

総	説
---	---

## 超音波法による心臓病診断の最近の進歩

松尾裕英\* 千田彰一\* 安井 潔\*\*

森田久樹\* 水重克文\*

### はじめに

超音波診断法は、今日各種領域において日常検査法として広範に用いられている。循環器領域においては、心電図、X線、RIなどの検査とともにルーチン検査のひとつとして普及してきている。それは、かつて一部の熟練者によってのみ心エコー図記録が可能であったのが、機器の改良、リアルタイム断層心エコー法などの新しい方法の登場により比較的容易に心エコー像を描出して観測できるようになったことによる。従来から、かかる超音波分野の研究発表の場のひとつとして日本超音波医学会があるが、1981年11月第39回研究発表会を通覧しても全演題の約三分の一の93の演題が循環器に関連したテーマで、しかも数多くの症例を統計的に検討した内容のものがしだいに多くなってきつつあり、また内科ばかりでなく小児科や外科側からの検討報告も増加してきている。5年前の第30回発表会の際には、各種心疾患の比較的少数例についてのMモード心エコー図(UCG)所見を検討し、その特徴抽出あるいは血管造影法との対比などが主たる内容であったことを思えば、心エコー法が方法自体の工学的進歩とともに、臨床適用の範囲・精度が拡大した様子が知られるであろう。

本稿では、循環器領域の超音波診断の現況を概観して、弁膜症および虚血性心疾患に対する最近の話題にふれるとともに、若干の展望を述べてみたい。

### 1. 最近の循環器超音波診断の動向

工学的には、機械走査型または電子走査型のリアルタイム断層心エコー法が、ことに本邦では後者が急速に発展をとげ、さらに探触子の小型化、画像の良質化がしだいに図られるなどの種々の改良が加えられた。またドプラー法との複合化が進んできた。そのうえ、同時二断面断層法の考案や、立体的解析の試み、あるいは内腔の容積算出のための計測のシステムの一体化なども報告されている。

一方、臨床的には、心血管系の形態的病変の診断は血管造影法の施行をできるだけ少なくすることを目標として、一部の疾患ではしだいにこれに近づきつつある。具体的には多くの先天性心疾患が本法により、正確に診断可能となり、手術成績の向上に寄与している。僧帽弁狭窄症においては後述するごとく、狭窄した僧帽弁口面積が直接計測でき、病変範囲の決定とあわせて、重症度が判定され、心カテーテルを省略して手術を施行するほどになっている。また、肥大型心筋症は心エコー図によって発見され鑑別され、そして病型まで決定され、その診断結果は直接治療の指針として大いに有用である<sup>1)</sup>。一方、冠動脈を描出すること<sup>2)</sup>は必ずしも容易でなく、冠動脈造影術を不要とすることはいまだ困難な課題であるといえよう。ただ、川崎病における冠動脈瘤の検出(図1)および経過追跡<sup>3)</sup>には本法の有用性が知られ、広く用いられている。

\* 香川医科大学第二内科

\*\* 大阪大学医学部第一内科

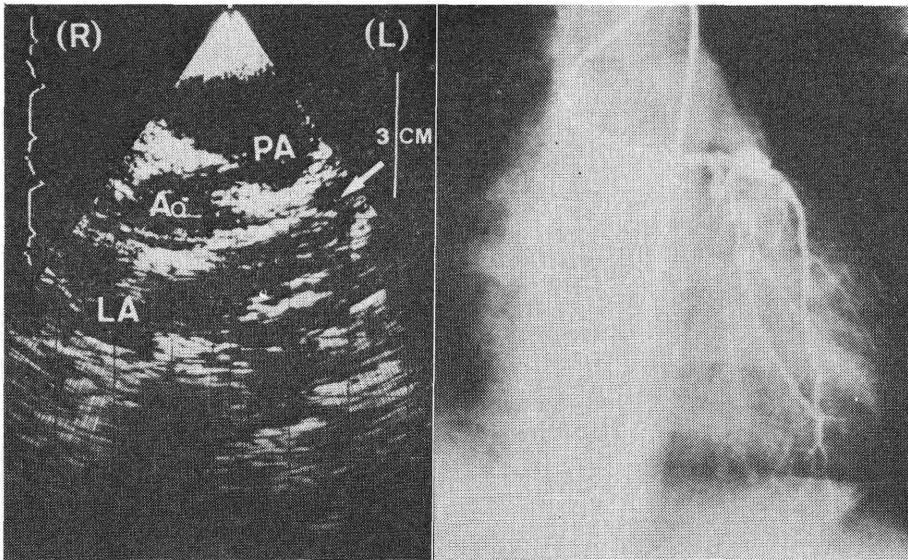


図 1. 川崎病における冠動脈瘤の超音波像

左冠動脈前下行枝分枝分枝部の冠動脈瘤(矢印)が検出された。その存在場所や大きさが右の冠動脈造影所見とよく一致している。

AO: 大動脈 PA: 肺動脈 LA: 左房

ところで、心エコー図では逆流性弁膜疾患は必ずしも十分に検出できないとされてきた。これに対し、最近コントラスト心エコー法およびパルスドプラー法を用いることが多くなった。前者により三尖弁閉鎖不全<sup>4)</sup>、後者では右心系のみならず僧帽弁閉鎖不全<sup>5)</sup>などの診断も逆流を直接的に検出できることから確実さが増した。このように、超音波法は心血管病変の大半の診断に、また、各種病変の病態生理解明に多大の貢献をなしている。

## 2. 弁膜疾患への適用

Edler<sup>6)</sup>がMモード法を用いて僧帽弁狭窄症(MS)の診断を報告してから既に約25年を経過し、1970年代はMモード法に断層法が加わって心エコー図による弁膜症の非観血的診断が全盛をきわめたといえる。MSにおける心エコー図の診断的意義は大きく、手術手技選択に関する情報が詳細であるところから内科のみならず外科側にとっても画期的な検査法といえよう。心エコー図によりえられる知見は、僧帽弁の動き、ドーム形成および肥厚、石灰化や線維化など弁変性の有無とその程度、前後尖接合のずれの程度、弁口断面積、弁輪拡大、交連癒合の部位とその程度および弁下部構造の病変の程度、さらに左室機能などである。僧

帽弁口面積計測にさいしては、真の弁口を的確に描出する必要がある。これには、心短軸断面図にて走査断面内に弁口が含まれるよう、弁腹レベルから腱索レベルまで断面を上下に走査して検出する(図2)。このさい注意すべきことは、短軸断面レベルのわずかな違いで ballooning (dome) 形成のため前尖弁腹を前尖先端と誤り実際より大きな弁口(偽性僧帽弁口)で計測を行ってしまうことで、これにより弁口を過大評価してしまう。Henry<sup>7)</sup>は、心長軸方向での僧帽弁前尖 ballooning を“bent-knee-configuration”と呼び、心短軸方向で上方からのビーム投入が“false orifice”を作成することを指摘している。また、僧帽弁口計測のさいの弁口エコートレースの方法として、Henry<sup>7)</sup>や Nichol<sup>8)</sup>は弁口の内縁をトレースしていると思われるが、著者ら<sup>9)</sup>は、弁尖の器質的変化による肥厚や石灰化のためいわゆるエコーの裾引き現象が生じていることが想定されることから、前尖エコーの中央部から後尖エコーの内縁をとる方法を提唱し、この方が手術時実測値とよく一致したことを報告した。また、小沢ら<sup>10)</sup>は僧帽弁エコーの輝度によって二つの方法を用いた。つまり弁エコーの輝度が心膜より低い場合には内縁をとり、高い場合は裾引きを考慮

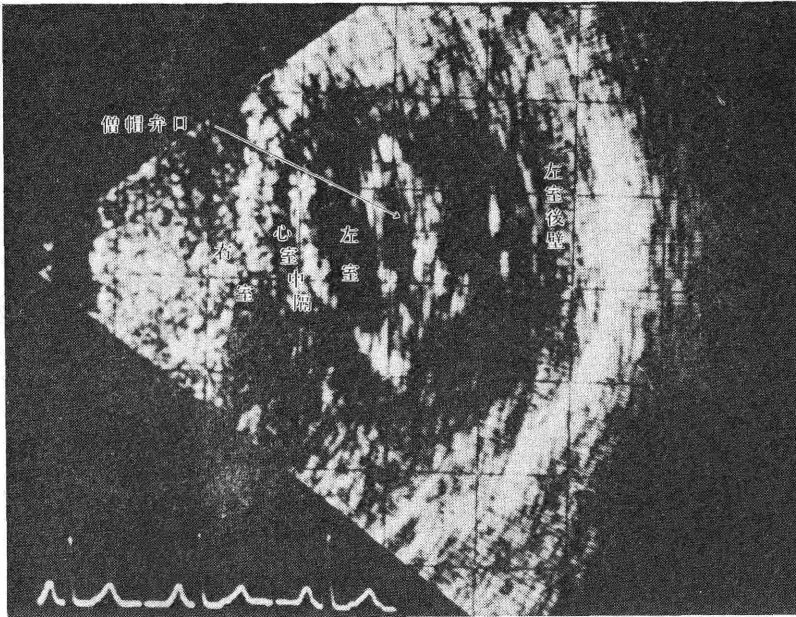


図 2. 僧帽弁狭窄症の左室短軸断層にて描出された狭窄弁口<sup>9)</sup>

して内縁より前後尖幅の $\frac{1}{4}$ 外側でトレースする方法で、これによる弁口面積と術中実測値とは術前で  $r = 0.81$  の相関を認めたといい、いずれにしても、rough zone の硬化の程度が軽い例ではあまり問題はないが、強い硬化や石灰化が弁口面に存在するような例では弁口エコーのトレースに問題が残されている。

僧帽弁病変の評価は、最大振幅の計測や、ballooning の形状の指標化などによりなされるときにも、弁病変のエコー輝度の強さを心膜エコーのそれと比較するなどにより石灰化の判定が行われる。交連部や rough zone に石灰化があると、手術術式が変わってくるので、その判定は注意を要する項目のひとつである。なお、弁下部病変の程度は Sellors 分類など重症度と直接関連するが、断層心エコー図では、これら弁下部の腱索や乳頭筋をよく描出しうる。長軸断層図にて収縮期の弁輪径、あるいは弁輪径に対する弁尖の比率などの指標が導出されるほか、長軸断面を中央から前乳頭筋側、後乳頭筋側に寄せて観測することによりそれぞれの交連部、腱索、乳頭筋の病変が分離、検出される。また、短軸断面を弁口、腱索、乳頭筋の各レベルで順次描出することにより、これらの病変の程度と拡がりの診断が可能となる。一般に健常者では、弁尖の rough zone に連なる一次

腱索と clear zone の周辺から弁輪付近まで広く支持する二次腱索との区別がある程度可能であるが、MS では多く一塊の柱状エコーとして描出され、病変の進行に伴い腱索エコーが肥厚短縮して塊状となり輝度が強度となる。こうした腱索・乳頭筋病変が高度になるにつれ、僧帽弁口は前方に偏位してくる。

断層心エコー図からえられる MS の解剖学的変化に関する所見は造影法よりえられる所見以上の情報を有している。それゆえ、心カテーテル法でしかえられない房室間圧較差が非侵襲的に求められれば、MS についての必要な情報はほとんど満たされると考えられる。これに対し、ドプラー法からえた MS の急速流入期血流速はピークから直線的に減速するパターンで(図 3)、浅生<sup>11)</sup>は、その左室流入路血流動態が弁口狭窄により生ずる拡張期左房-左室圧較差を反映していることに着目し、パルスドプラー法による狭窄僧帽弁口血流速の計測から求めた急速流入血流速半減時間が圧較差推定の良い指標であることを示した。

逆流性弁膜疾患の診断は、逆流性雑音の聴取と確認のための心血管造影によってなされている。これに対し、静脈注射と同じ程度の軽い侵襲で情報がえられるコントラスト心エコー法が急速な普及をみた。これは生理的食塩水、インドシアニン

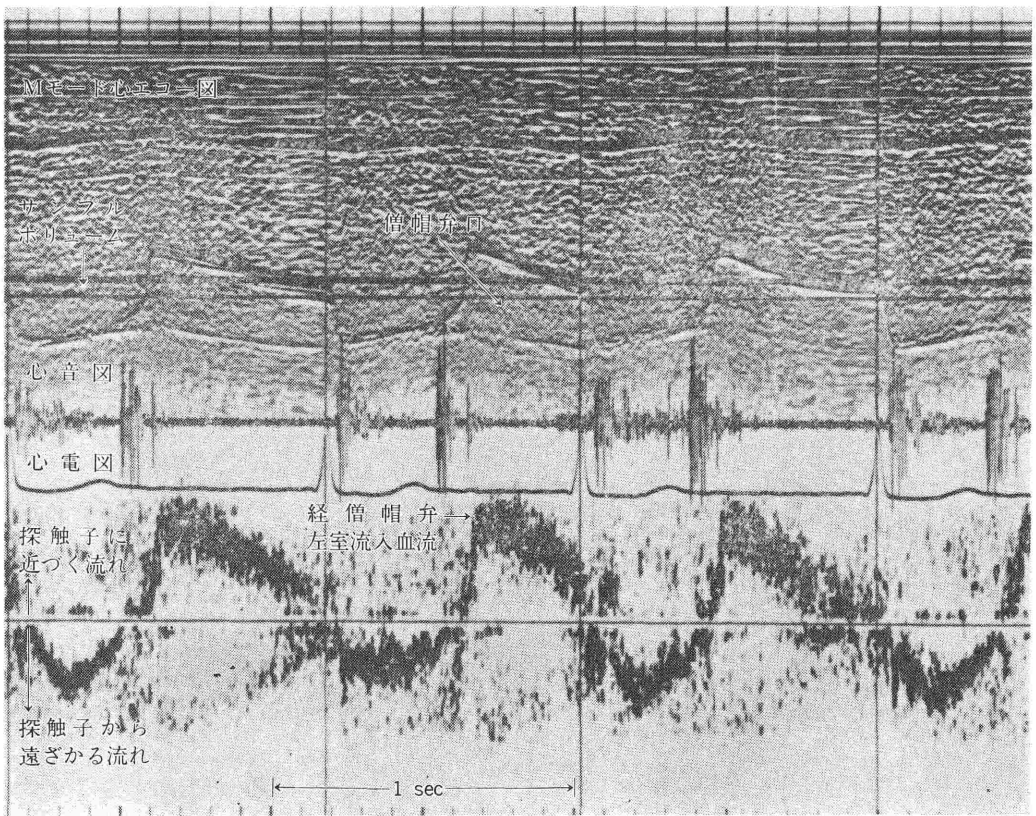


図 3. 僧帽弁狭窄症の左室流入血流

Mモード心エコー図(上段), 心音図, 心電図, と同時記録したパルス変調ドプラー法による血流パターン (フーリエ変換による周波数分析を行って表示したもの). 狭窄弁口を流れる血流は比較的層流で速い.

グリーン, 微量の CO<sub>2</sub> などコントラストメディウムを血管内注入し, これらに混在する微小気泡 (microbubble) をエコー源<sup>12)</sup>として血流の動きを映像化したものである. 三尖弁閉鎖不全症や肺動脈弁閉鎖不全症などの右心の診断の場合には, 肘静脈注入により, 逆流を定性的に評価しうる優れた方法である. コントラスト心エコー法は右→左短絡を有する先天性心疾患の心内短絡の診断にも活用されている. このような短絡がない場合, 末梢静脈からの注入法では, 肺による微小気泡の消滅により左心の観測が不可能である. 現在, これに対し肺での微小気泡通過を可能とするコントラスト材料の開発が試みられているところである. また, 断層心エコー図上のコントラストエコーを photometer あるいは densitometry などで計測して濃度曲線を描き, 心拍出量を推定しようとの試み<sup>13)</sup>もある. しかし, エコー源としての microbubble は個々の大きさも違えば, それが一定状

態にあるのではなく血流の途中で消滅する可能性もあって, 定量化は容易でない.

このような血流の可視化という超音波法による心血管のイメージ診断のひとつとして, 近年多大の関心を寄せられているのがパルスドプラー法である. この方法は断層図の観察下に血流計測部位を把握してはじめて正確な情報を獲得しうるわけで, これを可能とした装置の開発はまだ比較的最近のことである.

著者ら<sup>15)</sup>は, このような装置を用いた心腔内の血流状況の詳細な検討のため心腔内多数点で血流計測を行った. すなわち, 正常血流とは異なった異常血流信号の検出部位を各心時相の断層心エコー図上にプロットすることにより, 異常血流の分布範囲と経時的推移とを明らかにする“フローマッピング法” (図4)を考案した. その1例として僧帽弁逸脱症候群 (MVP) を左房内の多数点で血流計測を行ったところ, 後尖逸脱症では, 左室



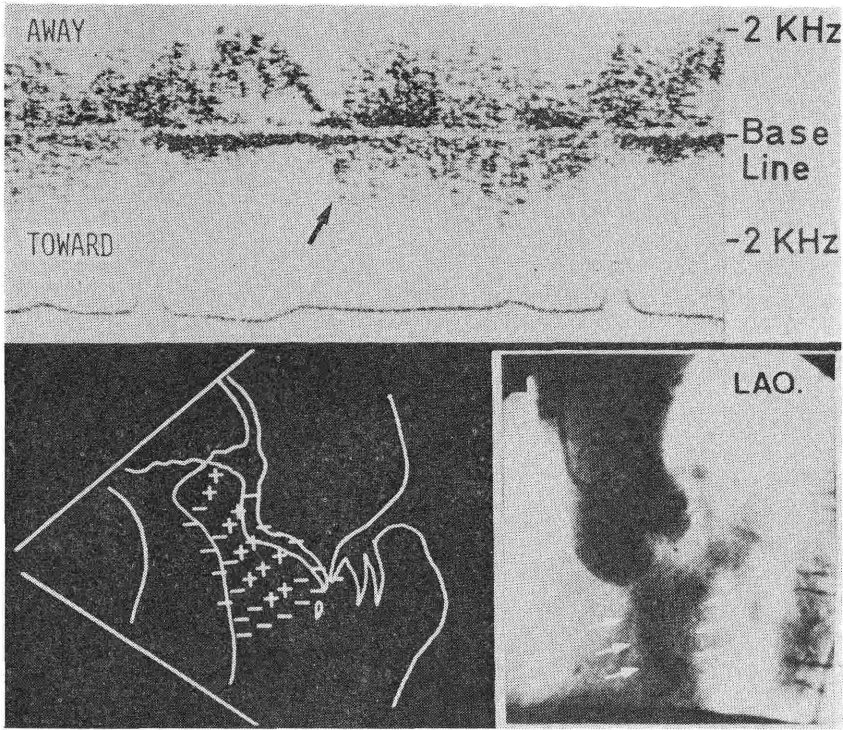


図 4. 心腔内血流フローマッピング法<sup>14)</sup>

左室流出路の多数点でパルス変調ドプラー法により血流信号を記録し、拡張期の広帯域の乱れた異常血流（上図矢印）を検出した箇所（下左図の+印）を同時モニターした断層心エコー図上に連続的にプロットすると、血管造影で認めた大動脈逆流（下右図矢印）の方向、範囲が一致した。

から左房内への逆流は収縮初期には前後尖接合部より上方に向かい収縮の進展に伴って徐々に前方へと方向を偏し、また前尖逸脱症では、逆に収縮の進展とともに上方から徐々に後方へと逆流方向が移動するような所見がえられた。これにより、逸脱弁の形態の変化と血流方向の推移、心雑音の変化との関係などを知りうる。ただ、現在のところこうした詳細な情報を獲得しうるには検査ならびに処理に時間を要するので、同時に多数箇所でも血流をサンプルしコンピュータ・ベースの高速演算処理を行う方法の開発もなされている。これにより、広範囲な心腔内の血流状況、血流方向や血流速度などの変動が解析され、心腔内血流速分布のイメージング化とともに、心機能、心行動態に関する定量的アプローチが可能となつてこよう。

僧帽弁逆流のほか、大動脈弁閉鎖不全、三尖弁閉鎖不全、肺動脈弁閉鎖不全に伴う逆流血流がパルスドプラー法により直接検出される。大動脈弁閉鎖不全症（図4）では、拡張期に左室流出路で

大動脈から心尖方向に向かう血流がえられ、弁尖障害部位によって逆流の出現部位が異なる。前方の心室中隔側で逆流血流の認められる例では、Mモード心エコー図で心室中隔が、後方の僧帽弁前尖側へ逆流ジェットが存在する例では、僧帽弁前尖に細動が出現することがしばしば観察されている。こうした逆流血流の捕捉部位のマッピングから重症度が判定される<sup>16,17)</sup>。

三尖弁逆流も前二者と同様に、右房内三尖弁近傍で収縮期に異常血流が捕えられる。通常、逆流血流の異常シグナル検出は容易であり、断層図上にその検出部位をマッピングすることにより、逆流血流の到達分布範囲が推定され、逆流程度評価の可能性が生じてくる。

### 3. 虚血性心疾患への適用

虚血性心疾患では、冠動脈病変により心筋が虚血や壊死に陥って収縮運動が低下ないし欠落し、左室壁運動に異常が生ずる。左室造影法で認めら

れる壁運動異常から診断した梗塞部位と、心電図より診断したそれとはよく一致することがいわれているが、心電図上の梗塞部位と心エコー図上の asynergy の部位とも良好な一致をみるとされている<sup>18,19</sup>。心筋梗塞の壁運動異常の診断としては、現在左室造影法が確実な方法とされているが、治療法の進歩とも相まって重症例、急性例でのかかる診断の必要性が高まり、Mモード心エコー法、断層心エコー法による診断の必要性がたかまっている。ことに断層心エコー図では、左室造影像と類似の左室壁像が容易に描出される。Kisslo ら<sup>20</sup>は、扇形電子走査型の装置を用いて、左室長軸断面(LAO)および4つのレベルの左室短軸断層を描出し、これによる左室壁運動の評価と左室造影所見とを double blind で詳細に対比検討した。彼らの成績では、左室長軸および短軸の断層像で5つに区分した領域につき壁運動の評価を行い、105例での525領域中82%の領域で異常の検出が可能であり、そのうち87%の領域で造影所見と良い一致を示したという。こうした相違の生じた13%

について retrospective に検討した結果、その原因として、1) エコーによる誤り(60%)、2) 造影による誤り(30%)、3) その他(10%)をあげている。彼らも述べているように、左室壁運動の asynergy を評価するさいには心周期を通じて心内膜が少なくとも50%は描出されていることが要求されるであろう。

断層心エコー法にて描出する断面のうち壁運動評価に有用なのは、左室造影の第一斜位(RAO)、第二斜位(LAO)相当断面、四腔断面(four chamber view)および左室短軸断面である。短軸断面は、僧帽弁レベル、腱索レベル、乳頭筋先端レベルなどの断層図が基準として用いられる。Eaton ら<sup>20</sup>は、梗塞急性期に乳頭筋先端レベルの断面を捕捉して2週間以上追跡した成績を報告し、短軸断層図の経時的追跡における有用性を示唆した。著者ら<sup>22</sup>の検討では、前壁梗塞例では乳頭筋先端レベル、下壁梗塞例では腱索レベルの左室短軸断面が、それぞれ梗塞による壁の akinesis の拡がり、non contractile segment (NCS) が

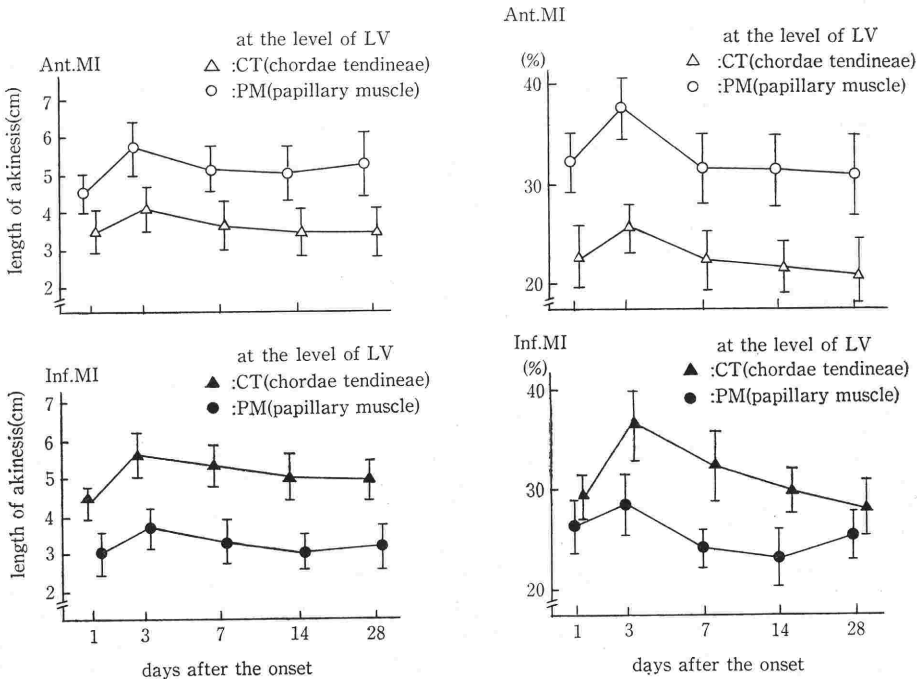


図 5. 心筋梗塞発症後1カ月の左室壁 akinesis の長さおよび Non Contractile Segment (NCS) の推移<sup>22)</sup>  
 △, ▲: 腱索レベル左室短軸断面における計測。  
 ○, ●: 乳頭筋先端レベル左室短軸断面における計測。

であり、梗塞部位の違いにより断層心エコー法での左室壁 asynergy 評価の至適断面が異なるものと考えられた。左室壁 asynergy の経時的観察によれば、akinesis の長さ、NCS ともに心筋梗塞発症第3病日に最大となり以後減少する傾向にあり、一方、心内膜周囲長は第7病日から有意の増加を示し、約1カ月後に安定期を迎えた(図5)。これは発症初期の梗塞による梗塞部心筋の収縮能の低下を健全心筋が伸展する preload の増加で補う機構の関与を示唆する成績と考えられる。

心筋梗塞患者の左心予備能を評価することは、その病態把握、管理、予後判定に重要である。こうした目的のため運動負荷法が施行されるが、そのさいの局所壁運動の負荷による変化の経時追跡にも断層心エコー法は有用である。著者ら<sup>23)</sup>は、左前下行枝一枝病変の陳旧性前壁梗塞15例を対象として、仰臥位自転車エルゴメータによる運動負荷を施行し、負荷前および負荷中を通じて断層心エコー図で dyskinesis を認めなかった群(8例)と負荷中に dyskinesis の出現した群(7例)とに分けて心行動態諸指標との対比を行って、これらの心予備能について解析した。両群間には運動耐容時間に有意の差を認めなかったが、運動負荷前と最大負荷時との左室充満圧(PAEDP)および心仕事係数(SWI)を心機能座標上にプロットすると、運動負荷により両群間に差が出現した(図6)。こうした負荷時心エコー法は、dynamic な心機能を評価するうえで興味ある点が多いところであるが、対象者全員で評価に足る記録を必ず

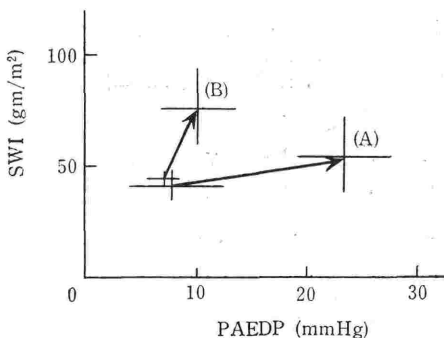


図6. 心筋梗塞例における運動負荷時の左室充満圧と心仕事係数の推移<sup>23)</sup>

負荷中に dyskinesis が観察された群(A)では、観察されなかった群(B)に比較して肺動脈拡張末期圧の増大が著しいにもかかわらず、心仕事係数の増加が少ない。

しもえられない難点を有している。しかし、梗塞の評価のみならず、狭心症における心機能異常は虚血発作中において生じ、一般に非発作時には正常動態であることが多いだけに、運動または薬物による誘発負荷時に直接局所異常を経時的に観測できる心エコー法は今後臨床的にますます利用されるであろう。

#### 4. 種々領域への超音波法の展開

従来、心エコー法は内科を中心として診断法の意義が認められてきた。ところが最近では、外科的手技を含め治療にさいして積極的に応用しようとする試みがいくつかなされるようになってきている。前述した弁膜疾患での治療法決定や効果判定に役立つだけでなく、新生児、乳児の心疾患に対し開胸直視下に超音波像をモニターすることにより心内操作を行い、人工心肺によらない心房中隔欠損作成術を試みるなどの実験的検討<sup>24)</sup>も報告されている。こうした超音波ガイド下に、カテーテル等の心腔内操作あるいは心膜液や胸水の穿刺・吸引などを行うことは、既に広く応用されているところであるが、さらに術中の心機能評価に心エコー法を導入しようとする試みも、麻酔科・外科領域で少なくない。たとえば、選択的気管支造影用カテーテルの先端に心エコー図プローブを装着して、経食道的に開心術前・術中・術後早期に連続的心エコー図記録を行い、1回拍出量を求める<sup>25)</sup>などの左心機能評価へ応用しようとしている。

また、心拍出量や左室容積をヒトで正確に求めようとの努力も盛んである。すなわち、断層心エコー法により幾つかの断面を描出してこれの近似モデルを想定し、できるだけ精度の高い左室容積を求めようとするものである。従来Mモード心エコー図からの容積算法の適用しがたかった心筋梗塞や肥大型心筋症などの心腔形態異常例においても適用しうるよう長軸像と短軸像とを複数数えることから Simpson の原理に基づいた容積算法が考案され、摘出心での実験的検討<sup>26)</sup>およびヒトにおいて左室造影より求めた値との対比検討<sup>27)</sup>がなされている。なお、著者ら<sup>28)</sup>は、二方向左室造影法と同様な意味をもつ二つの断面が、観測上同時にえられる同時二断面断層心エコー法(biplane echocardiography)を開発した。これ

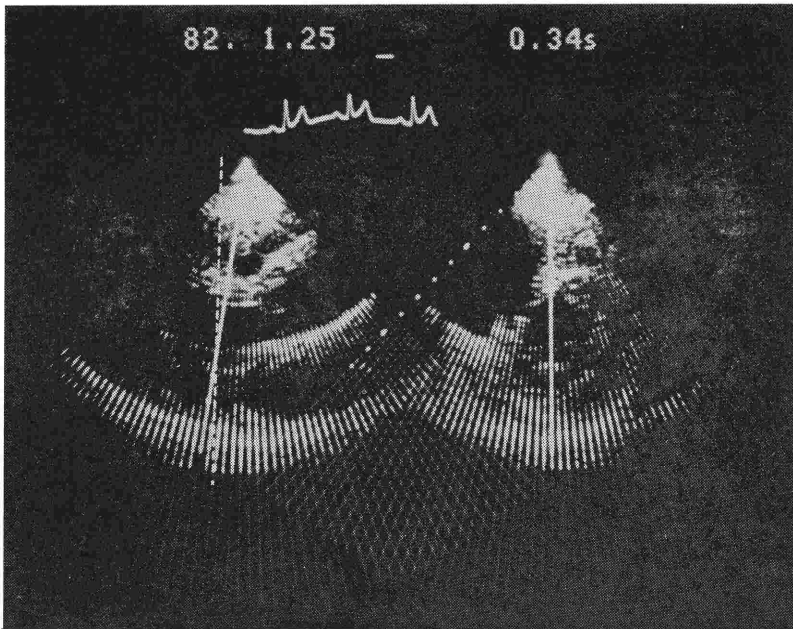


図 7. 同時直交二断面断層心エコー法による左室長軸・短軸像<sup>29)</sup>

単一探触子(直交二方向列の振動子を組合わせたもの)による左室長軸(左)短軸(右)の同時像。

左の破線と右図の実線が両断面の交差線に相当する。二断面像を観測して至適のビーム方向を選択してMモード像を描くことにより、計測精度を向上させうる。

によれば、左室造影の(RAO, LAO)像相当断面や、左室長軸・短軸断面を、それぞれ同時にえられ、左室壁運動の評価とともに容積算出にも精度の高い検討をなしうる。

最近の新たな動向のひとつとして、超音波の有する音響学的性状を利用して組織診断(tissue characterization)を行おうとする試みがある。心構造物からの反射波の強さは、組織境界部の密度の差によって変化するので、疣贅、石灰化、瘢痕あるいは線維化などがあると、エコー性状が変わる。この変化を定量化していけば、組織性状に関する情報が求められると考えられるが、今のところまだ具体的なアプローチに乏しく、臨床応用に至るまでにはなお遠い課題であるといえよう。

## おわりに

本稿では、弁膜疾患と虚血心への超音波エコー法およびドプラー法の適用の現況につき若干述べた。現在、各種心疾患の診断にその有用性の高いことが知られているが、ここにはほんの一部を略述したに過ぎない。今後、工学的に装置の分解能

改善、操作性の向上などが図られるであろうが、さらに本質的に有する方法論的限界や問題点にも解決の試みが続けられ、臨床的にも定性診断から定量診断に向かう検討がなされていくことが期待される。(昭和57年3月脱稿)

## 文 献

- 1) Shah, P. M., Sylvester, L. J.: Echocardiography in the diagnosis of hypertrophic obstructive cardiomyopathy. *Am. J. Med.* **62**:830~836, 1977.
- 2) Weyman, A. E., Feigenbaum, H., Dillon, J. C., Johnston, K. W., Eggleton, R. C.: Noninvasive visualization of the left main coronary artery by cross-sectional echocardiography. *Circulation* **54**: 169~174, 1976.
- 3) Yoshikawa, J., Yanagihara, K., Owaki, J., Kato, H., Takagi, Y., Okumachi, E., Fukaya, T., Tomita, Y., Baba, K.: Cross-sectional echocardiographic diagnosis of coronary artery aneurysms in patients with the mucocutaneous lymph node syndrome. *Circulation* **59**:133~139, 1979.
- 4) Liewpe, W., Behar, V. S., Scallion, R., Kisslo, J. A.: Detection of tricuspid regurgitation with two dimensional echocardiography and peripheral vein injection, *Circulation* **57**:123~132, 1978.
- 5) Abbasi, A. S., Allen, M., DeCristofaro, D.,



- Ungar, I. : Detection and estimation of the degree of mitral regurgitation by ranged-gated pulsed-Doppler echocardiography. *Circulation* **61**:143~147, 1980.
- 6) Edler, I. : The diagnostic use of ultrasound in heart disease. *Acta Med. Scand.* **308**:302, 1955.
- 7) Henry, W. L., Griffith, J. M., Michaelis, L. L., McIntosh, C. L., Morrow, A. G., Epstein, S. E. : Measurement of mitral orifice area in patients with mitral valve disease by real-time, two-dimensional echocardiography. *Circulation* **51**:827~831, 1975.
- 8) Nichol, P. M., Gilbert, B. W., Kisslo, J. A. : Two-dimensional echocardiographic assessment of mitral stenosis. *Circulation* **55**:120~128, 1977.
- 9) 松尾裕英, 山田義夫, 北島 顕, 松本正幸, 濱中康彦, 小林敬司, 大原龍彦, 千田彰一, 棚橋秀生, 木村 照, 近森淳二, 阿部 裕: リアルタイム超音波心臓断面法による僧帽弁狭窄症の弁口面積計測に関する研究. *心 臓* **11**:364~374, 1979.
- 10) 小沢修一, 山下長司郎, 安岡俊介, 細川裕平, 太田捨明, 西山範正, 麻田達郎, 大野 徹, 知花幹雄, 山崎良定, 後藤 武, 松森正之, 中村和夫, 津嶋昭平, 麻田 栄: 術中機能的弁口面積測定による僧帽弁手術の評価. *日胸外会誌* **29**:1871~1879, 1981.
- 11) 浅生雅人: 僧帽弁狭窄症における房室間圧較差の無侵襲的推定に関する研究——超音波パルス変調ドブラ法を用いて——. *日内会誌* **69**:330~340, 1980.
- 12) Meltzer, R. S., Tichner, E. G., Sahines, T. P., Popp, R. L. : The source of ultrasonic contrast effect. *J. Clin. Ultrasound* **8**:121~127, 1980.
- 13) Bommer, W., Neef, J., Neuman, A., Weinert, L., Lee, G., Mason, D. T., DeMaria, A. N. : Indicator-dilution curves obtained by photometric analysis of two-dimension echo-contrast studies (abst.). *Am. J. Cardiol.* **41**:370, 1978.
- 14) Matsuo, H., Morita, H., Senda, S., Kitabatake, A., Asao, M., Tanouchi, J., Mishima, M., Abe, H. : Detection and visualization of regurgitant flow in valvular diseases by pulsed Doppler technique. *Jpn. Circul. J.* **46**:377~388, 1982.
- 15) Kitabatake, A., Inoue, M., Asao, M., Mishima, M., Tanouchi, J., Morita, H., Masuyama, T., Hori, M., Chihara, K., Sakurai, Y., Abe, H., Senda, S., Matsuo, H. : Non-invasive visualization of intra-cardiac blood flow in human heart using pulsed Doppler technique. *Research Advance of Cardiovasc. Dis.* **2**:72~78, 1981.
- 16) Ciobanu, M., Abbasi, A. S., Allen, M., Hermer, A., Spellberg, R. : Pulsed Doppler echocardiography in the diagnosis and estimation of severity of aortic insufficiency. *Am. J. Cardiol.* **49**:339~343, 1982.
- 17) Morita, H., Senda, S., Matsuo, H., Kitabatake, A., Asao, M., Tanouchi, J., Masuyama, T., Abe, H. : Intracardiac flow visualization of regurgitation by a computer-based ultrasonic multigated pulsed Doppler flowmeter (abst.). *Am. J. Cardiol.* **49**:943, 1982.
- 18) Jacobs, J. J., Feigenbaum, H., Corya, B. C., Phillips, J. F. : Detection of left ventricular asynergy by echocardiography. *Circulation* **48**:263~271, 1973.
- 19) Heikkila, J., Nieman, M. : Echoventriculographic detection, localization, and quantification of left ventricular asynergy in acute myocardial infarction. A Correlative echo-and electrocardiographic study. *Brit. Heart J.* **37**:46~59, 1975.
- 20) Kisslo, J. A., Robertson, D., Gilbert B. W., von Ramm, O., Behar, U. S. : A comparison of real-time, two-dimensional echocardiography and cineangiography in detecting left ventricular asynergy. *Circulation* **55**:134~141, 1977.
- 21) Eaton, L. W., Weiss, J. L., Bulkley, B. H., Garrison, J. B., Weisfeldt, M. L. : Regional cardiac dilatation after acute myocardial infarction: recognition by two-dimensional echocardiography. *N. Engl. J. Med.* **300**:57~62, 1979.
- 22) 後藤 顕, 渡辺文子, 東 裕, 藤井謙司, 福井須賀男, 南野隆三, 安井 潔, 北島 顕, 千田彰一, 松尾裕英: 心筋梗塞急性期の左室壁 asynergy の経時的推移——梗塞部位による至適断面の差異に関する検討——. *日本超音波医学会講演論文集* **39**:41~42, 1981.
- 23) 千田彰一, 松尾裕英, 北島 顕, 島津 敬, 安井 潔, 一森三千男, 前田孝雄, 藤井謙司, 井上通敏, 阿部 裕, 福井須賀男, 後藤 顕, 佐藤秀幸, 東 裕, 扇谷信久, 南野隆三: 心筋梗塞における運動負荷時左室壁運動の左室機能に及ぼす影響. *日本超音波医学会講演論文集* **37**:277~278, 1980.
- 24) 高山鉄郎, 柳生邦良, 松本博志, 吉竹 毅, 小野明, 浅野 献一: 超音波ガイド下心内操作の実験的検討——心房中隔欠損作成術——. *日本超音波医学会講演論文集* **39**:7~8, 1981.
- 25) 村口和彦, 石原 浩, 南 一明, 龍田憲和, 日笠頼則: 経食道心エコー図による開心術後早期の左心機能の評価(第一報). *日本超音波医学会講演論文集* **39**:509~510, 1981.
- 26) Wyatt, H. L., Heng, M. K., Meerbaum, Hestenes, J. D., Cobo, J. M., Darrelson, R. M., Carday, E. : Cross-sectional echocardiography. I. Analysis of mathematic models for quantifying mass of the left ventricle in dogs. *Circulation* **60**:1104~1113, 1979.
- 27) Folland, E. D., Parisi, A. F., Moynihan, P. F., Jones, D. R., Feldman, C. L., Tow, D. E. : Assessment of left ventricular ejection fraction and volumes by real-time, two-dimensional echocardiography. A comparison of cineangiographic and radionuclide techniques. *Circulation* **60**:760~766, 1979.
- 28) 千田彰一: 同時二断面超音波心臓断面法の開発. *医用電子と生体工学* **19**:385~386, 1981.
- 29) 千田彰一, 森田久樹, 水重克文, 藤井謙司, 佐藤裕, 田辺浩二, 松尾裕英: 電子走査型単一探触子による同時直交二断面断面層心エコー法の開発と臨床適用. *日本超音波医学会講演論文集* **40**:541~542, 1982.