

腹部大動脈瘤ステントグラフト内挿術における 両側内腸骨動脈閉塞と腸管虚血 経肛門的直腸内ドプラー法および近赤外線分光法による評価

植村 進¹ 重松 宏¹ 横井 良彦¹ 島崎 太郎¹ 川口 聡¹ 石丸 新²

要 旨：腹部大動脈瘤 (AAA) に対するステントグラフト (SG) 内挿術による両側内腸骨動脈 (IIA) 閉塞の可否を術中判断する新しい方法として、経肛門的直腸内ドプラー法 (TAD) および臀部近赤外線分光法 (NIRS) を検討した。待機的に治療した非破裂性腎動脈下AAAの症例において、分岐型SG (Zenith® AAAエンドバスキュラーグラフト) 内挿術を施行した13症例をSG群、外科手術 (OS) を行った30症例をOS群とした。手術前にTAD用プローブを上直腸動脈領域の血流を検知する部位で固定し、またNIRS用プローブを左右の臀部に貼付した。OS群では鉗子により、SG群ではオクルージョンバルーンカテーテルにより腎動脈分岐直下で大動脈の血流を遮断し、拍動性ドプラー音が消失しない例、および消失しても短時間 (30秒以内) に回復する例を上腸間膜動脈 (SMA) 優位と判断した。SMA優位率はSG群で76.9%、OS群で73.3%であった。ドプラー音の回復時間とNIRSの大動脈遮断後oxy-Hb、deoxy-Hb解離幅との間に有意な相関を認めた。両群ともに少なくとも一側のIIA温存を原則としたが、OS群のSMA優位例のうち6例で両側IIAを閉塞した。全例で術後に腸管虚血を来したものはなかった。SG内挿術において、術中にTADを用いることにより上直腸動脈領域の血流をモニタリングすることが可能で、両側IIAを閉塞させることの可否の判断に有用であると考えられた。臀部におけるNIRSの応用もまた、有用な術中モニターとなる可能性が示唆された。

(J Jpn Coll Angiol, 2007, 47: 403-410)

Key words: abdominal aortic aneurysm, stent graft, intestinal ischemia, transanal Doppler ultrasound, near-infrared spectroscopy

緒 言

腹部大動脈瘤 (abdominal aortic aneurysm: AAA) に対するステントグラフト (stent graft: SG) 内挿術は、従来の外科的人工血管置換術 (open surgery: OS) と比較して、その低侵襲性から広く用いられるようになり、デバイスシステムの進歩にも目覚ましいものがある。しかし、いまだその適応は動脈瘤の形態に大きく影響を受けている。特に両側の総腸骨動脈 (common iliac artery: CIA) 末梢にまで瘤が及ぶ例においては、分岐型SGの両側脚を外腸骨動脈 (external iliac artery: EIA) に留置して内腸骨

動脈 (internal iliac artery: IIA) を閉塞することによる腸管虚血の発症が危惧され、適応外とする意見が多い。

一方、OSにおいては下腸間膜動脈 (inferior mesenteric artery: IMA) あるいはIIAの結紮の可否について判断するための術中モニタリングとして、IMA断端圧測定をはじめとするいくつかの方法が試みられている。そのうち経肛門的直腸内ドプラー法 (transanal Doppler ultrasound: TAD) は術中に上直腸動脈領域の血流をモニタリングするもので、開腹を要しないSG内挿術の際にも応用が可能である。

そこでわれわれは、分岐型SG内挿術あるいはOSを施行する際にTADによる血流評価を行い、特にSGにお

¹東京医科大学外科学第2講座

²戸田中央総合病院血管内治療センター

2007年1月16日受付 2007年6月27日受理

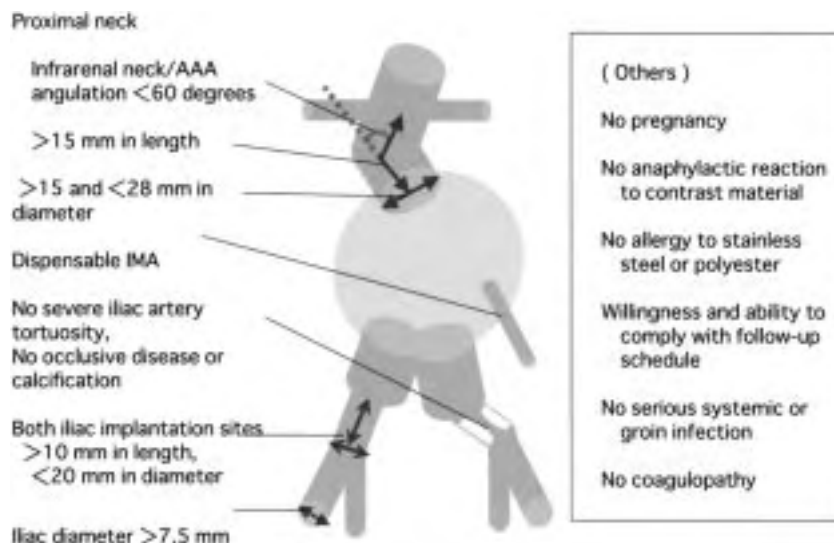


Figure 1 Inclusion criteria for Zenith® AAA.

けるIIA血流遮断の可否を判断するための術中モニタリングとしてTADの有用性について検討した。またSG内挿術の際に同時に施行可能である臀部近赤外線分光法 (near-infrared spectroscopy: NIRS) を併用し、その有用性についても検討した。

対象と方法

(1) 対象

2001年6月より2002年8月までの期間に待機的治療の適応とされた非破裂性腎動脈下AAAの連続50例について、書面による十分なインフォームドコンセントを行ったうえで本研究の対象とした。治療法の選択は、Zenith® AAAエンドバスキュラーグラフト (Cook社, Bloomington 臨床治験プログラムのプロトコル (Fig. 1) に従い、適応症例に対し同社製 modular 型 bifurcated SG による内挿術を施行した (SG 群)。それ以外の例では個々の症例のリスクを検討し、可能と判断された場合は外科的に人工血管置換術を施行し (OS 群)、ハイリスク症例には自作直管型 SG 内挿術を施行した。

(2) 治療法

1) 外科手術

経腹膜到達法あるいは腹膜外到達法により大動脈瘤を露出して大動脈中枢側と各分枝動脈にテープをかけ

た。IMAは根部を遮断し、その末梢側で断端圧を測定した後に全例でこれを結紮した。次いで両側のIIA・EIAを遮断し、5分後に腎動脈下大動脈の鉗子による遮断を行い、腎動脈下大動脈から直型人工血管にて末梢側大動脈まで、あるいは分岐型人工血管にてCIAもしくはEIAまで置換した。この際、少なくとも一側のIIAの温存を原則とした。

2) ステントグラフト内挿術

手術室にて全身麻酔下に両側大腿動脈を露出し、pull through法によりガイドワイヤーを左上腕動脈から大腿動脈に通し、その誘導下にデリバリーシステムを動脈内に挿入した。SG体部を腎動脈下で拡張させ、次いで脚追加用SGを留置した。この際少なくとも一側のIIAを温存することとした。また、SG内挿術の完成5分後に遮断テストとして、オクルージョンバルーンカテーテル (LDOB 6.0-35-100-30, Cook社, Bloomington) を用いSGの中核側 (腎動脈直下) にて大動脈の血流を3分間途絶させた (Fig. 2)。

(3) 計測方法

1) 経肛門的直腸内ドブラー法

直腸ドブラープローブ (東京エアウォーター社) 10MHzを用い、SG群、OS群とも麻酔導入後にこれを直



Figure 2 Aortic clamping by occlusion catheter at the stent grafting.

腸内に挿入，プローブを背側に向け上直腸動脈領域の血流を検知する部位で固定し，VASCULAR MINILAB II (PARKS社)との接続によりドプラー音の検出および波形の記録を行えるようにした。腎動脈下大動脈の血流遮断にて拍動性ドプラー音が消失しない例および消失しても短時間(30秒以内)に回復する例を上腸間膜動脈(superior mesenteric artery: SMA)優位と判断した。30秒以内にドプラー音が回復しない場合は，SG群では遮断テストを終了する3分まで，OS群では大動脈遮断後30分まで回復の有無を確認した。

2) 近赤外線分光法

NIRS用レーザー発生装置OM220(島津製作所社)を用い，プローブを左右の臀部(大殿筋上)にそれぞれ貼付しSG群では両側総大腿動脈遮断を，OS群では両側IIA・EIA遮断を先行させたうえで，大動脈遮断の直前にゼロ点を取りoxy-Hb，deoxy-Hb波形，数値の変動を記録した。

3) 統計処理

TADによる回復時間とIMA断端圧/体血圧比，NIRSの最大解離幅とIMA断端圧/体血圧比，およびTADによる回復時間とNIRSの最大解離幅との相関についてはFisherのz変換にて有意差検定を行った。TADによる回

復の有無に対するNIRSの最大解離幅の病態識別能についてはROC(receiver operating characteristic)曲線による漸近有意確率にて検定した。その他の因子の比較は χ^2 検定により行い，すべて検定結果は危険率0.05未満をもって有意とした。

結 果

分岐型SQ(Zenith® AAA)内挿術が非適応とされた例のうち，ハイリスクとの判断(冠動脈疾患，呼吸機能障害，腎機能障害などの併存あるいは複数の開腹歴)によりOSを行わず，自作のSQ(straight型あるいはtaper型)を内挿した5例，OS症例のうち術中に消化管(横行結腸)損傷を来した1例，および動脈瘤破裂を来した1例を本研究の対象から除外した。SG群は13例，OS群は30例で，これらの年齢は48～86歳，平均74.0歳(SG群：70.5歳，OS群：75.5歳)，男女比は35：8であった。OS群ではIMAの開存を21例に認め，IMA断端圧/体血圧比は0.52～0.95，平均0.75であった。OS群におけるSMA優位例のうち6例でIMAおよび両側IIAの分枝とも結紮したが，それらを含めた全例で術後腸管虚血症状を認めなかった。

経肛門の直腸内ドプラー法

SG群で大動脈遮断後にドプラー音が消失し，3分経過後も回復しなかった1例，OS群で両側IIA・EIAを遮断後にドプラー音が消失し，大動脈遮断までに回復しなかった1例，および大動脈遮断後にドプラー音が消失し，30分経過後も回復しなかった1例は，ドプラー音の回復時間計測不能例であった。SMA優位率はSG群で76.9%(10/13)，OS群で73.3%(22/30)であった(Fig. 3)。OS群において，IMA断端圧/体血圧比はドプラー音の回復時間との間に有意な相関を認めなかった(Fig. 4)。

近赤外線分光法

大動脈遮断の直前にゼロ点をとると，大動脈遮断後のoxy-Hbの波形は基線より下方に，deoxy-Hbの波形は基線より上方に解離していく。大動脈遮断解除によりこれらの波形は基線方向に復していくが，それまでのoxy-Hb，deoxy-Hbの波形の最大解離幅(最大絶対値の和)を左右の臀部それぞれで算出し，その平均値を評価した(Fig. 5)。TADによる回復時間は最大解離幅との間に有意な相関を認めた($r=0.484$ ， $p=0.0011$)(Fig. 6)。

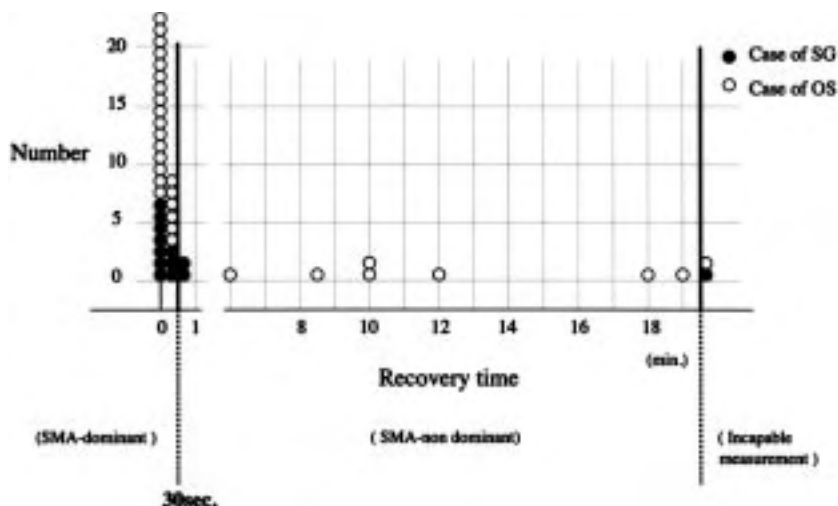


Figure 3 Relations between recovery time and SMA-dominant/SMA-non dominant in both groups.

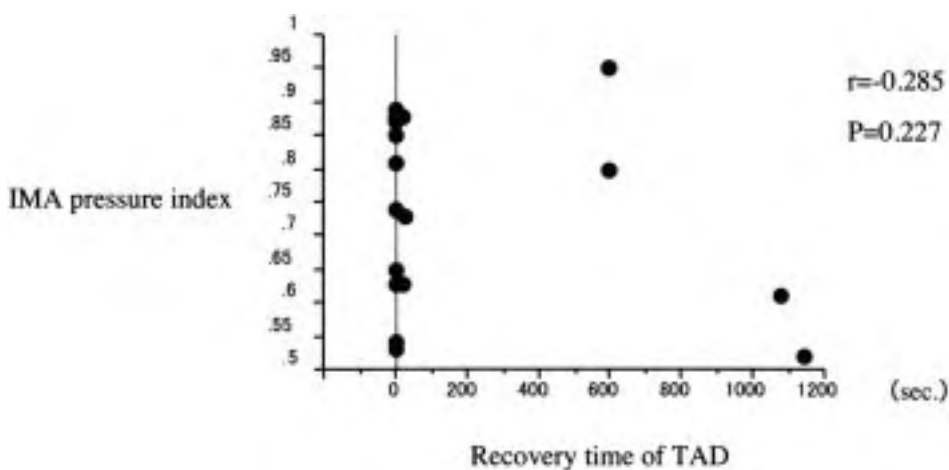


Figure 4 The correlation diagram of IMA pressure index (IMA stump pressure/systemic pressure) and recovery time.

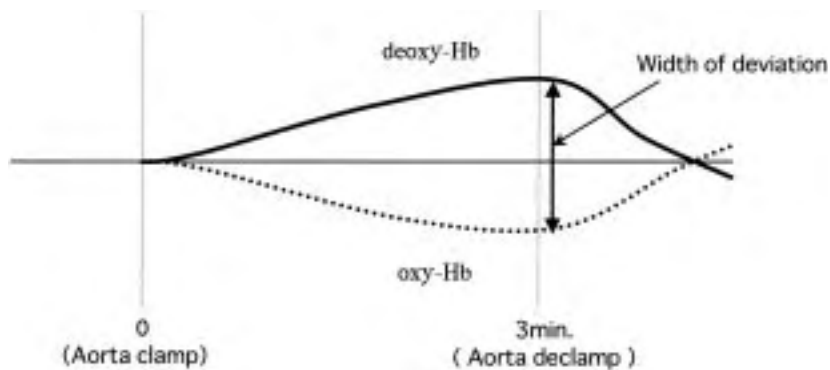


Figure 5 Oxy/deoxy-Hb waveform and measurement item in buttocks NIRS.

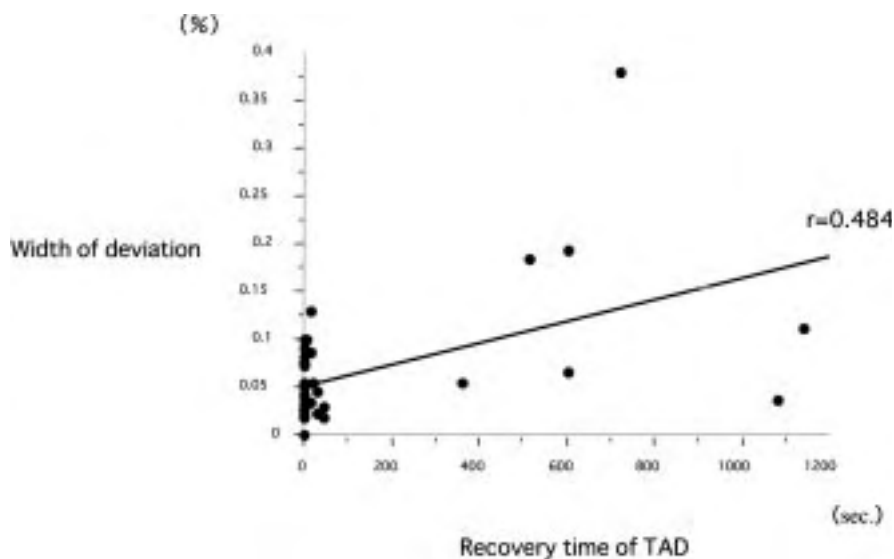


Figure 6 The correlation diagram of each measurement item in buttocks NIRS and recovery time.

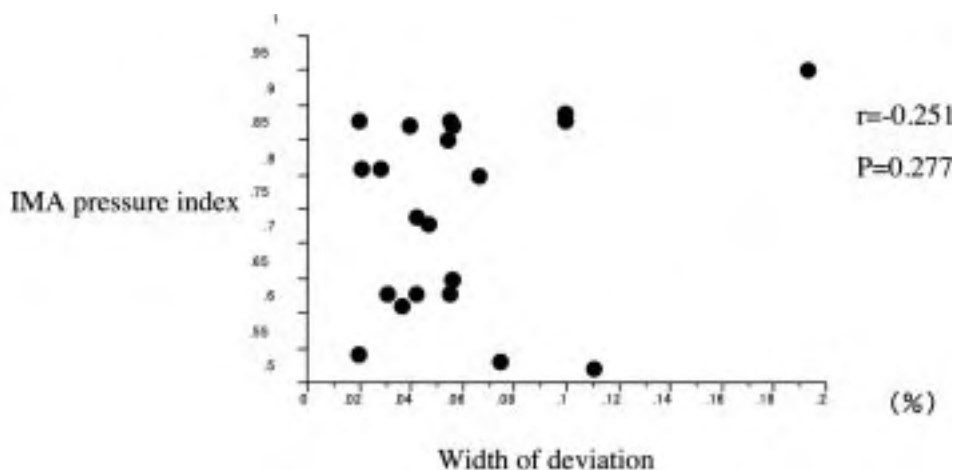


Figure 7 The correlation diagram of IMA pressure index (IMA stump pressure/systemic pressure) and buttocks NIRS.

この両者をさらにROC曲線にて検討したところ、漸近有意確率は0.278となり、最大解離幅はTAD上の回復、非回復に対し有意な病態識別能を有しないと判断された。IMA断端圧/体血圧比は最大解離幅との間に有意な相関を認めなかった(Fig. 7)。

考 察

AAA手術における術後腸管虚血の発生頻度は3~7.4

%¹⁻⁴⁾程度といわれているが、発症した際の死亡率は51.2~88.2%^{2,5)}と極めて高く、重篤な合併症の一つである。その予防を目的として外科手術の際に、ErnstらによるIMA断端圧測定をはじめとしたさまざまな術中腸管血流モニタリングが試みられ、有効性が確認されている⁶⁻⁸⁾。

一方、AAAに対するSG内挿術は、近年その低侵襲性から盛んに行われるようになり、デバイスシステムの

進歩によりその適応が拡大してきている。しかしSG内挿術において、術後合併症としての腸管虚血の発生率は1~2.9%と少ない^{1, 9, 10)}にもかかわらず、それを防ぐための有用な術中腸管血流モニタリングがないために、両側IIAの血行遮断を必要とする症例は適応外としているのが現状である^{11, 12)}。当教室においてもAAA症例のうち腸骨動脈瘤が併存しているためにSG内挿術の非適応とされたものが23.6%にも及んでいる。そこで、SG内挿術の適応を拡大するため、血管内治療時に応用可能な術中腸管血流モニタリングシステムの開発が必要であり、またそれは低侵襲というSG内挿術の特質を損なわないものでなければならない。

桜沢らは、OSを施行したAAA 102例に対しTADを用い、大動脈遮断テストによりドブラー音が消失しない、あるいは消失後15分以内に回復する例を腸管血流のSMA優位例とし、IMA、両側IIAの3分枝とも結紮可能であることを証明した^{13, 14)}。この方法はSG内挿術にも応用可能であるものの、最長で15分間行わなければならない大動脈遮断テストではSG内挿術の低侵襲性が損われる恐れがある。そこでわれわれは、本手技の手順を検討し、桜沢らが動脈を遮断するまでIMA、IIAを開存させていたことに対し、SMAの血流が側副路を介して上直腸動脈まで到達するためのプレコンディショニングとするため大動脈遮断に先行してIMA、両側IIAの血流を遮断することとした。これにより大動脈遮断後にドブラー音が消失しない、あるいは消失後極短時間(30秒以内)で回復するものをSMA優位例とした今回の研究において、SMA優位率はSG群で76.9%、OS群では73.3%であり、桜沢らの77.5%とする結果との間で有意な偏りを示さなかった($\chi^2, p=0.90$)。これによりTADにおいて30秒という短時間の動脈遮断テストが可能となった。

臀部(大殿筋領域)におけるNIRSは、IIAからの最大の分枝である上殿動脈およびそれに次ぐ下殿動脈が主に大殿筋、中殿筋に分布することからIIAの血行を反映し、したがって大動脈遮断によるoxy-Hb, deoxy-Hbの変動はSMAからの側副血行に依存する可能性があると考え、術中臀部NIRSを併用することとした。また測定に際しSGでは両側総大腿動脈遮断を、OSでは両側IIA・EIA遮断を先行させ、ゼロ点をとった後大動脈遮断を行い下殿動脈と吻合する内側・外側・大腿回旋動脈の影響を排除した。その結果、ドブラー音回復時間との間で最

大解離幅が正の相関を示した。これにより大動脈遮断後の臀部におけるoxy-Hb, deoxy-Hbの変化はTADと同様に腸管血流を、特に大動脈遮断中はSMAからの側副血行を反映している可能性が示された。しかしTAD上の回復、非回復と最大解離幅とをROC曲線にて検討したところ、漸近有意確率は0.278となり、その結果、最大解離幅はTADで示されたSMA優位、非優位に対し有意な識別能を有しないと判断された。臀部NIRSについては、測定方法など今後もさらなる検討が必要と考えられた。

また、ドブラー回復時間および臀部NIRSともに、IMA断端圧/体血圧比との間に相関がみられなかった。これは大動脈遮断中のTAD、臀部NIRSはSMAからの血流のみを反映するが、手順上IMA断端圧測定時にはIMA根部の遮断のみを行ったため、SMAのみならずIIAの血流の影響を受けたためと考えられる。

以上の結果を踏まえ、われわれは分岐型SG内挿術における新たな治療戦略を以下のごとく提唱する。

両側CIAに瘤の存在や距離の不足があり、末梢ランディングゾーンを両側EIAに求めなければならない場合、腎動脈下大動脈にSG体部を、片側EIAに挿入路側脚を拡張させたうえで、事前に作製した一時留置型対側脚をCIAあるいはEIAに留置することによりIMAの血行を途絶させた状態をつくり、大動脈遮断テストを行う。その結果、SMA優位と判定されれば、対側脚を永久留置SGに入れ替えEIAに留置しSG内挿術を完成させる。非SMA優位であれば、SG体部中枢から挿入路側脚までtaper型SGを追加挿入することで対側脚血流を遮断したうえで、外科的に大腿-大腿交叉バイパス術および対側CIA結紮術を行う。

本研究の限界は、実際にSG群で両側IIAを閉塞させた症例がないこと、および全症例において腸管虚血を来したものがいないことであり、またTADは定量法ではなく血流の回復程度の評価が不可能な点、SMA優位となるドブラー音回復時間を30秒以内とした設定の整合性を証明し得ないことも問題点として残るものである。しかし、術中SMA優位と判断されたOS群6例にIMA、両側IIAの3分枝とも結紮を行い、全例で術後腸管虚血症状を認めなかったことはわれわれの提示した治療戦略を支持するものと考えられ、今後もさらに症例を重ね評価していきたい。

稿を終えるにあたりご助言を賜りました桜沢健一先生

に深甚なる謝意を表しますとともに，研究にご協力いただきました教室の諸先生方に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 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**: s27–s32.
- 2) Chen JC, Hildebrand HD, Salvian AJ et al: Predictors of death in nonruptured and ruptured abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Surg*, 1996, **24**: 614–623.
- 3) Vollmar JF, Fleischmann W: Ischemic colitis following reconstructive interventions of the aortoiliac vascular segment. *Langenbecks Arch Chir*, 1985, **363**: 165–178.
- 4) Ernst CB: Prevention of intestinal ischemia following abdominal aortic reconstruction. *Surgery*, 1983, **93**: 102–106.
- 5) Levison JA, Halpern VJ, Kline RG et al: Perioperative predictors of colonic ischemia after ruptured abdominal aortic aneurysm. *J Vasc Surg*, 1999, **29**: 40–47.
- 6) Ernst CB, Hagihara PF, Daugherty ME et al: Inferior mesenteric artery stump pressure: a reliable index for safe IMA ligation during abdominal aortic aneurysmectomy. *Ann Surg*, 1978, **187**: 641–646.
- 7) Avino AJ, Oldenburg WA, Gloviczki P et al: Inferior mesenteric venous sampling to detect colonic ischemia: a comparison with laser Doppler flowmetry and photoplethysmography. *J Vasc Surg*, 1995, **22**: 271–277.
- 8) Uriel K, Fiore WM, Geary JE: Detection of occult colonic ischemia during aortic procedures: use of an intraoperative photoplethysmographic technique. *J Vasc Surg*, 1988, **7**: 5–9.
- 9) Zarins CK, White RA, Schwarten D et al: AneuRx stent graft versus open surgical repair of abdominal aortic aneurysms: multicenter prospective clinical trial. *J Vasc Surg*, 1999, **29**: 292–308.
- 10) Dadian N, Ohki T, Veith FJ et al: Overt colon ischemia after endovascular aneurysm repair: the importance of microembolization as an etiology. *J Vasc Surg*, 2001, **34**: 986–996.
- 11) Chuter TA, Risberg B, Hopkinson BR et al: Clinical experience with a bifurcated endovascular graft for abdominal aortic aneurysm repair. *J Vasc Surg*, 1996, **24**: 655–666.
- 12) Chuter TA, Reilly LM, Faruqi RM et al: Endovascular aneurysm repair in high-risk patients. *J Vasc Surg*, 2000, **31**: 122–133.
- 13) 桜沢健一：腹部大動脈血行再建手術後の腸管虚血の予防に関する研究 経肛門的直腸内ドップラー法を用いた再建術式の決定．日外会誌，1991，**92**：1509–1519．
- 14) 桜沢健一，岩井武尚，村岡幸彦 他：経肛門的直腸内ドップラー法による腹部大動脈瘤102例の観察．日血外会誌，1995，**4**：407–412．

Prediction of Intestinal Ischemia Following Bilateral Hypogastric Arteries Occlusion in Stent Graft Repair of Abdominal Aortic Aneurysm —Evaluation by Transanal Doppler Ultrasound and Near-infrared Spectroscopy at the Buttocks—

Susumu Makimura,¹ Hiroshi Shigematsu,¹ Yoshihiko Yokoi,¹ Taro Shimazaki,¹ Satoshi Kawaguchi,¹ and Shin Ishimaru²

¹Department of Surgery, Tokyo Medical University, Tokyo, Japan

²Center for Endovascular Therapy, Toda Chuo General Hospital, Saitama, Japan

Key words: abdominal aortic aneurysm, stent graft, intestinal ischemia, transanal Doppler ultrasound, near-infrared spectroscopy

The objective of our study was to investigate the usefulness of the transanal Doppler ultrasound and near-infrared spectroscopy at the buttocks. We evaluated occlusion of the bilateral hypogastric arteries during stent graft (SG) repair for abdominal aortic aneurysm (AAA).

The subjects were 50 consecutive patients with non-ruptured infrarenal AAA for whom standby treatment was indicated during a period from June 2001 to August 2002. They were divided into the SG group and the OS group undergoing branched SG repair and open surgery, respectively. A transanal Doppler probe was fixed at the site where blood flow in the upper rectal arterial area was detected and probes for near-infrared spectroscopy were patched at the left and right buttocks. Aortic clamp was performed in the OS group. In the SG group, aortic blood flow was blocked by an occlusion catheter. SMA domination was considered when 1) pulsating Doppler sounds remained following aortic blockage, 2) the sounds disappeared and then reappeared within 30 seconds.

The SG and OS groups consisted of 13 and 27 cases, respectively. With the transanal Doppler ultrasound, the SMA domination rates were 76.9% in the SG group and 70.4% in the OS group. The recovery time by the transanal Doppler method correlated significantly with the left and right mean levels of oxy-Hb and deoxy-Hb dissociation width. There were no cases with intestinal ischemia after surgery.

The transanal Doppler ultrasound enables monitoring of blood flow in the upper rectal arterial area during surgery for SG placement, thus considered useful for evaluating occlusion of the bilateral internal iliac arteries. Application of near-infrared spectroscopy at the buttocks might be a useful method for intraoperative monitoring during surgery.

(J Jpn Coll Angiol, 2007, **47**: 403–410)