

左室流入血流と左室拡張末期圧との関係

Analysis of mitral inflow velocity pattern in relation to left ventricular end-diastolic pressure

岡本 光師
佐倉英一郎
島本 博幸
横手 祐司
橋本 正樹
藤井 秀昭
大島 哲也
土岡由紀子
松浦 秀夫
梶山 梧朗

Mitsunori OKAMOTO
Eiichiro SAKURA
Hiroyuki SHIMAMOTO
Yuji YOKOTE
Masaki HASHIMOTO
Hideaki FUJII
Tetsuya OHSHIMA
Yukiko TSUCHIOKA
Hideo MATSUURA
Goro KAJIYAMA

Summary

The relationship between mitral inflow velocity patterns and left ventricular end-diastolic pressure (LVEDP) was evaluated using pulsed Doppler echocardiography in 34 cases of heart disease, without significant valvular regurgitation. Flow patterns in 19 of the 34 cases were also examined before and after the elevation of LVEDP by methoxamine infusion, 0.01 mg/kg/min. The ratio of the peak velocities in the atrial contraction phase to that in the rapid filling phase (A/R) and the ratio of mean acceleration rates to peak velocities in the rapid filling phase (ACR/R) were determined from the mitral flow patterns obtained by the apical approach.

1. ACR/R correlated significantly with LVEDP ($r=0.49$), but A/R did not. LVEDP in six cases with normal A/R (0.5 to 1.0) was 8.3 ± 2.9 mmHg (mean \pm SD). Among 19 cases with A/R of 1.0 or more and ACR/R less than 13 sec^{-1} , LVEDP showed 10.2 ± 3.8 mmHg. In eight cases with A/R of 1.0 or more and ACR/R of 13 sec^{-1} or more, LVEDP was 17.9 ± 6.2 mmHg. The average value of LVEDP in two cases with A/R less than 0.5 was 18.5 mmHg.

2. When the LVEDP was elevated after methoxamine infusion, A/R within normal range increased in five of six cases and decreased in the remaining case. A/R more than 1.0 decreased in 10 of 11 cases and ACR/R tended to increase with increasing LVEDP. In two cases with A/R less than 0.5, A/R was maintained nearly constant in spite of marked increase of LVEDP after methoxamine infusion. Thus, evaluating mitral flow patterns may provide useful information about the diastolic properties of the left ventricle, especially variations in the patient's own LVEDP.

広島大学医学部 第一内科
広島市南区霞 1-2-3 (〒734)

The First Department of Internal Medicine, Hiroshima University School of Medicine, Kasumi 1-2-3, Minami-ku, Hiroshima 734

Received for publication November 15, 1985; accepted February 8, 1986 (Ref. No. 30-P4)

Key words

Mitral inflow

End-diastolic pressure

Pulsed Doppler echocardiography

Diastolic property

はじめに

左室拡張末期圧 (LVEDP) は, 不全心だけでなく, 肥大心, アミロイドーシス, 心内膜線維症など, 拡張期コンプライアンスの低下を来す疾患でも上昇を示す. また, 弁逆流や心外性因子である循環血液量などによっても左右される^{1,2)}. このように LVEDP の決定因子は単一ではないが, 前負荷を知る簡便な指標の一つであり, 非侵襲的に予測されれば臨床に極めて有用である. 左室流入血流パターンと LVEDP との関係についても二, 三検討されているが^{3,4)}, 必ずしも統一の見解とは言えない. 特に, 同一症例内における LVEDP の変化と血流パターンの変化との関係は, ほとんど検討されてない. そこで, 症例間, 同一症例内の両者において, 左室流入血流パターンから LVEDP が評価可能か否かについて, 超音波パルス・ドップラー法を用いて検討した.

対象および方法

対象は虚血性心疾患 13 例, 肥大型心筋症 6 例, 拡張型心筋症 3 例, 胸痛症候群 6 例, その他 5 例の計 34 例, 平均年齢 52.5 ± 11.0 歳である. Sellers 分類 3 度以上の弁逆流を有する例は対象から除外した. LVEDP は pig-tail カテーテルによる water-filled 法, または Millar 製の tip-manometer によって測定した. 19 例において, メトキシアミンを 0.01 mg/kg/min の速度で持続静注し, 収縮期圧が約 25% 上昇した時点で再び LVEDP を測定した.

超音波パルス・ドップラー法による左室流入血流パターンの記録は心カテーテルの 5 日以内に全例に施行し, 19 例では同様にメトキシアミンによる昇圧前後の血流記録も行った. 使用装置の発振周波数は 2.4 MHz , パルス繰り返し数は 4 KHz または 6 KHz である. 被検者を左半側臥位とし,

心尖部アプローチを用いてドップラー用超音波ビームが僧帽弁口中央を貫き, かつサンプル・ボリウムの深さがモニターとする M モード心エコー図の D 点になるように設定した. ドップラーシグナルはスペクトグラム表示とし, 紙送り速度は 50 mm/sec とした. 以上のようにして得られた左室流入血流パターンから, 急速流入期と心房収縮期のピーク流速 (R, A) と両者の比 A/R, 急速流入期の平均加速度 (ACR), および R との比 ACR/R を計測した (Fig. 1). 流入血流ベクトルと心尖部アプローチによる超音波ビームのなす角 θ は小さく, また, 主とする指標である A/R, ACR/R は θ が打ち消されるので無視できるものとした. なお, 健常対照は Miyatake らの報告に従った⁵⁾. 以上の流入血流パターンからの指標と LVEDP との関係について検討を行った.

結 果

1. 症例間における検討

ACR/R と LVEDP との間には粗ではあるが有意な正相関 ($r=0.49$) が得られ, ACR/R が 13 sec^{-1} 以上の症例の LVEDP はいずれも 10 mmHg 以上であった (Fig. 2). A/R と LVEDP の間には有意の相関は得られなかった (Fig. 3). A/R と ACR/R から血流パターンを I 群: $0.5 \leq A/R < 1.0$, II 群: $A/R \geq 1.0$ かつ $ACR/R < 13 \text{ sec}^{-1}$, III 群: $A/R \geq 1.0$ かつ $ACR/R \geq 13 \text{ sec}^{-1}$, IV 群: $A/R < 0.5$ の 4 群に分類すると (Fig. 4), LVEDP はそれぞれ平均 8.3 ± 2.9 (SD) mmHg, $10.2 \pm 3.8 \text{ mmHg}$, $17.9 \pm 6.2 \text{ mmHg}$, 18.5 mmHg と I~IV の順に高値を示した (Fig. 5).

2. 同一症例内における検討

メトキシアミン負荷による昇圧時の LVEDP 上昇に伴い, A/R が 0.5 以上, 1.0 未満の正常域を示す 6 例中 5 例で A/R は増加し, 1 例では減少した (Fig. 6). A/R が 1.0 以上を有する 11 例

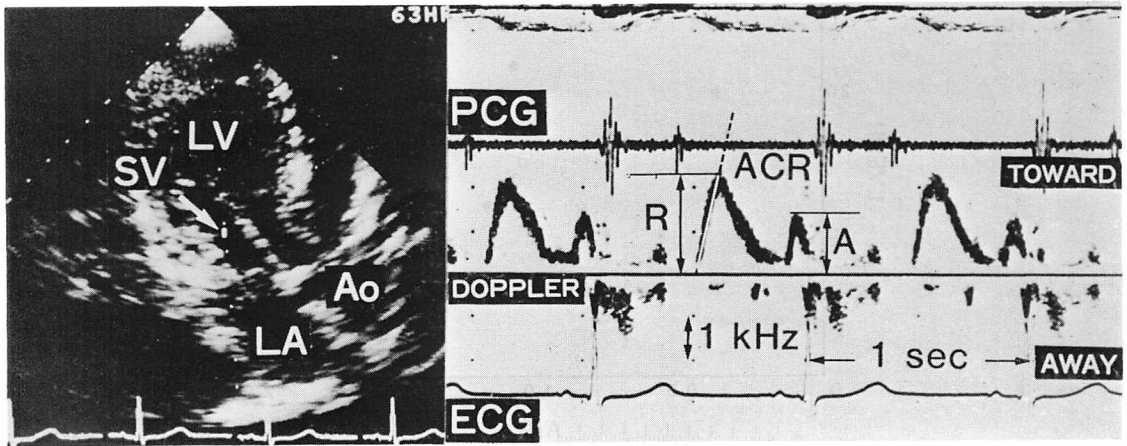


Fig. 1. Determination of parameters from mitral flow pattern.

The peak velocity (R) and mean acceleration rate (ACR) in the rapid filling phase, the peak velocity in the atrial contraction phase (A), the ratio of A/R and that of ACR/R are measured.

Ao=aorta, LA=left atrium, LV=left ventricle, SV=sampling volume, TOWARD=flow components toward the transducer, AWAY=flow components away from the transducer.

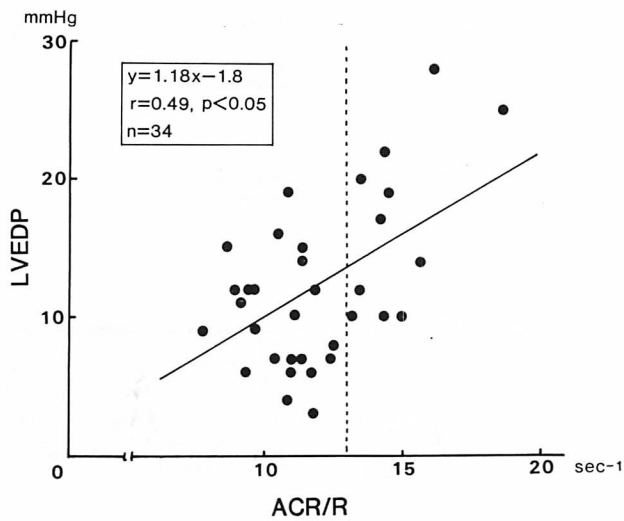


Fig. 2. ACR/R plotted against LVEDP.

A significant correlation is shown between them.
LVEDP=left ventricular end-diastolic pressure.

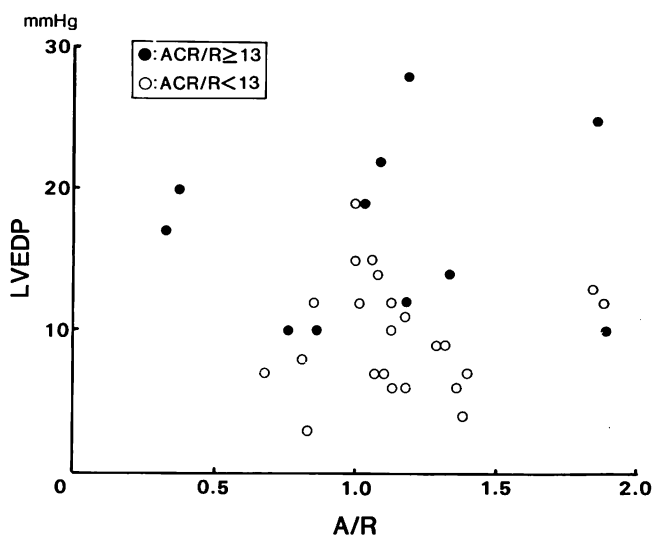


Fig. 3. A/R plotted against LVEDP.
There is no significant correlation between them.

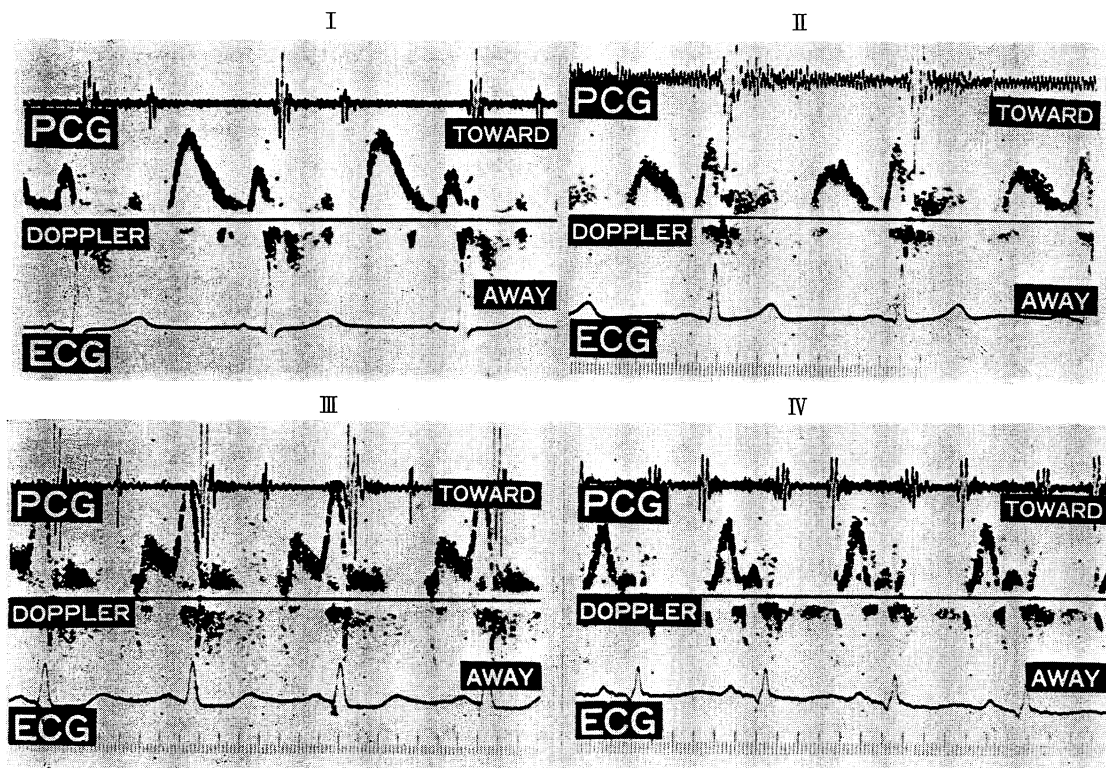


Fig. 4. Classification of the mitral flow pattern.

The normal ratio of A/R in group I (I) (0.5-1.0), increased A/R and normal value (less than 13 sec^{-1}) of the ratio ACR/R in group II (II), both increased A/R and ACR/R in group III (III), and abnormally reduced A/R value in group IV (IV).

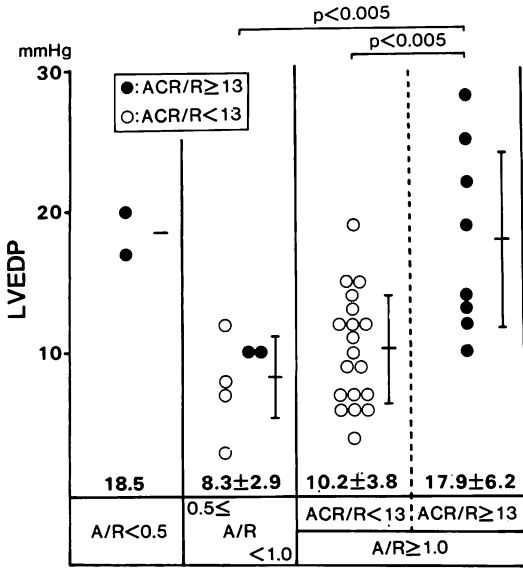


Fig. 5. LVEDP in each group.

中 10 例では LVEDP 上昇時に A/R は逆に減少し、かつ、そのうち 5 例では ACR/R が 13 sec⁻¹ 未満から 13 sec⁻¹ 以上に増加を示したが、残り 1 例の A/R は軽度増加した。LVEDP が 19 mmHg

から 22 mmHg と僅かに増したにもかかわらず、A/R が 1.0 以上から 0.5 未満に著減した 1 例を呈示する (Fig. 7)。A/R 0.5 未満の 2 例では LVEDP が 2 倍以上に著明な上昇を示したにもかかわらず、A/R の変化は僅少に留まった。

考 按

圧容積曲線を描くことは臨床的には必ずしも簡単ではない。それに比し、LVEDP は簡単に測定され、かつこれは圧容積関係の一面を知り得る指標であり、左室の不全状態、コンプライアンスなどを知る目安となる^{1,2)}。左室の拡張期圧は、充満に伴って左室壁が伸展されると、Laplace の法則に従って non-linear な関係で上昇する²⁾が、左室心筋の性状はもとより、左房圧、静脈還流の状況、弁逆流など種々の因子に左右される。

今回の研究の目的である左室流入パターンと LVEDP との関係を検討する際、少しでも他の因子の関与を軽減するため、有意な弁逆流を有する例は対象よりあらかじめ除外した。近年、ドップラー法による左室流入パターンは、左室容量変化に近似することが示されている⁶⁾。これは拡張

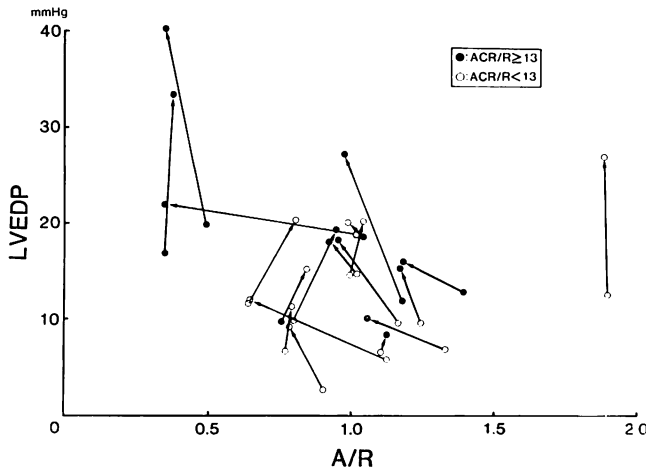


Fig. 6. Changes in A/R and ACR/R after elevation of LVEDP by methoxamine infusion.

The A/R ratio within normal range (0.5-1.0) tends to shift to the right upper part and that more than 1.0 does to the left upper part with increasing LVEDP. The A/R ratio less than 0.5 does not change so much in spite of the marked elevation of LVEDP.

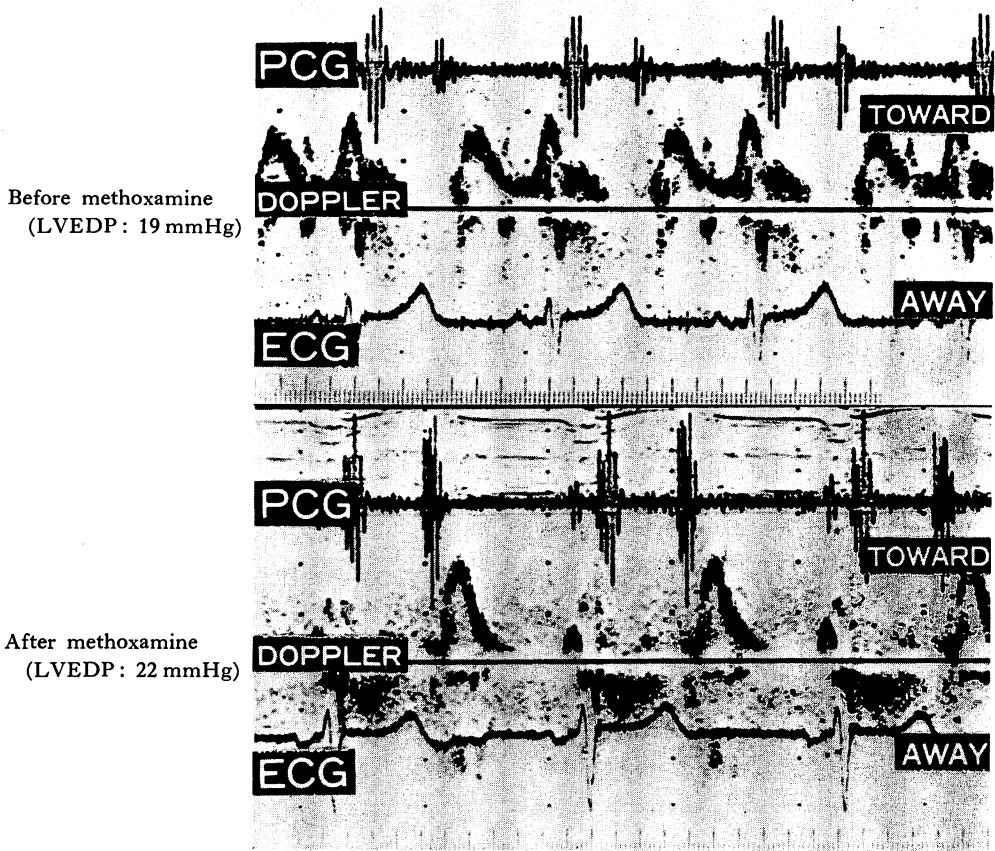


Fig. 7. A case showing marked change in the mitral flow pattern after slight elevation of LVEDP.

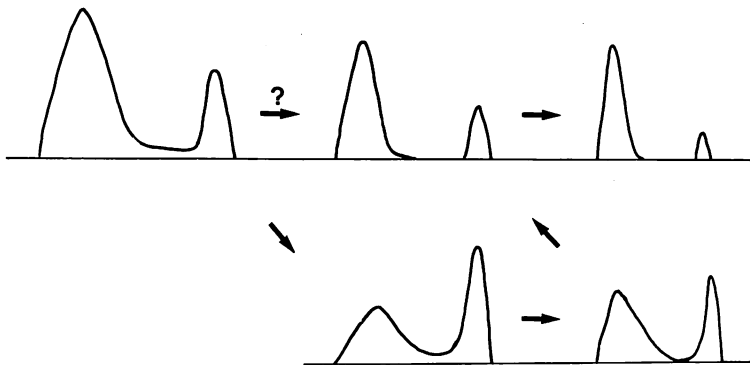


Fig. 8. Schematic illustration showing changes in the mitral flow pattern with increasing LVEDP.

期の僧帽弁輪面積が流量に対応した変化を示すことと、拡張期だけに限ると、その変化も10~15%前後であるため^{7,8)}、弁輪付近での流速変化がそのまま容量変化として反映されたものと考えられる。したがって、流入パターンから左室拡張動態の評価が可能で、肥大大心、虚血心で認められるようなA/Rの増加^{9~11)}は、拡張早期の左室伸展性の低下と代償的な心房収縮の増大を意味し、LVEDP上昇につながる。今回の検討でも同一症例内でメトキサミン負荷によってLVEDPが正常域から軽度上昇するのにつれ、A/Rも正常域より増大する傾向を示した。しかし、A/Rが1.0以上の群では、LVEDP上昇によって逆にA/Rが小となること示され、このため、症例全体でのA/RとLVEDPは全く相関関係を示さなかったと考えられる。今回の検討で明らかのように、LVEDPの評価にはA/Rだけでなく、急速流入期の指標であるACR/Rが重要で、この比が 13 sec^{-1} 以上の群でのLVEDPは高値を示した。特にACR/Rが 13 sec^{-1} 以上、かつA/Rが0.5未満の例のLVEDPは20 mmHg程度と著明な高値を示したが、これは拡張型心筋症や広範囲心筋梗塞で報告されているパターン⁸⁾と同様である。このような病態では、前負荷を最大限に使用して一回拍出量を保っており、圧容積曲線が右上方に移動しているため、拡張早期に生じた左房、左室圧較差は直ちに消失し、急速流入は短時間で終了するものと考えられる。しかし、同時に左房圧も上昇しているため、急速流入時の加速度(ACR)は増加するが、流入量が少なく、ACRに見合う流速(R)が伴わない結果、ACR/Rが増大したものと考えられる。拡張末期にはstiffnessが一段と上昇しているため、心房収縮期流入が制限され、メトキサミン負荷後に著明なLVEDP上昇(2倍:30~40 mmHg)にもかかわらず、A/Rは0.5未満とほとんど不変に留まったものと考えられる。若年健康者でも急速流入期のACRは高値を示すが、同時に流量が大であるためRも大きく、ACR/Rは正常域である。両者の相違は左室の弛緩に基づく

suctionの差にもよると考えられる。

以上のように、LVEDP上昇時の左室流入血流パターンの一連の変化は、Fig. 8に図示するような経過を辿ると予想される。しかし、メトキサミン負荷では徐脈傾向となり、1回拍出量も変化するの、負荷方法や疾患の差異によっては異った経過を辿ることも有り得ると考えられ、ある一点の血流パターンのみからLVEDPを推定することの危険性も同時に認識する必要がある。

最近、連続波ドップラー法を用いて、大動脈弁逆流シグナルの最高流速(V_{max})を求め、簡易化したベルヌーイ式 $\Delta P = 4 V_{\text{max}}^2$ から拡張期の大動脈・左室圧較差(ΔP)を計測し、これと血圧計による上腕動脈の拡張期圧の差分からLVEDPを非侵襲的に予測する試みも見られる¹²⁾。しかし、この方法には大動脈弁逆流シグナルの存在が不可欠であり、また、狭い弁間隙からの逆流であるためベルヌーイ式の粘性項の影響を無視できず、上述の簡易式から ΔP を求めることは問題となる。このような観点からは今回の方法も同一症例内でのLVEDPの変化を評価する上で、臨床的に意義付けられよう。

要 約

超音波パルス・ドップラー法を用いて、左室流入血流パターンと左室拡張末期圧(LVEDP)との関係を、有意な弁逆流を有しない各種心疾患34例について検討した。そのうち19例については、メトキサミン0.01 mg/kg/min持続静注によって、LVEDPを上昇させた前後の血流パターンの変化も検討した。心尖部アプローチによって得られた左室流入血流パターンから、急速流入期の最高流速(R)と心房収縮期の最高流速(A)との比A/R、急速流入期の平均加速度(ACR)とRとの比ACR/Rを計測した。

1. ACR/RはLVEDPと粗ではあるが有意な相関を示した($r=0.49$)のに対し、A/RとLVEDPの間には有意な相関関係はなかった。A/Rが0.5~1.0と正常範囲を示した6例の

LVEDP は平均 8.3 ± 2.9 (SD) mmHg であった。A/R ≥ 1.0 かつ ACR/R $> 13 \text{ sec}^{-1}$ を示した 19 例の LVEDP は 10.2 ± 3.8 mmHg であった。A/R ≥ 1.0 かつ ACR/R $\geq 13 \text{ sec}^{-1}$ を示した 8 例の LVEDP は 17.9 ± 6.2 mmHg と高値を示した。A/R < 0.5 を示した 2 例の LVEDP は平均 18.5 mmHg であった。

2. メトキサミンによる LVEDP 上昇時に、A/R が正常範囲内の 6 例中 5 例で A/R は増加, 1 例では減少した。A/R が 1 以上の 11 例中 10 例では LVEDP 上昇に際し A/R は減少し, ACR/R は高値を示す傾向が認められた。0.5 未満の A/R を示す 2 例では LVEDP の著明な上昇にかかわらず A/R は一定であった。

このように、僧帽弁の血流を分析することによって、左室拡張動態、特に、個人での LVEDP の変化を知り得る可能性が示唆された。

文 献

- 1) Braunwald E, Ross J Jr: The left ventricular end-diastolic pressure: Appraisal of its value in the recognition of ventricular failure in man. *Am J Med* **34**: 147-150, 1963
- 2) Young SS, Bentivoglio LG, Maranhão V, Goldberg H: From Cardiac Catheterization Data to Hemodynamic Parameters. 2nd ed, FA Davis Philadelphia, 1978, p 224
- 3) Pyon CB, Miyatake K, Okamoto M, Kinoshita N, Ueda E, Park YD, Sakakibara H, Nimura Y: Noninvasive analysis of left ventricular inflow pattern in ischemic heart disease with two-dimensional echo-Doppler technique. *Jpn Circ J* **46**: 1982 (abstr)
- 4) 富永俊彦, 大木 崇, 浅井幹夫, 大島千寿子, 富田光子, 福田信夫, 坂井秀樹, 村尾明之, 仁木敏晴, 森 博愛: 超音波パルス・ドプラー法による左室拡張終期圧 (LVEDP) の評価. 日超医講演論文集 **39**: 253-254, 1981
- 5) Miyatake K, Okamoto M, Kinoshita N, Ohwa M, Nakasone I, Sakakibara H, Nimura Y: Augmentation of atrial contribution to left ventricular inflow with aging as assessed by intracardiac Doppler flowmetry. *Am J Cardiol* **53**: 586-589, 1984
- 6) Kitabatake A, Inoue M, Asao M, Tanouchi J, Masuyama T, Abe H, Senda S, Matsuo H: Transmitral blood flow reflecting diastolic behavior of the left ventricle in health and disease: A study by pulsed Doppler technique. *Jpn Circ J* **46**: 92-102, 1982
- 7) Davis PKB, Kinmonth JB: The movements of the annulus of the mitral valve. *J Cardiovasc Surg* **4**: 427-431, 1963
- 8) Ormiston JA, Shah PM, Tei C, Wong M: Size and motion of the mitral valve annulus in man: A two-dimensional echocardiographic method and findings in normal subjects. *Circulation* **64**: 113-120, 1981
- 9) Okamoto M, Kajiyama G, Beppu S, Izumi S, Miyatake K, Kinoshita N, Sakakibara H, Nimura Y: Relationship between extension of acute myocardial ischemia and mitral flow: A study with pulsed Doppler echocardiography. *Jpn J Med Ultrasound* **12**: 373-380, 1985 (in Japanese)
- 10) Matsuo H, Kitabatake A, Asao M, Terao Y, Mishima M, Senda S, Shimazu T, Tanouchi J, Abe H: Noninvasive evaluation of diastolic properties of the left ventricle by pulsed Doppler flowmetry combined with real-time two-dimensional echocardiography. *J Cardiogr* **10**: 697-708, 1980 (in Japanese)
- 11) Murao A, Ohki T, Takemura H, Asai M, Fukuda N, Ohshima C, Niki T, Mori H: Left ventricular inflow velocity patterns in myocardial infarction studied by pulsed Doppler echocardiography: With special reference to the mechanism of diastolic gallop sounds. *J Cardiogr* **12**: 583-593, 1982 (in Japanese)
- 12) Nanda NC: *Doppler Echocardiography*. Igaku Shoin, New York-Tokyo, 1985, p 494