

## 急性左室圧負荷における僧帽弁三角波エコー：実験的検討

## Echocardiographic triangular pattern of the mitral valve during acute pressure overload of the left ventricle: An experimental study

谷本 真穂  
山本 忠生  
木村 道  
小正 尚裕  
巻幡 修三  
安富 栄生  
斉藤 良夫  
河合 喜孝  
岩崎 忠昭

Masaho TANIMOTO  
Tadao YAMAMOTO  
Susumu KIMURA  
Naohiro KOMASA  
Shuzo MAKIHATA  
Nagao YASUTOMI  
Yoshio SAITO  
Yoshitaka KAWAI  
Tadaaki IWASAKI

### Summary

The changes of mitral valve echo and hemodynamic data [isovolumic relaxation time (IRT)/ $\sqrt{R-R}$ , time constant T, peak positive dP/dt/P, left ventricular enddiastolic pressure (LVEDP) and left ventricular systolic pressure (LVSP)] during acute pressure overload produced by aortic root obstruction were analyzed in 13 mongrel dogs under sodium pentobarbital anesthesia (25 mg/kg). IRT/ $\sqrt{R-R}$ , time constant T, positive dP/dt and LVSP were expressed as percent changes to the value (=100%) of pre-pressure overload. LVEDP was expressed by an absolute value as mmHg.

In 7 of 13 dogs, an abnormal diastolic monophasic triangular pattern of the mitral valve was observed during acute pressure overload of the left ventricle, and values of five hemodynamic data were compared between cases with or without the triangular pattern.

The values of IRT/ $\sqrt{R-R}$ , time constant T, positive dP/dt/P, LVSP and LVEDP in cases with the triangular pattern became from 200 to 500% ( $275 \pm 100\%$ ), from 175 to 267% ( $220 \pm 50\%$ ), from 55 to 112% ( $81 \pm 21\%$ ), from 129 to 200% ( $59 \pm 21\%$ ) and from 7 to 33 mmHg ( $16 \pm 9$  mmHg), respectively. The values of IRT/ $\sqrt{R-R}$ , time constant T, positive dP/dt/P, LVSP and LVEDP in cases with the non-triangular pattern became from 116 to 155% ( $133 \pm 17\%$ ), from 116 to 154% (136

兵庫医科大学 第一内科  
西宮市武庫川町 1-1 (〒663)

The First Department of Internal Medicine, Hyogo  
College of Medicine, Mukogawa-cho 1-1, Nishino-  
miya 663

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

Received for publication January 6, 1982

$\pm 16\%$ ), from 111 to 186% ( $62 \pm 34\%$ ) and from 9 to 20 mmHg ( $9 \pm 6$  mmHg), respectively. Thus, the values of  $IRT/\sqrt{R-R}$  and time constant T were significantly different between the two groups.

The possible explanation for the triangular pattern of the mitral valve seems to be due to impaired active relaxation system of the left ventricle resulting in a markedly delayed opening of the mitral valve.

We concluded that early diastolic isovolumic relaxation of the left ventricle is impaired by acute pressure overload, and the echocardiographic diastolic monophasic triangular pattern of the mitral valve reflects this impairment.

### Key words

Acute pressure overload of the left ventricle      Echocardiographic triangular pattern of themitral valve  
Isovolumic relaxation time (IRT)      Time constant T

### はじめに

我々は、過去三尖弁一相性三角波エコーを肺塞栓症 7 例に、また僧帽弁一相性三角波エコーを急性心筋梗塞症の 24 時間以内の僧帽弁エコーに高率に認めた。そして、それぞれ isovolumic relaxation time (IRT) の著明な延長を認めた。我我はこの房室弁の三角波エコーの発生要因として、肺塞栓症においては肺動脈圧の急激な上昇を、急性心筋梗塞症においては、心筋虚血により IRT が著明に延長したためと考えた。

過去、急性高血圧性心不全例における僧帽弁三角波エコーは、真城ら<sup>1)</sup>により報告されている。我々は、左室急性圧負荷により僧帽弁三角波エコーが出現するのではないかと考え、実験的に左室急性圧負荷を作製し、房室弁三角波エコーが出現する要因と、それが持つ血行動態の意義について検討を加えた。

### 方法と対象

実験は、雑種成犬 13 頭を使用した。体重 15 kg から 20 kg、平均 17 kg である。ペントバルビタール 25 mg/kg にて麻酔し、Harvard 人工呼吸器による呼吸管理下に、股動脈より特製のバルーンカテーテルを挿入し、大動脈弁直上にてバルーンを生理食塩液で急速に膨ませて、急性大動脈狭窄による急性左室圧負荷を作製した。大動脈狭窄作製前後に、僧帽弁エコー、左室内圧波、dP/dt 波、心電図、心音図を紙送り速度 100 mm/sec で同時

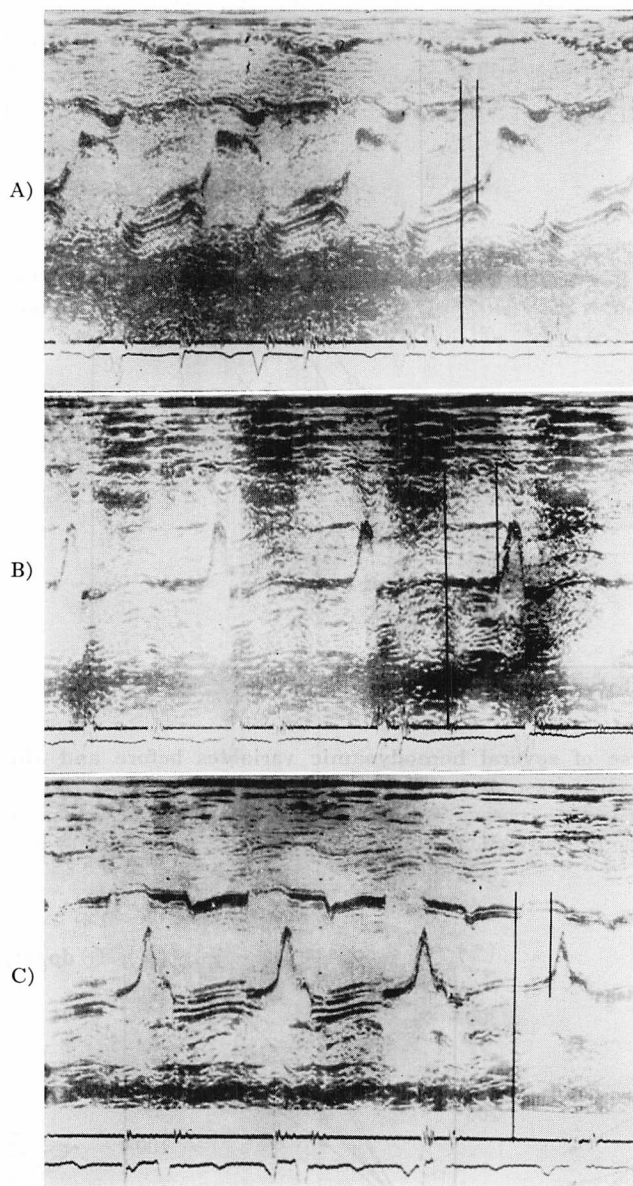
記録した。

僧帽弁エコーの記録は東芝製 SSH-11A 電子走査型心断層装置を使用し、断層像より僧帽弁を確認し、Honeywell 製連続記録器にて僧帽弁エコーを記録した。僧帽弁エコーは特製の台上でイヌを右側臥位とし、右下方より記録した。左室内圧波、dP/dt 波には Millar 製 micromanomotor または tip catheter を使用し、Hewlett Packard 製ポリグラフにて記録した。頻脈の影響を少なくするために頸部迷走神経をペースメーカーにて刺激した。心拍数を 110/分 以下にコントロールした。

計測した指標は、左室 IRT, time constant T, peak positive dP/dt/P, 左室拡張末期圧 (LVEDP), 左室収縮期圧 (LVSP) の 5 指標である。左室 IRT は II 音大動脈成分 IIA より僧帽弁エコー開放開始点 D までの時間とした。Time constant T は Hirota<sup>2)</sup> の方法  $T = PO/\text{peak negative } dP/dt$  により、PO は peak negative dP/dt 時の左室圧より計測した。Peak positive dP/dt/P の P は peak positive dP/dt 時の左室圧である。

### 結 果

13 頭に左室圧負荷による僧帽弁三角波エコーの作製を試み、7 頭に三角波エコーを作製できた。圧負荷持続により、三角波エコー出現例 7 例中 3 例に三角波エコーに引き続き B-B' step の出現を認めた。Fig. 1 の上段は大動脈弁狭窄前の僧帽弁エコーで、IRT は 50 msec で M 型を呈している。中段は大動脈狭窄直後の僧帽弁エコーで



**Fig. 1. Mitral valve echo recorded before and after acute pressure overload of the left ventricle.**

Panel A is a mitral valve echo recorded before acute aortic obstruction and shows a M-shaped pattern. An opening of the mitral valve is not delayed. Panel B is a mitral valve echo during immediate response to aortic obstruction and shows a monophasic triangular pattern. An opening of the mitral valve is significantly delayed. Panel C is a mitral valve echo during late response to aortic obstruction maintained after the triangular pattern recognized. B-B' step is observed and an earlier opening of the mitral valve (than on Panel B) is recognized.

ある。IRT は 170 msec と著明に延長し、僧帽弁エコーは一相性三角波を呈している。下段は大動脈狭窄により僧帽弁一相性三角波出現後、さらに狭窄を持続すると、僧帽弁エコーに B-B' step

が出現し、IRT は逆に 80 msec と短縮を示した。

Fig. 2 に同症例における計測した IRT/ $\sqrt{R-R}$ , time constant T, peak positive dp/dt/P, LVEDP の 4 指標の経過を示した。IRT/R-R, time con-

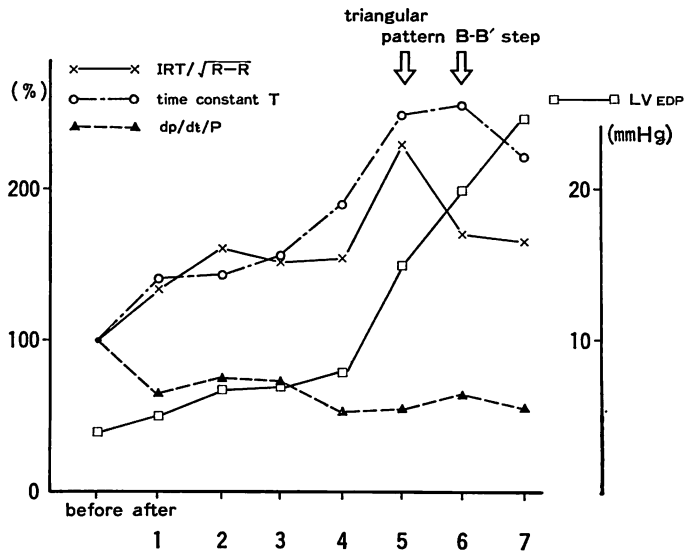


Fig. 2. Time course of several hemodynamic variables before and after acute aortic obstruction in the same case as in Fig. 1.

Values of IRT/ $\sqrt{R-R}$ , time constant T and positive dp/dt/P are expressed as percent changes to the value (100%) of pre-aortic obstruction. The value of LVEDP is expressed by an absolute value as mmHg.

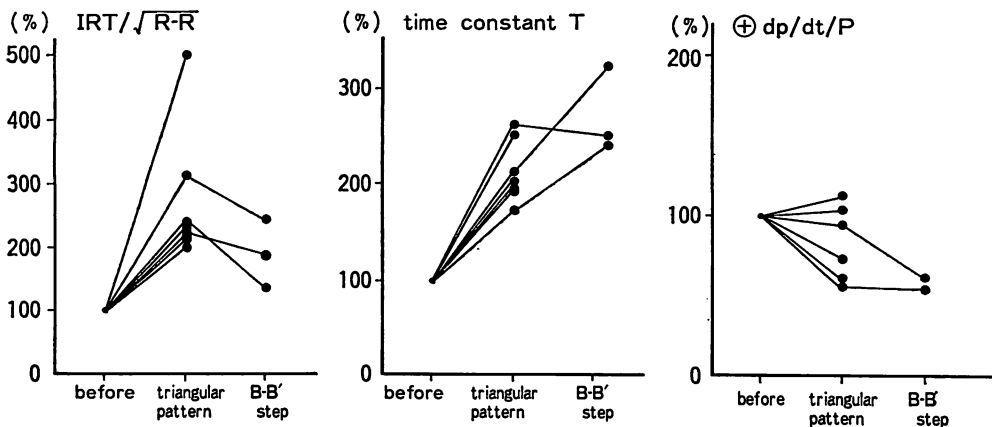


Fig. 3. Time courses of IRT/ $\sqrt{R-R}$ , time constant T and positive dp/dt/P on 7 cases of the triangular pattern following acute aortic obstruction.

Values are expressed as percent changes to the value (100%) of pre-aortic obstruction.

stant T, peak positive  $dP/dt/P$  は前値を 100% とした増加率で示し, LVEDP は絶対値で示した.  $IRT/\sqrt{R-R}$  は狭窄直後より延長し, 僧帽弁三角波エコー出現時には 230% と前値の 2 倍以上にまで延長した. そして B-B' step 出現時には逆に 140% と前値近くまで短縮を示した. Time constant T は三角波エコー出現時にやはり 210% まで上昇し, B-B' step 出現の 223% まで徐々に上昇を続けた. しかし peak positive  $dP/dt/P$  は狭窄直後には 64% と低下し, 三角波エコー出現時には 55% と軽度の低下にとどまり, B-B' step 出現時にもほとんど同程度の低下であった. LVEDP は三角波出現時には, 前値の 3 mmHg より 24 mmHg へと著明な上昇を示し, B-B' step 出現時, さらに 51 mmHg へと急激な上昇を示した.

僧帽弁三角波エコー出現群において, 三角波エコー出現時および B-B' step 出現時の指各標の変化をみた. Fig. 3 は三角波エコー群の  $IRT/\sqrt{R-R}$ , time constant T と peak positive  $dP/dt/P$  の変化である.  $IRT/\sqrt{R-R}$  三角波エコー出現時,

全例 200% 以上に延長し, 最高は 500% にまで延長した. B-B' step 出現時は 140% から 241% で, 3 例全例三角波出現時より 49% から 88% の短縮傾向を示した. Time constant T は三角波エコー出現時 175% から 267% で, B-B' step 出現時 239% から 325% で, 1 例は三角波エコー出現時より低下, 2 例は増加を示した. Peak positive  $dP/dt/p$  は三角波エコー出現時 55% から 112% と, 一定の傾向はみられなかった. B-B' step 出現時計測できた 2 例は 54% と 60% で, 1 例は三角波出現時に比べ 104% から 60% へと低下し, 1 例は有意の変化を示さなかった.

Fig. 4 は LVEDP と LVSP の変化である. LVEDP は三角波エコー出現時 7 mmHg から 33 mmHg に増加した. B-B' step 出現時は 17 mmHg から 30 mmHg で, 3 例全例三角波出現時より著明な上昇を示した. LVSP は三角波エコー出現時 129% から 200% に増加したが, B-B' step 出現時 122% から 192% の変化で, 三角波エコー出現時に比べ有意の変化を示さなかった.

Fig. 5 は僧帽弁非三角波エコー群における各

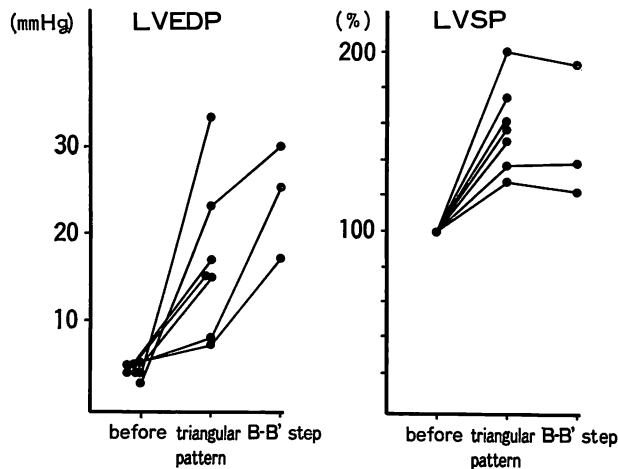


Fig. 4. Time courses of LVEDP and LVSP on 7 cases of the triangular pattern following acute aortic obstruction.

The value of LVEDP is expressed by an absolute value. The value of LVSP is expressed as a percent change to the value (=100%) of pre-aortic obstruction.

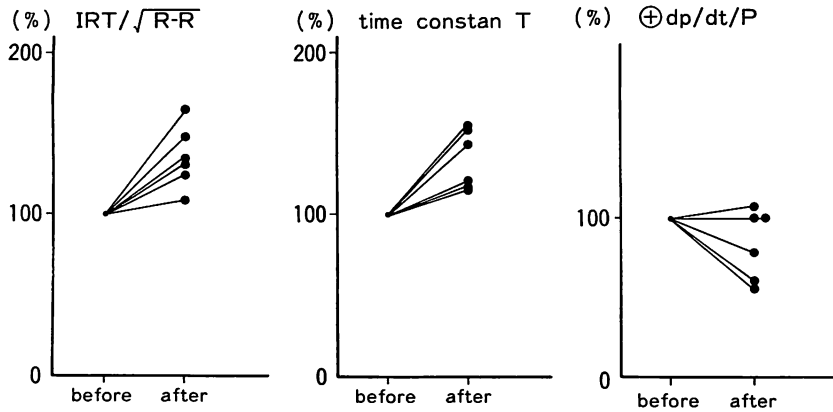


Fig. 5. Changes of  $IRT/\sqrt{R-R}$ , time constant T and positive  $dp/dt/P$  on 6 cases of the non-triangular pattern following acute aortic obstruction.

Each value is expressed as a percent change to the value (=100%) of pre-aortic obstruction.

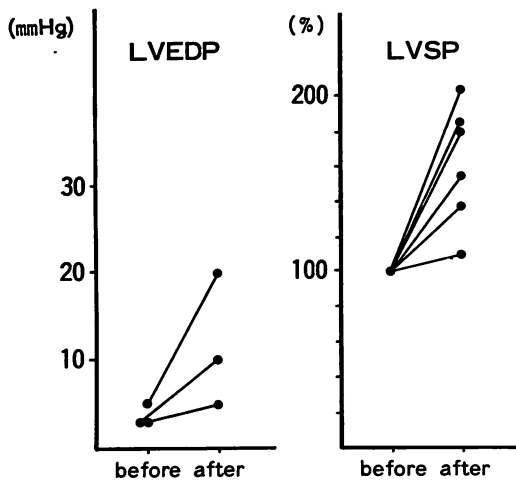


Fig. 6. Changes of LVEDP and LVSP on 6 cases of the non-triangular pattern following acute aortic obstruction.

The value of LVEDP is expressed by an absolute value as mmHg. The value of LVSP is expressed as a percent change to the value (=100%) of pre-aortic obstruction.

指標の変化を示す。IRT/√R-R は圧負荷後 119% から 150% に変化したが、三角波エコー群に比べ増加率は低い傾向を示した。Time constant T は圧負荷後 116% から 155% に変化したが、やはり

三角波エコー群に比べ増加率は低い傾向にあった。Peak positive  $dp/dt/P$  は圧負荷後 55% から 108% に変化し、三角波エコー群と差がない傾向にあった。Fig. 6 は LVEDP と LVSP の変化である。LVEDP は圧負荷後 8 mmHg から 20 mmHg に変化し、三角波エコー群と差がない傾向を示した。LVSP は圧負荷後 111% から 186% に変化したが、三角波エコー群とやはり差がない傾向を示した。

以上の各指標を三角波エコー群と非三角波エコー群で有意の差があるかどうかを検討した。Fig. 7 は IRT/√R-R, time constant T, peak positive  $dp/dt/P$  の指標を三角波エコー群と非三角波エコー群において比較したものである。IRT/√R-R は三角波エコー群  $275 \pm 100\%$ 、非三角波エコー群  $133 \pm 17\%$  で、 $p < 0.01$  と両群に有意の差を認めた。Time constant T の比較は、三角波エコー群  $220 \pm 50\%$ 、非三角波エコー群  $136 \pm 16\%$  で、 $p < 0.001$  と両群に有意の差を認めた。Peak positive  $dp/dt/P$  の比較は、三角波エコー群  $81 \pm 21\%$  で、非三角波エコー群  $88 \pm 24\%$  と両群には有意の差は認められなかった。Fig. 8 は両群での LVEDP と LVSP の比較である。LVEDP は三角波エコー群  $16 \pm 9$  mmHg で、非三角波エ

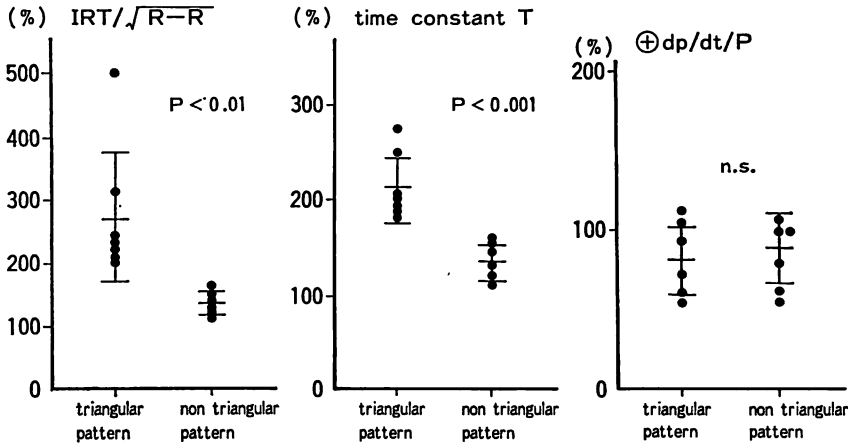


Fig. 7. Comparison of  $IRT/\sqrt{R-R}$ , time constant T and positive  $dp/dt/P$  between the triangular pattern and non-triangular pattern of the mitral valve.

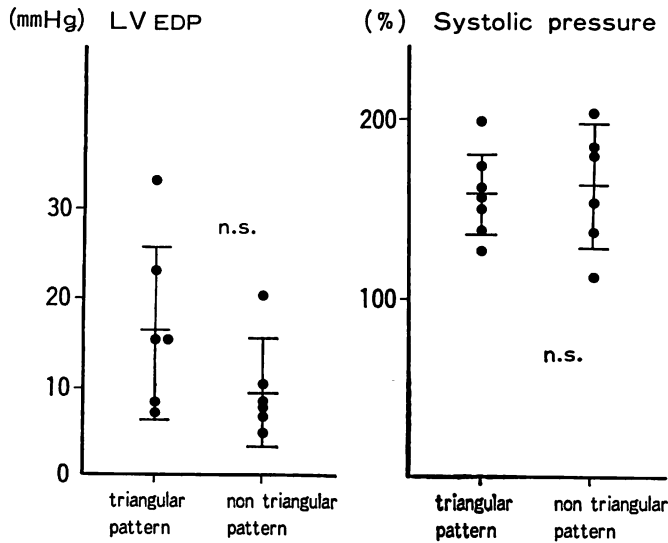


Fig. 8. Comparison of LV EDP and LVSP between the triangular pattern and non-triangular pattern of the mitral valve.

LV EDP=left ventricular end-diastolic pressure; Systolic pressure=left ventricular systolic pressure (LVSP).

コー群  $9 \pm 6$  mmHg で両群には有意の差は認められなかった。LVSP は三角波エコー群  $159 \pm 21\%$ 、非三角波エコー群  $162 \pm 34\%$  で両群には有意の差は認められなかった。

### 考 察

実験的左室急性圧負荷において、僧帽弁三角波

エコーの作製を試みたところ、13頭中7頭に僧帽弁三角波エコーを作製できた。13頭に  $IRT/\sqrt{R-R}$ 、time constant T、peak positive  $dp/dt/P$ 、LV EDP、LVSP を圧負荷前後に測定し、僧帽弁三角波エコー出現時の各指標の変化を検討した。各指標を三角波エコー群7例と非三角波エコー群6例とで比較すると、 $IRT/\sqrt{R-R}$  は三角波エコー

一群では非三角波エコー群に比べ著明に延長し、僧帽弁三角波エコーの出現に IRT の延長が強く関与していることが示峻された。Time constant T の比較では、三角波エコー群において非三角波群に比べやはり有意の増加を認めた。しかし IRT, time constant T の 2 指標以外の peak positive dP/dt/P, LVEDP, LVSP の 3 指標は両群において有意の差は認めなかった。

左室 IRT を左右する因子として、大動脈拡張初期圧、左室収縮期圧、左房圧、心筋の収縮特性などが考えられる。宮武ら<sup>3)</sup>の超音波ドプラーを使用しての検討では、高血圧症および冠動脈硬化性心疾患において延長するとしており、後負荷増加および心筋虚血により IRT が延長することが考えられる。Lamber ら<sup>4)</sup>は rapid atrial pacing による虚血時、また Papapietro ら<sup>5)</sup>は冠動脈疾患および左室機能不全において、また Mathey ら<sup>6)</sup>および Watanabe ら<sup>7)</sup>は実験的心筋梗塞および心筋虚血により negative dP/dt は低下し、negative dP/dt で表わされる左室弛緩能は障害されることを報告している。また Karliner ら<sup>8)</sup>は phenyleprine の静脈投与による後負荷増加試験により、35 mmHg の心内圧時の negative dP/dt, すなわち negative dP/dt 35 は低下し、左室弛緩能は障害されることを報告している。

このように左室圧の等容拡張期下降速度の低下により、左房圧との交叉が遅れ、IRT が延長することが考えられる。すなわち IRT の変化は、左室圧の等容拡張期下降速度 negative dP/dt の変化を間接的に示し得ることが考えられる。さらに、我々の実験において  $IRT/\sqrt{R-R}$ , time constant T は前値を 100% とした時、三角波エコー群では  $IRT/\sqrt{R-R}$  は 219% 以上、time constant T は 175% 以上の著明な延長および増加を認め、非三角波エコー群では  $IRT/\sqrt{R-R}$  は 160% 以下、time constant T は 155% 以下の軽度の延長および増加にとどまった。

Time constant T は左室圧変化の影響を受けず、左室弛緩能を示すよい指標<sup>2)</sup>と考えられてお

り、IRT の前値の 2 倍以上の著明な延長が三角波エコー出現の重要な因子であり、また IRT 延長の主要因が time constant T の低下に示される左室弛緩能の障害であると考えられるため、この僧帽弁三角波エコーは左室弛緩能の強い障害を示す重要な所見と考えられる。

我々の実験において、peak positive dP/dt/P は左室急性圧負荷において軽度の低下を示す症例もあったが、三角波エコー群と非三角波エコー群間には有意の差がみられなかった。

Karliner ら<sup>8)</sup>の phenyleprine 投与による後負荷実験においても、peak positive dp/dt はコントロール群と有意の変化がみられなかったとしており、また Quinones ら<sup>9)</sup>の angiotensin 投与による後負荷実験においても、max dP/dt, dP/dt/DP 40 は有意の変化を示さなかったとしている。また Sasayama ら<sup>10)</sup>の上行大動脈を constriction することによる左室圧負荷実験においても、peak positive dp/dt は圧負荷後、急性期、慢性期とも負荷前と有意の差をみていない。これらの実験結果は、我々の実験結果と一致している。

Peak positive dP/dt は等容収縮期の心収縮能を示す指標と考えられており、急性左室圧負荷においては、左室収縮能障害は軽度であり、上述の結果から、急性左室圧負荷ではおもに左室弛緩能が障害されることが考えられ、僧帽弁三角波エコーは左室弛緩能の強い障害を示す重要な所見と考えられる。

僧帽弁一相性三角波が頻脈により出現する可能性、すなわち頻脈時僧帽弁 E 波と A 波が融合して、あたかも三角波状を呈することがあるが、この場合一般に IRT は延長することはない、また我々の実験においては、頸部迷走神経刺激により頻脈の影響を少なくした。このように急性圧負荷により出現する三角波エコーは、明らかに頻脈時の三角波状エコーとは異なるものである。

B-B' step が出現した 3 例において、IRT が三角波エコー出現時に比べ有意に短縮した。我々の実験において、B-B' step 出現時、LVEDP が



三角波エコー出現時に比べさらに著明に上昇を示したことより、左室圧負荷の持続により左房圧が著明に上昇し弁開放が早くなり、また左房圧の上昇により弁閉鎖が遅れ、B-B' step が出現したと推測される。すなわち B-B' step は、三角波エコーに比べ慢性の変化を示す所見と推測される。

## 要 約

実験的に左室急性圧負荷を作製し、僧帽弁一相性三角波エコーが出現する要因とそれが持つ血行動態の意義について検討を加えた。

対象と方法：実験は雑種成犬 13 頭を使用し、ペントバルビタールにて麻酔、人工呼吸器による呼吸管理下に、股動脈よりバルーンカテーテルを挿入し、大動脈弁直上にてバルーンを生食で膨ませて左室急性圧負荷を作製した。左室急性圧負荷作製前後に僧帽弁エコー、左室内圧波、dp/dt 波、心電図、心音図を紙送り速度 100 mm/sec で同時記録した。

計測した指標は、 $IRT/\sqrt{R-R}$  ( $IRT=II$  音大動脈成分 IIA より僧帽弁エコー弁開放点までの時間、 $R-R=$ 心電図 R-R 間隔)、time constant T、peak positive dP/dt/P ( $P=$ peak positive dP/dt 時左室圧)、左室拡張末期圧 (LVEDP)、左室収縮期圧 (LVSP) の 5 指標である。

結果：13 頭中 7 頭に僧帽弁三角波エコーを作製できた。圧負荷持続により三角波出現例 7 頭中 3 例に三角波エコーに続き B-B' step の出現を認めた。5 指標の変化を三角波エコー群 7 例と非三角波エコー群 6 例とで比較した。 $IRT/\sqrt{R-R}$ 、time constant T、peak positive dP/dt/P、LVSP は前値を 100% とした増加率で、LVEDP は絶対値で示した。三角波エコー群において  $IRT/\sqrt{R-R}$  は 200% から 500% ( $275\pm 100\%$ )、time constant T は 175% から 267% ( $220\pm 50\%$ )、peak positive dP/dt/P は 55% から 112% ( $81\pm 21\%$ )、LVEDP は 7 mmHg から 33 mmHg ( $16\pm 9$  mmHg)、LVSP は 129% から 200% ( $159\pm 21\%$ )、他方、非三角波エコー群では、 $IRT/\sqrt{R-R}$  は

116% から 155% ( $133\pm 17\%$ )、time constant T は 116% から 154% ( $136\pm 16\%$ )、peak positive dP/dt/P は 55% から 108% ( $88\pm 24\%$ )、LVEDP は 5 mmHg から 20 mmHg ( $9\pm 6$  mmHg)、LVSP は 111% から 205% ( $162\pm 34\%$ )と変化した。B-B' step 出現例は  $IRT/\sqrt{R-R}$  は三角波出現例より短縮し、LVEDP は 7 mmHg から 17 mmHg の上昇を示した。

三角波エコー出現群は非三角波群に比べ、 $IRT/\sqrt{R-R}$ 、time constant T は有意に延長、増加を呈し、peak positive dP/dt/P、LVEDP、LVSP は有意の差がなかった。

以上より、IRT の著明な延長が三角波エコー出現の重要な因子であり、また IRT 延長の主たる要因が左室弛緩能の障害にあると考えられるため、僧帽弁三角波エコーは左室弛緩能の強い障害を示す重要な所見であると推定される。また B-B' step は左房圧がいっそう上昇することにより出現し、より慢性の所見と考えられる。

## 文 献

- 1) Mashiro I, Kinoshita M, Tomonaga G, Hoshino T, Shimono Y, Kusakawa R: Echocardiographic observations in hypertension. *Jpn Circulat J* **39**: 1097-1109, 1975
- 2) Hirota Y: A clinical study of left ventricular relaxation. *Circulation* **62**: 756-763, 1980
- 3) Miyatake K, Tsuda S, Kawamura S, Ono J, Takahashi Y, Sugita M, Matsuo H, Sakakibara H, Nimura Y: Analysis of a cardiac cycle in cases of ischemic heart disease with the ultrasonic Doppler method. *J Cardiography* **3**: 411-417, 1973
- 4) McLaurin LP, Rolett EL, Grossman W: Impaired left ventricular relaxation during pacing-induced ischemia. *Am J Cardiol* **32**: 751-757, 1973
- 5) Papapietro SE, Coghlan HC, Zissermann D, Russell RO, Rackley CE, Rogers WJ: Impaired maximal rate of left ventricular relaxation in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction. *Circulation* **59**: 984-990, 1979
- 6) Mathy D, Bleifeld W, Franken G: Left ventricular relaxation and diastolic stiffness in experimental infarction. *Cardiovas Res* **8**: 583-

谷本, 山本, 木村, ほか

592, 1974

- 7) Watanabe T, Shintani F, Fu LT, Kato K: Maximal rate of the left ventricular pressure fall (peak negative  $dp/dt$ ) in early stage of myocardial ischemia following experimental coronary occlusion. *Jpn Heart J* **16**: 583-591, 1975
- 8) Karlner JS, Lewinter MM, Mahler F, Engler R, Rourke RA: Pharmacologic and hemodynamic influences on the rate of isovolumic left ventricular relaxation in the normal conscious dog. *J Clin Invest* **60**: 511-521, 1977
- 9) Quinones MA, Gaasch WH, Alexander JK: Influence of acute changes in preload, afterload, contractile state and heart rate on ejection and isovolumic indices of myocardial contractility in man. *Circulation* **53**: 294-314, 1976
- 10) Sasayama S, Ross J, Franklin D, Bloor CM: Adaptation of the left ventricle to chronic pressure overload. *Circulation* **38**: 172-178, 1976