

弁上下流における圧と心エコー図同時記録による弁動態:とくに弁開放閉鎖時期の解析

Analysis of opening and closing motion of the valve by simultaneous echocardiogram and pressure tracing across the valve

椎名 明  
松本 芳彬  
川崎 建市  
土谷 正雄  
伊東 紘一  
外牧 洋之  
宮田 捷信  
富田 忠孝  
松本 陽子  
柳沼 淑夫  
細田 瑳一

Akira SHIINA  
Yoshiaki MATSUMOTO  
Kenichi KAWASAKI  
Masao TSUCHIYA  
Kôichi ITOH  
Hiroyuki HOKAMAKI  
Katsunobu MIYATA  
Tadataka TOMITA  
Yôko MATSUMOTO  
Toshio YAGINUMA  
Saichi HOSODA

**Summary**

The echocardiogram of each valve, especially the timing of each opening and closing motion, was studied in relation to the intracardiac pressure curve.

Electrocardiogram, phonocardiogram, echocardiogram and intracardiac pressures taken by catheter tip transducer, were simultaneously recorded in 5 cases (3 cases of mitral valvular disease and 2 cases of congenital heart disease). The echocardiogram of each valve was compared with hemodynamic valve opening (VOH) and closure (VCH), defined by intersection of pressures across the valve orifice.

1. Atrioventricular (A-V) valve

(a) The onset of the initial anterior motion of the echo (D point) preceded A-V VOH by 40-75 msec. It was concluded that the echo between D and A-V VOH represented bulging of basal portion of the valve or heart motion preceding A-V valve opening.

(b) The onset of the most rapid anterior motion (D' point) and the final posterior motion for the valve closure (B point) of the echo were well correlated with the timing of A-V VOH and VCH, respectively. It was concluded that D' and B points were reliable indications of hemodynamic opening and closure of the A-V valve.

(c) The most rapid anterior and posterior motion of the echo (D'-E and B-Co) represented the exact valve motion and it was suggested that Co point (the termination of the last rapid posterior motion) represented the termination of the A-V valve closure.

2. Pulmonic valve (PV) in pulmonary hypertension : The onset of the initial posterior motion of the echo (b point) preceded pulmonic VOH by 80msec, and the echo between b and PV VOH represented the motion of basal portion of the valve preceding PV opening. The termination of the final anterior motion (e point) coincided with the dicrotic notch of the pulmonic pressure curve.

3. Aortic valve (AV): Aortic VOH coincided with echocardiographic valve opening, and dicrotic notch of the aortic pressure curve followed echocardiographic valve closure by 10 msec. AV echo showed the exact timing of AV opening and closure.

### Key words

echocardiography  
intracardiac pressure  
Millar catheter tip transducer  
transeptal method  
valve opening and closure

### はじめに

胸壁より記録される弁エコーは、弁自体の開放閉鎖に伴う動きのみでなく、収縮拡張に伴う弁輪の運動や心臓全体の動きを反映している。

弁開放閉鎖は、弁上下流の心内圧交叉時点から開始すると考えられるので、<sup>1)-4)</sup> 時間的ずれのない方法で、弁エコーと弁上下流圧を同時記録する事により、弁動態の時間的経過、とくに開放閉鎖の時期について考察した。

### 対象および方法

対象は以下の5症例で、弁上下流の圧と同時記録したもののうち、良好に記録された僧帽弁3例、および三尖弁、肺動脈弁、大動脈弁各1例の弁エコーについて検討した。

症例 I 僧帽弁狭窄 (MS)+心房細動 (a.f.) 術後  
……僧帽弁 (MV) **Figure 1**

症例 II 僧帽弁閉鎖不全兼狭窄 (MIS)+心房細動 (a.f.)……僧帽弁 (MV) **Figure 2**

症例 III 心室中隔欠損 (VSD)……僧帽弁 (MV)  
**Figure 3**

症例 IV 心室中隔欠損 (ASD)+肺高血圧 (PH)

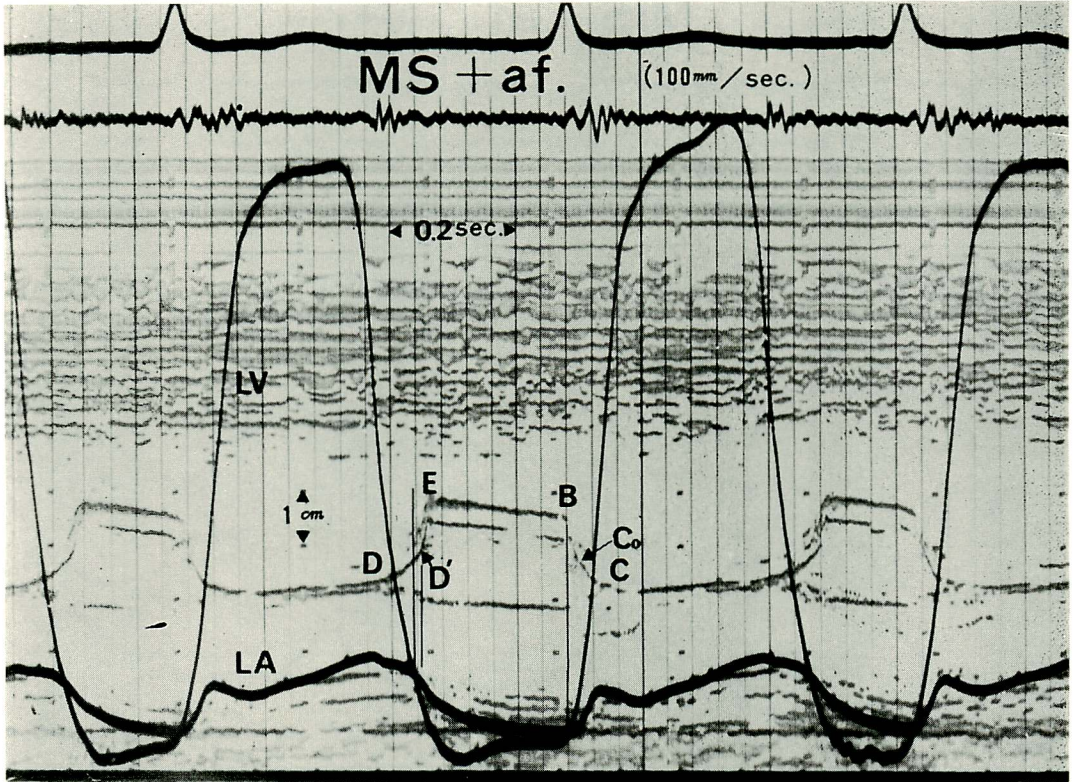
……三尖弁 (TV) **Figure 4**

肺動脈弁 (PV) **Figure 5**

症例 V 僧帽弁閉鎖不全 (MI)……大動脈弁 (AV) **Figure 6**

UCG は、S.K.I. EKOLINE 20A で、2.25 MHz 直径 0.5 inch の unfocused transducer を用い、胸骨左縁第3～第4肋間に探触子を置き、MV、TV は、前尖エコーの最も振幅の大きいところおよび前後尖エコーの同時に得られた位置で記録した。同様に PV は後尖エコーの後方運動が最大となった位置で、AV は弁エコーが boxlike に得られた位置で記録した。

圧記録は、すべて Millar catheter tip transducer を用い、TV、PV、AV については、catheter 挿入後心内で、また MV については catheter 挿入直前に感度調節を行った。MV に関して、MS、MIS の2症例では経中隔法により得られた左房圧と、また VSD 症例では卵円孔より挿入した catheter により得られた左房圧と大動脈より逆行性に挿入した catheter により得られた左室圧を同時記録した。圧および UCG は Electronics for Medicine VR-6 にて、紙送り速度 50 ないし 100 mm/sec で記録し、計測は 100 mm/sec 記録で行った。



**Figure 1. Simultaneous recording of electrocardiogram (ECG), phonocardiogram (PCG) and echocardiogram (UCG) of the anterior and posterior leaflets of the mitral valve with left ventricular (LV) and left atrial (LA) pressures. Case 1: MS, af., post ope.**

Note that MVOH (hemodynamic mitral valve opening: the intersection of LV and LA pressures in early diastole) precedes the onset of the most rapid anterior motion of the ECHO (D' point) by 20 msec, and MVCH (hemodynamic mitral valve closure: the intersection of LV and LA pressures in early systole) coincides with the onset of the final posterior motion of the ECHO (B point).

弁エコー図上、各変曲点は、房室弁に関し、  
 D: 最初の前方運動開始点あるいは前後尖エコーの離れ始める点  
 D': 最も急峻な前方運動開始点  
 E: 前尖エコーの最大前方偏位点  
 B: 弁閉鎖に向う後方運動開始点  
 Co: 急峻な後方運動終了点  
 C: 最大後方偏位点あるいは前後尖エコーの合致点  
 とした。肺動脈弁に関しては、  
 b: 弁開放に向う最初の後方運動開始点

e: 弁閉鎖に向う最後の前方運動終了点とした。

大動脈弁に関しては、両弁合致点をエコー上の弁開放開始点、弁閉鎖終了点とした。

これら弁エコー図上の諸点と、圧記録における弁開放に関与する弁上下流の圧交叉点 VOH (hemodynamic valve opening), および弁閉鎖に関与する圧交叉点 VCH (hemodynamic valve closure) との時間的關係を検討した。計測に際しては、a.f. 例では 30 拍を、洞調律例では 10 拍をそれぞれ平均し、結果とした。

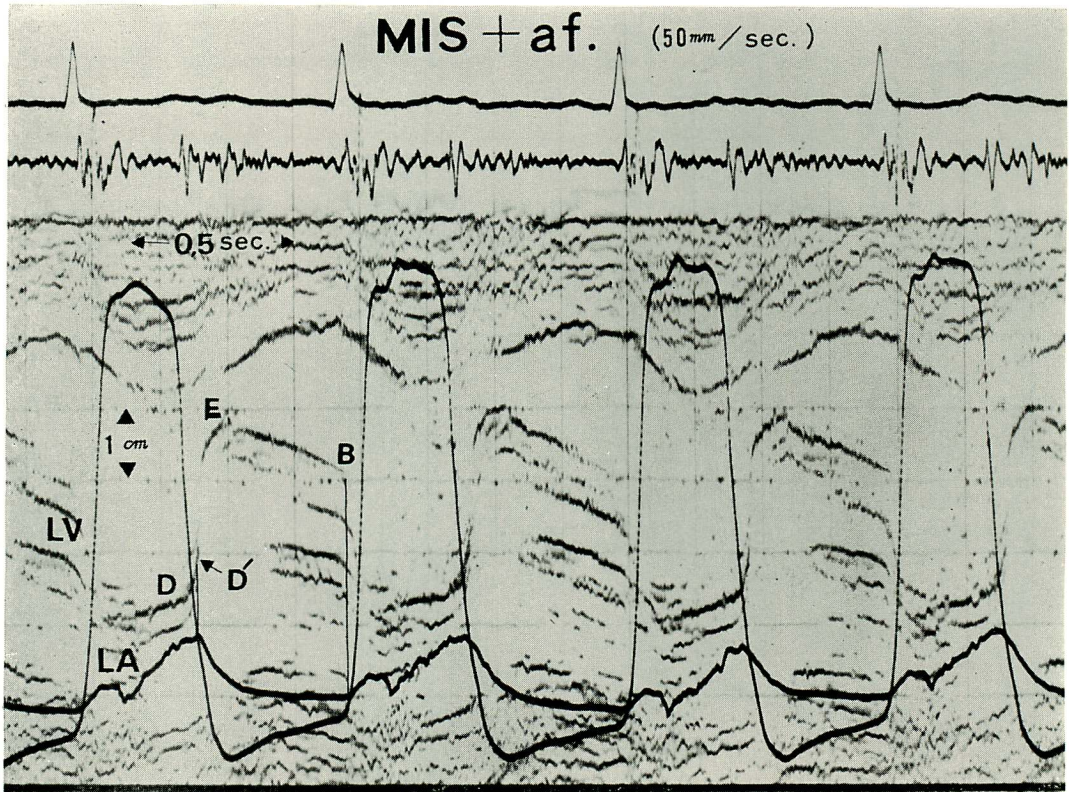


Figure 2. Simultaneous recording of ECG, PCG and UCG of the anterior and posterior leaflets of the mitral valve with LV and LA pressures. Case 2: MI with MS, af.

Note that MVOH and MVCH coincide with D' and B points, respectively.

## 結 果

### 1. MV (症例 1~3) (Figures 1~3)

a) 弁開放に關与する左室圧左房圧交叉点 MV OH (hemodynamic mitral valve opening) は, 症例 1~3 でいずれも D 点より遅れたが, その時間差は, それぞれ平均 55 msec (35~70 msec), 60 msec (45~75 msec), 42 msec (40~45 msec) であった。

また, MVOH は, 症例 1 において, D' 点に平均 20 msec 先行したが, 症例 2, 3 では, ほぼ一致した。

b) D 点から MVOH 間のエコー前方偏位は, 僧帽弁膜症例 1, 2 において, 最大振幅 (D~E 間

の距離) の 25% を占めたのに対し正常僧帽弁と思われる症例 3 では 17% であった。

c) 弁閉鎖に關与する左室圧左房圧交叉点 MV CH (hemodynamic mitral valve closure) は, 3 症例とも B 点とほぼ一致し, Co, C 点に先行したが, 平均 MVCH-Co 時間は, 症例 1 で 25 msec (20~40 msec), 症例 3 で 23 msec (20~25 msec) であった。また, 平均 MVCH-C 時間は, 症例 1 で 60 msec (45~80 msec), 症例 3 で 35 msec (30~40 msec) であった。

d) a.f. を有する症例 2 において, MV 前尖の弁後退速度 DDR (diastolic descent rate) は, 先行 R-R および同周期における拡張流入期圧較差とも有意の相関が認められなかった (Figure 7

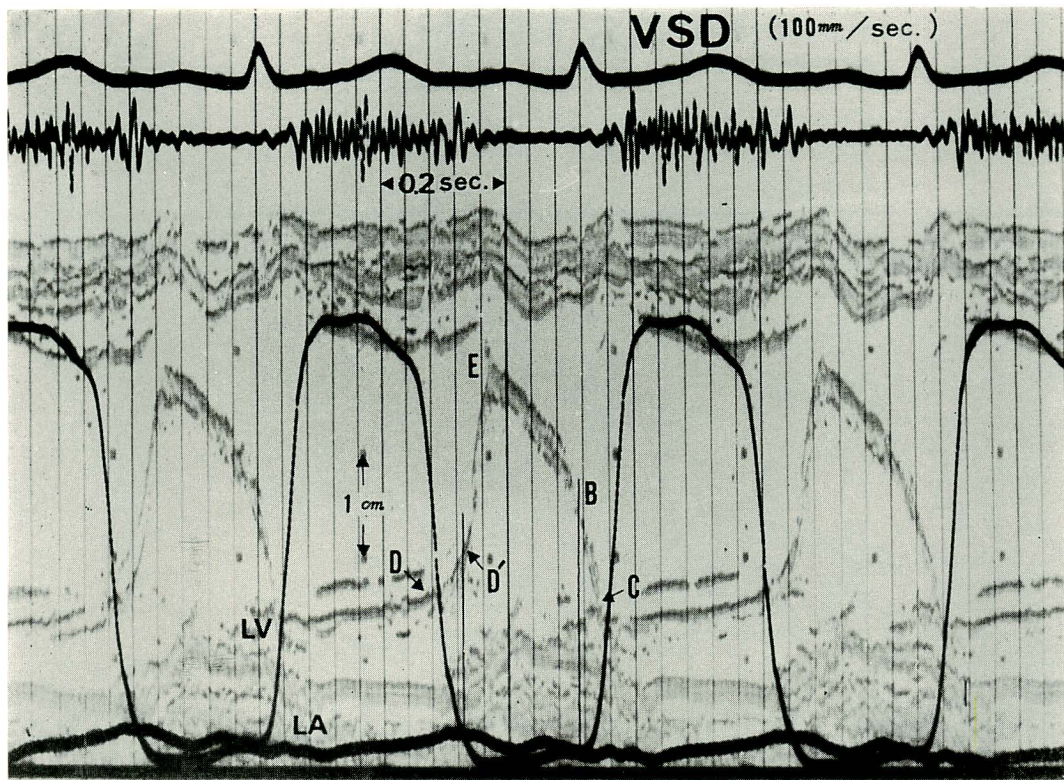


Figure 3. Simultaneous recording of ECG, PCG and UCG of the anterior and posterior leaflets of the mitral valve with LV and LA pressures. Case 3: VSD.

Note that MVOH and MVCH coincide with D' and B points respectively.

1, 2).

2. TV (症例 4) (Figure 4)

弁開放に関与する右室圧右房圧交叉点 TVOH (hemodynamic tricuspid valve opening) は、D 点より平均 65 msec (60~70 msec) 遅れ、D' 点とほぼ一致した。D 点から TVOH 間のエコー前方偏位は、最大振幅の 25% を占めた。

弁閉鎖に関与する右室圧右房圧交叉点 TVCH (hemodynamic tricuspid valve closure) は、B 点とほぼ一致し、Co 点に平均 65 msec、C 点に平均 90 msec 先行した。

3. PV (症例 4) (Figure 5)

弁開放に関与する肺動脈圧、右室圧交叉点 PV OH (hemodynamic pulmonic valve opening) は、

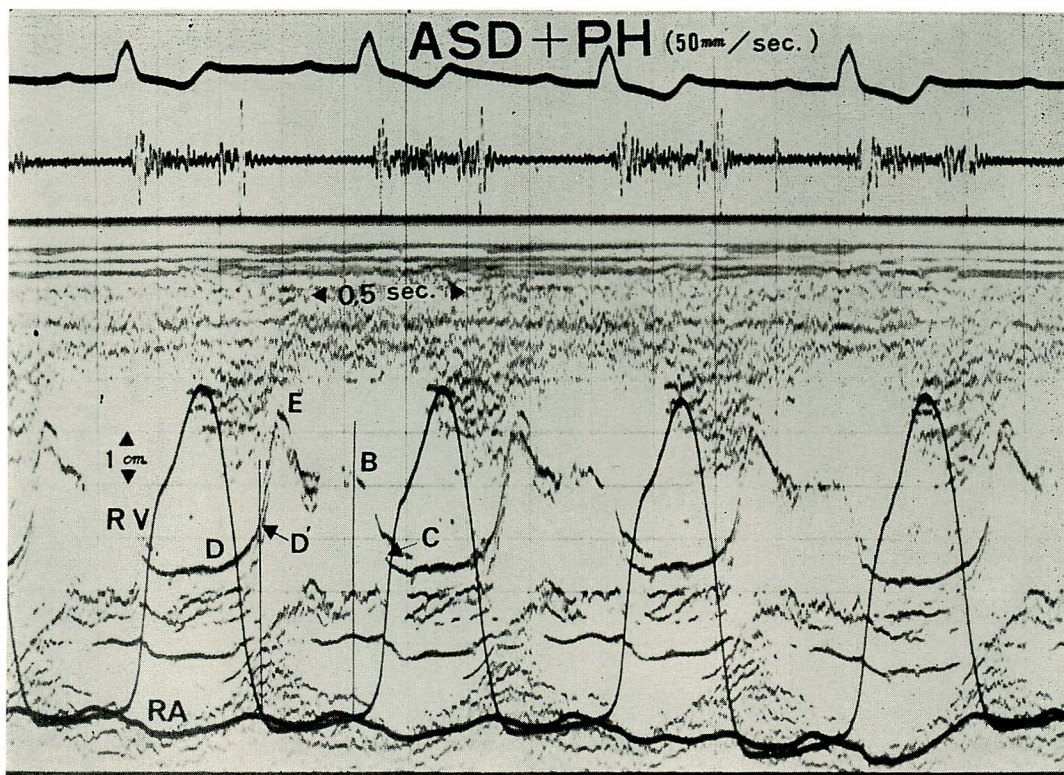
b 点より平均 80 msec (70~85 msec) 遅れた。

収縮終期に圧較差が無くなり、圧が下降する時期にエコーは弁閉鎖に向う前方運動を示した。また、肺動脈圧切痕は、e 点および、心音図上 IIP と一致した。

4. AV (症例 5) (Figure 6)

弁開放に関与する大動脈圧、左室圧交叉点 AV OH (hemodynamic aortic valve opening) は、エコー上の弁開放開始点と一致した。

収縮終期に圧較差が無くなった時期にエコーは、弁閉鎖に向う後方運動を示した。また、大動脈圧切痕は、エコー上の弁閉鎖終了点より平均 10msec 遅れた。



**Figure 4. Simultaneous recording of ECG, PCG and UCG of the anterior and posterior leaflets of the tricuspid valve with right ventricular (RV) and right atrial (RA) pressures. Case 4: ASD + PH.**

Note that TVOH (hemodynamic tricuspid valve opening: the intersection of RV and RA pressures in early diastole) and TVCH (hemodynamic tricuspid valve closure: the intersection of RV and RA pressures in early systole) coincide with D' and B points respectively.

### 考 案

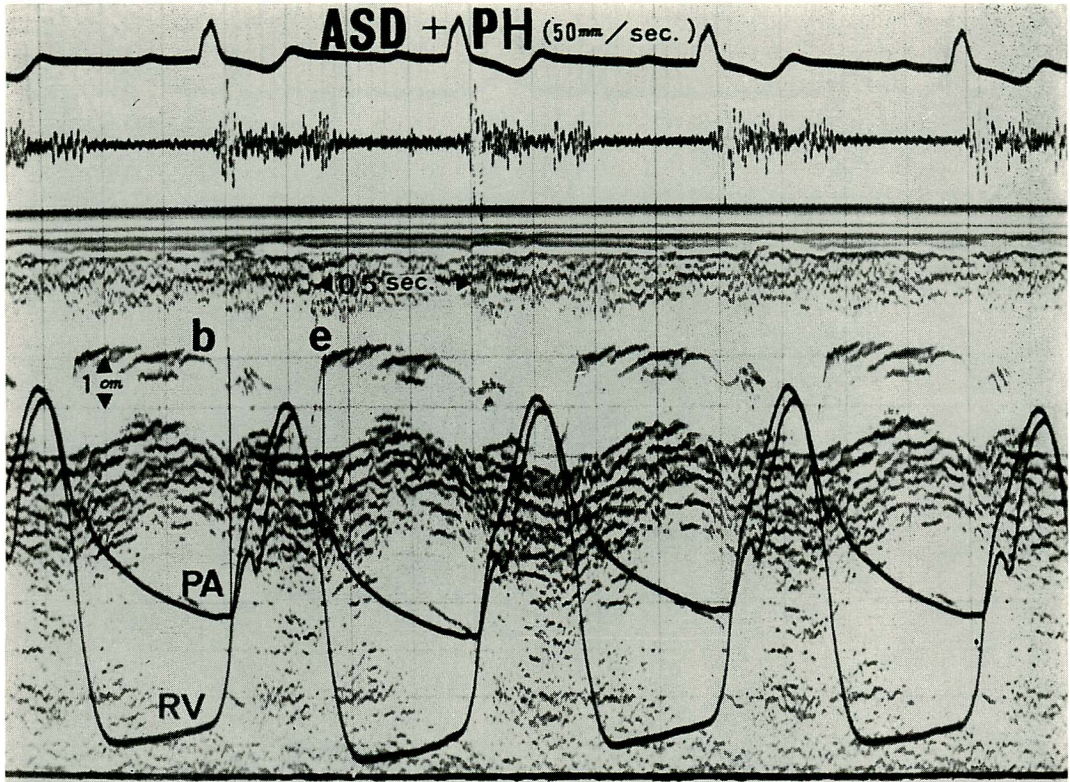
従来より, 弁動態解析上, 心内圧と UCG 同時記録が有用視され, 二, 三, 報告されているが, 5)-7) 圧記録が fluid filled catheter によるもので時間遅れの問題が残ったり, 左房圧が肺動脈楔入圧で代用されたりしており, 必ずしも十分な検討が加えられているとはいえない。

我々は, 最近通常のカテーテル施行時に時間遅れのないカテ先マンオメーターを使用し, 心内圧現象と弁開放閉鎖に関する情報をより正確に分析している。

2本の catheter tip を用いた経中隔法による左

室圧左房圧同時記録が最近報告されているが,<sup>8)</sup> 今回我々は, 2例の僧帽弁膜症例で経中隔法を施行し,<sup>9)</sup> VSD 症例では卵円孔より挿入した catheter により左房圧を記録した。圧交叉点は, 拡張期圧較差の明らかな僧帽弁狭窄症例でより明確であった。

心内圧交叉を考える場合, 圧記録の際の drift が問題となるが, 今回 TV, PV, AV については, UCG 記録直前に心内にて感度調節を行ったので drift はないと考えられる。しかしながら, MV については catheter 挿入直前に感度調節を施行せざるを得なかったため, 挿入後に多少の drift が生ずる可能性は否定出来ない。



**Figure 5. Simultaneous recording of ECG, PCG and UCG of the posterior leaflet of the pulmonic valve with pulmonary arterial (PA) and right ventricular (RV) pressures. Case 4: ASD+PH.**

Note that PVOH (hemodynamic pulmonic valve opening: the intersection of PA and RV pressures in early systole) follows the onset of initial posterior motion of the ECHO (b point) by 80 msec, and dirotic notch of the PA pressure coincides with the termination of the final anterior motion of the ECHO (e point).

今回対象とした症例は、僧帽弁膜症、先天性心疾患症例であり、それぞれ弁エコー上、特異的なパターンを持つと考えられる。したがって、それらの病態を考慮した上で、以下の考察を行った。

1. MV エコーに関して (Figures 1~3)

MVOHはD点より平均42~60 msec遅れた。従って、心内圧交叉時点より後に弁開放が始まると考えると、D点よりMVOHまでのエコー前方偏位は、弁開放以前のMV基部膨隆運動あるいは、心臓全体の動きを反映していると思われる。

Edlerら<sup>10)</sup>は、S1Aは、D点に平均25 msec先行すると報告したが、我々の3症例では、いず

れもD点は、S1Aの後10 msec以内であった。したがって、我々の結果からは、D点からMVOHまでの時間は、UCGと心内圧から計測し得る等容弛緩期IRP (isovolumic relaxation period) と考えられた。この間(IRP)のエコー前方偏位は、MVが正常と思われるVSD症例よりもMIS、MS症例で大であった。この結果は、僧帽弁膜症、とくにMS症例の弁開放に至るまでの弁基部膨隆運動が、正常例に比し大きい事によるものと考えられた。

Rubensteinら<sup>6)</sup>は、最近14症例の正常MV運動に関し、D'、Co点をエコー上弁開放開始、弁

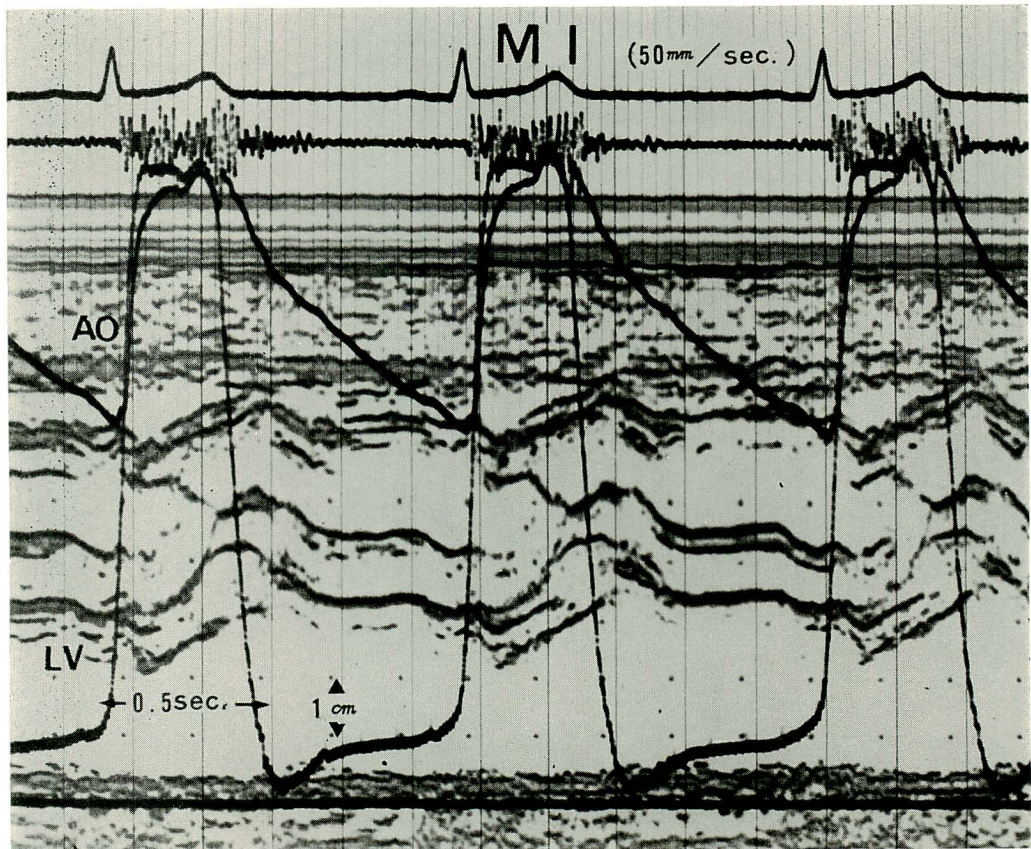


Figure 6. Simultaneous recording of ECG, PCG and UCG of the aortic valve with aortic (AO) and left ventricular (LV) pressures. Case 5: MI.

Note that AVOH (hemodynamic aortic valve opening: the intersection of AO and LV pressures in early systole) coincides with the opening point of the ECHO, and dicotic notch of the AO pressure follows the closing point of the ECHO by 10 msec.

閉鎖終了点と考え, fluid filled catheter による心内圧と UCG を同時記録したが, 心内圧交又点は, D', Co 点にそれぞれ 27~33 msec, 18~37 msec 先行したと報告した. また, Pohost ら<sup>1)</sup>は, 10 頭の犬で MV 前後尖先端に clip を装着し, cine-roentgenography と心内圧, UCG を同時記録し, MV 開閉に関する時間的關係を検討した. その結果, 心内圧交又とほぼ同時に弁開閉が起こり, 心内圧交又点は, D', Co 点にそれぞれ 17~33±7.6 msec, 25±10 msec 先行したと報告した.

今回, 我々の 3 症例では, catheter tip を用い記録した左室圧左房圧交又点は, D' 点にほぼ一致か平均 20 msec 先行した. この時間差は Pohost からも指摘したごとく, MV の開閉は瞬間的に起こるのではなく, 数 10 msec の時間を要し, 不均一であるという事実と, ビームの方向によってエコーが弁のどの場所をとらえているのかが異なり, 影像も変わり得るものである事を考慮すると, 当然生ずる差であると思われる. したがって, D' 点はエコー上僧帽弁開放開始点と考えられた.



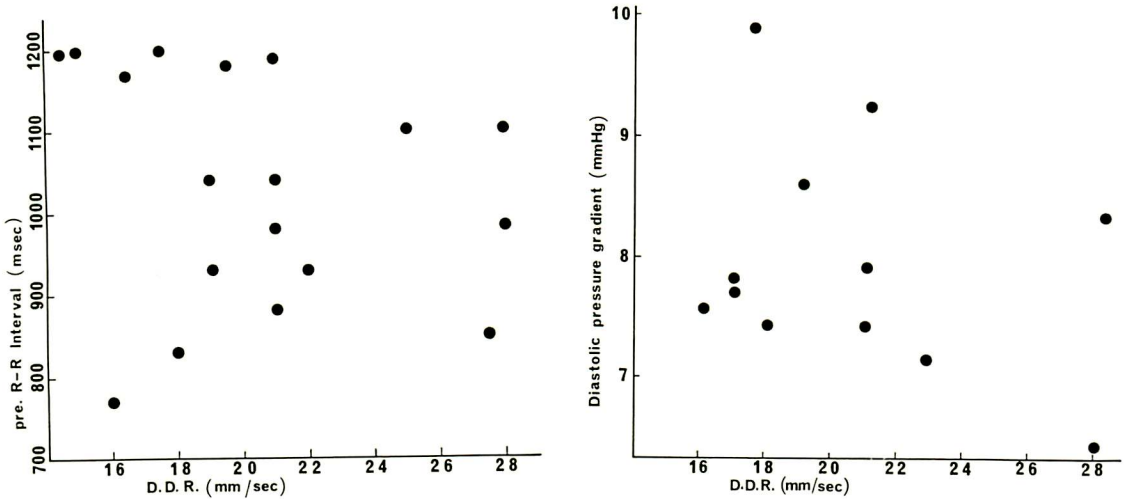


Figure 7. The relation between diastolic descent rate (DDR) of the anterior mitral valve ECHO and preceding R-R interval (left). The relation between diastolic descent rate (DDR) of the anterior mitral valve ECHO and diastolic pressure gradient during the same diastolic phase (right). Case 2: MI with MS, af.

Co 点が、僧帽弁閉鎖終了を表わすか否かについては、今回の我々のデータからだけでは十分に明らかに出来ない。

Laniado ら<sup>11)</sup> は最近 20 頭の犬を用い、心内圧と僧帽弁口血流量および cinefluorography の同時記録を施行、弁運動に関するそれらの時間的關係について検討した。その結果、心内圧交叉から、血流が停止し、弁が完全閉鎖するまでの時間は 20~40 msec であったと報告した。この報告と、我々の症例における心内圧交叉点から Co 点までの時間が平均 25 msec であった事実が一致している事から判断すると、Co 点が弁閉鎖終了点であると考えらるのに妥当性があると思われる。

そこで、af. を有する症例 1 において、心内圧より計測した I.R.P. HEMO (SIIA より MVOH までの時間) と、エコーより計測した I.R.P. ECHO (D から D' 間の時間) には、 $r=0.89$ ,  $p<0.01$  と有意の相関が認められた (Figure 8-1)。

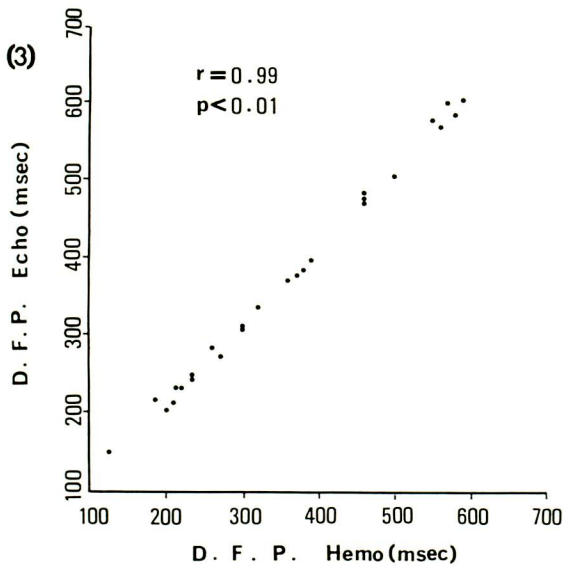
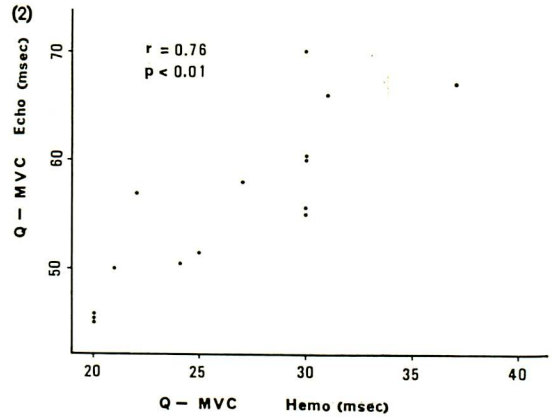
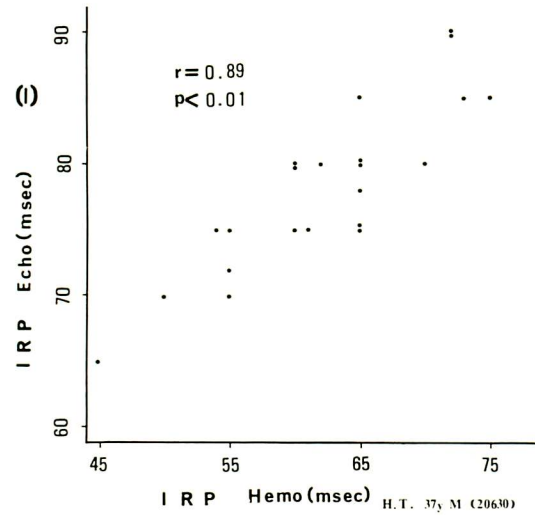
同様に心電図上 Q 波の始まりから、心内圧より計測した MVCH までの時間 Q-MVCH と、エコーより計測した MVCECHO (echocardiographic

mitral valve closure; エコー上の Co 点) までの時間 Q-MVCECHO も  $r=0.76$ ,  $p<0.01$  と有意の相関を認めた (Figure 8-2)。

拡張流入期 D.P.F. HEMO (hemodynamic diastolic filling period) は、MVOH から MVCH までの時間で計測されるが、エコー上 D' 点から Co 点までの時間を D.F.P. ECHO とすると、両者は、 $r=0.99$ ,  $p<0.01$  と相関し、 $D.F.P. ECHO = D.F.P. HEMO + 5 \text{ msec}$  の関係を示した (Figure 8-3)。

これらの結果は、弁閉鎖をエコー上で知る指標として、D', Co 点が有用である事を示唆している。

B 点と MVCH は 3 例ともほぼ一致し、B 点をもって弁閉鎖開始点と考えてよいと思われる。Laniado ら<sup>3)</sup> は 17 頭の犬で僧帽弁口血流量を測定し、最大血流は E 点より平均 44 msec 遅れた時点で得られ、E 点では最大血流量の 82.4% であったと報告した。また E 点と opening snap が一致する事、<sup>12)13)</sup> Kostis ら<sup>2)</sup> の Doppler 法による検討等から、E 点をもって MV 前尖最大開放点と考えて良いと思われる。すなわち、D' 点から E



**Figure 8. Relation between hemodynamic and echocardiographic intervals.**

- 1) Isovolumic relaxation period (IRP)
  - 2) Q-mitral valve closure interval (Q-MVC)
  - 3) Diastolic filling period (DFP)
- Case 1: MS, af., post-ope.

点, B点から Co 点までの急峻なエコー運動が実際の弁尖運動を反映していると考えられる。

## 2. TV エコーに関して

TV エコーは, 通常その全体をとらえにくく, 得られた例でもそれが最大振幅を表わしているか

否かに疑問があり, MV と同等の評価はしにくい。しかし, 我々の 1 例に関して云えば, 弁エコーの形の上からは, 心内圧との対比において, おおむね MV と同様の結果を得た。したがって MV と同様に TV においても D' 点が弁開放開始を, E 点

が弁最大開放を表わしており、B 点が弁閉鎖開始、Co 点が弁閉鎖終了を示していると考えられる (Figure 4)。

MV に比し、D 点—TVOH, TVCH—C 点時間は、大であった。これは超音波ビームの入射角度の差の他に、弁自体の特性として、三尖弁と二尖弁の差あるいは、右心系と左心系の圧較差の相異等により生じたと考えられる。

### 3. PV エコーに関して

Catheter tip による肺動脈圧、右室圧同時記録の報告はあるが、<sup>14)</sup> PV エコー運動と心内圧の関係について検討した報告はほとんど見られない。

Figure 5 に示すごとく、ASD+PH 症例では、PV エコーグラム上、PH に特徴的とされる<sup>15)</sup> 収縮期の notch 形成を認めた。

PVOH は、b 点より平均 80 msec 遅れ、PVO H-b 点間のエコー後方偏位は、弁開放以前の弁運動を反映していると考えられる。しかし、エコー上、弁開放開始点は明確にし得なかった。また、収縮終期に肺動脈圧と右室圧較差が無くなった時期より 10 msec 以内にエコーは閉鎖に向う前方偏位を示しており、この前方偏位の開始は、実際の弁閉鎖開始を表わすと思われる。

肺動脈圧切痕は、e 点および Iip と一致し、実際の弁閉鎖終了は、e 点あるいは、それ以前にあると考えられる。我々の症例が PH であることから、正常 PV の場合、e 点が肺動脈圧切痕に先行する可能性は十分に考えられる。

### 4. AV エコーに関して

Figure 6 に示すごとく、AVOH は、エコー上弁開放開始点と一致しており、AV エコーは、AV の実際の開放開始を表わしていると考えられる。また、収縮終期に大動脈圧左室圧較差が無くなった時期より 10 msec 以内に、エコーはゆっくりした閉鎖に向う後方運動を示しており、これは弁エコーの後方偏位開始が、実際の弁閉鎖開始を表わしている事を示唆している。

Anastassiades ら<sup>16)</sup> は、catheter tip による、大動脈圧、左室圧と UCG の同時記録を報告して

いるが、エコー上弁閉鎖は、大動脈圧切痕部より 10 数 msec 先行している。また、MacCanon ら<sup>17)</sup> は、大動脈弁閉鎖は、大動脈圧切痕より 5~13 msec 先行したと報告した。我々の例では、エコー上の弁閉鎖点は、大動脈圧切痕より平均 10 msec 先行しており、彼等の報告と一致している。これらの結果は、エコー上の弁閉鎖点が実際の弁閉鎖終了を表わしている事を示持するものであり、これは、大動脈が比較的固定されており、弁上下流圧較差が大きい事によるものと考えられる。

以上各弁エコーの開放閉鎖時期と心内圧の時間的關係について考察したが、以上の所見以外にも弁動態を検討する上で有用な種々の知見が得られた。その 1 つに僧帽弁膜症の弁後退速度 (DDR) の問題がある。すなわち、症例 2 の MIS+a.f. 例において DDR と先行 R-R および、同周期における拡張流入期圧較差の間に有意の相関が認められなかったのは (Figure 7-1, 2)、僧帽弁膜症における DDR は、圧較差や心拍数よりも、弁自体の硬さ等の性質と関与が深いためと考えられる。

## 結 語

1) 弁エコーグラムは、弁尖の運動のみならず、弁開放閉鎖前後の弁基部の動き等を反映している。

2) 房室弁エコーグラムで、最も急峻な前～後方運動が実際の弁尖運動を反映し、急峻な前方運動開始点 (D' 点) が弁開放開始を、弁閉鎖に向う後方運動開始点 (B 点) が弁閉鎖開始を表わしている。また、急峻な後方運動終了点 (Co 点) が弁閉鎖終了を表わしていると考えられる。

3) PH における肺動脈弁エコーは、実際の弁開放以前の急峻な弁後方運動を示す部分が長い。また、肺動脈圧右室圧交叉との関係において、エコー上の弁開放開始点は明確にし得なかった。

エコー上の弁閉鎖は、圧交叉から考えられる弁閉鎖と時間的に一致した。

4) 大動脈弁エコー上の弁開放閉鎖は、大動脈圧左室圧交叉から考えられる弁開放閉鎖と時間的に一致した。

5) UCG を時間遅れのない方法で得られた心内圧と同時記録する事により, さらに弁エコーを正確に解析出来, 心疾患診断法としての UCG に有力な裏付けを与え, UCG の臨床的意義をさらに高めるものと思われる。

#### 文 献

- 1) Pohost GM, Dinsmore RE, Rubenstein JJ, O'Keefe DD, Grantham RN, Scully HE, Beierholm EA, Frederiksen JW, Weisfeldt ML, Daggett WM: The echocardiogram of the anterior leaflet of the mitral valve. *Circulation* **51**: 88, 1975
- 2) Kostis JB, Fleischmann D, Bellet S: Use of the ultrasonic Doppler method for timing of valvular movement. *Circulation* **40**: 197, 1969
- 3) Laniado S, Yellin E, Kotler M, Levy L, Stadler J, Terdiman R: A study of the dynamic relations between the mitral valve echogram and phasic mitral flow. *Circulation* **51**: 104, 1975
- 4) Sarnoff SJ, Gilmore JP, Mitchell JH: Influence of atrial contraction and relaxation on closure of mitral valve. *Circulat Res* **11**: 26, 1962
- 5) Zaky A, Nasser WK, Feigenbaum H: A study of mitral valve action recorded by reflected ultrasound and its application in the diagnosis of mitral stenosis. *Circulation* **37**: 789, 1968
- 6) Rubenstein JJ, Pohost GM, Dinsmore RE, Harthorne JW: The echocardiographic determination of mitral valve opening and closure. *Circulation* **51**: 98, 1975
- 7) Effert S: Pre- and postoperative evaluation of mitral stenosis by ultrasound. *Amer J Cardiol* **19**: 59, 1967
- 8) Reddy PS, Curtiss EI, Salerni R, O'Toole JD, Griff FW, Leon DF, Shaver JA: Sound pressure correlates of the Austin Flint murmur. *Circulation* **53**: 210, 1976
- 9) 小藤田敬介, 水野 明, 小林寛伊, 布施勝生, 三枝正裕: Flow-directed catheter を応用した経中隔左心カテーテル法. *心臓* **5**: 49-52, 1973
- 10) Edler I: Ultrasoundcardiography in mitral valve stenosis. *Amer J Cardiol* **19**: 18, 1967
- 11) Laniado SL, Yellin EL, Miller H, Frater RWM: Temporal relation of the first heart sound to closure of the mitral valve. *Circulation* **47**: 1006, 1973
- 12) Friedman NJ: Echocardiographic studies of mitral valve motion. *Amer Heart J* **80**: 177, 1970
- 13) Millward DK, Mclaurin LP, Craige E: Echocardiographic studies to explain opening snaps in presence of nonstenotic mitral valves. *Amer J Cardiol* **31**: 64, 1973
- 14) Shaver JA, Nadolny RA, O'Toole JD, Thompson ME, Reddy PS, Leon DF, Curtiss EI: Sound pressure correlates of the second heart sound. *Circulation* **49**: 316, 1974
- 15) Weyman AE, Dillon JC, Feigenbaum H, Chang S: Echocardiographic patterns of pulmonic valve motion with pulmonary hypertension. *Circulation* **50**: 905, 1974
- 16) Anastassiades PC, Quinones MA, Gaasch WH, Adyanthaya AV, Waggoner AD, Alexander JK: Aortic valve closure; echocardiographic, phonocardiographic and hemodynamic assessment. *Amer Heart J* **91**: 228, 1976
- 17) MacCanon DM, Arevalo F, Meyer EC: Direct detection and timing of aortic valve closure. *Circulat Res* **14**: 387, 1964