

1

超音波の基礎知識

I ● 超音波による画像表示

超音波 (ultrasound) は、人間の耳に聞こえないほどの高い音程 (周波数) の音波です。人体に対し安全である、生体中を直進する、減衰が小さい、などの特徴を有するために、医用分野での診断ツールとして利用されています。

超音波探触子 (プローブ) の内部には超音波振動子 (ultrasonic transducer) があり、電気信号を超音波信号にして送信し、生体からの反射超音波を電気信号に変換します。送信は、非常に短い時間だけ持続するパルス波を一定時間ごとに繰り返し発射します。ある物体にパルス波が当たると、一部は反射し、残りは透過していきます (図 1)。さらに進んで次の物体に当たると、再び一部は反射し、残りが透過します。反射して帰ってくる超音波を、帰ってくる時間を体表からの距離として、振幅を明るさで表示すると B モードが得られます (図 2)。これをいくつものビームで行うことにより、断層像を得ることができますし、1 か所の時間的変化を表したものが M モードです (図 3)。

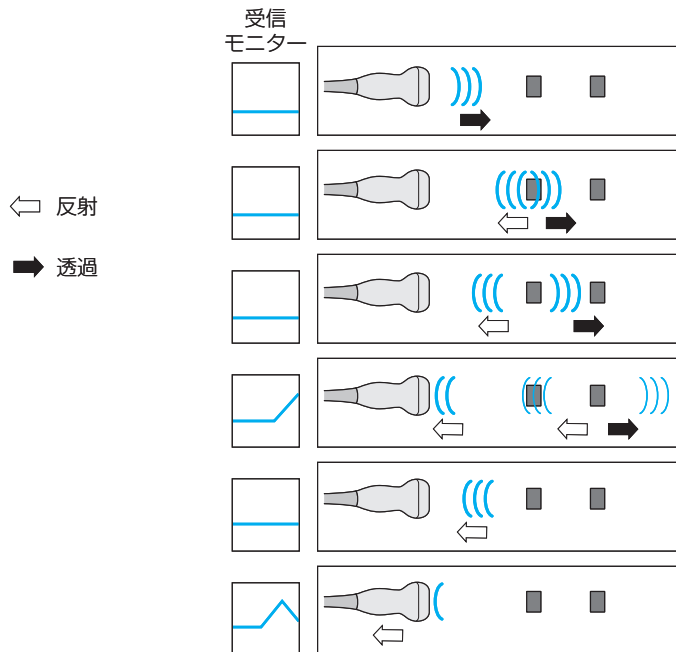


図 1 パルス波の反射と透過

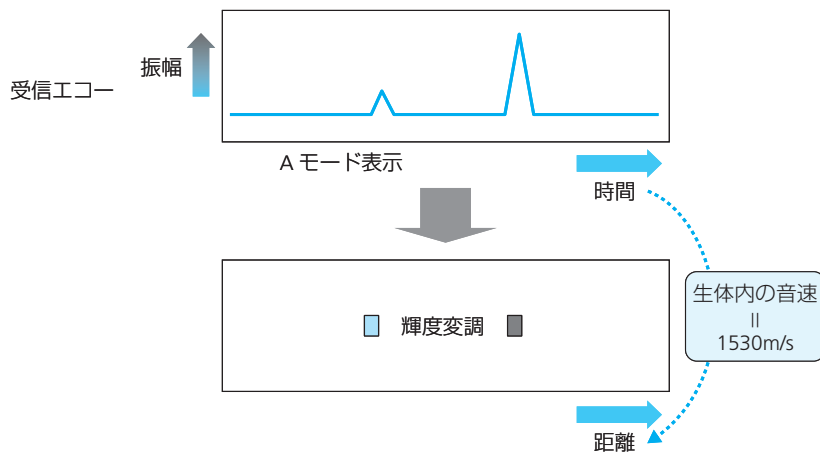


図2 Bモードの原理

時間を距離に、振幅を輝度にして表示する。

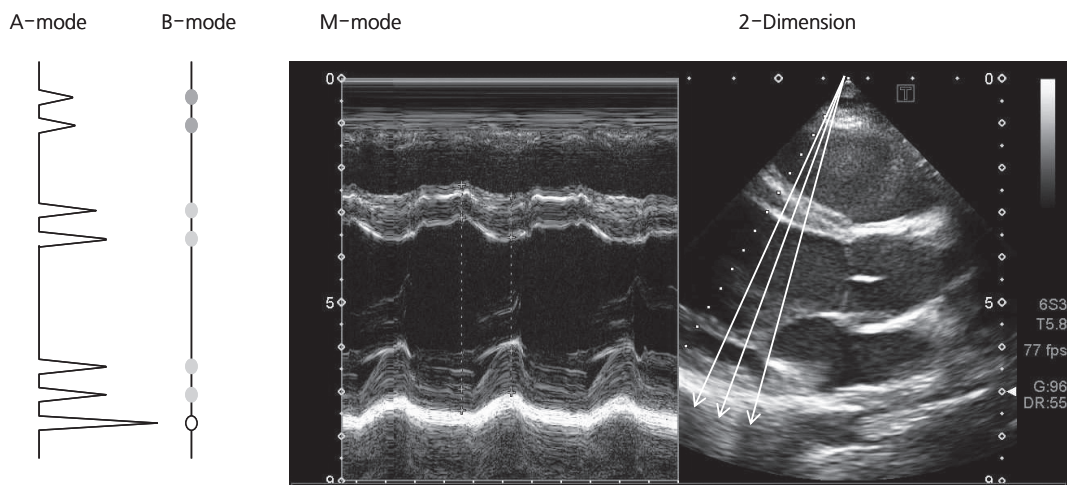


図3 断層像，Mモードの原理

Bモード（B-mode）をいくつものビームで行うことにより、断層像（2-Dimension）を得ることができますし、1か所の時間的変化を表したものがMモード（M-mode）です。

II ● 走査方式（探触子の種類）

探触子（プローブ）に超音波振動子を一系列に配置して、連続した複数の振動子から超音波ビームを端から順番に送信し（走査と言ひ、送信する順番の方向を走査方向と言います）、次々に反射してくる反射波を受信してBモード画像を作ります。

1 リニア走査方式

直線状に微小振動子を配置した探触子です。これらの連続した複数の振動子のスイッチを順番に切り替えて、探触子に対して垂直な超音波ビームを順番に送信します。体表付近の視野幅を大きく取ることができるので、体表に近い臓器の観察に適しています（図4a）。

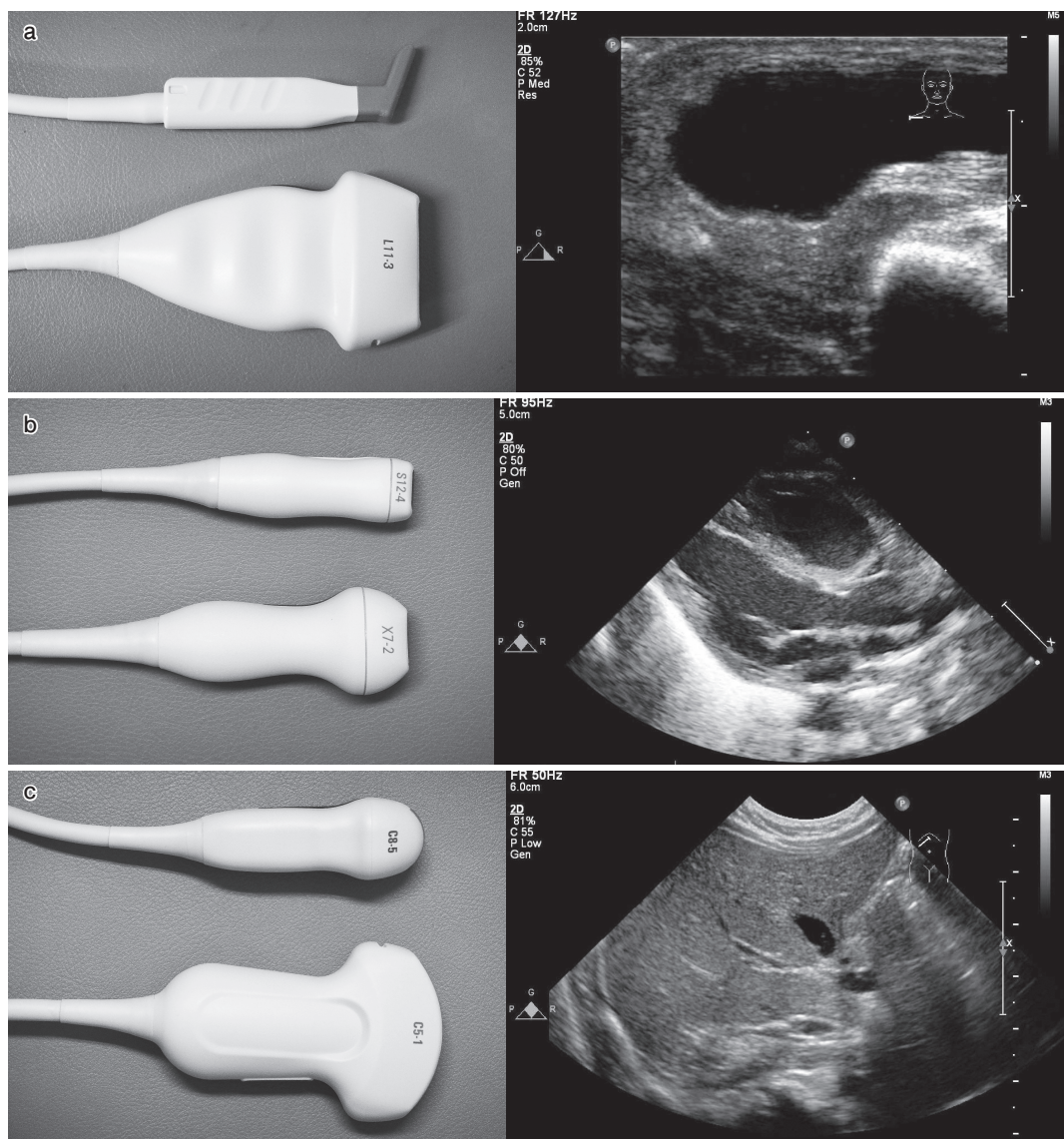


図4 探触子の種類

a: リニア走査方式, b: セクタ走査方式, c: コンベックス配列方式

2 セクタ走査方式

各微小振動子から送信される超音波パルスに時間遅延をかけて、形成される平面波の方向を変えていく方法です。小さな音響窓（エコーを入れることができる部位）から深部での広い視野幅が得られることから、肋間から観察する必要がある心臓の検査で用いられます（図4b）。

3 コンベックス配列方式

微小振動子を円周の一部のように凸状に並べた探触子です。深部での広い視野幅と体表のある程度の視野幅が確保でき、体表に押し付けて密着させる必要があるため、腹部の検査で用いられます（図4c）。

Ⅲ ● ドプラ法

救急車のサイレンの音が、近づいて来る時は高く、遠ざかる時は低く聞こえた経験はあるでしょう。これは、音源が近づく時は周波数が高くなり、遠ざかる時は周波数が低くなるからです(図5)。この Doppler (ドプラ) 効果を利用して血流速度を測定することができます。赤血球から反射する超音波の周波数は、近づく血流では元の送信周波数より高くなり、遠ざかる血流では低くなります。この周波数の変化を測定することにより、血流速度を算出することができるわけです(図6)。

図6からもわかるように、超音波ビームと血流方向の角度が大きくなると $\cos \theta$ が小さくなり、誤差の原因となります。できるだけ20度以内になるように計測を心がけます。

パルスドプラ法では、短いパルス状の超音波を一定の時間間隔で送信し、次の送信までの時間に反射超音波を受信します。パルス送信から一定時間後の受信信号のみを収集し、目的の位置(サンプルボリューム)の血流速度を計測することができます。一方、反射超音波を受信する時間は次の送信までの時間に限られるので、プローブから遠い部位(超音波が目的部位に到達し、反射して帰ってくるまでに時間がかかる)や速い血流(1回のパルス送信と1回のデータサンプリングを交互に繰り返すので、サンプル周波数とサンプル繰り返し周波数が等しいため、計測可能な最大ドプラ偏位周波数が限定される)は、測定できません。

連続波ドプラ法では、連続して超音波を送信し、連続的に反射超音波を受信しています。そのため、サンプル周波数に対する制限がないので、どんなに速い血流でも測定できます。しかし、超音波ビーム上のどの位置からのドプラ信号であるかは識別できません。

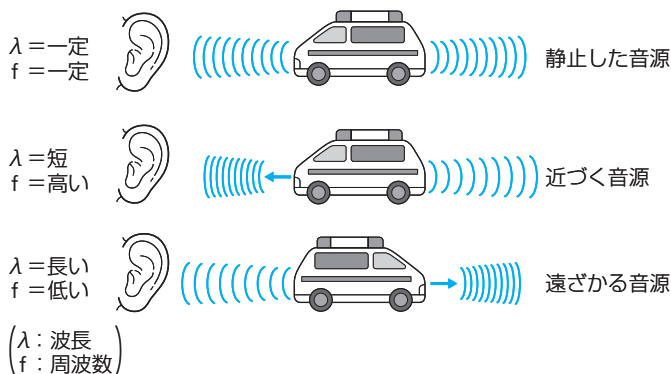


図5 ドプラ効果

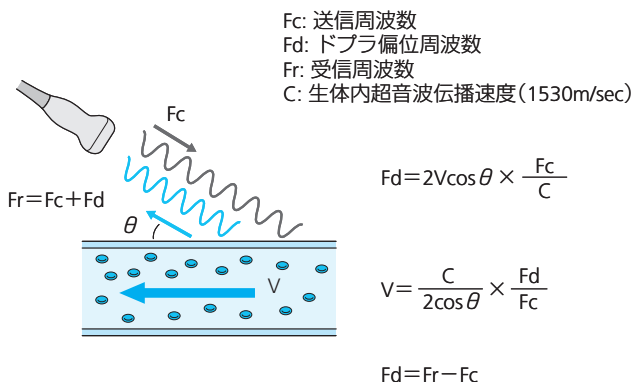


図6 血流の速度の算出

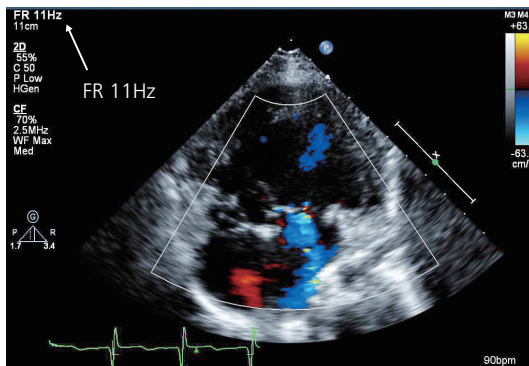


図 7 カラー Doppler 表示の画角とフレームレート 1

カラー Doppler 表示の画角を大きくすれば、フレームレートは低下します。

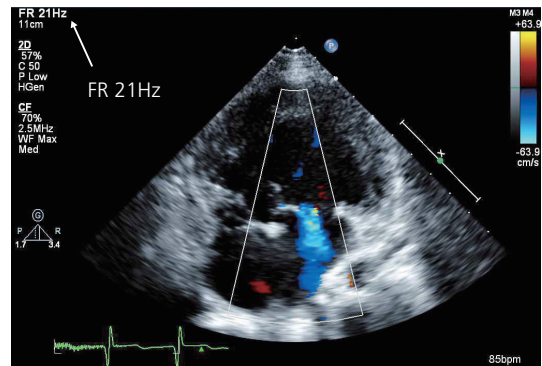


図 8 カラー Doppler 表示の画角とフレームレート 2

カラー Doppler 表示の画角を小さくすれば、フレームレートは増加します。

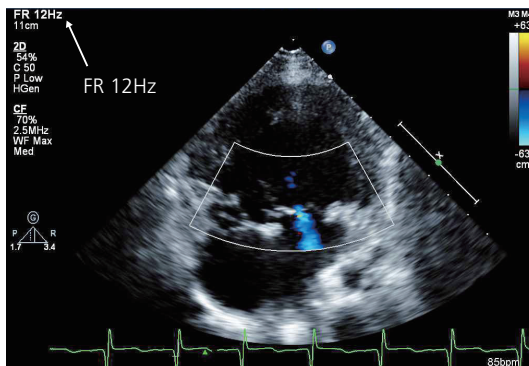


図 9 カラー Doppler 表示の長さ

カラー Doppler 表示の長さを変えても、フレームレートは変わりません。

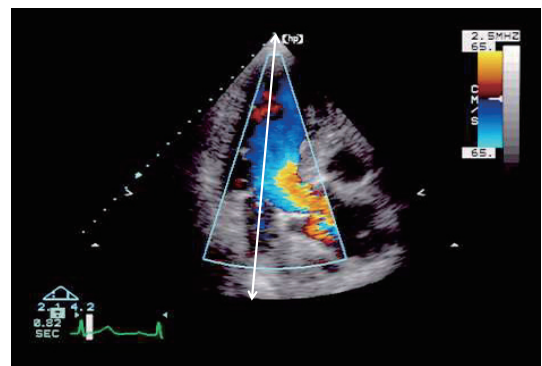


図 10 カラー Doppler 表示の ROI (region of interest)

カラー Doppler は超音波ビーム上のすべての深さの血流速度を計算しています (実線両矢印)。ROI は単にカラーシグナルを示す領域を決めているだけです。

カラー Doppler 法は、パルス Doppler 法を基礎にしています。パルス Doppler 法では、パルス送信から一定時間後の受信信号のみを収集し、1つのサンプルボリューム上の血流速度を測定します。カラー Doppler 法では、超音波上に多数のサンプルボリュームを設定するように多数の受信信号を収集し、さらに超音波ビームを (左右に振る) 走査して、断層像と同様に画像を作ります。サンプルボリュームが1つのパルス Doppler と比べ、膨大な量の情報を処理するため時間がかかり、リアルタイム性は低下します。そのため、カラー Doppler 法を用いるとフレームレート (1秒間に作る断層像の数) は減ります。カラー Doppler 表示の画角を大きくすれば、さらにフレームレートは低下します (図 7)。そのため、必要最小限の画角にする必要があります (図 8)。

カラー Doppler 表示の面積を小さくするために、画角は変えずに、長さを短くした場合はどうでしょうか。この場合は、フレームレートは変わりません (図 9)。それは、元々カラー Doppler は超音波ビーム上のすべての深さの血流速度を計算しているからで、長さは単にカラーシグナルで示す領域を決めているだけだからです (図 10)。