

[公募助成論文]

# 血管音における周波数の時間的変動を指標とする バスキュラアクセスの音響学的評価

阿岸鉄三\*<sup>1</sup> 泉ゆかり\*<sup>1</sup> 高木絵美子\*<sup>1</sup> 本橋 尊\*<sup>1</sup> 赤松 真\*<sup>1</sup> 佐藤敏夫\*<sup>2</sup>  
川島徳道\*<sup>2</sup> 小見勝利\*<sup>3</sup>

\*1 板橋中央総合病院血液浄化療法センター \*2 桐蔭横浜大学医用工学部臨床工学科 \*3 中央電子(株)

key words: バスキュラアクセス音, 周波数, 時間的変化

## 要 旨

透析用バスキュラアクセスにおける狭窄などによる血流異常を早期に検出する目的で、聴診器で血管音を聴診することが頻繁に行われ、簡便でありながら、臨床的にかなり信頼できるとされている。しかし、現在の聴診法では、①音の変化の感知は主観的である、②再現性がない、③ほかの人に伝達できないので普遍性に欠ける、④定量的評価ができない、すなわち非科学的であり、⑤ある程度の熟練が必要である、などの欠点が指摘できる。これらの欠点を解消する目的で、血管音を心音センサで計測して、音波としての周波数の時間的変化を wavelet 解析する方法が案出された。臨床的に応用して、実際の血流低下の予知などに利用できる有用性が期待される結果が得られた。

## はじめに

慢性腎不全患者に対する維持血液透析を効率よく継続するには、十分な血流量を提供するバスキュラアクセスの確保が絶対必要条件である。しかし、現実には、維持透析患者全体の高齢化、糖尿病性腎症に由来する患者の増加などから動脈硬化が進展し、年々バスキュラアクセス・トラブルを起こす患者が、全数でも、頻度でも増加しつつある。このことはかなり深刻な問題であり、維持透析患者のバスキュラアクセス・トラブルの治療を対象とする専門の医療施設が、現在のとこ

ろ数の少ないこともあって、異常ともいえるにぎわう現象を呈している。

狭窄性変化などのバスキュラアクセス・トラブルに由来する血流低下、極端には廃絶を回避するには、ひとつの考え方として、バスキュラアクセスの血管内形態的变化をできるだけ早期に発見し、必要な対応策をとることが望ましい。言い換えると、決定的な変化をきたし手術的処置が必要になる以前に、薬剤療法や、せいぜい血管内カテーテル操作などで対応することによってバスキュラアクセスの寿命を延長させ、ひいては、透析患者の QOL の保持、生命延長につながることを期待される。

血管内形態的变化を非侵襲的に簡単に探索する方法として、聴診器による血管音の聴診が透析医療が始まった直後から行われてきた。熟練者による聴診は、簡便でありながら、かなりの確に異常を把握することができる一般的な評価されており、日常的に利用されている。しかし、得られる情報は、①主観的である、②再現性に乏しい、③他の人に伝達できないので普遍性にかける、④質的变化を把握できるが定量的評価ができない、すなわち非科学的であり、⑤熟練が必要であることなどを欠点として指摘できる。

聴診による血管音の表現は、“ハイピッチ(ローピッチ)”, “高い音(低い音)”, “尾を引く音(短く終わる音)”などと表現されることが多い。ピッチ・音の高低は音波としての周波数、音の長短は音波としての

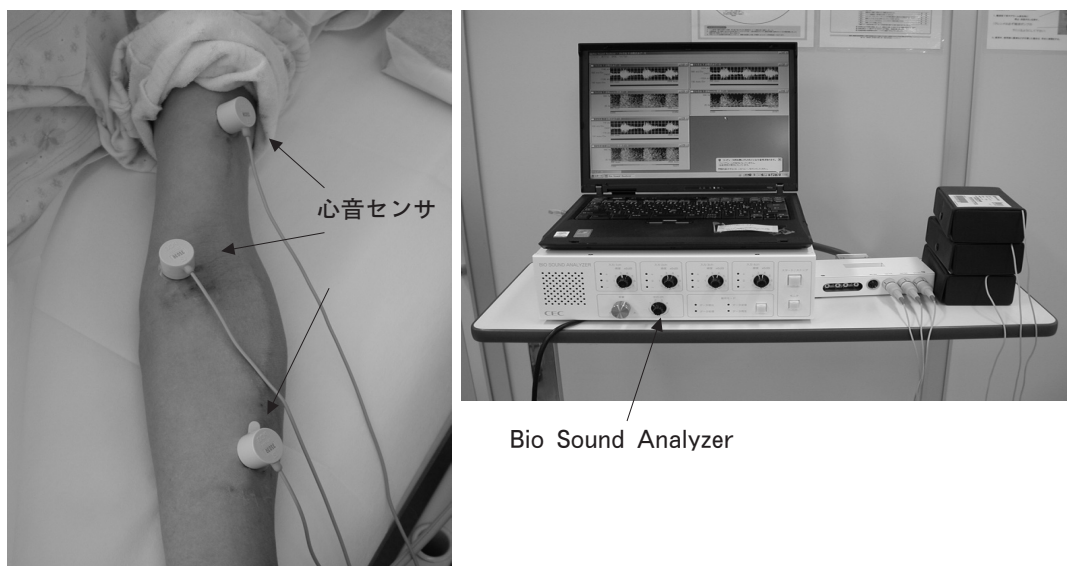


図1 Bio Sound Analyzer

4点まで同時測定・ポータブルでベッドサイドでのデータ収集・リアルタイムでの測定結果表示・評価が可能。(中央電子(株)製, 薬事法未承認品)

振動の継続時間の表現である。これらの周波数・時間は、物理的な量であり、聴診というヒトの感性に依存する質的变化の把握を量的変化として表現ができる可能性がある。すなわち、分析的・科学的な表現が可能となるはずである。さらに、これを機械的に行えと、熟練の問題も解決するはずである。ここに、この研究の基本的な考えがある。

過去数年間の研究から、基礎的技術は、ほぼ確立されたと考えている<sup>1~5)</sup>。すなわち、患者のバスキュラアクセス音を心音センサによって採取し、パソコン内に導いて周波数の時間的変化として記録し、さらに wavelet 変換して保存し、解析するのである。バスキュラアクセス音が、例えば狭窄性変化に対応して高音化(周波数増加)と血管音グループの時間的短縮化の起こることが確認されており、すでに数学的に表現できることまで研究が進められてきた。このたびは、バスキュラアクセスのどの部位で血管音を採取するのがより適切かを検討し、さらに血管造影・手術時視診などのこれまで臨床的にバスキュラアクセスの狭窄を診断する方法として確立された方法との関連性を評価することとした。また、血栓溶解・除去などによってバスキュラアクセスの狭窄性変化が解除された後の血管音を採取し、治療効果の評価も行うこととした。

## 1 方法

使用した計器は、中央電子(株)が試作した Bio

Sound Analyzer である(図1)。脱血側穿刺部・返血側穿刺部・脱血側穿刺部-返血側穿刺部の中間点に貼付した3個の心音センサから、3カ所の血管音を同時採取できる。

この計測システムを用い、バスキュラアクセス用血管に狭窄が生じた疑いがあり、血管造影検査とその後にPTAを行った16症例から血管音の採取・解析検討をした。

## 2 結果

最初に解析の凡例を示す。すべての図において水平方向は時間軸(msec)である。上段にはバスキュラアクセス音の信号が垂直方向に電圧(mV)で示されている。下段には wavelet 変換による解析結果が、垂直方向に周波数(Hz/sec)で示されている(図2)。

典型例を示す。第1例目は、自己血管による内シャント症例である。変化が最も著明に現れたと考えられた動静脈瘻から中枢側(心臓側)で血管音を採取している(図3)。上段はPTA施行3週間前、下段はPTA施行2週間前である。高周波数成分の分布がより多くなり、血管音が次の血管音が始まる前に減弱している。右の血管造影図では、狭窄の状況と心音センサの置かれた部位が示されている。この時点では、血液透析時に脱血不良となることはなかったが、高周波成分が多くなったことから特にブラッドアクセスを注意して観察していた。

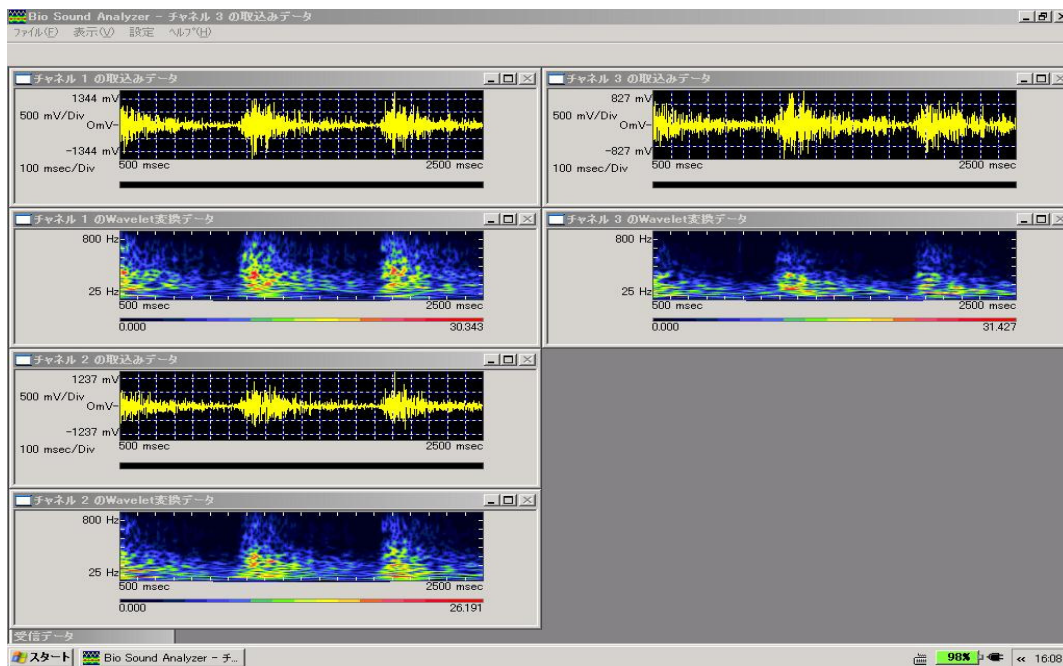
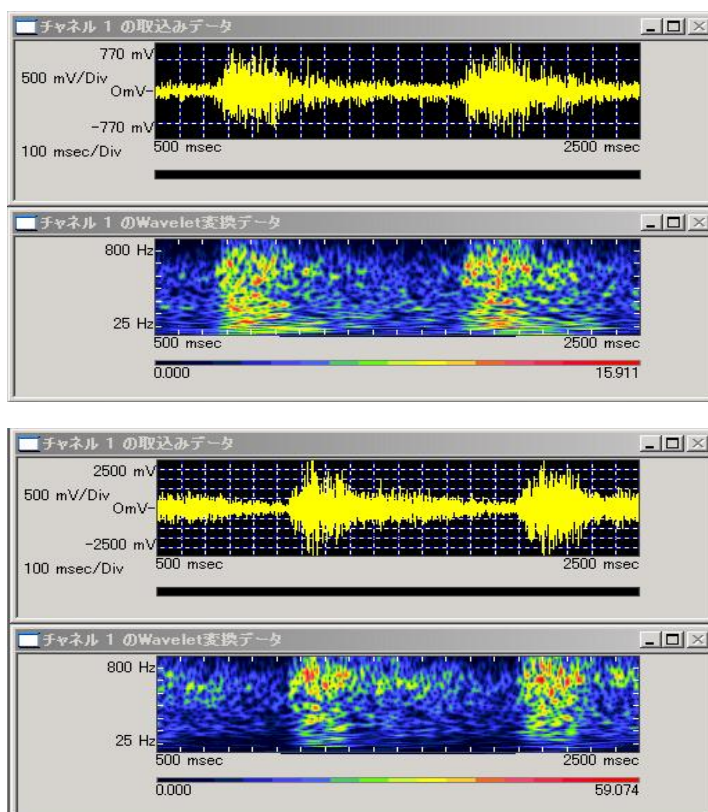


図 2 周波数解析結果画面

上段：バスキュラアクセス音信号，下段：wavelet 変換による解析結果  
周波数成分の振幅：青=小さい～赤=大きい



症例 1. 内シャント患者  
血管造影・PTA 3週間前

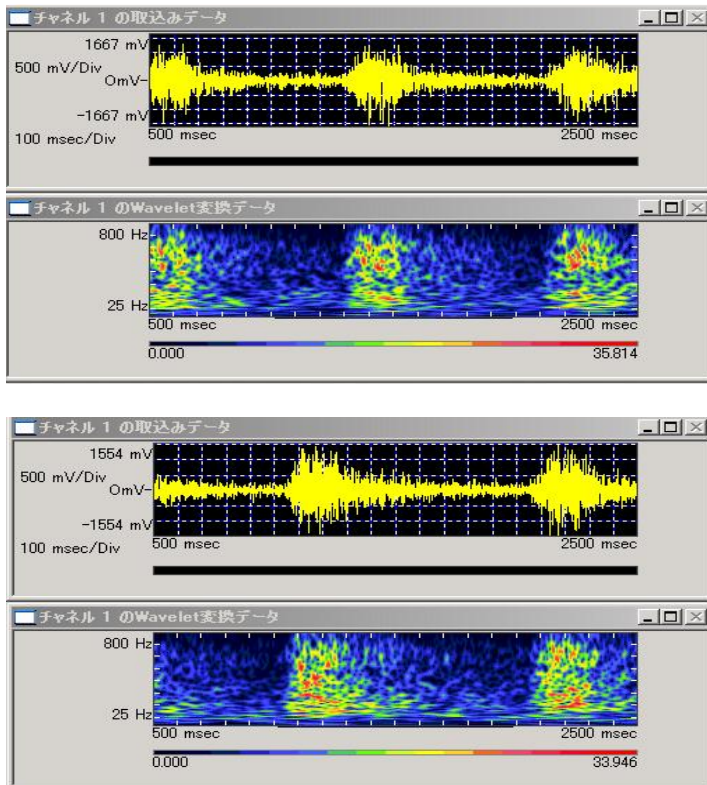


症例 1. 内シャント患者  
血管造影・PTA 2週間前

図 3 内シャント患者：PTA 3週間前・2週間前の周波数解析

上段に見るように PTA 直前になると、それ以前よりも低周波成分が少なくなり、次の血管音開始前には断続的となっている（図 4）。臨床的には、血液透析時に脱血不良をきたすことがしばしばあった。下段は、

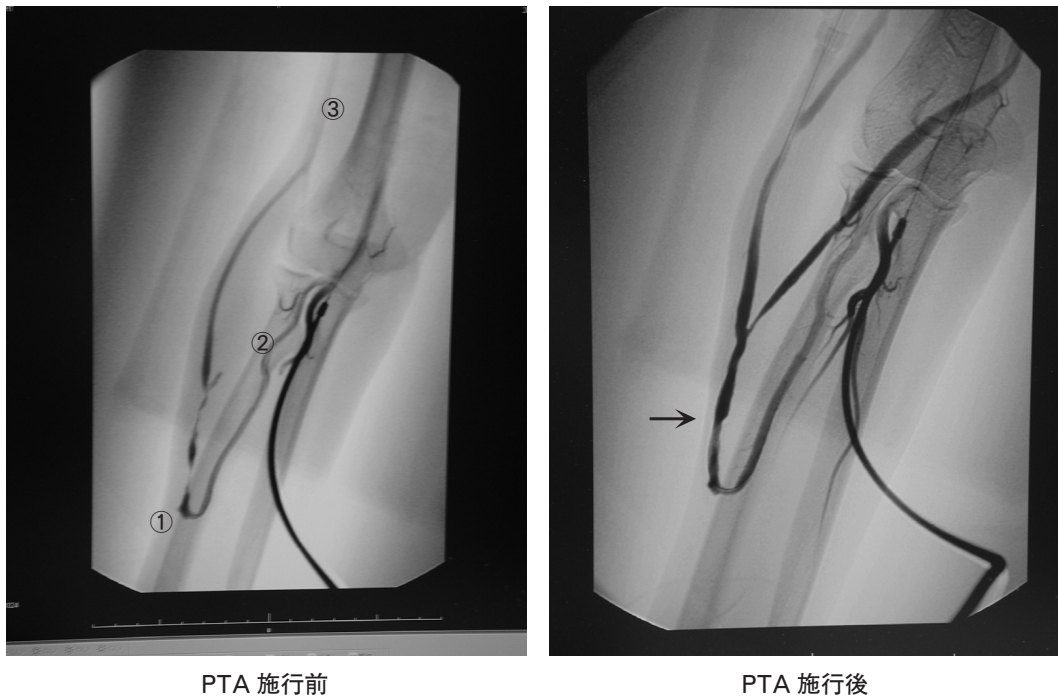
PTA 施行後の周波数解析結果である。高周波数成分の分布から低周波数成分の分布が多くなった変化がわかる。血管音の断続もほぼ、連続へと移行している。血液透析時の脱血も良好となった。



症例 1. 内シャント患者  
血管造影・PTA 直前

症例 1. 内シャント患者  
血管造影・PTA 直後

図 4 内シャント患者：PTA 直前・直後の周波数解析



PTA 施行前

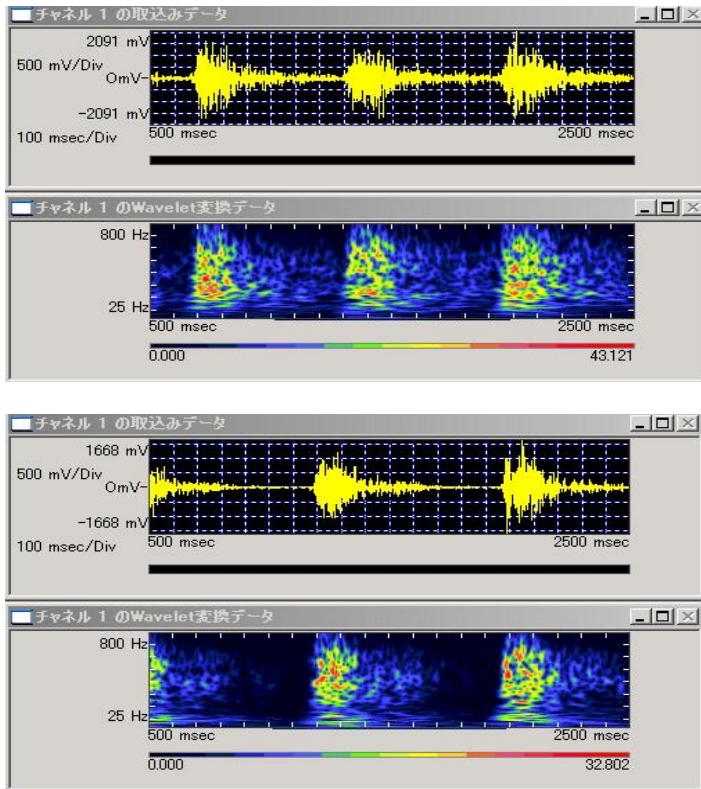
PTA 施行後

図 5 内シャント患者：PTA 前後の血管造影図

図 5 には、血管造影での PTA 施行前のバスキュラアクセス血管の狭窄性変化と、PTA 施行後の改善 (→) が示されている。数字は、心音センサの装着部位を示している。

ついで、バスキュラアクセスとして人工血管を使用

した例の血管音の解析結果を呈示する。図 6 では、上段には PTA 3 週間前、下段には PTA 2 週間前の血管音の周波数と、その wavelet 変換による解析結果が示されている。3 週間前から 2 週間前にかけて、高周波数成分の分布がより多くなり、次の血管音の始ま

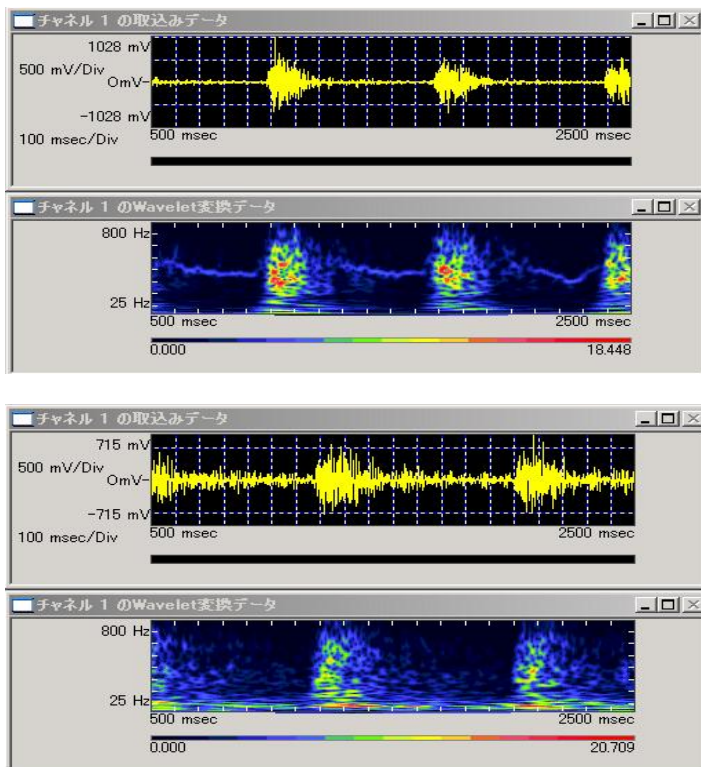


症例 2. 人工血管患者  
血管造影・PTA 3 週間前

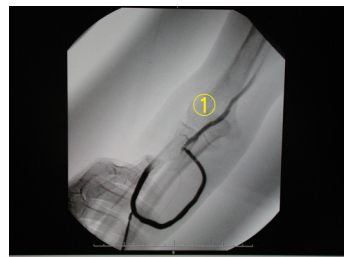


症例 2. 人工血管患者  
血管造影・PTA 2 週間前

図 6 人工血管患者：PTA 3 週間前・2 週間前の周波数解析



症例 2. 人工血管患者  
血管造影・PTA 直前



症例 2. 人工血管患者  
血管造影・PTA 直後

図 7 人工血管患者：PTA 直前・直後の周波数解析

る前にかけて時間的な減弱からさらに断裂が認められる。しかし、臨床的には血液透析時に脱血不良となることはなかった。バスキュラアクセス血管音解析にお

いて変化が起こりつつあることが認められたので、特別な注意を払って測定を継続していた。血管造影図では、動脈側吻合部に強い狭窄が認められる。

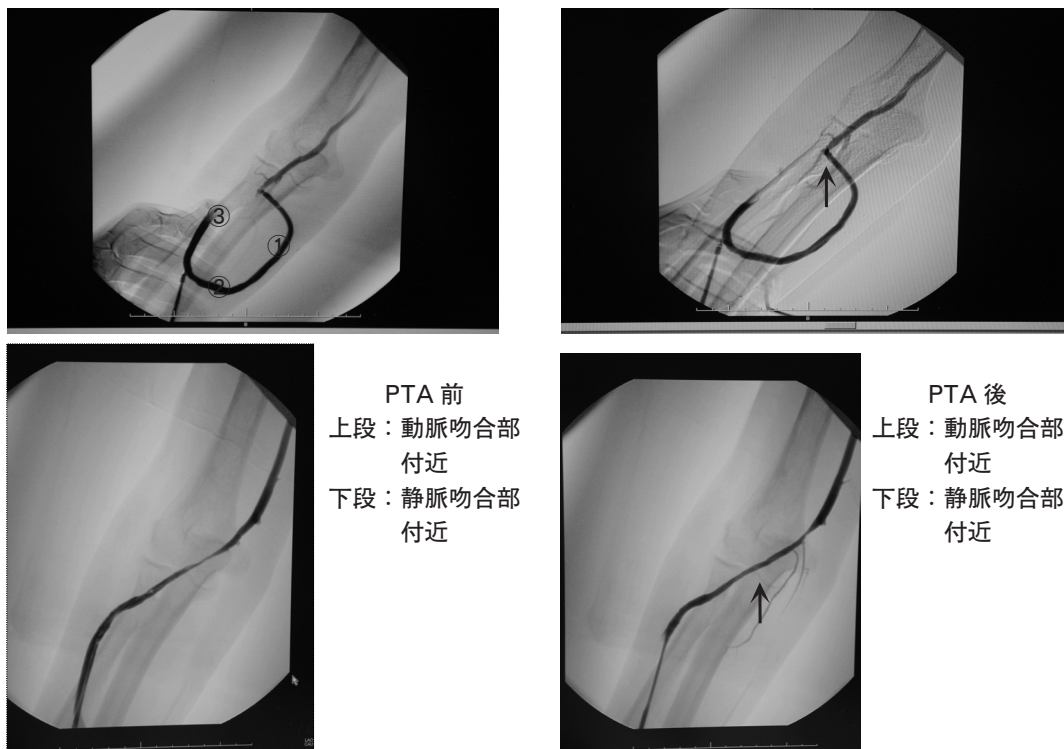


図8 人工血管患者：PTA 前後の血管造影図

図7では、上段にPTA直前、下段にPTA直後の血管音の周波数分布と、そのwavelet変換解析の結果が示されている。PTA直前には、高周波数分布の増加と血管音の断裂が認められる。PTA直後にはそれらの改善が認められる。血管造影においても動脈側吻合部の狭窄が改善している。

図8では、上段にPTAによる動脈吻合部における狭窄(↑)の改善、および下段に静脈側吻合部から中枢側(心臓側)における狭窄(↑)の改善が認められる。

これらを総括すると、自己血管を用いた内シャント症例においても、また、人工血管を用いた症例においても、血管音の周波数の時間的変化の解析によって、狭窄部付近では高周波成分の増加が認められ、狭窄部より中枢側静脈においては高周波数成分が相対的に減少し、変化が強い場合には次の血管音との間に断続の起こることがあることがわかった。

また、PTA施行後においては、狭窄部付近・狭窄部より中枢側において低周波成分が増加し、周波数成分全体の増加と断続から連続に変化することがわかった。また、聴診器による聴診よりも血管音の周波数解析を行ったほうが、より早くバスキュラアクセスの変化をとらえることができる可能性のあることがわかつ

た。

### 3 結 論

維持透析患者におけるバスキュラアクセスの血流変化(臨床的には、多くの場合、脱血不良をきたす)を手軽に推定する方法として、聴診器による血管音の聴取が臨床的に汎用されてきた。この方法における欠陥として指摘される、①主観的である、②再現性がない、③普遍性にかける、④熟練が必要であるなどを解消する目的から、血管音の機械的な採取と数学的解析が試みられた。さらに、バスキュラアクセスにおける狭窄性変化を検索する臨床的検査方法として最も信頼されている血管造影法との比較も行われた。結果的に、ここに研究開発された方法は、聴診法における欠点を解決するばかりでなく、聴診法よりも早い時期に血管内の解剖学的狭窄性変化を検出できる可能性のあることが示されたと判断される。

### おわりに

バスキュラアクセス血管音を機械的に採取し、数学的に解析する方法は、臨床的な有用性が期待される。しかし、これまでに集めた情報量は、未だ十分とはいえず、今後、測定症例を増やして信頼できる数学的解

析方法を確立すべきと考えている。

この研究と並行して行われた疑似血管のシステムを用いた同じような解析により、血管内腔の形態学的な変化と、血管音における周波数の時間的変化との関係を検討する実験が行われて成果を上げつつある<sup>6~8)</sup>。さらにこの手法を応用して、嚙下音の発生メカニズムの検討が行われており、重症患者・要介護患者における誤嚥を回避する処置法の開発に応用されることが考えられている<sup>9)</sup>。

聴診は、医療における診断技術として古くから試みられてきたが、先に述べられたような理由から最近ではあまり重要視されない傾向にあるようである。しかし、生体はいろいろな音を発しており、その異常な変化は、生体からの重要なシグナルである。生体音を現代的な技術によって採取し、数学的解析を加えることによって十分に利用が可能なのではないかと考えており、われわれは、この考えにもとづく「生体音の科学的音響学」という新しい分野を開くことができると考えている。

この研究の一部は、社団法人日本透析医会平成18年度研究助成によって行った。

#### 文 献

1) 佐藤敏夫, 阿岸鉄三: 血液透析患者のシャント音分析によ

るブラッドアクセスの機能評価. 超音波 TECH, 18(4); 28-31, 2006.

- 2) 高木絵美子, 泉ゆかり, 星野敏久, 他: 音の周波数分析によるバスキュラアクセスの機能評価. 医工学治療, 18(3); 143-148, 2006.
- 3) 阿岸鉄三: わたしの血液浄化論・バスキュラアクセス音の音響学的分析. Clinical Engineering, 17(1); 61-63, 2006.
- 4) Sato T, Tsuji K, Kawashima N, et al.: Evaluation of blood access dysfunction based on a wavelet transform analysis of shunt murmurs. Journal of Artificial Organs, 19(2); 97-104, 2006.
- 5) 村上彩子, 本橋由香, 佐藤敏夫, 他: Bio Sound Analyzer によるシャント音の分析に基づいた多変量解析によるバスキュラアクセスの機能評価. 医工学治療, 19(suppl.); 138, 2007.
- 6) 本橋由香, 佐藤敏夫, 辻 毅一, 他: 疑似血管狭窄モデルを用いたシャント音の臨床データとの比較検討. 医工学治療, 17(suppl.); 149, 2005.
- 7) 大竹将人, 奥 知子, 佐藤敏夫, 他: シャント音の FEM 解析に必要な DICOM データを用いた解析モデルの作成. 医工学治療, 19(suppl.); 132, 2007.
- 8) 佐藤敏夫, 大竹将人, 奥 知子, 他: シャント音の FEM 解析に必要な解析モデルの作成. 透析会誌, 40(suppl. 1); 660, 2007.
- 9) 駒居 鑑, 佐藤敏夫, 辻 毅一, 他: ウェーブレット変換で得られた特徴的な嚙下音の発生メカニズムに関する検証. 医工学治療, 19(suppl.); 131, 2007.