

低出力化した高速電子走査型超音波診断装置 による切迫流産例の診断

研究第1部

穂垣 正暢・原 量宏
箕浦 茂樹・岡井 崇
三上 醇・森田 良子
石田 珠明

愛育病院

I はじめに

妊娠初期から子宮内の胎芽から胎児への成長過程が時々刻々と追跡できるようになれば、子宮内の胎児発育の観察をはじめとして、切迫流産その他の異常例の早期発見と治療に貢献するところは大きいといえよう。とくにこの種の検査が、母体や胎児に対する負担が最少限に止めることの出来る無侵襲で安全性の高い方法であれば、その診断的な価値は飛躍的に大きくなるといえよう。

今回、われわれは、低出力化したリニア走査型の高速電子走査の超音波診断装置を用いて、妊娠2カ月の切迫流産例の診断を試みたので報告する。

II 装置および対象

1. 高速電子スキャン装置

使用した装置は振動子数64個を、短冊状に並べたもので、常に8個が1ブロックとなって発信と受信を行う構成になっている。リニア走査型診断装置 (SSL-53 型) である。発振周波数は、2.45 MHz でトランスジューサーの長さ (実効視野長) は 8.5 cm である (repetition 2KHz)。

この装置の特徴はいくつかあるが、注意すべき点は、生体に照射される超音波出力が、従来の手動走査型の断層装置に比較して著しく低いことで、振動子から 5 cm 離れた水中での照射出力は、0.125 mW (時間平均値) で従来の断層装置の出力に比して数十分の1に減少させることができた。さらに、本装置を使用することにより検査所要時間を大幅に短縮出来ることを考慮すれば、安全性の点で、従来の手動走査型に比べて大きな利点があるといえてよい。

また、この装置の大きな特徴は、電気的に超音波の発射方向を集束させる電子ビーム法の採用と、微小角セクター法を用いることによって、分解能と画質の向上を図

ったことである。

2. 試験対象

対象は、妊娠第4週から、第7週末までの妊婦 88 例に、のべ 116 回の超音波検査を施行した (第1表)。

第1表 超音波診断例
(Electronic Ultrasound Scanner による)

Weeks		4週	5週	6週	7週
Gestational Sac	+	4 (2)	24 (1)	33 (4)	37 (5)
	-	0 (2)	0 (2)	0 (2)	
Fetus	+		10 (1)	30 (2)	37 (3)
	-	4 (4)	14 (2)	3 (4)	0 (2)
Heart Beat	+		5 (1)	23 (1)	32 (1)
	-	4 (4)	19 (2)	10 (5)	5 (4)
Fetal Movement	+			3 (0)	19 (1)
	-	4 (4)	24 (3)	30 (6)	18 (4)

○88例・延べ116回 () 内流産例

○外妊3・双胎1・胞状奇胎1例を除く

対象中順調な経過をたどった症例は、75例、異常例は計13例で、流産8例、子宮外妊娠3例、双胎1例、胞状奇胎1例であった。

III 試験成績

1. 妊娠初期各種所見の検出率

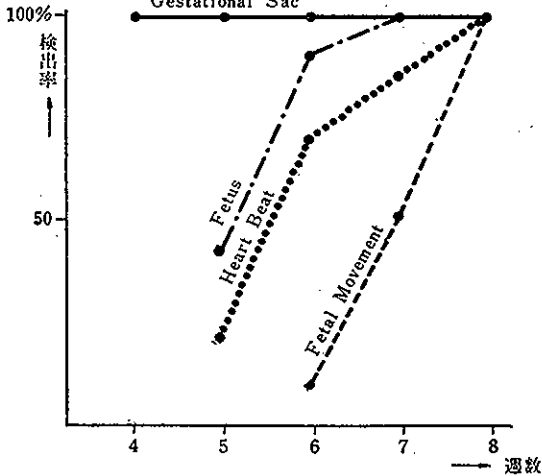
1) 胎嚢の検出とその成長 胎嚢 (gestational sac 以下 G.S. と略) は膀胱充滿下で4週末になると全例確認できた。もっとも早期に検出できたのは4週2日である

(第1表)(第1図)。

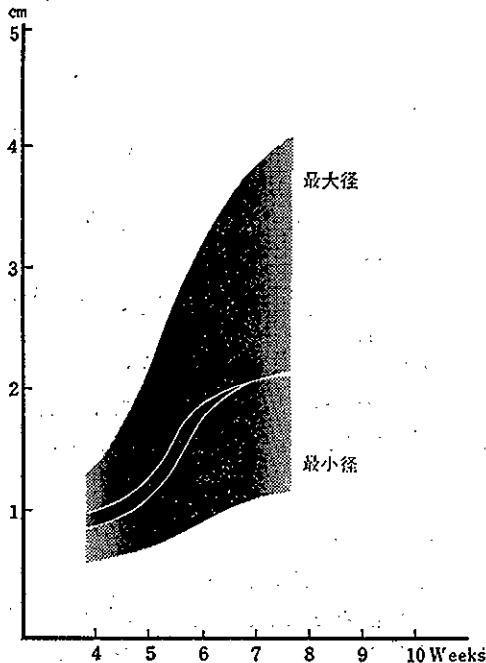
GSの認められない例は初期流産または子宮外妊娠(2例)であった。

GSの経時的な成長をみるために、GSの直径を3方向に計測し小さいものから順に並べると、第2図に示すごとく週数が進むにつれて最小径と最大径の平均値の差

第1図 各所見の検出率 (ultrasound scanner による)



第2図 GSの直径



が大きくなる。また、両者の分散も週数が進むにつれて大きくなる。

これはGSの成長が不均一で、同心円状に育たないために初期（ことに4～5週頃）のほぼ球状から出発しても、次第に楕円形あるいは馬蹄形などのより複雑な形態へと分化するためである(第3図)。したがって、GSの形の変化はむしろ生理的なものであり、従来からいわれているような扁平なGSは、必ずしも流産と結びつかない。

さらに注意すべき点は、GSの形状は絶えずゆるやかに変化していることで、例えば球形から楕円球等への可逆的な変化は検査中にもしばしば認められた。

2) 胎芽心拍動と胎芽像(第1図、第4図) 妊娠第5週に入ると、心拍動および胎芽像が検出されるようになる。もっとも早期に心拍動が証明されたのは5週2日令で、胎芽心の発生を考慮すれば、発生学的な心拍動の開始とほぼ一致して検出されたことになる。

心拍動が、100%検出されるようになるのは7週後半であった。

また、胎芽像については、5週末から検出可能となり胎児心拍動にくらべて、やや検出率が高いものの、100%に達するには7週後半まで待つ必要がある。

このように、検出時期に症例によって差があるのは、

第3図 4週末のGS

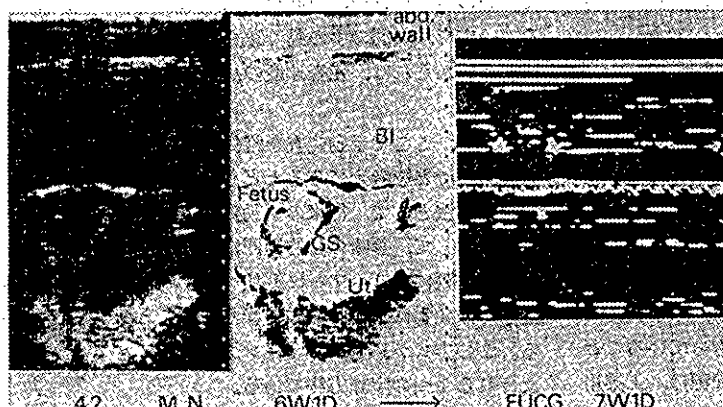


膀胱充満の程度が関係するのは当然であるが、トランスジェューサーと妊娠初期子宮との位置関係によって左右されるといってよい。

一般に後屈位の子宮は検出率が低く、あるいは子宮内でのGSとの相対的位置により左右される。

3) 胎動の検出 胎動の確認は、心拍の検出よりもかなり遅れて、6週末から検出可能であるが、その診断的な意味は、前述の心拍動検出に比べてやや検出率で劣るものの、妊娠8週初めには100%に達する。

第4図 6週1日で電子スキャンにより心拍動が、7週1日で FUCG によっても心拍動が証明された例



第5図 稽留流産 (7W1D)



2. 異常所見の検出と切迫流産の診断

1) 切迫流産の診断基準 異常所見の診断は、第4週ではGSの有無で行うことが出来る。第5週以後は、GSの経時的な成長と形態変化の有無で行うことが出来る。

さらに6週以降は、心拍動の有無が、重要な診断基準となり、胎芽像、胎動などを勘案して診断することができる。

われわれの流産例、8例の内分けは、第1表に示した如く、胎嚢の消失したもの2例、

第2表 切迫流産診断基準

	4W	5W	6W~
GS	(+) 流産2 子宮外妊娠2	GSの成長(+)	心拍動 流産2例(-)
		"の形態変化	
		"(-) 流産2例	

GSの成長および形態変化のないもの2例、残りは胎児心拍が一旦検出されたものの、その後消失したもの2例、胎児心拍が検出されなかったもの2例であった。

これらのことから、妊娠2カ月の切迫流産の診断基準を作成することが可能となった(第2表)。

また、稽留流産の診断にあたっては、一旦、心拍動が検出されてその後消失し、GSの経時的な成長がないことなどに着目すれば、いわゆる blighted ovum の状態になる以前に診断することが可能である。

第5図は、6週1日で心拍動が確認されたにもかかわらず、7週1日の時期で心拍動消失した例である。

2) 双胎の診断 双胎の診断は、理論的には4週から可能であるが、独立した2つのGSと胎芽心拍動が証明出来る6週まで待つのが原則である。第6図は7週3日の双胎例である。

双胎の診断にあたっては、GSの成長が不均一で同心円状には育たないことに注意すべきで、単胎であっても、2つのGSを思わせる像が得

られることがある。

3) 子宮外妊娠の診断 妊娠初期で問題になるものとして、子宮外妊娠があるが、4週からGSの出現がないにもかかわらず、妊娠反応その他が増加することなどを勘案して診断する。一般に特に4~5週において、破裂

第6図 双胎 (独立した2個のGSと心拍動)



前の子宮外妊娠の診断は、電子スキャンによっても困難ではあるが、初期流産あるいは卵巣嚢腫との鑑別に重要な手がかりを与える。

Ⅳ 考 察

1. 手動走査型と高速電子スキャン装置の比較

最近とくに産婦人科領域で高速電子スキャン装置が大きなトピックになっている。その意味で、従来の手動走査型の断層装置を、高速走査型電子スキャンと対比して考えてみるのもあながち無意味ではないと思われる。

まず、基本的に超音波診断技術の特徴は、医学研究でありながら工業技術と密接なつながりをもっていることである。それは現在の超音波断層装置の起源は、工業用の非破壊検査のソーナーであったことが象徴的である。その意味で、この領域の研究が電気や音響の専門家との協力なくして技術の進歩や発展が期待できないことも事実である。しかし、その一面、特殊な専門用語が多用されるために一般の産婦人科に理解困難な点があることも否定出来ない。その意味で、この小節は、歴史的な過程と将来への発展を考慮しながら出来るだけ基礎的な問題から触れてみたい。

超音波診断技術の進歩の方向の1つは、機械的に検出したり、手で動かして調べていたものを電氣的に演算したり、切り換える（スイッチング）技術の進歩がある。たとえば一時代前の卓上計算機が人の力や、モーターの力を利用して歯車を回していた旧型がすたれて、半導体や集積回路を利用して、高速で安定した製品に置き換えられたのに気付く。このように、技術進歩の基本的な方向の1つは、機械的な“動き”を“電氣的な動き”に変換することで、新しい世代の装置が登場してきたといえる。

超音波診断についても、機械的なものから電氣的走査への移行は例外ではない。産科領域では、いわば機械式の手動走査型の超音波断層装置が、すでに十数年にわたって活躍していたといっても過言ではない。この旧世代の装置では超音波振動を放射したり、受信する振動子は1個のみで、これを妊婦の腹壁上を医師が次々と動かしながら放射された超音波が、反射されてかえって来るまでの時間や、反射波の音響強度を調べていた。したがって妊娠子宮の形をみようとするならば、子宮に対応する腹壁を次々と移動させる（手動走査）必要があった。さらに、振動子の位置が妊婦の腹壁上のどの場所（座標）にあるかを機械的に検出する必要がある（機械的な変位の検出）。

しかし、一方でこのような機械的な変位検出方法は、

精度の点で劣るものの、術者の主観的な判断にしたがって走査のスピードや、方向を加減出来るという利点はある。一方で、人間の手の動く速さ以上に早く走査はしない。いいかえれば、走査速度の点で大きな制約があるといえる。

しかし、ここで手動走査を電氣的に、しかも自動的に走査することを考えてみるとどうであろうか。もっとも簡単な方法として、従来の手動走査が振動子1個であったのに対して、診断の目的範囲にあらかじめ多数個の振動子を1列に（リニアに）並べておいて、これらの振動子が、順番に発信と受信を繰り返すことが考えられる。この方式が、電子スキャンあるいはリニア走査型とよばれる1つの実施方法である。

電子スキャン超音波診断装置では、あらかじめ多数並べてある1つの振動子から、次の振動子への切り換えを電氣的に行うことによって、1つの振動子ごとに大体0.5msec以下で行うことができる。振動子の数が64個であれば、30msec以内で、どの振動子も1回づつ超音波の発信と受信を行うことが出来、1秒間に30枚前後（30フレーム）の断層像が得られる。これは、人間が手動で走査する場合に比べて、数百倍の速さになる。このように、機械式あるいは手動式から電子式への走査方向への変更は、多数の断層像を自動的に得られる高速性と、自動化という利点を生む。しかも、このような走査の高速化によって、検査にあたって、手動走査型のような習熟性があまり必要でなくなる。

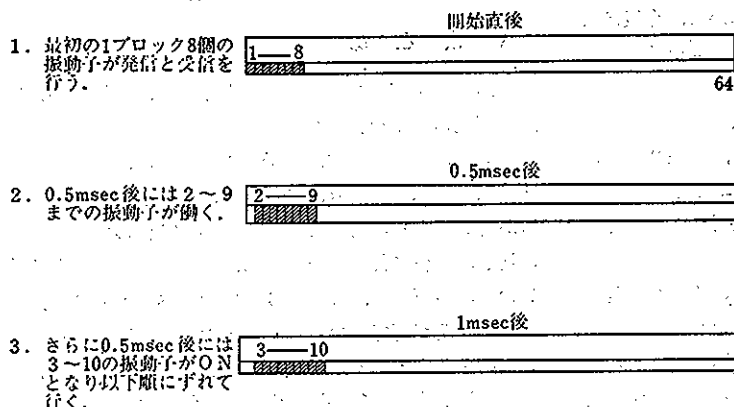
さらにこのような走査の高速化によって、子宮内の胎児心拍動や、母体の血流の変化のような、“動きのあるもの”に対する検出精度が大幅に上ることになる。これは従来の手動式の断層装置をスチール写真をとるカメラにたとえれば新しく登場した高速電子スキャン装置は1秒間に30コマの連続撮影を行う映画であり、胎児の心拍動や、胎動なども、容易に認識出来ることになる。

以上のべたことから明らかなように、胎児心拍動のような規則的な動きのあるものに対して、検出精度がよいのは当然で、早いものでは妊娠5週末から電子スキャ

第3表 産婦人科領域における各種超音波診断装置の特徴

装 置	評価項目	高速性	再現性	習熟性	安全性	情報量	位出誤差
高速電子スキャン装置		◎	◎	◎	○	◎	◎
手動走査型断層装置		○	?	×	?	○	×
ドップラー装置		○	○	○	?	○	?

第7図 電子スキャン診断装置の原理



ン装置を用いれば心拍が確認出来ることになる。この成績は従来のドップラー法や、手動走査断層と、UCG装置の併用による方法に較べて、はるかに早期からの診断が可能である。

また、胎嚢の確認が4週末で全例可能となり、もっとも早いものでは4週2日で確認出来たなどの点で、尿あるいは末梢血によるHCG測定に、早期診断の意味で匹敵するといえよう(第3表)。

2. 電子スキャン超音波診断装置の今後の発展性

以上のべたように、高速電子スキャン装置は、1個の振動子に代えて、多数の幅の狭いものを使用しているために、水平方向の分解能がすぐれていることで、従来の手動走査装置では判別困難であった細部の構造が判定可能になる。

たとえば、妊娠中期になると、眼窩、鼻などの細かい形状、手足の指の動きなども判定可能になるのは当然で、心、腎、肝などが指摘出来るのもこうした分解能の優れているという特徴があるためである。

また、高速電子スキャン装置については、振動子の数を増して、走査を自動化することによって、いくつかの新しい技術を採用することが可能になった。こうした技術の例として、電子ビーム法と、微小角セクター法とをりあげてみたい。

3. 電子ビーム集束法と微小角セクター法

電子スキャン超音波装置では、あらかじめ多数ならべてある振動子は、たえず8個の振動子が1ブロックになって発信と受信を繰り返している(第7図)。

第7図に示したように、64個の振動子に1～64までの番号をつけ、ある時点で最初の8振動子(No. 1～8)が発信と受信を行うとする。この0.5msec後には次の2～9までの振動子が働くことになり、以下0.5msec毎に1つの振動子がずれて行くが、どの時刻をとってみ

ても、たえず8個の振動子のみがONになっていることになる。

いま、この8個の振動子が働いているときに、両端の(たとえば1と8)はもつと早く発振させ、中央によるほど少しずつ発振する時刻を遅らせることを考える。発射された超音波振動は、図に示すように、発射方向に対して、凹面状になって進行します。これは、実効的には焦点をもった超音波振動が発射されたことになります。

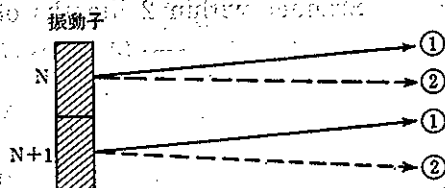
この方法が電子ビーム集束法と呼ばれるもので、超音波の発射時間のずれ方を変化することによって、実効的な焦点をかえることができる(第8図)。

第8図 電子ビーム集束法



8個1組の振動子のうち両端(1, 8)のものが最初に発信され、以下順に(2, 7)(3, 6)……と遅らせて作動させる。発生した超音波は実効的球面をなして進行することになる。その結果一定の焦点距離をもつ。

第9図 微小角セクター法



振動子から発射される超音波信号と微小角だけずらすことによって、実効的に振動子数を増加させたのと同じことになり、分解能が向上する。

第2の方法は、微小角セクター法と呼ばれるもので、いま仮に動作している振動子Nがあるとします。第①段階では振動面に対して微小角だけずれた方向に信号を送ります。次には、さきとは逆方向にずれた②方向に微小角だけずらして信号を出します。この場合にとりあつた振動子からの信号が互いに重ならないようにすれば、実効的に、振動子の数を約2倍にしたことになり、分解能も約2倍になって画質が向上します(第9図)。

このような新しい技術は、振動子の数を増し、走査を自動化したことの結果であることはたしかで、今後はこの種の新しい応用技術の進歩が、まだまだ期待できるといえる。

4. 電子スキャン超音波装置の問題点

以上のべたことから明らかなように、妊娠2カ月以内の切迫流産の診断に用いる限り、従来の手動走査型に比較して、この装置は多くのすぐれた長所があることは事実である。

しかし、現在の装置についてみる限りいくつかの問題があることも事実で、技術的にみると安定して動作する特性のそろった製品にするのが非常に困難な点がある。

とくに、振動子を製造する工程のほとんどが手作業で細かい仕事は何行程もあるために、不良品が出る確率が非常に高い。また、同一機種でも特性のバラツキがでる、経時的な特性の変化などといった製造技術上の問題点がある。

また、設計上の問題についてもいくつかの未解決な問題があることも事実である。しかし、基本的には、従来の手動走査型に対して、新しい世代をしめる電子スキャン装置であることは事実である。その意味で、比較的近い時点で、いくつかの技術的進歩が期待出来、操作性、安全性などの面でよりすぐれた装置の登場が確定的であ

るといえる。

V ま と め

高速走査型電子スキャン装置を用いて、妊娠初期の切迫流産例の診断を行った。

本装置は、低出力化、電子ビーム集束法、微小角セクターなどの採用により、高解像度、高分解能が得られるのが特徴である。対象として、のべ116例の妊娠2カ月の切迫流産例に使用したところ、妊娠4週末には全例胎嚢の検出が可能で、5週、6週におよべば胎嚢の成長、心拍の証明が可能となる。心拍が100%証明されるのは妊娠第7週末である。これらの所見をもとに、妊娠2カ月の切迫流産の診断基準を作成し、従来の方法に比して、飛躍的に早期かつ確かな診断が可能となった。

以上のことから、妊娠初期から胎嚢像、心拍動などを観察することが出来るリアルタイム走査型電子スキャン診断装置は、産科領域に、大きなインパクトを与えるとともに、装置の改良、適用範囲の拡大など将来の発展性も大きい装置といっても過言ではない。

参考文献

- 1) 箕浦茂樹, 他: 第30回日超医論文集, P85, 1976.
- 2) 原量宏, 他: 産婦実録, 26; 69, 1977.

Clinical Evaluation of Ultrasonogram with Real-time Electronic Scanner within 2 Months of Pregnancy

— Diagnoses of Threatened Abortion —

Masanobu, Hogaki Yoshiko, Morita Jyun, Mikami
and Tamaaki, Ishida

(Department of Obst. & Gyne, AIIKU Hospital, Tokyo)

Clinical estimation ultrasonograph with the aid of real-time high-speed electronic scanner was performed on 88 cases of threatened abortion within two months of pregnancy. At the gestational age of 4 weeks, gestational sacs of all cases were clearly detected. With the progress of pregnancy, gestational sac gradually develops its shape from round to oval, which might be explained by the unproportional growth rate in different direction. Detection of fetal heart beat was enabled at the end of 5th week, reaching 100% at 7th week of pregnancy. Early diagnostic criterion of threatend abortion was established successfully based on 8 cases of abortion 3 cases of ectopic pregnancy, 1 case of hydatidiform mole, as well as 1 case of twin pregnancy.