

末梢血管における超音波検査の進歩と現状

平井都始子¹ 阪口 昇二² 東浦 渉² 伊藤 博文² 市橋 成夫² 吉川 公彦²

要 旨：最近の超音波の進歩と、末梢血管領域における超音波の現状について概説した。超音波は、非侵襲的に形態的変化と生理的状態における血流情報を同時にリアルタイムで得られる検査法であり、多岐に亘る領域において威力を発揮している。末梢血管領域においても、新たな進歩の見られる手法を駆使し、末梢血管疾患の診断だけでなく、治療のガイドとして用いる施設も増加してきた。real-time tissue elastographyや造影超音波法、real-time virtual sonographyなどの新しい技術は未だ研究レベルで応用されているにすぎないが、今後一般臨床でも応用されるようになることが期待される。

(J Jpn Coll Angiol, 2009, 49: 523-528)

Key words: peripheral vascular disease, ultrasound, elastography, 3D4D, contrast enhanced US

はじめに

2004年の本誌(第44巻11号)に「下肢動脈の超音波検査－最近の進歩と現状」という総説を執筆させていただいだ¹⁾。この5年間での超音波検査における新しい進歩としてreal-time tissue elastographyや造影超音波、他画像参照機能などが挙げられるが、末梢血管領域における応用は未だ研究レベルといえる。ただ、当時と比較すると末梢血管に対する超音波検査がかなり普及してきたことを実感している。今回は、比較的新しい技術の末梢血管疾患への応用の可能性と、末梢血管疾患に対する超音波の現状について概説する。

超音波技術の進歩

(1) 画質の向上

従来は表在血管の観察には7.5~10MHz程度のプローブを使用するのが一般的であったが、最近では12~15MHzのプローブもルーチンに使用できるようになり、皮下の浅い部位では空間分解能が格段に向上了。tissue harmonic imaging(THI)やノイズを軽減しコントラスト分解能を向上させる画像処理技術とあいまって、足

背動脈や橈骨動脈など内径2mm程度の血管の壁や内腔の微細な変化も詳細に観察できるようになってきた(Fig. 1)。急性の動脈塞栓(Fig. 2)やステント留置部の軽度の内膜肥厚(Fig. 3)、極めて低エコーの浮遊性血栓やひらめ静脈の血栓も詳細に描出できる(Fig. 4)。また、うつ滞した静脈内の非常にゆっくりした血流が、“もやエコー”と呼ばれる血管内の微細粒状エコーとして日常検査時に高率に捉えられるようになった。このことにより、弁不全による逆流や静脈瘤内で渦巻く血流なども、Bモード画像により観察できる(Fig. 5)。

(2) 血流表示(造影超音波法)

カラードプラ法に加え、空間分解能を重視したドプラ法dynamic flowや、Bモード法により血流を表示する“B-Flow”を用いれば、カラードプラ法による血流方向や血流速度情報に加えて、限局した狭窄病変や動静脈瘻、動静脈奇形などの複雑な血管性病変の描出も可能となってきた^{2, 3)}。そのため保険適応となっているLevovistによる造影超音波は、末梢血管領域ではほとんど応用されていない。しかし、3年前から肝腫瘍性病変に対して保険適用となった超音波造影剤Sonazoidは、高周波プローブを用いて表在臓器にも応用可能で、これまでの血

¹奈良県立医科大学中央内視鏡・超音波部

²奈良県立医科大学放射線科

2009年5月20日受理

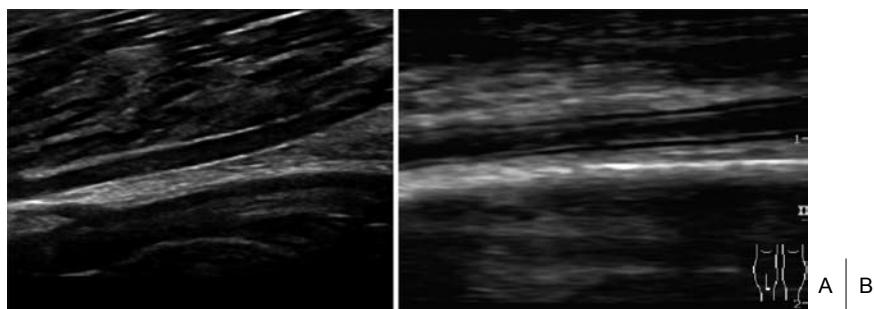


Figure 1 B mode images of the dorsal pedis artery.

A: Normal artery.

B: Occlusive lesion of Burger disease.

Both arteries are 1.5 mm in diameter. B mode image shows vessel wall thickening and slightly echogenic lumen at the occlusive lesion of Burger disease (B).

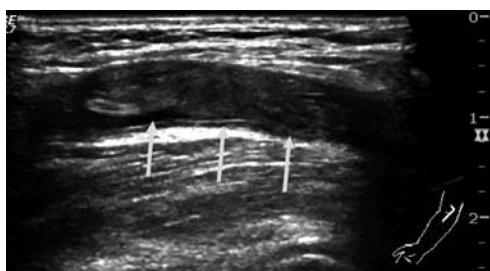


Figure 2 Acute brachial artery occlusion.

Thrombosis is clearly seen in the brachial artery (arrows).

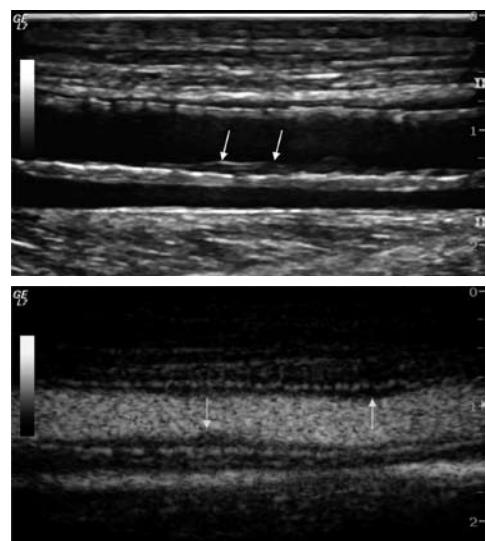


Figure 3 Stenting for the SFA occlusion.

A: B mode image.

B: B-Flow image.

Correlation between vessel wall and stent and intimal thickening (arrows) are clearly shown.

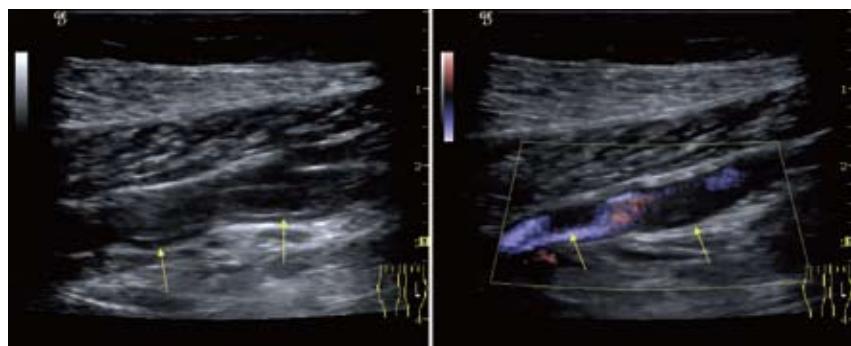


Figure 4 DVT of the soleus vein.

A: B mode image.

B: B-Flow color image.

DVT of the soleus vein is clearly shows (arrows).

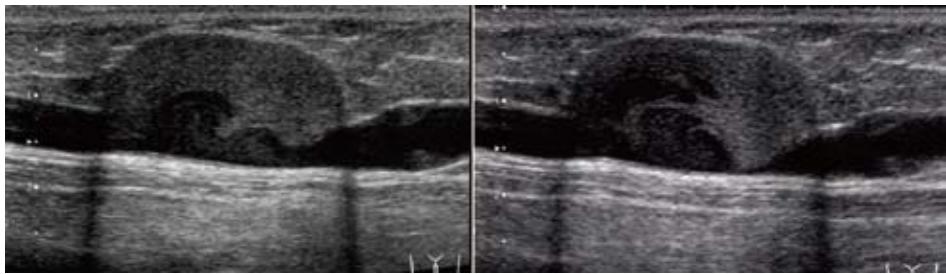


Figure 5 B mode images of a solitary venous aneurysm.
“Moya” echoes are moving in the venous aneurysm in real-time observation.

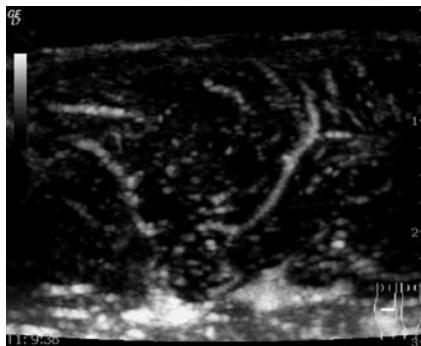


Figure 6 Contrast enhanced ultrasound with Sonazoid (transverse scan of the peroneal muscle).
Several vessels in the peroneal muscles are shown in linear or dotty patterns.

流表示法では観察できない微細な流速の遅い血流もリアルタイムに描出可能となった。現時点では、頸動脈ブラーク内新生血管の描出といった研究目的に施行されているだけであるが⁴⁻⁷⁾、皮下や筋肉内の微小血管も良好に描出される(Fig. 6)⁸⁾ことから、今後は重症虚血肢の血流評価などに応用できる可能性がある。

(3) パノラマ表示、三次元/四次元表示

最近の装置にはプローブの長軸方向に連続的に走査することにより、走査方向に沿ったパノラマ画像が得られる機能が搭載されている。この機能により広い範囲を1枚の画像上に描出し、病変の範囲や形状を客観的に把握することが可能になる(Fig. 7)^{9, 10)}。また、プローブを一定の早さで機械的に走査して得られたボリュームデータからリアルタイムに直交3断面や三次元画像の描出が可能となり(Fig. 8)，複雑な血管病変の全体像の把握に役立つ。さらにリアルタイム性が向上すれば、三次元表

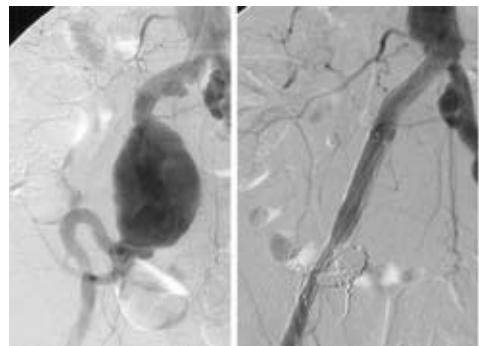
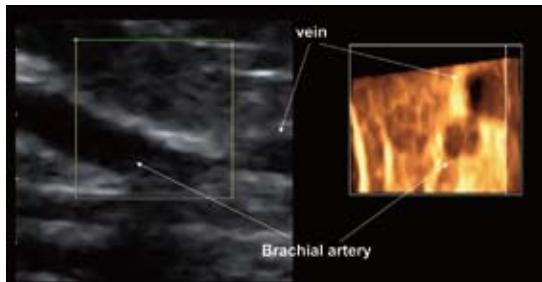


Figure 7 Iliac arterial aneurysm treated by stent graft.
A: Iliac angiography before treatment.
B: Iliac angiography after treatment.
C: Panoramic ultrasound image after treatment.
Panoramic image shows the whole aspect of stent graft (arrows) and aneurysms.

示超音波をガイドに穿刺やカテーテル操作などが可能になると思われる。

(4) real-time tissue elastography

生体に密着させたプローブを、ゆっくりと僅かに圧迫することにより生じる歪みが、柔らかい部分では大きく硬い部分では小さいことを利用して、組織の相対的な硬さをリアルタイムにカラー表示する手法がreal-time tissue

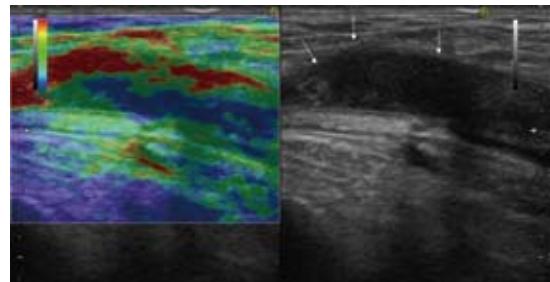
**Figure 8** Real-time 3D image.

A: Longitudinal view of the brachial artery.

B: Transverse 3D view.

Frame rate: 6Hz

A | B

**Figure 9** Real-time tissue elastography of deep vein thrombosis.

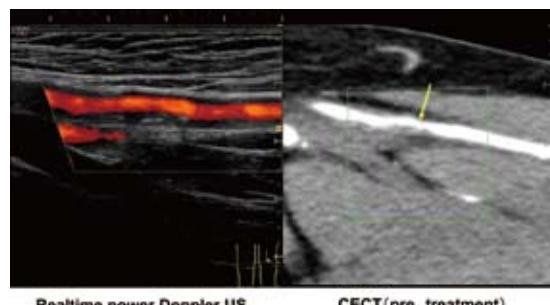
Floating thrombosis of the common femoral vein is not clearly visualized by B mode image (right: arrows). However, thrombosis is displayed in blue (means hard) and the surrounding lumen in red (means soft).

elastographyである。乳腺や甲状腺、前立腺などで臨床応用され、鑑別診断の補助手段として用いられている。

末梢血管領域では、プラーク性状や深部静脈血栓症の診断への応用が試みられている。深部静脈血栓症の超音波診断では、プローブで圧迫しても血管腔が扁平化しないことが重要な所見であるが、Bモードで同定困難な新鮮血栓では強い圧迫で血栓が遊離する危険性を秘めている。また、疼痛があり十分に圧迫できない場合もある。初期経験ではあるが、わずかな圧迫で血栓の有無を診断可能となる症例もあり(Fig. 9)，今後症例の蓄積に期待される。

(5)他画像参照機能(real-time virtual sonography, volume navigation)

MDCTやMRI、位置情報を持った超音波画像などの三次元データを術前にワークステーション上、または超音波装置のハードディスクに取り込んでおき、プローブに磁気センサーを装着することにより実際の超音波画像に対応するCT、MRI、過去に撮った超音波のMPR像をリアルタイムに表示するシステムが開発されている。主に肝臓領域でCT画像を参照しながら病変を正確に描出し、超音波ガイド下に穿刺するのに用いられているが、末梢血管にも応用可能である。CTAやMRAngioで指摘されている部位を超音波上で正確に同定するGPS機能のついた装置も開発され、治療前のCT像と治療後の超音波像、治療前後の超音波像など各モダリティーの過去画像と実際の超音波像をカラードプラ法、造影超音波法を含めて自在に比較することができる(Fig. 10)。大腿動脈

**Figure 10** Volume navigation images of SFA stenosis.

A: Real-time power Doppler image after balloon angioplasty.

B: Reference MPR image of contrast enhanced CT before treatment.

A | B

のように分岐が少なく目印になる構造が少ない末梢血管では、治療後に病変部を同定することは難しいが、この機能により正確に病変を同定することができる。

(6)高機能ポータブル装置

Tissue harmonic imaging(THI)やその他の画像処理技術の導入によるBモード画像の向上、カラードプラ法、パルスドプラ法など様々な手法が、ハイエンドの装置だけでなく汎用装置にも搭載され、最近ではポータブルの装置でも高画質高機能化が進んでいる。これによって、診療のさまざまな場面で手軽に超音波を施行できるようになり、中心静脈カテーテル挿入や動脈穿刺、動脈閉塞に対するカテーテル治療時のガイドなど広く超音波が用

いられるようになってきている。

末梢血管領域における超音波の現状

(1) 末梢動脈エコーの現状

1) 骨盤下肢閉塞性動脈疾患の診断

Bモード、カラードプラ、パルスドプラ法を用いることで、熟練した術者が施行すれば無侵襲に下肢動脈閉塞性病変の有無、病変の範囲や程度をほぼ確実に診断できる¹¹⁾。しかし、術者による診断能の差があり、検査時間や再現性、客観性が乏しいため慢性閉塞性動脈疾患の精密検査としては、一般的にCT AngioやMR Angioが選択され、超音波検査は補助的に施行されている。ただし、腎機能の低下症例や、急性閉塞で緊急に閉塞部を同定したい場合、閉塞性動脈疾患の除外診断、ならびに多発狭窄例において治療対象となる主病変の同定には超音波が第一選択の検査法となる。

2) 治療の術前・術後評価

治療前後の評価は一般的にCT AngioやMR Angioが用いられるが、超音波は形態的評価だけでなく、鼠径部、膝窩部、足背で血流波形を計測するだけで、血流状態がある程度判断可能で、収縮期最高流速(PSV)や収縮期の加速度時間(AT)は血流障害の程度を客観的に評価する指標となる。そのため当施設では閉塞性動脈疾患に対するIVR治療前後や経過観察に超音波検査は必須となっている¹²⁾。穿刺部に発症する仮性動脈瘤や動静脈瘻、血腫などの合併症の診断については超音波検査が第一選択である¹³⁾。また、ステント留置例では、超音波検査がステントと血管壁、内部の血流状態を最も空間分解能良くリアルタイムに評価できる(Fig. 3)。

3) IVR術中支援

近年、血流の低下した拍動を触れない動脈の穿刺のガイドや、動脈閉塞や動脈解離に対するIVR時に、数施設では血管超音波検査が治療支援画像として用いられるようになってきた。透視下の操作ではワイヤーが血管の真腔を貫通しているかどうかは十分に確認できず、ワイヤーの動き方やワイヤーを操作する手の感覚に頼ることが多いが、超音波では血管とワイヤーを同時に描出できるので、安全かつ正確にワイヤーやカテーテルを貫通させることができる。現在リアルタイム3Dでは、直交する3断面表示、血管の長軸断面と短軸の三次元内視鏡モードの2画面表示(Fig. 8)など、範囲を限局すればフレームレイト6Hz程度で表示されるが、リアルタイム性がさ

らに向上すれば、IVR術中支援としてさらに有用性を發揮すると考えている。

(2) 静脈エコーの現状

食生活や生活習慣の欧米化に伴い、日本でも深部静脈血栓症、肺塞栓症が稀な疾患ではなくなった。整形外科や産婦人科の周術期には院内発症の肺塞栓症が多くみられ、致死的な症例も存在するため、その原因となる深部静脈血栓症の予防と早期診断が求められるようになってきている。

肺塞栓症が疑われる場合には、造影CTが第一選択となるが、ハイリスクの症例で下肢の腫脹やDダイマー高値などDVTが疑われる場合、術前に下腿のDVTを除外したい場合など、侵襲が少なくベッドサイドでも施行できる超音波検査が第一選択となっている施設が増えている。下腿の深部静脈血栓症の診断や、血栓の性状の確認では超音波検査が最も簡便で診断能も高く、静脈エコーに熟練した技師が増えれば需要は益々増加すると思われる。

静脈瘤については、その原因となる深部静脈閉塞の有無、表在静脈や穿通枝静脈の弁不全の有無や部位を正確に同定できるため治療の術前検査として用いられている。

おわりに

臨床血管技師(CVT)や超音波検査士(血管)などの資格認定が2年前より始まり、血管超音波検査の技術を習得した技師の増加とともに血管超音波検査は増加している。今後さらに多くの施設で、精度の高い血管超音波検査が可能となり、新たな超音波技術の臨床応用が普及することを期待する。

文 献

- 1) 平井都始子、大石 元、吉川公彦 他：下肢動脈疾患の超音波検査—最近の進歩と現状—脈管学、2004, **44**: 727-734.
- 2) 平井都始子、大石 元、山田麗子 他：新しい超音波血流表示法“B-Flow”による末梢血管性病変の診断評価—初期臨床経験—。脈管学、2000, **40**: 389-392.
- 3) 平井都始子、阪口昇二、吉川公彦 他：最近の画像解析の進歩と新しい脈管疾患診療への展開 超音波の最近の進歩と大動脈・末梢血管への展開。脈管学、2001, **41**: 781-784.
- 4) Coli S, Magnoni M, Sangiorgi G et al: Contrast-enhanced ultrasound imaging of intraplaque neovascularization in carotid arteries: correlation with histology and plaque echogenicity. J Am Coll Cardiol, 2008, **52**: 223-230.

- 5) Shah F, Balan P, Weinberg M et al: Contrast-enhanced ultrasound imaging of atherosclerotic carotid plaque neovascularization: a new surrogate marker of atherosclerosis? *Vasc Med*, 2007, **12**: 291–297.
- 6) Feinstein SB: Contrast ultrasound imaging of the carotid artery vasa vasorum and atherosclerotic plaque neovascularization. *J Am Coll Cardiol*, 2006, **48**: 236–243.
- 7) Vicenzini E, Giannoni MF, Puccinelli F et al: Detection of carotid adventitial vasa vasorum and plaque vascularization with ultrasound cadence pulse sequencing technique and echo-contrast agent. *Stroke*, 2007, **38**: 2841–2843.
- 8) 斎藤こずえ, 平井都始子: ソナゾイドによる造影超音波診断
6. 血管性病変の診断と各種臓器の血流評価. *INNERVISION*, 2007, **22**: 49–52.
- 9) 平井都始子, 大石 元, 吉川公彦 他: 血管系インターベンションに対するカラードプラおよび 3D画像の応用. *IVR*, 1999, **14**: 295–301.
- 10) 中岡 勤, 荘子英彦, 池嶋弘晃 他: 3Dエコーの現状と展望
3. 血管領域での 3Dエコー. *Medical Technology*, 2008, **36**: 575–582.
- 11) Hirai T, Ohishi H, Kichikawa K et al: Ultrasonographic screening for arterial occlusive disease in the pelvis and lower extremities. *Radiation Medicine*, 1998, **16**: 411–416.
- 12) 平井都始子, 吉川公彦, 田仲三世子 他: 超音波検査による骨盤・下肢閉塞性動脈疾患の診断—特にPTA術前診断と効果判定-. *脈管学*, 1993, **33**: 27–32.
- 13) 平井都始子, 大石 元, 山田麗子 他: カラードプラ法によるIVRに伴う血管損傷の診断. *IVR*, 1996, **11**: 190–196.

Ultrasonography of the Peripheral Vascular Diseases — Recent Advances and Clinical Applications —

Toshiko Hirai¹, Syouji Sakaguchi², Wataru Higashiura², Hirofumi Ito², Shigeo Ichihashi², and Kimihiko Kichikawa²

¹Department of Endoscopy and Ultrasound, Nara Medical University, Nara, Japan

²Department of Radiology, Nara Medical University, Nara, Japan

Key words: peripheral vascular disease, ultrasound, elastography, 3D4D, contrast enhanced US

Recent advances and clinical applications of ultrasound for peripheral vascular diseases are introduced. Ultrasonography delivers morphological and functional information in real time non-invasively and is used for the diagnosis of peripheral vascular diseases. In some facilities, ultrasound is used as the guide for IVR too. Recent technologies – for example, real-time tissue elastography, contrast-enhanced ultrasound, real-time virtual sonography, and so on – are only utilized for study in the peripheral vascular region. In the near future, we expect to see these advanced technologies become widely available for the diagnosis and follow-up of peripheral vascular diseases. (J Jpn Coll Angiol, 2009, **49**: 523–528)