
透析患者のバスキュラー・アクセス評価における Superb Micro-Vascular Imaging (SMI)の 臨床的有用性

能登宏光、加藤 彩、能登 舞、嵯峨まゆ子、佐々木由美、佐藤啓子、佐々木佳奈、
金野裕介、若松公太郎、小野真美、三浦麻由美、宮腰文華、羽賀繁子
医療法人 秋田泌尿器科クリニック

Clinical usefulness of Superb Micro-Vascular Imaging (SMI) in assessing the vascular access of hemodialysis patients

Hiromitsu Noto, Aya Kato, Mai Noto, Mayuko Saga, Yumi Sasaki,
Keiko Sato, Kana Sasaki, Yusuke Konno, Koutarou Wakamatsu Mami Ono,
Mayumi Miura, Ayaka Miyakoshi and Shigeko Haga
Akita Urologic Clinic

<緒言>

血液透析に用いるバスキュラー・アクセス (Vascular Access: VA) を適確に作製し、それを長期間維持することは、透析患者のQOLにとって重要な課題である。しかし、患者の高齢化、透析長期化、糖尿病を基礎や合併疾患とする患者増加などから、VAに関するトラブルも増えている。VAトラブルとしては、①狭窄・閉塞、②瘤、③静脈高血圧、④スチール症候群、⑤過剰血流、⑥感染症、⑦血清腫、⑧アクセス関連疼痛、⑨カテーテルトラブルなどがある¹⁾。VA形態の評価法としては血管造影法が有用であるが、VAの形態や機能を簡便に評価出来るという点では、超音波検査も有用な検査法の一つである。私たちはVA評価に超音波検査法を用い、通常のBモード断層法やドプラ (カラードプラ、パワードプラ) 法に加えて、Fusion 3DやFly Thruといった新しい診断法を取り入れ、その有用性を報告してきた²⁻⁴⁾。この度、従来の超音波検査では難しかった、低流速の血流を描出できるSuperb Micro-vascular Imaging (SMI)⁵⁾ 法を用いてVAの評価を試みたので報告する。

<対象と方法>

慢性維持血液透析患者で、VAが正常に機能している1名と、VAに何らかの問題がある5名を対象とした。

超音波診断装置はAplio 500 (Toshiba)、超音波探触子は12MHz、PLT-1204BTSMIを使用した。VAの血流状態をSMIで描出し、カラードプラ、パワードプラ、Advanced Dynamic Flow

(ADF) の画像と比較検討した。

<結果>

症例1：88歳、男性。

腎硬化症による慢性腎不全の診断で血液透析中。VAの穿刺や透析のためのシャント血流量には問題がなかった。動脈用穿刺部位のBモード、パワードプラ、カラードプラ、ADF及びSIMのVA縦断層像を図1-Aに示した。Bモード断層像で狭窄はなく、いずれの方法による画像も明瞭に描出されていた。パワー及びカラードプラ像に若干ノイズが入ったが、カラードプラでは高輝度の乱流が描出され、十分な血流量があることが分かった

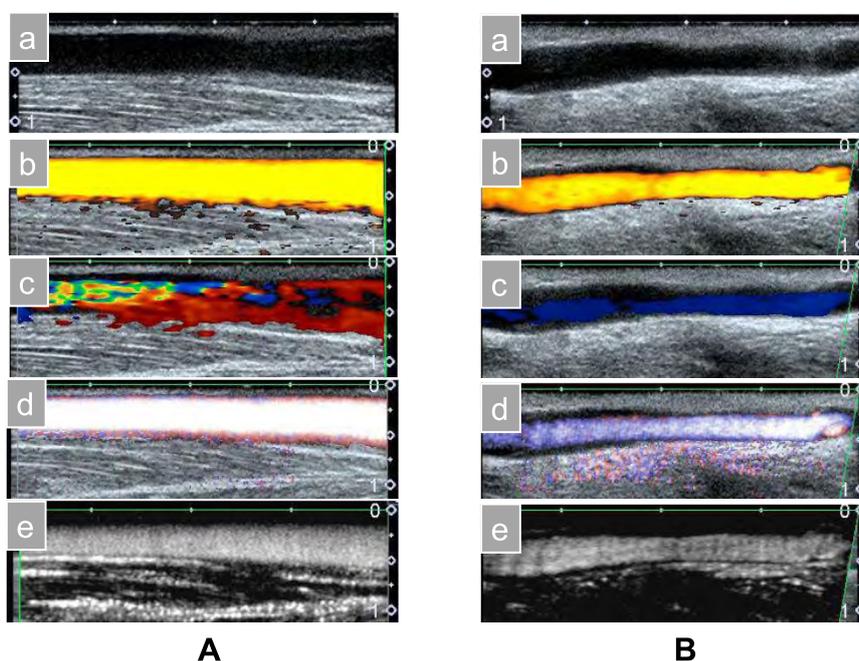


図1 症例1（正常血流例）と症例2（弱い血流例）のVA超音波縦断層像

a：Bモード断層像。 b：パワードプラ画像。 c：カラードプラ画像。 d：ADF画像。 e：SIM画像。

症例2：63歳、女性。

嚢胞腎による慢性腎不全の診断で血液透析中。VAの穿刺や脱血には問題ないが、聴診でシャント音が若干弱い印象を受けた。動脈用穿刺部位の超音波画像を図1-Bに示した。Bモード断層像では狭窄がなかった。パワードプラ像は色調が不均一で、カラードプラ像は均一な色調で層流を示していたがカラーが途切れがちで、どちらも血流が弱いことを示していた。また、ADFでは均一な血流を描出できたが、血管壁との間にカラーがつかない領域があったのに対し、SIMではBモードで観察した血管内腔全体を満たす血流を描出できた。

症例3：48歳、男性。

糖尿病性腎症による慢性腎不全の診断で血液透析中。1年前と2か月前に、シャント狭窄に対して経皮的血管拡張術（PTA：Percutaneous Transluminal Angioplasty）を施行した。透析時に

血流不足（駆血して180~200ml/min）が続くため、超音波検査を施行した。Bモード断層像で動静脈吻合部付近に1.6mmの狭窄が描出され、カラードプラでノイズを伴った高輝度の血流が描出された（図2 a）。狭窄よりも肘側に血栓が描出されたが（図2 b）、さらに肘側をパワードプラで観察すると、深部血管からの血液の流入が描出された（図2 c）。カラードプラで観ると、血栓部よりも中枢側に青色に描出される血流があり、深部血管から赤色に描出される血流が流れ込んでいる状態が描出された（図2 d）。SIMでの観察では、深部血管からの血流と血栓部を通ってきた血流が、合流している状態がより明瞭であった（図2 e、f）。

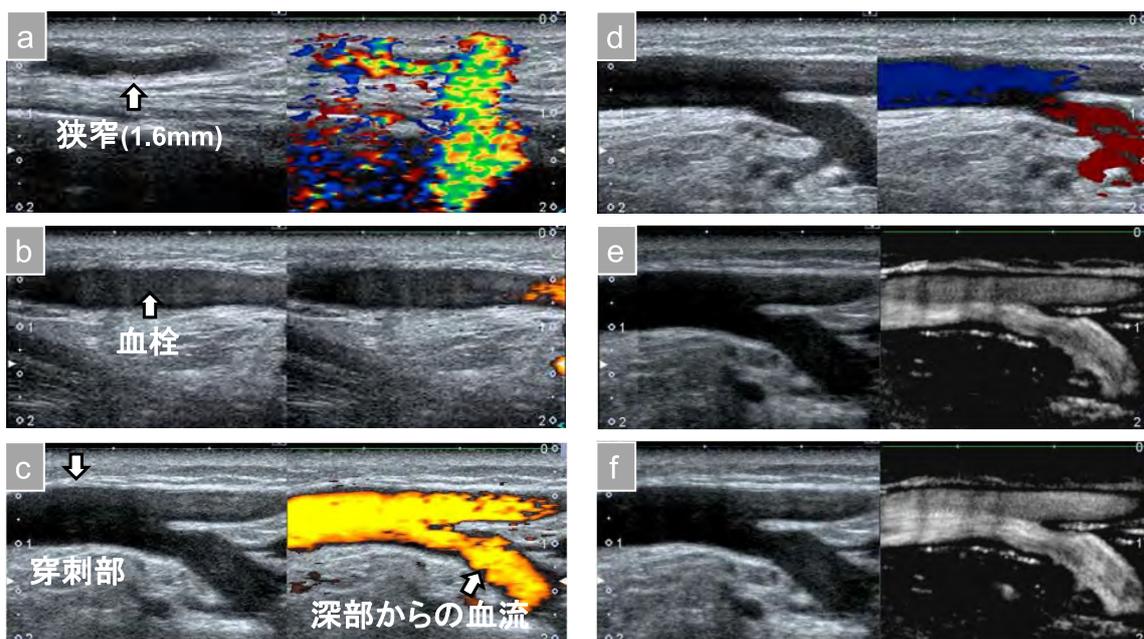


図2 症例3（VA狭窄と血栓形成例）のVA超音波縦断層像

a：1.6mm径の狭窄部のカラードプラ画像。 b：狭窄部より少し肘側のBモード断層像（左）とパワードプラ画像（右）。狭窄部側の血栓内に、パワードプラで少し血流が入り込んでいる状態が描出された。 c：動脈用穿刺部位のBモード断層像（左）とパワードプラ画像（右）。 d：動脈用穿刺部位のBモード断層像（左）とカラードプラ画像（右）。 e、f：動脈用穿刺部位のBモード断層像（左）とSIM画像（右）。

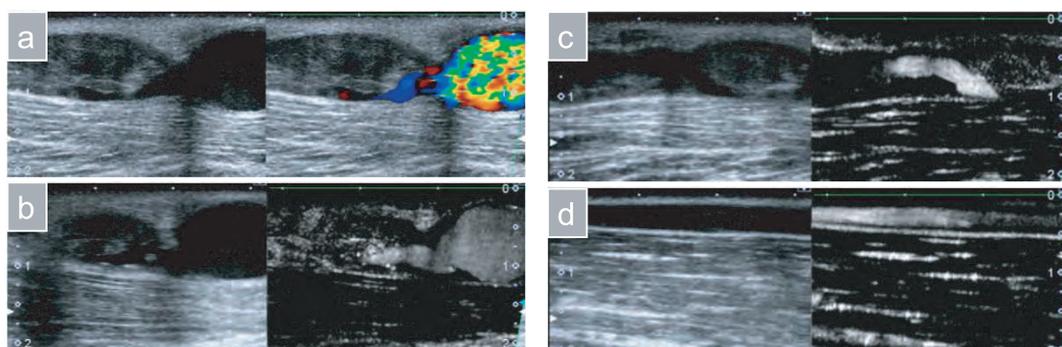


図3 症例4（VA血栓形成例）のVA超音波縦断層像

a：Bモード断層像（左）とカラードプラ画像（右）。 b、c、d：Bモード断層像（左）とSIM画像（右）。

症例4：61歳、男性。

慢性糸球体腎炎による慢性腎不全の診断で血液透析中。静脈側穿刺を行ったが脱血出来ないため超音波検査を行った。Bモードで観察すると、穿刺部位に血栓が形成されており、カラードプラで血栓周囲に少し血流が流れ込んでいる状態が描出された（図3 a）。SIMでは血栓を避けて流れる血流が描出され（図3 b、c）、それよりも中枢側のシャント血管は内径は小さいが、血流があることが分かった（図3 d）。SIMで血流が描出された部位に返血して透析を行い、後にシャント再建術を行った。

症例5：59歳、女性。

慢性糸球体腎炎による慢性腎不全の診断で血液透析中。透析時の穿刺や脱血には問題なかったが、Bモード断層像で血管内に柵状構造物が描出された（図4 a）。3DやFly Thruでも、シャント血管中央に帯状に柵状物が描出され、静脈弁とは異なる所見であった（図4 b、c）。横断面像を描出し、パワードプラ、カラードプラ、ADF、SIMの画像を比較すると、SMIが柵状物を避けて流れる血流を最も明瞭に捉えていた（図4 d-g）。

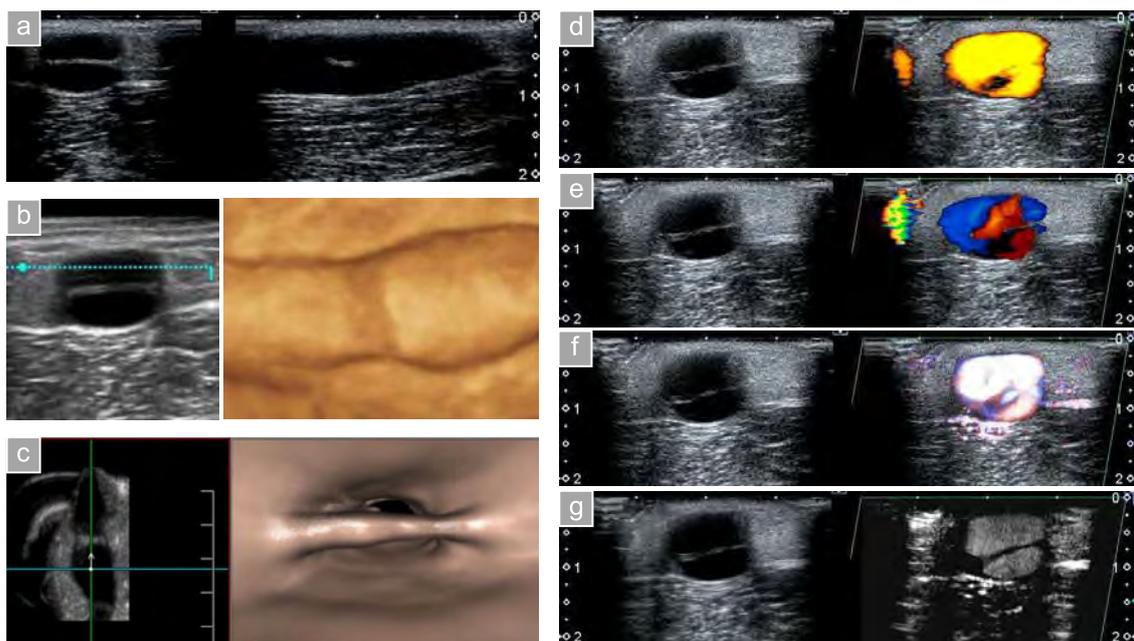


図4 症例5（血管内柵状物）のVA超音波画像

a：Bモード横断層像（左）と縦断層像（右）。 b：柵状構造物のBモード横断層像（左）と同部の3D画像（右）。 c：柵状構造物のBモード縦断層像（左）とFly Thru画像（右）。 d：柵状構造物のBモード横断層像（左）とパワードプラ画像（右）。 e：柵状構造物のBモード横断層像（左）とカラードプラ画像（右）。 f：柵状構造物のBモード横断層像（左）とADF画像（右）。 g：柵状構造物のBモード横断層像（左）とSIM画像（右）。

症例6：64歳、男性。

糖尿病性腎症による慢性腎不全の診断で治療中。透析時、駆血をしないと200ml/minの血流を確保出来なくなってきたため、超音波検査を行った。Bモード断層像で狭窄はなかったが（図5 a）、

パワードプラで血流を表すカラー表示が不均一（図5 b）、カラードプラでカラーが途切れ（図5 c）、ADFでカラー表示が血管内腔全体を占めず（図5 d）、SIMでも血流表示が薄く（図5 e）、どの表示法でもシャント血流量が少ないことを示していた。しかし、SMIで穿刺部よりも中枢側を走査すると、血管径は次第に細くなるものの、血流は明瞭に描出出来た（図5 f）。そこで、静脈側穿刺用に使っていた血管をカラードプラで観察したところ、高流速の乱流を示す高輝度カラー像が描出された（図5 g）。

分岐したシャント血管の本流を動脈側穿刺用として、傍流を静脈側穿刺として使用していたが、穿刺を繰り返している間に、次第に傍流の血流が良くなり、シャント血流量が逆転した結果と分かった。

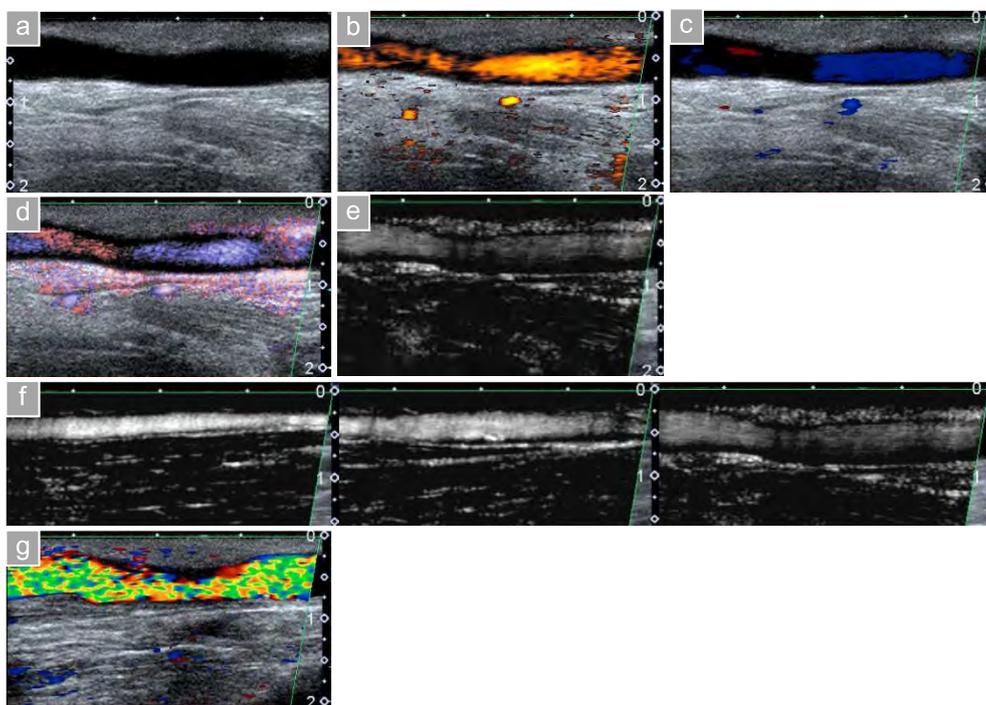


図5 症例6（血流低下例）のVA超音波縦断層像

- a：動脈用穿刺部付近のBモード縦断層像。 b：パワードプラ画像。 c：カラードプラ画像。 d：ADF画像。
 e：SIM画像。 f：動脈穿刺部から中枢側に向かうVA（左が中枢側、右が末梢側）。
 g：静脈用穿刺部のカラードプラ画像。

<考察>

Superb Micro-vascular Imaging (SMI) は、従来の超音波ドプラ法と比較して、高感度、高分解能、高フレームレートで、かつノイズが少ないという利点を有しており、流速の早い血管はもちろんのこと、これまで検出困難であった低流速の血流も明瞭に可視化する、優れた血流表示法である⁶⁾。SIMの臨床的有用性としては、腫瘍血管の描出、炎症の活動性の評価、血流障害の評価、動脈硬化による血管内腔の狭小化の判定や、血管奇形の診断などが考えられ、幾つかの報告⁷⁻¹⁰⁾があるが、VAに関する報告はない。

私たちはこの度SMI法を用いて、正常血流VA、血流不良VA、狭窄VA、血栓形成VA及び血管

内柵状物VAなどを描出し、パワードプラー、カラードプラー、ADFで描出した画像と比較した。その結果、正常血流VAでは、SMI画像によるVA評価は他のドプラー法による画像とほぼ同等であり、血流が少ないか弱いVAでは、SMI画像の方が血流描出という点では優れていた。特に、パワードプラー、カラードプラーあるいはADFでカラーが出ないような、弱いあるいは遅い血流のVAでも、SIM法で血流を捉えることができ、VAにおいてもSIMの臨床的有用性が示された。

VA管理における超音波の有用性に関しては、以前の総説²⁾でも報告したが、最近ではVAの術前・術後管理において、超音波は必須な手段になってきている^{1,11-17)}。Ilhanら¹¹⁾は、VA術前にカラードプラー超音波検査で静脈マッピングすることで、成功率を75%から97%にまで改善させたと報告している。VA術後も超音波を用いたVA評価が推奨されており¹³⁾¹⁴⁾、VA狭窄に対する血管内治療 (Endovascular treatment: ET) のタイミングを決定する上で、上腕動脈血流量とRIの有用性も指摘されている¹⁵⁾¹⁶⁾。

一般に、VA管理に用いられている超音波検査法は、Bモード断層法による形態評価とカラードプラー法による血流評価であるが、近年は、カラードプラー画像よりもADF画像の精度が高いため、VA血流の描出にADF法が用いられるようになってきた。しかし、静脈は低血流量なので、静脈血流を描出するにはカラードプラーやADFよりもSIMの方が適しており、術前静脈マッピングや血流低下VAを描出する場合には、SIM法で行うことの有用性が示唆される。

私たちはこれまでもVA管理に、Fusion 3D (Bモードの3次元データから2次元断面を切り出し、その断面を貫くように、パワードプラー画像の3次元データから構築した、血流3次元画像を合成して表示する方法) や、Fly Thru (3Dプローブで取得した超音波データから、透視投影像を再構成することで、管腔内や血管内を立体的に移動する画像、すなわちX線CTの仮想内視鏡と同様の画像で、管腔や血管内を飛ぶように移動することができるアプリケーション) などを利用し、スタッフや患者・家族に分かりやすい情報を提供してきた²⁻⁴⁾。今回検討したSIM法は、VA特に血流の弱いVAの評価や術前静脈マッピング等に応用可能である。超音波の非侵襲的で簡便である利点を考慮すると、新しい超音波診断技術をVA管理に積極的に取り入れていくことは、より良い血液透析を行っていく上にも有用と考えられる。

<結語>

SMIにより、これまでの超音波ドプラー法では描出できなかった、低流速で微弱なVAの血流も描出できた。超音波診断技術を駆使して、VAの評価を行うことは、透析患者のVA管理において有用と考えられた。

<文献>

- 1) 日本透析医学会：慢性血液透析用バスキュラーアクセスの製作および修復に関するガイドライン。2011年版、透析医会誌 44：855-937、2011.
- 2) 能登宏光、能登 彩：透析患者のバスキュラーアクセス管理における超音波の有用性、Jpn J Med Ultrasound 35：641-661、2008.

-
- 3) 能登宏光、能登 彩、嵯峨まゆ子、他：超音波Fusion 3Dによる人工血管動静脈吻合部の観察、秋田腎不全研究会誌 13：140-144、2010.
 - 4) 能登宏光、嵯峨まゆ子、佐々木由美、他：超音波3D表示と「Fly thru」(仮想内視鏡)によるバスキュラー・アクセスの観察、秋田腎不全研究会誌 16：133-138、2013.
 - 5) 東芝メディカルシステムズ：低流速の血流を描出可能な新しいイメージング技術について、<http://www.toshiba-medical.co.jp/tmd/company/news/140114.html> (2016/02/03最終アクセス).
 - 6) 畠 次郎、佐藤武史、掛江明弘：Superb Microvascular Imaging (SIM)の特徴と臨床的有用性、映像情報 47：438-443、2015.
 - 7) Machado P, Segal S, Lyshchik A, et al.: A Novel Microvascular Flow Technique: Initial Results in Thyroids. *Ultrasound Q* 2015 [Epub ahead of print].
 - 8) Ma Y, Li G, Jing Li J, et al.: The Diagnostic Value of Superb Microvascular Imaging (SMI) in Detecting Blood Flow Signals of Breast Lesions. A Preliminary Study Comparing SMI to Color Doppler Flow Imaging. *Medicine (Baltimore)* 94(36) : e1502, 2015.
 - 9) Gabriel M, Tomczak J, SnochZiókiewicz M, et al.: Comparison of Superb Microvascular Ultrasound Imaging (SMI) and Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) for Detection of Endoleaks After Endovascular Aneurysm Repair (EVAR). *Am J Case Rep* 17: 43-46, 2016.
 - 10) Lee YS, Kim M-J, Han SW, et al.: Superb microvascular imaging for the detection of parenchymal perfusion in normal and undescended testes in young children. *Euro Radiol* 85: 649-656, 2016.
 - 11) Ilhan G, Esi E, Bozok S, et al.: The clinical utility of vascular mapping with Doppler ultrasound prior to arteriovenous fistula construction for hemodialysis access. *J Vasc Access* 14: 83-88, 2013.
 - 12) Dageforde LA, Harms KA, Feurer ID, et al.: Increased minimum vein diameter on preoperative mapping with duplex ultrasound is associated with arteriovenous fistula maturation and secondary patency. *J Vasc Surg* 61: 170-176, 2015.
 - 13) Zamboli P, Fiorini F, D'Amelio A, et al.: Color Doppler ultrasound and arteriovenous fistulas for hemodialysis. *J Ultrasound* 17: 253-263, 2014.
 - 14) American College of Radiology (ACR), Society of Radiologists in Ultrasound (SRU), American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM): AIUM practice guideline for the performance of a vascular ultrasound examination for postoperative assessment of dialysis access. *J Ultrasound Med* 33: 1321-1332, 2014.
 - 15) Sato T, Tsuboi M, Onogi T, et al.: Standard procedures of endovascular treatment for vascular access stenosis in our facility – clinical usefulness of ultrasonography.

J Vasc Access 16 (Supple. 10) : 34-37, 2015.

- 16) Tabuchi K, Kobayashi T, Kumagai J, et al.: Evaluation of percutaneous transluminal angioplasty screening using color Doppler ultrasonography. J Vasc Access 16 (Suppl. 10) : 53-57, 2015.