

心音・心エコー図法による  
I 音前成分の発生機序に  
関する検討

Phonoechocardiographic  
study on the genesis of  
the initial low-frequency  
component of the first  
heart sound

羽田 勝征  
坂本 二哉  
天野 恵子  
山口 経男  
石光 敏行  
竹中 克  
高橋 久子  
滝川 玲子

Yoshiyuki HADA  
Tsuguya SAKAMOTO  
Keiko AMANO  
Tsuneo YAMAGUCHI  
Toshiyuki ISHIMITSU  
Katsu TAKENAKA  
Hisako TAKAHASHI  
Reiko TAKIKAWA

**Summary**

The high-frequency vibrations of the first heart sound (S1) have been reported to be associated with the closure of atrioventricular valves. However, the genesis of the low-frequency component (LFC) preceding S1 remains controversial. In order to investigate the genesis of the production of this LFC, we recorded phonocardiograms simultaneously with M-mode echocardiograms in 10 healthy subjects and 26 patients with various diseases including mitral valve replacement. The apical phonocardiograms were recorded using a 100 Hz/12 dB high-pass filter and a commercially available acceleration microphone. Patients with rheumatic mitral valve disease and bundle branch block were excluded from this study. The electrocardiograms demonstrated sinus rhythm in 23, atrial fibrillation in nine, complete atrioventricular block in two and atrial flutter in two. The P-R interval in sinus rhythm ranged from 130 to 200 msec.

The LFC occurred an average of 24 msec after the QRS complex, but 38 msec before the first high-frequency component of S1. The final fast closing movement of the mitral valve echogram started following the onset of LFC in sinus rhythm or the arrhythmias. Coaptation of the mitral valve leaflets was coincident with the first high-frequency S1. In 23 cases with the visible tricuspid valve, the valve closure occurred 28 msec after that of the mitral valve. The onset of the LFC was almost synchronous in timing with, or very close (10 msec or less) to the initial upstroke of apex cardiograms simultaneously recorded in 10 cases. The amplitude of the LFC was constantly smaller than that of S1 in all cases, but it was variable in atrial fibrillation or complete atrioventricular block. The LFC became loudest after

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 24th Meeting of the Cardiography Society held in Tokyo, March 23-24, 1982  
Received for publication June 5, 1982

a short RR interval and then ventricular systole was coincided in time with the rapid filling of the left ventricle, or when atrial systole was very close in time to an expected time of ventricular systole. It is certain that antegrade mitral blood flow was decelerated at that time, though the mitral valve was in the rapidly closing process.

We conclude that the LFC is produced by the vibration of cardiohemic system, or the acceleration of the left ventricular mass plus the deceleration of blood flow, and that atrial activity and atrioventricular valve tension are not prerequisite to the production of this soft apical vibration preceding S1.

#### Key words

Phonoechocardiography  
Fourth heart sound

First heart sound

Mitral valve closure

Tricuspid valve closure

### はじめに

今日, I 音高調成分の発生機序に関しては弁膜説が有力である<sup>1-4)</sup>. しかし, この I 音に先行する低調な前成分については, 古くよりその存在が指摘されているものの (Fig. 1), その機序については意見の一致をみていない. 心房音の一部とみなす考え方<sup>5-6)</sup>, 三尖弁説<sup>7)</sup>, 僧帽弁説<sup>8)</sup>, あるいは左室心筋説等<sup>9-13)</sup>, 数多くの考えが提唱されている.

Counihan ら<sup>10)</sup>, Armstrong ら<sup>11)</sup>, Bonner ら<sup>12)</sup> は, 心房細動例や人工弁置換例でこの前成分が記録されることから, 左室心筋, および血液系の振動によって惹起されるものであると考え, 心房, 弁尖の関与を否定している. しかし, これらの報告は, 当時, 弁動態を直接観察する方法が存在しなかったこともあって, 前成分を弁運動との対比において検討したものではない. 近年, 心エコー図法の導入により, 弁運動の詳細な時相分析が可能になり, 心音図との同時記録から, 心音の解析がなされつつある<sup>1-4, 13-17)</sup>.

本研究は, この新しい心音・心エコー図法により, I 音前成分の発生機序を再検討することにある.

### 対象と方法

I 音前成分の定義: 心尖部心音図にて心電図 QRS 波開始後に始まり, I 音の高調な第 1 成分以前に記録される振動群とした. P-R 間隔短縮例では心房音との鑑別が問題になると考えられる

ので, 本検討では P-R 間隔=130 msec 以上の症例に限定した. また, 低調な心音の検出率は使用するフィルター特性に左右されるので, 今回は 100 Hz/12 dB の中音 high-pass filter を用い, 心音の有無と時相を判定した.

各症例でルチンの多誘導, 多チャンネル心音図と断層心エコー図の記録を行い, 相前後して心音・心エコー図法を施行した. 記録には Irex system II を使用し, 心尖部に Leatham 型吸着マイクロホンを装着, 2.25 MHz, 0.5 インチ径の超音波探触子にて心音図とともに房室弁エコーを記録した. また可能な限り心尖拍動図 (apex cardiogram, ACG) の同時記録を行った. 被験者は全例, 臥位が左半側臥位とし, 平静呼吸時の呼吸止めにて, 毎秒 100 mm の紙送り速度でストリップチャートに記録した. 計測はすべて 5 msec の精度で行った.

対象は健常者 10 例, 種々の疾患群 26 例の計 36 例である (Table 1). 心電図による心調律は洞調律 23 例, 心房細動 9 例, 完全房室ブロック 2 例, 心房粗動 2 例であり, 洞調律の P-R 間隔は 130~200 msec であった. リウマチ性弁膜症と脚ブロック例は対象より除外したが, 弁置換の 2 例は対象に含めた.

心房細動例では先行 R-R 間隔と I 音前成分の音量との関係をも検討した.

諸計測は, 心電図 QRS 波との時間関係において, I 音, I 音前成分, 房室弁閉鎖, ACG 立ち上がり開始点などについて行った. 三尖弁の閉鎖

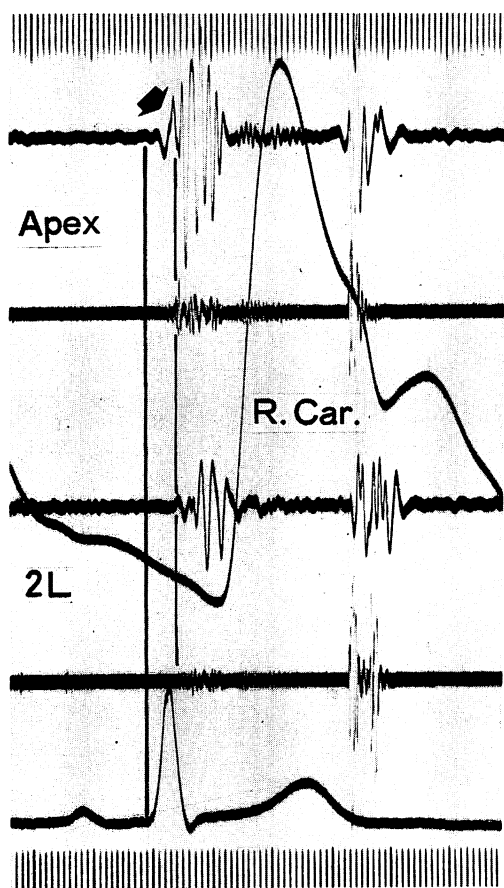


Fig. 1. Representative phonocardiogram showing the low-frequency component of the first heart sound (LFC) (arrow).

The first and second vertical lines correspond to the onset of the QRS complex and the low-frequency component, respectively. R. Car. = right carotid artery pulse; 2L = second intercostal space at the left sternal border.

は両弁尖の記録が困難なため、前尖の急激な運動停止点 C にて代用した<sup>1-4)</sup> (Fig. 2A). なお、心房細動例では、先行 R-R 間隔が 800 msec に近い心拍の記録を用いて計測した。

## 結 果

全症例の臨床データと計測値を Table 1 に示す。

I 音前成分は心電図 QRS 波開始後、平均 28 msec で始まり、平均 38 msec 持続した。この時期、僧帽弁エコーは洞調律 (Fig. 2)、不整脈 (Fig. 3, 4, 5) を問わず、急峻な閉鎖運動を示していた。洞調律で僧帽弁エコーの AC スロープ上に変曲点 B の認められる症例では、I 音前成分はこの時点より出現していた。僧帽弁の閉鎖点 C は I 音の最初の高調成分に一致していた。I 音前成分は僧帽弁置換例でも記録された。

三尖弁の閉鎖点 C は 36 例中 23 例で観察されたが、これは僧帽弁エコーのそれよりも平均 28 msec 遅れていた。三尖弁閉鎖が僧帽弁閉鎖に先行する例は 1 例もなかった (Table 1)。

ACG の同時記録は 10 例で可能であった。その収縮期の立ち上がり点は、10 msec 以内の範囲で、I 音前成分の開始時期に一致していた (Table 1, Fig. 2B)。

記録された I 音前成分の振幅は、全例で I 音より小であった。その大きさは不整脈例で変動したが、とくに心房細動の 3 例、完全房室ブロックの 1 例で顕著であった。Fig. 3 に示すごとく、先行 R-R 間隔が短い場合、すなわち拡張早期、あるいは III 音の記録された例では、その III 音の発生する時期に次の収縮が始まった時のみ、I 音前成分の振幅は最大となった。この場合、僧帽弁の両弁尖はほぼ最大開放の状態にあった。逆に先行 R-R 間隔が十分長い心拍での I 音前成分は非常に小さな振動群として記録されるのみであった。この場合、僧帽弁の開放度も小であった。

完全房室ブロック例では、Fig. 4 のごとく、P-R 間隔が短く、心電図 P 波に続いて心房音の出現する時点で次の収縮が始まった時、I 音前成分は強大となった。この場合 critical な P-R 間隔の存在が必要であった。十分に短い P-R 間隔が記録できなかった他の完全房室ブロック例では、I 音前成分の音量には変化なく、いずれの心拍においても、つねに心電図 QRS 波開始後僧帽弁の閉鎖しつつある時期に存在していた (Fig. 5A)。

**Table 1. Summary of patient data**

Case	Age/Sex	Diagnosis	HR /min	P-R msec	Q-LFC msec	Q-ACG msec	IVs	Q-M msec	M-T msec
Sinus rhythm									
1	18/M	Normal	86	150	25	25	—	55	25
2	20/M	Normal	60	150	20	—	—	60	30
3	29/F	Normal	71	140	30	—	—	50	20
4	44/F	Normal	68	170	40	—	—	60	—
5	21/M	Normal	54	180	20	—	—	60	40
6	24/F	Normal	78	140	20	—	—	55	25
7	25/M	Normal	60	170	30	—	—	60	30
8	35/M	Normal	75	140	15	—	—	55	—
9	45/F	Normal	67	160	30	—	+	65	—
10	23/M	Normal	59	190	20	15	—	60	45
11	22/M	Sinus bradycardia	43	150	15	—	—	55	25
12	15/M	Systolic click	68	150	20	—	—	50	35
13	34/M	Behçet's disease	57	190	45	—	+	80	10
14	31/M	Hypertension	80	170	20	—	+	45	—
15	52/M	Angina pectoris	77	160	10	—	—	40	—
16	25/M	Myocarditis	80	160	25	25	+	75	25
17	43/M	Nephrotic syndrome	91	200	20	—	+	65	0
18	23/M	Systolic click	48	160	20	—	—	70	40
19	26/F	Aortitis syndrome	61	180	30	—	—	65	—
20	28/F	Pulmonary tbc	69	170	25	—	—	50	—
21	35/M	MR	57	170	30	—	+	65	—
22	42/F	AR	59	130	30	30	—	65	—
23	23/M	Systolic click	60	160	30	—	—	60	—
Atrial fibrillation									
24	70/F	Lone	67	—	30	30	—	65	25
25	69/F	Lone	72	—	30	—	—	70	30
26	60/F	PSS	88	—	20	20	—	55	35
27	37/F	MVR	75	—	15	15	—	55	30
28	38/F	MVR, AVR	79	—	20	30	—	75	25
29	64/F	MR, TR	44	—	30	20	—	60	35
30	46/M	DCM	75	—	20	—	—	70	—
31	56/F	Hypertension	79	—	30	—	—	60	—
32	32/M	MR	80	—	30	—	—	70	30
Complete atrioventricular block									
33	58/M	Hypertension	27	—	0	—	+	65	—
34	29/M	MVP, TVP	34	—	5	—	+	80	0
Atrial flutter									
35	41/M	Lone	78	—	40	30	—	75	35
36	71/M	Lung cancer	133	—	35	—	—	80	55
Mean	37.6		68.3	163.2	24.3	24.0		62.4	28.0
±	±		±	±	±	±		±	±
SD	16.1		18.4	18.1	9.3	6.1		9.7	12.8

Abbreviations: HR=heart rate; Q-LFC=interval between the Q wave of the electrocardiogram and the onset of low-frequency component (LFC) of the first heart sound; Q-ACG=interval from the Q wave to the onset of upstroke of apex cardiogram; IVs=the fourth heart sound or an atrial sound; Q-M=interval from the Q wave to the coaptation of mitral valve leaflets; M-T=time interval between mitral and tricuspid valve closures; tbc = tuberculosis; MR=mitral regurgitation; AR=aortic regurgitation; PSS=progressive systemic sclerosis; MVR, AVR=mitral and aortic valve replacement; TR=tricuspid regurgitation; DCM=dilated cardiomyopathy; MVP, TVP=mitral and tricuspid valve prolapse.

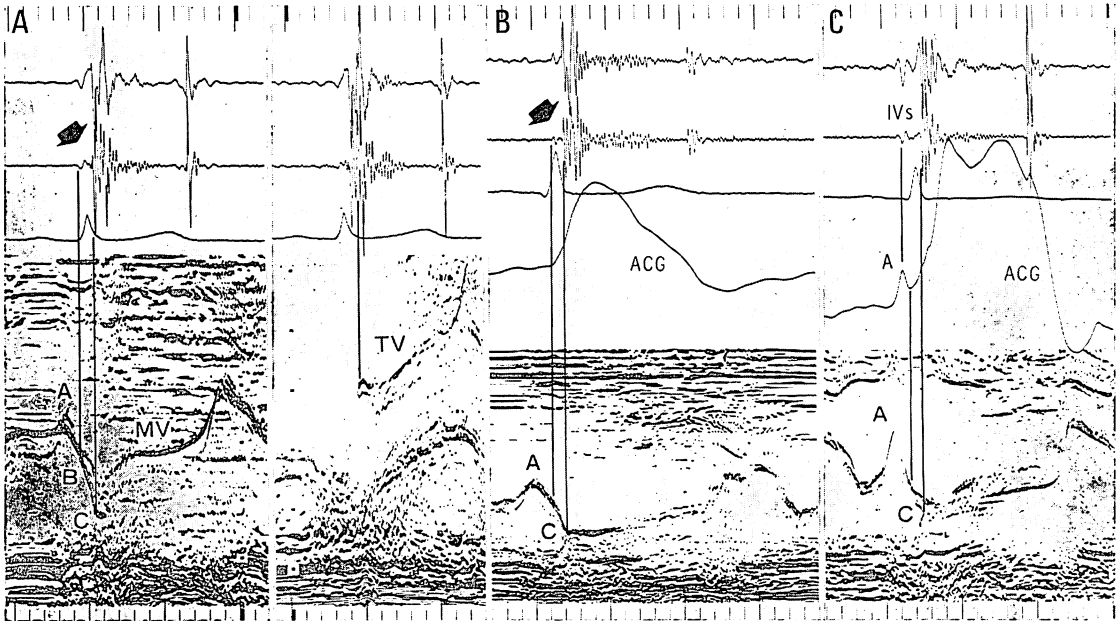


Fig. 2. Phonoechocardiograms demonstrating the time relationship among the low-frequency component (arrow), mitral valve (MV) closure, tricuspid valve (TV) closure, and apex cardiogram (ACG).

Panel A is echograms recorded in a normal subject and panels B and C are from patients with aortic regurgitation and systemic hypertension, respectively. The onset of LFC is coincident with the beginning of rapid closing movement of the MV echogram (point B), and the first high-frequency component of the first heart sound is synchronous with the coaptation of MV leaflets (second vertical line in the left panel). Note that TV closure occurs after MV closure. In panel B, the onset of systolic upstroke of ACG also corresponds to the onset of LFC. In panel C, the fourth heart sound (IVs) occurring at the peak of the A wave of ACG is shown which precedes the QRS complex of the electrocardiogram. This case is not included in this study because of the lack of LFC. The phonocardiograms with a high-pass filter of a frequency response of 100 Hz/12 decibel are used for the determination of timing of the sounds in this study (the second row with arrows). The phonocardiograms with a filter of 50 Hz/6 decibel shown in the first row are used for the reference. Dot intervals are 1 cm, and time intervals are 40 msec apart.

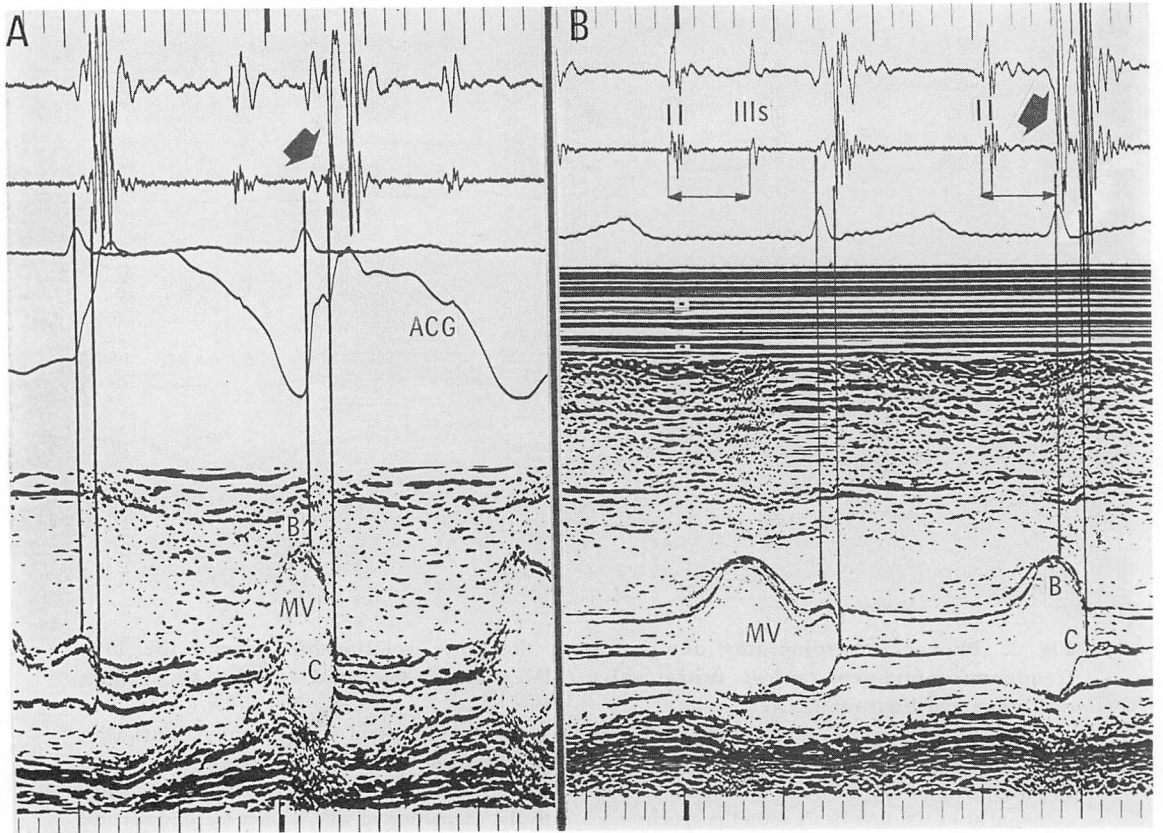
心房粗動例にも、心電図 F 波とは独立して、全心拍に I 音前成分が記録された (Fig. 5B)。

心房音, I 音前成分, および僧帽弁エコーは 8 例で同時に記録された (Table 1)。心房音のピークは僧帽弁エコーの A 波のピークに一致するか, わずかに遅れて記録されたが, いずれにしても心電図 QRS 波の開始前であった。心不全を有する 3 例では僧帽弁エコーに B-B' ステップが存在していたが, I 音前成分はこの時期から始まっていた。また ACG の同時記録を行った 1 例での I 音前

成分は, その立ち上がり開始点に一致していた。

#### 考 案

I 音前成分はいかなる状態にも存在する低調な心音であるが, 本研究に示すごとく, この振動は心臓の電氣的収縮後, ACG の立ち上がり一致して出現している。この前成分の発生に対し, 心房収縮や僧帽弁系 (mitral apparatus) が関与しないことは, 心房細動例や人工弁置換例でこの成分が記録されることから明瞭であり, この点は過去



**Fig. 3. The low-frequency component of the first heart sound recorded in two cases with lone atrial fibrillation.**

The mitral valve (MV) closes following the onset of this apical soft sound, which coincides with the initial upstroke of the apex cardiogram (ACG). It is demonstrated that a loud low-frequency component is produced at a critical time of the third heart sound (III<sub>s</sub>) occurring just before the next first heart sound as shown in the right panel. Note also that there is a maximally opened position of MV leaflets at the time of the loud sound. II=the second heart sound.

の報告<sup>10-12,15,18</sup>)とも一致している。I音前成分が三尖弁閉鎖に由来する振動であるとする報告<sup>7,19</sup>)は、三尖弁閉鎖の記録された全例で僧帽弁閉鎖が三尖弁のそれに一致するか先行していたことから否定されよう。

一般に ACG における収縮期の立ち上がりは左室圧上昇開始点に一致するとされており<sup>20,21</sup>), また左房・左室圧交叉は僧帽弁閉鎖以前に生じ<sup>22,23</sup>), I音第1成分は左房圧波形のC点に一致するとされている<sup>24</sup>)。以上のことから、我々は

Fig. 6 のような模式図を想定した。すなわち I音前成分は左室内圧が上昇し、僧帽弁が急速な閉鎖に向かう時期 (B-C スローブ) に出現し、閉鎖時点 C で高調な I音に移行する。この間、左室圧は左房圧を凌駕しており、弁口部の血流速度は弁口部の狭小化とともに「減少」しつつあると思われる。これは電磁流量計を用いた Laniado ら<sup>25</sup>)や、パルス・ドプラー法による Kalmanson ら<sup>26</sup>)の検討からでも明らかである。両僧帽弁の coaptation はちょうど左房圧波の C 点に一致し

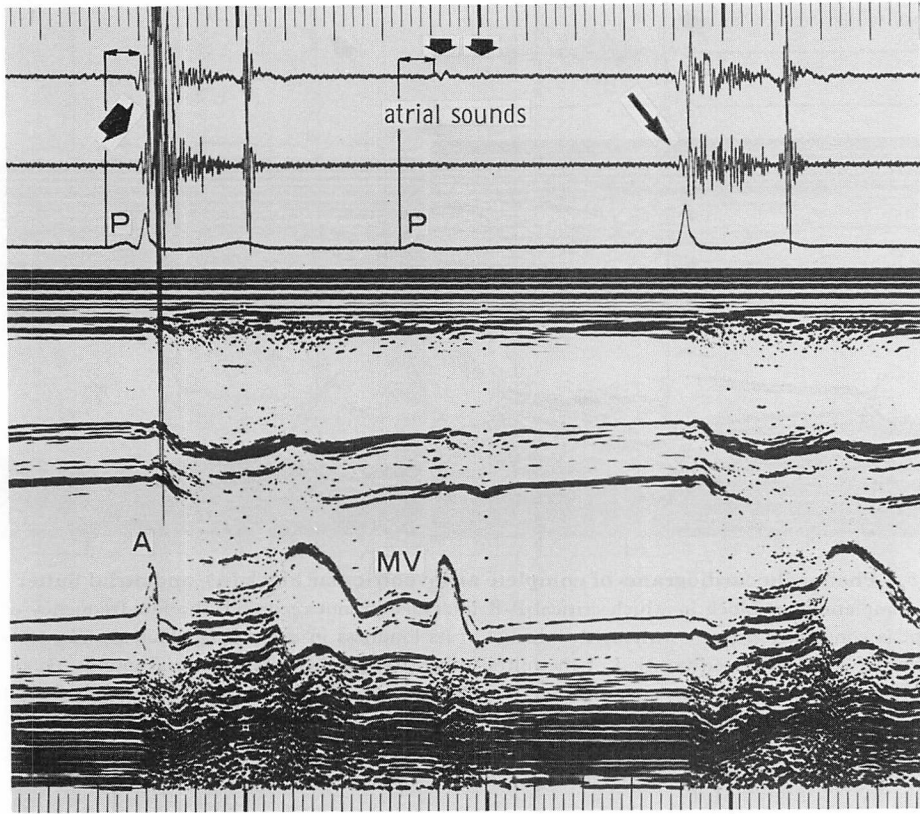


Fig. 4. Phonoecho cardiogram of a patient with complete atrioventricular block with sinus rhythm.

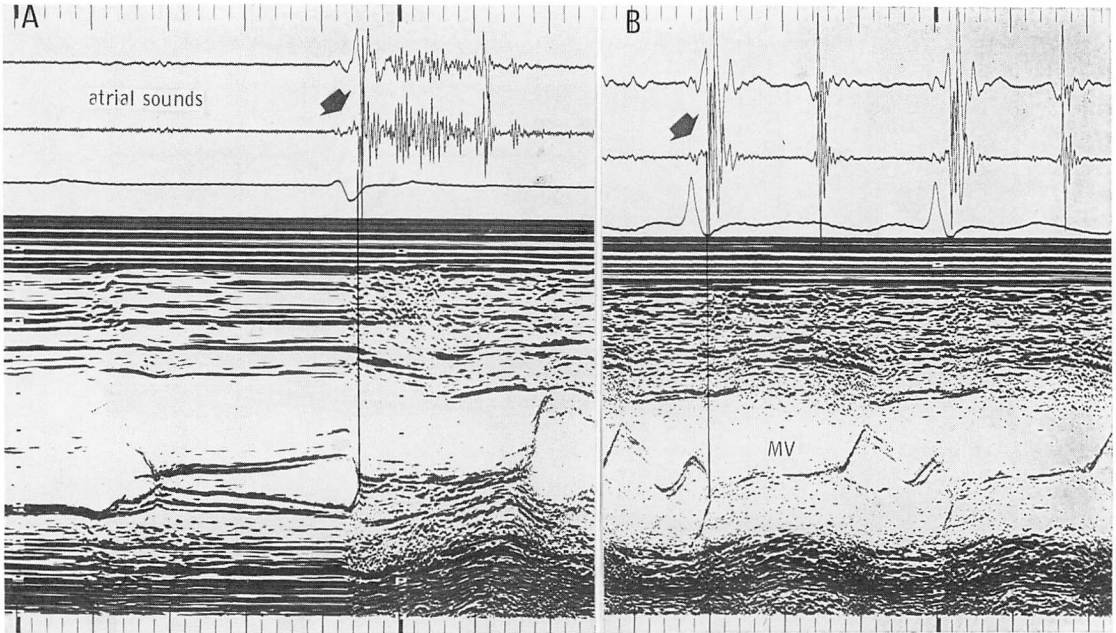
The second P wave is followed by two atrial sounds (small arrows). An abbreviated P-R interval (110 msec) is shown to induce a loud low-frequency component (left large arrow) during the rapid closing motion of the mitral valve (MV) in the first cardiac cycle. This apical soft sound is of small amplitude when it is not preceded by the P wave (right arrow), but is augmented when an atrial sound occurs critically at the early systolic phase and becomes blended in with the low-frequency component. This event occurs just before, but not after the MV closure.

て起こるが、この C 点は閉鎖した僧帽弁が左房内に向って緊張することにより形成されるのであろう。

心房細動例や完全房室ブロック例で強大な前成分が記録されることがあるのは、それぞれ、急速流入期と心房収縮期に増大した房室間血流が次の左室収縮により急速に deceleration を受け、それによる心・血液系 cardiohemic system の振動<sup>27)</sup>としてこの成分が発生するからであろう。

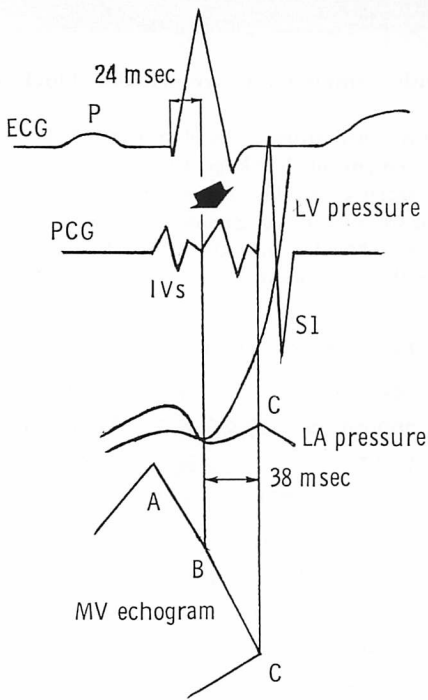
一方、Lakier らは fluid-filled カテーテルを

用い、左房・左室圧交叉時にこの I 音前成分が記録されることを観察し、この時点を僧帽弁の apposition の時期と考え、M-sound と名付けている<sup>8)</sup>。しかし圧記録に伴う time delay を考慮すれば、実際の圧交叉はそれよりもやっ早期に生じるものと思われる。事実、Burenstein ら<sup>22)</sup>、椎名ら<sup>23)</sup>の報告では圧交叉は僧帽弁閉鎖以前に起こっている。したがって、Lakier らの M-sound<sup>8)</sup>の M は mitral でなくて、むしろ muscular と解すべきものであろう。



**Fig. 5. Phonoechocardiograms of complete atrioventricular block (A), and atrial flutter (B).**

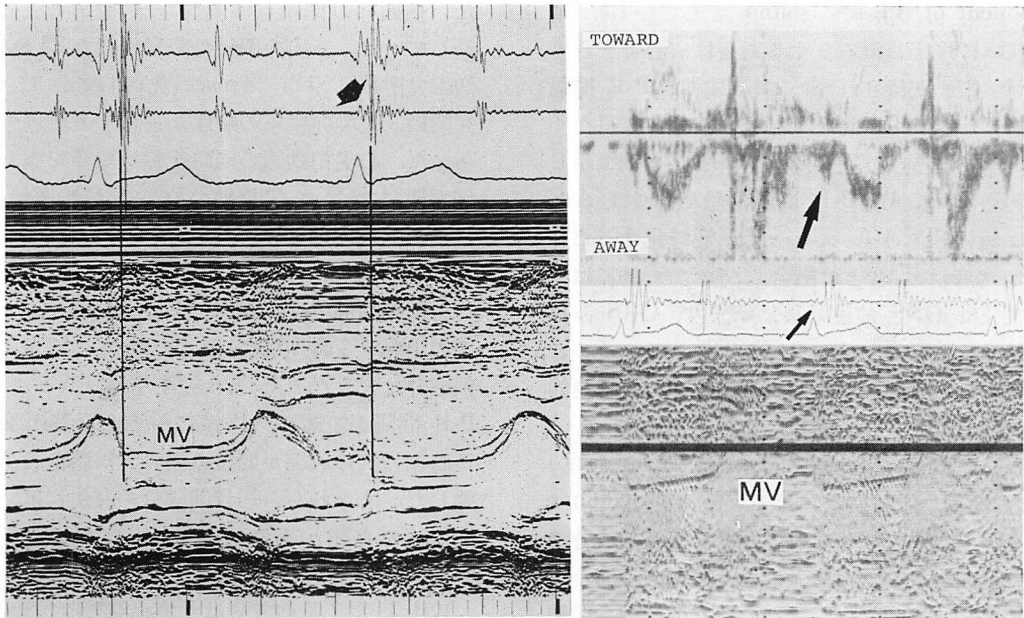
In complete heart block in which critical P-R intervals are not recorded, the low-frequency component is constantly present without the change of its loudness in every beat. This sound occurs at the time of a nearly closed position of the mitral valve (MV) independent of atrial sounds (panel A). The low amplitude deflections are also observed independent of the timing of the F wave of the electrocardiogram in atrial flutter (panel B).



**Fig. 6. Schematic representation of the timing of the low-frequency component (arrow) in relation to the first heart sound (S1), fourth heart sound (IVs), mitral valve (MV) echogram, and intracardiac pressure tracings.**

The IVs occurs at the time of the A wave of the MV echogram, but before the QRS complex. The LFC begins at the upstroke of left ventricular (LV) pressure and before the initial high-frequency mitral component of the S1. The coaptation of MV leaflets (point C) corresponds to the C wave of left atrial (LA) pressure tracing.





**Fig. 7. Phonoechocardiogram (left) and pulsed Doppler echocardiogram (right) obtained from a case of atrial fibrillation.**

The left panel shows the low-frequency component (arrow) occurring during the mitral valve (MV) closure. In the right panel, a small backward flow (large arrow) is recorded at the left ventricular outflow tract. A small arrow shows the low-frequency component in the phonocardiogram recorded simultaneously. The time lag between two arrows is attributed to be inherent to fast Fourier transformation of this pulsed Doppler echo system<sup>29)</sup>. Area of sample volume is shown by the straight line in the right panel.

心房細動例で、拡張早期に生じる心室収縮が強大な I 音前成分を生じることは、Bonner ら<sup>12)</sup>によっても観察されており、彼はこれに対して左室壁コンプライアンスの急激な変化に主因を求めている。最近、Armstrong ら<sup>29)</sup>は心エコー図と心尖拍動図との対比により、同様に僧帽弁閉鎖直前の低調な I 音前成分を認め、これは左室収縮により惹起される振動であろうと推測している。しかし、彼らは完全房室ブロックで変動する I 音前成分については記載していない。

我々の症例 (Figs. 3, 4) から明らかのように、I 音前成分の発生には左室収縮 (acceleration) と弁口血流 (deceleration) の両者が関与している。左室収縮のみでは、短い拡張期の後で前成分がむしろ亢進する理由を acceleration だけで説明はで

きないからである。

I 音前成分と心房音との関係を、僧帽弁エコーとの対比において検討した報告は皆無である。この2個の心音は共存しうるものであり、両者は時相的に異なった心内現象を反映したものである。心房音は心房収縮による心房・心室間の血液流入と、その結果としての左室壁伸展により発生し、僧帽弁エコーとの対比では A 波のピークまたはその下行脚の始めに位置する。一方、I 音前成分は左室圧上昇の存在を前提としており、その発生に心房収縮は必要条件ではない。前成分は僧帽弁エコー上の B 点に始まり、心房音よりは明らかに遅れて出現する振動群である。Kincaid-Smith & Barlow<sup>5)</sup> の報告のごとく、この I 音前成分が心房音の一部であり (したがって彼らは an atrial

component of the first sound としている), 両者が互いに移行し得るとする考えは, 心音・心エコー図学的に支持されない. 洞調律で P-R 間隔が短縮した症例では両者は触合し, 分離し得なくなるだけであろう. 完全房室ブロックの例で示したごとく (Fig. 4), P-R 間隔が短かければ A-C 時間は短縮し, A-C スロープが急峻化するだけで, 心房音は I 音とは融合しない. 一般には I 音前成分は QRS 波開始後に始まり, QRS 波以前に起こる心房音とは容易に鑑別される. このことは心不全, 心肥大の症例にあっては, その病的状態の把握にとくに大切なことである.

なお, 最近の pulsed Doppler echocardiography を用いた検討<sup>29)</sup>によると, preisovolumic period の時期(本研究ではちょうど I 音前成分の発生する時期に相応する)に心基部方向に向かう持続の短い血流が存在し, この流れは僧帽弁閉鎖に関与するという. 我々も Fig. 7 に示すごとく同様な観察を得ているが, 時相的に I 音前成分と一致するならば, 心音の発生機序を考える上で興味ある所見であるといえる.

## 要 約

I 音前成分の発生機序を検討するため, 心音・心エコー図法 (phonoechocardiography) を施行し, 心尖部心音図, 房室弁エコー図, ならびに心尖拍動図との対比検討を行った. 心尖部心音図は 100 Hz/12 dB のフィルターおよび市販の加速度マイクを用いて記録した. 対象の内訳は健常者 10 例, 洞調律の各種疾患例 13 例, 心房細動 9 例, 完全房室ブロック 2 例, 心房粗動 2 例の計 36 例である. リウマチ性弁膜症と脚ブロック例は除外したが, 僧帽弁置換の 2 例は症例に含めた.

I 音前成分は各種不整脈, 人工弁置換例にも記録された. I 音前成分は心電図 QRS 波開始後平均 24 msec, また高調な I 音成分より 38 msec 以前に出現した. 僧帽弁エコーとの対比では, 洞調律, 不整脈の例を問わず, I 音前成分の出現時期に僧帽弁エコーの急峻な閉鎖運動が認められ

た. 僧帽弁の閉鎖点は高調な I 音第 1 成分に一致していた. 三尖弁閉鎖の記録された 23 例では, 僧帽弁閉鎖は平均 28 msec 先行しており, 僧帽弁閉鎖・三尖弁閉鎖の順序が逆転する例は皆無であった. 心尖拍動図の同時記録が可能であった 8 例の検討では, 心尖拍動の立ち上がり開始点は, 10 msec 以内の範囲で I 音前成分の開始に一致していた.

心房細動例では, 先行 R-R 間隔が短く, III 音の出現する時期に次の心拍が始まる場合, I 音前成分は大となった. また完全房室ブロックでは, P-R 間隔が短縮し, P 波に続く心房音が発生する時期に次の収縮が始まる場合, I 音前成分は増強した. すなわち, I 音前成分の発生には, 房室間血流の存在とその deceleration が必要と思われた.

以上より, I 音前成分は左室心筋の収縮 (acceleration) と弁口血流の存在 (deceleration)—Rushmer らのいう cardiohemic system の振動—によって惹起されること, また心房収縮, 僧帽弁, 三尖弁の緊張は直接には関与しないと結論された.

## 文 献

- 1) Mills PG, Chamsco RF, Moos S, Craige E: Echophonocardiographic studies of the contribution of the atrioventricular valves to the first heart sound. *Circulation* 54: 944, 1976
- 2) Craige E: On the genesis of heart sounds, contributions made by echocardiographic studies (editorial). *Circulation* 53: 207, 1976
- 3) Leatham A, Leech G: Observations on relation between heart sounds and valve movements by simultaneous echo and phonocardiography (abstr). *Br Heart J* 37: 557, 1974
- 4) Brooks N, Leech G, Leatham A: Factors responsible for normal splitting of the first heart sound. *Br Heart J* 42: 695, 1979
- 5) Kincaid-Smith P, Barlow J: The atrial sound and the atrial component of the first heart sound. *Br Heart J* 21: 470, 1959
- 6) Rappaport MB, Sprague HB: The graphic registration of the normal heart sounds. *Am Heart J* 23: 591, 1942
- 7) Hultgren HN, Hubis H: A phonocardiographic

- study of patients with the Starr-Edwards mitral valve prosthesis. *Am Heart J* **69**: 306, 1965
- 8) Lakier JB, Fritz VU, Pocock WA, Barlow JB: Mitral component of the first heart sound. *Br Heart J* **34**: 160, 1972
  - 9) Luisada AA, MacCanon DM, Coleman B, Feigen LP: New studies on the first heart sound. *Am J Cardiol* **28**: 140, 1971
  - 10) Counihan T, Messer AL, Rappaport MB, Sprague HB: The initial vibrations of the first heart sound. *Circulation* **3**: 730, 1951
  - 11) Armstrong TG, Gotsman MS: Initial low frequency vibrations of the first heart sound. *Br Heart J* **35**: 691, 1973
  - 12) Bonner AJ, Stewart J, Tavel ME: "Presystolic" augmentation of diastolic heart sounds in atrial fibrillation. *Am J Cardiol* **37**: 427, 1976
  - 13) Sakamoto T: Cardiac function demonstrated by echocardiography with special reference to the auscultatory findings. *Respiration & Circulation* **23**: 909, 1975 (in Japanese)
  - 14) Hayashi T, Ichiyasu H, Amano K, Hada Y, Sakamoto T: Relationship between echocardiogram and phonocardiogram. *Internal Medicine* **36**: 796, 1975 (in Japanese)
  - 15) Ichiyasu H, Sakamoto T: Phonoechoardiography. *J Cardiology* **7**: 485, 1977
  - 16) Sakamoto T, Hada Y: Recent advancement in phonocardiography, particular reference to phonoechoardiography. *J Clin Adult* **7**: 1633, 1977 (in Japanese)
  - 17) Otto R: Echo-polymechanocardiography. *Electro-media* **3**: 101-108, 1980
  - 18) Tavel ME, Bonner AJ: Presystolic murmur in atrial fibrillation. Fact or fiction? (editorial). *Circulation* **54**: 167, 1976
  - 19) Hultgren HN, Leo TF: The tricuspid component of the first heart sound in mitral stenosis. *Circulation* **18**: 1012, 1958
  - 20) Tavel ME, Cambell RW, Feigenbaum H, Steinmenz EF: The apex cardiogram and its relationship to haemodynamic events within the left heart. *Br Heart J* **27**: 829, 1965
  - 21) Willems JL, De Geest H, Kesteloot H: On the value of apex cardiography for timing intracardiac events. *Am J Cardiol* **28**: 59, 1971
  - 22) Burenstein JJ, Pohost GM, Dinsmore RE, Harthorne JW: The echocardiographic determination of mitral valve opening and closure. Correlation with hemodynamic studies in man. *Circulation* **51**: 98, 1975
  - 23) 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, 細田瑛一: 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. *J Cardiology* **6**: 661, 1976
  - 24) O'Toole JD, Reddy SP, Curtiss EI, Griff FW, Shaver JA: The contribution of tricuspid valve closure to the first heart sound. An intracardiac micromanometer study. *Circulation* **53**: 752, 1976
  - 25) Laniado S, Yellin EL, Miller H, Frater RWH: Temporal relation of the first heart sound to closure of the mitral valve. *Circulation* **47**: 1006, 1973
  - 26) Kalmanson D, Bernier A, Colette V, Witchitz S, Savier CH, Chiche P: Normal pattern and physiological significance of mitral valve flow velocity recorded using transseptal directional Doppler ultrasound catheterization. *Br Heart J* **37**: 249, 1975
  - 27) Rushmer RF: *Cardiovascular Dynamics*. 3rd edition, WB Saunders, Philadelphia, 1970, p 303-313
  - 28) Armstrong TG, Mitha AS, Matison RE, Weir EK, Chesler E: Non-invasive observation on initial low frequency vibrations of the first heart sound: Correlation with the "presystolic" murmur in mitral stenosis. *Br Heart J* **40**: 750, 1978
  - 29) 水重克文, 千田彰一, 森田久樹, 三木茂裕, 高光義博, 松尾裕英: 左室流出路における等容性収縮期に先行せる心基部方向血流に関する検討—パルス・ドプラー法による観察—. *日超医講演論文集* **40**: 409, 1982