

Study of Diastolic Filling Property in Left Ventricular Inflow Tract by Pulsed Doppler Echocardiography II. Diastolic Left Ventricular Filling Property in Children with Heart Disease

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/7971

超音波パルス・ドプラー法による拡張期左室 流入路血流動態の研究

II. 小児期心疾患の拡張期左室流入特性

金沢大学医学部小児科学講座 (主任: 谷口 昂教授)

中 谷 茂 和

(昭和62年8月1日受付)

先天性心疾患, その術後および肥大型心筋症 (hypertrophic cardiomyopathy, HCM) の小児例について, 超音波パルス・ドプラー法から得られる僧帽弁口血流波形を分析し, 左室流入特性について検討した。心房中隔欠損 (atrial septal defect, ASD), 心室中隔欠損 (ventricular septal defect, VSD), 動脈管開存 (patent ductus arteriosus, PDA), ファロー四徴 (tetralogy of Fallot, TOF), ASD術後, VSD術後, TOF術後, HCM計154例, 対照例85例について, 僧帽弁口血流波形から心房収縮期の最大流速A, 急速流入期の最大流速R, A/R比, 急速流入期の加速時間, 減速時間, 加速度, 減速度を求めた。対照例でAとA/R比は心拍数と高い有意相関を示した。Rと心拍数の相関は前2者より低かった。そのため, AとA/R比は心拍数により補正して% of normal (%A, %A/R)を算出し, Rは実測値について, 各種心疾患と対照例を比較検討した。短絡性心疾患では, %AはVSD, PDAの大短絡群が有意に高く, RはTOFで有意に低かった。%A/RはVSD, PDAの大短絡群, TOFで有意に高かった。VSD, PDA例では, 左右短絡率および肺体血流量比と%Aは有意の相関を示した。TOF例では, 右左短絡率とRおよび%A/Rは有意の相関を示した。術後例とHCMの検討では, %AはHCMで有意に高く, 術後例はいずれも有意に低かった。RはHCM, ASD術後, VSD術後が有意に低かった。%A/RはHCMが有意に高く, ASD術後, VSD術後が有意に低かった。加速時間, 減速時間, 加速度, 減速度は心拍数で補正して検討した。補正した加速時間は有意差なく, 減速時間はHCMで有意に長かった。補正した加速度, 減速度はTOF, HCM, VSD術後で有意に低かった。以上の結果から, 僧帽弁口血流量の増大していると考えられるVSD, PDAでは, 急速流入に対する影響が少なく, 心房収縮期の血流が増すものと考えられた。一方, 僧帽弁口血流量の減少していると考えられるTOFでは, 急速流入が減少し, 心房収縮期の血流速への影響は少ないものと考えられた。HCMでの加速度, 減速度の低下, Rの低値は左室弛緩障害を反映し, Aは代償性に高くなるものと考えられた。術後例では, 手術侵襲による急速流入障害や心房収縮低下が示唆された。

Key words pulsed Doppler echocardiography, mitral valve flow, congenital heart disease, cardiac surgery, hypertrophic cardiomyopathy

僧帽弁口血流は, Kennishら¹⁾の電磁流量計を用いた動物実験やKalmansonら²⁾が人について経心房中隔的にカテ先ドプラー流量計により示したごとく, 拡張早期と前収縮期にピークを有する2峰性のパターンとなる。拡張早期のピークは急速流入, 前収縮期のピークは心房収縮による左室流入である。近年, 超音波パルス・ドプラー法の発達により心腔内の特定部位の血流

速を非侵襲的に測定することが可能となったが, この超音波パルス・ドプラー法から得られる僧帽弁口血流波形は同様に急速流入と心房収縮による2峰性を示す。

心室内短絡および大動脈弁閉鎖不全の無い場合, 拡張期の僧帽弁口血流は左室の容量変化に等しく, 直接左室の拡張能を反映するものと考えられ^{3,4)}, 超音波パ

Abbreviations: ASD, atrial septal defect; HCM, hypertrophic cardiomyopathy; PDA, patent ductus arteriosus; TOF, tetralogy of Fallot; VSD, ventricular septal defect.

ルス・ドプラー法から得られる僧帽弁口血流波形を分析することにより、左室拡張特性の解析が試みられている^{4)~11)}。

成人例では、肥大型心筋症 (hypertrophic cardiomyopathy, HCM)、高血圧心や心筋梗塞について、心房収縮期の最大流速 A と急速流入期の最大流速 R およびその比 A/R 比、急速流入期の加速度や減速度の検討がなされ、A/R 比の高値、加速度、減速度の低値は左室拡張障害を反映するものと考えられている^{4)~8)}。

先天性短絡性心疾患における僧帽弁口血流は、左室弛緩、粘弾性など左室拡張特性の他、短絡血流の僧帽弁口血流量への影響、左房圧、右室圧など左室外の因子の影響を受けると考えられるが、その流入動態に関して未だ十分な解明がなされていない。

本研究では、短絡を伴う先天性心疾患および術後、HCM の小児例について超音波パルス・ドプラー法から得られる僧帽弁口血流波形を分析し、左室流入特性について検討した。

対象および方法

I. 対 象

対象は、心房中隔欠損 (atrial septal defect, ASD) 16 例、心室中隔欠損 (ventricular septal defect, VSD) 27 例、動脈管開存 (patent ductus arteriosus, PDA) 10 例、ファロー四徴 (tetralogy of Fallot, TOF) 28 例、ASD 術後 23 例、VSD 術後 22 例、TOF 術後 18 例、HCM 10 例の計 154 例で、年齢は 1-15 歳、平均年齢 3.7 ± 3.3 歳 (平均値 \pm 標準偏差) であった。VSD と PDA 例は、左右短絡率 40% 未満の小短絡

Flow Pattern of Inflow Tract

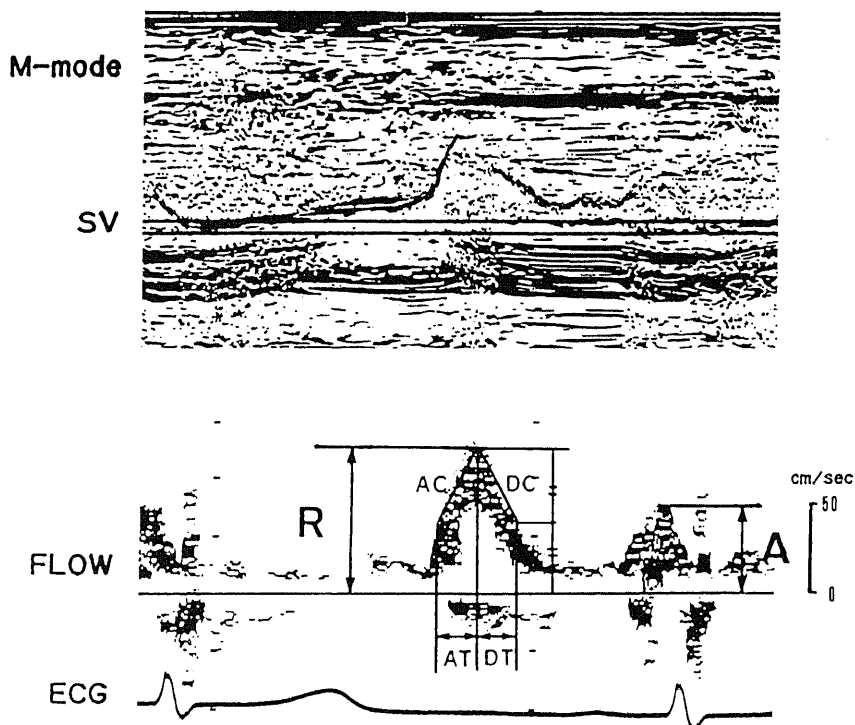


Fig. 1. Parameters derived from mitral valve flow velocity pattern.

Mitral valve flow velocity pattern reveals two wave components: one in rapid filling phase and the other in atrial contraction phase. Seven indices, i.e., the peak flow velocity of atrial contraction phase (A), the peak flow velocity of rapid filling phase (R), the ratio of A to R, the acceleration time, the deceleration time, the acceleration rate and the deceleration rate in rapid filling period were calculated from the velocity pattern.

M-mode, M-mode echocardiogram; SV, sample volume; FLOW, mitral valve flow velocity; ECG, electrocardiogram.

群とそれ以上の大短絡群の2群に分けた。ASD例はいずれも左右短絡率50%以上であった。術後例は、術後1カ月以内の例と1年経過した例を含む。

対照として身体所見、心電図、胸部X-P、心エコー図検査などから器質的心疾患を有しないと判断された川崎病既往児および無害性心雑音例85例を用いた。年齢は1-15歳、平均年齢 5.5 ± 3.5 歳であった。

II. 僧帽弁口血流の測定

1. 超音波ドプラー装置

超音波ドプラー装置には、断層心エコー図装置SSH40A(東芝、東京)にドプラーユニットSDS21A(東芝、東京)を組み合わせたものを用いた。本装置を用いると断層心エコー図により心内構造を確認した後、ドプラービームを投入し、特定の部位にサンプルボリュームを設定することにより、任意の部位の血流波形が得られる。血流によるドプラーシフトは、高速フーリエ変換(FFT方式)にて周波数分析され、周波数スペクトラムまたは平均周波数として表示される。プローベは発信周波数2.4MHz、3.5MHzの2段階、パルス繰り返し周波数6KHz、4KHzの2段階、サンプルボリューム幅2mm、3mm、5mm、10mmの4段階の切り換えが可能である。血流速は2.4KHzのプローベを用

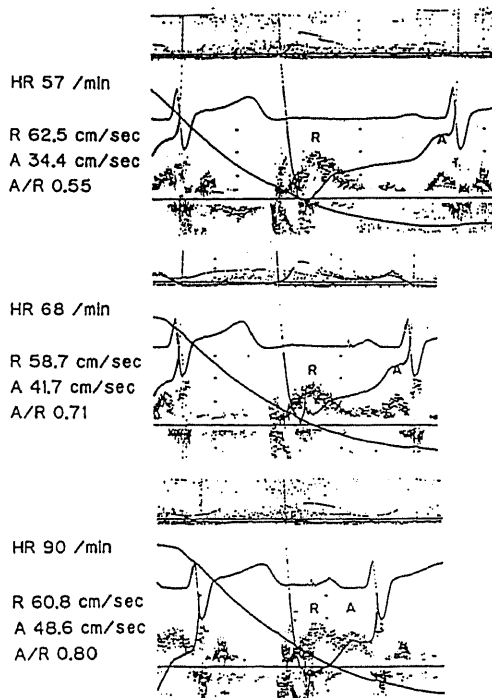


Fig. 2. Changes of A, R and A/R ratio by atrial pacing in a healthy child.

いた場合96 cm/secまで測定可能である。

2. 僧帽弁口血流波形の記録

被検者を仰臥位または左側臥位とし、断層心エコー図を用いて心尖部から左室長軸断面を描出し、左室流

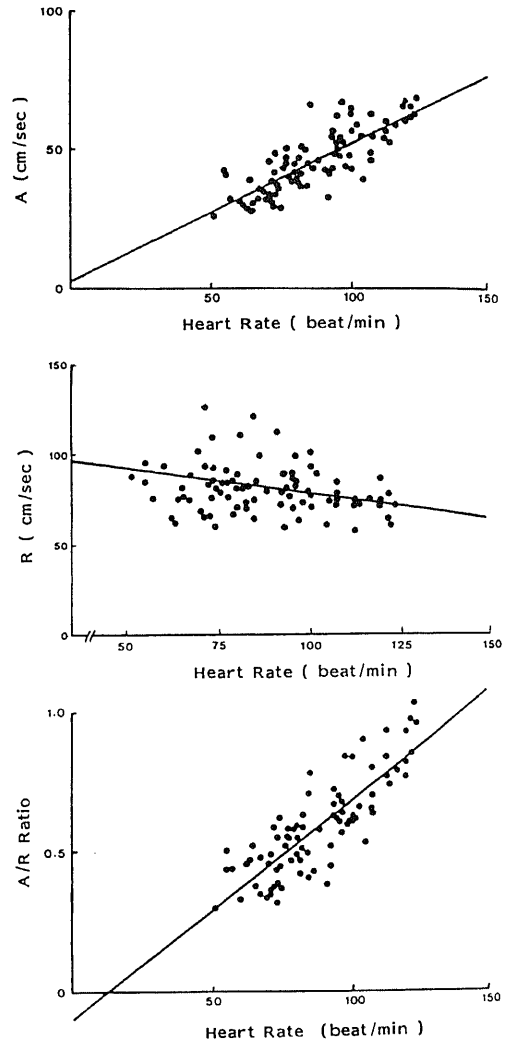


Fig. 3. Correlations between heart rate and parameters of A, R or A/R ratio.

Upper panel show correlation between heart rate and A. The regression equation is $Y = 0.501X + 2.334$ and the coefficient of correlation is $r = 0.803$ ($p < 0.01$, $n = 85$). Middle panel show correlation between heart rate and R. The regression equation is $Y = -0.181X + 96.338$ and the coefficient of correlation is $r = -0.244$ ($p < 0.05$, $n = 85$). Lower panel show correlation between heart rate and A/R ratio. The regression equation is $Y = 0.0079X - 0.1012$ and the coefficient of correlation is $r = 0.803$ ($p < 0.01$, $n = 85$).

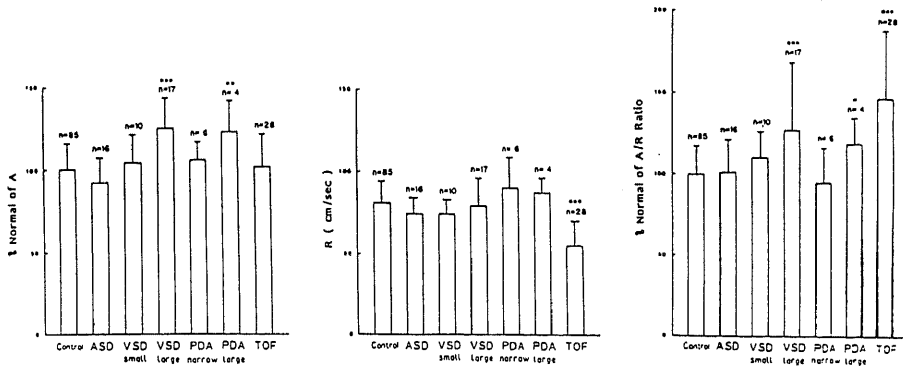


Fig. 4. Comparison of % normal of A, R and % normal of A/R ratio in control, and congenital heart diseases. Left panel, % normal of A; middle panel, R; right panel, % normal of A/R ratio. Each value represents the mean±standard deviation. ***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05 versus control group.

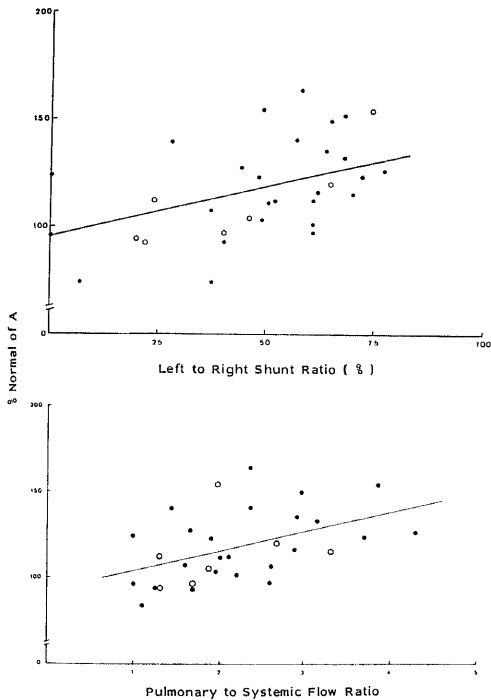


Fig. 5. Correlations between left to right shunt ratio and % normal of A, and between pulmonary to systemic flow ratio and % normal of A in VSD and PDA. Upper panel show correlation between left to right shunt ratio and % normal of A. The regression equation is $Y=0.46X+95.60$ and the coefficient of correlation is $r=0.473$ ($p<0.01$, $n=31$). Lower panel show correlation between pulmonary to systemic flow ratio and % normal of A. The regression equation is $Y=11.19X+92.65$ and the coefficient of correlation is $r=0.462$ ($p<0.01$, $n=31$). ●, VSD; ○, PDA.

入路に可及的鋭角的にドプラービームを投入し、僧帽弁口中央付近でM-mode心エコー図記録による僧帽弁エコーのC点付近にサンプルボリュームをおき、得られる血流波形をStrip chart recorderにて紙送り速度100 mm/secで記録した。

3. 僧帽弁口血流波形の測定項目

僧帽弁口血流波形から、心房収縮期の最大流速Aと急速流入期の最大流速Rを計測し、両者の比A/Rを求めた。また、急速流入期の血流波形から、最大流速の1/2から最大流速に達するまでの加速時間と最大流速の時点から再び1/2になるまでの減速時間を求め、最大流速の1/2を加速時間、減速時間で除して加速度、減速度を求めた(図1)。加速時間、減速時間は心拍数により影響を受けると考えられるため、心拍数で補正する目的で対照例の加速時間、減速時間を \sqrt{RR} 間隔で除して心拍数との相関を検討したが、有意の相関を認めなかった。加速時間、減速時間、加速度、減速度の比較検討は、加速時間、減速時間を \sqrt{RR} 間隔で除して補正した値で行なった。

なお、心拍数が多くAとRが重なり一峰性となった例は除外した。

4. 流速の算出法

流速(V)の計測は、周波数スペクトラム表示された血流波形からドプラーシフト(Fd)を計測し、下記の式により算出した。計測値は連続する5心拍を平均して求めた。

$$V = \frac{C \cdot Fd}{2 \cos \theta \cdot F_0}$$

C : velocity of sound in a tissue

Fd : Doppler shift frequency

F_o : transmitted frequency

θ : angle between Doppler beam and blood stream

入射角 θ は、僧帽弁口血流が僧帽弁輪に垂直に左室に流入すると仮定して、ドプラービームとのなす角とした。

III. 推計学的処理

各計測値は平均値±標準偏差で示し、有意差の検定には Student-t 検定を用い、危険率 5% 以下の場合に有意差ありと判定した。回帰直線は最小二乗法により求めた。

成 績

I. 僧帽弁口血流の心房収縮期の最大流速と急速流入期の最大流速

1. 対照例における A, R と A/R 比

図 2 は、同一症例において心房ペースングにより心拍数を変化させた際の A, R および A/R 比の変化を示す。心拍数の上昇とともに A は高くなり、一方 R は大きな変化はみられず、従って A/R 比は心拍数の上昇とともに高値となった。

対照例について A, R および A/R 比 (Y) と心拍数 (X) との関連を検討すると、A および A/R 比は心拍数

と各々 $r=0.803$ ($p<0.01$), $r=0.832$ ($p<0.01$) と高い有意相関を示し、回帰式は各々 $Y=0.501X+2.334$, $Y=0.0079X-0.1012$ であった。R は心拍数と $r=-0.244$ ($p<0.05$) と前 2 者より低いが、有意の相関を示した (図 3)。

A および A/R 比は同一症例でも心拍数により異なり、対照例で心拍数と高い相関を示した。従って、本研究で対象とした小児例では個々の症例により心拍数が大きく異なるため、A および A/R 比の高低を検討する場合心拍数を考慮する必要があった。

心拍数で補正する目的で、対照例での A および A/R 比と心拍数との回帰式から求められる予測値を用い % of normal を算出し、% A, % A/R とした。% A, % A/R はいずれも心拍数、年齢、体表面積により有意差を認めなかった。

以上の結果では、A および A/R 比は心拍数により異なるため、以下の検討では R は実測値を、A および A/R 比は % A, % A/R について比較検討した。

2. 各種心疾患の % A, R および % A/R

1) 短絡性心疾患

% A は VSD, PDA の大短絡群で対照群に比し有意に高かった ($p<0.001$, $p<0.01$)。VSD, PDA の小短絡群, ASD, TOF は有意差を認めなかった。R は対照

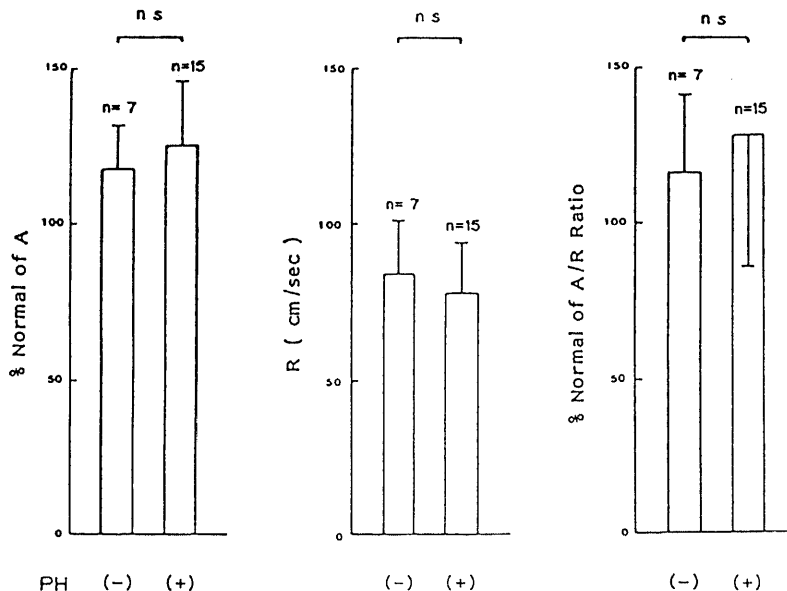


Fig. 6. Comparison of % normal of A, R and % normal of A/R ratio in VSD and PDA with and without pulmonary hypertension. Left panel, % normal of A; middle panel, R; right panel, % normal of A/R ratio. Each value represents the mean±standard deviation. PH, pulmonary hypertension; NS, statistically not significant.

群に比し TOF で有意に低かったが ($p < 0.001$), ASD, VSD, PDA の各群は有意差を認めなかった. % A/R は対照群に比し VSD, PDA の大短絡群および TOF で有意に高かったが ($p < 0.001$, $p < 0.05$, $p < 0.001$), VSD, PDA の小短絡群および ASD は有意差を認めなかった (図 4).

VSD, PDA 例について, 心カテーテル検査から得られた左右短絡率および肺体血流量比 (Q_p/Q_s) と % A, R, % A/R との関連を検討すると, % A は左右短絡率および Q_p/Q_s と各々 $r = 0.473$ ($p < 0.01$), $r = 0.462$

($p < 0.01$) と有意の相関を示した (図 5). R と % A/R は有意の相関を示さなかった.

右室圧の僧帽弁口血流への影響を検討するため, VSD, PDA の大短絡群を肺高血圧の有無によりさらに 2 群に分けて, % A, R, % A/R について検討したが, いずれも両群間に有意差を認めなかった (図 6). 左房平均圧と % A, R, % A/R の検討でも, いずれも有意の相関を認めなかった.

TOF 例について, 心カテーテル検査から得られた右左短絡率は, R および % A/R と各々 $r = -0.469$ ($p < 0.05$), $r = 0.517$ ($p < 0.05$) で有意の相関を認めた (図 7), % A は有意の相関を認めなかった. 大動脈酸素飽和度および左室容量係数と % A, R, % A/R との関連についても検討したが, いずれも有意の相関を示さなかった.

2) HCM および術後例

% A は対照群に比し HCM が有意に高く ($p < 0.01$), ASD 術後, VSD 術後, TOF 術後はいずれも有意に低かった ($p < 0.001$, $p < 0.001$, $p < 0.001$). R は対照群に比し HCM, ASD 術後, VSD 術後で有意に低かったが ($p < 0.001$, $p < 0.001$, $p < 0.001$), TOF 術後は有意差を認めなかった. % A/R は対照群に比し HCM で有意に高く ($p < 0.001$), ASD 術後, TOF 術後は有意に低く ($p < 0.05$, $p < 0.01$), VSD 術後は有意差を認めなかった (図 8).

術後例について術後 1 カ月未満と 1 年経過した例に分けて比較検討すると, % A は ASD 術後で 1 年後が有意に高く ($p < 0.01$), VSD 術後, TOF 術後も 1 年後が高い傾向にあった. R は TOF 術後で 1 年後が有意に高く ($p < 0.05$), ASD 術後, VSD 術後は有意差を認めなかった. % A/R は ASD 術後で 1 年後有意に高かったが ($p < 0.05$), VSD 術後, TOF 術後は有意差を認めなかった (図 9).

3. 同一症例における術前, 術後の比較

% A は ASD, VSD, PDA, TOF いずれも術後有意に低下した ($p < 0.01$, $p < 0.001$, $p < 0.01$, $p < 0.001$). R は VSD, PDA が術後有意に低下し ($p < 0.05$, $p < 0.05$), TOF, ASD は有意差を認めなかった. TOF では右左短絡を認めなかった 1 例を除き, R は増加の傾向にあった. % A/R は VSD, TOF で術後有意に低下した ($p < 0.05$, $p < 0.01$) (図 10).

II. 急速流入期僧帽弁口血流の加速度および減速度

加速時間は各群とも対照群と有意差なく, 減速時間は HCM が対照群に比し有意に長かった ($p < 0.001$). 加速度は TOF, HCM, VSD 術後が対照群に比し有意に低かった ($p < 0.001$, $p < 0.05$, $p < 0.01$). 減速度もまた TOF, HCM, VSD 術後が対照群に比し

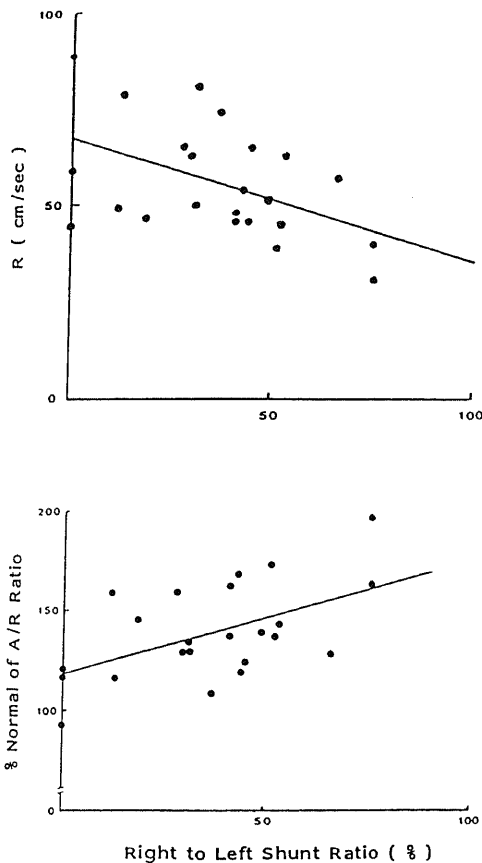


Fig. 7. Correlation between right to left shunt ratio and R, and between right to left shunt ratio and % normal of A/R ratio in TOF.

Upper panel show correlation between right to left shunt ratio and R. The regression equation is $Y = -0.32X + 67.46$ and the coefficient of correlation is $r = -0.469$ ($p < 0.05$, $n = 23$). Lower panel show correlation between right to left shunt ratio and % normal of A/R ratio. The regression equation is $Y = 0.56X + 118.10$ and the coefficient of correlation is $r = 0.517$ ($p < 0.05$, $n = 23$).

有意に低かった ($p < 0.001$, $p < 0.01$, $p < 0.05$) (表 1)。

考 察

超音波パルス・ドプラー法は、短絡性心疾患^{12)~14)}や逆流性心疾患^{15)~18)}における定性的診断のみならず、心拍出量の算出^{19)~24)}、圧較差の推測²⁵⁾²⁶⁾など定量的診断にも利用されている。また、流出路の血流波形から収縮機能⁶⁾²⁷⁾²⁸⁾、流入路の血流波形から拡張機能^{9)~11)}の評価の試みもなされている。

超音波パルス・ドプラー法から得られる左室流入血流波形すなわち僧帽弁口血流波形は、急速流入期と心房収縮期にピークを有する2峰性を示すが、この血流波形を分析することにより左室流入動態が把握しうる。すなわち、急速流入期の最大流速 R、加速時間、減速時間、加速度、減速度は急速流入動態、心房収縮期の最大流速 A は心房収縮による流入動態の指標として用いられ、A/R 比は急速流入に対する心房収縮による流入の関与の程度を示すものと考えられている²⁹⁾。

小児について A, R, A/R 比を検討した報告は少ないが³⁰⁾、著者の対照例についての検討では、心拍数の多い例ほど A は高い傾向にあり、R は大きな変化はみられず、A/R 比は心拍数の多い例ほど高値を示した。また、同一症例について心房ペースングにより心拍数を変化させた場合も同様に心拍数の上昇とともに A は高くなり、R は大きな変化はみられず、A/R 比は心拍数上昇とともに高値を示した。Nolan ら³¹⁾は、電磁流

量計を用いた実験により、A は心拍数の上昇により増加し、PR 間隔の短縮により低下することを報告している。この心拍数上昇による A の増加は、心拍数の上昇により急速流入期と心房収縮期の間隔が短縮し、R の減速が不十分な時相で心房収縮が開始されるために生じるものと考えられている。

心拍数の大きく異なる小児例における A, A/R 比の検討では、心拍数を考慮する必要があるが、対照例の A, A/R 比と心拍数との回帰式から得られる予測値を用いて % of normal を算出し、心拍数、年齢、体表面積との関連を検討すると、いずれも有意の相関を認めなかった。すなわち、A, A/R 比を検討する場合心拍数との回帰式を用いて補正すればよく、その際年齢や体表面積は考慮する必要がないものと考えられた。

僧帽弁口血流動態は左室伸展性に関与する左室弛緩、左室粘弾性特性の他、左房圧³²⁾、右室圧³³⁾、心膜³⁴⁾など左室外の因子の影響を受けるものと考えられている。また、短絡性心疾患では僧帽弁口血流量の影響も考慮されるべきものとする。

著者の検討では、僧帽弁口血流量の増加していると考えられる VSD, PDA いずれも大量の左右短絡群で % A, % A/R は対照群に比し有意に高く、R は有意差を認めなかった。一方、小短絡群はいずれも対照群と有意差を認めなかった。また、% A は左右短絡率および Qp/Qs と有意の相関を示した。肺高血圧の有無、左房平均圧と % A, R, % A/R との関連の検討では、いずれも有意の相関を認めなかった。以上の結果から、

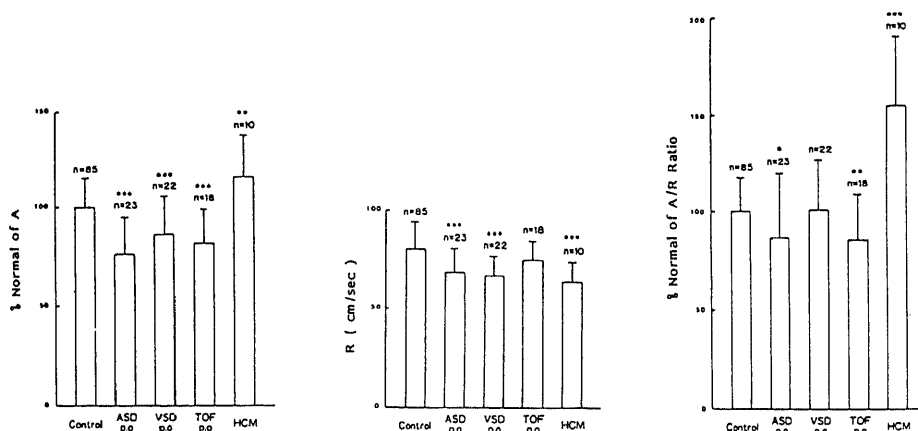
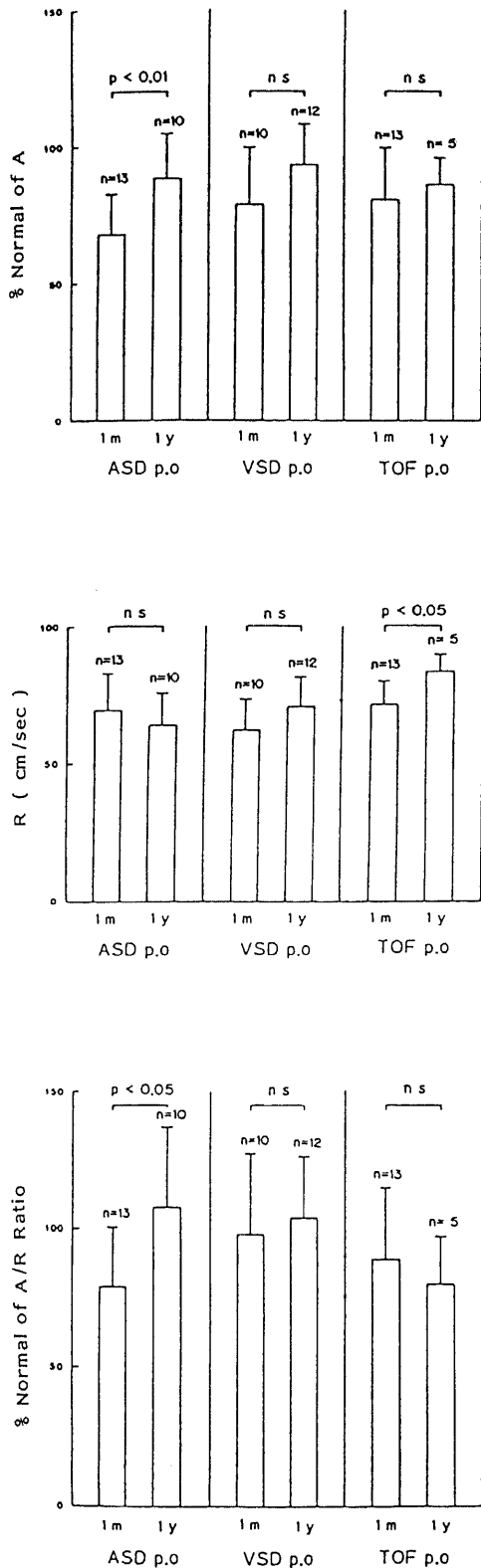


Fig. 8. Comparison of % normal of A, R and % normal of A/R ratio in control, post-operative state of congenital heart disease and HCM.

Left panel, % normal of A; middle panel, R; right panel, % normal of A/R ratio. Each value represents the mean \pm standard deviation.

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$ versus control group.

ASD p.o., post-operative state of atrial septal defect; VSD p.o., post-operative state of ventricular septal defect; TOF p.o., post-operative state of tetralogy of Fallot.



VSD, PDA で% A, % A/R が高値を示すことには、左右短絡による僧帽弁口血流量増大の関与が大きいものと考えられる。すなわち、左右短絡により僧帽弁口血流量が増加した場合、急速流入速に対する影響は少なく、心房収縮期の血流量は増加し、その結果 A/R 比は高値を示すものと考えられる。

同様に僧帽弁口血流量が増大すると考えられる僧帽弁閉鎖不全について、成人例での検討がなされ、重症例では R が増すとの報告がある³⁵⁾。著者の VSD, PDA の検討では、R は対照例と有意差を認めず、従来報告と異なる結果となった。この事実には、今回対象とした小児は成人に比し左室伸展性に富むため、健常児では成人より R が高いこと³⁶⁾³⁷⁾、肺高血圧の有無による検討では有意差を認めないが、肺高血圧を有する方が R が低い傾向にあることから、右室圧上昇例の影響などが関与しているものと思われる。

一方、僧帽弁口血流量の減少していると考えられる TOF も % A/R は有意に高かったが、TOF では % A は有意差を認めず、R は有意に低かった。また、右左短絡率は R と負の相関を、% A/R と正の相関を示した。右左短絡の多い例ほど肺血流量は減少しており、従って僧帽弁口血流量も少ないものと考えられる。すなわち、TOF では僧帽弁口血流量が少ないほど急速流入速は低くなる傾向にあり、心房収縮期の血流速に対する影響は少なく、A/R 比は高値を示すものと思われる。

ASD は左右短絡の多い例でも % A, R, % A/R いずれも対照例と有意差を認めず、心房レベルでの左右短絡は僧帽弁口血流に対する影響が少ないものと推測された。

短絡の無い疾患のうち HCM もまた % A/R が有意に高かったが、HCM では % A が有意に高く、R は有意に低かった。

心内短絡および逆流の無い場合、僧帽弁口血流速は左室容量の変化率に等しく³⁴⁾、A/R 比は心房収縮期の

Fig.9. Comparison of % normal of A, R and % normal of A/R ratio between the group (1m) in 1 month period and the one (1y) in 1 year period after operative procedure in congenital heart diseases.

Upper panel, % normal of A; middle panel, R; lower panel, % normal of A/R ratio. Each value represents the mean±standard deviation.

NS, statistically not significant; ASD p.o, post-operative state of atrial septal defect; VSD p.o, post-operative state of ventricular septal defect; TOF p.o, post-operative state of tetralogy of Fallot.

心室充満に対する急速流入期の心室充満の割合を表わすものと考えられている。田内ら⁷⁾は超音波パルス・ドプラー法から得られる僧帽弁口血流波形の拡張早期急速流入の加速度、ピーク速度、減速度と心カテーテル

検査時の左室圧曲線から得られる等容弛緩期の左室圧下行脚の時定数 T は有意の負の相関があると報告している。すなわち、R の低値は左室弛緩障害を表わし、著者の HCM の検討での R の低下は HCM の左室弛緩障害を反映し、A は代償性に高値となったものと考えられる。Kitabatake ら⁴⁾は、成人例の HCM では A/R 比は増大し、R は低下するが、A は健常例と有意差を認めなかったと報告している。これは、急速流入期の血流速は遅いものの持続時間が延長し、結果として急速流入量が維持されるためとしている。今回の小児での検討では % A は対照群に比し有意に高かったが、小児は成人に比し心拍数は多い傾向にあるため、流入緩徐期が短く代償性に高値となるものと考えられる。

術後例は、いずれも % A が対照例に比し有意に低く、同一症例の術前後の検討でも術後有意に低下した。また、R は ASD 術後、VSD 術後が対照群に比し有意に低く、TOF 術後は有意差を認めなかった。R が低いことには、手術侵襲の影響による左室弛緩能低下、僧帽弁口血流量の変化など複数の要素が関与するものと思われる。また、TOF 術後で R の低下がみられないのは、術前に比し僧帽弁口血流量が増加するためと考えられた。R が低いかまたは有意差が無いにもかかわらず、% A はいずれも有意に低く代償性の増加はみられない。この事実は手術侵襲による心房収縮能低下を示唆するものであり、術後 1 ヶ月と術後 1 年に分けた検討では % A は術後 1 年の方が高い傾向にあることから、この心房収縮能低下は時間経過とともに改善の傾向を示すものと考えられた。

また、R と同様左室弛緩能の指標とされる加速度、減速度は TOF、HCM、VSD 術後で有意に低かった。HCM では加速時間、減速時間は有意に延長しており、成人例における報告⁴⁾⁻⁶⁾と同様小児の HCM でも左室弛緩能を反映するものと考えられた。一方、TOF、VSD 術後は加速時間、減速時間は対照例と有意差なく、左室弛緩の他、僧帽弁口血流量、僧帽弁口面積などが考慮されるべきものと思われる。

結 論

短絡を伴う先天性心疾患およびその術後、HCM の小児例について、超音波パルス・ドプラー法から得られる僧帽弁口血流波形を分析し、以下の結論を得た。

1. 対照例について A、R、A/R と心拍数の関連を検討すると、A、A/R は心拍数と高い有意相関を示した。R と心拍数の相関は前 2 者に比べ低かった。A、A/R と心拍数との回帰式から得られる予測値から算出した % A、% A/R は、心拍数、年齢、体表面積いずれとも有意の相関を認めなかった。各種心疾患の検討は %

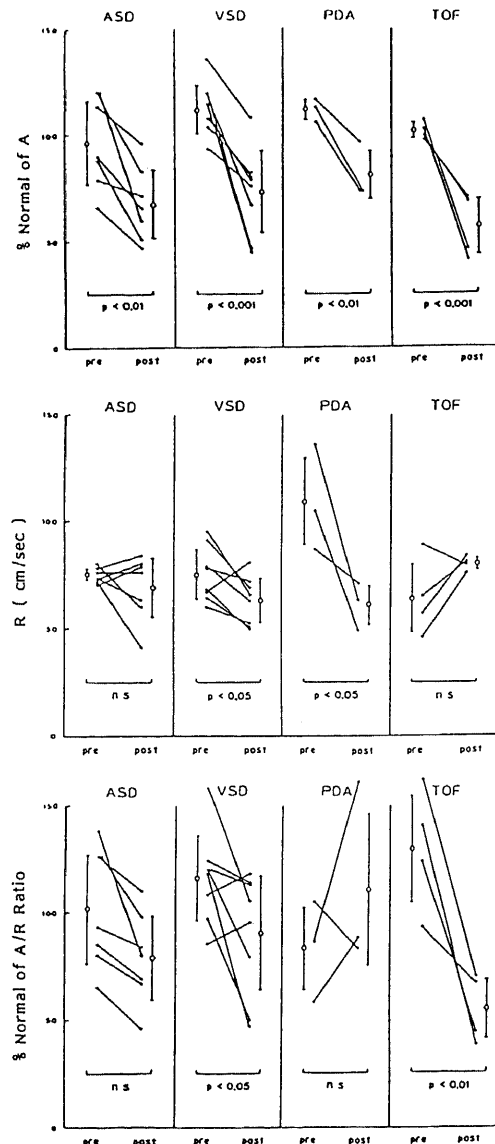


Fig. 10. Comparison of % normal of A, R and % normal of A/R ratio before and after operative procedure in congenital heart diseases. Upper panel, % normal of A; middle panel, R; lower panel, % normal of A/R ratio. Each value represents the mean \pm standard deviation. NS, statistically not significant; pre, before operative procedure; post, after operative procedure.

Table 1. Rapid filling flow data in control, congenital heart disease, post-operative state of congenital heart disease and HCM

Parameter	Control	ASD	VSD	TOF	HCM	ASD p.o	VSD p.o	TOF p.o
HR (beat/min)	87.0±18.0	90.6±13.0	103.2±14.1**	97.0±13.1*	70.1±8.2*	82.0±12.6	96.1±11.1*	92.1±8.7
AT (sec)	0.055±0.010	0.062±0.012	0.052±0.009	0.051±0.007	0.067±0.009**	0.058±0.018	0.053±0.008	0.056±0.005
cAT (sec)	0.066±0.015	0.074±0.010	0.068±0.011	0.065±0.009	0.073±0.012**	0.067±0.016	0.069±0.009	0.069±0.006
AC (cm/sec ²)	762.4±214.6	648.5±163.6	700.0±156.8	593.8±176.7**	501.2±131.2**	654.3±238.2	616.9±125.2**	680.9±133.4
cAC (cm/sec ²)	642.9±193.1	527.3±109.7	536.1±122.8	472.7±159.4***	468.9±132.2**	555.8±191.6	496.0±100.2**	552.2±115.3
	(63)*	(9)	(16)	(22)	(8)	(12)	(20)	(12)
HR (beat/min)	83.7±16.3	89.3±13.3	93.6±11.7	94.7±12.4*	70.1±8.2*	82.6±12.6	90.9±9.3	92.0±8.8
DT (sec)	0.071±0.015	0.077±0.015	0.073±0.009	0.068±0.016	0.101±0.030***	0.079±0.017	0.066±0.009	0.071±0.018
cDT (sec)	0.082±0.014	0.092±0.011	0.091±0.013	0.085±0.017	0.109±0.033***	0.091±0.016	0.082±0.012	0.088±0.021
DC (cm/sec ²)	602.9±182.4	526.0±116.2	512.9±16.6	446.9±120.3**	349.7±106.0***	505.5±144.2	519.9±90.3	565.8±146.5
cDc (cm/sec ²)	513.2±143.4	429.2±76.5	412.0±32.2	357.0±89.1***	328.6±117.1**	429.6±159.9	422.1±79.3*	458.6±120.0
	(54)	(8)	(7)	(16)	(8)	(12)	(15)	(10)

Each values represented the mean±standard deviation. *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05 versus control group. AT, acceleration time; cAT, corrected acceleration time; DT, deceleration time; cDT, corrected deceleration time; AC, acceleration rate; cAC, corrected acceleration rate; DC, deceleration rate; cDC, corrected deceleration rate; #, number of cases.

A, % A/R を用いて行なった。

2. VSD, PDA の大短絡群で % A, % A/R は対照群に比し有意に高く, R は有意差を認めなかった。% A は右左短絡率, Qp/Qs と有意の相関を示した。VSD, PDA の % A, % A/R の高値は, 僧帽弁口血流量増大によるものと考えられた。

3. TOF では % A は対照群と有意差なく, R は有意に低く, % A/R は有意に高かった。R, % A/R は右左短絡率と有意の相関を示し, TOF の R の低値, % A/R の高値は僧帽弁口血流量減少によるものと考えられた。

4. HCM は対照群に比し % A は有意に高く, R は有意に低く, % A/R は有意に高かった。これらは, HCM の左室弛緩障害を反映するものと考えられた。

5. 術後例では % A は ASD 術後, VSD 術後, TOF 術後いずれも対照群に比し有意に低く, R は ASD 術後, VSD 術後で有意に低かった。% A/R は ASD 術後, TOF 術後が有意に低かった。% A の低いことは心房収縮能低下, R の低いことは左室弛緩能の低下を示唆するものと考えられた。

6. 急速流入期の加速度, 減速度は TOF, HCM, VSD 術後で対照例に比し有意に低かった。

謝 辞

稿を終えるにあたり, 御指導と御校閲を賜った恩師谷口昂教授に深甚の謝意を表します。また直接御指導いただきました国立循環器病センター神谷哲郎部長に深謝致します。さらに御指導, 御助言いただいた佐藤保助教授, 国立循環器病センター小児科新垣義夫先生に深謝致します。さらに御協力いただいた金沢大学小児科心臓グループおよび国立循環器病センター小児科の諸先生方に深謝致します。

なお本論文の要旨は第 21 回日本小児循環器学会 (1985 年 7 月, 埼玉) において発表した。

文 献

- 1) Kennish, A., Yellin, E. & Frater, R. W.: Dynamic stiffness profiles in the left ventricle. *J. Appl. Physiol.*, 39, 665-671 (1975).
- 2) Kalmanson, D., Bernier, A., Veyrat, C., Witchitz, S., Savier, C. H. & Chiche, P.: Normal pattern and physiological significance of mitral valve flow velocity recorded using transseptal directional Doppler ultrasound catheterization. *Br. Heart J.*, 37, 249-256 (1975).
- 3) Hammermeister, K. E. & Warbasse, J. R.:

The rate of change of left ventricular volume in man. II. Diastolic events in health and disease. *Circulation*, **49**, 739-747 (1974).

- 4) Kitabatake, A., Inoue, M., Asao, M., Tanouchi, J., Masuyama, T., Abe, H., Morita, 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).
- 5) 松尾裕英, 北島 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: 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. *J. Cardiology*, **10**, 697-708 (1980).
- 6) 竹村晴光, 大木 崇, 村尾明之, 福田信夫, 浅井幹夫, 大島千寿子, 沢田誠三, 仁木敏晴, 森 博愛: 超音波パルス・ドプラー法による肥大型心筋症の左室流入路および流出路血流動態の検討. *J. Cardiology*, **11**, 125-134 (1981).
- 7) 田内 潤, 北島 顕, 浅生雅人, 森田利男, 増山理, 堀 正二, 井上通敏, 阿部 裕: 拡張期左室流入血流動態に及ぼす左室弛緩特性の影響: 超音波パルス・ドプラー法による検討. *J. Cardiology*, **13**, 301-307 (1983).
- 8) 大木 崇, 浅井幹夫, 竹村晴光, 福田信夫, 坂井秀樹, 富永信彦, 村尾明之, 大島千寿子, 日下芳子, 仁木敏晴, 森 博愛: 超音波パルス・ドプラー法による肥大型心筋症の左室拡張動態の評価: 特に肥厚部位による左室流入障害の差異について. *J. Cardiology*, **13**, 523-535 (1983).
- 9) Rokey, R., Kuo, L. C., Zoghbi, W. A., Limacher, M. C. & Quinones, M. A.: Determination of parameters of left ventricular diastolic filling with pulsed Doppler echocardiography: comparison with cineangiography. *Circulation*, **71**, 543-550 (1985).
- 10) Snider, A. R., Gidding, S. S., Rocchini, A. P., Rosenthal, A., Dick, M. & Crowley, D. C.: Doppler evaluation of left ventricular diastolic filling in children with systemic hypertension. *Am. J. Cardiol.*, **56**, 921-926 (1985).
- 11) Takenaka, K., Dabestani, A., Gardin, J. M., Russell, D., Clark, S., Allfie, A. & Henry, W. L.: Pulsed Doppler echocardiographic study of left ventricular filling in dilated cardiomyopathy. *Am. J. Cardiol.*, **58**, 143-147 (1986).
- 12) Stevenson, J. G., Kawabori, I., Dooley, T. &

Guntheroth, W. G.: Diagnosis of ventricular septal defect by pulsed Doppler echocardiography: Sensitivity, specificity and limitations. *Circulation*, **58**, 322-326 (1978).

- 13) Stevenson, J. G., Kawabori, I. & Guntheroth, W. G.: Pulsed Doppler echocardiographic diagnosis of patent ductus arteriosus: Sensitivity, specificity, limitations and technical features. *Cathet. Cardiovasc. Diag.*, **6**, 255-263 (1980).
- 14) Minagoe, S., Tei, C., Kisanuki, A., Nakazono, Y., Yoshimura, H., Kashima, T. & Tanaka, H.: Noninvasive pulsed Doppler echocardiographic detection of the direction of shunt flow in patients with atrial septal defect: Usefulness of the right parasternal approach. *Circulation*, **71**, 745-753 (1985).
- 15) Miyatake, K., Kinoshita, N., Nagata, S., Beppu, S., Park, Y. D., Sakakibara, H. & Nimura, Y.: Intracardiac flow pattern in mitral regurgitation studied with combined use of the ultrasonic pulsed Doppler technique and cross-sectional echocardiography. *Am. J. Cardiol.*, **45**, 155-162 (1980).
- 16) Mard, J. M., Baker, D. W., Rubenstein, S. A. & Johnson, S. L.: Detection of aortic insufficiency by pulsed Doppler echocardiography. *J. Clin. Ultrasound*, **5**, 5-10 (1977).
- 17) Miyatake, K., Okamoto, M., Kinoshita, N., Ohta, M., Kozuka, T., Sakakibara, H. & Nimura, Y.: Evaluation of tricuspid regurgitation by pulsed Doppler and two-dimensional echocardiography. *Circulation*, **66**, 777-783 (1982).
- 18) Miyatake, K., Okamoto, M., Kinoshita, N., Matsuhisa, M., Nagata, S., Beppu, S., Park, Y., Sakakibara, H. & Nimura, Y.: Pulmonary regurgitation studied with the ultrasonic pulsed Doppler technique. *Circulation*, **65**, 969-976 (1982).
- 19) Darsee, J. R., Mikolich, J. R., Walter, P. F. & Schlant, R. C.: Transcutaneous Doppler method of measuring cardiac output-I. Comparison of transcutaneous and juxta-aortic Doppler velocity signals with catheter and cuff electromagnetic flowmeter measurements in closed and open chest dogs. *Am. J. Cardiol.*, **46**, 607-612 (1980).
- 20) Darsee, J. R., Walter, P. F. & Nutter, D. O.: Transcutaneous Doppler method of measuring cardiac output-II. Noninvasive measurement by transcutaneous Doppler aortic blood velocity integ-

- ration and M-mode echocardiography. *Am. J. Cardiol.*, **46**, 613-618 (1980).
- 21) **Alverson, D. C., Eldrige, M., Dillon, T., Yabek, S. M. & Berman, W.**: Noninvasive pulsed Doppler determination of cardiac output in neonates and children. *J. Pediatrics*, **101**, 46-50 (1982).
- 22) **Fisher, D. C., Sahn, D. J., Friedman, M. J., Larson, D., Valdes-Cruz, L. M., Horowitz, S., Goldberg, S. J. & Allen, H. D.**: The mitral valve orifice method for noninvasive two-dimensional echo Doppler determinations of cardiac output. *Circulation*, **67**, 872-877 (1983).
- 23) **Loepky, J. A., Hoekenga, D. E., Greene, E. & Luft, U. C.**: Comparison noninvasive pulsed Doppler and Fick measurements of stroke volume in cardiac patients. *Am. Heart J.*, **107**, 339-346 (1984).
- 24) 桑子賢司, 佐久間徹, 松田光生, 関口達彦, 杉下靖郎, 伊藤 巖: 断層心エコー・ドプラー法による心拍出量測定の試み: 肺動脈基部サンプリング法. *J. Cardiography*, **14**, 841-850 (1984).
- 25) **Stevenson, J. G. & Kawabori, I.**: Noninvasive determination of pressure gradients in children: Two methods employing pulsed Doppler echocardiography. *J. Am. Coll. Cardiol.*, **3**, 179-192 (1984).
- 26) 富田 英, 中谷茂和, 新垣義夫, 二木志保, 中島徹, 神谷哲郎: 超音波パルス・ドプラー法による心室中隔欠損における左右心室圧較差の推測. *心臓*, **17**, 528-534 (1985).
- 27) **Gardin, J. M., Iseri, L. T., Elkayam, U., Tobis, J., Childs, W., Burn, C. S. & Henry, W. L.**: Evaluation of dilated cardiomyopathy by pulsed Doppler echocardiography. *Am. Heart J.*, **106**, 1057-1065 (1983).
- 28) **Elkayam, U., Gardin, M. D., Berkley, B. A., Hughes, C. A. & Henry, W. L.**: The use of Doppler flow velocity measurement to assess the hemodynamic response to vasodilators in patients with heart failure. *Circulation*, **67**, 377-383 (1983).
- 29) 北島 顕, 井上通敏: 超音波心臓ドプラー法, 245-249頁, 丸善, 東京, 1986.
- 30) 中谷茂和, 谷口 昂, 新垣義夫, 神谷哲郎: 超音波パルス・ドプラー法による小児の心室流入路流出路血流像の検討. *日児誌*, **90**, 2039-2048 (1986).
- 31) **Nolan, S. P., Dixon, S. H., Fisher, R. D. & Morrow, A. G.**: The influence of atrial contraction and mitral valve mechanics on ventricular filling: A study of instantaneous mitral valve flow in vivo. *Am. Heart J.*, **77**, 784-791 (1969).
- 32) **Ishida, Y., Meisner, J. S., Tsujioka, K., Gallo, J. I., Yoran, C., Frater, R. W. & Yellin, E. L.**: Left ventricular filling dynamics: influence of left ventricular relaxation and left atrial pressure. *Circulation*, **74**, 187-196 (1986).
- 33) **Taylor, R. R., Covell, J. W., Sonnenblick, E. H. & Ross, J.**: Dependence of the opposite ventricle. *Am. J. Physiol.*, **213**, 711-718 (1967).
- 34) **Spotnitz, H. M. & Kaiser, G. A.**: The effect of the pericardium on pressure-volume relations in the canine left ventricle. *J. Surg. Res.*, **11**, 375-380 (1971).
- 35) 真田純一, 中村一彦, 川平正純, 大重太真男, 橋本修治: 左室内血流動態による僧帽弁閉鎖不全の定量的評価の試み: 超音波パルス・ドプラー法を用いて. *J. Cardiography*, **14**, 471-481 (1984).
- 36) 北島 顕, 伊藤 浩, 浅生雅人, 田内 潤, 井上通敏, 阿部 裕, 吉間英雄, 大森正晴, 平松美代子, 伯耆徳武, 大西健二: 断層心エコードプラー法による左室流入路および駆出血流速の正常値とその経年的変化の観察. *日超医講演論文集*, **45**, 135-136 (1984).
- 37) **Hatle, L. & Angelsen, B.**: *Doppler ultrasound in cardiology*, 2nd ed., p.72-74, Lea & Febiger, Philadelphia, 1982.

Study of Diastolic Filling Property in Left Ventricular Inflow Tract by Pulsed Doppler Echocardiography (II) Diastolic Left Ventricular Filling Property in Children with Heart Disease Shigekazu Nakaya, Department of Pediatrics, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa 920—J. Juzen Med. Soc., **96**, 798—810 (1987)

Key words : pulsed Doppler echocardiography, mitral valve flow, congenital heart disease, cardiac surgery, hypertrophic cardiomyopathy

Abstract

To assess the left ventricular diastolic filling property in congenital heart disease and hypertrophic cardiomyopathy (HCM), the mitral valve flow pattern was studied using pulsed Doppler echocardiography. The subjects consisted of 154 patients with atrial septal defect (ASD), ventricular septal defect (VSD), tetralogy of Fallot (TOF), post-operative state of ASD (ASD p.o), post-operative state of VSD (VSD p.o), post-operative state of TOF (TOF p.o) and HCM. Eighty-five healthy children served as controls. The following parameters were obtained from mitral valve flow pattern : the peak velocity of atrial contraction phase (A), peak velocity of rapid filling phase (R), A/R ratio, acceleration time (AT), deceleration time (DT), acceleration rate (AC) and deceleration rate (DC). In the control group, A and A/R ratio highly correlated with heart rate, so that % normal of A and A/R ratio (% A, % A/R) were calculated from the predicted value obtained from the regression equation for a given heart rate. % A, R and % A/R were compared between the heart disease group and the control group. With regard to congenital heart disease, % A was significantly higher in large shunt group of VSD and PDA, R was significantly lower in TOF and % A/R was significantly higher in TOF and large shunt group of VSD and PDA. There were significant correlations VSD and PDA between left to right shunt ratio and % A, and between pulmonary flow to systemic flow ratio and % A. There were significant correlations in TOF between right to left shunt ratio and R, and between right to left shunt ratio and % A/R. With regard to post-operative state of congenital heart disease and HCM, % A was significantly higher in HCM and was significantly lower in post-operative state of congenital heart disease, R was significantly lower in HCM, ASD p.o and VSD p.o, and % A/R was significantly higher in HCM and significantly lower in ASD p.o and TOF p.o. The values of AT, DT, AC and DC were divided by the square root of RR interval to correct for the effect of heart rate (cAT, cDT, cAC and cDC). cAT, cDT, cAC and cDC were compared between the heart disease group and the control group. There was no significant difference in cAT between the two groups, but cDT was significantly lower in HCM, and cAC and cDC were significantly lower in TOF, HCM and VSD p.o. These results indicated that VSD and PDA with increased mitral valve flow affects more the atrial contraction phase than the rapid filling phase, TOF with decreased mitral valve flow influences more the rapid filling phase than the atrial contraction phase, both rapid filling and atrial contraction are impaired in post-operative states, and disturbance of relaxation exists in HCM.