

早期検出・鑑別診断・治療を支える 超音波診断システム

Diagnostic Ultrasound System for Early Detection, Diagnosis, and Therapy

河崎 修一 平間 信 武藤 義美

■ KAWASAKI Shuichi ■ HIRAMA Makoto ■ MUTO Yoshimi

超音波診断装置は、安全でリアルタイムな検査が繰り返しできることから、多くの医療現場において、なくてはならない画像診断装置として普及している。今後の高齢化社会において、更に増加が予想されるがんや心疾患に対して、早期検出から、鑑別診断、治療のガイド、治療効果の判定、治療後のフォローにまで、その適用範囲を広げてきている。

東芝メディカルシステムズ(株)は、これらのニーズに的確に対応するため、独自の信号処理や画像処理技術を用いた最新のプラットフォームに、人間工学とネットワーク技術を導入し、スムーズな医療のワークフローを実現している。

Diagnostic ultrasound systems are indispensable imaging equipment in various medical settings because of their safety and real-time imaging capability. Their areas of application have been expanding to encompass not only morphological and functional diagnosis, but also differential diagnosis, guidance for therapy, and follow-up.

Toshiba Medical Systems Corp. has developed the Aplio™ XG as a premium diagnostic ultrasound system. This new system features user-friendly operating functions and high image quality using advanced computer and signal processing technologies.

1 まえがき

急速に進む高齢化により、がんや心疾患の増加が予想され、また一方、医療費抑制など医療環境も大きく変わってきている。超音波診断装置は、その非侵襲性と簡便性の利点によって、検診や外来での診断に始まり、鑑別診断、治療のガイド、治療効果の判定、フォローアップに至る各段階で用いられてきている。また、他の画像診断装置に比較して比較的安価でもあり、病院経営の面からも重要性を増してきている。

2 超音波診断装置とは

超音波診断装置は生体内に超音波パルスを照射し、組織からの反射波を受信する。このとき、超音波ビームの位置を変えて反射信号の強度をマッピングし生体内の映像を得る。

初期の超音波診断装置では、電気信号を超音波に変換する圧電素子を用いたプローブ(振動子)を機械的に振って超音波ビームを走査していたが、その後、振動子を短冊状に分割したプローブを用いて、電子的にビームの方向を変える電子走査方式を採用した。これにより、リアルタイム性、画質、及び操作性が格段に改善され、臨床の場に急速に普及してきている。

最近では、超音波のビームを形成するための処理がデジタル化され、1回の送信で複数の走査線情報を得たり、高精度信号処理によってより細かいビームを形成するなど、更に性能が向上してきている。また、血流の映像化や血流速度の計測が可能である。これは、血管内を移動する血球からの

反射波がドプラ効果により周波数遷移することを用いて、周波数遷移した成分だけを抽出することで実現している。

超音波診断装置は、次の特長を持っている。

- (1) 放射線などの被ばくがないため非侵襲で、また、患者の苦痛もないため繰り返し検査することが可能である。
- (2) リアルタイムに生体内画像が得られるため、心臓のような動きのある組織や術中のモニタに適用できる。
- (3) 小型であるためベッドサイドや、ICU(集中治療室)、手術室に容易に移動してすぐに診断を行うことができる。
- (4) 比較的安価である。

このような特長から、臨床の診断から治療まで、多くの段



図1. Aplio™ XG — 周辺機器を含め、可搬性を重視した。
Aplio™ XG diagnostic ultrasound system

階で超音波診断装置は使われてきている。東芝メディカルシステムズ(株)は、正確で効率的な診断のために、画質と操作性に優れた超音波診断装置 Aplio™ XGを開発した(図1)。この装置は、病院内情報システムと融合してスムーズな診療ワークフローを実現する。

3 がんの診断と治療への貢献

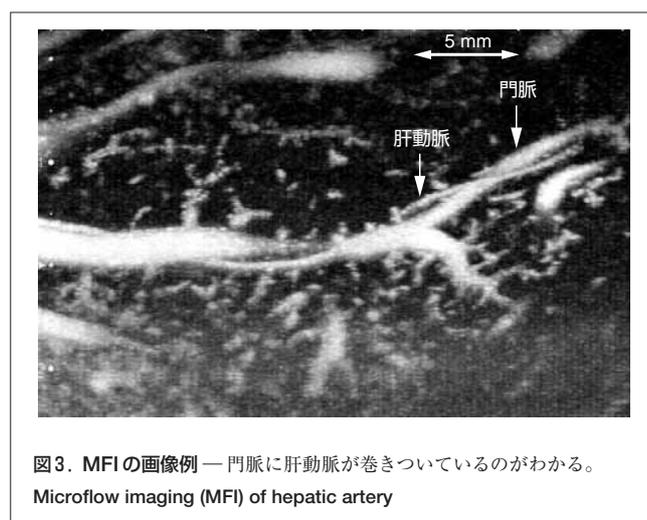
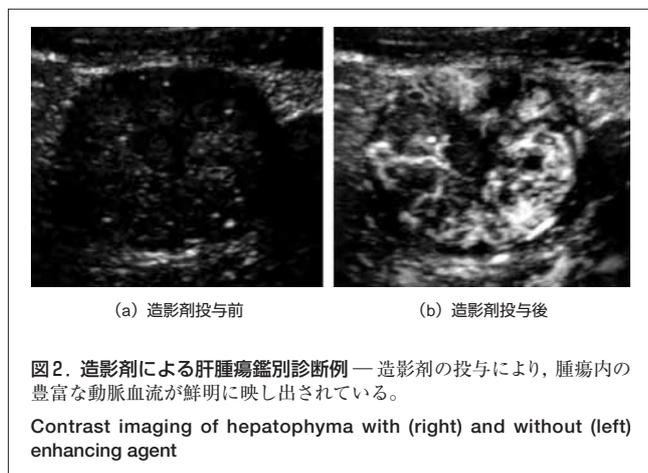
3.1 鑑別診断

がんは周りの動脈を引き込み、腫瘍(しゅよう)内部で新生血管を作り出してみずからを栄養し増殖する。また、新生血管は通常の血管のように滑らかに走行せず、細かく蛇行する性質がある。そのため、この腫瘍内の動脈血流の分布と走行を観察することで、腫瘍の良性と悪性を鑑別することができる。しかし、血液からの反射信号は小さく、周りの組織からの反射信号に覆い隠されてしまう。一方、10年ほど前から、肺の毛細血管を通過できる微小気泡から成る超音波造影剤が実用化され、静脈注射によって全身が造影される。この気泡は超音波を照射すると、特異な非線形散乱信号を発生する。

当社の Aplio™ XGでは、この非線形信号だけを検出するパルスサブトラクション法を用いて、微小な血流でも組織から分離し、明確に描出することが可能になっている。

図2は、腫瘍内の血流の動脈相を映像化したもので、細い動脈ががんの中に入り組んで走行しているようすがわかる。また、肝臓内の貪食(どんしょく)細胞に取り込まれる造影剤もあり、静脈注射後、時間をおいて映像化すると、正常肝組織は取り込まれた気泡が白く造影されるが、がん組織は貪食細胞がないため黒く抜けて描出され、異常組織として識別される。

更に、造影剤による画像を時間的に加算することで気泡の軌跡を映像化し、100 μm程度の細い血管もきれいに描出するMFI(Micro Flow Imaging)を開発した(図3)。また、Aplio™ XGでは検出方法を工夫することで、感度を更に改善している。



3.2 早期発見

1 cm以下の腫瘍を発見するためには、空間分解能とコントラスト分解能が重要であり、これらを明確に描出できれば検査者や患者への負担も小さくなり、早期発見が容易になる。超音波診断装置は、均一な媒質を仮定して設計されているが、実際の生体内では音速は不均一であり、超音波ビームが乱され分解能の低下を引き起こす。一方、生体内を超音波が伝搬すると、媒質の非線形性のために高調波を発生する。空間分解能及びコントラスト分解能が高い画像が得られるハーモニックイメージングという方法は、この高調波を選択的に受信して映像化している。

Aplio™ XGは、更に複数周波数の超音波信号を同時に送信して、より広帯域の非線形信号を得ることができるDTHI(Differential Tissue Harmonic Imaging)を用いており、浅部から深部にわたってより高分解能で高感度な画像が得られ、がんの早期発見に役だっている。

3.3 治療のガイド・効果判定・フォローアップ

がんの治療には外科的治療のほか、針を穿刺(せんし)してエタノールを注入する方法(PTCA)や、針から高周波を発信して焼灼(しょうしゃく)する方法(RFA)が行われている。超音波診断装置は、リアルタイムに画像が得られる特長を生かして、この針を正確にがんに誘導するためのガイドとして用いられている。これにより安全で確実な治療が可能となっている。また先に述べた造影剤を用いて、治療効果を動脈血の有無から判定することができる。治療後のフォローアップも、被ばくがなく繰り返し安全に検査できることから、きめ細かく行うことができる。

3.4 操作性

超音波診断装置ではプローブを患者に当てれば、即時に画像が得られ、その場で異常部位を特定して計測や記録を行う。そのため、検査者の負担も大きい。Aplio™ XGは、検査者にも優しい装置として、長時間の検査でも疲れないうワークフ

ロー分析や人間工学に基づいて操作性を向上している。

例えば、**図4**のように、様々な検査者の体格や姿勢に応じて、操作パネルや液晶モニタを上下左右自由に動かすことができる機構設計を採用している。

また操作パネルは、よく使う機能をファンクションキーに割り当てることができ、ワンタッチで実行できる。更に、画像の調整に最新のコンピュータ技術を導入し、自動的に装置がノイズと組織画像の判別を行い、画質を調整する Quick Scan 機能を実現している (**図5**)。

最近の大きい病院や欧米では病院のネットワーク化が進み、いかに効率よく診断できるかが重要になってきている。病院システム内のワークフローに合致した効率的な診断業務ができるよう、業界標準である医療連携のための情報統合化プロジェクト IHE (Integrating the Healthcare Enterprise) の目標に沿って、オーダーから検査の開始、完了、画像の配信までを、病院システムと連携を取って進めることができる。画像は、実質的な標準である医用デジタル画像の規格 DICOM (Digital Imaging Communication Medicine) フォーマットで出力ができ、必要に応じてネットワークへの出力や、

メディアへの記録、印刷が可能である。



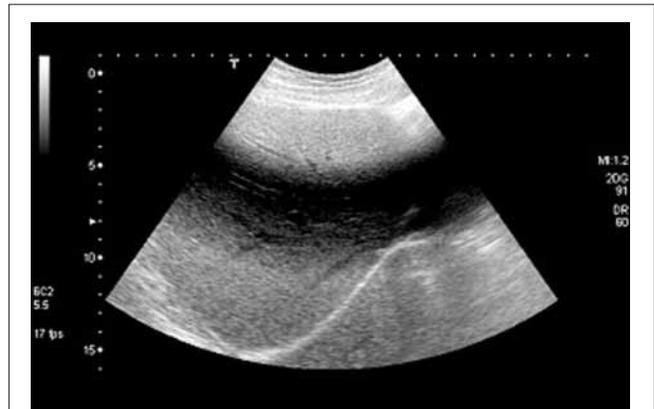
(a) 検査者：座位



(b) 検査者：立位

図4. 人間工学に基づいた機構設計 — 検査者の姿勢に応じてモニタや操作パネルを上下左右に簡単に調整できる。

Ergonomic design for easy operation



(a) Quick Scan前



(b) Quick Scan後

図5. 画像の自動調整 (QUICK SCAN) — ライブ走査時に、装置が自動的に、画像解析を行ってノイズと組織を判別し、均一な画像が得られるよう調整を行う。

Images with (top) and without (bottom) automated gain control ("Quick Scan")

4 心疾患の診断・治療への貢献

4.1 早期発見

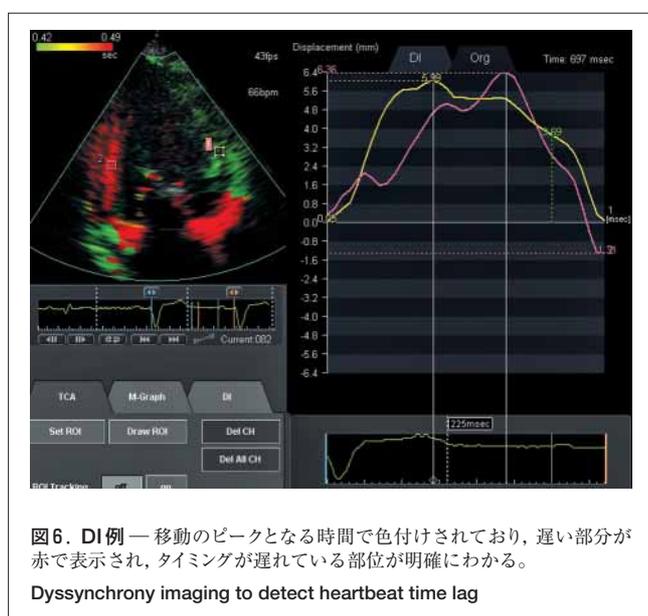
超音波診断装置は、リアルタイムに対象を診れるため古くから心臓の診断に応用されており、例えば、先天性心臓奇形などの形態診断や、カラードプラによる逆流診断に用いられている。虚血性心疾患に対しては心臓の壁運動を断層像から診断するだけでなく、壁運動速度やストレインを定量化する機能診断も実用化されている。更に、運動や薬剤によるストレスを与えて壁運動を観察することで、早期に狭心症を発見できる。

4.2 治療への応用

左脚ブロック伝導障害などの心不全患者は、統計的に死亡率が高いことが知られている。正常な場合には、心尖(しんせん)部から心基部に向かって前後・左右対称に興奮が伝搬してゆくのにに対して、左脚ブロックの場合には中隔に比べ

て側壁の興奮が遅れて、収縮のタイミングにずれが生じる。この心室同期不全が生じると十分な血液を拍出することができず、更に伝導障害が悪化するという悪循環が発生する。この悪循環を断ち切るためにペースメーカを埋め込み、電極を一つだけでなく左心室にも配置してタイミングを合わせる心臓再同期療法が行われている。この適応の判断はこれまで心電図を用いていたが、予後がよくない場合も多くあり、ペースメーカを植え込むという侵襲的な治療ではより適切な判断が必要である。

これに対して、Aplio™ XGは、超音波の組織ドブラを用いて心筋の動きのタイミングずれを直接定量化するDI (Dyssynchrony Imaging)を提供している(図6)。これにより、同期不全の程度を直接判断でき、予後を改善することが期待されている。



また下肢などの血管系の狭窄(きょうさく)には、造影剤を用いたX線透視下で血管の位置を確認しながら、カテーテルを挿入して風船で拡張し、網目状の金属管(ステント)を留置して血管腔(くう)を確保する治療が行われている。しかし、完全閉そくしている場合には造影剤が流れず、血管が認識できない。これに対して最近、超音波診断装置を用いて閉そく部と両側の血管腔を確認し、ガイドワイヤを閉そく部に押し込み開通させる治療法が試みられており、今後の普及が期待されている。

5 超音波診断装置の将来

最新のCT(コンピュータ断層撮影)画像からも明らかなように、臓器・血管系の3次元構造を確認するには3次元映像法がより適しているのは言うまでもない。超音波診断装置に

おいても、電子走査型プローブを機械的に走査して、3次元画像をリアルタイムに表示する技術(以降、4Dと呼ぶ)が実用化されている。高分解能のプローブを揺動することで、図7に示すように、胎児の顔や表情がリアルタイムに見ることができ、これを妊産婦に見せて不要な不安をなくすることができる。

更に、胎児の心臓の病変の有無などを事前に検出し診断できるような機能も研究中である。今後、この4D超音波の応用範囲が多くの診断領域に広がっていくことが期待される。



6 あとがき

検診や治療の場で、当社の超音波診断装置のおかげで腫瘍などの早期診断や治療ができて助かったとの声をいただくためにも、今後も、画質を含めた基本性能の向上とともに、検査者が使いやすく、病変部を短時間で見つけやすい臨床アプリケーションの開発に全力を注いでいきたい。

更に、このためには全体像がわかりやすい4D化技術の拡充や、ほかの画像診断機器との連携対応も必要となるため、これらの機能開発も進めていきたい。



河崎 修一 KAWASAKI Shuichi

東芝メディカルシステムズ(株) 超音波事業部 超音波開発部長。超音波診断装置の開発・設計に従事。日本超音波医学会会員。

Toshiba Medical Systems Corp.



平間 信 HIRAMA Makoto, Ph. D.

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、工博。超音波診断装置の開発・設計に従事。日本超音波医学会評議員。

Toshiba Medical Systems Corp.



武藤 義美 MUTO Yoshimi

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。超音波診断装置の開発・設計に従事。

Toshiba Medical Systems Corp.