

左室流入血流パターンから
みた高血圧症, 肥大型心筋
症, 心筋梗塞における左室
拡張機能に関する研究

Noninvasive evaluation
of diastolic properties
of the left ventricle by
pulsed Doppler flow-
metry combined with
real-time two-dimen-
sional echocardiography

松尾 裕英
北畠 顕
浅生 雅人
寺尾 祐輔
三嶋 正芳
千田 彰一
島津 敬
田内 潤
阿部 裕

Hirohide MATSUO
Akira KITABATAKE
Masato ASAO
Yusuke TERAO
Masayoshi MISHIMA
Shoichi SENDA
Takashi SHIMAZU
Jun TANOUCHI
Hiroshi ABE

Summary

Many studies have evaluated diastolic properties of the left ventricle (LV) from simultaneous recordings of intraventricular pressure and volume by left ventriculography or M-mode echocardiography in terms of pressure-volume relations. However, this approach requires the assumption that the shape of LV is either ellipsoid or spheroid to calculate ventricular volume and sometimes meets the limitation of the application.

In this study, transmitral blood flow velocity, instead of volume change, was employed to evaluate diastolic behavior of the LV, because the rate of LV volume change in diastole equivalents to the transmitral blood flow rate. Transmitral blood flow velocity was noninvasively measured by a pulsed Doppler flowmeter, combined with an electronic sector-scanning echocardiograph. Doppler signal was analyzed by a soundspectrograph and displayed as a gray scaled flow velocity pattern. Parameters derived from the flow velocity pattern were as follows: 1) Acceleration time (ΔT_A); time interval to increase the flow velocity from one-third of the rapid filling peak velocity (R) to R, 2) deceleration time

大阪大学医学部 第一内科
大阪市福島区福島 1-1-50 (〒553)

The First Department of Medicine, Osaka University
Medical School, Fukushima 1-1-50, Fukushima-ku,
Osaka 553

Presented at the 19th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kyoto, October 20-21, 1979

Received for publication May 1, 1980

(ΔT_D); time interval to reduce the velocity from R to half, and 3) the ratio of the late diastolic peak velocity due to atrial contraction (A) to R (A/R). Study population consisted of 16 patients with hypertrophic cardiomyopathy (group HCM), 13 patients with hypertension (group HT) and 16 patients with old myocardial infarction (group MI). Fourteen healthy subjects served as a control (group N).

In group HCM, ΔT_A , ΔT_D and A/R were significantly greater than those in group N, respectively. The value of ΔT_A was 88 ± 17 msec (mean \pm S.D.) for group HCM and 74 ± 12 msec for group N ($p < 0.02$), the value of ΔT_D was 182 ± 60 msec for group HCM and 97 ± 17 msec for group N ($p < 0.001$), and the value of A/R was 0.84 ± 0.31 for group HCM and 0.49 ± 0.13 for group N ($p < 0.001$). LV wall thickness was not correlated with any of these parameters.

In group HT, ΔT_D and A/R were significantly greater than those in group N, respectively. The value of ΔT_D was 124 ± 28 msec ($p < 0.1$) and the value of A/R was 1.12 ± 0.41 ($p < 0.001$) for group HT. In contrast to group HCM, ΔT_D increased in accord with an increase of LV wall thickness.

In group MI, A/R was significantly higher (1.03 ± 0.28 , $p > 0.001$) than that in group N, while no statistical difference was obtained in either of ΔT_A and ΔT_D between the two groups.

These findings indicate that diastolic properties of the LV are noninvasively evaluated by LV inflow parameters derived from transmitral blood flow velocity pattern, especially on A/R.

Key words

Diastolic properties Pulsed Doppler method Mitral flow Hypertrophic cardiomyopathy
Hypertension Myocardial infarction

緒 言

左室拡張能は心室ポンプ機能を規定する一因子である前負荷を決定するために、心臓病態生理学上重要な課題となっている。なかでも肥大心¹⁻⁹⁾や虚血性心疾患^{1,2,10,11)}における左室拡張特性は近年注目を集めている。しかしながら、局所的な壁厚の分布の相違や局所的壁運動異常を伴う肥大型心筋症や心筋梗塞においては、その容積算出にさいして従来より用いられるシネアンジオグラフィや M モード・心エコー法は方法論的に問題を包含している。

本研究では、このような局所的ジオメトリーの異常による計測上の問題を避けるべく、左室流入血流動態の観点から、超音波パルス変調ドプラー法により、肥大心としての肥大型心筋症および高血圧症、ならびに梗塞心の左室流入血流速を計測し、これにより左室拡張特性について検討を加えた。

対 象

対象は高血圧症 13 例 (26~69 歳, 平均 49 歳), 肥大型心筋症 16 例 (18~68 歳, 平均 41 歳) および陳旧性心筋梗塞 16 例 (37~68 歳, 平均 56 歳) の計 45 例と, 対照としての健常例 14 例 (22~66 歳, 平均 35 歳) である (Table 1)。

高血圧症は血圧 160/95 mmHg 以上を, 少なくとも 1 年以上経過した症例をとりあげた。肥大

Table 1. Materials

	Cases	Age (range)
Healthy	14	35 (22 - 66)
Hypertension	13	49 (26 - 69)
Hypertrophic Cardiomyopathy	16	41 (18 - 68)
Myocardial Infarction	16	56 (37 - 68)
Anterior	9	58 (44 - 68)
Inferior	7	54 (37 - 67)

型心筋症は Goodwin^{12,13)} の分類に従い、原因不明の左室壁肥厚および左室内腔の狭小化を認めたものである。心筋梗塞は梗塞発症後1カ月以上経過した例を用いた。

なお、今回の検討対象は全例洞調律であり、また NYHA 心機能旧分類 III 度以上のものは除外した。

方 法

1. 計 測

左室流入血流速度計測には、超音波パルス変調ドプラー血流計(日立メディコ製 EUD-5, 発信周波数 2.5 MHz, 繰り返し周波数 5 kHz, パルス幅 1.3 μ sec) と、扇形電子走査型超音波断層装置(日立メディコ製 EUB-10) とを複合化したシステム¹⁴⁾を用いた (Fig. 1)。本システムでは、リアルタイ

ム断層図上で血流計測部位の正確な解剖学的位置の同定をなしつつ血流計測が可能であるが、両装置同時作働時には繰り返し周波数が 2.5 kHz に減ずるため、瞬時の操作でそれぞれの単独使用への切替を可能とした。血流計単独使用時の最大検出ドプラー周波数は 2.5 kHz (入射角 0° の場合 75 cm/sec の血流速度に相当)、最大計測深度は 15 cm である。血流計測用探触子は音響レンズ付探触子を用いた。その方位分解能および血流計距離分解能から、血流サンプルリングボリュームは $3 \times 3 \times 1 \text{ mm}^3$ である。

血流ドプラー信号の分析にはソナグラフ(リオン製 SG-07)を用い、サウンドスペクトログラム表示とした (Fig. 1)。すなわち、横軸は時間、縦軸はドプラー周波数を表わし、基線の上下にそれぞれ探触子から遠ざかる流れ、および近づく流

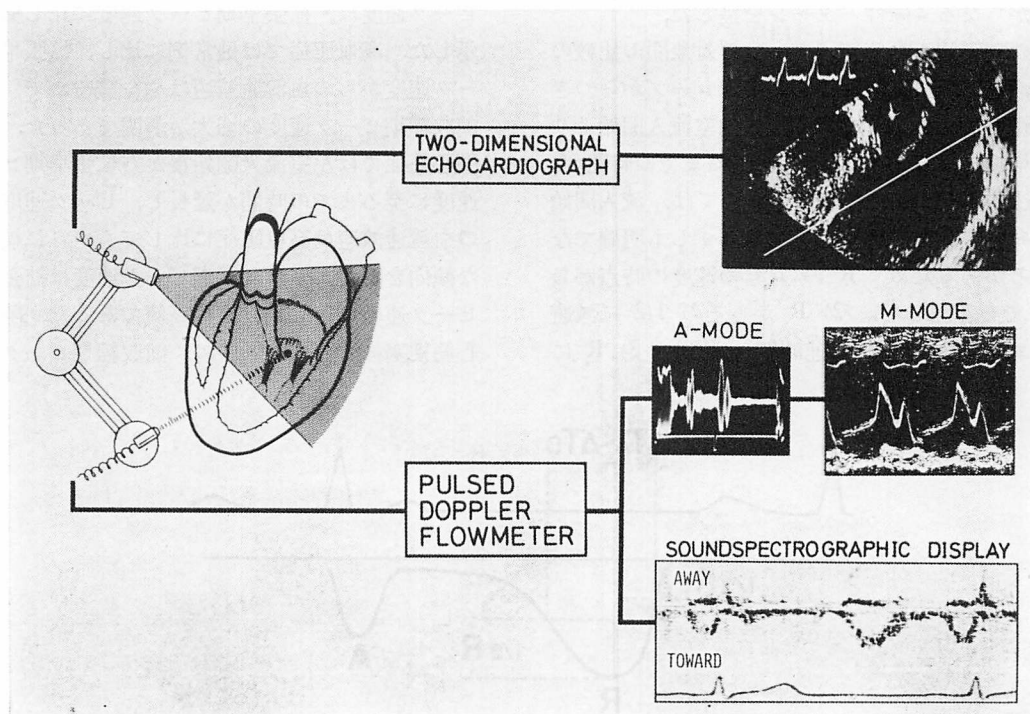


Fig. 1. Schematic representation of the system.

The direction of the Doppler beam and the location of the sample site are shown on the real-time two-dimensional echocardiogram (upper right). Doppler signal is analyzed by soundspectrograph.

れを表示した。表示の濃淡はその周波数に相当する流速の、血球数に比例したドプラー出力を表わす。

計測にさいしては、被検者を安静仰臥位または左側半横臥位とし、血流計探触子を心尖拍動の部位、断層装置探触子を胸骨左縁第3または第4肋間に置き計測をすすめた。左室流入血流速計測は血流サンプリング部位を心長軸断層図上に輝点として表示し、それをモニターすることにより僧帽弁輪レベルの左室流入路に正確に設定して行った。

血流計測後、Mモード心エコー図(Aloka製SSD-90)を記録し、左室壁厚(左室後壁厚および心室中隔厚)を求めた。

2. 計測指標

1) 左室流入血流速パターン

左室流入血流速パターンは対象の全例において、拡張早期の急速流入と前収縮期の心房収縮による流入からなる2峰性パターンを呈した。

この左室流入血流速パターンの対象間の比較のため、その流速パターンのエンベロップからつぎの指標を求めた(Fig. 2)。1) 左室流入開始より拡張早期ピーク速度(R)に達するまでの時間(血流加速時間, ΔT_A)。計測にさいしては、流入開始点は弁その他の信号が混入して必ずしも明確でないことがあるため、Rの1/3の速度の時点からRまでを計測した)、2) Rからその1/2に減速するまでの時間(血流減速時間, ΔT_D)、3) Rに

対する前収縮期ピーク速度(A)の比, A/R。

2) 左室壁厚

Mモード心エコー図より、拡張末期での心室中隔壁厚(IVS)、左室後壁厚(LVPW)および左室短軸内径LVDDを計測し、左室壁厚の指標として規準化平均左室壁厚 $1/2(IVS+LVPW)/LVDD$ を算出した。

結 果

1. 左室流入血流速パターン

健常例、高血圧症、肥大型心筋症および陳旧性心筋梗塞における左室流入血流速パターンのそれぞれ代表例をFig. 3に示す。

健常例左室流入血流は、流入開始後比較的速やかに拡張早期急速流入ピーク速度に達し、ピーク速度到達後から拡張中期にかけての減速も速やかであった。また前収縮期心房収縮による左室流入ピーク速度は、拡張早期ピーク速度に比し低値を示した。高血圧症では健常例に比し、拡張早期ピーク速度からの血流速減速はやや緩やかで、かつ前収縮期ピーク速度の増大が著明であった。肥大型心筋症では左室流入開始後から拡張早期ピーク速度に至るまでの時間が延長し、ピーク速度以後の血流速減速は高血圧症に比してもさらに緩やかな傾向を認めた。前収縮期ピーク速度は拡張早期ピーク速度に比し相対的に高値であった。陳旧性心筋梗塞においても同様に、前収縮期ピーク速度

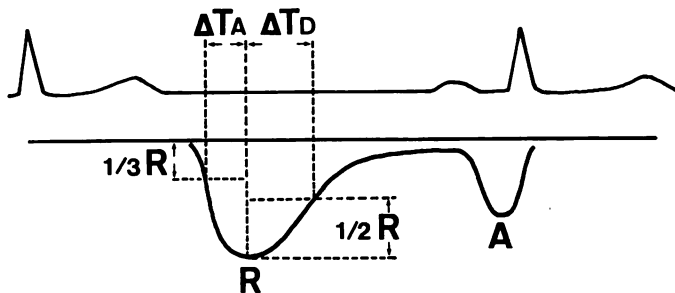


Fig. 2. Parameters derived from transmittal blood flow velocity pattern.

Acceleration time (ΔT_A), deceleration time (ΔT_D) and the ratio of presystolic peak velocity to rapid filling peak velocity (A/R) are measured as parameters of left ventricular diastolic properties.

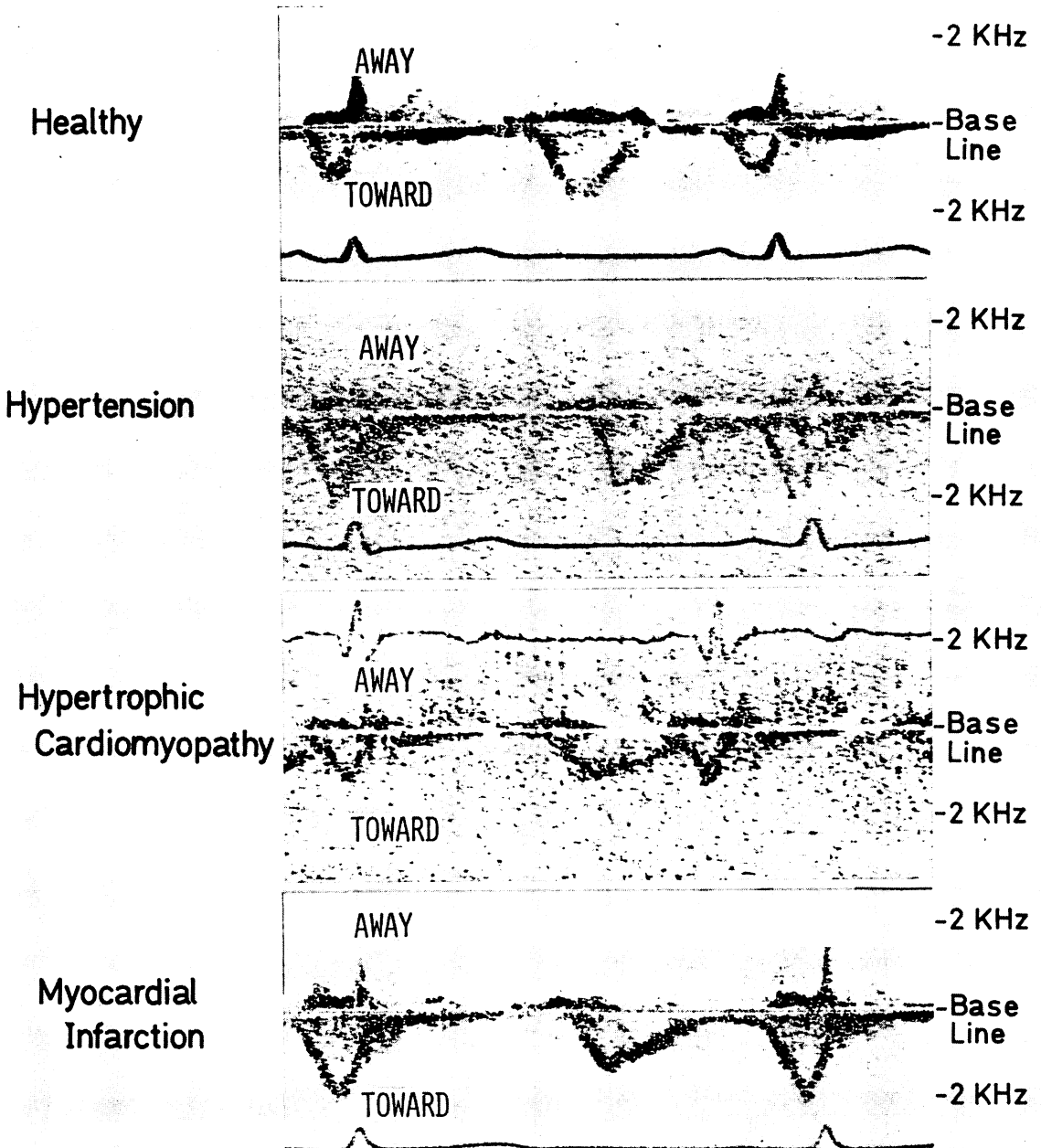


Fig. 3. Representative transmitral blood flow velocity patterns in cases of healthy subject, hypertension, hypertrophic cardiomyopathy and myocardial infarction.

の増大が著明であった。

これら左室流入血流速度パターンの特徴を示す指標を前述のごとく計測し, 各群間の差異を比較した。

ΔTA は肥大型心筋症群で 88 ± 17 msec (平均 \pm S.D.) と健常群に比し有意 ($p < 0.02$) に延長していたが, 高血圧症群および心筋梗塞群ではともに 75 ± 11 msec で, 健常群 74 ± 12 msec と有意差を認めなかった (Fig. 4)。

ΔTD は健常群 97 ± 17 msec に比し, 肥大型心筋症群で 182 ± 60 msec と著明に延長し ($p < 0.001$), 高血圧症群 124 ± 28 msec においても有意 ($p < 0.1$) に高値を示したが, 心筋梗塞群は 99 ± 18 msec と健常群と差を認めなかった (Fig. 5)。

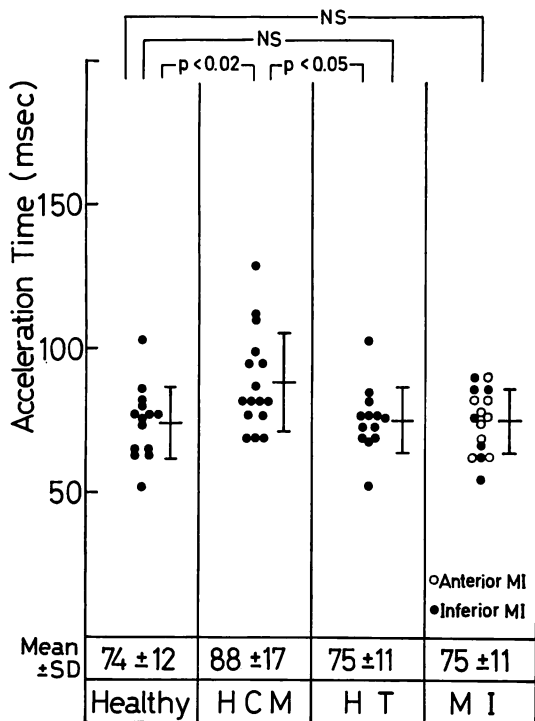


Fig. 4. Acceleration time (ΔTA) of rapid inflow.

Acceleration time is prolonged in hypertrophic cardiomyopathy compared to healthy subjects. Neither hypertension nor myocardial infarction shows statistically significant difference from healthy subjects.

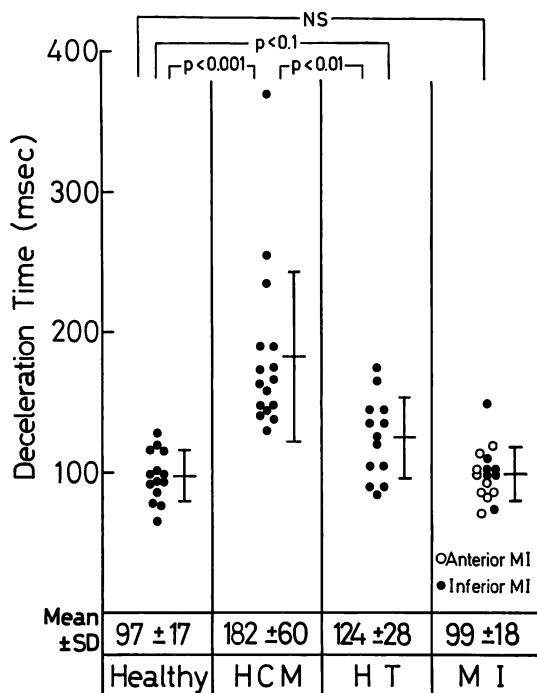


Fig. 5. Deceleration time (ΔTD) of rapid inflow.

Deceleration time is significantly prolonged in both hypertrophic cardiomyopathy and hypertension compared to healthy subjects.

A/R は疾患群でいずれも有意に高値を示した。疾患群のうち, 高血圧症群が最も高値 (1.12 ± 0.41) を示し, ついで心筋梗塞群 1.03 ± 0.28 , 肥大型心筋症群 0.84 ± 0.31 の順であった (Fig. 6)。

2. 左室流入血流速度パターンの各指標と左室壁厚との関係

左室壁厚が左室拡張特性に及ぼす影響について検討するため, 高血圧症群と肥大型心筋症群において壁肥厚の程度と左室流入血流速度パターン指標との関係を調べた。

高血圧症群では, 左室壁厚は ΔTA との間に相関を認めなかったが, ΔTD および A/R と正の相関を認めた。すなわち, 左室壁厚の増大とともに ΔTD および A/R が増加する直線関係が認められた (それぞれ $r = 0.70$, $r = 0.58$) (Figs. 7, 8)。

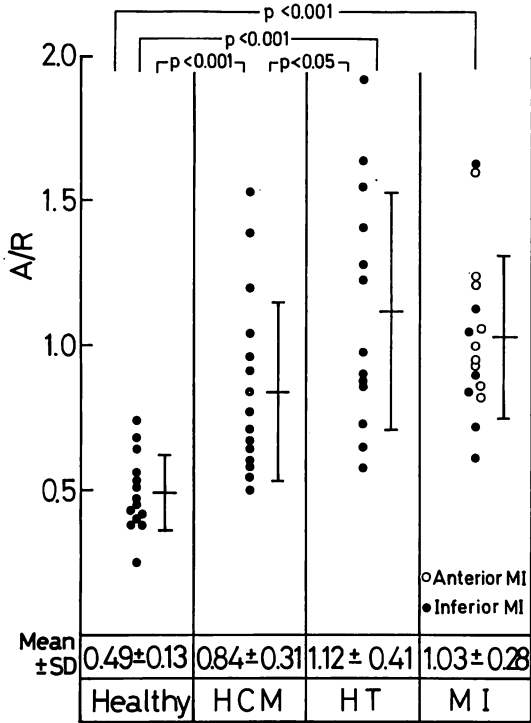


Fig. 6. The ratio of presystolic peak velocity to rapid filling peak velocity (A/R).

A/R is higher in all diseased groups than that in healthy subjects.

一方、肥大型心筋症群では、左室壁厚と左室流入血流速度パターン指標との間にはいずれも相関がみられなかった (Fig.s 7, 8).

3. 左室流入血流速度パターン指標相互の関係

高血圧症群 および 肥大型心筋症群の両群では、 ΔTd および A/R はいずれも健常群に比し高値を示した。そこで、さらに両指標の意義を検討し、また高血圧症および肥大型心筋症における左室拡張特性の特徴を知るために、両群における ΔTd と A/R との間を調べた。

高血圧症群では、 ΔTd と A/R との間には粗ではあるが、正の相関 ($r=0.49$) が認められた (Fig. 9)。すなわち、拡張中期の拡張性を示すと考えられる ΔTd が延長するほど、A/R は高値をとった。高血圧症では、拡張中期の拡張障害を

心房収縮で代償していることが示唆された。

一方、肥大型心筋症では、高血圧症群に比し全体的に右下方に位置したが、両指標の間には有意な相関関係は認められなかった (Fig. 10)。

考 察

左室の拡張特性は通常左室圧・容積関係、または心筋レベルでの応力・ひずみ関係において解析されることが多い^{1,15)}。心室や心筋の静力学的弾性特性は実験的に指数関数関係を示すことが知られ^{16,17)}、臨床でも拡張中期や拡張末期の圧・容積関係を指数関数で記述して求めた左室拡張特性に関するいくつかの報告^{17,18)}がみられる。しかしながら、拍動心においては拡張期を通じて単一な指数関数では表現できないことも指摘されており¹⁹⁻²¹⁾、刻々の圧容積からの検討の必要性も強調されている²²⁾。

このようなアプローチには高精度の計測が要求される。左室容積はシネアンジオグラフィーまたは M モード心エコー法を用い、左室を回転楕円形と仮定して算出するのが一般的である²³⁾。ところが局所的な左室ジオメトリーの異常が存在する場合は、このようなモデル化による容積算出は困難となり、かかる病態での左室拡張特性を検討するさいの1つの隘路となっていた。もう1つの問題点は圧計測であり、追従性に優れたカテ先端型マノメーターによる計測が望まれるが、これは観血的にならざるをえない。

そこでこのような問題点を避け、かつ無侵襲的に左室拡張性を知るための方法として、容積の経時的変化からみる立場がある。すなわち、伸展性が乏しい場合には拡張開始よりの容積増加が遅く、伸展性に富むさいには容積は速かに増加することから、拡張性を推測するものである。

本研究では、このような立場から、従来の方法と異なり、無侵襲的に、かつ左室ジオメトリーの変化に伴う影響を受けないで容積変化を検出する左室流入血流の観点から、左室拡張特性を調べた。

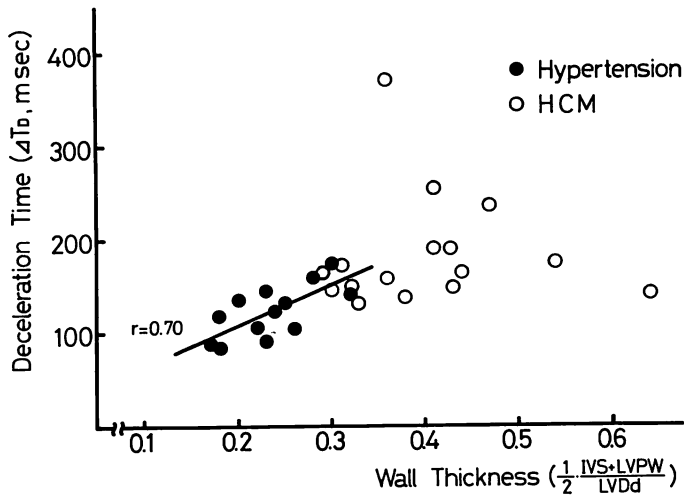


Fig. 7. Relationships between deceleration time (ΔT_D) and wall thickness of the left ventricle in hypertrophic cardiomyopathy (open circle) and hypertension (closed circle).

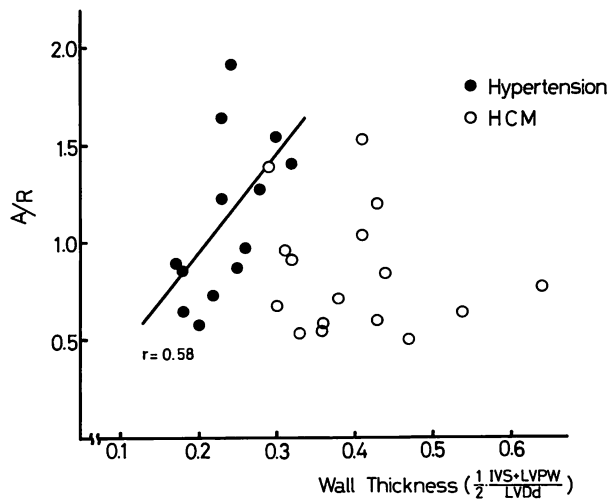


Fig. 8. Relationships between the ratio of presystolic peak velocity to rapid filling peak velocity (A/R) and wall thickness of the left ventricle in hypertrophic cardiomyopathy (open circle) and hypertension (closed circle).

対象は左室ジオメトリーの異常を伴う場合も予想しうる病態として、肥大型心筋症ならびに心筋梗塞をとり上げ、これと求心性肥大を呈する高血圧症につき、パルス変調ドプラー血流計を用いて、左室容積変化を反映すると考えられる僧帽弁輪レ

ベルの左室流入血流速を計測した。

ところで、パルス変調ドプラー法により求められるのは僧帽弁輪部血流の一部であり、これを左室容積変化を示すパラメーターとみなす場合、まず果たして血流サンプル部位の血流が、僧帽弁口

血流を代表するかどうかに関する吟味が必要となる。Taylor ら²⁴⁾によるとイヌ僧帽弁弁輪部の流速測定を検討から、僧帽弁弁輪部の流速プロファイルはほぼプラトーな分布で、壁近傍を除けば流

路横断面内では等しい血流速度を有するとしている。したがって中心流近くの微小領域の計測によって全般的な流れを類推することは、かかる所見に基づけば妥当であると考えられる。

第2には流路面積に関する問題があげられる。今回の計測部位はリアルタイム断層図上で、拡張期を通じて僧帽弁口ほど大きく断面積が変化しないとされる僧帽弁輪レベルに設定しているため、測定した流速は流量にほぼ比例すると考えられる。このような考察よりすると、計測した血流速は左室容積変化を反映すると解してさしつかえないと理解される。

さて、パルス変調ドプラー法で僧帽弁輪にて血流速を計測するさい、血流方向に対するドプラービーム入射角は計測ごとに異なるため、ドプラー周波数の絶対値は指標として適当でない。そのため本研究ではこのような入射角とは独立した指標として、左室流入血流速パターンより ΔTA 、 ΔTD および A/R を抽出した。これらはその計測時相より、 ΔTA は拡張初期の左室弛緩過程を、 ΔTD は拡張早期から中期にかけての左室受動的拡張特性を反映したものと考えられ、また A/R は急速流入に対する心房収縮の関与度を現わすものと解

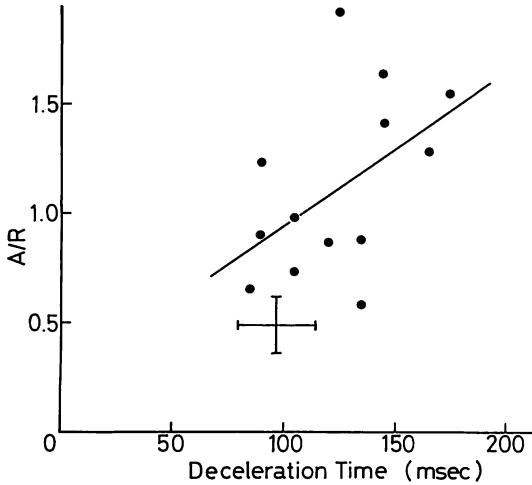


Fig. 9. Relationship between the ratio of presystolic peak velocity to rapid filling peak velocity (A/R) and deceleration time (ΔTD) in hypertension.

A cross mark indicates mean values \pm SD in healthy subjects.

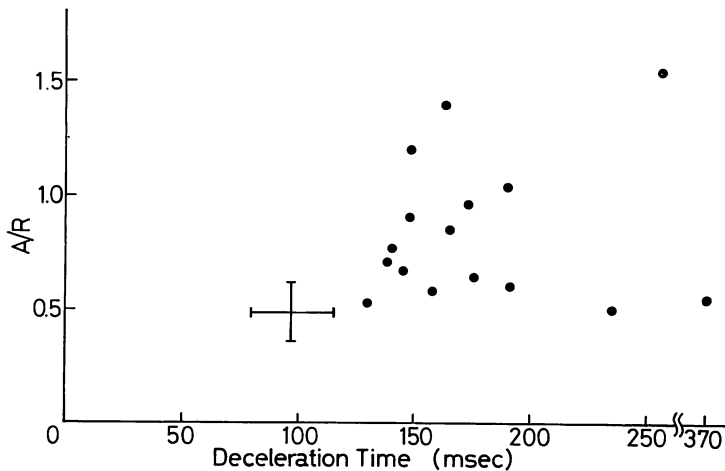


Fig. 10. Relationship between the ratio of presystolic peak velocity to rapid filling peak velocity (A/R) and deceleration time (ΔTD) in hypertrophic cardiomyopathy.

される。

左室の拡張特性は左室の大きさ, 左室壁の厚み, 心室を構成する心筋やその他の組織の性質, 左房, 心膜, 右室圧など左室外の因子の影響を受けると考えられる。肥大心や梗塞心では, これらのうち, 左室壁厚や壁の性状の変化が拡張特性に大きく影響し, 左室伸展性が低下すると推測されている²⁾。

今回の検討において, ΔTA は肥大型心筋症群で有意に延長しており, 拡張初期の拡張障害が示唆されたが, 高血圧症群および心筋梗塞群では健常例と差を認めなかった。 ΔTd は肥大型心筋症群および高血圧症群で延長し, ことに前者で顕著であった。そこで左室伸展性を低下せしめると予測される左室壁厚と ΔTd との関係を検討したところ, 高血圧症群では壁厚が大であるほど, ΔTd は延長し, 左室流入障害が高度であった。すなわち, 高血圧症に伴う左室壁厚の増大が左室拡張特性に大きく関与することが示された。一方, 肥大型心筋症群では ΔTd は延長するものの, その延長の程度と壁肥厚の程度との間には相関を認めなかった。かかる成績は肥大型心筋症においては, 不均等な壁肥厚の分布のため壁厚の評価に方法論的な問題が残るものの, 心筋細胞配列の不整や心筋細胞自体の異常などの影響が壁肥厚に混在して存在するのを反映したものと解される。

Grossman ら³⁾は, 容積算出に M モード心エコー図法を用いて求めた圧・内径関係から, 壁厚が左室スティフネスを決定する重要な因子であり, 壁厚が厚いほど左室スティフネスが増大することを報告している。今回の検討における高血圧症群での壁厚と, ΔTd との正相関は, Grossman らの成績と軌を一にしたものといえる。また松尾ら^{4,5)}は, ドプラー法を用いて弁運動時期を捉えて, 病態心での心事象を観察し, 高血圧症では等容性弛緩期が延長し, 心電図上左室肥大を認めた例ではより延長が著明であることを報告した。これは高血圧症で左室肥大を伴う例では, 弛緩のごく早期より弛緩過程の遅延があり, 拡張障害の存

在を示唆する成績である。

肥大型心筋症と, 高血圧症など後負荷増大に伴う肥大心との左室拡張機能における差異は必ずしも明らかにされてないが, 肥大型心筋症において左室拡張障害が存在することを示す報告はいくつかみられる。松尾ら⁶⁾はドプラー法を用いた弁運動時相検出から左室心時相を検討し, 肥大型心筋症における等容性弛緩期の延長, および僧帽弁開放開始より心尖拍動図 O 点までの延長を認め, 左室弛緩過程の遅延を示す所見とした。Sanderson ら^{7,8)}は左室造影および M モード心エコー図法により, 肥大型心筋症で僧帽弁開放が遅れ, 急速流入の延長がみられたことより, 本症では左室伸展性が障害されていることを推測している。また, Epstein ら⁹⁾は心尖拍動図において, 肥大型心筋症に A 波の増高を認め, 左室コンプライアンス低下を推測している。これらの報告はいずれも肥大型心筋症における, 拡張初期より拡張末期にかけての左室拡張性の低下を示唆するものであり, 今回の成績と一致している。

さて, A/R は疾患群ですべて高値を示し, とくに高血圧症群, 心筋梗塞群で著明であった。A/R の増大は心房収縮により左室流入障害を拡張末期に代償している現象と解されるが, ΔTA および ΔTd が著明に延長し, 拡張障害が強いことが示唆された肥大型心筋症群では, A/R の増大は高血圧症群, 心筋梗塞群に比べむしろ小さかった。肥大型心筋症では左室拡張障害が高度なため, 心房収縮によっても代償するに十分な左室流入が生じないのかもしれない。

心筋梗塞では線維化した梗塞部により, 左室コンプライアンスは低下する。Hood ら¹⁰⁾はイヌの実験的陳旧性心筋梗塞において, 梗塞部の長さ-張力関係の測定から, 梗塞部のスティフネスが著明に増加していることを認めた。また局所的なスティフネスの増加は左室全体に影響し, 左室コンプライアンスも低下することを報告している。さらに Mathey ら¹¹⁾はやはり梗塞犬において, 左室スティフネスが増加するとともに, 最大-dP/dt

の減少, および左室圧下降脚の時定数の延長を認め, 弛緩過程の障害が左室全体としてのこれらの指標に反映されていることを示した. ところが, 今回の検討では, 梗塞例では A/R は増大していたが, ΔTA , ΔTD は健常と有意差を認めなかった. これは ΔTA , ΔTD が指標として sensitivity が低いことを示すものかもしれないが, 対象とした心筋梗塞例の梗塞量, 梗塞部位がさまざまであることが影響している可能性があり, この点についてはなお今後の検討が必要となろう.

文 献

- 1) Mirsky I: Assessment of passive elastic stiffness of cardiac muscle: Mathematical concepts, physiologic and clinical considerations, directions of future research. *Prog Cardiovasc Dis* **18**: 277-308, 1976
- 2) Grossman W, McLaurin LP: Diastolic properties of the left ventricle. *Ann Int Med* **84**: 316-326, 1976
- 3) Grossman W, McLaurin LP, Moos SP, Stefadouros M, Young DT: Wall thickness and diastolic properties of the left ventricle. *Circulation* **49**: 129-135, 1974
- 4) 松尾裕英: 超音波 Doppler 法による左室負荷並びに傷害時に於ける心周期分析. *阪大医誌* **16**: 127-139, 1964
- 5) Nimura Y, Matsuo H, Mochizuki S, Aoki K, Wada O, Abe H: Analysis of a cardiac cycle of the left side of the heart in cases of left ventricular overloading or damage with the ultrasonic Doppler method. *Amer Heart J* **75**: 49-65, 1968
- 6) 松尾裕英, 浜中康彦, 高橋良夫, 松本正幸, 宮武邦夫, 浅生雅人, 仁村泰治: 特発性心筋症の心時相についての検討. *臨床心音図* **4**: 425-434, 1974
- 7) Sanderson JE, Gibson DG, Brown DJ, Goodwin JF: Left ventricular filling in hypertrophic cardiomyopathy. An angiographic study. *Brit Heart J* **39**: 661-670, 1977
- 8) Sanderson JE, Traill TA, John Sutton MG, Brown DJ, Gibson DG, Goodwin JF: Left ventricular relaxation and filling in hypertrophic cardiomyopathy. An echocardiographic study. *Brit Heart J* **40**: 596-601, 1978
- 9) Epstein EJ, Coulshed N, Brown AK, Doukas NG: The 'A' wave of the apex cardiogram in aortic valve disease and cardiomyopathy. *Brit Heart J* **30**: 591-605, 1968
- 10) Hood WB Jr, Bianco JA, Kumar R, Whiting RB: Experimental myocardial infarction. IV. Reduction of left ventricular compliance in the healing phase. *J Clin Invest* **49**: 1316-1323, 1970
- 11) Mathey D, Bleifeld W, Franken G: Left ventricular relaxation and diastolic stiffness in experimental myocardial infarction. *Cardiovasc Res* **8**: 583-592, 1974
- 12) Goodwin JF: Congestive and hypertrophic cardiomyopathies. *Lancet* **1**: 731-739, 1970
- 13) Goodwin JF, Oakley CM: The cardiomyopathies. *Brit Heart J* **34**: 545-552, 1972
- 14) 松尾裕英, 井上通敏, 北畠 颯, 浜中康彦, 林 亨, 浅生雅人, 大原龍彦, 寺尾祐輔, 三嶋正芳, 千田彰一, 島津 敬, 田内 潤, 森田久樹, 阿部 裕, 中川健治, 佐藤 裕, 田辺浩二: リアルタイム心腔内局所血流計測のための総合超音波システムの開発. 扇形電子走査型超音波心臓断面法とパルス変調ドプラ法の複合化. *日超医講演論文集* **34**: 7-8, 1978
- 15) 北畠 颯: 心筋・心室の拡張特性. *医用電子と生体工学* **16**: 46-53, 1978
- 16) Spotnitz HM, Sonnenblick EH, Spiro D: Relation of ultrastructure to function in the intact heart: Sarcomere structure relative to pressure volume curves of intact left ventricles of dog and cat. *Circulat Res* **18**: 49-66, 1966.
- 17) Gaasch WH, Battle WE, Oboler AA, Banas JS Jr, Levine HJ: Left ventricular stress and compliance in man: With special reference to normalized ventricular function curves. *Circulation* **45**: 746-762, 1972
- 18) Gaasch WH, Cole JS, Quinones MA, Alexander JK: Dynamic determinants of left ventricular diastolic pressure-volume relations in man. *Circulation* **51**: 317-323, 1975
- 19) Horwitz LD, Bishop VS: Left ventricular pressure-dimension relationships in the conscious dog. *Cardiovasc Res* **6**: 163-171, 1972
- 20) Fester A, Samet P: Passive elasticity of the human left ventricle. The "parallel elastic element". *Circulation* **50**: 609-618, 1974
- 21) 松尾裕英, 北畠 颯, 浜中康彦, 別府慎太郎, 土井光徳, 千田彰一, 仁村泰治, 阿部 裕: 左室拡張と心室壁弾性特性—UCG による検討—. *日本臨床* **33**: 2283-2294, 1975
- 22) 千田彰一: 左室拡張動態の力学的特性に関する研究. *日内会誌* **67**: 591-600, 1978
- 23) Yang SS, Bentivoglio LG, Maranhao V, Goldberg H: From Cardiac Catheterization Data to Hemodynamic Parameters. 2nd ed, FA Davis, Phila-

松尾, 北畠, 浅生, ほか

delphia, 1978

24) Taylor DEM, Whamond JS: Velocity profile and impedance of the healthy mitral valve. *in*

The Mitral Valve. ed by Kalmanson D, Acton, Mass, Publishing Sciences Group, 1976, pp 127-136