

## 超音波診断装置の最先端技術と更なる診断能の向上を目指して

三竹 毅<sup>1</sup> 佐々木 明<sup>2</sup>

**要 旨**：1980年代後半に登場したデジタル超音波診断装置は、1990年代半ばになり急速な発展を遂げた。これにより、超音波断層像の画質は飛躍的に進歩し、より多くの情報を臨床診断の場に提供できるようになった。1990年後半になると高級機のみ技術であったデジタル超音波が中級機や普及機へも展開されると同時に、その性能向上、特に空間分解能向上に伴って、脈管領域や整形領域の診断に超音波診断装置を使用するなどその適用範囲が大幅に拡大した。このデジタル技術は日々進歩しており、より高性能、高機能に関する研究が日夜行われている。本報告では、脈管における超音波技術の応用例を示し、当社の新技術である、組織弾性イメージング(以下、Elastography)に関して報告する。  
(J Jpn Coll Angiol, 2009, 49: 315-321)

**Key words**: ultrasound vascular doppler elastography

### はじめに

生体内に2~15MHz程度の超音波信号を照射し、音波が生体内から反射してくる信号(以下、エコー信号)を受信して生体内の情報を得る手法を超音波診断法と呼んでいる。照射する超音波のエネルギーが十分に小さいので無侵襲でリアルタイムで情報を得ることができるために、頻繁なフォローアップに適しており、また、特別な設備等が不要でベッドサイドでの使用が可能であることから、多くの領域での診断に応用されている。本稿では、超音波診断法の概要を説明しながら、その脈管への適用例を示し、また、最近臨床の場に供されつつある最新技術に関して報告する。

### 超音波診断法の原理

エコー信号を用いて、① 生体内の組織構造、② 生体の動きの観察、③ 血流動態の観察、などの生体内のさまざまな情報を得ることが可能である。装置の高性能化に伴い、より多くの情報を得ることができるようになり、より高精細な画像等の情報を得ることができるようになった。また、組織の固さを映像化するElastographyなどの

新技術も商用化され、診断の場により多くの情報を提供できるようになってきた。超音波診断法における主なモードをTable 1にまとめ、以下でそのいくつかの技術に関して報告する。

#### (1)Bモード法

本モードで、組織の形態的構造を知ることができる。生体内に照射された超音波信号は、音響インピーダンス(密度×音速で定義される)の異なる界面で反射が起こり、一部は反射波として超音波探触子で受信され、残る音波は透過して、更に深部で反射が発生する。

#### 1)原理

Fig. 1に超音波探触子と超音波の送信の様子を示す。超音波送信信号は、反射体でその一部が反射し、エコー信号となる。また、残る音波は、反射体を透過して、より深部でのエコー信号の生成に寄与する。この超音波送受信を、二次元的に順次操作して、断層像を得る。Fig. 2に総頸動脈のIntima Media Complex肥厚の症例のBモード像を示す。

従来の超音波装置では、空間分解能やコントラスト分解能の限界から、ここまで良好な画像を得ることはできなかったが、1980年代後半から始まった超音波装置の

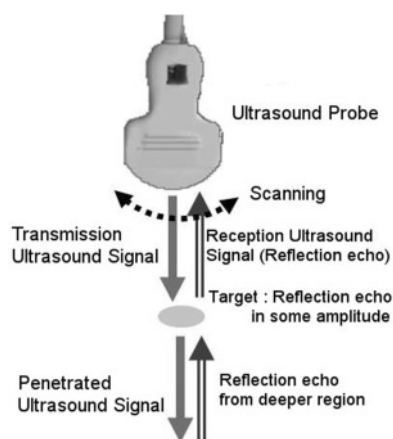
<sup>1</sup>株式会社 日立メディコ USシステム本部

<sup>2</sup>株式会社 日立メディコ 応用機器開発室

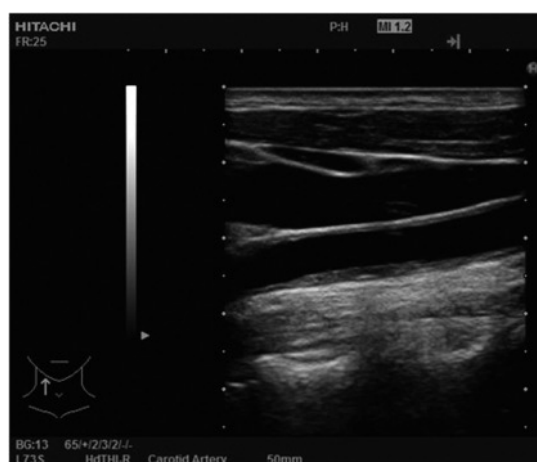
2009年8月5日受理

**Table 1** Examination mode in ultrasound diagnosis

Examination Mode	Method	Available Information	
B-Mode (Gray Scale)	Imaging as for strength of the reflection echo on the organization boundary	Structure of organ	
M-mode	Observing tissue movement with the time lapse	Tissue movement	
Doppler	Measure the velocity of blood red cells by Doppler method	Blood velocity	
Color Flow Mapping (CFM)	Imaging blood flow by using MTI filter	2 dimensional blood flow	
New Method	B-Flow	Detecting the movement of blood red cells in very short time (non-Doppler Method)	2 dimensional blood flow in high resolution
	E-Tracking	Detecting the movement of vessel wall and blood flow	Stiffness of vessel wall
Elastography	Detecting the movement of tissue	Stiffness of tissue	



**Figure 1** The sequence of ultrasound transmission and reception.



**Figure 2** CCA with thickened IMT.

デジタル化、加えて、1990年代に開発されたティッシュハーモニックイメージングと呼ばれる生体の非線形性により発生する反射エコー中の高調波成分を使って画像化する技術により、ノイズの低減とコントラスト分解能の大幅な改善が図られ、高画質な画像を得ることができるようになった。

## 2)IMT計測

このBモード画像を元に動脈硬化などのリスクを推定するための機能として、IMT(Intima-Media Thickness)計測がある。血管の内膜と中膜を合わせた厚み(IMT)を計

測し、リスクを推定しようとする計測手法である。**Fig. 3**は、IMTが肥厚した症例で、2.86mmの厚さを持っている。本計測においては、A点、B点、C点でのIMTをおおの計測得し、その平均値を3-point IMTとして表示している。

## (2)ドプラ法

この原理を発見した学者であるDopplerの名をとって、ドプラ効果と呼ばれており、超音波検査では、ドプラ法(Doppler法)と呼ばれている。ドプラ効果により発生する

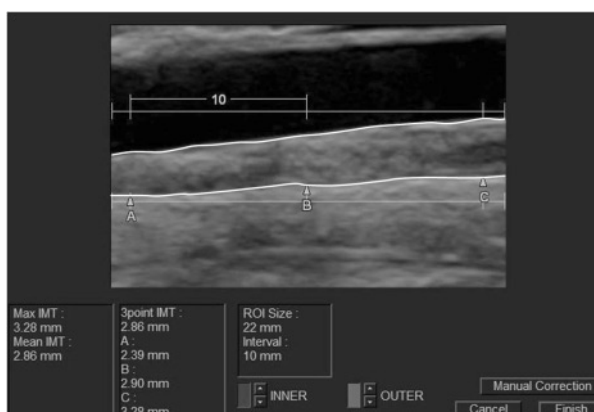
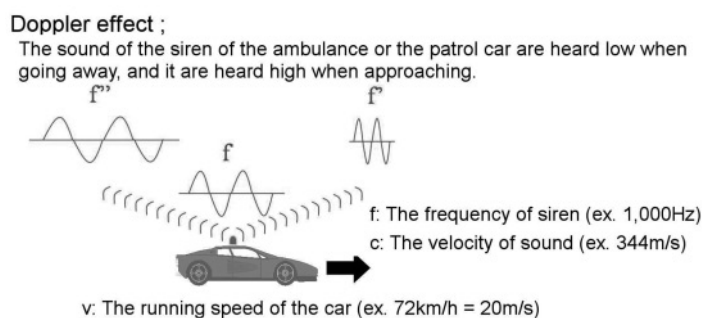


Figure 3 IMT measurement in a case of thickened IMT.



When approaching, observed frequency ( $f'$ ) is,  

$$f' = f * (c / (c - v)) = 1,000 * (344 / (344 - 20)) = 1,062 \text{ Hz}$$
 When going away, observed frequency ( $f''$ ) is,  

$$f'' = f * (c / (c + v)) = 1,000 * (344 / (344 + 20)) = 945 \text{ Hz}$$

Figure 4 The principle of Doppler.

周波数の変化量から速度(および方向: 近づく, 遠ざかる), つまり血流速を定量的に計測する手法である。

1)原理

ドブラ効果とは、音源が移動している際に、観測者に近づく方向であれば高い周波数、遠ざかるのであれば、低い周波数として観測される現象である。具体的には、血管内の赤血球からのエコーを検出しており、赤血球が、探触子に対して近づいてくるのか、遠ざかっているのか、また、その周波数の変位から、流速を算出している。Fig. 4にその原理を示す。

Fig. 5は、上段に後述するカラードブラの画像が表示されており、血管の中にサンプル点が設定されている。

画像下段のグラフがドブラ法による画像で、横軸が時間、縦軸が血流速を示している。これより、任意の点の血流速を定量的に計測することができる。

2)カラードブラ法

カラードブラ法は、ドブラ法を用いて二次元断層像上での血流動態を表示する技術である。前述のドブラ法のように、特定の部分の血流速を定量的に計測することはできないが、断層像上でその血流動態を全体的に把握できるという利点がある。Fig. 6に新生児頭蓋内大泉門のカラードブラ画像を示す。なお、紙面の関係でFig. 6が、後ろのページにある点ご容赦願いたい。

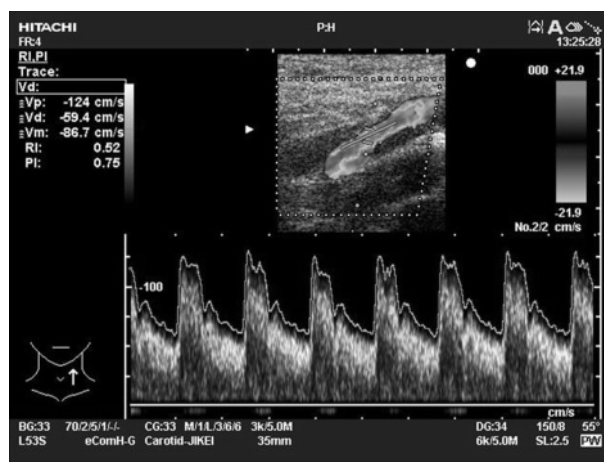


Figure 5 Doppler measurement.

### Elastic Properties of Breast Tissue

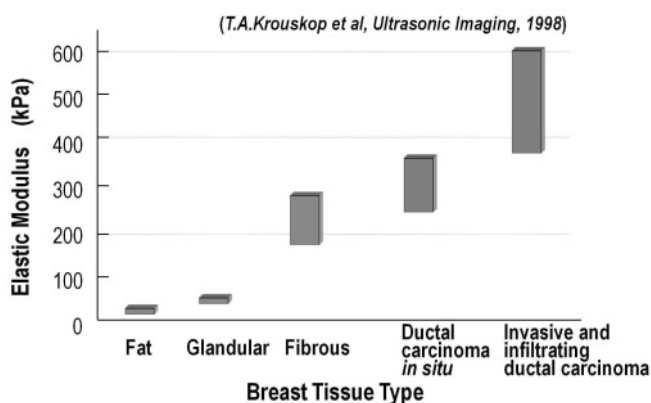


Figure 7 Stiffness of breast tissue.

### (3)新技術

前述の従来技術に加え、各社にて色々な新技術が開発されている。高分解能な血流動態の情報を提供するB-Flow、血管壁の硬さを計測し、動脈硬化の進行度推定を行うE-Tracking、組織の固さを画像化するElastographyなどがその例である。ここでは、その一例として、Elastographyを紹介する。

#### 1)Elastography

超音波を用い組織の硬さを検出して画像化しようとする技術<sup>1,2)</sup>であり、筑波大学電子・情報工学系(元京都大学大学院医学研究科)の椎名教授との共同研究のもとに開発を行った。現行のBモード断層法は、組織境界にお

ける音響インピーダンスの差から発生する反射エコーを画像化している。しかし、その差が小さく、組織病変の明瞭な描出が困難な場合がある。Fig. 7に乳腺組織の硬さを示す。乳腺組織が繊維化し、さらにはがん化した場合には、その進行に伴って組織が硬くなる。したがって、この硬さを検出し画像化することができれば、腫瘍の良悪性判別や浸潤範囲の同定などに役立ち、臨床的有用性は高い。また乳がん検診において実施されている触診に関してもその手技の習得に時間が必要であり、小さな腫瘍の検出は困難である。一方、微細な石灰化などの検出能はX線を使用したマンモグラフィが優れているが、がんの浸潤領域の描出は得意ではない。触診に比べて、超

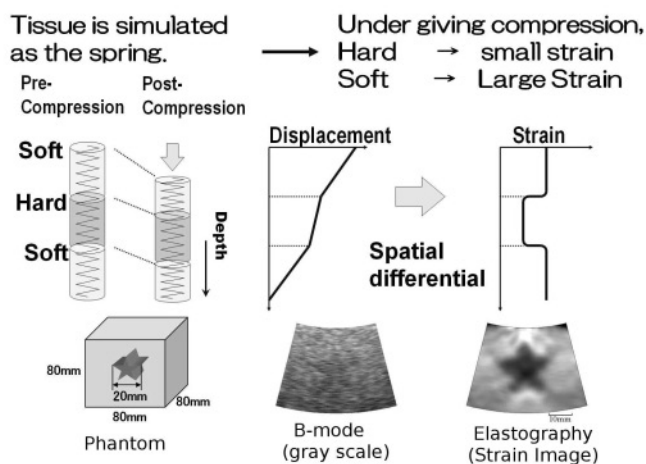


Figure 8 The principle of elastography.

音波の場合は画像化できるので客観性があり、そして、無侵襲であるなどの点から、5mm程度の腫瘍の検出が可能で、更ながんの浸潤範囲が特定できればその有用性は高い。走査はフリーハンドで探触子を保持し、検査部位に押し付けながら行う。そして得られた加圧前の信号と加圧後の信号より生体内の歪み量を検出し、画像化を行う。Fig. 8に概念図を示す。生体組織を押ししたときに、軟らかい部分はよく変形し、硬い部分はあまり変形しない。この特徴を使って、加圧前と加圧後の反射エコー信号から各深度での変位量を求め、その変位の程度から歪みを算出する。その結果より相対的な硬さを算出し、画像化を行っている。

Fig. 9は、筑波大学医学系(現筑波メディカルセンター)の植野先生のご提供の浸潤性乳管がんの症例のElastographyである。通常のB像上に固さの情報を半透明のカラー画像として重畳表示しており、青は硬い部位、赤は軟らかい部位という色付けを行っている。

画像の中央部に二つの浸潤性乳管がんが硬い部分(青い部分)として明瞭に描出されている。

本技術は、当初悪性新生物の検出に主眼をおいていたが、相対的な硬さを表示できることから、プラークや血栓への展開も期待される。Fig. 10は筑波大学医学系(現クリーブランド・クリニック・ファウンデーション)の宇野先生のご提供による深部静脈血栓の症例である。今

後、撮像パラメータの最適化に合わせて、病理等との突き合わせ等を行い、実際の病変の状態と画像の関係についての検証を進めたいと考えている。

### 今後の課題とまとめ

無侵襲で、形態情報や血流動態を把握できる超音波検査法は、脈管領域においても非常に有用と考えている。しかしながら、骨やガスに妨げられて観察できない部位があったり、また、その検査の手技には若干の習熟が必要であることから、必ずしも他のモダリティと比較してすべて勝っているわけではない。超音波診断装置は、今後も観察する部位に応じて、適切に他のモダリティと使い分けて、診断の場で使っていただくことになると考えている。

これからの超音波診断装置の方向として、無侵襲という特徴を活かし、従来手法では容易に得られなかった情報、例えば、本稿で述べたプラークや血栓の固さの情報をより定量的に提示し、診断の情報として使っていただくこともその一つと思う。その他にも、超音波の特性を活用して、従来観察できなかった生態情報を検知することは継続して研究していかなければならないことと考えており、その際には、Medicalサイドからの知見をいただくことが必須と考えている。今後も、継続して学会等を通じて、ご指導、ご鞭撻をお願いしたい。

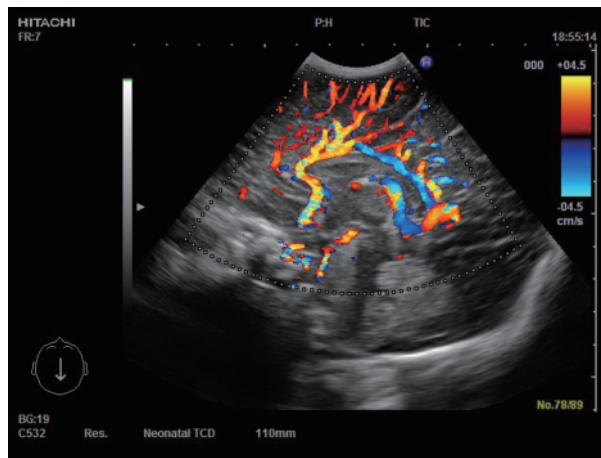


Figure 6 Color Doppler in the neonatal anterior.

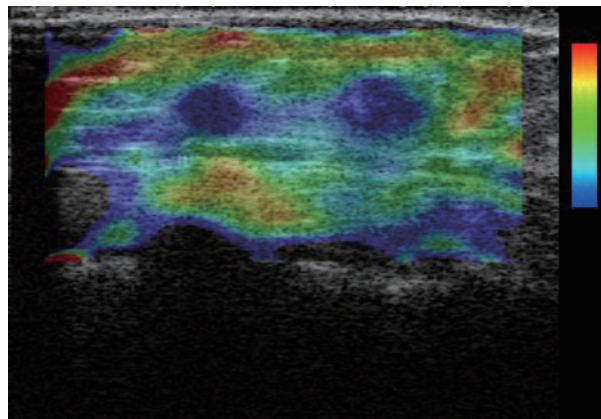


Figure 9 Invasive ductal carcinoma.

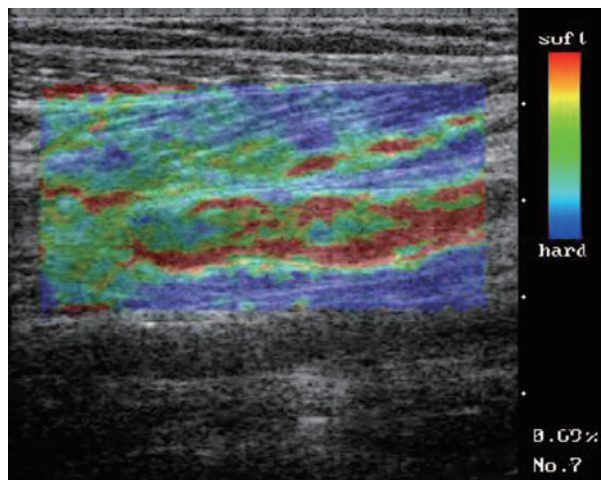


Figure 10 Deep venous thrombus.

文 献

- 1) Shiina T, Nitta N, Ueno E et al: Real time tissue elasticity imaging using the combined autocorrelation method. *Journal of Medical Ultrasonics*, 2002, **29**: 119-128.
- 2) Yamakawa M, Shiina T: Tissue elasticity reconstruction based on 3-Dimensional Finite-Element Model. *Jpn J Appl Phys*, 1999, **38**: 3393-3398.

## Progress of Less Invasive Diagnostic Imaging in Angiology—State-of-the-art and Further Ultrasound Imaging Technologies to Realize Greater Clinical Benefit—

Tsuyoshi Mitake<sup>1</sup> and Akira Sasaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Senior Chief Engineer, Ultrasound Systems Division, Hitachi Medical Corporation, Tokyo, Japan

<sup>2</sup>Applied System Development Office, Hitachi Medical Corporation, Tokyo, Japan

---

**Key words:** ultrasound vascular doppler elastography

The digital ultrasound diagnostic scanners that emerged in the latter half of the 1980's showed rapid progress during the mid-1990's. This progress created marked improvement in the image quality of ultrasound images, and, therefore, the ultrasound scanner now can provide more information to routine clinical diagnosis. In the latter half of the 1990's, the technologies of digital ultrasound, which had been used only for the top-end scanner, also were made available to mid and low-end scanners, and, at the same time, with the increase in performance, particularly in the improvement of spatial resolution, the application range of ultrasound scanners has been largely extended to vascular, musculo-skeletal, and other applications. These digital technologies are progressing rapidly, and studies aimed at obtaining better performance and higher functions are being carried out constantly. The present report mainly describes their application in the vascular region, and our one of latest endeavors, namely, tissue elasticity imaging. (J Jpn Coll Angiol, 2009, **49**: 315–321)