

第3音, 第4音の発生機序  
に関する検討: とくに左室  
流入血流パターンとの対比

Studies on the mecha-  
nisms of the third and  
fourth heart sounds:  
With special reference to  
the phase analysis of  
mitral flow velocity pat-  
tern

福田 信夫  
大木 崇  
坂井 秀樹  
浅井 幹夫  
大島千寿子  
村尾 明之  
富永 俊彦  
日下 芳子  
真鍋 恵子  
仁木 敏晴  
森 博愛

Nobuo FUKUDA  
Takashi OKI  
Hideki SAKAI  
Mikio ASAI  
Chizuko OHSHIMA  
Akiyuki MURAO  
Toshihiko TOMINAGA  
Yoshiko KUSAKA  
Keiko MANABE  
Toshiharu NIKI  
Hiroyoshi MORI

**Summary**

To investigate the genesis of the third (IIIs) and fourth heart sounds (IVs), apical phonocardiograms were recorded simultaneously with pulsed Doppler signals of the mitral flow and interventricular septal (IVS) and left ventricular posterior wall (PW) echoes by M-mode echocardiography in 26 cases with the IIIs and 11 cases with the IVs.

The following results were obtained:

1. Cases with the IIIs were classified into the following three groups according to the time relationship between the IIIs and a rapid filling wave (D wave) of the mitral flow velocity pattern.

1) IIIs-peak group: The IIIs occurred coincidentally with the peak of the D wave in five healthy adolescents and in 12 cases with absolute left ventricular volume overload including mitral regurgitation (MR: eight cases), postoperative atrial septal defect (ASD: three cases) and ventricular septal defect (one case).

---

徳島大学医学部 第二内科  
徳島市蔵本町 2-50 (〒770)

The Second Department of Internal Medicine, Faculty  
of Medicine, University of Tokushima, Kuramoto-  
cho 2-50, Tokushima 770

Presented at the 23rd Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kurume, October 8-10, 1981  
Received for publication February 23, 1983

2) IIIs-delay group: The IIIs occurred about 38 msec after the peak of the D wave in eight cases with relative left ventricular volume overload including congestive cardiomyopathy (CCM: three cases) and ischemic heart disease (IHD: five cases).

3) IIIs-early phase group: The IIIs occurred about 35 msec before the peak of the D wave in a case with acute MR due to chordal rupture.

2. In the IIIs-peak group, the IIIs coincided in time with the points of inflexion (check points) of both the IVS and PW during rapid filling phase in three cases with MR of mild to moderate degree and one case of postoperative ASD.

3. In the IIIs-delay group, the IIIs occurred simultaneously with the either the check point of the IVS or PW in two cases with CCM and one case with IHD, and it occurred before the check points of both the IVS and PW in two cases with severe MR of IIIs-peak group and in a case with acute MR due to chordal rupture of IIIs-early phase group.

4. Cases with the IVs were classified into following 2 groups according to the time relationship between the IVs and the atrial contraction wave (A wave) of the mitral flow velocity pattern.

1) IVs-peak group: The IVs occurred coincidentally with the peak of the A wave in six cases with left ventricular hypertrophy including hypertrophic cardiomyopathy (five cases) and hypertension (one case).

2) IVs-delay group: The IVs occurred about 33 msec after the peak of the A wave in five cases with left ventricular dilatation or dysfunction including old myocardial infarction (two cases), CCM (one case), postoperative ASD (one case) and aortic regurgitation (one case).

5. There were two types of IVs in time relationship between the IVs and the check points of the left ventricular wall during atrial contraction phase. One occurred simultaneously with the check points, and the other after them.

These results suggested that it is difficult to explain the mechanism of the genesis of the IIIs and IVs only by an acceleration-deceleration theory. Therefore, other etiologies, such as extracardiac origin, must be postulated.

#### Key words

Third heart sound

Fourth heart sound

Mitral flow velocity pattern

Motion of the left ventricular walls

#### はじめに

第3音(III音)および第4音(IV音)の発生機序に関しては従来から心筋説<sup>1,2)</sup>が有力で、一般にはRushmer<sup>3)</sup>のacceleration-deceleration theoryが支持されているが、いまだ十分に解明されているとはいえない。一方、超音波パルス・ドプラー法では直接的に心臓内の血流動態を観察し得ることから、この方法は心音・心雑音の成因解明に対する有力な一手段となりつつある<sup>4,5)</sup>。

本研究の目的は、III音およびIV音を左室流入血流波形および心室中隔、左室後壁エコーグラムと同時記録することにより、これらの心音の成

因を検討することである。

#### 対象および方法

対象はIII音を有する26例(10~58歳、平均36.9歳)、IV音を有する11例(31~62歳、平均49.9歳)の計37例である。

III音を有する例の内訳は、健常者5例、絶対的左室容量負荷疾患13例[僧帽弁閉鎖不全症(mitral regurgitation: MR)9例、心房中隔欠損症(atrial septal defect: ASD)術後3例、心室中隔欠損症(ventricular septal defect: VSD)1例]および相対的左室容量負荷疾患8例[虚血性心疾患(ischemic heart disease: IHD)5例、うっ

血型心筋症 (congestive cardiomyopathy: CCM) 3 例] で, IV 音を有する例の内訳は, 肥大型心筋症 (hypertrophic cardiomyopathy: HCM) 5 例, IHD 2 例, 高血圧症 1 例, CCM 1 例, 大動脈弁閉鎖不全症 1 例, ASD 術後 1 例である (Table 1).

III 音を有する 26 例のうち 10 例は心房細動で, それ以外の例は洞調律である. IHD としては, 陳旧性心筋梗塞症 3 例と, 心電図上虚血性 ST-T 変化を有する 4 例を用いた.

左室流入血流波形の計測には ATL 製方向指示型超音波パルス・ドプラー血流計 500A と東芝製超音波断層装置 SSH-11A の複合システムを用い, 僧帽弁口部の血流波形を確認した上で, 全例に心尖部低音心音図と同時記録し, 急速流入波 (D 波) のピークと III 音, また心房収縮波 (A

波) のピークと IV 音の時間的關係を検討した.

37 例中 18 例 (III 音を有する 12 例と IV 音を有する 6 例) では, 心室中隔・左室後壁エコーグラムと心尖部低音心音図を同時記録し, Sakamoto ら<sup>6)</sup> が提唱した急速流入期と心房収縮期における心室中隔および左室後壁の急激な運動の停止点 (check point) とこれらの心音の時間的關係を検討した. Check point の記録にさいしては, 原則として上位肋間からビームを投入し, 心室中隔と左室後壁が全心周期にわたって描出できる部位と規定した. また, 心室中隔に拡張早期の後方への dip を有する例は除外して検討した. 以上の左室流入血流波形と中隔・後壁エコーグラムはいずれも 50 mm/sec の紙送り速度で strip chart recorder にて記録した.

## 成 績

### 1. III 音

#### 1) 左室流入血流波形との時間的關係

III 音を有する例は, III 音と急速流入波のピークとの時間的關係により, III 音がピークに一致して出現する群 (IIIs ピーク群) 17 例, ピークより遅れて出現する群 (IIIs 遅延群) 8 例およびピークより先行して出現する群 (IIIs 早期出現群) 1 例に分類し得た.

IIIs ピーク群の III 音は健常若年者および絶対的左室容量負荷疾患にみられ, その基礎疾患は腱索断裂による慢性の MR 3 例, 僧帽弁逸脱による MR 2 例, 先天性 MR 1 例, その他の原因による MR 2 例, ASD 術後 3 例および VSD 1 例であった. 一方, IIIs 遅延群の III 音はすべて相対的左室容量負荷疾患にみられ, その内訳は CCM 3 例, IHD 5 例であった. また, IIIs 早期出現群の III 音は腱索断裂による急性 MR 例にみられた (Table 2).

以下に代表例を示す.

Fig. 1 は 15 歳の健常男子, Fig. 2 は 17 歳の先天性 MR 例の左室流入血流波形と心尖部低音心音図との同時記録である. いずれの III 音も

Table 1. Study populations

IIIs	Healthy subjects	5
	Absolute LV volume overload	13
	Mitral regurgitation (MR)	9
	Post-op. atrial septal defect (ASD)	3
	Ventricular septal defect (VSD)	1
	Relative LV volume overload	8
	Ischemic heart disease (IHD)	5
	Congestive cardiomyopathy (CCM)	3
	Subtotal	(12) 26
IVs	Hypertrophic cardiomyopathy	6
	Non-obstructive type (HCM)	4
	Obstructive type (HOCM)	2
	Ischemic heart disease	2
	Hypertension	1
	Congestive cardiomyopathy	1
	Aortic regurgitation (AR)	1
	Post-op. ASD	1
	Subtotal	(6) 11
	Total	(18) 37

( ): Phono-echocardiographic study

IIIs=third heart sound; IVs=fourth heart sound; LV=left ventricle.

**Table 2. Classification of patients with IIIs according to the time relationship between the IIIs and the rapid filling wave of the mitral flow velocity pattern.**

1. IIIs: peak group	
Healthy subjects	5
Mitral regurgitation (MR)	(5) 8
Chronic MR due to chordal rupture	3
Prolapsed MR	2
Congenital MR	1
Others	2
Post-op. ASD	3
VSD	1
2. IIIs: delay group	
CCM	(3) 3
IHD	(2) 5
3. IIIs: early phase group	
Acute MR due to chordal rupture	1

( ): atrial fibrillation

IIIs=third heart sound; ASD=atrial septal defect; VSD=ventricular septal defect; CCM=congestive cardiomyopathy; IHD=ischemic heart disease.

急速流入波のピークに一致して出現している。

**Fig. 3** は 56 歳の陳旧性心筋梗塞症例の左室流入血流波形と心尖部低音心音図との同時記録である。本例の III 音は急速流入波のピークより約 60 msec 遅れて出現している。

**Fig. 4** は 46 歳, 腱索断裂による急性 MR 例の左室流入血流波形と心尖部低音心音図との同時記録である。本例の III 音は急速流入波のピークより約 35 msec 先行して出現している。

**Fig. 5** にこれら 3 群における心エコー図上の等容拡張期 [II 音大動脈弁成分 (IIA) から僧帽弁前尖エコーの D 点までの時間 (IIA-D 時間)], IIA から急速流入波のピーク (Fp) までの時間および IIA から III 音までの時間 (IIA-IIIs 時間) の平均値と標準偏差を示す。IIIs 遅延群を CCM 3 例と IHD 5 例に分けると, CCM では IIIs ピーク群に比べて Fp までの時間は短縮を示すが

(149.5±15.7 msec vs 171.5±21.3 msec), Fp-IIIs 時間の延長 (45.5±22.1 msec) のために III 音の出現は遅延している (IIA-IIIs=195.0±8.7 msec)。一方, IHD では等容拡張期の延長 (98.8±14.5 msec) と Fp-IIIs 時間の延長 (33.1±9.5 msec) により, III 音の出現はさらに遅延している (IIA-IIIs=229.0±12.5 msec)。早期出現群では他の群に比べて flow の acceleration の持続はやや長く, 逆に III 音は明らかに早期に出現している (IIA-IIIs=160 msec)。

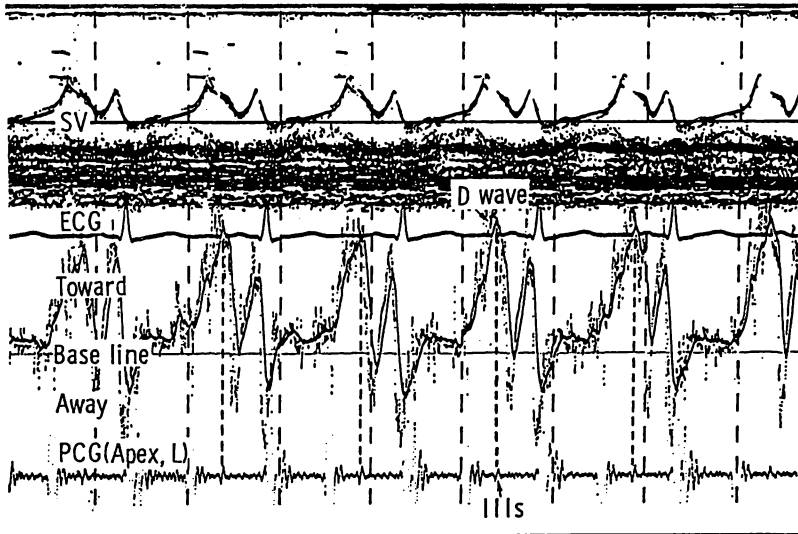
## 2) 左室壁の check point との時間的關係

III 音と左室壁の check point が一致するか否かにより 3 群に分類した。すなわち, III 音が心室中隔および左室後壁の両者の check point と一致した例は 6 例で, いずれも絶対的左室容量負荷疾患にみられた。その内訳は健康若年者 2 例, 腱索断裂による慢性 MR 1 例, 僧帽弁逸脱による MR 1 例, 僧帽弁連続切開術後の MR 1 例および ASD 術後 1 例であった。III 音が心室中隔と左室後壁のいずれか一方の check point と一致した例は 3 例で, いずれも相対的左室容量負荷疾患にみられた。その内訳は CCM 2 例, IHD 1 例であった。また, III 音がいずれの check point よりも早期に出現した例は 3 例で, いずれも高度の逆流を有する MR 例にみられた。その内訳は腱索断裂による慢性 MR 1 例, 急性 MR 1 例, 先天性 MR 1 例であった。

**Fig. 6** は 15 歳, 健康男子の左室壁エコーグラムと III 音との同時記録である。生理的 III 音は心室中隔および左室後壁の両者の check point と一致して出現している。

**Fig. 7** は 56 歳, 陳旧性心筋梗塞症例の左室壁エコーグラムと III 音の同時記録である。本例では check point の出現時相に心室中隔と左室後壁でずれがあり, III 音は遅延した心室中隔の check point に一致して出現している。

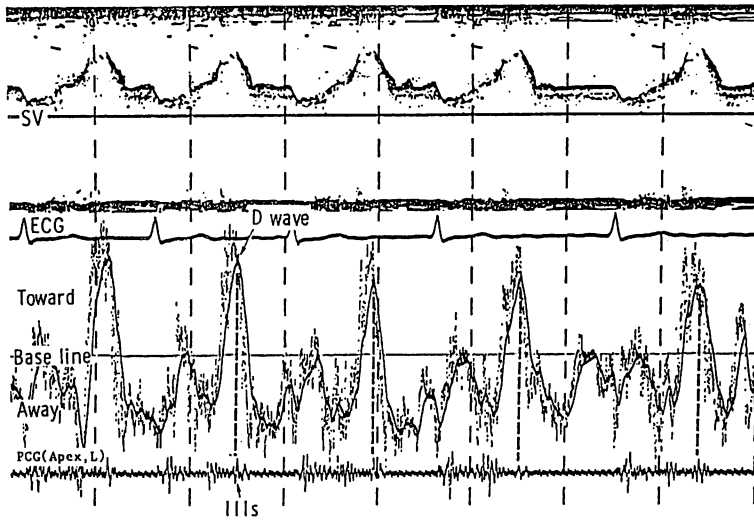
**Fig. 8** は 46 歳, 腱索断裂による急性 MR 例の左室壁エコーグラムと III 音の同時記録である。本例の III 音は, 心室中隔および左室後壁



**Fig. 1. Time relationship between the third heart sound (III s) and the rapid filling wave (D wave) of the mitral flow velocity pattern in a 16-year-old healthy adolescent.**

The III s occurs coincidentally with the peak of D wave.

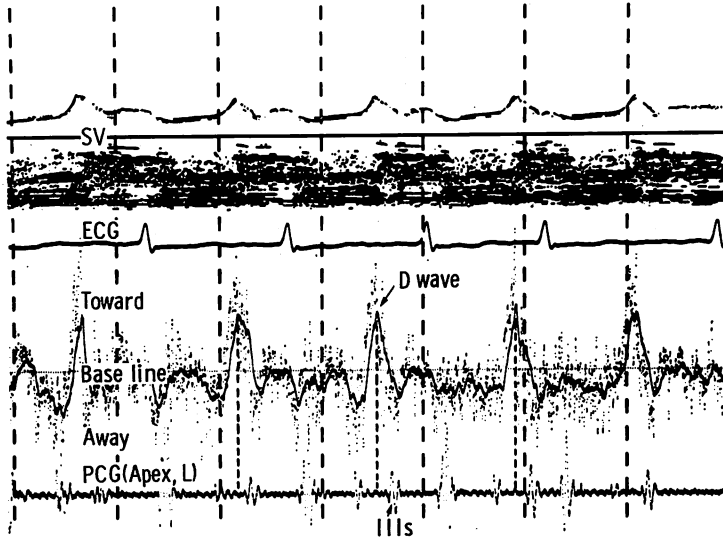
SV=sample volume; ECG=lead II electrocardiogram; PCG=phonocardiogram.



**Fig. 2. Time relationship between the third heart sound (III s) and the rapid filling wave (D wave) of the mitral flow velocity pattern in a case of congenital mitral regurgitation (17-year-old).**

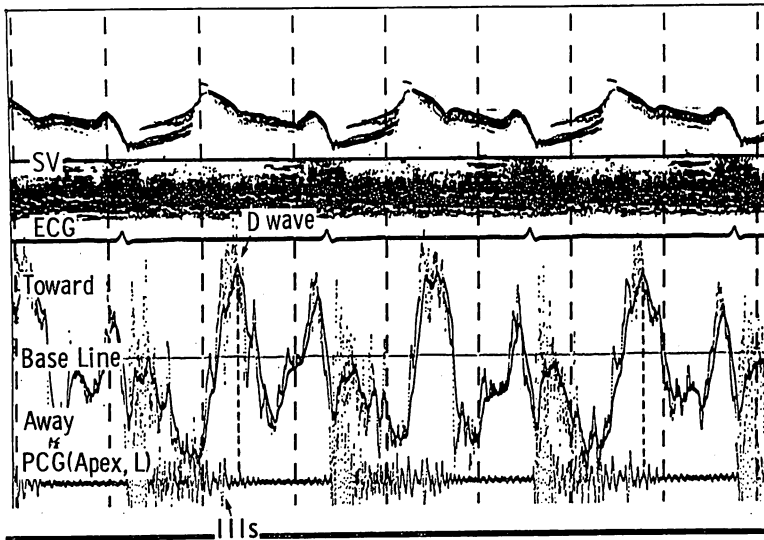
The III s coincides in timing with the peak of D wave.

Abbreviations are the same as in Fig. 1.



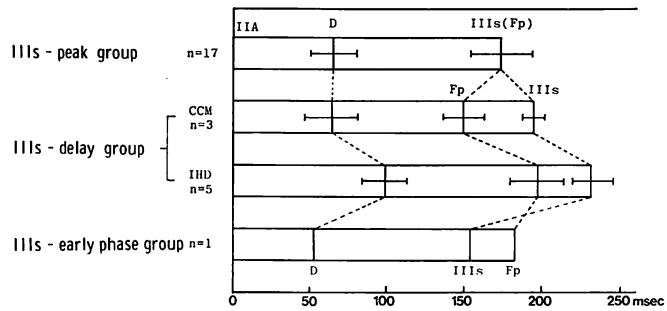
**Fig. 3.** Time relationship between the third heart sound (IIIs) and the rapid filling wave (D wave) of the mitral flow velocity pattern in a case of old myocardial infarction (56-year-old).

The IIIs occurs about 60 msec later than the peak of D wave. Abbreviations are the same as in Fig. 1.



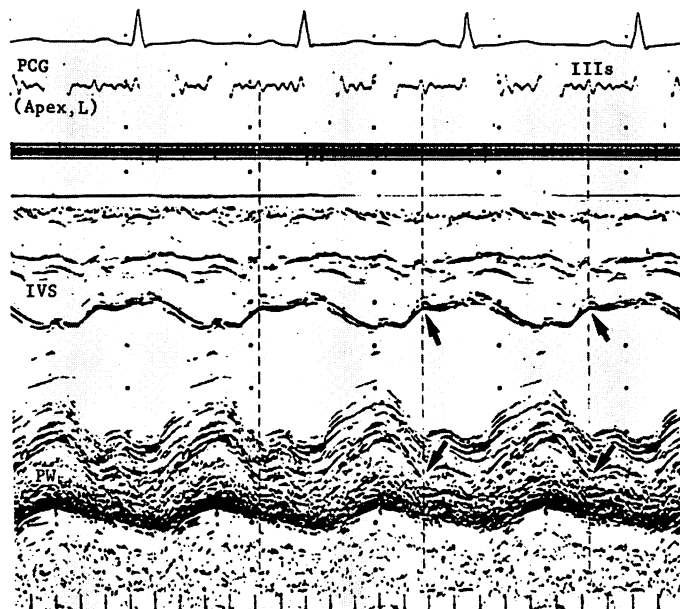
**Fig. 4.** Time relationship between the third heart sound (IIIs) and the rapid filling wave (D wave) of the mitral flow velocity pattern in a case of acute mitral regurgitation due to chordal rupture (46-year-old).

The IIIs occurs about 35 msec before the peak of D wave. Abbreviations are the same as in Fig. 1.



**Fig. 5. Echocardiographic isovolumic relaxation time (IIA-D), interval from IIA to the peak of the rapid filling wave (IIA-Fp) and time from IIA to the third heart sound (IIA-IIIs) in three groups.**

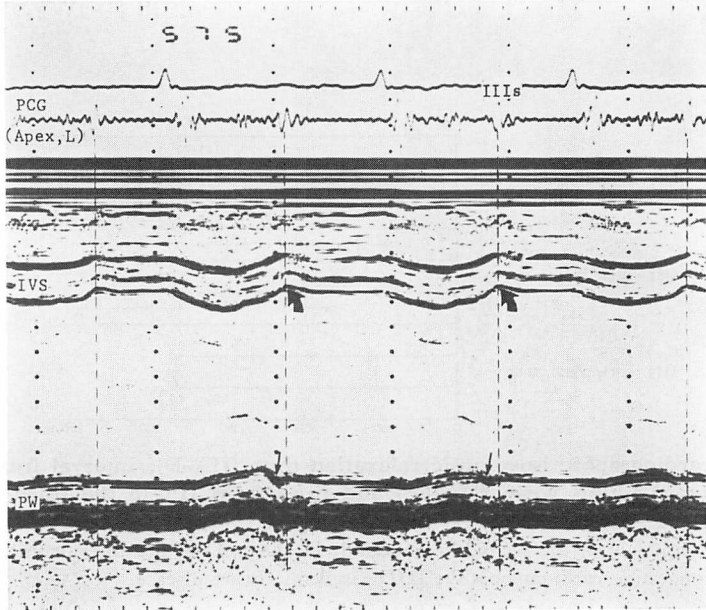
IIA=aortic component of the second heart sound; D=D point of the anterior mitral valve echogram; CCM=congestive cardiomyopathy; IHD=ischemic heart disease.



**Fig. 6. Time relationship between the third heart sound (IIIs) and the left ventricular wall motion in the same patient as in Fig. 1.**

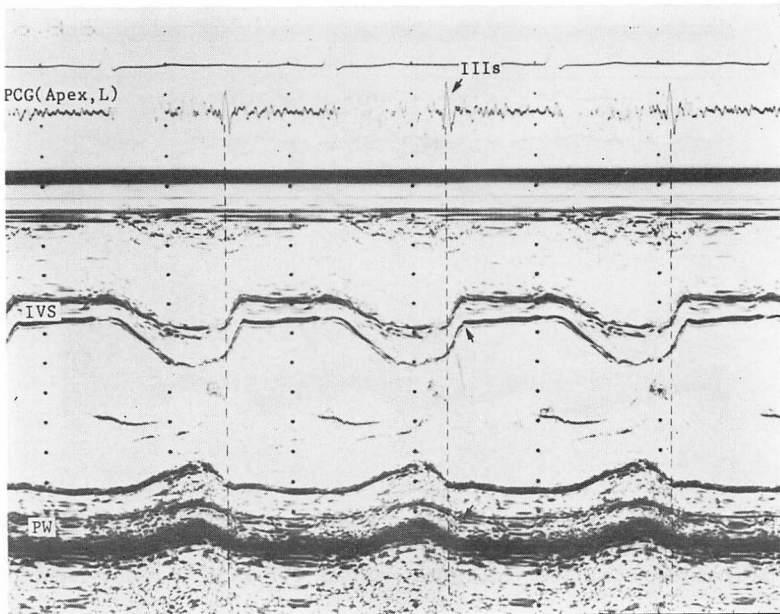
The IIIs is synchronous with the check points of both IVS and PW during rapid filling phase (arrows).

PCG=phonocardiogram; IVS=interventricular septum; PW=left ventricular posterior wall.



**Fig. 7. Time relationship between the third heart sound (III<sub>s</sub>) and left ventricular wall motion in the same patient as in Fig. 3.**

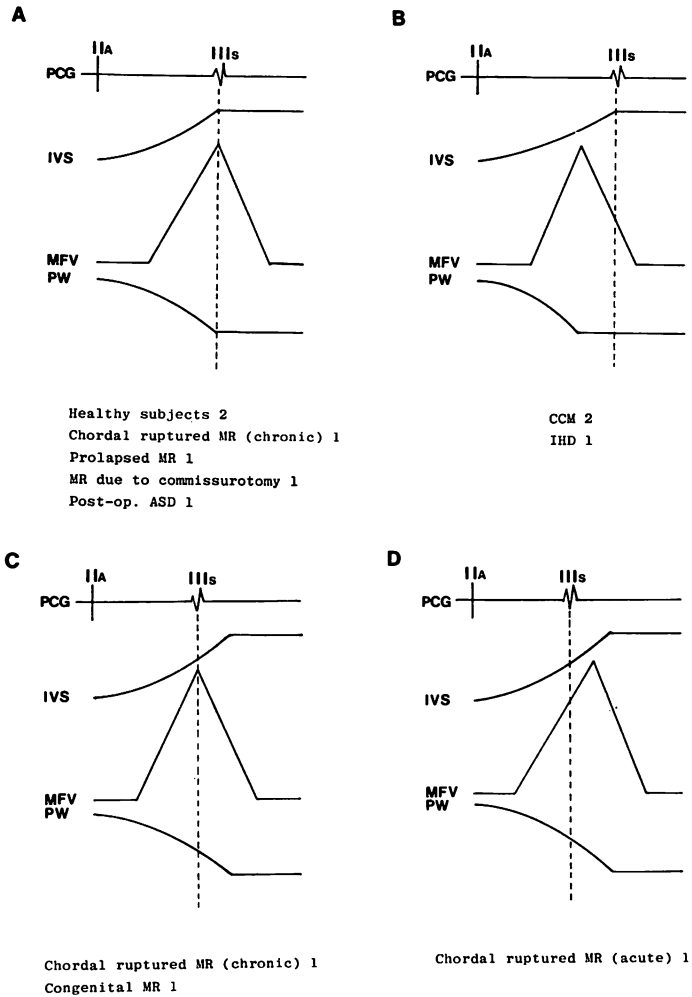
The III<sub>s</sub> is corresponded only with the check point of the IVS (large arrows) during rapid filling phase, but not with the check point of the PW (small arrows). Abbreviations are the same as in Fig. 6.



**Fig. 8. Time relationship between the third heart sound (III<sub>s</sub>) and the left ventricular wall motion in the same patient as in Fig. 4.**

The III<sub>s</sub> begins earlier than the check points of both IVS and PW (arrows). Abbreviations are the same as in Fig. 6.





**Fig. 9. Schematic illustrations showing the time relationships among the third heart sound (III), the rapid filling wave (D wave) of the mitral flow velocity pattern (MFV) and left ventricular wall motion during rapid filling phase.**

Panel A: The IIIs in healthy adolescents and in patients with absolute left ventricular volume overload occurs coincidentally with both the peak of D wave and the check points of both IVS and PW.

Panel B: The IIIs in patients with relative left ventricular volume overload begins after the peak of D wave and coincidentally with the either the check point of the IVS or PW.

Panel C: The IIIs in patients with chronic MR having massive regurgitation occurs at the time of the peak of D wave but before the check points of both the IVS and PW.

Panel D: The IIIs in a patient with acute MR due to chordal rupture occurs before the peak of D wave and the check points of both the IVS and PW.

IIA=aortic component of the second heart sound; IIIs=third heart sound; PCG=phonocardiogram; IVS=interventricular septum; PW=left ventricular posterior wall; MR=mitral regurgitation; ASD=atrial septal defect; CCM=congestive cardiomyopathy; IHD=ischemic heart disease.

**Table 3. Classification of patients with IVs according to the time relationship between the IVs and the atrial contraction wave of the mitral flow velocity pattern.**

1. IVs: peak group	
HCM	3
HOCM	2
Hypertension	1
PEP/ET=0.29±0.05	
2. IVs: delay group	
Myocardial infarction (MI)	2
CCM	1
Post-op. ASD	1
AR	1
PEP/ET=0.40±0.08	

IVs=fourth heart sound; HCM=hypertrophic non-obstructive cardiomyopathy; HOCM=hypertrophic obstructive cardiomyopathy; CCM=congestive cardiomyopathy; ASD=atrial septal defect; AR=aortic regurgitation; PEP=left ventricular pre-ejection period; ET=left ventricular ejection time.

の check point よりも明らかに早期に出現している。

**Fig. 9** は以上の成績の総括である。

## 2. IV 音

### 1) 左室流入血流波形との時間的關係

IV 音を有する例は, IV 音と心房収縮波のピークとの時間的關係により, **Fig. 10A** に示す例のごとく IV 音が心房収縮波のピークと一致する IVs ピーク群と, **B** に示す例のごとく IV 音が心房収縮波のピークより遅延して出現する IVs 遅延群の 2 群に分類し得た。

IVs ピーク群は HCM 5 例, 高血圧症 1 例の計 6 例で, いずれも肥大心であった。一方, IVs 遅延群は陳旧性心筋梗塞症 2 例, CCM 1 例, ASD 術後 1 例および大動脈弁閉鎖不全症 1 例の計 5 例で, いずれも心拡大例あるいは心機能低下例であり, この群の PEP/ET 値の平均は 0.40±

0.08 と IVs ピーク群の平均 0.29±0.05 に比べて有意に高値を示した (**Table 3**)。

なお, IVs 遅延群における心房収縮波のピーク～IV 音時間の平均は 33.0±10.6 msec (最大 48.2 msec, 最小 20.0 msec) であった。

### 2) 左室壁の check point との時間的關係

**Fig. 11A** のように IV 音が左室壁の check point と一致して出現する場合と, **B** のように IV 音が check point より遅れて出現する場合に区別できた。

前者は IVs ピーク群の 2 例 (HCM) と IVs 遅延群の 2 例 (陳旧性心筋梗塞症) にみられ, また後者は IVs ピーク群の 1 例 (高血圧症) と IVs 遅延群の 1 例 (ASD 術後) にみられた。

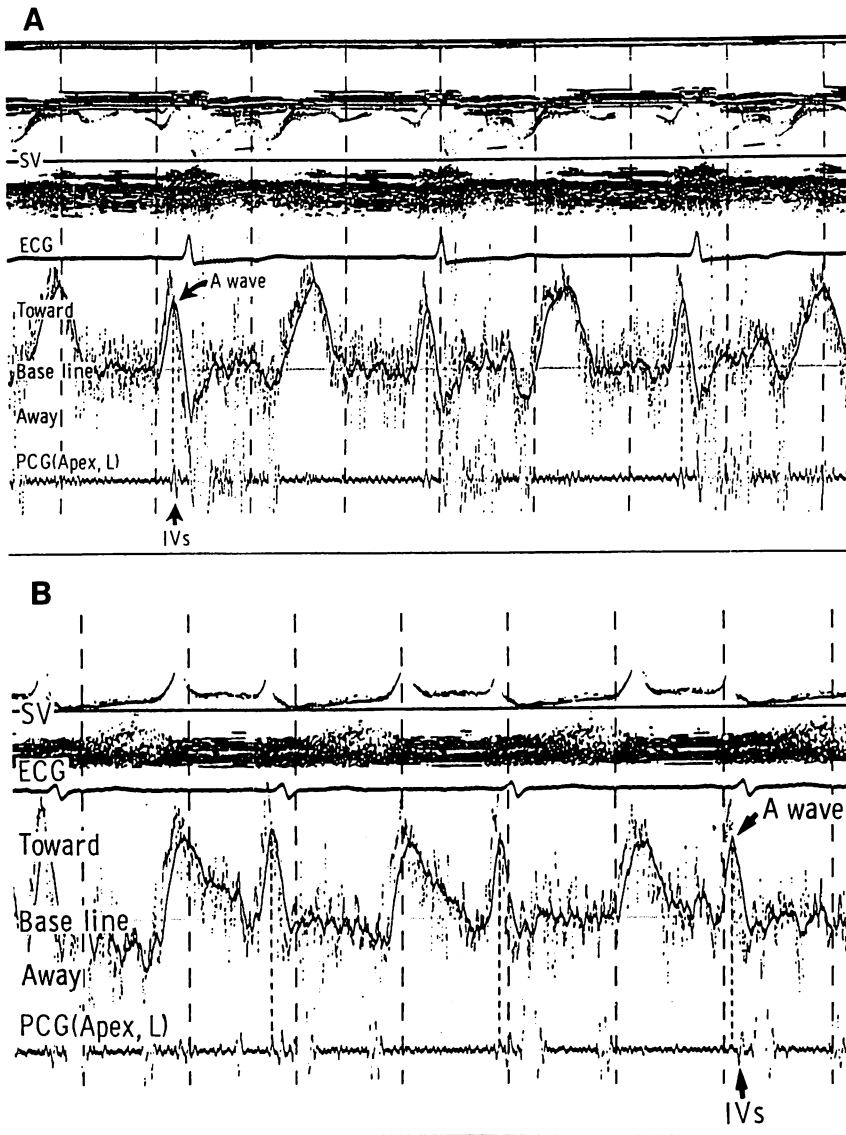
## 考 察

III 音および IV 音の成因に関して, 古くから心筋説<sup>1,2)</sup>と弁膜説<sup>7-9)</sup>が対立していたが, 人工房室弁置換例においても III 音が出現すること<sup>10,11)</sup>, III 音および IV 音発生に一致して左室壁運動に急激な停止点 (check point) の存在すること<sup>6)</sup>などが指摘されて以来, 心筋説が有力となった。しかし, 最近, 奔馬音の成因として胸壁への impact theory も報告され<sup>12)</sup>, これらの心音の成因の再検討が必要となってきている。

元来, III 音および IV 音の成因を考えるさいには, 血流に関する情報と心室筋の動態に関する情報の両者を把握する必要がある。

このような観点から, 本研究におけるごとく, III 音, IV 音を超音波パルス・ドプラー法により求めた左室流入血流波形, および M モード心エコー図法により求めた心室中隔・左室後壁エコーグラムと同時に記録することにより, これらの心音の成因を検討するのが望ましいと考えられる。

これらの時間的關係から分類された各群のうち, IIIs ピーク群は健常若年者および絶対的左室容量負荷疾患に高頻度でみられた。これらのうち, 健常若年者, 中等度以下の MR 例および ASD 術後例では, III 音は心室中隔および左室

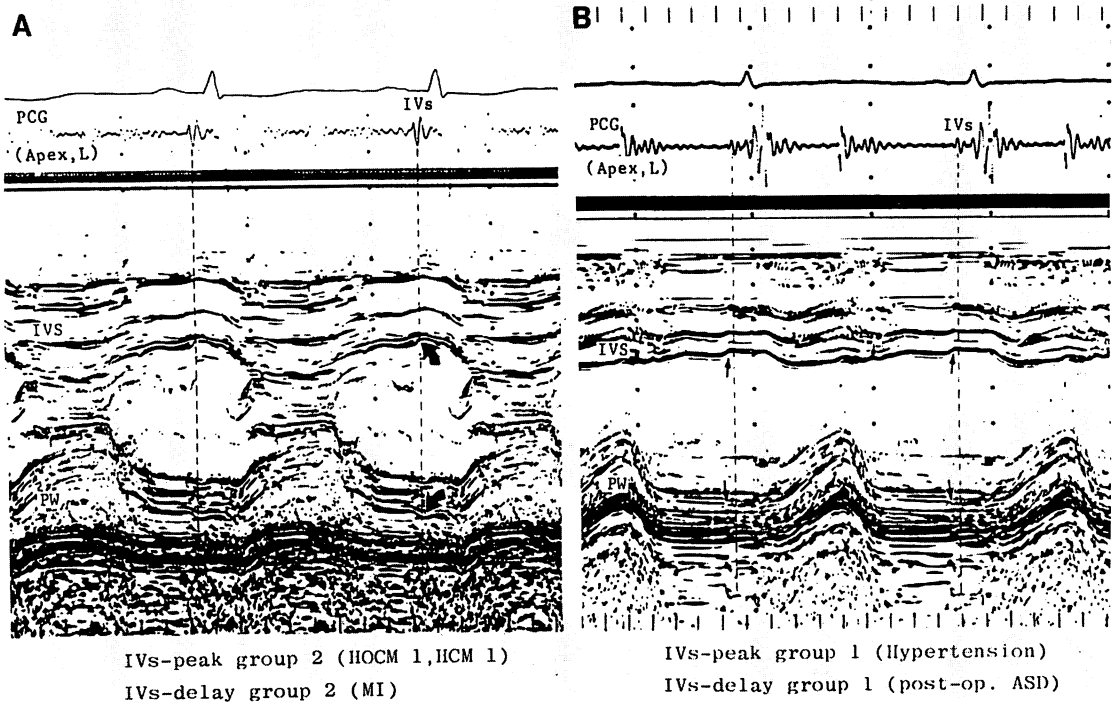


**Fig. 10. Time relationship between the fourth heart sound (IVs) and the atrial contraction wave (A wave) of the mitral flow velocity pattern.**

Panel A (hypertrophic obstructive cardiomyopathy, 34-year-old male): The IVs occurs coincidentally with the peak of A wave.

Panel B (old myocardial infarction, 51-year-old male): The IVs occurs about 45 msec after the peak of A wave.

SV=sample volume.



**Fig. 11. Time relationship between the fourth heart sound (IVs) and left ventricular wall motion.**

Panel A (the same patient as in Fig. 10A): The IVs occurs simultaneously with the check points of both IVS and PW (arrows) during atrial contraction phase. The IVs in two patients of IVs-peak group and two of IVs-delay group is explained by this production mode.

Panel B (postoperative ASD, 47-year-old female): The IVs occurs after the check points of both IVS and PW (arrows). The IVs in a patient with IVs-peak group and one with IVs-delay group is explained by this production mode.

HOCM=hypertrophic obstructive cardiomyopathy; HCM=hypertrophic non-obstructive cardiomyopathy; MI=myocardial infarction; ASD=atrial septal defect.

後壁の急速流入期における check point と一致して出現したが、大量の逆流を有する MR の 2 例では、III 音は心室中隔および左室後壁の急速流入期における check point よりも早期に出現した。これに対して、IIIs 遅延群は左室心筋障害を有する相対的左室容量負荷疾患に高頻度でみられた。この群の心室中隔と左室後壁の急速流入期における check point には時間的ずれが認められ、III 音は遅延した左室壁の check point に

一致して出現した。一方、IIIs 早期出現群は絶対的左室容量負荷疾患の中でも特殊な状態である急性 MR 例にみられ、本例の III 音は心室中隔および左室後壁の急速流入期における check point よりも早期に出現した。

従来より、III 音には房室血流の絶対的増大によるものと、房室血流は正常ないし低下していても心室筋の障害のために相対的に荷重増大となって発生するものとがあるとされている<sup>13,14</sup>。本研

究においても、両者は明らかに異なった発生状況を有することが示された。前者は Fig. 9A の III 音に相当し、健常若年者、中等度以下の MR 例や ASD 術後例に認めた。これらの例では心電図・心エコー図上左室心筋障害の所見はなく、また心室中隔と左室後壁の急速流入期における check point が時間的に一致したことより、急速に流入した blood mass は左室壁で比較的一様に sudden checking を受けると考えられる。その時点で僧帽弁口血流は加速から減速に向い、同時に III 音を発生すると考えられる。

一方、後者は Fig. 9B の III 音に相当し、心電図・心エコー図上明らかに左室心筋障害を示す所見を有する例 (CCM, IHD) に認めた。これらの例では、心室中隔と左室後壁の急速流入期における check point に時間的ずれがあり、また等容拡張期の延長を伴っていたことから、心筋障害によって左室の弛緩が不均等であったり<sup>15)</sup>、障害されている<sup>16)</sup>ことが考えられる。その結果、僧帽弁口血流と左室壁弛緩との間に不均衡を生じ、僧帽弁口血流は早期に減速に向うが、その後左室容量がある critical level に達した時点(遅延したほうの check point)で III 音を発生すると推察される。

Sakamoto ら<sup>6)</sup>は III 音発生に一致して心室中隔あるいは左室後壁に check point を見出し、III 音の成因は急速に流入した blood mass がこの時点で突然に停止させられることによるとして、心筋説を支持している。以上の2種類の III 音は発生状況は異なるものの、いずれもこの説で説明可能と思われる。

しかしながら、絶対的左室容量増大による III 音には、Fig. 9A に示すタイプのほかに、Fig. 9C や D に示すような特徴を有するものもみられた。これらの III 音はいずれも Sakamoto らが提唱した check point よりも明らかに早期に出現しており、単純に心筋説のみでは説明困難と思われる。Fig. 9C に示すタイプは慢性 MR に、Fig. 9D に示すタイプは急性 MR にみられたが、

いずれも高度の逆流を有する例で、急速流入の速度および容量は著しく大であると考えられる。Fig. 9C では III 音が急速流入波のピークに一致して発生したことから考えると、大量かつ急速な blood mass の流入に左室壁の伸展が順応できずに伸展途中で III 音を発生する可能性も考えられる。また Fig. 9D における III 音は左室壁運動および僧帽弁口血流のいずれとも時間的一致を認めなかった。このような III 音の成因は心内現象では説明困難で、他の要因を考えたほうが理解しやすい。

最近、Reddy ら<sup>12)</sup>は胸壁上で記録される奔馬音およびそれに相応する心尖拍動図の A 波、RF 波は、いずれも心腔内における奔馬音および左室圧の A 波、RF 波よりもエネルギーが大であることにより、奔馬音の成因として心臓の胸壁への衝突を考え、impact theory を提唱している。

Fig. 9C, D の例では、急速流入の速度および容量は著しく大であり、またいずれの例も心尖拍動図において触知し得る RF 波を有していたことより、急速流入に伴う心臓の胸壁への衝突の程度も高度であることが予想される。このような例の III 音、とくに Fig. 9D の場合のように左室壁運動および僧帽弁口血流のいずれとも時間的一致を認めない III 音は、心外性の可能性も考慮する必要があると思われる。

IV 音も III 音と同様に、絶対的荷重増大によるものと相対的荷重増大によるものとに区別できる<sup>13)</sup>。本研究においても、IV 音は左室流入血流波形の心房収縮波のピークとの時間的一致性により、2群に分類できた。すなわち、心収縮力がほぼ正常の肥大心では IV 音が心房収縮波のピークに一致して出現したのに対し、心機能低下例あるいは心拡大例では、IV 音が心房収縮波のピークより遅れて出現した。前者は絶対的荷重増大による IV 音に相当し、後者は相対的荷重増大による IV 音に相当するが、このように僧帽弁口血流波形との時間的關係をみると両者は明らかに異なった発生状況を有することが理解できる。

心室中隔および左室後壁の atrial kick の運動停止点 (check point) と IV 音との時間的關係では, IV 音が check point と一致する群と一致しない群に分類できたが, これら 2 群間で IV 音と A 波のピークとの時間的一致性に差を認めず, IV 音が壁運動の check point および血流のピークの両者と一致を示す例, 両者のいずれか一方と一致を示す例および両者のいずれとも一致を示さない例が認められた。

このように IV 音が III 音の場合ほど明瞭に分類できなかった原因として, 心房収縮期における check point を決定することが困難であることが考えられた。しかしながら, IV 音がいろいろな発生状況を示すことは, IV 音も III 音と同様に単一の因子によって作られるものでないことを示唆する所見と考えられる。

以上, III 音, IV 音と左室流入血流波形および左室壁運動との時間的關係により, III 音, IV 音の成因を考察したが, 本研究は次のような問題点を有する。第 1 に, ドプラー信号の周波数分析に要する時間の問題である。しかし, 本研究に用いた装置のドプラー信号処理方法(ゼロクロス法)はアナログ解析であり, その信号処理時間は 10 msec 以内であるため, 我々の検討した症例ではほとんど無視し得ると考えられる。

第 2 の問題点は, 単一ビームで記録した左室壁運動との対比という点である。左室壁全体の運動をみるためには超音波断層法または左室造影法を用いなければならないが, これらの方法では詳細な時相分析は不可能に近い。したがって, 本研究では単一ビームの記録を用いたが, 左室壁の一部の運動しか観察できない点で問題は残る。一安ら<sup>17)</sup>は III 音および IV 音発生時における左室壁運動を超音波断層法を用いて検討しているが, 今後このような詳細な検討も必要と思われる。

## 要 約

III 音を有する 26 例と IV 音を有する 11 例の計 37 例を対象として, III 音, IV 音を超音波パ

ルス・ドプラー法による左室流入血流波形および M モード心エコー図法による心室中隔・左室後壁エコーグラムと同時記録し, 以下の成績を得た。

1. III 音は左室流入血流波形の急速流入波 (D 波) におけるピークとの時間的關係により以下の 3 群に分類し得た。

1) IIIs ピーク群: D 波のピークに一致して出現する III 音は, 健常若年者 (5 例) および絶対的左室容量負荷疾患 [僧帽弁閉鎖不全症 (MR, 8 例), 心房中隔欠損症 (ASD) 術後 (3 例), 心室中隔欠損症 (1 例)] にみられた。

2) IIIs 遅延群: D 波のピークより遅れて出現する III 音は相対的左室容量負荷疾患 [うっ血型心筋症 (CCM, 3 例), 虚血性心疾患 (IHD, 5 例)] にみられ, 遅延時間は平均  $37.8 \pm 14.3$  msec であった。

3) IIIs 早期出現群: 腱索断裂による急性 MR 例の III 音は D 波のピークより約 35.0 msec 早期に出現した。

2. IIIs ピーク群の内, 健常若年者 (2 例), 中等度以下の逆流を有する MR (3 例) および ASD 術後例 (1 例) の III 音は, 急速流入期における心室中隔および左室後壁の両者の急激な運動の停止点 (check point) に一致して出現した。

3. IIIs 遅延群 (CCM 2 例, IHD 1 例) の III 音は, 心室中隔と左室後壁のいずれか一方の check point と一致して出現した。IIIs 早期出現群の III 音と, IIIs ピーク群のうちで高度の逆流を有する MR 2 例の III 音は, 心室中隔および左室後壁の check point より早期に出現した。

4. IV 音は心房収縮波 (A 波) のピークとの時間的關係により, 次の 2 群に分類し得た。

1) IVs ピーク群: 肥大心 (肥大型心筋症 5 例 および高血圧症 1 例) の IV 音は, いずれも A 波のピークに一致して出現した。

2) IVs 遅延群: 拡大心あるいは機能低下心 (心筋梗塞症 2 例, CCM 1 例, ASD 術後 1 例)

および大動脈弁閉鎖不全症 1 例) の IV 音は, A 波のピークより平均  $33.0 \pm 10.6$  msec 遅れて出現した。

5. IV 音と心房収縮期における左室壁の check point との時間的關係では, IV 音が check point と一致して出現するか, check point より遅延して出現するかのいずれかであった。

以上の結果より, III 音, IV 音の発生機序を考える場合, acceleration-deceleration theory ですべての発生機序を説明するのは困難であり, 心外性因子も含めた他の要因を考慮する必要があると結論した。

#### 文 献

- 1) Potain CE: Les bruits de galop. *Semaine Medicale* **20**: 175, 1900 (cited by Ueda H, 1967)
- 2) 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, 1962
- 3) Rushmer RF: *Cardiovascular Dynamics*. 4th ed, WB Saunders, Philadelphia & London, 1976, p 411
- 4) Baker DW: The present role of Doppler techniques in cardiac diagnosis. *Progr Cardiovasc Dis* **21**: 79, 1978
- 5) Fukuda N, Oki T, Asai M, Ohshima C, Take-mura H, Murao A, Niki T, Mori H: Studies on the genesis of the aortic thudding sound in patients with aortic insufficiency, with special reference to the aortic flow pattern. *J Cardiography* **11**: 747, 1981 (in Japanese)
- 6) Sakamoto T, Ichiyasu H, Hayashi T, Kawaratani H, Amano K, Hada Y: Genesis of the third heart sound. *Phonoechocardiographic studies*. *Jpn Heart J* **17**: 150, 1976
- 7) Dock W, Grandell F, Taubman F: The physiologic third heart sound: Its mechanism and relation to protodiastolic gallop. *Am Heart J* **50**: 449, 1955
- 8) Nixon PGF: The third heart sound in mitral regurgitation. *Br Heart J* **23**: 677, 1961
- 9) Fleming JS: Evidence for a mitral valve origin of the left ventricular third heart sound. *Br Heart J* **31**: 192, 1969
- 10) Coulshed N, Epstein EJ: Third heart sound after mitral valve replacement. *Br Heart J* **34**: 301, 1972
- 11) Towne WD, Crug J, Tatoes CJ, Chawla KK: Persistence of the third heart sound after resection of the native mitral and tricuspid valves. Evidence against the valvular theory of third sound origin. *Chest* **70**: 100, 1976
- 12) Reddy PS, Meno F, Curtiss EI, O'Toole JD: The genesis of gallop sounds: Investigation by quantitative phono- and apexcardiography. *Circulation* **63**: 922, 1981
- 13) Ueda H, Kaito G, Sakamoto T: *Clinical Phonocardiography*. 2nd ed, Nanzando, Tokyo, 1967, p 205 (in Japanese)
- 14) Porter CM, Baxley WA, Eddleman EE Jr, Frimer M, Rackley CE: Left ventricular dimensions and dynamics of filling in patients with gallop heart sounds. *Am J Med* **50**: 721, 1971
- 15) Gibson DG, Prewitt TA, Brown DJ: Analysis of left ventricular wall movement during isovolumic relaxation and its relation to coronary artery disease. *Br Heart J* **38**: 1010, 1976
- 16) Rousseau MF, Veriter C, Detry JMR, Brasseur L, Pouleur H: Impaired early left ventricular relaxation in coronary artery disease: Effects of intracoronary nifedipine. *Circulation* **62**: 764, 1980
- 17) Ichiyasu H, Sakamoto T: Phonoechocardiography. *J Cardiography* **7**: 485, 1977 (in Japanese)