

「心エコー法の創始時代」

国立循環器病センター 仁村 泰治

●はじめに

昭和20年(1945)代には戦争中に研究、開発された科学技術が平和利用の方に向けられるという世界的な趨勢があった。このような事情を背景として、昭和25年(1950)前後から国内国外で超音波診断の研究が始められている。これらは主として頭蓋内診断や乳腺診断であり、かつ組織診断を目指すものであった。これに対し、心臓には拍動するという条件があるので、そのため心臓超音波は方法、技術やその後の歩みについて他臓器のそれらとは多少様子を異にしている。

記録の上で心臓超音波の最初の研究はW.D.Keidelのそれで



図1: Edler(右)とHertz(左)

1977年撮影のもの。(Medical Diagnostic Ultrasound: A Retrospective on Its 40th Anniversary edited by B.B.Goldberg and B.A.Kimmelman, p17, Eastman Kodak Company, 1988より引用)

(1950, 昭和25), 彼は超音波に胸郭を透過させ、その際の吸収

を利用して心臓容積の変動を記録しようとしたが、良い結果は得られなかった。同じころに超音波を心臓に用いた試みは他にも1, 2あるが、軌道に乗ったのはその後のI.Edler and C.HertzによるMモード心エコー法の研究からである。本稿ではそのあとを辿るとともに、その意義、特色、またそれから与えられる示唆などを探ってみたい。

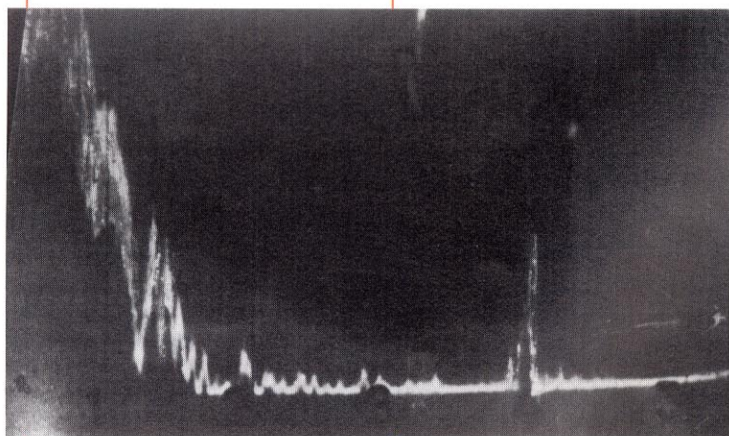
●超音波パルス反射法の心臓診断への導入

1950年(昭和25)代は心臓カテーテル法が広く心臓診断に取り入れられた時期であるが、I.Edlerはカテーテル法を行うとともに、他方何か被験者にとって苦痛の少ない方法はないかと考え、C.Hertz(物理工学者)に相談した。その結果、超音波の応用を奨められた¹⁾(図1)。それで1953年(昭和28)からAモードの超音波パルス反射法を用いて研究を始めた。

Aモードはすでに魚群探知機や金属探傷法などでよく知られており、医学領域でも前述のような診断に試みられていたが、心臓に

図2: EdlerらのAモードによる最初の心臓エコー

1953年5月記録。図上の左の棘波は送信パルス、右のそれは左室後壁とのことである(Dr.Edler寄贈)。現在の知識からみれば、左室後壁の厚みが十分表現されていないのではないと思われる。研究の初期であり、超音波出力、感度などの記録条件がまだ十分に定まっていなかったためかもしれない。



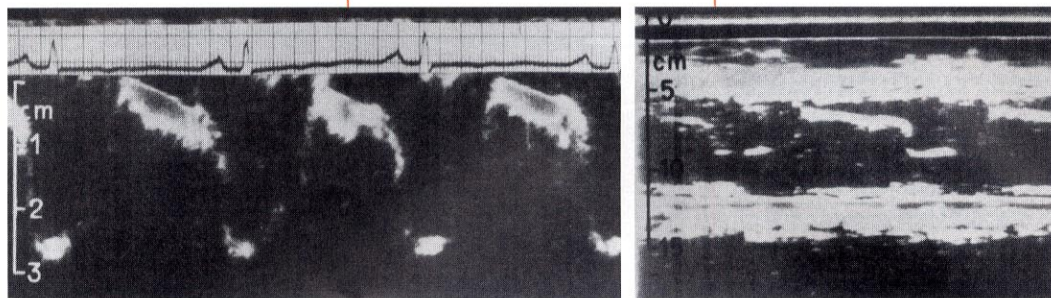


図3：僧帽弁狭窄患者の第3肋間胸骨左縁付近で記録された矩形波エコー

当時は「左心耳前壁」と解釈され、後日現在のごとくに「僧帽弁前尖」と修正された(Dr.Edler寄贈)。当時はこのエコーに相当する正常像はよくわからなかったことも(本文参照)。上の矩形波が「左心耳前壁」と解釈されたことと関係があるかもしれない。

は初めてである。したがって、M側(医系)にとっては「どのようにすれば、どのような医学情報が、どのような形で取り出され、どのような意義があるか」などについて、模索から始めなければならないわけで、全くの萌芽研究といえよう。すなわち、「0から有を創出、創始する」というところがこの研究のoriginalityの在り場所である。しかし、一般にこのようなmodalityに関係した研究では、まずE側(理工系)から何か可能性のある材料の提案がないとむずかしいので(もちろん例外はある)、MとEとのpartnershipが特徴の一つである。事実、この時代の超音波診断の研究では何らかの程度にMとEとの共同研究であることが多い。

さて、前胸壁からのAモード検査では位置的にみて心臓後壁と思われるエコーは比較的容易に得られたとのことである¹⁾(図2)。しかし、その後Aモードではそれ以外のエコーの反射源を判断することがむずかしかったので、エコーそれぞれの動きをその判断の参考にする目的でMモードを試みることになった^{2), 3)}。その後の推移で、結果的にはMモードの方が主役となったのである。

ここで気づくことは、心エコー法自体の研究において、Mモードの導入は最初から計画されたものではなく、研究経過の中から発想され、かつ、その効用の認識も次第に深められてきたのである。一般にその後の超音波診断の発展の中でもこのように行動の中からの着眼、発想、問題意識といったものが大きい役割を演じている場合が少なくない。関係従事者は常にこのような現場感覚を磨くことも必要であろう。

●「試行錯誤」と僧帽弁前尖エコーの確立

Mモードを用いると、僧帽弁狭窄症例では、第3肋間胸骨左縁付近からのアプローチで、常に矩形波を示すエコーのあることがまず注目された²⁾(図3)。また、その反射源は既存の解剖学や生理学の知識を参照して「左心耳前壁」と考えられた。健常者における同一反射源によると思われるエコーは当初にはよくわからず、ただ断片的に記録されたとだけ報告されている²⁾。病的所見がよくわかっていのに、正常所見がまだよくわからなかったという辺りに、研究の進み方が、先に述べたごとく、

模索的であったことがよく窺われる。しかし次の報告では当該エコーの正常像は1心周期2峰性であると述べられている⁴⁾(図4)。

いずれにしても上記の「左心耳前壁エコー」の僧帽弁狭窄における特異性はみる者に強い印象を与え、すでに昭和30年(1955)代半ばにはEdler⁴⁾らをはじめ、Effert⁵⁾、Gässler⁶⁾、Schmitt and Braun⁷⁾の臨床成績が集積され、高い診断価値が認められている。また、すでにこの時期に左室後壁、左房粘液腫、心膜液貯留などの所見も知られている⁵⁾。

ところが、その後経験が重なるとともに上述のいわゆる「左心耳前壁」と思われたものは実は「僧帽弁前尖」ではなかろうか、という考えが現れてきた。またその頃すでに筆者らが僧帽弁ドブラを明らかにしていたこともあり⁸⁾(次号)、Edlerらによりエコー源の再検討が行われた^{9, 10)}。その結果、1961年(昭和36)、これまで「左心耳前壁エコー」と呼ばれていたものは実は「僧帽弁前尖エコー」であると修正された(再検討の過程については別の機会に詳述した¹¹⁾)。周知のように、僧帽弁前尖エコーはその後の心エコ

ー検査では「かなめ」的なエコーであり、それが確立されたことはMモード心エコー法の心臓検査法としての基礎が一応固まったということであろう¹²⁾。何はともあれ、これまでX線ではむずかしかった軟部組織間の判別が心エコーによって可能になり、心臓構造物そのものが*in situ*の自然の状態で観察されるようになったことに画期的な意義がある。先にも述べたように「0から有が創出された」といえよう。

ここに至るまでに大きな試行錯誤のあったこともよく考えておく必要がある。超音波検査は非侵襲的という長所を有するが、その反面、そのエコー源を生体内で演繹のないし理論的に確定することは必ずしも常に容易とはいえず、また、実験にも限界があつて、帰納的な推定にとどまらねばならない場合も少なくない。上にみた試行錯誤はまさにこのようなむずかしさが現れたものといえよう。一般にこのようなエコー源判定も含め、超音波検査の新技术についてその医学的意義を十分に引き出すには多面的な検討や経験の蓄積が必要であろう。Mモード心エコー法はこの段階に8年を要したのである。ちなみに最近課題の新技术についてこの点を見ると、例えばカラー・ドブラ法の中のpower modeの適当な用途が発見されるまでには約10年経過しており、また、harmonic imagingの価値は目下なお検討の俎上にあるといえよう。

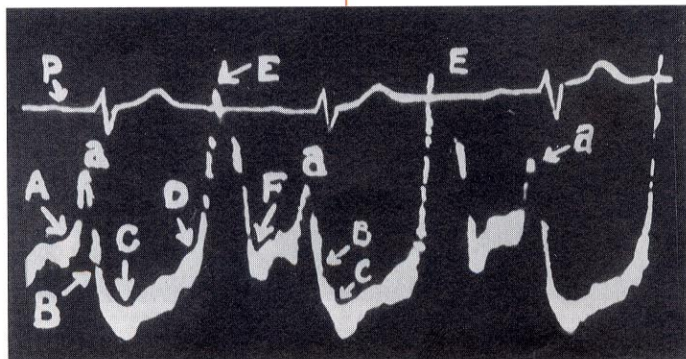


図4：図3の「左心耳前壁エコー」に相当する正常エコー（文献4）より引用）

もちろんこれも現在の解釈では僧帽弁前尖である。初期にこのエコーがよくわからなかったのは多分、矩形波エコー、すなわち狭窄僧帽弁に比して正常僧帽弁のエコー強度ははるかに弱く、当時の装置調整では認識できなかったのではないかと考えられる。

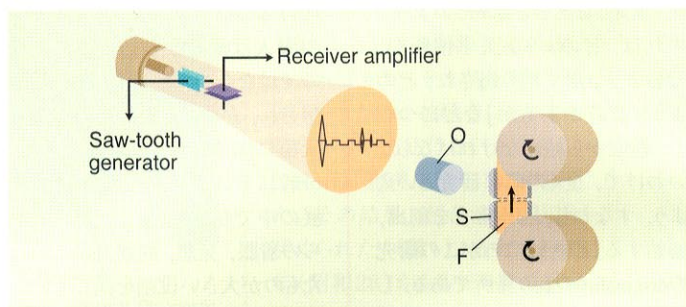


図5：Edlerらの初期のMモード装置の略図

ブラウン管上のAモードにおいて、掃引線上的エコーの動き（図上で左右）をスリットを通し、走る印画紙（下→上）に連続的に曲線として記録する（文献2）より引用、一部改変ならびに着色）。この形式の装置では、観察中にビーム方向を変えて心臓構造を追ひ、その際のエコーの変遷を観察することは事実上むずかしい。

●心臓超音波のルーチン 第I世代へ

Mモード心エコー法の追試、展開は比較的早くから始められている¹³⁾。これには、前述のEffertらは別にして、永山ら¹⁴⁾ 1962；左室壁）、Joynerら¹⁵⁾（1963；僧帽弁）、仁村ら¹⁶⁾（1963；ドブラとの関係）、

常本ら¹⁶⁾（1964；僧帽弁）、徐 智章¹⁷⁾（Chih-chang, Hsü；1965；僧帽弁）、Feigenbaumら¹⁸⁾（1965；心膜液）などがある。しかし、この時代にはMモード心エコー法はまだ一般化せず、それが広く普及し始めたのは、昭和40年（1965）以後、現在のようなブラウン管面のMモード画像自体をモニターとして心

【注】現在のMモード心エコー法は当初はUltra-schallkardiographie¹⁹⁾（ultrasoundcardiography²⁰⁾と呼ばれ、略号としてUCGが用いられていた。その後、Chapelle²⁴⁾がechocardiographie（echocardiography）なる言葉を用い、特に昭和40年代に米国でまず広く普及するに及んで、echocardiographyが一般的となった。また、わが国では、超音波心臓動態図²⁵⁾という言葉もあったが、昭和40年代の半ばから心エコー法が普通になった。その後、現在の二次元心エコー法が発達するに至り、従来の心エコー法はMモード心エコー法と呼ばれるようになった。また、心エコー法なる言葉はMモードおよび二次元、さらにドブラ機能併用をも含め、この種の超音波法を全般的に指すものとして用いられる傾向にある。

臓検索をすることができる型の装置が市販になってからである。

当初のMモード装置はブラウン管の掃引線上でのエコー棘波の動きをスリットを通して、流れる印画紙の上に連続的に撮影する形式であり、モニターにもAモードが用いられていた²⁾ (図5)。しかし、これではやはり僧帽前尖とか、左室後壁など、比較的孤立した対象以外を取り扱うことは実際上むずかしかった。Mモード自体をモニターとすると、単に操作が便利になるだけでなく、心臓構造物を連続的に追って広い範囲を探索することができる。このことも実際に施行してみてもはじめてよく理解できる。ただ基本の原理だけでな

く、記録装置、モニターなどにもよく状況に適合したものを選ぶことが大切である。いずれにしてもMモード心エコー法は実用として一応完成の域に達した。

このようにして、同法は上記の型の装置が早く一般化して米国、特にその Feigenbaum, Gramiakらをはじめとして、急速に世界に普及し、その後約10年間、心臓超音波としてはルーチン第1世代となった。

●むすびに代えて

1953年(昭和28)心エコー法の試みが始まってから一応の完成をみた1965年(昭和40)ごろまでのおよそ10年強にはただMモード法

のみならずドブラ法の研究も始まっている(次号)。また、わが国では尾本らの静脈内ゾンデ法¹⁹⁾、田中、菊池ら²⁰⁾の心拍同期心臓断層法なども試みられており、外国ではWildら²¹⁾やOlofssonら²²⁾の心臓断層法、Jacobs²³⁾らの超音波カメラなど、その他にも多彩な研究が企てられている。この時期はまさに心臓超音波の萌芽期、黎明期であり、まず方法、装置そのものを創る時代であった。それに対し、およそ昭和40年以後の約10年はまず完成したMモード法を主要な手段として医学的な新知識が追究された時代である。

●文献

- 1) Edler I: Personal communication.
- 2) Edler I, Hertz CH: The use of ultrasonic reflectoscope for the continuous recording of the movements of heart walls. Kungl Fysiogr Sällsk i Lund Förhandl 1954;24:1-19
- 3) Hertz CH: Ultrasonic engineering in heart diagnosis. Am J Cardiol 1967;19:6-17
- 4) Edler I, Gustafson A: Ultrasonic cardiogram in mitral stenosis: Preliminary communication. Acta Med Scandinav 1957;159:85-90
- 5) Effert S: Der derzeitige Stand der Ultraschallkardiographie. Arch Kreisl-Forsch 1959;30:213-268
- 6) Gässler R, Samler H: Zur Beurteilung des Ultraschallkardiogramms bei Mitralstenosen. Z Kreisl- Forsch 1958;47:291-297
- 7) Schmitt von W, Braun H: Mitteilung der mittels Ultraschall-kardiographie gewonnenen Ergebnisse bei Mitralvillen und Herzgesunden. Z Kreisl-Forsch 1960;49:214-222
- 8) Edler I: The use of ultrasound as a diagnostic tool. Acta Med Scandinav 1961;170 (Suppl):17-22
- 9) Edler I, Gustafson A, Karlefors T, Christensson B: Mitral and aortic valve movements recorded by an ultrasonic echo method: An experimental study. Acta Med Scandinav 1961;170 (Suppl):68-82
- 10) Edler I: Atrioventricular valve motility in the living human heart recorded by ultrasound. Acta Med Scandinav 1961;170 (Suppl):85-123
- 11) Nimura Y: Heart valves and cardiac ultrasound: Historical Perspectives. J Cardiography 1998;31 (Suppl 1):3-18
- 12) Gustafson A: Ultrasonocardiography in mitral stenosis with particular reference to the relationship to hemodynamic and surgical findings. Acta Med Scandinav 1966;461 (Suppl):1-137
- 13) 永山徳郎、早川国男、河野 康、中村末男: 超音波による心臓動態図。鹿大医誌 1962;14:242-250
- 14) Joyner CR, Reid JM, Bond JP: Reflected ultrasound in the assessment of mitral valve disease. Circulation 1963;27:503-511
- 15) 仁村泰治: 超音波検査法 その心臓への適用。日内誌 1963;52:619-625
- 16) 堂本 実、尾本良三、広瀬益雄、都築正和、須磨幸蔵、浅野献一、三枝正裕、渥美和彦: 日本超音波医学研究会講演論文集 1964;6:19-20
- 17) Hsü CC: Ultrasonocardiography in the diagnosis of mitral stenosis. Chin Med J (Peking) 1965;84:475-481
- 18) Feigenbaum H, Waldhausen JA, Hyde LP: Ultrasound diagnosis of pericardial effusion. JAMA 1965;191:711-714
- 19) 尾本良三、渥美和彦、堀 原一、須磨幸蔵、豊田忠之、桜井靖久、室井龍夫、藤森義蔵、杉浦光雄、三枝正裕、内山明彦、内田六郎: 超音波静脈内ゾンデ法 超音波医学研究会演題抄録 1962;2:8
- 20) 海老名敏明、菊池喜充、田中元直、香坂茂美、内田六郎: 心臓の超音波断層写真法 日本超音波医学研究会講演論文集 1964;5:49-50
- 21) Wild JJ, Crawford HD, Reid JM: Am Heart J Visualization of the excised heart by means of reflected ultrasound or echography. Am Heart J 1957;59:903-906
- 22) Olofsson S: An ultrasonic optical mirror system. Acustica 1963;13:361-367
- 23) Jacobs JE, Berger H, Collis WJ: An investigation of the limitations to the maximum attainable sensitivity in acoustical image converters. IEEE Trans of Ultras Engin 1963;Sept:83-88
- 24) Chapelle M, Mensch B: Etude des variations du diametre ventriculaire gauche chez l'Homme par echocardiographie transthoracique. Arch Mal Couer Vess 1991;62:1505-1517