、組織の血流状態の変化を鋭敏に反映した。SGを留置し、術中に骨盤血流が最も低下する(B)点においては、CIA群とEIA群ともに臀筋TOIの最低値を示した。CIA群の(C)点ではSG留置側のIIAと同側の下肢血流のみが再灌流するが、Ips-sideのTOIは回復したのに対し、Cont-sideのTOIは低下したままであった。これは一側のIIAと下肢血流のみでは対側の臀筋のTOIを術前値に回復させるのに必要十分な血流を供給できないことを示している。他方、EIA群の(C)点ではSG留置側の下肢血流のみが再灌流するが、Ips-sideのTOIの回復は不完全であり、Cont-sideのTOIに関しては全く改善傾向を認めなかった。これらの結果から、一側の下肢血流からの側副血行のみでは同側の臀筋のTOIを術前値に回復させるための満足な血流を供給できず、さらに対側にはほとんど血流を供給できていないことが判明した。EIA群の(D)点で、一側のIIAと両側の下肢血流が灌流されると、両側のTOIとも手術開始前の値まで回復した。すなわち、術前に末梢動脈に閉塞性疾患を認めず、両側のIIAが開存している症例では、たとえ一側のIIAを閉塞しても両側の臀筋のTOIを術前値に保つために必要な血流を維持できると考えられた。このことは

腹部大動脈瘤に両側の総腸骨動脈瘤を合併した症例に対して、SGを一側の外腸骨動脈へと挿し、やむを得ず両側のIIAを犠牲にした場合、交叉バイパスを設置して両下肢の血流を再開しても両側の臀筋のTOIは前値に回復しないが、一側のIIAを血行再建することにより、両側臀筋TOIが前値に回復することからも確認された<sup>18)</sup>。次に、Ips-sideとCont-sideに分類して臀筋TOIの変化を検討してみたところ、Ips-sideの(C)点の結果からはIps-sideの下肢血流から大腿深動脈などを介してのIps-sideの臀筋への側副血行路の存在が示唆され、Cont-sideの(B),(C)点の結果からはIps-sideのIIA血流からCont-sideの臀筋への側副血行路(cross-pelvic collateral)の存在が示唆された。しかしながら、いずれの側副血行路も臀筋TOIを術前値に保つために必要な血流は供給できていなかった。また、今回の結果からは、臀筋組織への同側下肢血流からの側副血行路と対側IIA血流からの側副血行路との間の相対的重要度は明らかにはならなかった。

以前、われわれは同じくEVAR時の骨盤血流を評価する方法として、form PWV/ABI<sup>TM</sup>と足趾用カフを用いて間欠的に陰茎血圧を測定し、その有用性を報告した<sup>19,20)</sup>。この時、陰茎血流とNIRSから得た臀筋血流の変化は必ずしも相関しないことを報告し、陰茎と臀筋では血流支配が異なる場合があるため、それぞれを個別に評価する必要があるという結論を得た。しかし、将来的にNIRSによる臀筋TOIを、臀筋跛行の発症を予測し回避するための指標として実用化するには危険値の設定が必要であり、その設定には両側IIAを閉塞させる症例や、IIAの分枝をコイル塞栓させるような症例などのさらなる蓄積と検討が必要である。臀筋跛行が発症しうるTOIの危険値が判明すれば、EVARにIIAの再建を追加する必要があるか否かの判定を術中に行うことが可能となる。ただし、IMAや上腸間膜動脈からの血流を受けるS状結腸の虚血については、臀筋血流との相関についてさらなる検討が必要であり、今後の課題と考えている。

## 結 語

NIRSによるEVAR時のTOI測定値は臀筋血流の変化を鋭敏に反映しており、非侵襲的なIIA領域の血行動態の術中モニター法として期待される。また、術前に末梢動脈に閉塞性疾患を認めず、両側のIIAが開存してい

る腹部大動脈瘤症例では，たとえ一側のIIAを閉塞しても両側の臀筋の安静時血流を維持できると考えられたが，運動時の臀筋血流の維持，すなわち跛行を予防できるか否かについてはさらなる検討が必要である。

## 文 献

- 1) Arko FR, Lee WA, Hill BB et al: Hypogastric artery bypass to preserve pelvic circulation: improved outcome after endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg*, 2004, **39**: 404–408.
- 2) Lin PH, Bush RL, Chaikof EL et al: A prospective evaluation of hypogastric artery embolization in endovascular aortoiliac aneurysm repair. *J Vasc Surg*, 2002, **36**: 500–506.
- 3) Faries PL, Morrissey N, Burks JA et al: Internal iliac artery revascularization as an adjunct to endovascular repair of aortoiliac aneurysms. *J Vasc Surg*, 2001, **34**: 892–899.
- 4) Bergamini TM, Rachel ES, Kinney EV et al: External iliac artery-to-internal iliac artery endograft: a novel approach to preserve pelvic inflow in aortoiliac stent grafting. *J Vasc Surg*, 2002, **35**: 120–124.
- 5) Lyden SP, Sternbach Y, Waldman DL et al: Clinical implications of internal iliac artery embolization in endovascular repair of aortoiliac aneurysms. *Ann Vasc Surg*, 2001, **15**: 539–543.
- 6) Lee CW, Kaufman JA, Fan CM et al: Clinical outcome of internal iliac artery occlusions during endovascular treatment of aortoiliac aneurysmal diseases. *J Vasc Interv Radiol*, 2000, **11**: 567–571.
- 7) Cynamon J, Lerer D, Veith FJ et al: Hypogastric artery coil embolization prior to endoluminal repair of aneurysms and fistulas: buttock claudication, a recognized but possibly preventable complication. *J Vasc Interv Radiol*, 2000, **11**: 573–577.
- 8) Razavi MK, DeGroot M, Olcott C 3rd et al: Internal iliac artery embolization in the stent-graft treatment of aortoiliac aneurysms: analysis of outcomes and complications. *J Vasc Interv Radiol*, 2000, **11**: 561–566.
- 9) Mehta M, Veith FJ, Ohki T et al: Unilateral and bilateral hypogastric artery interruption during aortoiliac aneurysm repair in 154 patients: a relatively innocuous procedure. *J Vasc Surg*, 2001, **33** (2 Suppl): S27–S32.
- 10) Pittaluga P, Batt M, Hassen-Khodja R et al: Revascularization of internal iliac arteries during aortoiliac surgery: a multicenter study. *Ann Vasc Surg*, 1998, **12**: 537–543.
- 11) Zelenock GB, Strodel WE, Knol JA et al: A prospective study of clinically and endoscopically documented colonic ischemia in 100 patients undergoing aortic reconstructive surgery with aggressive colonic and direct pelvic revascularization, compared with historic controls. *Surgery*, 1989, **106**: 771–779; discussion 779–780.
- 12) Hassen-Khodja R, Pittaluga P, Le Bas P et al: Role of direct revascularization of the internal iliac artery during aortoiliac surgery. *Ann Vasc Surg*, 1998, **12**: 550–556.
- 13) Sugano N, Inoue Y, Iwai T: Evaluation of buttock claudication with hypogastric artery stump pressure measurement and near infrared spectroscopy after abdominal aortic aneurysm repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2003, **26**: 45–51.
- 14) Krohg-Sorensen K, Kvernebo K: Laser Doppler flowmetry in evaluation of colonic blood flow during aortic reconstruction. *Eur J Vasc Surg*, 1989, **3**: 37–41.
- 15) 海野直樹，山本尚人，犬塚和徳 他：腹部大動脈瘤に対するステントグラフト内挿術の検討．*脈管学*，2006，**46**：391–396．
- 16) Rehring TF, Brewster DC, Cambria RP et al: Utility and reliability of endovascular aortouniiliac with femorofemoral crossover graft for aortoiliac aneurysmal disease. *J Vasc Surg*, 2000, **31**: 1135–1141.
- 17) Ingle H, Fishwick G, Garnham A et al: Long-term results of endovascular AAA repair using a homemade aortomonoiliac PTFE device. *J Endovasc Ther*, 2002, **9**: 481–487.
- 18) Unno N, Inuzuka K, Yamamoto N et al: Preservation of pelvic circulation with hypogastric artery bypass in endovascular repair of abdominal aortic aneurysm with bilateral iliac artery aneurysms. *J Vasc Surg*, 2006, **44**: 1170–1175.
- 19) Inuzuka K, Unno N, Mitsuoka H et al: Intraoperative monitoring of penile and buttock blood flow during endovascular abdominal aortic aneurysm repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2006, **31**: 359–365.
- 20) Unno N, Inuzuka K, Mitsuoka H et al: Automated bedside measurement of penile blood flow using pulse-volume plethysmography. *Surg Today*, 2006, **36**: 257–261.

## **Intraoperative Monitoring of Pelvic Hemodynamics Using Near-infrared Spectroscopy during Endovascular Abdominal Aortic Aneurysm Repair**

Kazunori Inuzuka, Naoki Unno, Naoto Yamamoto, Daisuke Sagara, and Minoru Suzuki

Division of Vascular Surgery, Second Department of Surgery,  
Hamamatsu University School of Medicine, Shizuoka, Japan

---

**Key words:** abdominal aortic aneurysm, stent-graft, internal iliac artery, near-infrared spectroscopy, pelvic hemodynamics

We have applied near-infrared spectroscopy (NIRS) to assess the pelvic hemodynamics during endovascular abdominal aortic aneurysm repair (EVAR). We measured bilateral gluteal tissue oxygenation metabolism with NIRS to monitor the gluteal tissue oxygenation index (TOI). Twenty-two men who underwent aortouniliac stent-graft with cross-over femoro-femoral bypass for EVAR were studied. The result demonstrated that the TOI at the buttocks reflected pelvic hemodynamics sensitively. Continuous monitoring of this index during an operation may help with intraoperative planning for intentional internal iliac artery coverage by stent-graft with/without external-to-internal iliac artery bypass.

(J Jpn Coll Angiol, 2007, **47**: 39–45)