

ジャンル別超音波最新動向

— 先進技術の活用法も含めて —

企画協力：谷口信行 自治医科大学医学部臨床検査医学教授

超音波診断装置は、ペイシェントフレンドリーな検査・治療に対するニーズの高まりを受け、ますます存在感が増えています。さらに近年は、高画質化やフュージョン、エラストグラフィ、3D/4Dエコー、乳腺自動超音波などの技術革新が進み、臨床現場への導入が始まっています。また、機動力に優れたモバイル型装置が登場したことで、今後は在宅医療や救急医療などのpoint-of-care領域でも活用が広がっていくことが予想されます。そこで、本特集では、超音波診断の最新動向を領域などジャンル別に取り上げ、加えてさまざまな先進技術が臨床現場でどのように活用されているのか、最新事例をご報告いただきます。



I ジャンル別超音波最新動向

1. 基礎

医用超音波技術の最新動向

秋山いわき 同志社大学生命医科学部医情報学科

臨床診断において、超音波診断装置の有用性が認められてから40年以上が経過した。この間、多くの技術革新があり、現在の装置に至っている。本稿では、医用超音波技術の最新動向として、高フレームレートのイメージングとエラストグラフィの現状を取り上げる。また、臨床応用までには少し時間を要するが今後が期待される技術についても触れる。

はじめに

超音波診断装置は、パルスエコー法に基づいてイメージングされる。この手法は図1のように、送信された超音波パルスが生体中を伝播し、組織中で反射されて戻ってきた超音波エコーが受信されるまでの時間を計測し、この往復の伝播時間から距離を推定することを基本としている。生体内部の断層画像を形成するためには、超音波伝播方向（レンジ方向と言う）の距離情報に加えて、その垂直な方向（以下、方位方向）について

の距離情報も必要となる。そこで、超音波を送受信する振動子を小さく分割して多数配列し、順次スイッチで切り替えながら超音波を送受信することによって、方位方向の距離情報を得る。このように、配列した振動子を電子的なスイッチで切り替えながら方位方向の距離情報を得る方式を、電子走査型と言う。現在、臨床診断で使用されている超音波診断装置は、この電子走査型のイメージング方式を採用している。この方式によって、実時間での映像化が可能となった。一方、この方式では、超音波パルスを送信してからエコーをすべて受信するまで待つて

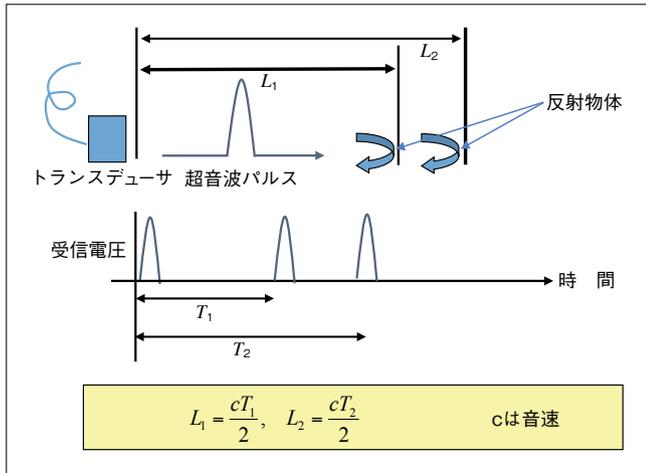


図1 パルスエコー法の原理

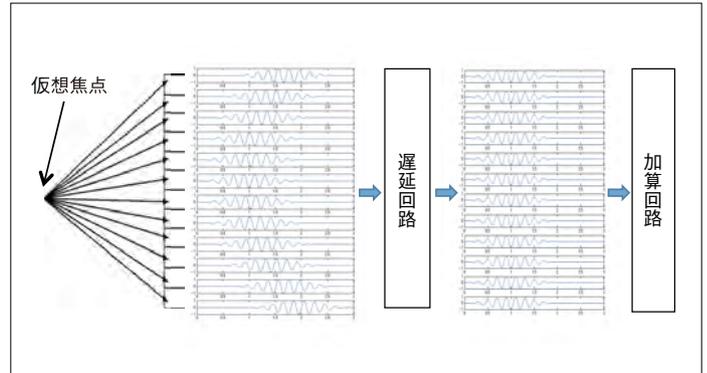


図2 受信波の整相加算によるダイナミックフォーカス

から次のパルスを送信する必要があるため、画像形成に一定の時間を要する。生体中の音速は約1500m/sであるため、超音波パルスは1μsあたり約1.5mm進む。例えば、生体内部の深部100mmまでの領域を映像化しようとすれば、往復200mm ÷ 1.5mm/μs = 133μsとなる。走査線数を100とすれば、画像形成に要する時間は13msとなる。これがフレームレートの上限值である。近年、このフレームレートを超えて映像化する装置が開発されている¹⁾。フレームレートが向上すると、心臓のように動いている臓器の様子をより精細に観察できるだけでなく、単位時間あたりに取得できる画像の枚数が増えるため、血流速度分布をベクトルで計測すること²⁾、雑音を低減し画質向上を図ることなどが可能となった。

最近、臨床でその評価が進んでいるエラストグラフィは、組織の硬さの分布を映像化する新しい技術である。特に、剪断波（以下、shear wave）と呼ばれる横波を用いる shear wave elastography は、定量性の高いイメージング手法として期待されている。音波は、空気中や水中では縦波のみが伝播するが、固体中や生体組織中では縦波に加えて横波である shear wave も伝播することが知られている。shear wave の伝播速度は伝播媒質の硬さ（弾性率）に依存する。したがって、生体内部の shear wave の速度を測定できれば、組織の硬さの情報を得ることができる。生体組織の shear wave の速度は周波数に依存し、1kHz以下で数m/sとかなり遅い。したがって、

生体中での shear wave は、反射や屈折によって伝播方向が複雑に変化し、伝播速度を精度良く測定することが難しい。そこで、伝播方向を仮定しない相関に基づく波長推定手法が提案されている³⁾。

また、今後臨床応用が期待される新しいイメージング手法も提案され、研究が進んでいる。生体組織の熱的特性に着目したイメージング⁴⁾、⁵⁾やMRIの画像情報を用いた超音波イメージング⁶⁾などである。前者は超音波によって微小温度加温し、加温による温度上昇を超音波で測定して、温度上昇から体積熱容量を反映した物理量を映像化する手法である⁴⁾。また、超音波検査で発見されなかった腫瘍がその後のMR撮像で発見された場合に、もう一度精密検査として超音波検査が施行されることがあり、セカンドルックと呼ばれている⁷⁾。このような場合、MRIで撮像された画像情報を用いることによって、超音波エコー画像の画質改善を図り、さらに、腫瘍の良悪性鑑別などを行うための新しい診断情報を得ることが期待できる。

高フレームレート 超音波イメージング

従来の超音波診断装置における分解能向上技術は、超音波送信時における多段フォーカスと図2に示すようにエコー受信時におけるダイナミックフォーカスによって支えられていた。受信時フォーカスは、イメージング断面のすべての画素において同時並列処理が可能であるた

め、リアルタイム化が容易であるが、送信時フォーカスはフォーカス点が空間上の1点に固定されるため、1つの断層画像を形成するためには複数回の送信が必要であり、フレームレート向上の妨げになっていた。しかし、最近のイメージングシステムのダイナミックレンジの拡大と信号対雑音比の向上により、送信時フォーカスを不要とする高フレームレート超音波イメージングが可能となった。拡散波送信、受信ビーム並列形成および phase coherence weighting⁸⁾を用いて、高橋らは約6000fpsで取得したエコーデータから血流速度ベクトル分布を約500fpsで映像化することを可能とした⁹⁾。

Shear Wave Elastography

超音波の強度が大きくなってくると、通常は無視できる音響放射力（acoustic radiation force）が組織に働くようになってくる。集束超音波パルスを生体中に送信すると、焦点領域で強度が高くなった超音波パルスが音響放射力の効果によって焦点近傍の組織を局所的に「押す」ことになる。押されて変位した組織は超音波をオフすることによって「元の」位置に戻る。この時に shear wave が発生する。発生した shear wave は生体組織中をゆっくり伝播する。この速度は、縦波の超音波に比べてかなり遅いため、shear wave の伝播の様子を縦波によって観測することが可能である。つまり、shear wave の伝播による微小組織の振