

患者の負担軽減に貢献する超音波診断装置

Ultrasound Diagnostic Systems Contributing to Advancements in Noninvasive Examinations with Reduced Burden on Patients

佐藤 武史

■ SATO Takeshi

武内 俊

■ TAKEUCHI Takashi

金山 侑子

■ KANAYAMA Yuko

超音波診断装置は、X線被ばくがなく非侵襲でリアルタイムに検査ができることから、多くの医療機関において画像診断装置として普及している。

東芝メディカルシステムズ(株)は、組織の硬さの空間的分布を画像化するSWE (Shear Wave Elastography) 技術や低流速の血流を造影剤なしで描出できるSMI (Superb Micro-vascular Imaging) 技術による腹部肝疾患の診断、超音波腹腔(ふくくう)鏡プローブによる腹腔鏡下手術の支援、及び治療効果診断を実現する、高度な画像処理技術並びに超音波プローブセンサ技術を開発している。これらの技術を搭載した超音波診断装置であるAplioシリーズは、患者への負担の少ない診断方法を提供できることから、臨床現場で幅広く用いられている。

Ultrasound diagnostic systems are employed for diagnostic imaging in many medical institutions due to their advantage of real-time, noninvasive examinations without X-ray exposure.

Toshiba Medical Systems Corporation has been developing advanced image processing technologies and ultrasound probe sensor technologies for ultrasound diagnostic systems. These include a shear wave elastography technology that displays images showing the hardness of living tissue and the Superb Micro-Vascular Imaging (SMI) technology that extracts blood flow without requiring a contrast medium, for the diagnosis of liver and other abdominal diseases, as well as an ultrasound laparoscopic transducer technology for the support of surgery and inspection of therapeutic effects. The Aplio series ultrasound diagnostic systems incorporating these technologies have come into widespread use in clinical practice.

1 まえがき

従来から、超音波診断装置は2次元画像診断法として産科胎児診断や、腹部画像診断、心エコー診断などで広く用いられている。東芝メディカルシステムズ(株)は、腹部疾患や乳腺疾患、心疾患の各診断領域において超音波診断を支える技術を幅広く開発し、製品に搭載している。

ここでは、超音波診断装置Aplioシリーズ(図1)に適用されている技術の中から、2014年に製品搭載した新しい画像技術を含め、患者の負担を軽減する独自の技術について述べる。

2 組織の硬さを画像化するSWE

触れて硬さを診るという診断手法は古くから行われており、様々な診断技術が発達した今日においても基本的な診断方法の一つである。例えば、乳腺腫瘍の疑いがある場合や肝臓が炎症や線維化を起こしている場合は、まず触診が行われることが一般的である。しかし、このような触診による硬さの判断は、診断者の主観に依存するものであり、定量的な評価も難しい。近年、組織の硬さによるせん断波の伝播(でんぱ)特性の違いを利用して、硬さの情報を画像化するShear Wave Elastography (SWE) と呼ばれる技術が開発された。SWEでは、超



図1. 超音波診断装置Aplio 500 Platinum Series — 新たに開発したAplio 500 Platinum Seriesは、SWE (Shear Wave Elastography) や、SMI (Superb Micro-vascular Imaging)、BEAM (Biopsy Enhancement Auto Mode) などの新機能の搭載に加え、腹腔鏡下手術用超音波プローブにも対応した。

Aplio 500 flagship ultrasound diagnostic system of "Platinum Series" lineup featuring newly developed clinical applications

音波プローブを静止させた状態で組織を圧迫することなく弾性を評価できるため、超音波プローブの圧迫度合いなど検査をする人の習熟度に依存せず、再現性が高い画像診断法として、その有用性が報告されている。したがって病態の確定診断において、患者にとって大きな負担となる生体組織診断(生検)を避けることができる診断法としても注目を集めている。

当社が開発したSWE技術は、音響放射力を用いて組織を変形させてせん断波を発生させることが特長で、その後に観測用の超音波パルス信号を繰り返し送受信し、それらのエコー信号のドプラ効果から各走査線における変位の時間変化を観測し、せん断波速度を推定する。音響放射力は従来と同じ超音波プローブから発生させられるので、追加部品などが不要で装置を小型化でき、操作も容易であるというメリットがある。

この機能による表示画像を図2に示す。上段は均一な硬さの媒質中に硬いターゲットを含むファントム^(注1)を観測した例である。左から順に、せん断波伝播速度画像、せん断波伝播速度を弾性率の値に換算した弾性率画像、及びせん断波が期待どおりに発生し伝播しているかどうかを確認するための伝播画像である。図2(a), (b)に、中央の硬い部分が表示されている。伝播表示は、一定時間間隔で観測されたせん断波の波面の位置を等高線表示したものである。硬いところほどせん断波が速く伝播するため、伝播画像において硬いところでは等高線の間隔が広く、逆に軟らかいところでは等高線の間隔が狭くなる。図2(c)に示した例では、中央の周囲より硬い領域では、等高線の間隔が広がっていることがわかる。

臨床においては、均一なせん断波速度画像が得られるのが理想的であるが、生体は様々な組織から構成されるものであり、必ずしも均一な硬さではない。そのため図2(d)のようにまだらに色が付いた場合、表示された結果をどこまで信頼してよいか判断が難しいことがある。音響放射力により期待したよ

うなせん断波が伝播している場合は、波面が平行に進んでいくのが観測されるが、そもそも音響放射力により期待したようなせん断波が発生していなかったり、構造が複雑であったりするために期待したような横方向へのせん断波の伝播が観測されない場合は、伝播画像も乱れた等高線になる。図2下段は均一な硬さのファントムを観測した例であるが、深部では伝播画像の等高線が乱れている(図2(f))。これは、深部では十分な強度の音響放射力が発生しておらず、明瞭なせん断波が発生しなかったためと考えられる。このように、SWEにおいては伝播画像をいっしょに観察することで、せん断波伝播速度画像や弾性率画像の信頼性を確認できる。

3 超低速の血流を画像化するSMI

3.1 SMI技術

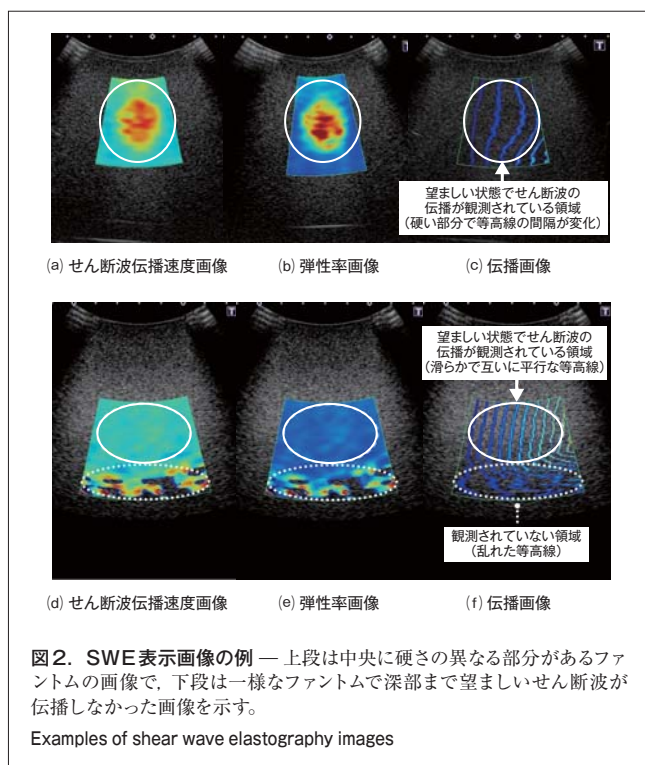
血流イメージング法は、心臓の血流速度を2次元マッピングする手法として開発されたが、その後腹部や末梢(まっしょう)の血流の観察にも使用されるようになった。腹部や末梢の血流の観察には高感度で角度依存性の少ないパワードプラ法も使用されるようになり、高帯域の送受信を行って分解能を高めたAdvanced Dynamic Flow (ADF) のような手法も使われている。

臨床的には、より微細で低流速の血流の表示が求められている。低流速血流を観察するには速度レンジを低く設定するが、組織の動きの速度に近づくと全面モーションアーチファクト^(注2)で覆われてしまい、超低流速の血流を観察することは難しかった。また、血流イメージング像はBモード^(注3)像に比べてフレームレートが低いために、スキャンが難しいという問題があった。

Aplio 500に搭載されたSMI (Superb Micro-vascular Imaging) は、流速としてはモーションアーチファクトと重なっているような超低流速の血流を、モーションアーチファクトの特徴を解析して分離することで、その陰に隠れた血流の表示を可能にした新しい映像法である。更にSMIでは、スキャンと信号処理の単位を独立に最適化することで高フレームレートの血流像の表示を可能にした(図3)。これにより、ストレスなくスキャンができるようになり、一瞬の血流変化も捉えられるようになった。造影剤を使用しなくてもそれに近い血流像を観察でき、造影剤を使用すれば更に微細な血流の観察が可能である。今後SMIにより、新たな血流診断の可能性が期待される。

3.2 小児診断の負担軽減に貢献するSMI

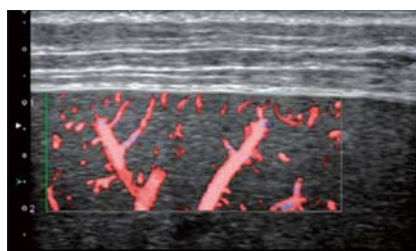
小児診断においてSMIは、(1)造影剤を使用しなくても微細な血流を観察できるため、小児に苦痛を与える造影剤注射が不要である、(2)高フレームレートでアーチファクトが少ないため、動きが活発な小児の検査を短時間に行うことができる、と



(注1) 診断の練習や診断装置の評価に使われる検体の模型。

(注2) 超音波診断画像のノイズで、被験者の体動に起因するもの。

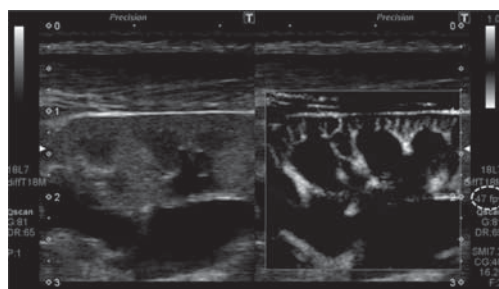
(注3) 超音波診断装置の基本的な画像化手法の一つで、反射された超音波の振幅を輝度置き換えて表示する。



データ提供：学校法人 川崎学園 川崎医科大学附属病院

図3. SMIによる肝血流画像例 — SMIにより、従来よりも更に低流速の血流を高フレームレートで検出できる。

Example of hepatic blood flow image obtained by SMI



(a) Bモード画像 (b) SMI画像

データ提供：Cincinnati Children's Medical Center (米国 オハイオ州)

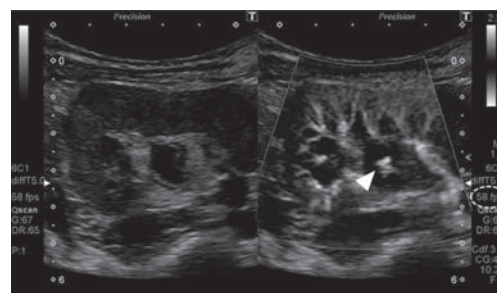
図4. SMIによる乳児における腎臓の皮質の血流観察例 — SMIにより痛みのない血流診断が可能になる。

Example of blood flow images in cortex of infant kidney obtained by SMI

いう利点がある。生後17日の乳児において、腎臓の皮質の血流をSMIで観察した例を図4に示す。造影剤を使用しなくても、末梢血管まで描出されていることがわかる。

他の臨床応用におけるSMIの有用性の一つとして、尿路感染症 (UTI) を呈する小児の膀胱 (ぼうこう) 尿管逆流症の診断が挙げられる。通常、膀胱から腎臓への膀胱尿管逆流を検出する方法はX線膀胱造影になるが、膀胱カテーテル法は侵襲的である。生理的な排尿パターンを観察するために鎮静剤を使用することは一般に勧められないので、X線膀胱造影は小児に苦痛を与える。

SMIを使用してUTI治療を行っていた小児腎臓の腎盂 (じんう) 内で血流を検出した例を図5に示す。UTIの原因を説明する解剖学的異常は見つかっていなかったが、非侵襲的かつ痛みのないSMIにより、膀胱ではなく腎臓に向かう腎盂内の血流を検出し、より迅速な診断情報を提供できた。従来のカラードプラと比較すると、SMIはより高精細かつ高フレームレートでアーチファクトが少ない画像を提供できるため、血流の存在若しくは欠如を短時間に検出できる。このように、SMIはX線膀胱造影や不必要な侵襲的手技による検査を減らし、小児診断における負担軽減に貢献する。



(a) Bモード画像 (b) SMI画像

データ提供：Cincinnati Children's Medical Center (米国 オハイオ州)

図5. SMIによる小児腎盂内の血流検出例 — SMIにより患者への負担の少ない小児血流診断が可能になった。◀印は腎盂内の血流を示す。

Example of blood flow detection in pediatric renal pelvis obtained by SMI

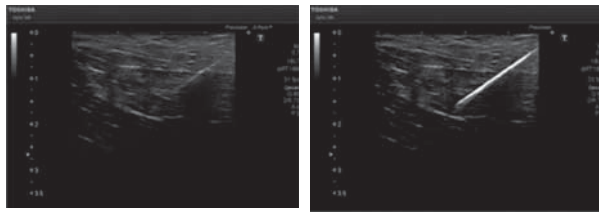
4 穿刺術の負担を低減するBEAM

超音波診断装置の普及とその性能の向上は、その利用分野の拡大にも貢献しており、超音波ガイド下の穿刺 (せんし) 術もその一つである。近年、穿刺術の適用範囲が、組織や細胞の生検診断にとどまらず、体内の余分な水分を抜くドレナージやPEIT (エタノール注入療法) などの治療領域でも重要度を増している。ここでは、穿刺術における安全性の確保と術者のテクニックやプロセスを支援する穿刺針ナビゲーション画像法であるBEAM (Biopsy Enhancement Auto Mode) について取り上げる。

超音波ガイド下の穿刺は、簡便性やリアルタイム性だけでなく、患者のX線被ばく量の低減においても優れた手法である。また穿刺ナビゲーションは、術者が穿刺ターゲット周囲の組織や臓器を的確に判断できることによる患者の安全性の確保、及び施術時間の短縮にも貢献する。

超音波ガイド下の穿刺には、超音波断面に交差するように針を刺し進める交差法と、超音波断面に沿って穿刺し、針先からシャフトまでの針全体を描出させる平行法がある。交差法はターゲットまで短い距離で到達できる利点があるが、超音波走査面と交差している部分の針だけが描出されるため、針とともに超音波プローブも動かすことで常に針の先端を超音波断面に入れる必要がある。これに対し、平行法は針全体を超音波走査面に入れるので、超音波プローブを固定した状態で針先の位置を把握しながら針を刺し進めることができる利点がある。しかし、針全体が断面に入っても針の角度などによっては針が不明瞭になることがあり、視認性の向上が期待されていた。

BEAMは平行法での穿刺における針の視認性をBモードに比べて高めることができる機能であり、ワンボタンでBモードからBEAMに切り換えられる。組織画像の高画質を維持しながら、針の映像化に最適な送受信を別々に実施することで針の位置を強調表示し、穿刺ターゲットと針の両方を確認し



(a) 通常Bモード画像

(b) BEAM画像

図6. BEAMによる穿刺針の視認性向上 — BEAMによる穿刺ガイダンスにより、穿刺術の精度向上と時間短縮が可能になる。

Improvement of visibility for needle guidance using biopsy enhancement auto mode (BEAM)

やすい画面を提供する。

図6に示すように、BEAMにおいて穿刺針が高輝度に強調して描出されることで視認性が向上している。強調レベルは3段階に調整でき、針の太さや観察部位に応じて最適な視認性が得られるように設定できる。細い針では強調レベルを高く設定することで明瞭に描出でき、太い針では強調レベルを低く設定することで太すぎず、かつ針先を詳細に描出できる。平行法において針を安定的に描出するためには、針全体を超音波断面に入れる技術が必要である。BEAMはそれを容易に行えるよう補助する機能であり、穿刺術の施術時間を短縮でき、患者の負担軽減に大きく貢献する。

5 開腹手術の負担を減らす超音波プローブ

近年、腹部に開けられた小さな穴から挿入された専用の術具を用いて行われる腹腔鏡下手術は、低侵襲治療の一つとして普及してきている。腹腔鏡下手術は開腹手術と比較して、創痛が少ないこと、及び二次感染の危険性が低いことのほか、術後回復が早いことなどが利点として挙げられ、患者の負担を大きく軽減できる。

一方、腹腔鏡下手術では限られた視野で術野全体を把握しなければならず、また開腹手術とは異なり触診が難しいので、施術者にとっての負担は大きい。その負担をサポートする手段として、超音波プローブの役割は大きい。超音波プローブを用いることで、施術者は腫瘍の局在や周辺部の血管の走行状態の情報をリアルタイムに得ることができる。特に、出血しやすい臓器である肝臓の切除術では、超音波プローブは医師にとって不可欠な術具とされている。

当社は、独自の特長を備えた腹腔鏡下手術用超音波プローブPET-805LA(図7)を新たに開発した。

- (1) 軽くて握りやすい操作部で、ノブの屈曲と軸回転により先端のセンサ部を片手で自在に動かせる。

(注4) 二つの周波数の超音波を合成して送信し、受信信号中の差音と高調波を用いて、ノイズが少なく、高い分解能の高品質画像を得る技術。

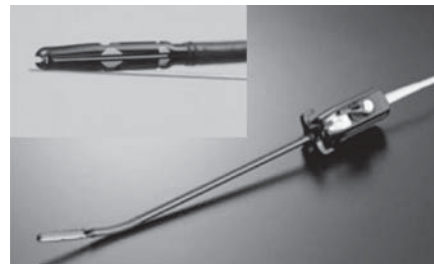


図7. 腹腔鏡下手術用超音波プローブ PET-805LA — 超音波診断装置Aplioに適用可能な腹腔鏡下手術用超音波プローブを新たに開発した。
Newly developed PET-805LA laparoscopic ultrasound probe

- (2) 先端部にマーカ表示と対応したプローブマークを超音波画像に表示して、腹腔内でのプローブの姿勢を容易に把握できる。
- (3) 穿刺針を針入位置へ誘導するスリットが先端部周囲に5か所あり、穿刺をサポートする。
- (4) 当社独自のDifferential THI^(注4)と組み合わせることにより、高画質で高い診断能を提供する。

PET-805LAはこのような当社独自の特長を持っており、迅速な腹腔診断により、施術者と患者の負担軽減に貢献できる。

6 あとがき

超音波画像診断装置Aplioに搭載された技術による、新たな診断領域へのアプローチについて述べた。超音波診断装置では、この他に3次元スキャンによる3次元画像の映像化や他の診断機器画像との連携による複合診断などの実用化により、従来よりも短い時間で客観的診断ができるようになった。

今後も、超音波画像診断技術や超音波走査プローブの開発を通して、患者の負担軽減を進める医療の実現に貢献していく。



佐藤 武史 SATO Takeshi

東芝メディカルシステムズ(株) 超音波事業部 超音波開発部 主幹。超音波診断装置の映像化の研究・開発に従事。
Toshiba Medical Systems Corp.



武内 俊 TAKEUCHI Takashi

東芝メディカルシステムズ(株) 超音波事業部 超音波開発部 参事。超音波画像診断装置プローブの研究・開発に従事。
Toshiba Medical Systems Corp.



金山 侑子 KANAYAMA Yuko

東芝メディカルシステムズ(株) 超音波事業部 超音波開発部。新しい臨床アプリケーションの研究・開発に従事。
Toshiba Medical Systems Corp.