

7. 高感度ドプラ技術と臨床の最新動向

特集

US Today 2023

超音波検査・
診断最前線

腹部領域の最新動向
を中心に

松本 直樹 日本大学医学部内科学系消化器肝臓内科学分野

従来のカラードプラは高感度で血流方向が表示される一方で、空間分解能が低くブルーミング(血管からはみ出し)が生じて血管の構造の認識が不正確なこと、低流速では検出限界があり、プローブと平行方向の血流も表示されないこと、などが課題であった。高感度ドプラ技術はさまざまなものが開発されており、それぞれに特徴がある(図1)。本稿では、各社の手法と、それらの臨床応用を紹介する。

B-Flow

GE社の「B-Flow」は、1999年に発売され、血流のドプラ偏移を得るのではなくBモードを使用したことから、空間分解能、時間分解能がBモード同様に高いことが特色である。送受信技術である「Coded Excitation」は、送信信号を一部、正負反転させたものを含めて複数組み合わせ、受信ではその組み合わせを逆順で加算することにより、大きな振幅を得る。例えば、伝播により振幅が1/2になると仮定すると、2の振幅の信号を送信すると、通常は1の振幅の信号が受信されるが、Coded Excitationでは4の振幅の信号が得られる。赤血球からの信号は微小であるが、この方法で増強して表示する。Coded Excitationは背景の組織の信号も増強するが、時間経過での変化の多寡によって、血流信号だけを識別して取り出したものがB-Flowである¹⁾。組織を含めたBモードに重畳表示するモードと、血流信号のみのモードがある。Bモードを使用しているため、

関心領域(ROI)が大きくてもフレームレートはあまり下がらず、全画面を血流信号のみのB-Flowとしても十分なリアルタイム性がある(図1 a, b)。

肝腫瘍内の血管形状の特徴の違い〔肝細胞がんはバスケット状(図2)、肝転移、肝内胆管がんは貫通血管²⁾、門脈腫瘍栓内の血管(thread and streaks sign)³⁾、門脈血栓の治療経過⁴⁾など、空間分解能の高さを生かした使用法が可能である。

Superb Micro-vascular Imaging (SMI)

キヤノンメディカルシステムズ社では、広帯域での送受信によりカラードプラの空間分解能を向上させた「Advanced Dynamic Flow (ADF)」を開発していたが、モーションアーチファクト(探触子の急激な操作や呼吸、拍動などによる臓器の動きに伴って生じたドプラ偏移によるカラー表示)は低減されていなかったため、一部の信号はアーチファクトに埋もれてしまっていた。これらの信号は血流情報と認識されなかったことから、結果として血流感度がカラードプラを凌駕することはできていなかった。

ADFの技術を基礎として、低流速の信号が失われないようにするために、モーションアーチファクト特有の信号を認識して除去し、映像化したものが「SMI」である。低流速の信号が拾えるようになったことに加え、空間分解能、時間分解能も向上させたことから、微細な血流を表

示できるようになった(図1 c, d)。肝臓領域では、肝腫瘍や血管病変の診断に用いられてきた⁵⁾。ただし、当初の問題点として流速レンジを上げることができなかったが、信号処理ハードウェア、解析アルゴリズムの性能を向上させて、Generation 4に改良した。これにより、速い速度のモーションアーチファクトが分離できるようになり、高速の血流も描出可能となった。とは言っても、腹部大動脈のような非常に速い血流の検出は得意ではないため、カラードプラやADFとの使い分けをすべきである。

図3は臍頭部の粘液性嚢胞腺腫で、この領域は周囲に血管が多く、従来はアーチファクトが避けられなかったが、嚢胞壁の血流が明瞭に描出されている。

Detective Flow Imaging (DFI)

富士フイルムヘルスケア社では、空間分解能、時間分解能に優れた広帯域ドプライメージングの「eFlow」を装置に搭載していた。これは信号の送受信を広帯域化させ、血管内の信号の減衰を抑制し、組織の信号を識別することで高精細化したパワードプラである。

「DFI」は、eFlowを発展させた技術で、ROI内の信号を解析し、血流とモーションアーチファクトの特徴をとらえて分離し、モーションアーチファクトのみを除去することで低流速の血流検出度を向上させたもので、専用のスキューンシーケンスを用いることでフレームレ