

## 心音・心エコー図法

## Phonoechocardiography

一安 弘文  
坂本 二哉

Hirofumi ICHIYASU  
Tsuguya SAKAMOTO

**Summary**

The ability of echocardiography to trace accurately the movement of the cardiac structures without significant time lag has provided a new opportunity to approach to the problems concerning the genesis of the heart sounds. The present report has the main purpose to elucidate the same problem.

As far as *the first heart sound* is concerned, the phonoechocardiographic study favors an important role for the contraction of the left ventricle in the production of the introductory low frequency vibrations of this sound. The closure of the mitral valve coincided with the onset of the high frequency component in many, but not all, cases (69%). In about one third of cases, the time relationship was not fixed. There was no clearly demonstrable time relationship between the second high frequency component of this sound and the movement of the definite cardiac structures. Thus, the unitarian theory cannot be tolerated to explain the whole figure of the genesis of the first heart sound.

As to *the second heart sound*, there was a gap between the closure of the aortic valve and the sound and this delay of the sound was conspicuous in the pulmonic component unless pulmonary hypertension is present. Deceleration of blood in the root of the great arteries and compliance of the vascular tree are probably responsible for the delay of the acoustic phenomena.

*Ejection sounds* of great arteries appeared to occur synchronously with the full opening of the respective semilunar valve in the presence of high arterial resistance (systemic artery and pulmonary hypertension), and slightly delayed to the opening in cases with normal pulmonary artery pressure.

The possible role of valve movements in the genesis of *the third and fourth heart sounds* could be discarded, and the present report disclosed the close chronological relationship between the diastolic heart sounds and the sudden check point of either interventricular septum or posterior wall of the left ventricle or both, suggesting that the abruptly arrested momentum of moving blood mass will cause the vibration in the relaxed cardiohemic system.

*The opening snap* and *systolic click* in the mitral valve disease occurred simultaneously with the achievement by the valve of a full open-position and full prolapsed position, respectively. However, systolic click may occur simultaneously with the onset of prolapse or at any points between the onset and the end of prolapse, and this seemed to imply that the sound from single scallop may be masked by the whole process of the prolapse of the valve apparatus.

*Tumor plop* of left atrial myxoma and *clicky sounds of the artificial prosthetic valves* appeared to occur coincident with the sudden halt of the movement of the structures.

At the present time, the loud "*sail sound*" in Ebstein's anomaly could not be precisely related to the closure of the tricuspid valve. *The knock sound* of constrictive pericarditis had a relation to the motion of the interventricular septum, but further experience will be needed to establish the relationship.

東京大学医学部 第二内科  
東京都文京区本郷 7-3-1 (〒113)

The Second Department of Internal Medicine, Faculty of Medicine, University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113

Presented at the 13th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, September 25-26, 1976

Received for publication November 8, 1976

These observations seem to confirm the validity of some of the classic concept on the one hand, particularly the concept of acceleration and deceleration theory of Rushmer, but give the promise of providing much additional new informations concerning the genesis of the heart sound on the other hand. However, difficulty is still present to solve the problem even by the use of phonoechocardiography at the present time.

**Key words**

First heart sound                      Second heart sound                      Ejection sound                      Third and fourth heart sounds  
 Sail sound                      Knock sound                      Opening snap                      Systolic click                      Tumor plop                      Artificial  
 valve sounds

はじめに

近年, 心エコー図法の発達により, 再度, 心音発生に関する研究が行われるようになった<sup>1,2)</sup> 本論文では各心音について, 始めに心エコー法以前の時代, つまり心カテーテル, 心アンジオ, その他の方法による心音発生論にふれ, 次に心エコー図出現によりいかにその概念が変化させられ, 又はその妥当性が確認されたかにつき述べ, さらに今後に残された問題点につき, 我々の研究成績を中心に述べる. なお, 「心雑音」については紙面の関係上割愛する.

心音全体について言えることであるが, 心室又は心房収縮の結果生じる blood mass motion の acceleration 又は deceleration が, 血液, 左室壁, mitral complex, その他すべてを包含した心血液系 (cardiohemic system) の vibration を惹き起こし, 心音を発生させるという Rushmer の仮説<sup>3)</sup> は, それが仮説であるにせよ, 広く認められていると思われる. 現在論争の的になっているのは vibration の部位が弁膜系なのか, 心室壁又は動脈壁なのかという振動源と, 心周期における心音発生の時期である<sup>4-6)</sup>. この両者は表裏一体の問題であり, 同一の検討により解決されると思われるが, この点, 心エコー図法は一つの最適な手段といえる.

対象と方法

対象は Table 1 に示すごとく, 各種心疾患例ならびに正常例で, それぞれ選択された症例につ

Table 1. Materials

	total
First Heart Sound	45 ( 4)
Second Heart Sound <sup>7)</sup>	69 ( 0)
Ejection Sound <sup>8)</sup>	8 ( 0)
Third Heart Sound <sup>9)</sup>	36 ( 6)
Fourth Heart Sound <sup>9)</sup>	56 (10)

Number in parenthesis is normal control.

き, 心エコー図, 心音図 (low frequency: 50 Hz/6 dB 又は medium-high frequency: 200 Hz/24 dB), 心電図を, 高速度 strip chart recorder (紙送り速度 100 mm/sec) にて同時記録し, 各種心音と心内構造物の動きとの時間的關係を検討した. 使用した心エコー計は主として Aloka SSD 90 および 100 である. トランスジューサーには 2.25 MHz, 10φ の平面探触子を使用した.

個々の心音に関する考察——従来の成績と著者らの検討

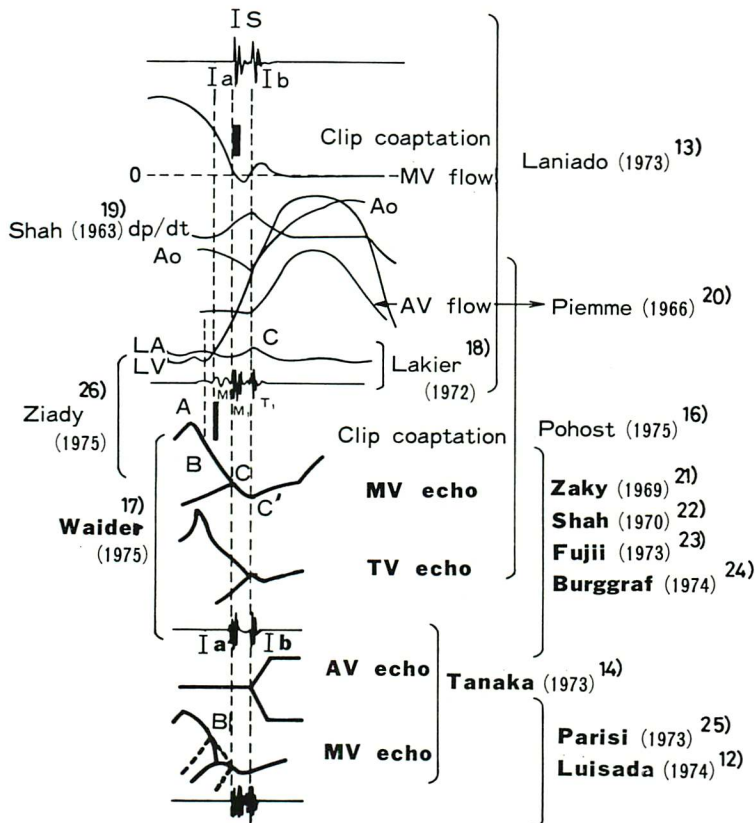
1. I 音 (first heart sound)

1) 従来の考え:

I 音の成因に関する研究が心音図学上もっとも困難なものであると言われるのは, その音が各種の複雑な振動群より構成されているためである. ここでは I 音の構成成分を低調成分および 2 つの高調成分に分けて論じる.

まず高調成分について, 現在までの考え方としては, 第 1 高調成分 (Ia) が僧帽弁の振動に由来し, 一方, 第 2 高調成分 (Ib) は三尖弁の振動によるという弁膜説を唱える Dock<sup>10)</sup> や Leatham<sup>11)</sup> の

## The First Heart Sound



**Fig. 1. Schema of the time relationship among the first heart sound, hemodynamics and the motion of the heart valves.**

Review of the articles with regard to the genesis of the first heart sound is summarized in this schema.

The authors studied the genesis of the heart sound by echocardiography are expressed by gothic letter in this and the succeeding schemata.

Waider and Craige demonstrated that the C point of the mitral valve (MV) echogram occurred at the time of  $M_1$  and the C point of the tricuspid valve (TV) echogram coincided with  $T_1$ . On the other hand, Luisada showed the echocardiogram in which the B point of the echogram slightly preceded the first high frequency component (Ia) of the first heart sound, and thought that the mitral valve closure occurred from the point A. Tanaka et al reported that the C point which corresponds to the end of the abrupt descent of the mitral echogram indicated the onset of the recoil of the mitral valve after the closure in early systole and coincided with the beginning of the early component of the first heart sound. He also reported that the second component was coincident with the opening of the aortic valve. Laniado et al demonstrated that the first major component (Ia) coincided with two simultaneous events; cessation of the mitral flow and closure of the valve. Piemme et al stated that the second component (Ib) coincided with the onset of the aortic valve flow (AV flow). Lakier et al showed that the soft low pitched vibration (M) was frequently observed at the point of cross-over of the left ventricular (LV) and left atrial (LA) pressures.

学派があり, 他方 Luisada 一派<sup>12)</sup> による心筋説, つまり Ia は主として左心室壁より生じ, Ib を大動脈壁起源に求める考え方がある. さらにイスラエル学派<sup>13)</sup> と田中ら<sup>14)</sup> は Ia を僧帽弁閉鎖又はその緊張, Ib を大動脈への血液駆出によるものと考えている. 以上の3つの考え方は, 主に心内現象と心音との時間的關係を検討することにより導き出されたものであり, 方法論により当然差が生じるものと思われる.

僧帽弁閉鎖の 20~25 msec 後に Ia が生じるという Luisada 一派の考えは, 左室・左房圧交叉時点を僧帽弁先端部の閉鎖とする考え方に発し<sup>12)</sup>, 一方僧帽弁血流とシネアンジオとの対比により, 圧交叉の 30~40 msec 後, 僧帽弁血流が 0 レベルにもどる時点で Ia が始まり, 同時期に弁閉鎖をみたという Laniado の観察は, 完全閉鎖時点をもって弁閉鎖と考えており<sup>13)</sup>, この点に両者の考え方の差がある. これに対し, 心エコー図法導入によって I 音と弁閉鎖時点の対比が容易になり, この点については Edler の観察<sup>15)</sup> 以来, 多くの報告がある. しかし心エコー図法による弁閉鎖時点の捉え方にも定見がなく, 時相分析上, 混乱を来たしている<sup>4,6)</sup>. Pohost らの最近の報告<sup>16)</sup> によると, 圧交叉の時点で弁先端部の閉鎖が開始され, 僧帽弁の前尖・後尖の心エコー図上の coaptation で弁帆の閉鎖が終了するという. この考え方は田中らの予想とほぼ一致しているが, もしこれが正しいとすれば, 心エコー図上の閉鎖点と思われる C 点は, 弁先端部閉鎖後の現象ということになる. Ia が C 点に一致して認められたという観察から2つの異なった解釈<sup>1,3)</sup> が出現したのも, このような C 点の解釈上の差であった. いずれにせよ, Ia の始まりが僧帽弁閉鎖の時点と一致するという観察により, Laniado ら<sup>13)</sup> は弁膜説を採り, 又同じ観察をした田中ら<sup>14)</sup> は振動特性の解釈から弁膜主振動説を唱えた. 一方, Craige らは Ia の主たる振動源に僧帽弁を, Ib には三尖弁を当て, この理由によりをそれぞれ Ia を M<sub>1</sub>, Ib を T<sub>1</sub> と表現している. ただし弁膜一元説は採用せず, 房

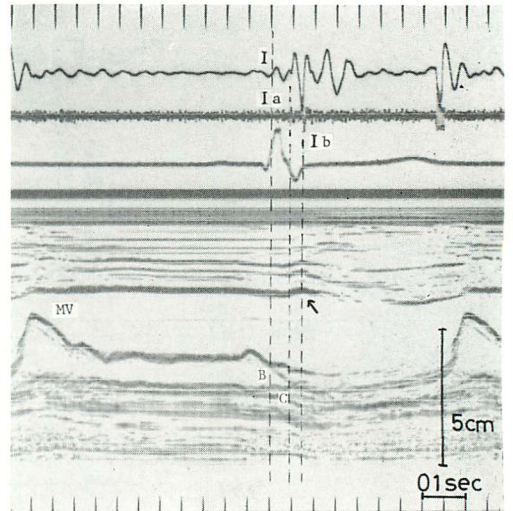


Fig. 2. Mitral valve echogram related to the three components of the first heart sound.

The coincidence of the B point and the beginning of the low frequency vibration of the first heart sound is evident. The C point of the anterior mitral valve echo (MV) is coincident with Ia, and the point of sudden halting of the interventricular septal motion occurs at the time of Ib (arrow).

室弁系を主とした cardiohemic system 全体の振動と結論している<sup>1)</sup>. このような Craige 一派の考え方は十分に推測されるものの, 弁膜以外の振動源の役割については, 心エコー図の検討にもかかわらずその証明がなされていない.

低調成分の I 音に関してはあまり検討が加えられていないが, Lakier ら<sup>18)</sup> は左室・左房圧交叉時点に一致して始まる低調成分を観察し, I 音の “M-sound” と表現して, Ia (又は M<sub>1</sub>) および Ib (又は T<sub>1</sub>) と区別している. 彼らは圧交叉時点を leaflet apposition の状態と考え, valve mechanism は “closed” であると判断した. その結果, M-sound は leaflet apposition によって生じると考察した. この考え方は後述するように, 我々の観察により否定されるべきものと考えられる.

以上, I 音各成分と, hemodynamics, および心エコー図上の各弁膜の動態との関係をまとめて

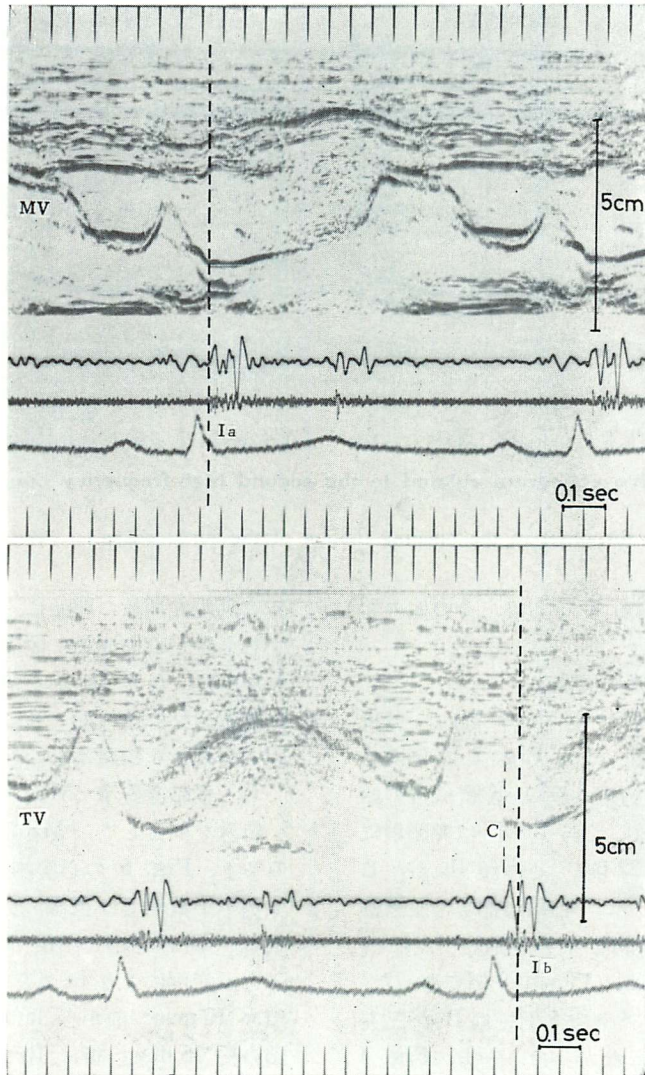


Fig. 3. Mitral valve echogram related to the first high-frequency component (Ia) of the first heart sound (top), and tricuspid valve echogram related to the second high-frequency component (Ib) of the first heart sound (bottom).

Bottom figure showed that Ib appeared after the complete closure (C) of the tricuspid valve.

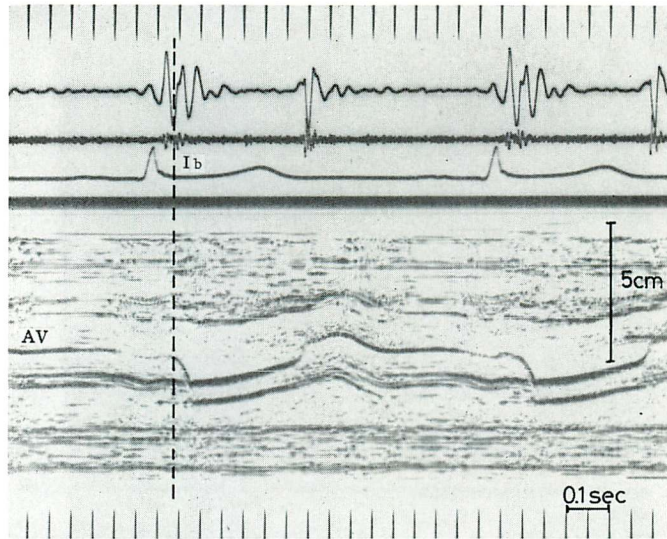


Fig. 4. Aortic valve echogram related to the second high-frequency component of the first heart sound (Ib).

Ib coincides with the onset of the opening motion of the aortic cusps.

模式的に示したのが Fig. 1 である. その他の参考文献も付記した.

2) 自験例の成績および考案:

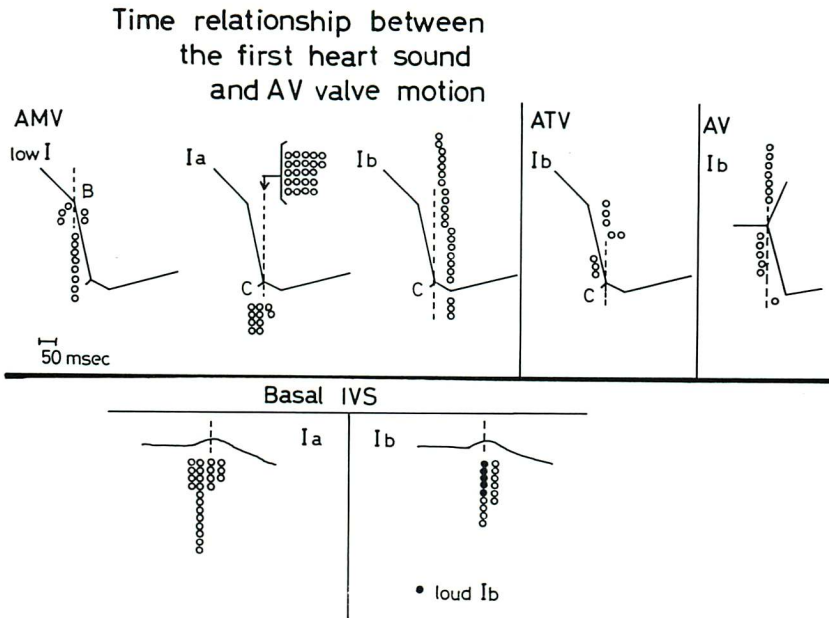
正常4例を含む心疾患45例(6~65歳)で, 分析可能なI音各成分を検討した. Fig. 2の例のごとく, 多くの場合(13例中8例), 低調成分の始まりはほぼB点に一致しており, Iaは弁閉鎖に一致していた(32例中22例). その後Ibが生じているが, この例のように, 心基部寄りの左室側心室中隔(IVS)の一時的な前方運動終了点に一致してIbを見たものは, 15例中9例であった. Fig. 3の例のように, 8例中5例ではIbが三尖弁閉鎖と時間的に一致しなかった. 一方, Fig. 4の例のように, Ibが大動脈弁開放開始点に一致した例は13例中7例であった.

I音の各成分と, 主として弁膜の動きとの時間的關係を, 僧帽弁狭窄症(MS)をのぞいた例でまとめたのが, Fig. 5である. この図に示すように, 低調成分の始まりはほぼB点に一致し, Iaは多くの場合, 僧帽弁閉鎖(C点)に一致したが, Ibは三尖弁閉鎖に一致するというよりは, むし

ろ大動脈弁開放の開始に一致する例が多く, 必ずしも特定の弁運動に關係を有しているとはいえなかった. なおIbが心基部側のIVSの一時的な前方運動に比較的一致していたことは, Ibの成因の複雑さを物語るものと思われた.

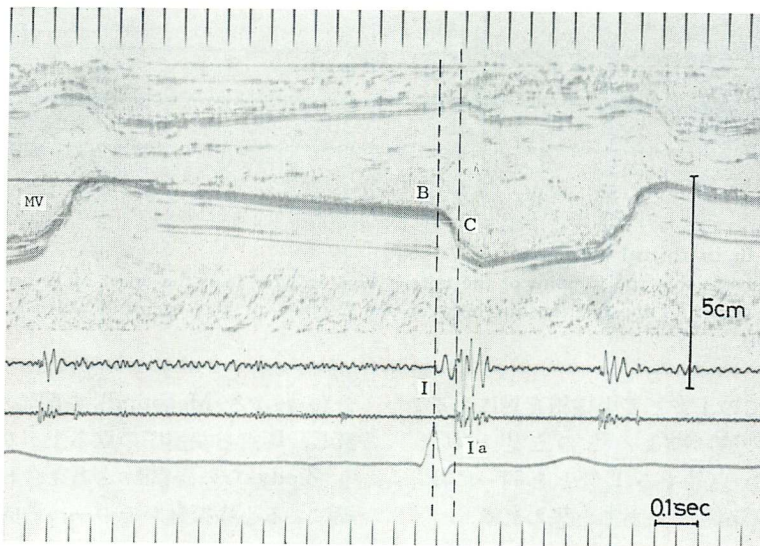
3) 僧帽弁狭窄(MS)のI音について:

特殊な例として, MSにおけるI音についてみると, Fig. 6の心房細動例にみられるごとく, 8例中半数例では低調成分の始まりはB点に一致し, Iaは僧帽弁閉鎖(C点)に一致していた. 一方, 症例によりIaよりIbが強大で, 僧帽弁閉鎖の10msec前からIaの開始がみられ, 弁閉鎖の約15msec後にIbが開始する例があった(Fig. 7). Q-I時間測定のさい, Qの始まりから振幅の大きな高調成分開始までの時間を用いてきたのは, その高調成分を僧帽弁閉鎖の指標と考えていたからであるが, 本例はその考え方に再考を促すものであろう. この大きな高調成分, つまりこの例ではIbに相当すると考えられるが, もし仮にこれを僧帽弁閉鎖音と考えると, その前のIaの成因は不明となる. このようにMSでのI



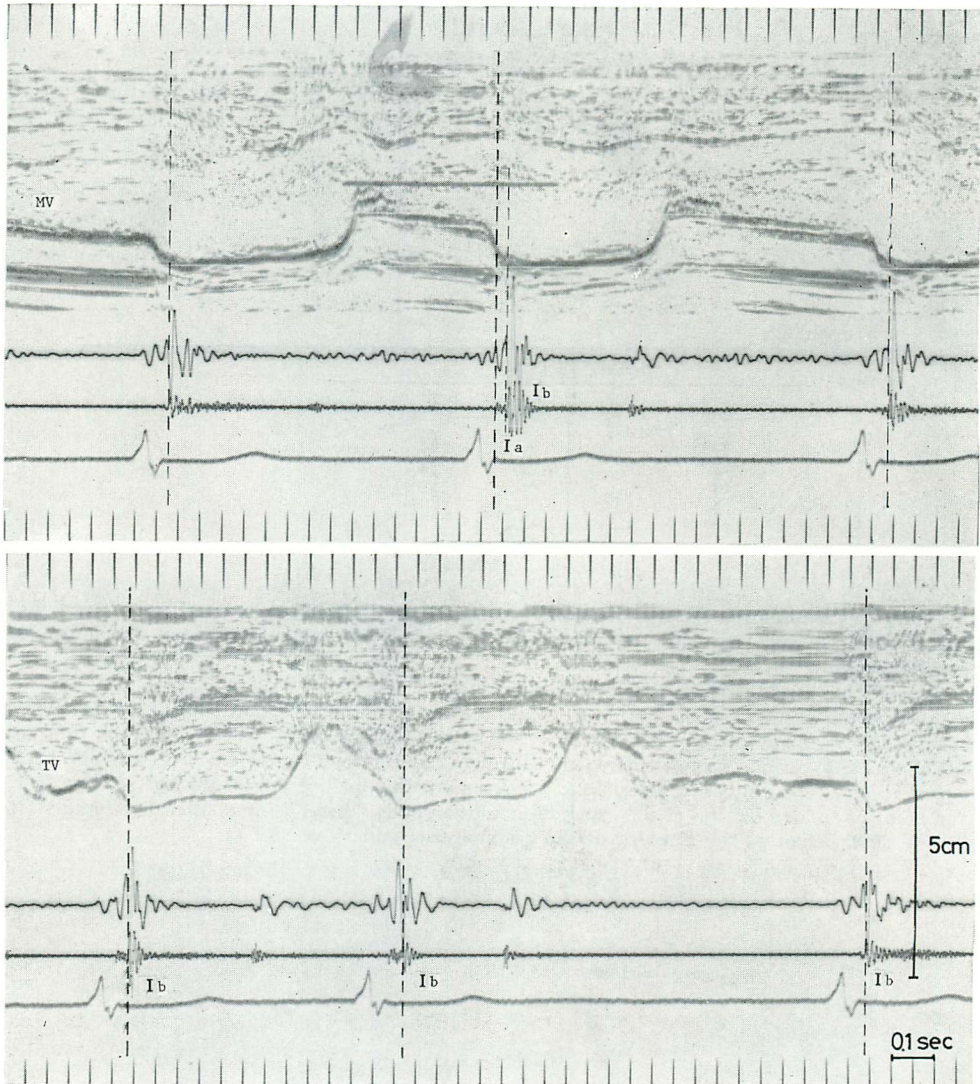
**Fig. 5. Time relationships among the three components of the first heart sound (low I, Ia, Ib) and the motions of atrioventricular valves and the left-sided endocardium of the basal interventricular septum (IVS).**

The cases with mitral stenosis were excluded. The low pitched vibration of the first heart sound (low I) occurs at the point of B of the anterior mitral valve (AMV) in many cases. The first high frequency component (Ia) closely relates in time to the C point of the AMV. The second component (Ib) does not correlate completely with any check points of the cardiac structures, but it seems to have a correlation with the opening of the aortic valve (AV) or with the point of sudden halting of the expanding motion of the "basal" interventricular septum (Basal IVS) more closely than to the C point of the anterior tricuspid valve (ATV).



**Fig. 6. The first heart sound in mitral stenosis with atrial fibrillation.**

The low frequency and the first high frequency components of the first heart sound are synchronous with the B and C points of the mitral valve, respectively.



**Fig. 7. Loud Ib in mitral stenosis.**

Mitral valve shows that the C point of the mitral valve is later than the onset of Ia and earlier than the onset of Ib (top). Time relationship between the C point of the tricuspid valve and the Ib are variable (bottom).

音がそれ以外の例でのI音と多少様相を異にするのは、弁振動特性の違いによるものと思われ、MSのI音とMS以外でのI音とを同一に論じえない理由の一つがここにあると思われる。

4) 小括:

以上、I音に関する観察を総括すると、低調成

分(いわゆる M-sound)の開始はほぼB点に一致し、B点と左室圧の立ち上がりが一致するという Ziady らの観察<sup>26)</sup>を考え合わせると、左室収縮による心筋振動がその一つの成因となっている可能性がある。一方 Ia は多くの場合僧帽弁閉鎖(C点)に一致していたが、必ずしも常にそう



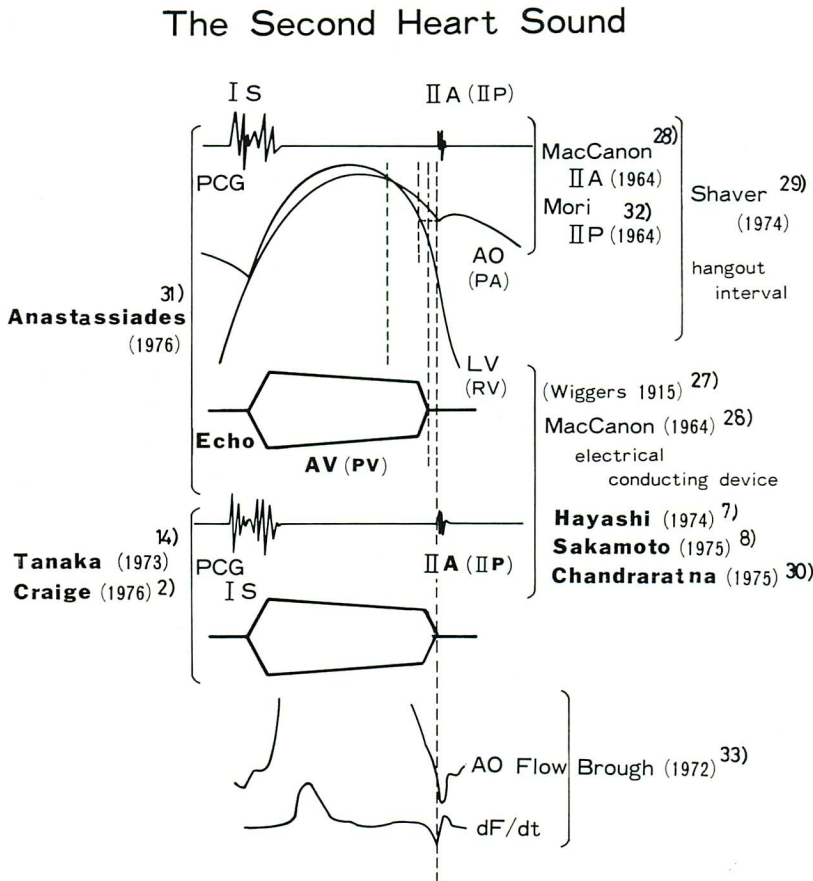
であるとは限らず、C点との間に一定した関係がない Ib に関しては、さらに各心内構造物の動きとの関係が一定しない。これらのことから、I音発生機転に対し、弁膜説、心筋説、大動脈説といった一元説をとることは困難であり、各心内構造物が独立して振動することはできないことから考えても、cardiohemic system 全体の振動としてとらえ、各成分についてはさらに今後の方法論的

検討が必要であると思われた。

## 2. II 音 (second heart sound)

### 1) 従来 of 考え:

半月弁閉鎖後に II 音発生を見るということは、1915 年の Wiggers の教科書ですでに予想されていたが<sup>27)</sup>、その約 50 年後に MacCanon らが、特殊な装置、すなわち electrical conducting



**Fig. 8. Schematic representation of the timing of the second heart sound in relation to various hemodynamics and the motion of the semilunar valves.**

The data from our laboratory (Sakamoto, Hayashi et al) demonstrate the delay of the sound phenomena to the closure of the semilunar valves. Chandraratna et al and Anastassiades et al also observed the same findings (they did not adopted the beginning of the high frequency vibration as the reference, however). On the other hand, Tanaka as well as Craige et al claim that the second heart sound occurs simultaneously with the end of the closing motion of the respective semilunar valve (later, Tanaka disclosed the delay of the IIP ( $P_2$ ) to the closure of the pulmonic valve by high speed technique).

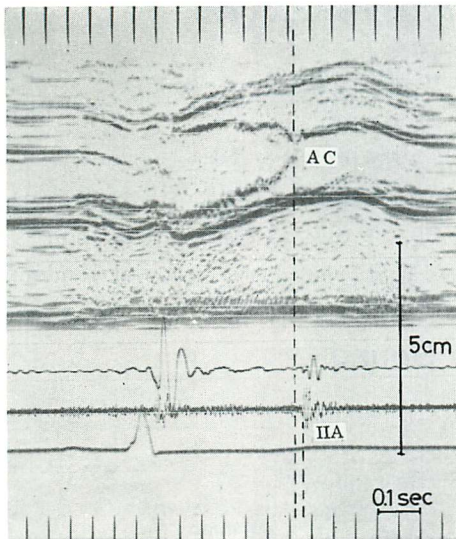


Fig. 9. The second heart sound and aortic valve echogram.

Aortic valve closure clearly precedes the aortic component of the second heart sound.

device を用いてこのことを証明した<sup>28)</sup>. 彼らによると, 大動脈弁閉鎖の 7.8 msec 後に II 音が発生するという. また同時に大動脈圧波形上の dicrotic notch と II 音が時相的に一致することから, この dicrotic notch と II 音とは同じ発生メカニズムを有していると推測した. 最近, Shaver らは心室圧および大動脈又は肺動脈圧と心音との同時記録を行い, “hangout interval” なる概念を導入することにより, vascular tree の capacitance の変化を捉え, 左心系, 右心系での II 音発生の時間差を説明した<sup>29)</sup>. しかしやはり弁閉鎖の時点をつまることが方法論的に困難であり, 心エコー図法の導入が必要となった. われわれは始めて心エコー図上の大動脈弁閉鎖と II 音大動脈成分 (IIA) との時間的關係を検討し, その両者に時間的間隔のあることを示したが<sup>7,8)</sup>, その後 Chandraratna らも同様な報告をしている<sup>30)</sup>. 一方田中<sup>14)</sup>や Craig<sup>2)</sup>によると, 弁閉鎖と II 音は一致したという. また肺動脈弁動態と II 音肺動脈成分 (IIP) との時間的關係については, わ

れわれや Chandraratna ら<sup>30)</sup>は, 左心系に比べてその弁閉鎖と心音との間隔がより長いとした. 以上の点を総合的に検討した Anastassiades ら<sup>31)</sup>は, 心電図, 心音図, 心エコー図, 大動脈圧, 左室圧を同時記録し, われわれの予想<sup>7)</sup>のごとく, 次のような時間的關係を明らかにした. つまりまず圧交叉が起これ, その後大動脈弁閉鎖, さらにその後 II A が出現するという関係である<sup>31)</sup>. 以上の II 音, hemodynamics と弁動態との時間的關係をまとめたのが Fig. 8 である.

### 2) 自験例の成績および考案:

69 例について大動脈弁閉鎖 (AC) と II A 開始の時間間隔, つまり AC-II A interval を Fig. 9 のごとく測定した. この間隔は 0 から 30 msec の範囲にあり, 平均 6.1 msec であった. 次に 10 例を選び methoxamine 静注負荷 (0.08 mg/kg/30 sec) を行い, その前後の AC-II A interval の変化をみた. AC-II A interval は全例短縮し, 1 例を除き, すべてこの間隔の消失をみた. 亜硝酸アミル吸入負荷ではその逆の現象が得られた<sup>7)</sup>.

ここで問題となるのは半月弁閉鎖時点の測定である. われわれは二つの弁尖エコー接合の内側をもって閉鎖時点としたが, 仮にこの時点が妥当ではなく, その後に実際の閉鎖点があると仮定しても, 血圧を変化させることにより, 心エコー図上の同じ時点から II A までの interval に明らかな変化をみたということは, 少なくとも弁閉鎖と II 音との間に何らかの interval が存在しうることを示すもの以外の何物でもない.

肺動脈弁と II P の関係も同様で, 12 例中 5 例で 20~50 msec の II P の遅れが見られた<sup>8)</sup>. この遅れは II A の遅れに比しかなり大である.

### 3) 小括:

以上の結果から, II 音の発生は半月弁の閉鎖自体によって起こるのではなく, 閉鎖によって大血管中の血液柱の rebound が起これ, それがすでに閉鎖した半月弁によって急激に停止され, 半月弁および動脈壁を主とした cardiohemic system を振動させ, II 音が発生する<sup>3)</sup>と考えられる. こ

のさい肺動脈系のコンプライアンスは大動脈系のそれに比しはるかに大であるから、それだけ rebound に時間を必要とし、従って IIP の遅れは IIA の遅れよりも大となるものと考えられる。

3. 駆出音 (ejection sound)

1) 従来の考え:

駆出音は右心系, 左心系を問わず, 同じ機序により生ずるといわれている。ただ駆出音の名のもとに一括されてはいても, 弁狭窄例にみられるものと, 弁狭窄を伴わない動脈拡張例にみられるものとの発生機序は異なるという意見もある<sup>34)</sup>。すなわち弁狭窄例での駆出音は弁開放終了時に一致

するという考え方があり, シネアンジオ<sup>35,36)</sup>, 圧波形<sup>37)</sup>, 心エコー図<sup>8,17,38)</sup>により確かめられ, この“valvular” theory は妥当なものと思われる。一方, 弁狭窄の見られない例での駆出音については種々の意見があり, 大動脈圧の立ち上がりには一致していることから, I 音の一部であるという Whittaker ら<sup>37)</sup>の考えもある。Fig. 10 は上述の関係を図示したものであるが, 説明の都合上, 右心系と左心系を同一時相として描いてある。

2) 自験例の成績と考案:

Fig. 11 は肺動脈狭窄を伴わない右心性の駆出音を示しているが, 一般的にはこの例のごとく, 駆出音は肺動脈弁開放終了時に一致しており, こ

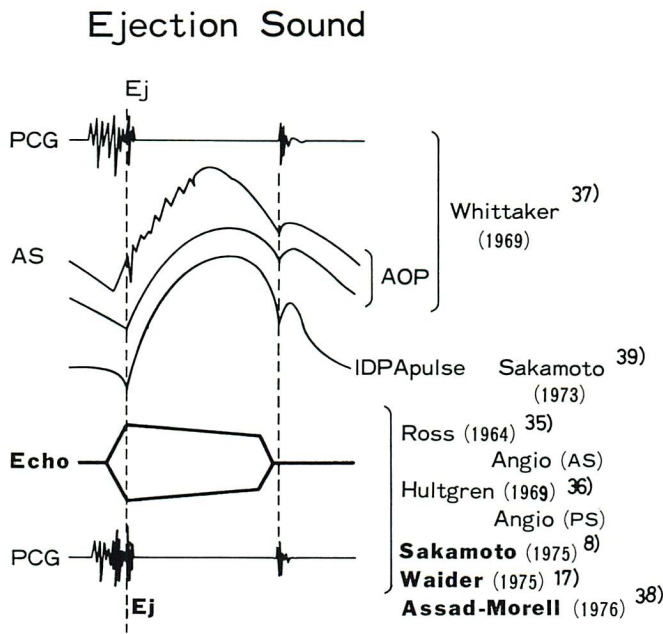
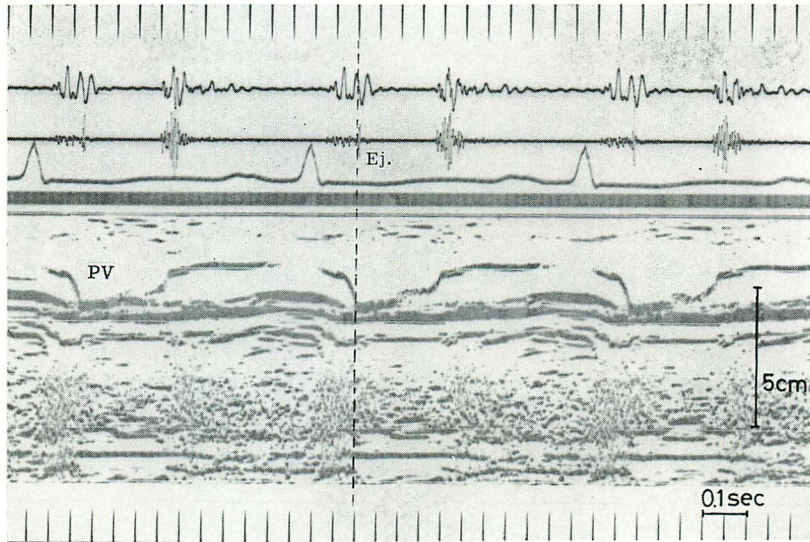


Fig. 10. Schematic representation showing the time relationships among the ejection sound, hemodynamics and the motion of the semilunar valves (In convenience, aortic and pulmonic ejection sounds are illustrated without consideration of their time courses).

Waider and Craige demonstrated that the ejection sounds (Ej) coincided exactly with the time of full opening of either aortic or pulmonic valve with only 2 exceptions. Sakamoto et al also reported independently the same fact in cases with pulmonary hypertension. The aortic ejection sound in patients without aortic valve disease is coincident with the onset of the pressure rise in the aortic root (AOP). On the contrary, the aortic ejection sound in patients with valvular stenosis (AS) is delayed slightly after the onset of the pressure rise, but is coincided with the anacrotic notch. These findings were emphasized by Whittaker et al.



**Fig. 11. Ejection sound and pulmonary valve echogram.**

The left cusp of the pulmonary valve reaches its full excursion precisely at the time of the ejection sound.

の点, 弁膜説を否定しえない. しかしこれまでの観察は肺高血圧例のみで行われていること<sup>8,17)</sup>, さらにわれわれの8例中1例<sup>9)</sup>および Waider らの19例中1例<sup>17)</sup>に弁開放終了にわずかに遅れて駆出音をみた例があることなどから, 結論を得るには肺高血圧のない特発性肺動脈拡張症などでの検討がさらに必要と思われる.

#### 4. III 音, IV 音 (third and fourth heart sounds)

##### 1) 従来の考え:

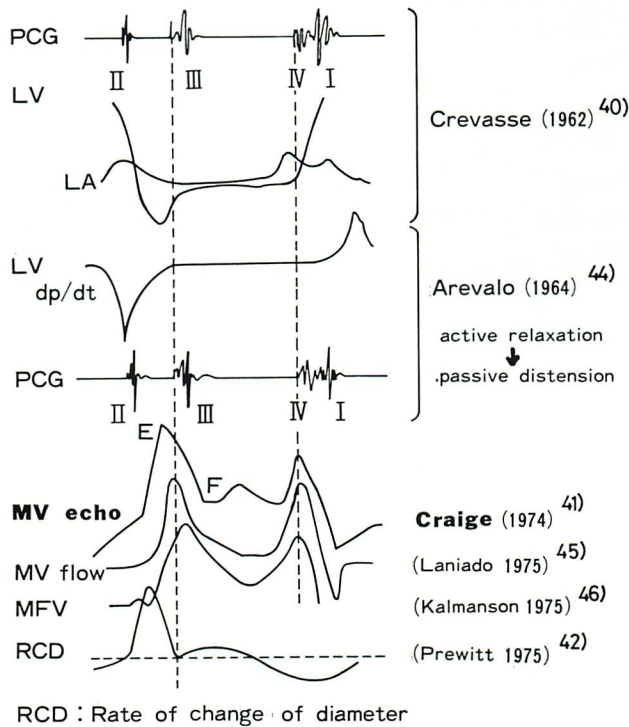
III 音, IV 音の発生機序として, 従来から心筋説が有力である. Crevasse ら<sup>40)</sup>は, III 音, IV 音発生時には常に心房圧が心室圧を凌駕しており, したがって房室弁は閉鎖していないとした. このことは III 音, IV 音発生時における僧帽弁エコーパターンにより確認されている<sup>9,41)</sup>. このように弁膜説は否定されたが, III 音に関しては, 心尖拍動図 rf 点と左室短径変化微分曲線の急速充滿終了点との間に一定の時間的關係をみなかったとする報告もある<sup>42)</sup>. 一方 IV 音に関する血行力学的な時相分析は今までほとんどなく不明のまま

である<sup>40,43)</sup>. **Fig. 12** は従来の考察の総括であるが, 心エコー図法による III 音, IV 音発生時の心内現象の検討は, われわれの検討以外, これまで全くなされていない.

##### 2) 自験例の成績と考察:

対象は III 音観察例 36 例 (正常例 6 例を含む), IV 音観察例 56 例 (正常例 10 例を含む) である. 僧帽弁には III 音, IV 音に一致した振動または急激な運動の変化を認めることができなかったが (**Fig. 13**), III 音発生時には心室中隔と左室後壁に急激な運動の停止点, つまり check point が見られた (**Fig. 14**). **Fig. 14** の例では IV 音の開始は心室中隔左室側の前方運動開始点に一致していたが, 後に述べるように, IV 音の開始は急激な運動開始点と停止点との間に生じているのが大多数であった (**Fig. 15**). なお 36 例中, III 音と一致した心室中隔または左室後壁の check point は 34 例 (94%) にみられた. Check point が見られなかった例は心筋障害を伴う例であった. 通常の場合, その check point は左室中部から心尖部にかけて著明であった. IV 音に関してもほ

## Diastolic Heart Sound



**Fig. 12. Schematic representation of the timing of the diastolic heart sounds in relation to various hemodynamics and the motions of the atrio-ventricular valves.**

The study of Crevasse et al demonstrated that the third heart sound (III) and the fourth heart sound (IV) occurred at the time when atrial pressure (LA) exceeded ventricular pressure (LV). The observation of Arevalo et al showed that the third heart sound coincided with the return to the base line of the first derivative of the interventricular pressure curve (LV dp/dt). Craige and Fortuin stated that the mitral valve already achieved a maximally open position (E) and was in the act of closing in early-to-mid diastole at the time of the third heart sound.

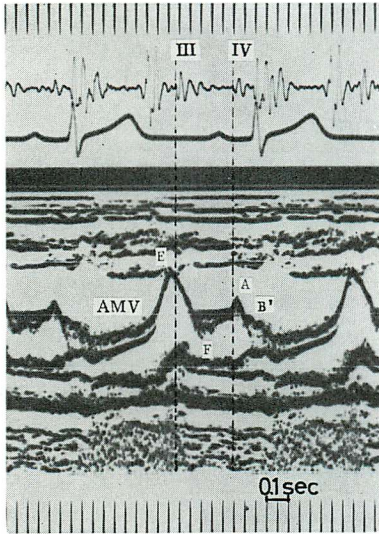


Fig. 13. Diastolic (the third and fourth) heart sounds and mitral valve echogram.

The anterior mitral valve (AMV) echo had no temporal relationship to the diastolic heart sounds.

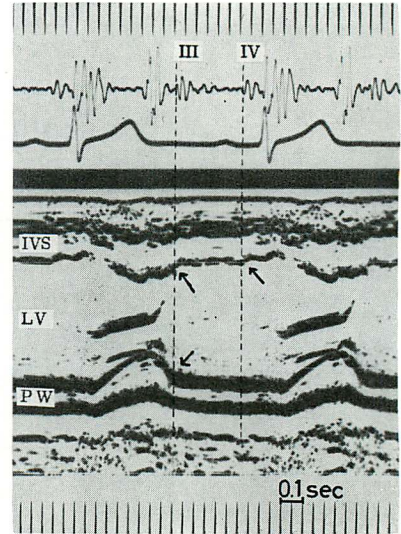


Fig. 14. Diastolic heart sounds and left ventricular wall motion.

The third heart sound coincides with the point of inflexion of the endocardium. The fourth heart sound occurs at the onset of the presystolic inter-ventricular septal movement.

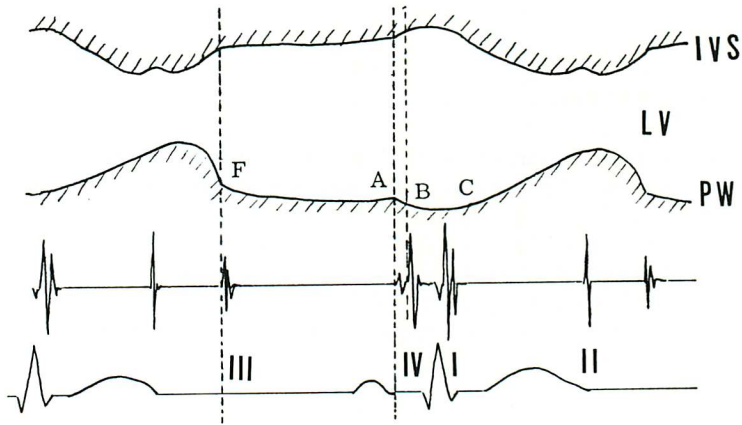
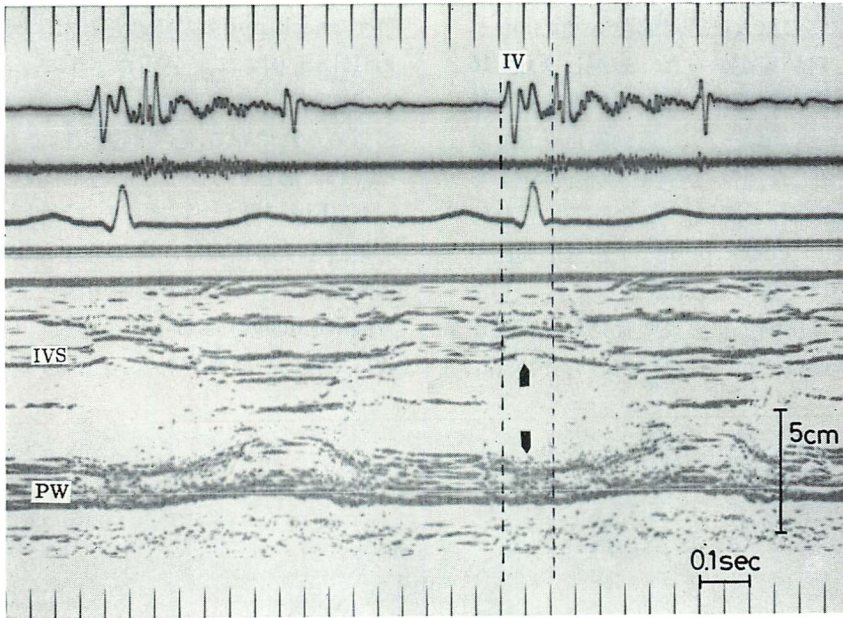
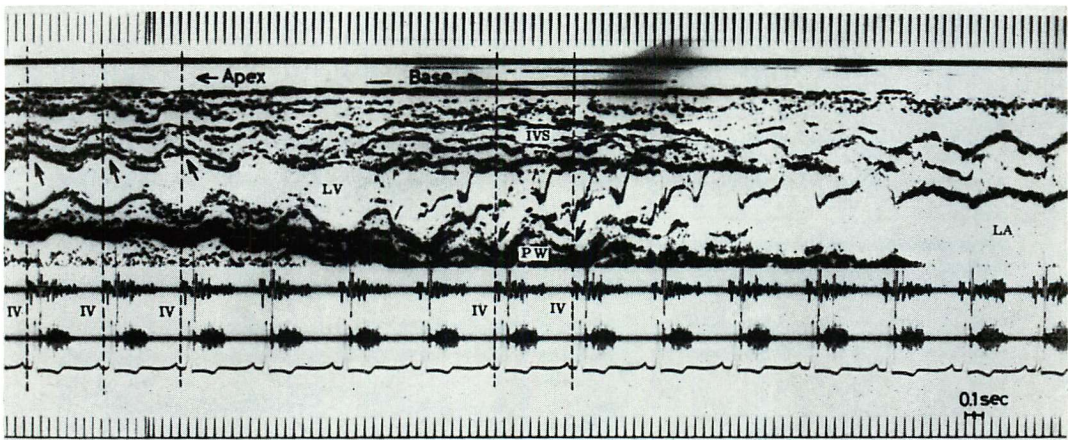


Fig. 15. Schematic representation showing the time relationships among the diastolic (third and fourth) heart sounds and the motions of the left ventricular wall.

The third heart sound (III) occurs at the time of F point of the left ventricular endocardium. The initial vibration of the fourth heart sound (IV) coincides with the A point, and the main vibration occurs at the time of B point.



**Fig. 16. The fourth heart sound and the left ventricular wall motion.**  
 The fourth heart sound occurs during the presystolic left ventricular wall movement.



**Fig. 17. The fourth heart sound and the location of the presystolic movement of the left ventricular wall in a case with IHSS.**

The basal interventricular septum (IVS) and the apical posterior wall (PW) of the left ventricle (LV) are hypertrophied, therefore, when the fourth heart sound occurs, the compensatory portions, that is, the apical IVS and the basal posterior wall, show the distinct outward motion (arrows).

ほ同様の結果が得られたが (Fig. 15), IV 音発生時における左室腔の拡大は絶対的な excursion が小さく, 検討し難い面があった. しかし Fig. 16 の例のように, 心房収縮による前収縮期運動の始まりから check point, つまり運動停止点までの間に IV 音が開始したのは 56 例中 49 例 (88%) であった. III 音の場合と同様, 正常心筋と思われる症例では, その check point は左室中央部から心尖部側にかけて認められた.

また通常の心室中隔・左室後壁を見る超音波ビーム方向で check point のみられない症例では,

左室長軸方向のスキャンを行うと, さまざまな部位で check point が認められた. 例えば Fig. 17 の IHSS 例では, 矢印のように, 心室中隔では心尖部側, 左室後壁では心基部側に check point が認められている. 心尖部肥大例での check point は, 心尖部というより, 心基部側の方で著明であった (Fig. 18). さらにその check point の詳細な検討をするために, II 音発生および III 音発生の時点における 2 枚の心断層図を重ね合わせ, III 音像 ( $S_3$  image) なるものを作製してみると (Fig. 19), 比較的心筋異常がないと思われる例での

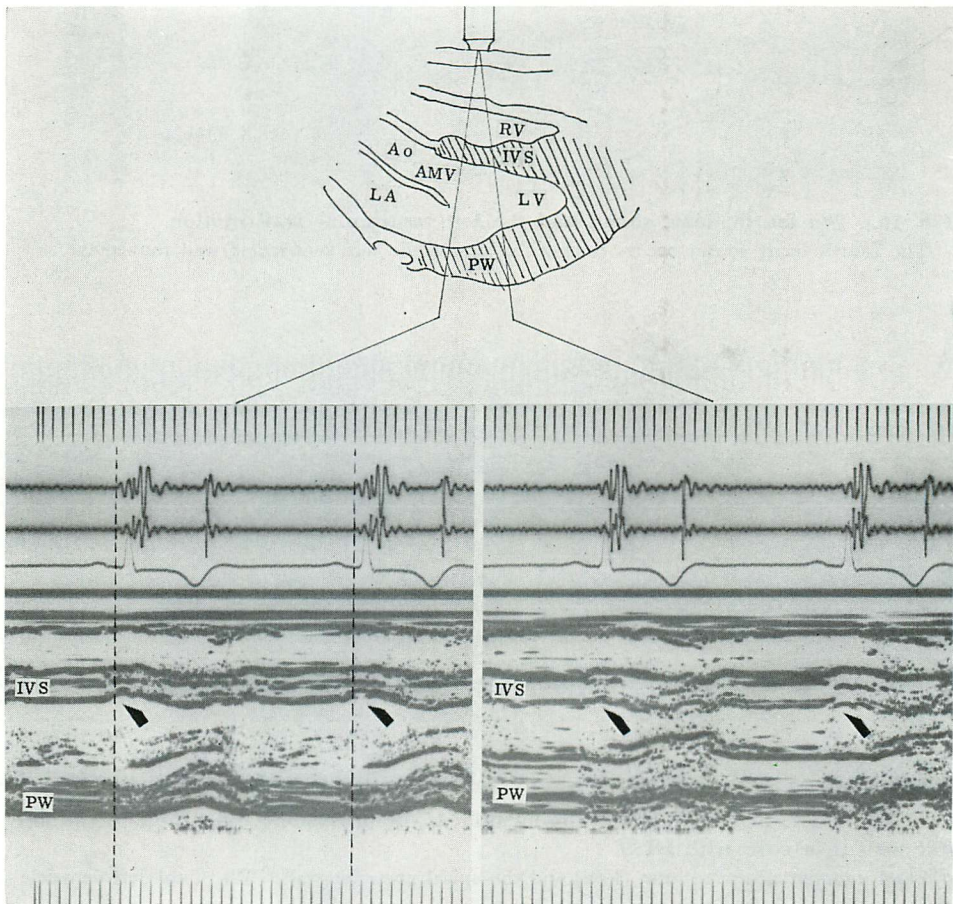


Fig. 18. Left ventricular wall echograms of the apical hypertrophic cardiomyopathy.

Presystolic left ventricular wall movement locates more obviously in the basal interventricular septum than in the apex.



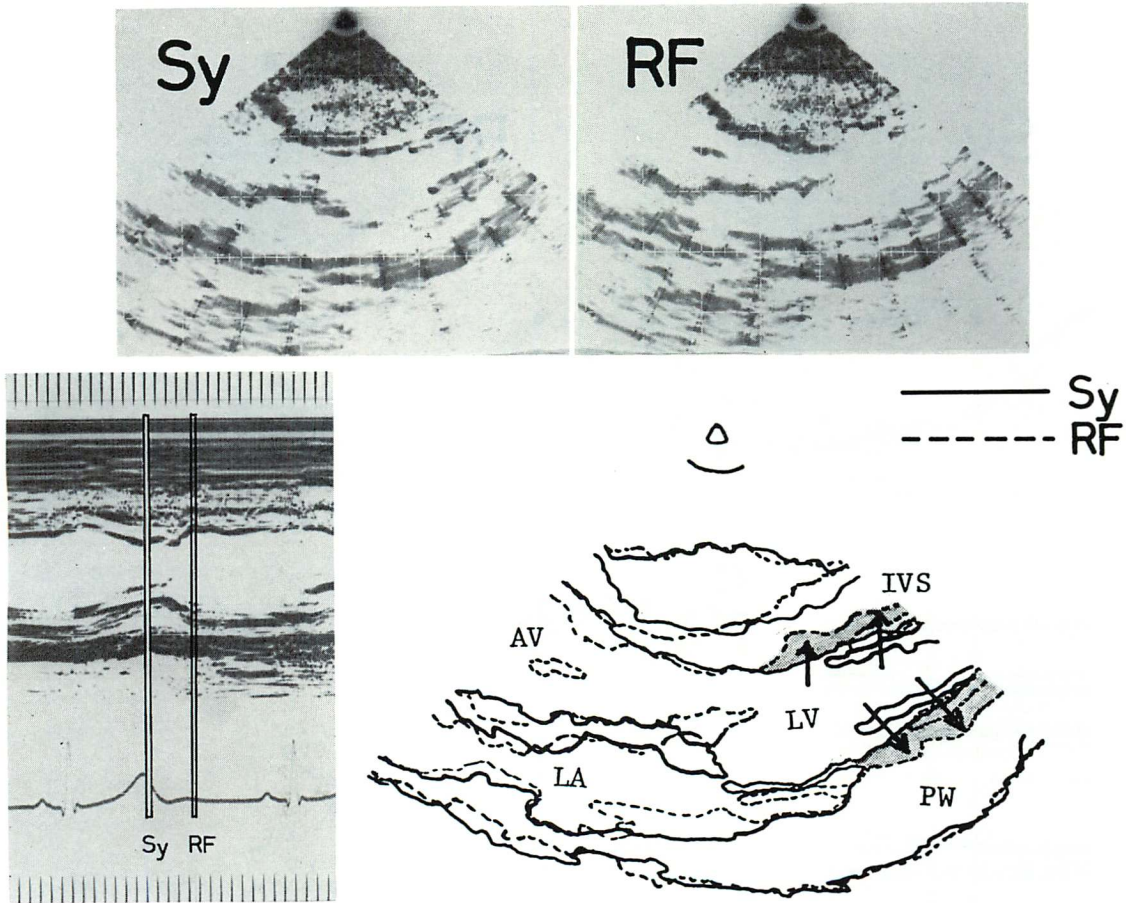


Fig. 19. The third heart sound image (“S<sub>3</sub> image”) of the normal heart.

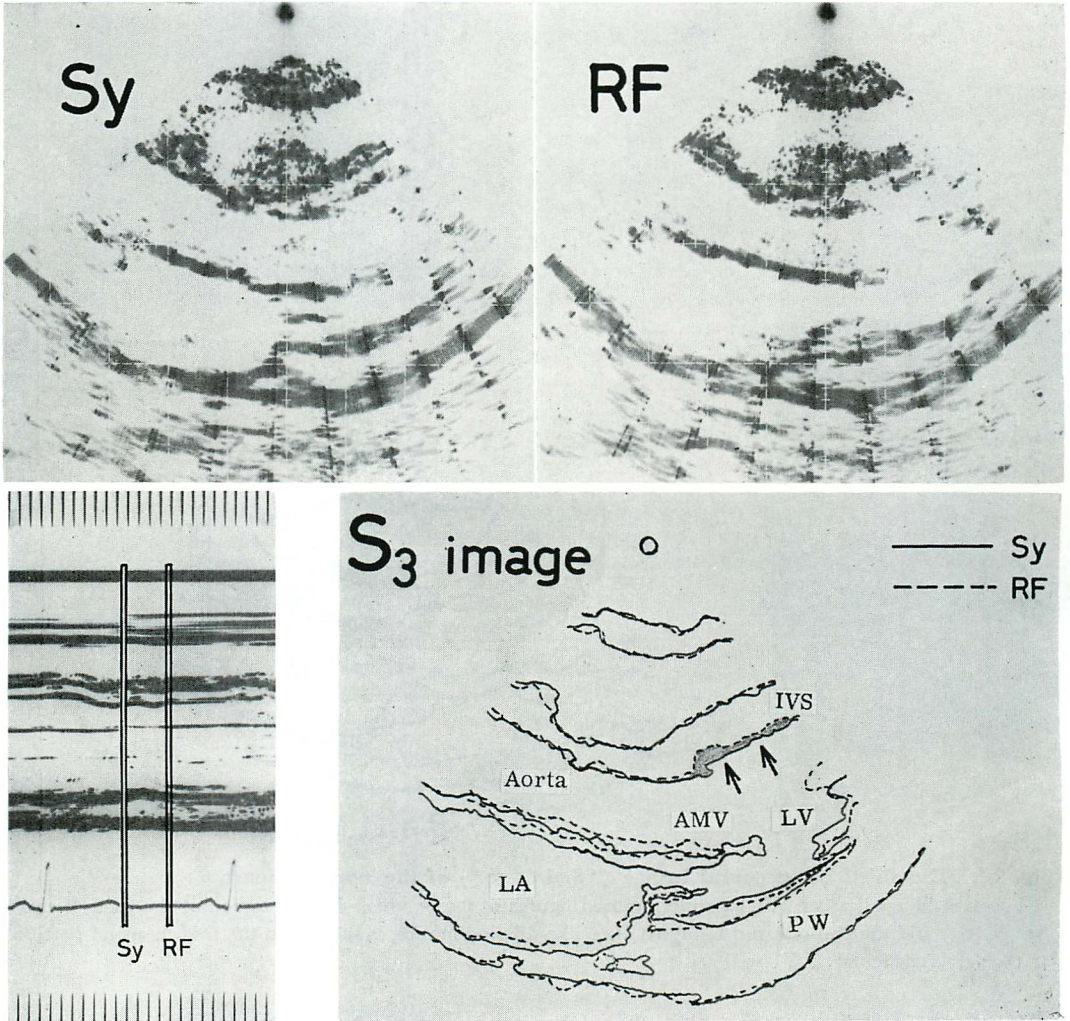
The “S<sub>3</sub> image” was made by superimposed figures of tomograms which obtained at the time of end-systole (Sy) and the end of rapid filling (RF). The dilating motion is seen from the mid to apical portion of the left ventricular (LV) wall.

check point は左心腔の中部から心尖部に認められ、一方、心筋障害を伴う慢性腎不全の1例では、心室中隔が一様に拡大運動を示しているのに対し、左室後壁の動きはほとんど認められなかった (Fig. 20)。その他著明な僧帽弁閉鎖不全の1例では、左室後壁の中央部から心尖部にかけての運動しかみられなかった。以上の結果は心筋障害の明らかでない症例では、その check point は左室中央部から心尖部にあり、心筋障害を伴う例では、その他の部位、つまり代償部位で check point がみられるということを示している。

IV 音像 (S<sub>4</sub> image) も同様に、P 波の始まりと Q 波の直前間で得られた2つの像より作成して得られる。III 音同様、その check point は心筋障害の部位によって種々であり、例えば Fig. 21 の前壁中隔梗塞例では、後壁の中央部が check point となっていた。一方、心筋障害のないと思われる例では、左室中央から心尖部にかけて check point がみられた。

### 3) 小括:

III 音、IV 音の出現時には、必ず左室腔のいずれかの部位で比較的急峻な壁の動きが認められ、



**Fig. 20. The third heart sound image ("S<sub>3</sub> image") of uremic heart disease.**

The whole interventricular septum (IVS) moves uniformly as the left ventricle (LV) dilates, but the movement of the posterior wall (PW) is scarcely observed.

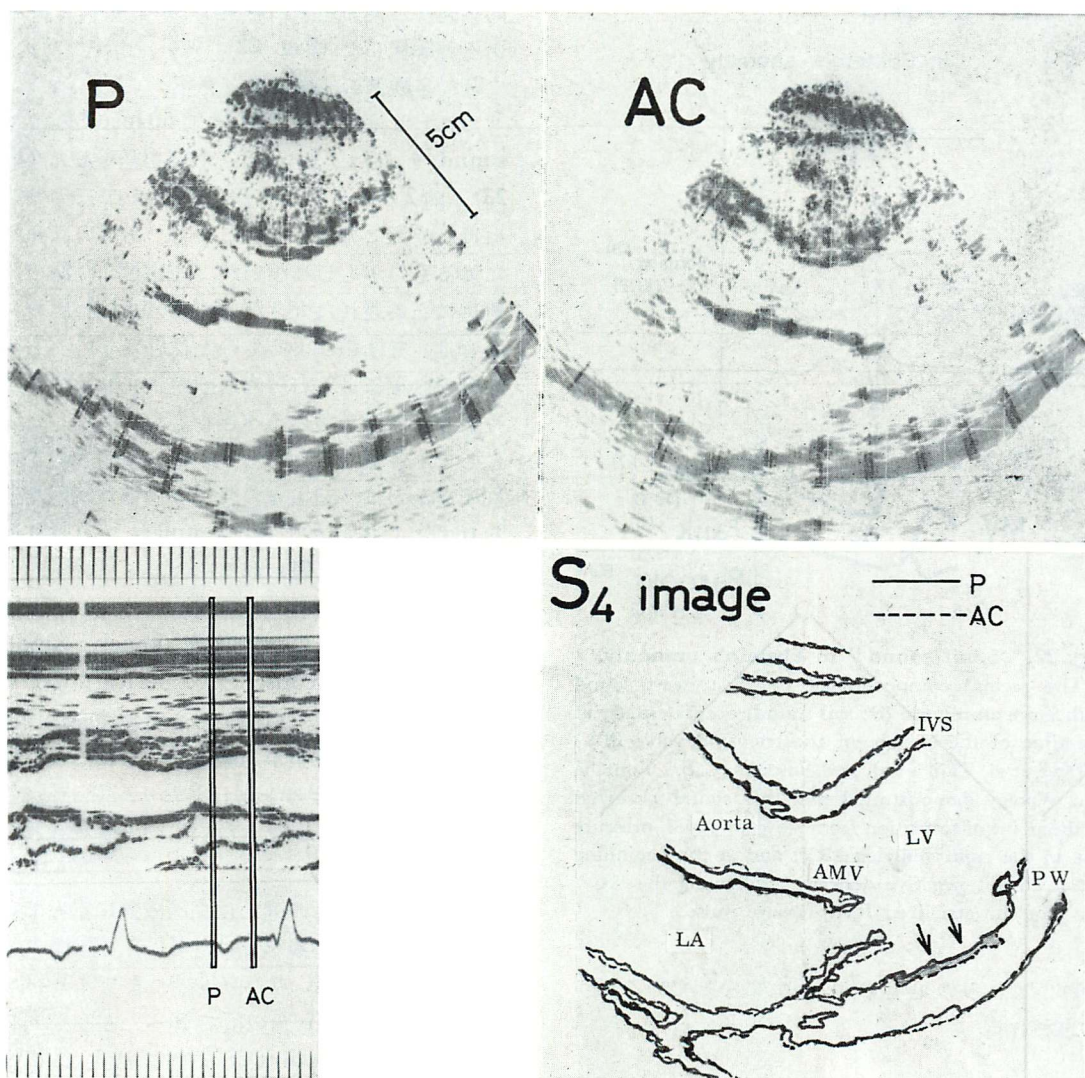


Fig. 21. The fourth heart sound image ("S<sub>4</sub> image") of the anteroseptal myocardial infarction.

The "S<sub>4</sub> image" is made by superimposed figures just like in case of "S<sub>3</sub> image" at the time of the onset of the P wave of the electrocardiogram (ECG) (P) and the time just before the Q wave of ECG (AC). The wall movement locates in the mid portion of the left ventricular posterior wall (PW).

## Sail Sound

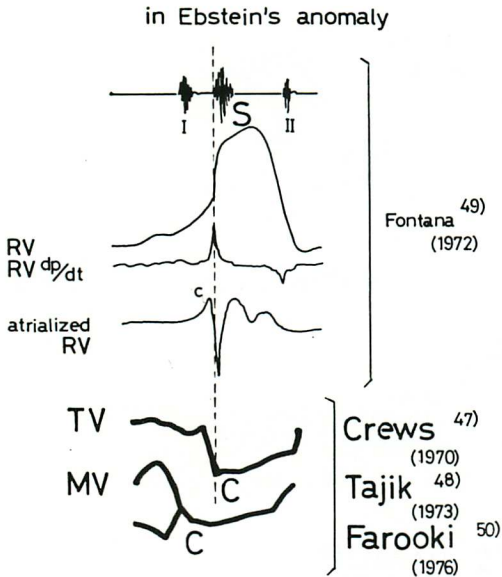


Fig. 22. "Sail sound" in Ebstein's anomaly.

The second component of the first heart sound with large amplitude (S: sail sound) occurs exactly at the time of the closure of the tricuspid valve (TV) (Crews et al, Tajik et al, and Farooki et al). Fontana and Wooley demonstrated that this sound occurred at the point of transition from slow to rapid pressure rise in the right ventricle (RV) and at the beginning of an abrupt negative deflection following the "C" wave of the atrialized RV pressure pulse.

それがこれらの心音の origin になっているように思われる。

### 5. Ebstein 病の sail sound

#### 1) 従来の考え:

以前から Ebstein 奇形における sail sound は三尖弁閉鎖音であると考えられている。Crews<sup>47)</sup>や Tajik<sup>48)</sup> は、心エコー図上、三尖弁閉鎖と sail sound の時間的一致を見た。しかし右室圧の立ち上がり開始が sail sound よりかなり前から始まっていること、またこの心音が右房化右室の圧の C 波頂点より遅れて生ずることから、

Fontana<sup>49)</sup> は三尖弁閉鎖音ではなく、右房方向へ向う三尖弁運動の急激な halting による音であると解釈した (Fig. 22)。

#### 2) 自験例の成績および考案:

われわれは三尖弁閉鎖後約 50 msec 後に sail sound を見た Ebstein 奇形例を経験した (Fig. 23)。前2つのクリック様心音はほぼ三尖弁閉鎖に近い時期に発生しているの、あるいは弁閉鎖によるものかもしれないが、心電図 T 波の開始近辺にある遅れた大きな sail sound と思われる心音は、弁閉鎖によるものとは思えない。右房化右室の収縮による右房内血液の turbulence というような機序を考えるべきかもしれない。いずれにしても各報告<sup>47,48,50)</sup>あるいは自験例の心エコー図所見からは、三尖弁の sail movement は認められず、したがって sail sound という呼称は再考の余地があると思われる。

#### 6. 収縮性心膜炎の心膜叩打音 (knock sound)

収縮性心膜炎 (constrictive pericarditis) における心膜叩打音は、以前から心室急速充満期における通常の心室拡張が急激に妨げられるようになる結果として生ずるとされており、いわゆる III 音の早期発現にはほかならないものと解釈されてきた。

しかし III 音との違いは高調成分に富んでいること、われわれの観察では、III 音と同様に、僧帽弁エコー図の E 点の直後、つまり EF 間でみられるものの、III 音の項で述べた左室腔内の拡張早期の check point より前に発生している (Fig. 24)。このように叩打音は III 音の時相とは違って見えるように見えるが、一方、音の性質上房室弁開放音とは考え難い。Gibson<sup>51)</sup>によると本症 10 例中 1 例に、心室中隔の急激な前方運動終了点に一致して叩打音をみたというが、他の 9 例にはそのような check point を認めておらず、必ずしもその関係は一定していないものと思われる。Fig. 24 の例も (下段)、第 3 拍にはそのような所見があるが、第 1, 2 拍ではそれほど密な

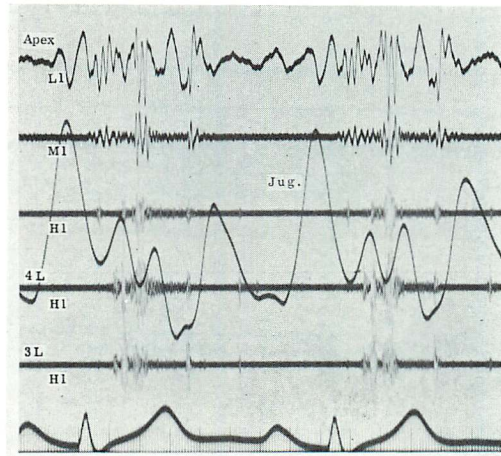
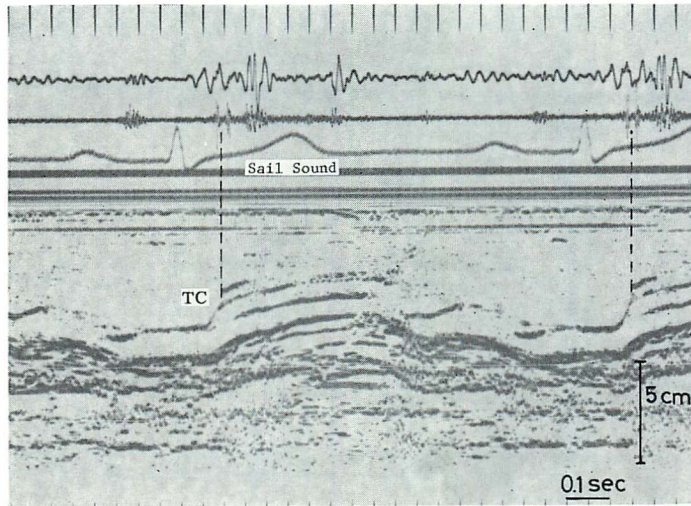
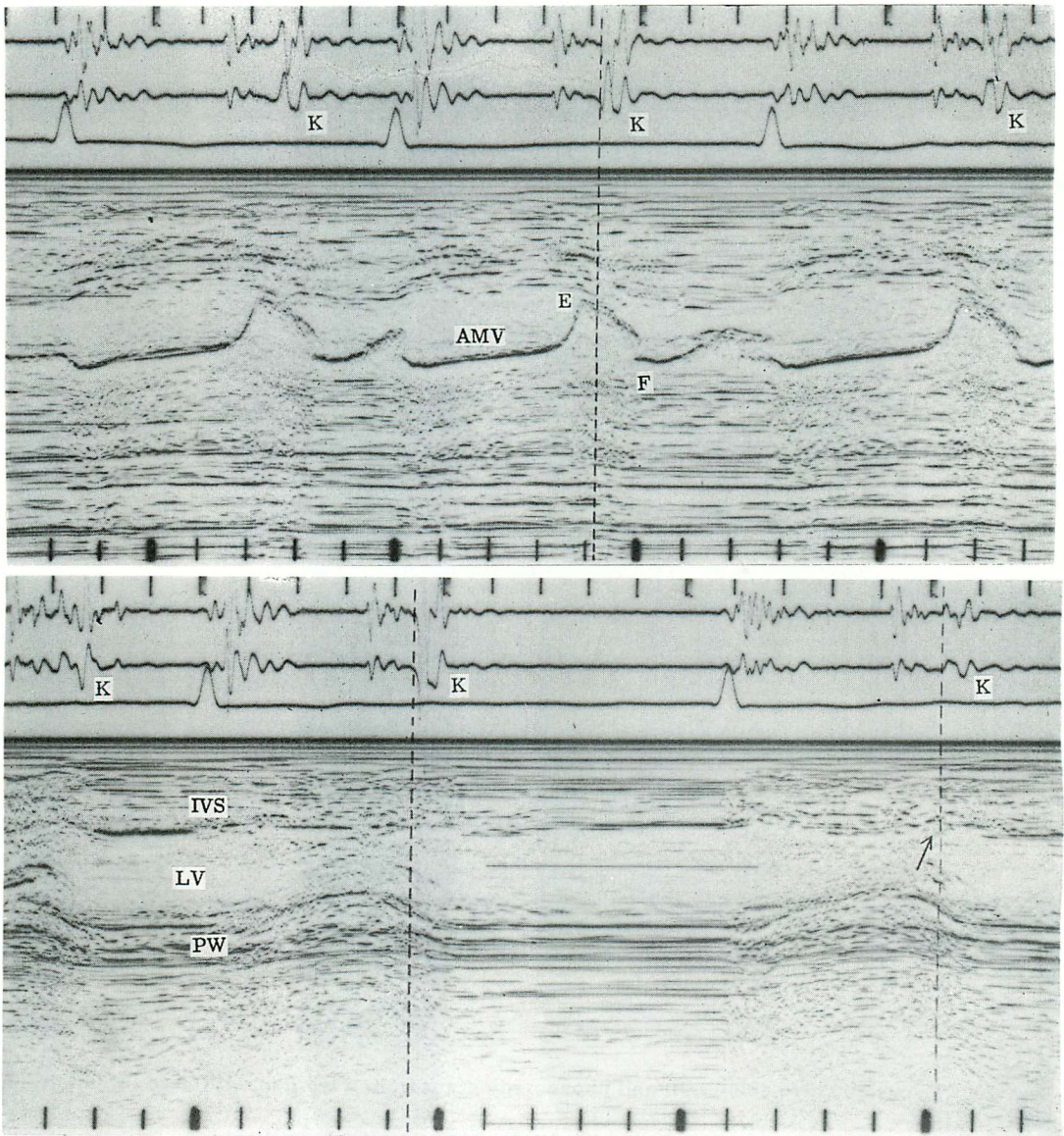


Fig. 23. Tricuspid valve echogram and phonocardiogram from a woman with Ebstein's anomaly.

Sail sound in this case appears 50 msec "after" the tricuspid valve closure.



**Fig. 24. Pericardial knock sound (K) in constrictive pericarditis.**

K as well as the third heart sound occurs during the E-F or closing slope of the mitral valve in early diastole (top), but appears before the sudden halt of the ventricular wall expansion (bottom). There is a definite check point in the interventricular septum in many cases of constrictive pericarditis (arrow), but it may not be apparent in the first beat in this figure.

関係があるようにはみえない。心室中隔右室側の動きを見、右心性 III 音の可能性も検討せねばならないだろう。なお、この叩打音は三尖弁開放 (E 点) とも時間的一致性を示さなかった。

7. 房室開放音 (opening snap)

いわゆる房室弁開放音は、最近においてさえ、Rodbard ら<sup>52)</sup>のように“closing snap”であるとする極端な考え方もあるが、一般には房室弁の開放終了点に一致した心音と解釈されており、心エコー図法によってもその妥当性が確かめられている (Fig. 25)<sup>15,53~55)</sup>。

Fig. 26 の例は心音図上僧帽弁閉鎖不全と診断された例であるが、僧帽弁開放音が明らかな割には弁硬化はそれほどみられず、弁後退速度もかなり保たれており (40 mm/sec), a 波も認められている例である。このように、僧帽弁開放音を弁硬化のみの要因に帰することは困難なように思われる<sup>54)</sup>。

Opening Snap

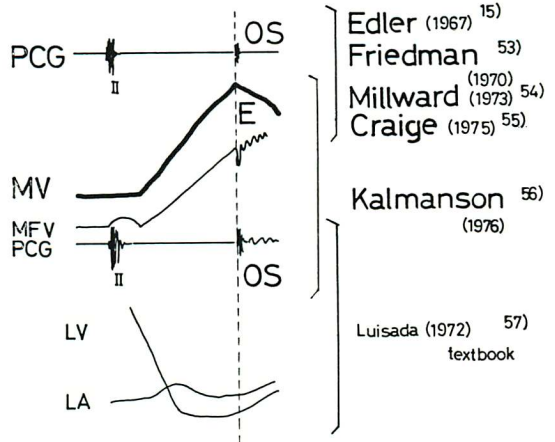


Fig. 25. Schematic representation of early diastolic time relationship among opening snap (OS), mitral echogram and hemodynamics.

Edler first described the time relationship between the E point and opening snap. Kalmanson reported that the mitral flow velocity (MFV) wave had a definite time relation to opening snap.

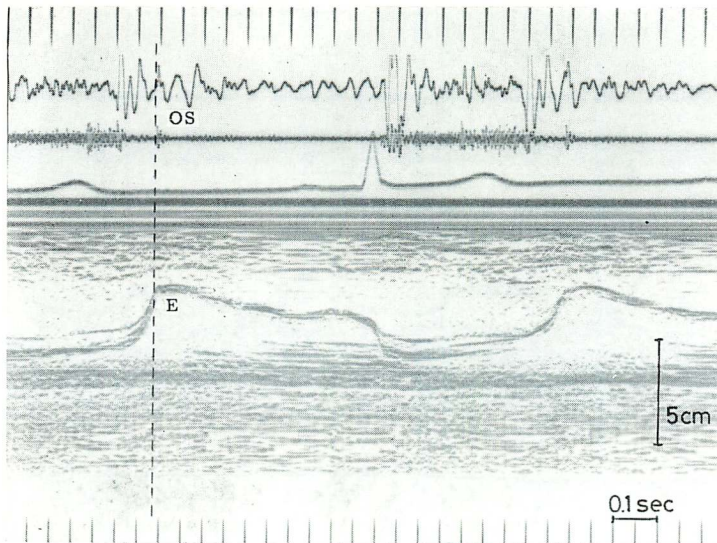
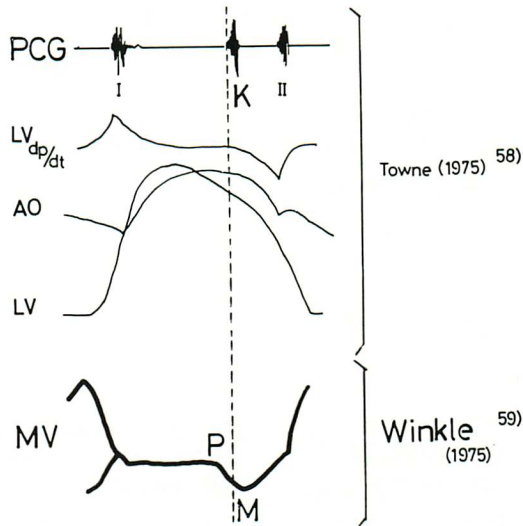


Fig. 26. Opening snap and mitral valve echogram from a young woman with mitral regurgitation.

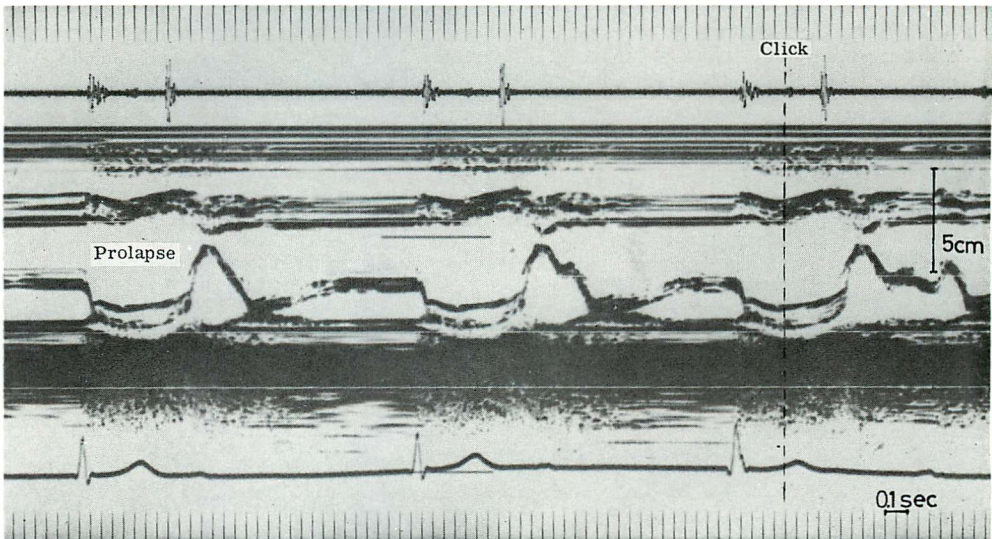
Opening snap occurs at the time of E point of the mitral valve.

## Systolic Click in Mitral Prolapse



**Fig. 27. Systolic click in mitral valve prolapse.**

Winkle et al stated that the systolic click occurred during P-M interval of the mitral valve (MV). Actually, the click may or may not coincide with the point of abrupt backward movement.



**Fig. 28. Systolic click and the mitral valve echogram.**

Systolic click in this case occurs just before the maximum backward motion of the valve, which shows pansystolic bowing.



## Tumor Plop

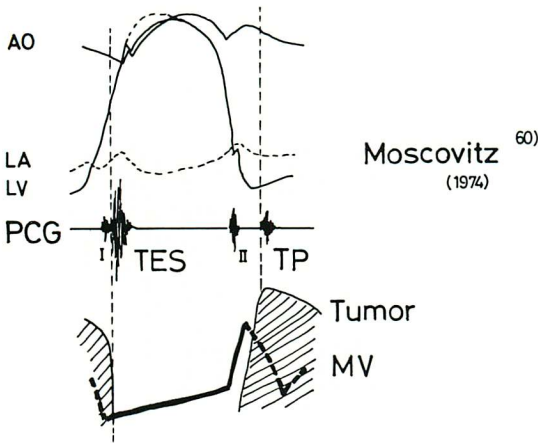


Fig. 29. Tumor plop in left atrial myxoma.

This diagram is a modification of the figure of Moscovitz et al. Sudden deceleration of the tumor in the left ventricular cavity is responsible for the tumor plop (TP). Also, the loud early systolic sound (TES) coincides with the sudden deceleration of the tumor movement in the left atrial cavity.

### 8. 僧帽弁逸脱症候群の収縮期クリック (systolic click)

僧帽弁逸脱症候群におけるクリックについては、その発生時における血行力学上の特異的なパターンを見出すことはできていないが<sup>58)</sup>、Winkleら<sup>59)</sup>は心エコー図上僧帽弁逸脱の最大偏位点の直前にみられるとした (Fig. 27)。われわれの例でもほとんど最大偏位点と一致して同様な結果が得られた (Fig. 28)。しかしこの関係は症例によりまちまちで、midsystolic buckling の開始点に一致する click 例も少なくはない。このような時相の相違は、弁帆の逸脱がどの scallop(s) に生じるかということにも関係しているように思われる。

### 9. 粘液腫における tumor plop

Fig. 29 は左房粘液腫を模倣した Moscovitzら<sup>60)</sup>の実験によるものであるが、腫瘍の急激な後方運動および前方運動の停止点に一致して extra-sound が生じていることを示している。

Fig. 30 の左房粘液腫症例では protodiastole のみに異常心音があるが、これは同様に腫瘍の急激な前方運動の終了点に一致して生じている。

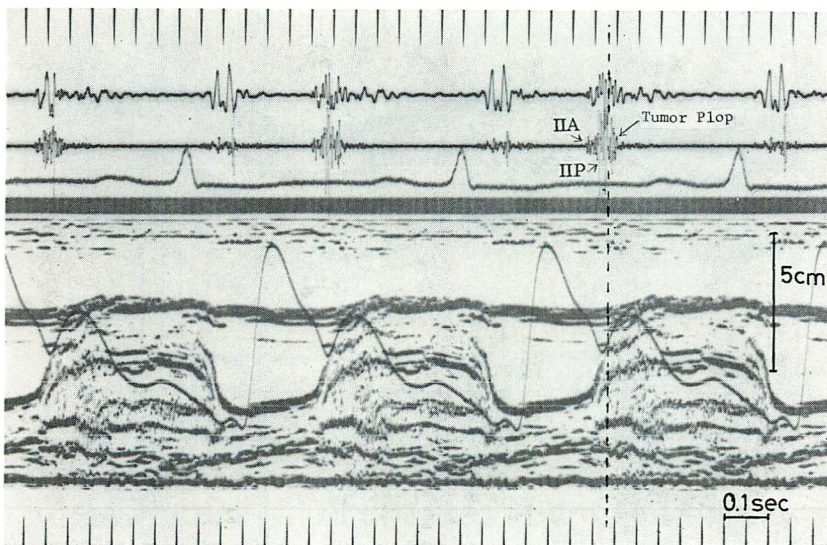
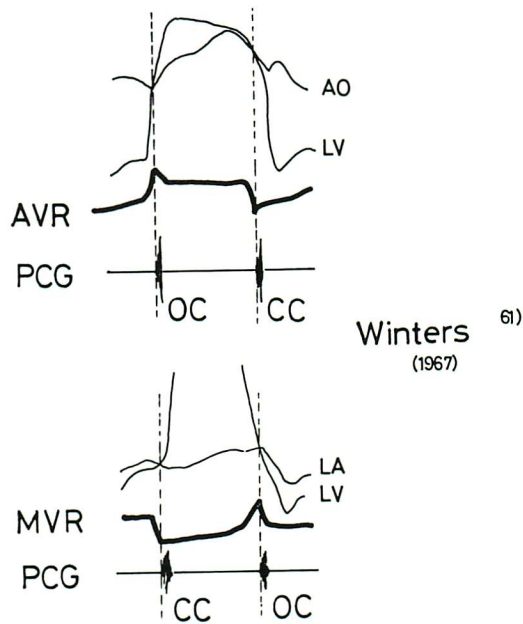


Fig. 30. Tumor plop and the echogram of a left atrial myxoma.

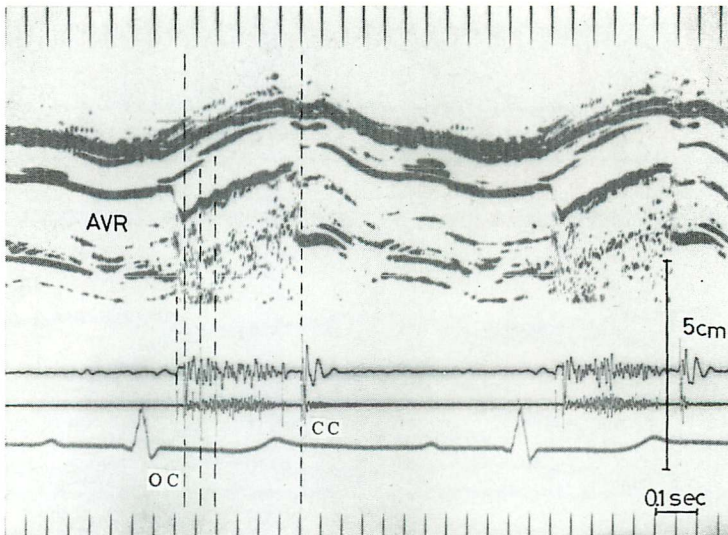
Sudden halting of the tumor excursion is responsible for tumor plop.

### Artificial Valve Sound



**Fig. 31. Artificial valve sound.**

By echocardiographic technique, Winters et al firstly demonstrated that the origin of the opening click (OC) and closing click (CC) of the aortic and mitral prostheses appeared relating the bounces or vibratory motion at the apex and base of the respective cages.



**Fig. 32. Phonoechocardiogram from a case with aortic valve replacement of Starr-Edwards ball valve.**

The opening click (OC) and the closing click (CC) occur at the time of the sudden deceleration of the ball motion.

## 10. 人工弁音 (artificial valve sound)

Winters ら<sup>61)</sup> は人工弁による opening click は圧交叉時に認められるとしているが、弁の inertia を考えれば妥当性を欠いているものと思われる (Fig. 31). しかし人工弁運動の急激な停止点に click が生じていることは Fig. 32 の例からも一目瞭然である.

## むすび

以上各種の心音と心エコー図パターンとの関係について、自験例を示しながら概説した. 心音発生機転における “valve closure”, “muscle tension” あるいは “flow velocity change” などというただ1つの因子ですべてを説明しようとする一元説は、I 音については前時代的になりつつあるが、その他の心音については、その factor の占める割合を考えるとこの一元説を無視できないと思われる. 一般的には Rushmer の心血液系の理論<sup>3)</sup>を導入することによって心音発生の理解が容易になるようである. しかし前述したように、心音発生機序については不明な点が非常に多く、このまとめを契機として、今後さらに検討を続けなければならないと思われる.

## Addendum

本論文提出後、IHSS 例にみられる “pseudoejection sound” は、僧帽弁の SAM (収縮期異常前方運動) が心室中隔に contact することにより生ずるとの報告<sup>62)</sup>があったので追加する.

## 文献

- 1) Craige E: Echocardiography in studies of the genesis of heart sounds and murmurs. in Progress in Cardiology, Vol 4, edited by Yu P, Goodwin J. Lea & Febiger, Philadelphia, 1975, p 1-21
- 1A) Craige E: On the genesis of heart sounds: Contributions made by echocardiographic studies. Circulation 53: 207-209, 1976
- 2) 坂本二哉: 心エコー図からみた心機能——ベットのサイド情報、ことに聴診所見との関連について. 呼吸と循環 23: 909-916, 1975
- 2A) 林 輝美, 一安弘文, 天野恵子, 羽田勝征, 坂本二哉: 心エコー図と心音図の関係. 内科 36: 796-802, 1975
- 3) Rushmer RF: Cardiovascular Dynamics. 3rd edition, WB Saunders, Philadelphia, 1970, p 303-313
- 4) Luisada AA: Heart sound by echo. Circulation 54: 526-528, 1976
- 5) Yellin EL, Frater RWM, Laniado S: First heart sound and mitral valve tension. Amer Heart J 90: 277-279, 1975
- 6) Kostis JB: Mechanisms of heart sounds. Amer Heart J 89: 546-548, 1975
- 7) 林 輝美, 一安弘文, 瓦谷仁志, 松久茂久雄, 坂本二哉: 半月弁閉鎖と II 音発生との関連に関する検討. 日超医 26: 97-98, 1974
- 8) Sakamoto T, Matsuhisa M, Hayashi T, Ichiyasu H: Echocardiogram and phonocardiogram related to the movement of the pulmonary valve. Jap Heart J 16: 107-117, 1975
- 9) Ichiyasu H, Sakamoto T, Hayashi T, Amano K, Hada Y, Tei C: Genesis of the diastolic gallop sounds. Phonoechocardiographic observations. 6th Asian-Pacific Congress of Cardiology. Abstracts: 50, 1976
- 10) Dock W: Mode of production of the first heart sound. Arch Intern Med 51: 737-746, 1933
- 11) Leatham A: Splitting of the first and second heart sounds. Lancet ii: 607-613, 1954
- 12) Luisada AA, MacCanon DM, Kumar S, Feigen LP: Changing views on the mechanism of the first and second heart sounds. Amer Heart J 88: 503-514, 1974
- 13) Laniado S, Yellin EL, Miller H, Frater RWH: Temporal relation of the first heart sound to closure of the mitral valve. Circulation 47: 1006-1014, 1973
- 14) 田中元直, 目黒泰一郎, 香坂茂美, 寺沢良夫, 海野金次郎, 仁田桂子, 柏木 誠, 杉 春雄: 心音と弁動態との関連からみた心音発生機序に関する一考察. 臨床心音図 3: 379-392, 1973
- 15) Edler I: Ultrasound cardiography in mitral valve stenosis. Amer J Cardiol 19: 18-31, 1967
- 16) Pohost GM, Dinsmore RE, Rubenstein JJ, O'Keefe DD, Grantham RN, Scully HE, Beierholm EA, Frederilsen JW, Weisfeldt ML, Daggett WM: The echocardiogram of the anterior leaflet of the mitral valve. Correlation with hemodynamic and cinerentgenographic studies in dogs. Circulation 51: 88-97, 1975
- 17) Waider W, Craige E: The first heart sound and

- ejection sounds: Echophonocardiographic correlation with valvular events. *Amer J Cardiol* **35**: 346-356, 1975
- 18) Lakier JB, Fritz VU, Pocock WA, Barlow JB: Mitral components of the first heart sound. *Brit Heart J* **34**: 160-166, 1972
  - 19) Shah PM, Mori M, MacCanon DM, Luisada AA: Hemodynamic correlates of the various components of the first heart sound. *Circulat Res* **12**: 386-392, 1963
  - 20) Piemme TE, Barnett O, Dexter L: Relationship of heart sounds to acceleration of blood flow. *Circulat Res* **18**: 303-315, 1966
  - 21) Zaky A, Steinmetz EF, Feigenbaum H: Role of atrium in closure of mitral valve in man. *Amer J Physiol* **217**: 1652-1659, 1969
  - 22) Shah PM, Kramer DH, Gramiak R: Influence of the timing of atrial systole on mitral valve closure and on the first heart sound in man. *Amer J Cardiol* **26**: 231-237, 1970
  - 23) 藤井諄一, 渡辺 暎: UCG による僧帽弁動態と I 音について. *臨床心音図* **3**: 371-378, 1973
  - 24) Burggraf GW, Craige E: The first heart sound in complete heart block: Phonocardiographic correlations. *Circulation* **50**: 17-24, 1974
  - 25) Parisi AF, Milton BG: Relation of mitral valve closure to the first heart sound in man. *Amer J Cardiol* **32**: 779-782, 1973
  - 26) Ziady GM, Hardarson T, Curriel R: The use of echocardiography to measure isometric contraction time. *Amer Heart J* **89**: 200-206, 1975
  - 27) Wiggers CJ: *Circulation in health and disease*. Lea & Febiger, Philadelphia and New York, 1915, p 53
  - 28) MacCanon DM, Arevalo F, Meyer EC: Direct detection and timing of aortic valve closure. *Circulat Res* **14**: 387-391, 1964
  - 29) Shaver JA, Nadolny RA, O'Toole JD, Thompson ME, Reddy PS, Leon DF, Curtiss EI: Sound pressure correlates of the second heart sound: An intracardiac sound study. *Circulation* **49**: 316-325, 1974
  - 30) Chandraratna PAN, Lopez JM, Cohen L: Echocardiographic observations on the mechanism of production of the second heart sound. *Circulation* **51**: 292-296, 1975
  - 31) Anastassiades PC, Quinones MA, Gaasch WH, Adyanthaya AV, Waggoner AD, Alexander JK: Aortic valve closure: Echocardiographic, phonocardiographic, and hemodynamic assessment. *Amer Heart J* **91**: 228-232, 1976
  - 32) Mori M, Shah PM, MacCanon DM, Luisada AA: Hemodynamic correlates of the second heart sound. *Cardiologia* **44**: 65-77, 1964
  - 33) Brough RD Jr, Talley RC: Temporal relation of the second heart sound to aortic flow in various conditions. *Amer J Cardiol* **30**: 237-241, 1972
  - 34) Leatham A, Vogelpoel L: Early systolic sound in dilatation of the pulmonary artery. *Brit Heart J* **16**: 21-33, 1954
  - 35) Ross RS, Criley JM: Cineangiographic studies of the origin of cardiovascular physical signs. *Circulation* **30**: 255-261, 1964
  - 36) Hultgren HN, Reeve R, Cohn K, McLeod R: The ejection click of valvular pulmonic stenosis. *Circulation* **40**: 631-640, 1969
  - 37) Whittaker AV, Shaver JA, Gray S III, Leonard JJ: Sound-pressure correlates of the aortic ejection sound. An intracardiac sound study. *Circulation* **39**: 475-486, 1969
  - 38) Assad-Morell JL, Seward JB, Tajik AJ, Hagler DJ, Giuliani ER, Ritter DG: Echo-phonocardiographic and contrast studies in conditions associated with systemic arterial trunk overriding the ventricular septum. *Circulation* **53**: 663-673, 1976
  - 39) 坂本二哉, 松久茂久雄, 井上 清, 林輝美, 伊藤梅乃: 間接的肺動脈拍動曲線の描記とその臨床的および血行動態的観察. *臨床心音図* **3**: 127-140, 1973
  - 40) Crevasse L, Wheat MW, Wilson JR, Leeds RF, Taylor WJ: The mechanism of the generation of the third and fourth heart sounds. *Circulation* **25**: 635-642, 1962
  - 41) Craige E, Fortuin NJ: Genesis of heart sounds and murmurs as demonstrated by echocardiography. *in* *Ultrasound in the Diagnosis of Cardiovascular-Pulmonary Diseases*. Joyner CR ed, Year Book Med Publ, Inc, Chicago, 1974, p 126
  - 42) Prewitt T, Gibson D, Brown D, Sutton G: The 'rapid filling wave' of the apex cardiogram. Its relation to echocardiographic and cineangiographic measurements of ventricular filling. *Brit Heart J* **37**: 1256-1262, 1975
  - 43) Muiesan G, MacCanon DM, Nunez-Dey D, DiBartolo G: Hemodynamic correlates of the fourth heart sound. *Amer J Physiol* **201**: 1090-1094, 1961
  - 44) Arevalo F, Meyer EC, MacCanon DM, Luisada AA: Hemodynamic correlates of the third heart sound. *Amer J Physiol* **207**: 319-324, 1964
  - 45) 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**: 104-113, 1975
- 46) Kalmanson D, Bernier A, Veyrat C, Witchitz S, Savier CH, Chiche P: Normal pattern and physiological significance of mitral valve flow velocity recorded using transseptal directional Doppler ultrasound catheterization. *Brit Heart J* **37**: 249-256, 1975
  - 47) Crews TL, Priddle R, Benham R, Leatham A: Auscultatory and phonocardiographic findings in Ebstein's anomaly: Correlation of first heart sound with ultrasonic records of tricuspid valve movement (abstr). *Circulation (Suppl III)* **41**: 113, 1970
  - 48) Tajik AJ: Echocardiogram in Ebstein's anomaly with Wolff-Parkinson-White pre-excitation syndrome, type B. *Circulation* **47**: 813-818, 1973
  - 49) Fontana ME, Wooley CF: Sail sound in Ebstein's anomaly of the tricuspid valve. *Circulation* **46**: 155-164, 1972
  - 50) Farooki ZQ, Henry JG, Green EW: Echocardiographic spectrum of Ebstein's anomaly of the tricuspid valve. *Circulation* **53**: 63-68, 1976
  - 51) Gibson TC, Grossman W, McLaurin LP, Moos S, Craige E: An echocardiographic study of the interventricular septum in constrictive pericarditis. *Brit Heart J* **38**: 738-743, 1976
  - 52) Rodbard S, Libanoff AJ: The mitral closing snap. *Amer Heart J* **83**: 19-26, 1972
  - 53) Friedman NJ: Echocardiographic studies of mitral valve motion. Genesis of the opening snap in mitral stenosis. *Amer Heart J* **80**: 177-187, 1970
  - 54) Millward DK, Craige E: Echocardiographic studies to explain mitral-valve-opening snaps from nonstenotic mitral valves. *Amer J Cardiol* **31**: 64-70, 1973
  - 55) Craige E, Fortuin NJ: Opening snap in mitral stenosis. *Amer Heart J* **89**: 128, 1975
  - 56) Kalmanson D, Veyrat C, Bernier A, Witchitz S, Chiche P: Opening snap and isovolumic relaxation period in relation to mitral valve flow in patients with mitral stenosis. *Brit Heart J* **38**: 135-146, 1976
  - 57) Luisada AA: *The Sound of the Normal Heart*. Warren H. Green, Inc, Missouri, 1972, p 35
  - 58) Towne WD, Rahimtoola SH, Sinno MZ, Loeb HS, Rosen KM, Gunnar RM: The effects of right atrial and ventricular pacing on the auscultatory findings in patients with mitral valve prolapse. *Circulation* **51**: 988-996, 1975
  - 59) Winkle R, Goodman D, Popp R: Simultaneous echocardiographic phonocardiographic recordings at rest and during amyl nitrite administration in patients with mitral valve prolapse. *Circulation* **51**: 522-529, 1975
  - 60) Moscovitz HL, Pantazopoulos J, Bodenheimer M, Steier M, Gelb IJ: Simulated left atrial tumor. *Amer J Cardiol* **34**: 63-71, 1974
  - 61) Winters WL, Giennez J, Soloff LA: Clinical application of ultrasound in the analysis of prosthetic ball valve function. *Amer J Cardiol* **19**: 97-107, 1967
  - 62) Sze KC, Shah PM: Pseudoejection sound in hypertrophic subaortic stenosis. An echocardiographic correlative study. *Circulation* **54**: 504-509, 1976