Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2026-11-25

心エコー法の臨床応用と将来（特集 先端技術と高度医療機器時代を迎えて）

横田，慶之
竹内，陽史郎

(Citation)
神戸大学医学部神緑会学術誌,7:74-79

(Issue Date)
1991-06

(Resource Type)
departmental bulletin paper

(Version)
Version of Record

(JaLCDOI)
https://doi.org/10.24546/81007184

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/81007184

KOBE UNIVERSITY

特　集——

心エコー法の臨床応用と将来

神戸大学医学部第一内科学教室　横田慶之
竹内陽史郎

はじめに

心エコー図法は超音波パルスを心臓に送信し、その反射（エコー）を受信することにより心臓の形態や動態を観察する検査法である。

心エコー法の登場は1954年のElderらのUltrasound Cardiography (UCG)の報告に始まる。当初の装置の感度は悪く、診断の対象は主として僧帽弁狭窄症に限られたが、その後機器の改良、多くの経験、知識の蓄積を基礎として発展した。このUCGは近年では通常Mモード心エコー法という名称で呼ばれている。このMモードエコー法は単一ビーム上の心内構造物の時間的動態の分析が可能であるが、次いでこれら構造物を2次元的動画上に表示することの可能な断層心エコー法が普及することにより、心エコー法は循環器の診断、研究に欠かすことのできない検査法としての地位が確立された。さらに近年ドプラ法が発展し、心血管腔内の血流動態という新しい情報を得ることが可能となり循環器領域における心エコー法の役割はますます重要なものとなった。

心エコー法は我々が日常遭遇する大部分の心疾患の診断はもちろん、その器質的病変の重症度や心機能障害の程度を評価できる。本稿では各種心エコー法の特徴とその臨床応用を中心にして解説すると共に、今後の発展についても触れてみたい。

Ⅰ．Mモードならびに心断層エコー法

Mモード心エコー法は超音波ビーム上の心内構造物の時間—偏位曲線、即ち経時的な動きの観察が可能である。本法では観察範囲が一定のビーム方向に限定されているが、この探触子よりのビームを心基部方向から心尖部方向へ扇状に動かすこと（M mode scan）により広い範囲の心内構造物の動きと相互関係、連続性を知ることができる（図1）。

心断層エコー法はリアルタイム断層心エコー法の出現と共に飛躍的に発展した。本法には機械式または電子式走査法により心臓の断面を実時間で動画として描出する方法であるが、後者がより普及している。電子操作型断層法は多数並べた小振動子を電気的に順次励振し、1秒間に30ケ程度の画像をブラウン管上に描出するものである（図1）。

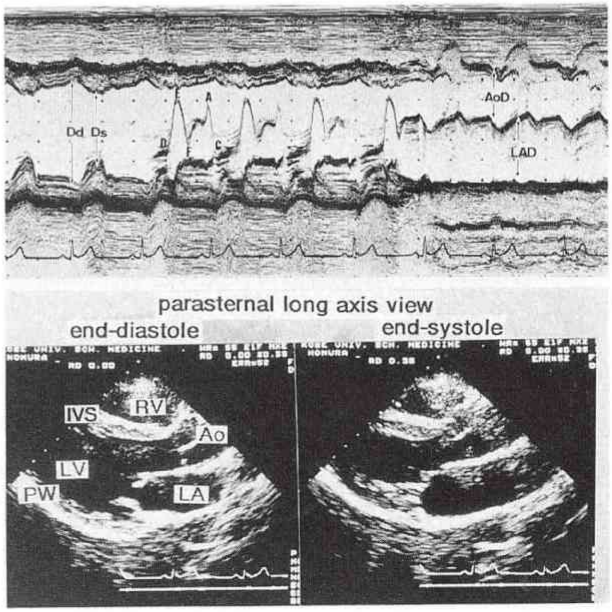


図1．健常例のMモード及び断層心エコー図
上図：Mモードスキャン
下図：傍胸骨アプローチ左室長軸断層心エコー図
Dd：左室拡張末期径　Ds：左室収縮末期径
AoD：大動脈径　LAD：左房径
RV：右室　LV：左室
IVS：心室中隔　PW：左室後壁
Ao：大動脈　LA：左房

超音波法では一般に探触子の超音波周波数が高い程分解能が高くなる。しかし、逆に超音波の減衰も増加するため、感度が低下するという超音波を用いるが故の限界を有しているが、最近画像処理技術の進歩により2.5～3.75 MHzの高周波数にても鮮明な画像が得られるようになった。

断層法では胸骨左縁のみではなく、心尖部、心窩部、胸骨上窩などの種々のアプローチより心臓の種々の断面図を描出することが可能であり、大血管や心臓の形態、動態に関する情報が瞬時にしかも非観血的に得られる。

例えば、弁膜症においてはその弁膜の器質的変化や、狭窄性変化、弁運動異常の診断が可能であり、これら器質的変化によりもたらされる左室、左房の拡大、壁運動異常を観察できる。

図2、3に僧帽弁狭窄症のMモード及び断層心エコー図を示すが、断層心エコー図上僧帽弁の前後両交連部が癒合し開放不全に陥り、肥厚、硬化した弁尖は左房内圧上昇により左室側へドーム状に膨隆している。リュウマチ性変化は弁のみでなく、僧帽弁装置全体に及び腱索、乳頭筋の短縮が見られる（図2）。また、Mモード心エコー図では正常僧帽弁運動は失われ、拡張期前尖後退速度が著明に低下し弁エコー輝度の増加がみられる。左房径は51㎜と著明に拡大している（図3）。僧帽弁狭窄症の重症度を規定する僧帽弁口面積は僧帽弁レベル短軸断層図（図2右下図）により得られる。前後両交連部で前後尖が癒合し、僧帽弁口は楕円形を示し約0.7㎠と計測された。

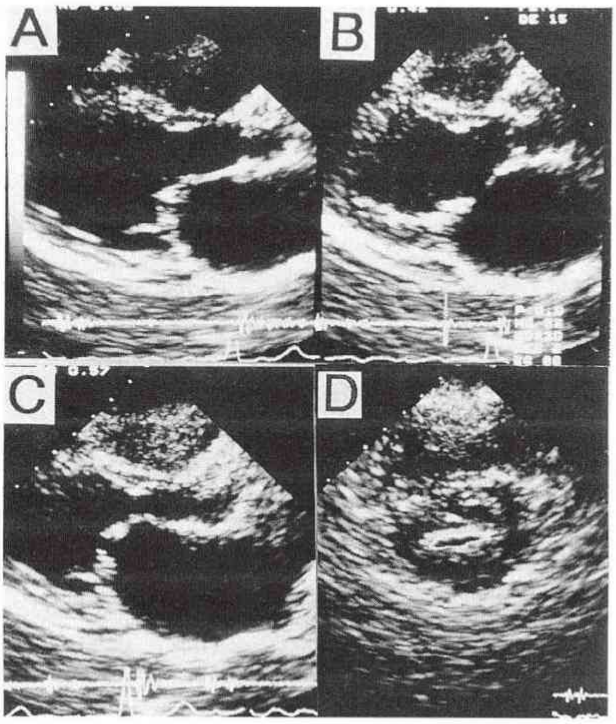


図2．僧帽弁狭窄症の断層心エコー図
A：拡張末期左室長軸断層心エコー図
B：収縮末期左室長軸断層心エコー図
C：拡張早期左室長軸断層心エコー図
D：拡張早期左室短軸（僧帽弁レベル）断層心エコー図

このように、Mモード及び断層エコー図により多くの心内構造物の形態、動態を観察できる（表1）。しかしながら、これらMモード及び断層心エコー法により心臓カテーテルや心血管造影で得られる心内圧や心血管腔血流情報を得ることは困難である。

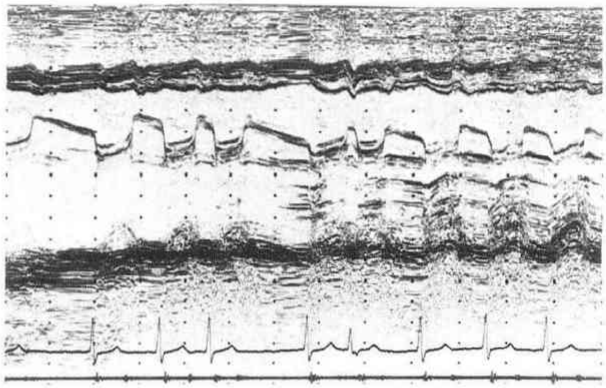


図3．僧帽弁狭窄症のMモードエコー図

表1．Mモード並びに断層心エコー法により得られる臨床情報

心内構造物の位置，大きさ，運動，器質的変化
1．大血管：肺動脈，大動脈
2．心　腔：左室，右室，左房，右房
3．心室壁：中隔，左室自由壁，右室自由壁
4．弁，弁下装置：僧帽弁，三尖弁，大動脈弁，肺動脈弁，腱索，乳頭筋
5．異常構造物

Ⅱ．ドプラ心エコー法

ドプラ心エコー法は心血管腔内を流れる血球をエコー源として超音波を送信し、ドプラ効果を利用して血球速度すなわち血流速を測定する検査法であり、現在パルスドプラ法、連続波ドプラ法、カラードプラ法がそれぞれ普及している。

パルスドプラ法は心血管腔内の任意の位置の血流速波形を描出することができるが、測定可能な流速に限界があり狭窄流、逆流、シャント血流などの高速血流は折り返して表示される（aliasing）。一方、連続波ドプラ法ではドプラビーム上のすべての血流を補足し距離分解能を有さないものの、高速血流の計測が可能である。また、カラードプラ法では断層心エコー図上の各部位の血流速情報を特殊な信号処理回路を通して即座に解析し、ブラウン管上に各部位血流速をカラーマッピング表示し心血管腔内血流を動画として観察できる。この場合探触子に向かう血流は暖色、遠ざかる血流は寒色として、高速血流は高輝度、低速血流は低輝度に表示される。パルスドプラ法と同様に狭窄血流、逆流、シャント血流などの高速血流はaliasingを生じ輝度の強い暖寒色の混在したモザイクパターンとして表示される。

これらドプラ法の普及により（1）異常血流の検出、（2）心拍出量や弁口面積の測定、（3）心内圧の推定、（4）心機能の評価など新しい情報を得ることが可能

となった。

1．異常血流の検出：狭窄弁を通過する血流は狭窄のために加速されてジェット流になり周辺部に乱入を伴う。このためパルスドプラエコー図上 aliasing を有する幅広い血流スペクトルムとなり、カラードプラ上弁口から左室流入路へ流れるモザイク上の血流が観察される。弁閉鎖不全では、上流心腔内に流れる逆流ジェットがモザイクパターンで表示され、このジェットの到達距離または面積による逆流程度の評価は心血管造影による評価と良好な対応を示す。短絡疾患では短絡部を通過するシャント血流が描出される。

2．心拍出量の計測：肺動脈弁または大動脈弁輪部の駆出血流速（E）の時間速度積分値（IE）を得ることにより駆出時間に単位断面積を通過する血流量が求められる。これに同部位の断面積（A）を乗じることにより右室または左室の1回拍出量（SV ＝ IE ×A）が得られ、さらに SV に心拍数を乗じることにより心拍出量が得られる。左右短絡疾患では左右両心室の心拍出量の比を求めることにより、肺体血流比を算出できる。

3．弁口面積：狭窄性弁疾患の心機能や予後は主として弁口面積に規定される。狭窄弁の弁口面積は弁口レベル短軸断層像により計測可能であるが、しばしば癒合、肥厚した弁の多重エコーのため計測が困難となる。

狭窄部を通る血流速は狭窄前後の圧較差に規定されている。Hatle らは連続波ドプラ法を用いてその最大流速（V）を求め、Bernouilli の簡易式より圧較差（PG ＝ 4 V^2）を算出した。本法にて求めた圧較差は心カテーテル法にて求めた圧較差と良好な一致を示す。また、僧帽弁狭窄症では重症例程、この圧較差が最大から半分になるまでの時間（pressure half time：PHT）が延長する。これを利用して僧帽弁口面積の算出（MVA ＝220/PHT）が試みられている。弁口面積は連続の式によっても導かれる。即ち流路内での血流量（Q）は逆流がなければ一定であるので、非狭窄部の血流速時間積分値と面積の積（$TV_1 \times A_1$）は狭窄部の両者の積（$TV_2 \times A_2$）に等しい。そこで A_1 を断層エコー法で、TV_1 及び TV_2 を連続波ドプラ法で測定することにより狭窄弁口（A_2）は求められる（$A_2 = TV_1 \times A_1/TV_2$）（図4）。

4．右室圧の推定：右室負荷疾患の多くは三尖弁逆流を有している。この逆流ジェットの最大流速（V）を求め、Bernoulli の簡易式を用いて右房―右室圧較差を算出し、これに想定される右房圧10mmHg を加えることにより、収縮期右室または肺動脈圧（RVSP＝ 4 V^2＋10）を算出することができる。この RVSP は心カテーテル法にて求めた RVSP と良好な一致を示す。

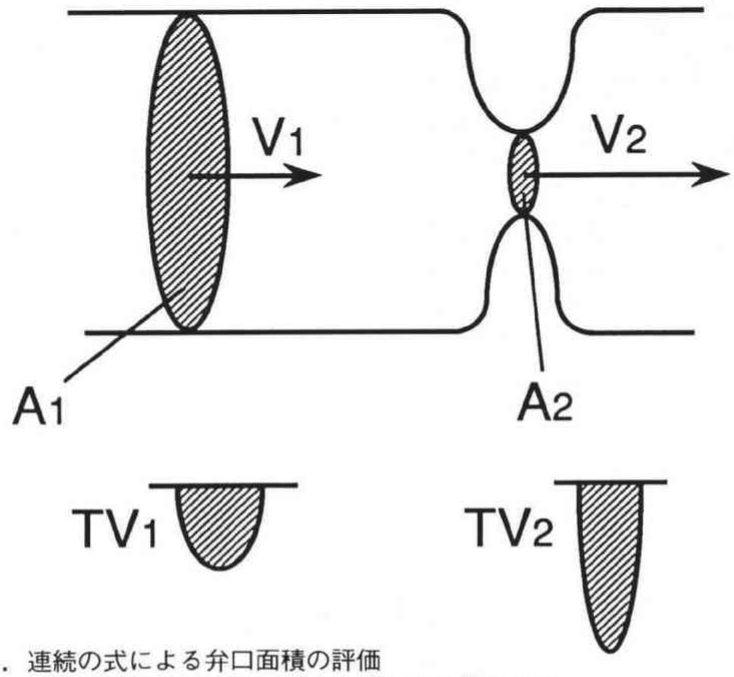


図4．連続の式による弁口面積の評価
狭窄弁口面積（A_2）は以下の式により得られる。
$A_2 = A_1 \times TV_1/TV_2$
A_1：非狭窄部面積
A_2：狭窄部面積
V_1：非狭窄部血流速
V_2：狭窄部血流速
TV_1：非狭窄部血流速時間速度積分値
TV_2：狭窄部血流速時間速度積分値

5．心機能評価：左右心室の駆出血流や流入血流の血流速や時相解析により、心収縮能や拡張能の評価が試みられPEP/ETやA/Rなどの多くの指標が臨床的に用いられている。

健常例ならびに先に示した僧帽弁狭窄症例のドプラエコー図を示す（図5、6）。健常例の左室流入パルスドプラエコー図（図5上図）では急速流入期と心房収縮期の両時相に最高流速を示す2峰性の拡張期流入血流が見られ、カラードプラエコー図では同時相に輝度の増強する暖色系血流が表示される（図5下図）。一方、僧帽弁狭窄症例における加速された狭窄血流はカラードプラエコー図上、弁口部から左室流入路へ流れる輝度の高いモザイク状色調血流として表示される（図6A）。この狭窄血流の最高流速は連続波ドプラ法により2m/secと計測され、本症例の左房—左室圧較差（PG）はBernoulliの簡易式よりPG＝4×2^2＝16mmHgと算出された。このPGが半分になるまでの時間（PHT）は320m/secであり、弁口面積（MVA＝220/PHT）は断層エコー法と同じく0.7㎠と算出された（図6B）。右室流入路断面のカラードプラーエコー図では三尖弁逆流が検出され、その程度はSeller's Ⅲ°と評価された（図6C）。この三尖弁逆流の最高血流速は3.2m/secであり、右室—右房圧較差は4×3.2^2＝41mmHg、収縮期右室圧は51mmHgと推定される（図6D）。

以上のようにドプラ法によりMモードや断層心エコー図では得ることのできなかった多くの情報が非観血的に入手できるようになり、心血管造影法や心カテーテル法などの観血的検査法の価値は相対的に低下しつつある。しかしながら、先に述べたようにエコー法には減衰という超音波を用いるが故の限界を有しており、特に肺疾患や胸壁の厚い例では明瞭な画像を得ることがしばしば困難となる。

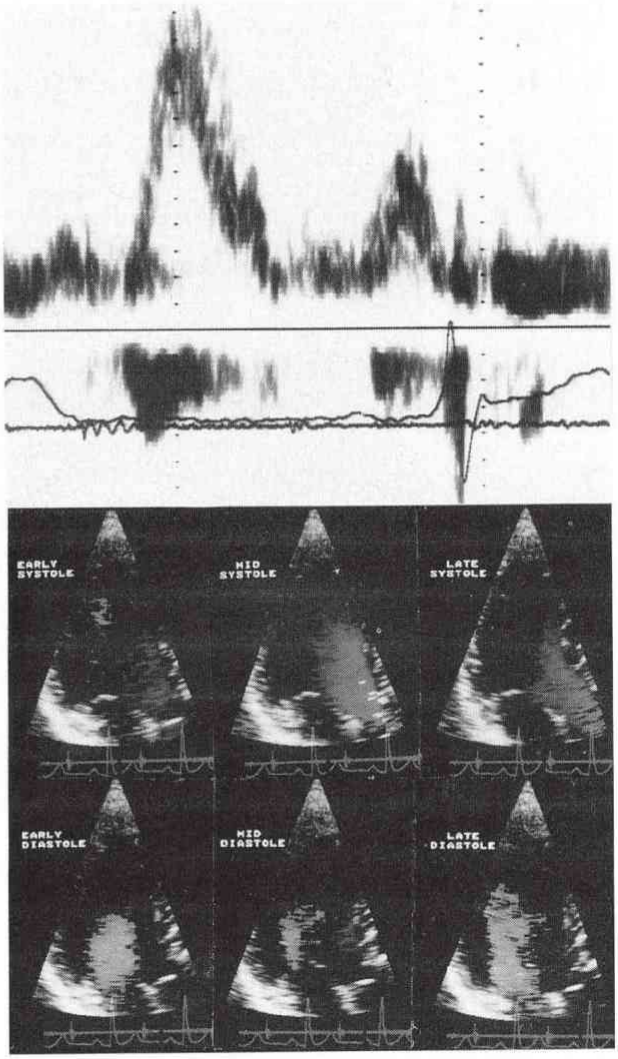


図5．健常例のドプラエコー図
上図：左室流入パルスドプラエコー図
急速流入期及び心房収縮期に最高流速を有する二峰性の流入波形が観察される。
下図：カラードプラエコー図
収縮中期に高輝度の寒色血流（左室駆出血流［上段］）および拡張早期と拡張後期に高輝度の暖色血流（左室流入血流［下段］）が観察される。

Ⅲ．経食道心エコー法の発展

1976年Frazinらの報告に始まる経食道心エコー法は、上部消化管内視鏡と同様な方法で探触子を食道に挿入し、心臓を左房後方の食道から観察する方法である。経食道心エコー法では肋骨や肺などの障害物がなく薄い食道壁を通しての観察であるため、極めて分解能の高い明瞭な画像が得られる。本法は僧帽弁疾患を含む種々の疾患に対して臨床応用が行なわれているが、特に左房内異常構造物の検出や心房中隔欠損の描出には有用であり、さらに食道の後方にある大動脈の描出にも優れている。

図7に心房中隔欠損症の経食道心エコー図を提示する。門歯列より31cm～32cmにかけて、心房中隔に欠損孔（横径1.0cm）を認め、右のカラードプラー上図左房から右房へ同欠損孔を通過するシャント血流が認められる。

また、経食道心エコー法は心臓外科部門における手術患者の術中、術後のモニターとしても利用されるようになった。しかも最近の経食道超音波探触子の小型化により、患者の負担は減少し、本法の臨床応用はますます盛んになりつつある。

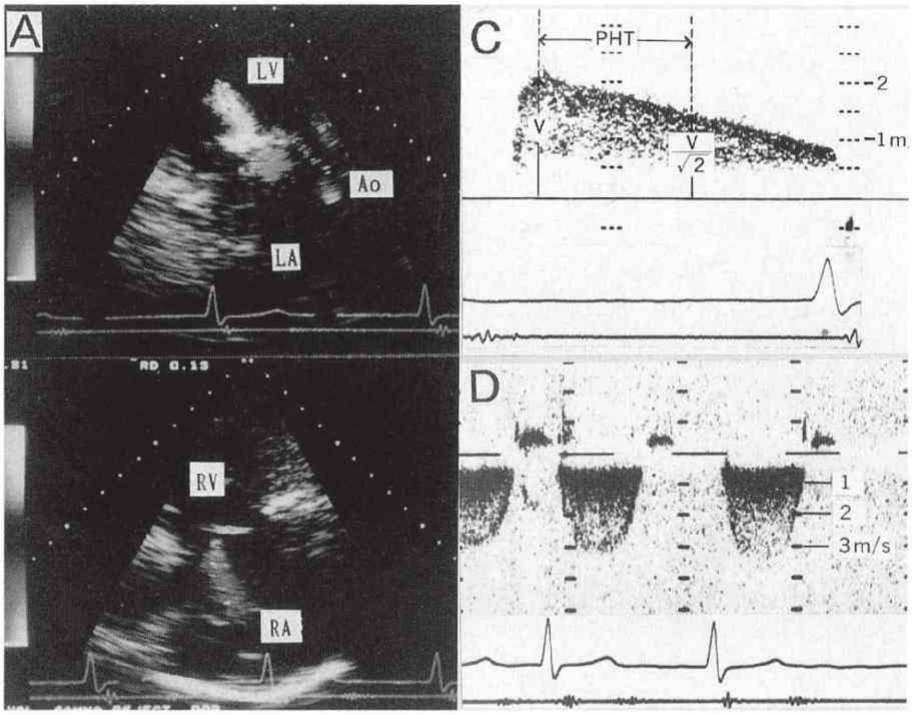


図6．僧帽弁狭窄症のドプラエコー図

A，B：心尖部長軸カラードプラ図(A)による狭窄部を通過するジェット血流がモザイク状に観察される。また、この狭窄血流の連続波ドプラ図(B)により同血流の最高流速（2m/sec）より房室間圧較差 PG＝4×2^2）が求められ、この PG が半分となるまでの時間（PHT＝320msec）より弁口面積（220/320＝0.7㎠）が算出される。

C，D：右室流入カラードプラ図(C)により三尖弁逆流血流が観察される。連続波ドプラ(D)によりこの逆流血流の最高流速（V＝3.2m/sec）を求め、右室収縮期圧を（RVSP＝4×3.2^2＋10＝51mmHg）を推定することが可能である。

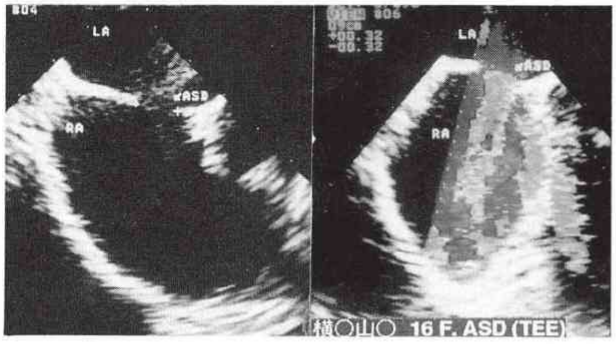


図7．心房中隔欠損症例の経食道断層心エコー図

断層心エコー図（左図）により左房と右房の隔壁である心房中隔に欠損孔が観察され、カラードプラ図（右図）により同部位を通過するモザイク状のシャント血流が明瞭に観察される。

Ⅳ．心エコー法の今後の展望

以上述べたごとく、心エコー法は非観血的検査法であるだけでなく、本法により多大な情報が得られ、しかもほとんどの循環器疾患の診断、重症度評価が可能であるため観血的検査法である心血管造影法や心臓カテーテル法の必要性は低下している。

近年、本邦での高齢化を反映して虚血性心疾患患者が増加しつつある。虚血性心疾患の診断においては、本症による合併症、即ち心筋梗塞サイズ、心機能障害、中隔破裂、乳頭筋不全症候群などの有無ならびに重症度を評価すると同時に、その原因である冠動脈病変自体の評価が必要である。前者即ち合併症の診断にはエコー法は欠かすことのできない検査法としてその地位が確立されているが、後者の診断には本法は無力であり、冠動脈造影やタリウム心筋シンチ法に比し大きく劣っている。これは、先に述べたようにエコー法の分解能の限界に起因する。冠動脈のような細い血管の内腔狭窄を描出するにはさらに高い超音波周波数を有する探触子を使用する必要があるが、経胸壁アプローチでは減衰が強く、左右主冠動脈基部や冠動脈瘤などの描出を除いて、冠動脈狭窄病変を描出することは困難である。

1．虚血性心疾患に対する新しいアプローチ

1）経食道心エコー法は経胸壁心エコー法に比し高感度画像が得られ、しかも探触子の小型化や biplane 化により操作性も良好となってきたため、諸家により本法による冠動脈病変や狭窄部血流の描出が試みられ、比較的良好な成績が報告されている。

2）コントラストエコー法は1976年に始まり、各血管や心腔の同定やシャント血流の証明に役立っていた。本法は生理食塩水注入時に生じるmicrobubblesがそのエコー源となり、小粒子状エコーとして断層エコー図上観察される。近年冠動脈内に直接コントラスト造影剤を注入し、造影剤による心筋エコー増強効果やそのwash out rateを観察することにより、冠動脈病変重症度や、心筋梗塞サイズを評価する試みが行なわれている。

3）ドプラカテーテル法は、カテ先にドプラ探触子を備えたカテーテルを血管内に挿入し、血管内血流速波形を表示する方法である。狭窄のない冠動脈では拡張期に有意の2相性血流が得られる。冠動脈狭窄部直前では流速が低下し、狭窄部及び直後では逆に流速は増大する。最近は、連続の式を用いてこの狭窄部前後のパルスドプラ血流の最高血流速の比により、間接的に冠動脈狭窄率を求める方法が考案されている。

2．組織性状の評価：物体は固有の音響インピーダンスを有しており、それゆえに音響インピーダンスの異なる組織間の境界部でエコーが発生する。このように反射エコーの性状により、組織の石灰化、硬化、瘢痕化、アミロイドの心筋沈着らの組織性状を診断することが可能である。これらは一般に視覚的になされているが、組織に対する超音波の減衰係数や組織に対する超音波の後方散乱（backscatter）の総和（integrated backscatter）を測定し、より定量的な組織性状の評価の試みがなされつつある。また、血管内に20MHzという高周波数の超音波トランスデューサーを挿入し血管壁組織性状の評価（経皮血管内超音波法）が試みられている。本法は大血管の内膜、中膜、外膜はもちろん冠動脈内血栓や冠動脈壁病変を鮮明に描出することが可能であり、将来の臨床応用が期待されている。

おわりに

近年心エコー法の発展はめざましく、今や循環器の診療、研究にとって最も重要な検査法のひとつとしての地位を確立している。本法の非侵襲性、ベットサイドでも施行し得る簡便性、得られる情報量の豊富さは他の検査法の追随を許さないことは周知のことである。しかしながら、本法は超音波を用いるがゆえの限界を有しており、過去の発展もこの限界との闘いの中で得られた。現在も様々な工夫や試みがなされており、今後ますます発展が期待される分野である。