

新技術を用いた 胎児心臓超音波検査法の提案

The New Technology for Fetal Echocardiography

松岡 隆 Ryu Matsuoka

岡井 崇 Takashi Okai

昭和大学医学部 産婦人科学教室

先天性形態異常(=奇形)の発生率は2~5%である。中でも先天性心疾患(congenital heart disease: 以下CHD)の発生頻度は約1%で、最も多い疾患である。しかし、心臓が解剖学的に複雑であり、また、疾患のバリエーションが多いため、必ずしも胎児診断は容易ではない。2006年に日本胎児心臓病学会(当時は日本胎児心臓病研究会)・日本小児循環器学会による胎児心エコー検査ガイドラインが作成されて以来、三次施設のみならず一次施設においても胎児心臓超音波検査が多く施行されてきた。胎児心臓の観察には主にBモードが用いられていることが多いが、近年は超音波機器の処理能力の向上や新技術の開発により、ほかの手法を用いた胎児スクリーニングも行われるようになってきた。本稿ではそのような新技術を用いた胎児心臓超音波検査方法と実際の症例を提示し紹介したい。

Incidence of congenital morphological abnormalities is 2-5%. Congenital heart disease (CHD) is the most popular disease in congenital morphological anomaly, its incident is about 1%. But, there is anatomical complexity in a heart, and there are a lot of variations in CHD. So, prenatal diagnosis of CHD is not so easy. Since guidelines for fetal echocardiography by the Japanese Society of Pediatric Cardiology and Cardiac Surgery & Disease Workshop fetal heart Japan in 2006 was created, ultrasound screening for fetal heart was done in many clinics not only University Hospitals. Obstetrics physician often uses only B-mode in echo screening of fetal heart. The development of new technology and improved processing ability of ultrasound equipment provide us with new information and lead us to prenatal diagnosis of CHD. In this paper, let me introduce the new technology for fetal echocardiography with clinical cases.

Key Words: Fetal Echocardiography, DSD, eFlow, DDD, Convex CW, STIC

1. はじめに

本邦の周産期管理の特徴は健診回数の多さであろう。また、日々の診療では必ずと言っていいほど超音波検査が施行されており、妊娠中に施行される超音波検査の回数も多いのが特徴でもある。しかしながら、先進諸外国に比べ、先天性形態異常の検出率は決して高いとは言えない実情もある。その理由の1つは超音波検査の教育であり、共通のガイドラインが存

在しないことでもある。現在、日本超音波医学会では、妊娠中に施行すべき超音波検査のガイドラインの作成が進んでおり、その発表は皆が待ち望んでいる。ISUOG(International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology)は2006年にCardiac screening examination of the fetus: guidelines for performing the 'basic' and 'extended

basic' cardiac scan¹⁾を発表し、ほぼ同時期に日本胎児心臓病学会(当時は日本胎児心臓病研究会)・日本小児循環器学会による胎児心エコー検査ガイドライン²⁾が作成されている。このことにより、全国の産科施設では妊娠中に胎児心臓を超音波機器で観察することが広がり始めた。また2010年にはそれまで保険適応のなかった胎児心臓超音波検査が保険収載(施設基準はある)となり、今後ますます広がりを見せると思われる。胎児心エコー検査ガイドラインにおいてlevel 1は産科医が行う検査で、主にBモードを用いた検査である。しかしながら近年の飛躍的な超音波診断装置の性能や機能の向上によってもたらされた新しい検査法の出現により先天性心疾患の出生前診断は大きく発展しつつある。本報では、胎児心エコー検査に有用な機能を概説し、胎児心スクリーニングによって簡便かつ迅速に「普通とは違う」状態を発見し高次医療施設に紹介するためのポイントを述べる。

2. 胎児心臓観察のポイント

胎児心疾患のスクリーニングにおいて最も重要とされるのはBモードによる観察である。Bモードで解剖学的構造の確認を行ったのち、カラードプラ(Flowモード)、ドプラモードを用いた機能検査、STIC (Spatio-Temporal Imaging Correlation)を用いたvolume imageからの画像観察を行うと、さらに有用な情報を得ることができる。STICはoff lineでの作業が可能なのでその場に患者がいなくても既保存のvolume imageを用いて画像を再構築し、任意断面の検査を行うことができる。今後は遠隔診断補助や教育での活躍が大きく期待されている。

以上を整理すると次のとおりである。

- ①Bモードによる形態の観察
- ②カラードプラによる血流の観察
- ③ドプラモードによる流速の観察
- ④STICによるボリュームデータ取得と後解析

以下、それぞれの観察や解析で用いられる超音波診断装置プロサウンド*シリーズの機能を概説する。

2.1 Bモードによる形態の観察

Bモードによる正確で明瞭な胎児心臓の四腔断面像の描出は胎児心臓超音波検査で最も重要なポイントである。どのような状況下でも正確な四腔断面を獲得できるようになれば胎児心臓超音波検査の技術は一定以上の水準に達したと判断してよいと言えるであろう。

正確な胎児四腔断面は、胎児躯幹に対して水平からやや腹側に傾けた断面である。このような断面であれば画面内に描出される左右の肋骨の長さはおおよそ等しくなる。また、椎体から肋骨が切れずに最も長く観察できる断面を得ることで、胎児心臓の長軸にほぼ平行な断面を描出することができる。これらの工夫によって、四腔断面を観察することができる(図1、図2)。

正確な四腔断面を描出すれば、胸腔内での心臓の位置や心臓の軸が正常であるかどうかの判断も容易になる。多くのスクリーナーの写真を見ると、胎児躯幹をイメージせずに胎児

心臓の四腔断面の描出を試みているように感じられることがある。不適切な観察断面は見かけ上の心臓の位置異常、軸異常をもたらすことがあり、実際に心臓の位置異常、軸異常があったとしても正常と異常の区別をすることができない。言いかえれば、胎児に対して正確な断面で画像描出が行われていれば、四腔断面が正常に見えたとしても、心臓の位置や軸だけで正しい診断につながると考えることができる。

胎児心エコー検査ガイドラインでは、three vessel viewやthree vessel trachea viewによるスクリーニング断面による疾患の検出を推奨している。初心者はthree vessel viewやthree vessel trachea viewを教科書どおりに描出することに心を奪われがちだが、three vessel viewやthree vessel trachea viewを描出することがCHDのスクリーニング検査の目的ではない。左右の心房心室と流入血管と流出血管の位置や構造異常がCHDであり、その解剖学的つながりを超音波検査断面で確認するのが本来の検査目的である。three vessel viewやthree vessel trachea viewはその過程における通過点の1つであることを忘れてはならない。three vessel viewやthree vessel trachea viewにこだわらず、全体の血管走行や血管のつながりを観察することが重要である。

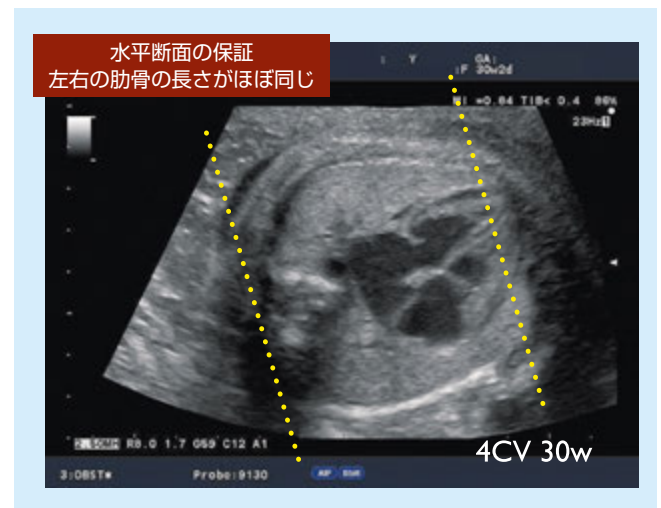


図1：Bモードによる胎児心臓断面像(胎児躯幹に対し水平)



図2：Bモードによる胎児心臓断面像(胎児心臓の長軸にほぼ平行)

まとめると、胎児躯幹に対して水平面から少し腹側に傾けた断面により、正確な四腔断面を描出し胎児心臓のスクリーニングスタート断面を得ることができたら、胎児心臓の長軸断面と垂直方向にプローブを平行移動や回転させ、血管のつながりをそれぞれ確認する。その過程においてthree vessel viewやthree vessel trachea viewを通過点の証拠として保存すればよいのである。将来的に画像保存がさらに進めば、動画像やSTICによる保存が主流になると考えられる。

【DSD(Dynamic Slow-motion Display)】

一般的に胎児心臓は心拍数が速い(140bpm前後)。従来、このような速い動きを詳細に観察するためにはシネメモリ機能を用いて、いったんフリーズした後にトラックボールでメモリ内に保存されている過去の画像を手動操作でコマ送りさせる必要があった。しかし、この方法は実質off line操作であり、胎動に追従することができずフリーズ解除後に関心領域から胎児心臓が外れてしまうという問題が生じていた。DSDはこの問題を解決し、動きの速い胎児心臓をリアルタイムにスロー再生することで、フリーズすることなく胎動に追従させながら観察することが可能になっている。画面構成は2画面表示の左側がリアルタイム、右側がスローモーションからなる。これにより右側のスローモーションで弁の動きなどをより詳細にリアルタイムに観察することが可能である。さらにスローモーションの再生スピードをリアルタイムのスピードの1/2や1/3などと可変することができ、観察したい部位に合わせたスピード調整ができる。後述するFlowやeFlowモードとの併用もでき、血流の観察も同様に行うことができる点でも有用性が高い。

2.2 カラードプラ(Flowモード)による血流の観察

超音波検査は主に形態異常の検出に用いられることが多いが、Flowモードを用いることで生理機能検査が可能となる。一見Bモードでは正常に見えてもFlowモードで血流情報を得ることで弁逆流、VSD(Ventricular Septal Defect)を改めて認知することができる場合がある。スクリーニング検査においてもBモードによる観察だけで終わらず、Flowモードを積極的に用い異常血流の有無を確認する意義は大きい。

【高精細カラー表示：eFlowモード】

Flowモードの1つにeFlowという高精細な血流表示モードがある。通常のFlowモードに比べ、幅広い速度の血流の描出に優れている。加えて、にじみ(本来の血管サイズをはみ出して血流像が観察される現象)が少ないため、肺静脈のように血管が細く、かつ遅い血流に対しても第2分枝の先まで描出できる。さらに血管からはみ出しが少ない特性は速い血流にも効果的である。大動脈のアーチ部分で頭へ向かう3本の分枝(Neck vessel)などもその枝分かれしている様子が1本ずつ明瞭に確認できる。肺静脈や大動脈の観察は、胎児心臓超音波検査において比較的難しい観察項目であるが重要なポイントでもある。eFlowモードは今後もっと積極的に使用されるべき血流表示モードである。

【DDD(Dual Dynamic Display)】

先述のとおり、胎児心臓検査においてはリアルタイムBモード画像の観察がとても重要である。このため、Flowモードで血流情報の観察中であっても、常にBモードで正確なオリエンテーションを維持しておかなければならない。DDDはBモードとFlowモードをリアルタイムに一画面表示できる機能である。構成画面は左側にBモード画像、右側にBモード+Flow(eFlow)モード画像からなる。一画面表示による観察ではBモードとFlowモードを切り替えなければならないが、本機能を用いれば、常にBモードを確認しつつFlowの観察ができるのでオリエンテーションの維持に優れていると言える(図3)。



図3：DDD(Dual Dynamic Display)でeFlowを用いた肺静脈の観察
肺動静脈がにじみなく描出できている。

2.3 ドプラモードによる流速の観察

超音波による生理機能検査のための血流速度計測の手法には、①パルス波を用いたPWドプラ法 ②高速血流測定が可能なCWドプラ法の2つがある。正常な胎児血流速度では150cm/sを超えることはほとんどない。このため高周波プローブによるPWドプラ法での血流速度計測であってもPRFをあげることで対応できる。しかし、異常血流速度をPWドプラ法で計測しようとしても計測限界を超えてしまい評価ができないことが多かった。

【コンベックスCW】

これまではセクタプローブのみ使用可能であったCWドプラを、コンベックスプローブでも使用可能としたものである。一般的にセクタプローブは小児循環器科では保有していることが多いが、産婦人科では使用頻度や予算の面からも保有している施設は少ない。先述のとおり、正常の胎児血流速度計測においてはPWドプラでの血流速度計測でも大きな問題はない。しかし、正常を逸脱した場合こそ、正確な病態把握が重要となる。コンベックスプローブにCWドプラが搭載されたことで、コンベックスプローブの特徴である広視野・高分解能なBモード画像はそのままに、高速血流の速度計測が可

能となった。これによってCHDの診断と生理機能評価に1本のプローブで対応できるようになったと言える。図4、図5に示す症例はEbstein心奇形の三尖弁逆流の血流速度計測である。CWドプラにより245cm/sの三尖弁逆流速度があることがわかり、正確な高速血流速度の診断によって右室圧較差が推定できた一例である。Ebsteinの新生児治療において右心機能評価は非常に重要であり、本症例だけでなく胎児期の胎児心臓検査では具体的な機能評価指標を小児循環器医に提供することによって、出生後の治療戦略に大きく貢献できると考えられる。今後、より多くの場面でこのような有益な情報を得るためにも、より高周波・高画質のコンベックスプローブにCWドプラが装備されることを望む。PWドプラの弱点をカバーでき、診断・評価に有用で強力なデバイスになると思われる。

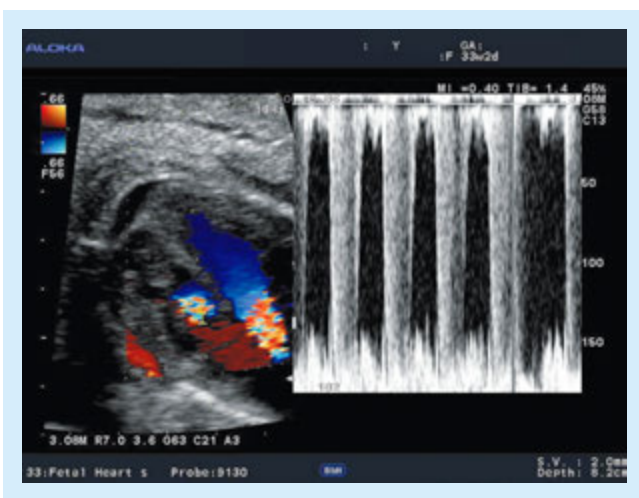


図4：症例Ebstein(PWドプラによる血流速度計測)
速い血流ではPRFを最大にしても計測限界を超えてしまう。

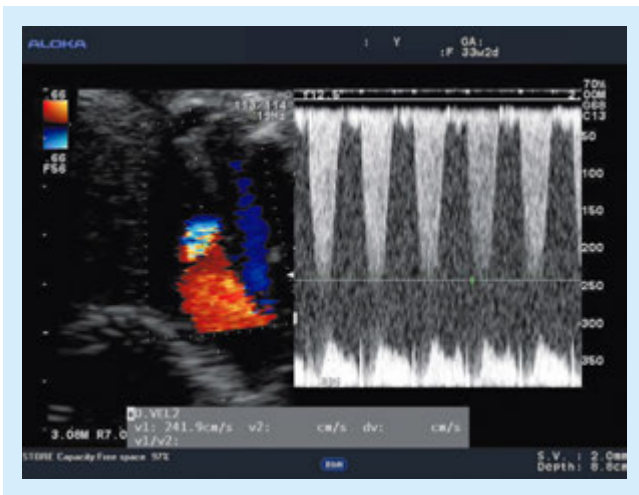


図5：症例Ebstein(CWドプラによる血流速度計測)
速い血流でも計測可能。

2.4 STIC(Spatio-Temporal Imaging Correlation)による ボリュームデータ取得と後解析

複数心拍から再構築して得られる1心拍分のボリュームデータセットを取得しておくことで、検査後の任意断面の観

察を可能としたものである。胎児の向きなどによっては、検査時に直接胎児心臓へのアプローチが難しく、描出そのものを断念せざるをえない場合があるが、STICデータを取得しておくことで後から任意断面の観察が可能となることがある(図6)。この際も明瞭な四腔断面を意識してデータを取得しておくことで、つながり確認を後から行うことが可能である。STICはoff lineの解析であり、後から断面を再構築できることは、教育や遠隔診断に今後大きな期待を寄せられる。

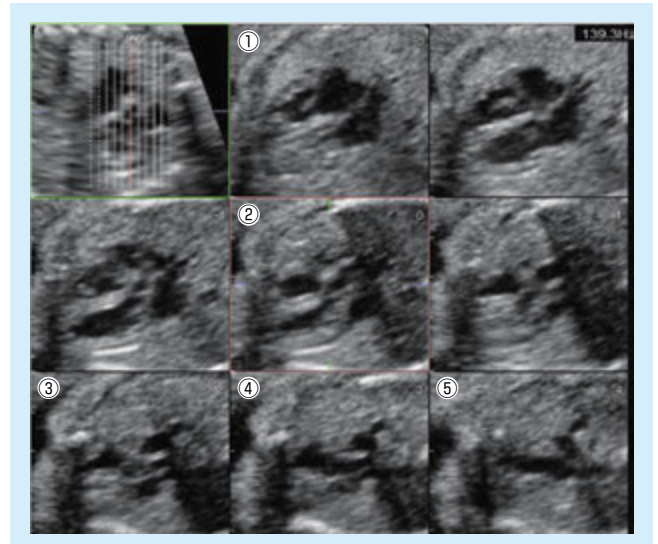


図6：24週のSTICによる胎児心臓のmulti slice
①4cv → ②左流出路 → ③右流出路 → ④3 vessel view →
⑤3 vessel trachea viewが一度に観察できる。

3. まとめ

胎児心臓超音波検査の基本、考え方、各種モードの特性とその利用方法を述べてきた。胎児心臓超音波検査は既に「量」ではなく「質」の時代に入っていると見える。このようなニーズに応えるべくDSD、eFlow、DDD、CW、STIC等を駆使し胎児診断に努めることが、われわれ産科医師に求められつつある。同時に、機器メーカー側には、さらなる高画質・高感度、高速処理、より使い易いユーザーインターフェースの開発を期待したい。

※ PROSOUND/プロサウンドは日立アロカメディカル株式会社の登録商標です。

参考文献

- 1) Cardiac screening examination of the fetus : guidelines for performing the 'basic' and 'extended basic' cardiac scan. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 27 : 107-113, 2006.
- 2) 胎児心エコー検査ガイドライン PEDIATRIC CARDIOLOGY and CARDIAC SURGERY VOL.22, NO.5 : 591-613, 2006.