

心エコー図・心尖拍動図による左室拡張期 chamber stiffness の評価

Evaluation of left ventricular diastolic chamber stiffness by the apexcardiogram and echocardiogram

露口 直彦
 玉川 正秀*
 野原 隆司
 横出 正之
 田中 昌
 周防 正行

Naohiko TSUYUGUCHI
 Masahide TAMAGAWA*
 Ryuji NOHARA
 Masayuki YOKODE
 Masaru TANAKA
 Masayuki SUWO

Summary

This study was made to evaluate left ventricular (LV) chamber stiffness noninvasively utilizing the apexcardiogram and echocardiogram. Subjects were 13 patients with left ventricular hypertrophy (LVH) and 17 patients without LVH. Cardiac catheterization and LV angiography were also performed in all patients.

In the apexcardiogram, as shown in Figs. 1 and 2, the ratios of an amplitude to the total amplitude were measured at the onset of left atrial systole (H1) (80 msec after the onset of the P wave) and the peak of A wave (H2). In the echocardiogram, LV internal diameters were determined at 80 msec after the onset of the P wave (D1) and the peak of the R wave of ECG (D2). In addition left ventricular volumes, V1 and V2, were calculated by D1 and D2 using Teichholz's method. Increments of the ratio of an amplitude of the ACG wave ($\Delta H = H2 - H1$) and LV volume changes ($\Delta V = V2 - V1$) which are associated with left atrial systole were calculated. The ratio of ΔH to ΔV ($\Delta H/\Delta V$) was defined as a measure of LV diastolic chamber stiffness. On the other hand, various parameters ($\Delta P/\Delta V$, K, dV/dP , dV/VdP) which represent LV diastolic properties were determined by LV pressure curves and LV cineangiograms.

$\Delta H/\Delta V$ by noninvasive method showed good correlations with $\Delta P/\Delta V$ ($r=0.83$), K ($r=0.68$), dV/dP ($r=-0.80$) and dV/VdP ($r=-0.75$), respectively. The correlations were much better between $\Delta H/\Delta V$ and these parameters than between A/Eo and these parameters. Patients with LVH had much greater diastolic stiffness ($\Delta H/\Delta V = 2.03 \pm 1.10$) than those without LVH ($\Delta H/\Delta V = 0.60 \pm 0.29$, $p < 0.01$).

It is concluded that $\Delta H/\Delta V$ obtained from ACG and the echocardiogram is a useful parameter to evaluate LV diastolic chamber stiffness noninvasively and this ratio is well correlated with LVH.

Key words

LV diastolic chamber stiffness

Apexcardiogram

Echocardiogram

兵庫県立尼崎病院 内科
 *同 研究検査部
 尼崎市北城内 27 (〒660)

Department of Internal Medicine and Clinical Laboratory*, Hyogo Prefectural Amagasaki Hospital, Kitajonai 27, Amagasaki 660

Presented at the 23rd Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kurume, October 8-10, 1981
 Received for publication March 26, 1982

はじめに

心臓のポンプ機能は心筋が収縮と弛緩を繰り返すことにより営まれるが, 近年, 特にその拡張期動態(弛緩特性)が注目されつつある¹⁻⁶⁾. 左室拡張期 chamber stiffness は左室の単位容量変化に要する圧変化 ($\Delta P/\Delta V$) により得られ, 左室 compliance あるいは distensibility はその逆, すなわち左室の単位圧変化に要する容量変化 ($\Delta V/\Delta P$) により得られる⁹⁾.

この左室拡張期 chamber stiffness は心筋肥大や線維化などにより変化し, 心機能の臨床的評価にとり重要な指標ではあるが, 左室圧と左室造影の同時記録による拡張期圧-容積関係の検討によって得られるもので, 観血的手法によらなければならない困難性がある.

これに対し, 非観血的な左室拡張期特性の検討は, 従来, 心尖拍動図¹⁰⁻¹²⁾, 心エコー図¹³⁻¹⁶⁾, 超音波ドプラー法¹⁷⁾によりなされてきた. この点に関し, 我々は左室容量変化を心エコー図, 左室圧変化を心尖拍動図から求め, また左房収縮に由来する左室の圧と容積変化をこの両者から求める方法を考案し, 非観血的に左室拡張期 chamber stiffness の検討を行った. 以下はその成績である.

対象ならびに方法

対象は男性 21 例, 女性 9 例の 30 例で, 年齢は 15 歳より 64 歳(平均 47.6 歳)である. 全例で心臓カテーテル, 左室造影, 冠動脈造影を施行した. 左室肥大大群は 13 例で, その内訳は肥厚性心筋症 10 例, 非対称性中隔肥大を伴う高血圧症 2 例, 腎性高血圧症 1 例であり, 心エコー図上, 心室中隔が 13 mm 以上, あるいは心室中隔および左室後壁がともに 13 mm 以上の例である. 一方, 非左室肥大大群は 17 例で, これらは左室造影, 冠動脈造影ともに異常なく, 心エコー図にて心室中隔および左室後壁ともに 10 mm 以下の例である. なお全例洞調律であった.

心臓カテーテルは Sones 法にて施行, 圧測定

は 8F の Sones カテーテルと Siemens 製 pressure transducer 746 により行い, Sicor system にて記録した. 左室圧は造影に先立って記録した. 左室造影には 76% ウログラフィン 30~35 ml を使用し, 毎秒 60 コマにて RAO 30°, LAO 60° で撮影した. 心エコー図には東芝製セクター電子走査型断層装置 SSH-11A を用い, 断層像を併用して心室中隔, 左室後壁エコーを明瞭に観察できる部を選び, Honeywell 製 strip chart recorder にて 50 mm/sec で記録した. 心尖拍動図は, 左側臥位にて最もよく心尖拍動を触知する部位から, Hewlett Packard 製 contact sensor およびポリグラフにて 100 mm/sec で記録した. 心エコー図, 心尖拍動図は心臓カテーテルの前日に検査したが, 両検査は同時記録ではなく, 患者を同一ベッド上に安静臥位に保ち, 連続して記録した. なお心臓カテーテル時と心エコー図・心尖拍動図検査時の心拍数がほとんど差のない症例のみを対象とした.

左室拡張期 chamber stiffness の評価法は Grossman ら¹⁾の方法に準じ, 左室拡張終期における圧と容量の変化関係より導いた. すなわち左房収縮に伴って起きる左室圧の増加と左室容量の増加の比 ($\Delta P/\Delta V$) を, 左室拡張期 chamber stiffness を表わす指標として用いた.

非観血的方法: 左房の収縮は心電図 P 波の開始より 80 msec 後に始まるので¹⁸⁾, このポイントを左房収縮開始の時点として用いた. 心尖拍動図上, 心電図の P 波開始より 80 msec 後に一致した部での振幅 (H_1), A 波のピークでの振幅 (H_2), 全振幅 E-O (H_3) を測定し, 左房収縮によると思われる心尖拍動図の振幅の変化率

$$\Delta H = \frac{H_2 - H_1}{H_3} \times 100\%$$

を計測した. 一方, 心エコー図より心電図の P 波の開始から 80 msec 後の時点での左室径 (D_1) と拡張末期として心電図の R 波のピークでの左室径 (D_2) を測定し, Teichholz の式¹⁹⁾ [$7 \times D^3 / (2.4 + D)$] よりそれぞれの容積を算出して V_1, V_2 と

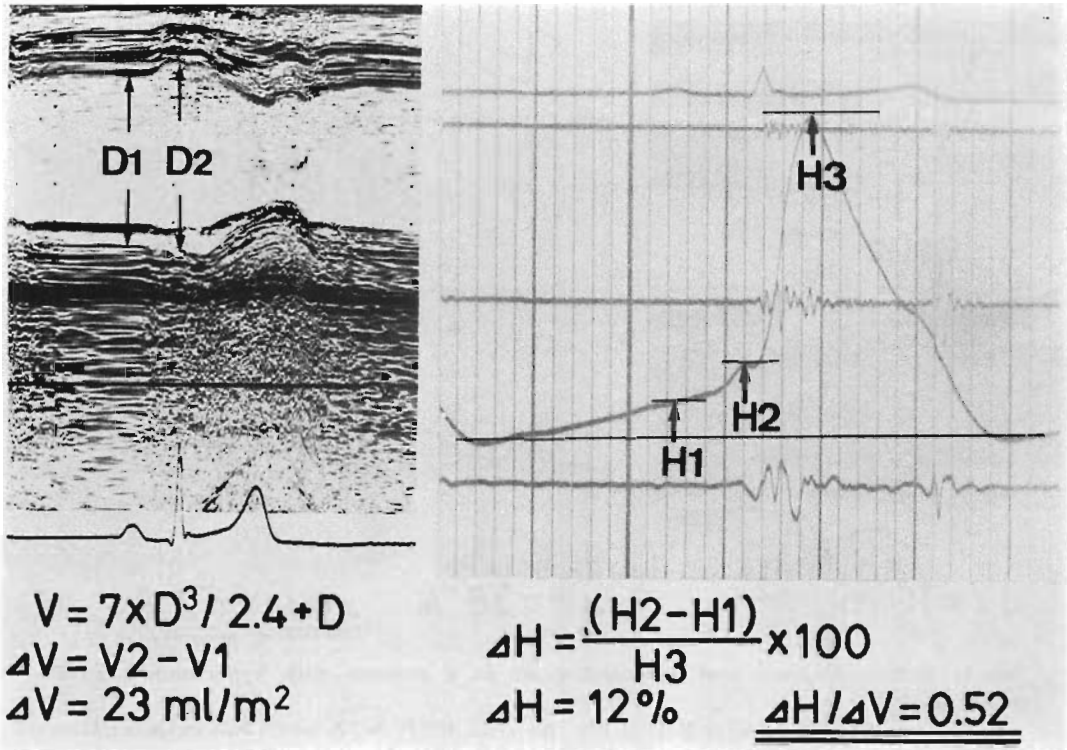


Fig. 1. Echocardiogram and apexcardiogram (ACG) in a normal individual illustrating the method of measurement to evaluate left ventricular (LV) diastolic chamber stiffness.

D1=LV internal diameter at 80 msec after the onset of the P wave of ECG; D2=LV internal diameter at the peak of the R wave of ECG; V1 and V2 are calculated by D1, D2 using Teichholz's method; H1=amplitude of ACG wave at 80 msec after the onset of the P wave of ECG; H2=amplitude of ACG wave at the peak of A wave of ACG; H3=total amplitude of ACG wave.

Increments of the ratio of amplitude of ACG wave [$\Delta H = (H_2 - H_1) / H_3 \times 100$] and increments of LV volume [$\Delta V = V_2 - V_1$] are measured. The ratio of $\Delta H / \Delta V$ is defined as a measure of LV diastolic chamber stiffness. In this case, ΔV is 23 ml/m² and ΔH is 12%, therefore $\Delta H / \Delta V$ is 0.52.

し、左房収縮による左室容積の変化 $\Delta V = V_2 - V_1$ を得、その $\Delta H / \Delta V$ を左室拡張期 chamber stiffness を表わす指標として検討した。以下の2例は本研究の方法を示す実例である。

Fig. 1 は50歳男性の正常例の心エコー図、心尖拍動図を示す。心エコー図にて左室径 D₁, D₂ を測定し、Teichholz の式より V₁, V₂ を算出すると、 ΔV は 23 ml/m² となる。心尖拍動図にて H₁, H₂, H₃ を測定し、 $\Delta H = (H_2 - H_1) / H_3 \times 100$ により導くと、 ΔH は 12% となる。したがってこ

の両者の組み合わせ $\Delta H / \Delta V$ は 0.52 である。

Fig. 2 は23歳男性の肥厚性心筋症の心エコー図、心尖拍動図である。心エコー図より ΔV は 10 ml/m² となり、心尖拍動図より ΔH は 38% となる。この例においては $\Delta H / \Delta V$ は 3.8 と算出され、前例の正常例と比較するとはるかに高値を示している。

観血的方法：左房収縮による左室圧と左室容量の変化を左室圧と左室シネアンジオより求めた。心電図 P 波の開始より約 80 msec 後の部位の左

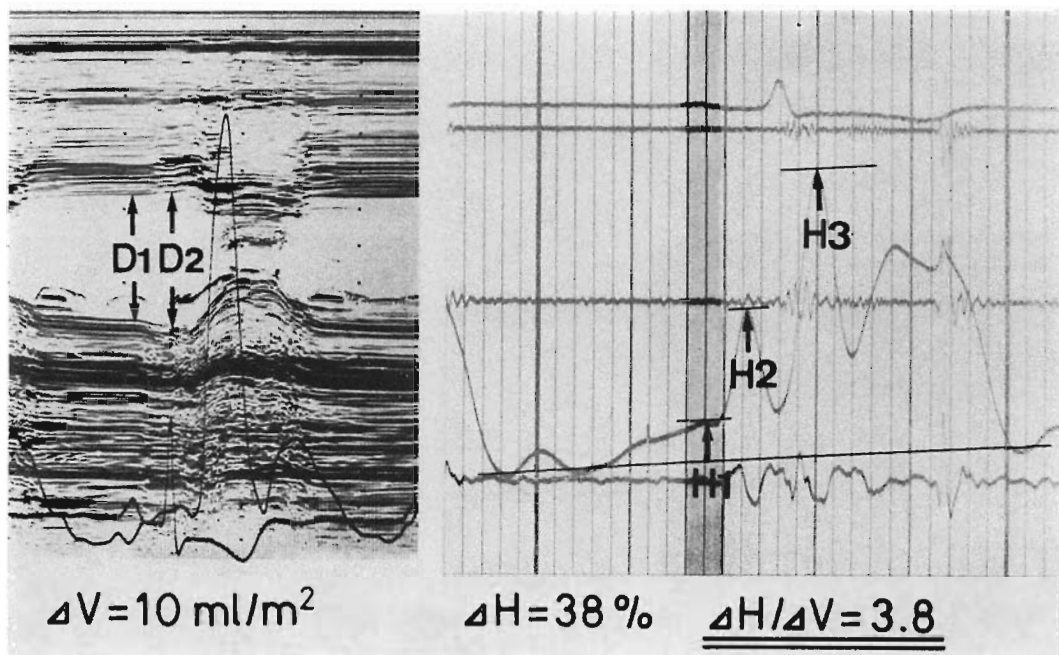


Fig. 2. Echocardiogram and apexcardiogram in a patients with hypertrophic cardiomyopathy.

In this case ΔV is 10 ml/m^2 and ΔH is 38% , therefore $\Delta H/\Delta V$ is 3.8 , which indicates much higher value than in a normal individual.

室圧を P_1 , atrial kick を有する例では A 波のピークの圧を P_2 , atrial kick を有しない例では拡張末期圧を P_2 として測定し, 左房収縮による左室圧の変化 $\Delta P = P_2 - P_1$ を計測した.

Fig. 3 は実例における左室圧の拡大記録を示す. Case 1 は正常例で ΔP は 4 mmHg であり, Case 2 は肥厚性心筋症で ΔP は 15 mmHg であった.

一方, RAO 30° にて撮影した左室シネアングリオより, 左房収縮直前の左室容量 V_1 , 左室拡張末期容量 V_2 を area-length method²⁰⁾ により測定し, 左房収縮による左室容量の変化 $\Delta V = V_2 - V_1$ を計測した. この両者の比 $\Delta P/\Delta V$ を観血的方法による左室拡張期 chamber stiffness を表わす指標として用いた.

結 果

1. 心尖拍動図の変化率 ΔH と左室圧の変化 ΔP の関係

心尖拍動図における拡張終期の変化率 ΔH と左室圧の拡張終期の変化 ΔP の間には, $r=0.83$ と密な相関が得られた (Fig. 4 左図). 左室肥大群では ΔH , ΔP とともに非左室肥大群に比して高値を示した. したがって, 心尖拍動図より求めた ΔH は左房収縮による左室圧の変化をよく反映していると考えられ, これによって左室拡張終期のおおよその圧変化を推定できるのではないかと思われた.

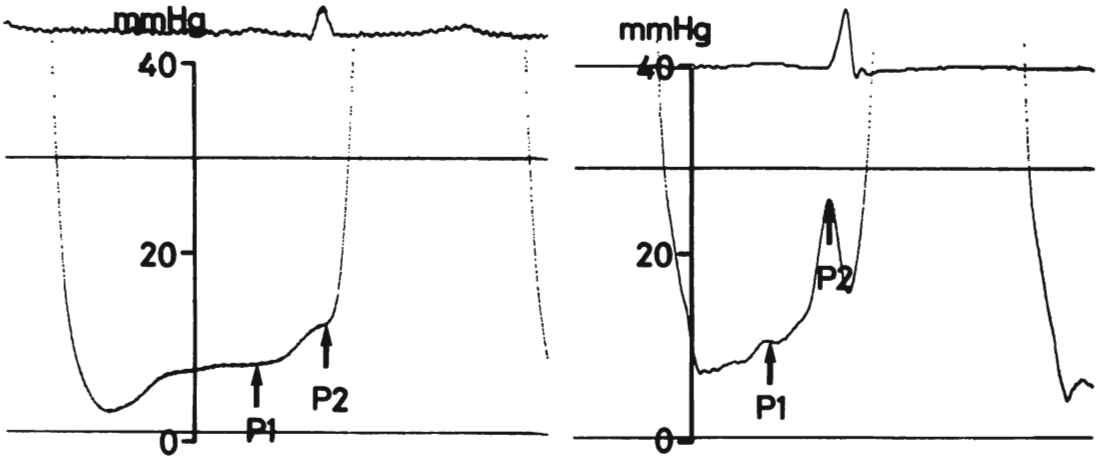
2. 心エコー図の ΔV と左室シネアングリオの ΔV の関係

心エコー図より求めた左房収縮による左室容量の変化 ΔV と左室造影より求めた左室容量の変

LV pressure

case 1

case 2



$$\Delta P = P2 - P1$$

Fig. 3. LV pressure recordings in a normal individual and a patient with hypertrophic cardiomyopathy.

Pressure change associated with left atrial systole (ΔP) is measured by $P2 - P1$.

$P1$ = LV pressure at 80 msec after the onset of the P wave of ECG; $P2$ = peak pressure of A wave in cases with atrial kick or end-diastolic pressure in cases without A wave.

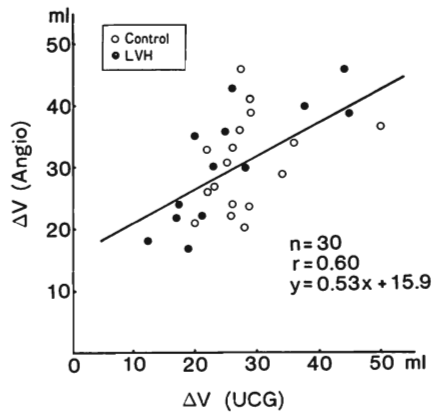
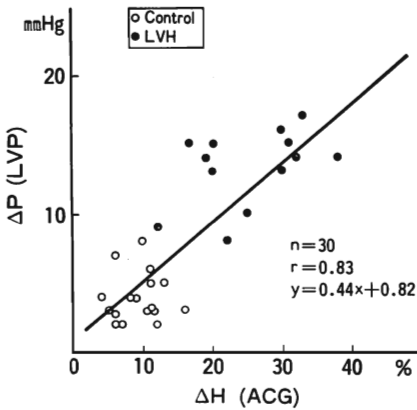


Fig. 4. Relationship between ΔH by ACG and ΔP by LV pressure curve (left), and relationship between ΔV by the echocardiogram and ΔV by the LV angiogram (right).

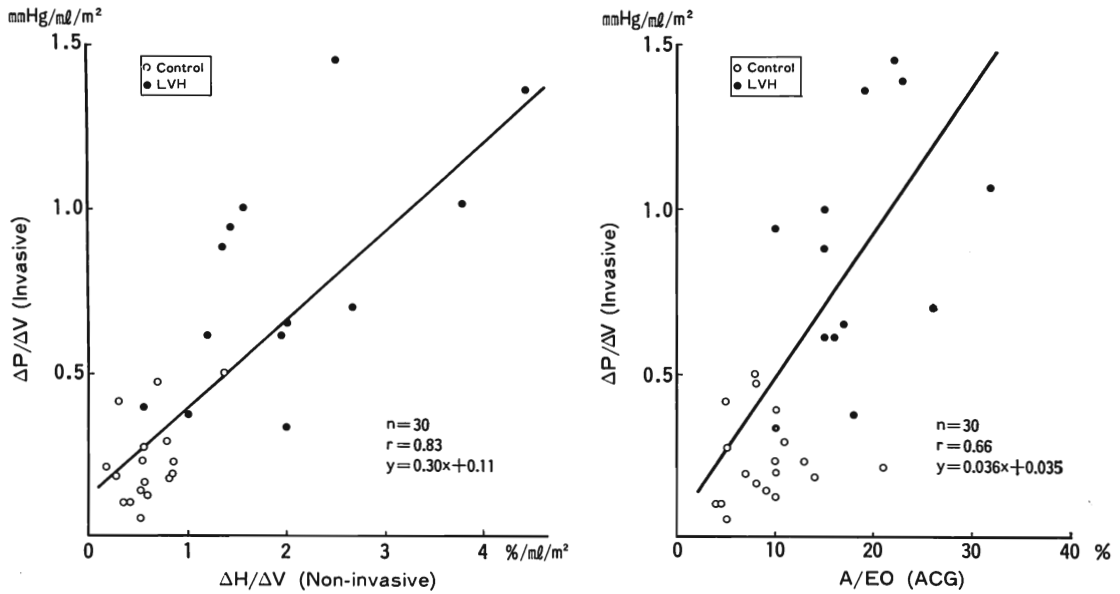


Fig. 5. Relationship between $\Delta H/\Delta V$ by noninvasive method and $\Delta P/\Delta V$ by invasive method (left). Relationship between A/Eo by ACG and $\Delta P/\Delta V$ by invasive method (right).

化 ΔV の間には, $r=0.60$ の相関が認められた (Fig. 4 右図). 左室肥大群と非左室肥大群において, 左房収縮による左室容量の変化に明らかな差は認められなかった.

3. 非観血的指標 $\Delta H/\Delta V$ と観血的指標 $\Delta P/\Delta V$ の関係

非観血的に得られた $\Delta H/\Delta V$ と観血的に得られた指標 $\Delta P/\Delta V$ の間には, $r=0.83$ と密な相関関係が得られた (Fig. 5 左). したがって, $\Delta H/\Delta V$ は左室拡張期 chamber stiffness を反映する指標として, 臨床的に十分使用し得ると考えられた.

従来から非観血的に左室拡張期特性を表わす代表的指標とされている心尖拍動図の A/Eo と観血的指標 $\Delta P/\Delta V$ の間には, $r=0.66$ の相関が認められた (Fig. 5 右). したがって, $\Delta H/\Delta V$ のほうが A/Eo よりも $\Delta P/\Delta V$ とより密接な関係にあることが明らかとなった.

4. 左室肥大と左室拡張期 chamber stiffness の関係 (Fig. 6)

非観血的指標 $\Delta H/\Delta V$ は左室肥大群で $2.03 \pm$

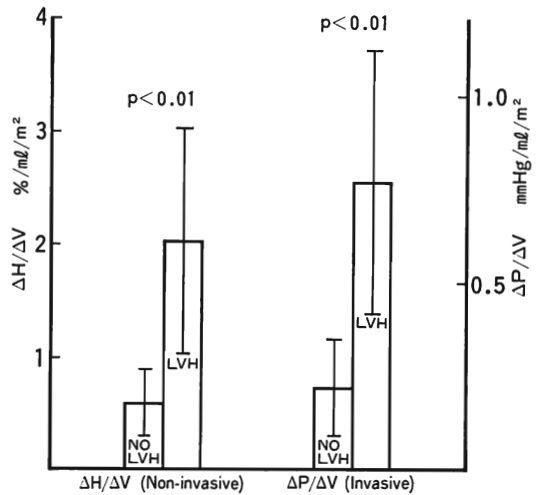


Fig. 6. Comparisons of LV diastolic chamber stiffness in patients with and without LVH.

$\Delta H/\Delta V$ by noninvasive method as well as $\Delta P/\Delta V$ by invasive method are significantly higher in patients with LVH than in those without LVH.

Table 1. Comparison of correlation coefficients between $\Delta H/\Delta V$ and A/Eo to the various hemodynamic parameters

	$\Delta P/\Delta V$	K	(dV/dP)ed	(dV/VdP)ed
$\Delta H/\Delta V$	0.83	0.68	-0.80	-0.75
A/Eo	0.66	0.51	-0.72	-0.71

されるような高血圧性心肥大例を含んでいないためと考えられる。

3. $\Delta H/\Delta V$ と A/Eo との比較

心尖拍動図の A/Eo は、非観血的に左室拡張期特性を評価するのに、現在、最もよく用いられる指標である。Gibson ら¹¹⁾は A/Eo が左室拡張期 chamber stiffness を表わす指標 ($\Delta P/\Delta D$) と $r=0.87$ の相関関係にあり、A/Eo が左室拡張期 chamber stiffness をよく反映していると述べている。Monolas ら¹²⁾も A/Eo と左室拡張特性を表わす種々の指標と比較し、A/Eo が左室の拡張期特性を表わす良い指標であるとした。しかし A/Eo の測定に際し、A 波の不明瞭な例や A 波のない例もあり、すべてを定量的に測定するには困難がある。しかし $\Delta H/\Delta V$ の場合には、A 波のない例でも H_2 として C 点での振幅を測定すれば、すべての症例で計測可能である。Table 1 に $\Delta H/\Delta V$ と A/Eo のそれぞれについて $\Delta P/\Delta V$, K, (dV/dP)ed, (dV/VdP)ed との相関係数を比較を示す。 $\Delta H/\Delta V$ のほうがどの指標においても A/Eo より密な相関関係にあり、左室拡張期特性を表わす指標としてより優れたものと思われる。

以上のように、心尖拍動図、心エコー図より求めた $\Delta H/\Delta V$ は、非観血的に左室拡張期 chamber stiffness を評価する上に、臨床的に有用な指標であると考えられる。

要 約

心エコー図、心尖拍動図 (ACG) より非観血的に左室拡張期 chamber stiffness を検討した。

対象は 30 例で、左室肥大群 13 例、非左室肥大

群 17 例であった。全例で心臓カテーテル、冠動脈造影、左室造影を施行した。

心エコー図上、心電図 P 波開始点より 80 msec 後および R 波の頂点での左室径を D_1 , D_2 とし、それぞれ Teichholz の式より左室容量 V_1 , V_2 を算出し、 $\Delta V=V_2-V_1$ を左房収縮による左室容量の変化量とした。ACG 上、心電図 P 波の開始より 80 msec 後および A 波の頂点での振幅を H_1 , H_2 とし、全振幅 H_3 に対する比率より、 $\Delta H=(H_2-H_1)/H_3 \times 100(\%)$ を左房収縮による ACG の変化率とした。そして両者の比 $\Delta H/\Delta V$ を、左室拡張期 chamber stiffness を表わす非観血的指標とした。また左室圧、左室造影より、左房収縮による左室圧の変化 ΔP および左室容量の変化 ΔV にも検討を加えた。

1) ACG より求めた ΔH と左室圧より求めた ΔP との間には $r=0.83$ の良い相関が認められ、心エコー図より求めた ΔV は左室造影より求めた ΔV と $r=0.60$ の相関を有した。この両者の比 $\Delta H/\Delta V$ は観血的に求めた $\Delta P/\Delta V$ と $r=0.83$ と良い相関関係にあった。

2) また $\Delta H/\Delta V$ は左室拡張期特性を表わす観血的指標 K と $r=0.68$, (dV/dP)ed と $r=-0.80$, (dV/VdP)ed と $r=-0.76$ の相関が認められた。

3) 一方、従来より用いられている指標である ACG の A/Eo は、 $\Delta P/\Delta V$ と $r=0.68$, K と $r=0.66$, (dV/dP)ed と $r=-0.72$, (dV/VdP)ed と $r=-0.71$ の相関を有するに留った。したがって、 $\Delta H/\Delta V$ のほうが A/Eo よりも左室拡張期 chamber stiffness を表わす指標としては優れたものと考えられた。

4) $\Delta H/\Delta V$ は左室肥大群では 2.03 ± 1.10 , 非左室肥大群では 0.60 ± 0.29 であり、左室肥大群は非左室肥大群に比し、有意に ($p < 0.01$) 高値であった。

以上より心エコー図、ACG より求めた $\Delta H/\Delta V$ は、非観血的に左室拡張期 chamber stiffness を表わす指標として臨床的に有用であると考えられた。

文 献

- 1) Grossman W, Stefadouros MA, McLaurin LP, Rolert EL, Young DT: Quantitative assessment of left ventricular diastolic stiffness in man. *Circulation* **47**: 567, 1973
- 2) Grossman W, McLaurin LP, Moos SP, Stefadouros M, Young DT: Wall thickness and diastolic properties of the left ventricle. *Circulation* **49**: 129, 1974
- 3) Barry WH, Brooker JZ, Aldermann EL, Harrison DC: Change in diastolic stiffness and tone of the left ventricle during angina pectoris. *Circulation* **49**: 255, 1974
- 4) Gotsman MS, Lewis BS: Left ventricular volumes and compliance in hypertrophic cardiomyopathy. *Chest* **66**: 498, 1974
- 5) Mirsky I, Cohn PR, Levine JA, Gorlin R, Herman MV, Kreulen TH, Sonnenblick EH: Assessment of left ventricular stiffness in primary myocardial disease and coronary artery disease. *Circulation* **50**: 128, 1974
- 6) Gaasch WH, Cole JS, Quinones MA, Alexander JK: Dynamic determinants of left ventricular diastolic pressure-volume relations in man. *Circulation* **51**: 317, 1975
- 7) Gaasch WH, Quinones MA, Waisser E, Thiel HG, Alexander JK: Diastolic compliance of the left ventricle in man. *Am J Cardiol* **36**: 193, 1975
- 8) Gaasch WH, Levine HJ, Quinones MA, Alexander JK: Left ventricular compliance: Mechanism and clinical implications. *Am J Cardiol* **38**: 645, 1976
- 9) Lewis BS, Gotsman MS: Current concepts of left ventricular relaxation and compliance. *Am Heart J* **99**: 101, 1980
- 10) Voigt GC, Friesinger GC: The use of apexcardiography in assessment of left ventricular diastolic pressure. *Circulation* **41**: 1015, 1970
- 11) Gibson TC, Madry R, Grossman W, McLaurin LP, Craig E: The A wave of apexcardiogram and left ventricular diastolic stiffness. *Circulation* **49**: 441, 1974
- 12) Manolas J, Krayenbuehl HP, Rutishauser W: Use of apexcardiography to evaluate left ventricular diastolic compliance in human beings. *Am J Cardiol* **43**: 939, 1979
- 13) Quinones MA, Gaasch WH, Waisser E, Alexander JK: Reduction in the rate of diastolic descent of the mitral valve echogram in patients with altered left ventricular diastolic pressure-volume relations. *Circulation* **49**: 246, 1974
- 14) Ambrose JA, Meller J, Herman MV, Teichholz LE: The ventricular A wave: A new echocardiographic index of late diastolic filling of the left ventricle. *Am Heart J* **96**: 615, 1978
- 15) Dote K, Sakai A, Fujikawa Y, Oota E, Tanaka S, Shiota T: Echocardiographic assessment of left ventricular filling in essential hypertension and hypertrophic cardiomyopathy. *J Cardiography* **11**: 135, 1981 (in Japanese)
- 16) Ambrose JA, Martinetz EE, Meller J, Gorlin R, Pichard AD, Herman MV, Teichholz LE: Hemodynamic correlates of late diastolic posterior motion of the aortic root. *Am Heart J* **100**: 433, 1980
- 17) 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 Cardiography* **10**: 697, 1980 (in Japanese)
- 18) Braunwald E, Fishman AP, Cournand A: Time relationship of dynamic events in the cardiac chambers, pulmonary artery, and aorta in man. *Circulat Res* **4**: 100, 1956
- 19) Teichholz LE, Kreulen T, Herman MV, Gorlin R: Problems in echocardiographic volume determinations: Echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. *Am J Cardiol* **37**: 7, 1976
- 20) Dodge HT, Sandler H, Ballew DW, Lord JD Jr: Use of biplane angiocardiology for the measurement of left ventricular volume in man. *Am Heart J* **60**: 762, 1960