

## エコードップラー法を用いた非侵襲的右室収縮性評価の試み

## Estimation of Right Ventricular Contractility by Continuous-Wave Doppler Echocardiography

山田 幸子\*<sup>1</sup>  
 中谷 敏  
 今西 敏雄  
 仲宗根 出\*<sup>2</sup>  
 砂川 賢二\*<sup>3</sup>  
 宮武 邦夫

Sachiko YAMADA, MD\*<sup>1</sup>  
 Satoshi NAKATANI, MD  
 Toshio IMANISHI, MD  
 Izuru NAKASONE, BS\*<sup>2</sup>  
 Kenji SUNAGAWA, MD\*<sup>3</sup>  
 Kunio MIYATAKE, MD, FJCC

### Abstract

The right ventricular  $dP/dt_{max}$  and relatively load-independent index,  $dP/dt_{max}/IP$  ( $IP$ : instantaneous pressure difference between the right ventricle and right atrium) can be measured from the tricuspid regurgitant velocity by continuous-wave Doppler echocardiography. The present study investigated these indices as measures of right ventricular contractility. Thirty-one patients were classified into three groups: 11 patients without right ventricular disease (control group), 9 with dilated cardiomyopathy and 1 with hypertrophic cardiomyopathy in the dilated phase (DCM group), and 10 with pulmonary hypertension (PH group).

Right ventricular contractility was impaired in both the PH group and DCM group, but  $dP/dt_{max}$  was significantly larger in the PH group compared with the control group and DCM group ( $519 \pm 113$  vs  $249 \pm 66$  and  $234 \pm 78$  mmHg/sec,  $p < 0.01$ ). There was no significant difference between  $dP/dt_{max}$  in the control group and DCM group.  $dP/dt_{max}/IP$  in the PH group was smaller than the control group ( $31 \pm 8$  vs  $39 \pm 7$ /sec,  $p < 0.05$ ) and larger than the DCM group ( $22 \pm 12$ /sec,  $p < 0.05$ ). Mean New York Heart Association grading was 1.0 in the control group, 3.1 in the DCM group, and 2.8 in the PH group, respectively. Thus,  $dP/dt_{max}/IP$ , noninvasively obtained by continuous-wave Doppler echocardiography, may be a better index for evaluating right ventricular contractility than  $dP/dt_{max}$ .

### Key Words

Doppler ultrasound (continuous-wave), Contractility (right ventricular), Ventricular function (right), Cardiomyopathy (dilated), Hypertension (pulmonary)

### はじめに

心収縮性を評価する指標としては、駆出率、 $V_{max}$ 、 $dP/dt$  など、種々のものが考案されているが<sup>1-5)</sup>、これらのいずれもが主として左室に対して用いられ、右室に対して適用されることは少ない。このことは、従来より心機能評価における関心が全身の循環に直接関与する左室に集まり、右室機能が大きな注目を集めな

かったことや<sup>6)</sup>、また右室がその構造上、容積計測が困難であったことに起因すると思われる<sup>7-9)</sup>。しかしながら、心挙動を詳細に把握・評価するためには、左室のみならず右室の収縮性をも評価しなければならないことは明らかである。殊に両心室ともに障害されるタイプの心筋症や、また右室機能とその予後に大きな影響を持つと考えられる肺高血圧症では右室収縮性を評価することは臨床的に極めて重要である。

国立循環器病センター 心臓内科、\*<sup>2</sup>生理機能検査部、\*<sup>3</sup>研究所 循環動態機能部：〒565 吹田市藤白台 5-7-1; \*<sup>1</sup>(現)皆生温泉病院 内科：〒683 米子市皆生新田 3-7-8

Cardiology Division of Medicine, \*<sup>2</sup>Division of Physical Diagnosis, \*<sup>3</sup>Department of Cardiovascular Dynamics, Research Institute, National Cardiovascular Center; \*<sup>1</sup>(present) Kaike Onsen Hospital, Yonago

Address for reprints: NAKATANI S, MD, Cardiology Division of Medicine, National Cardiovascular Center, Fujishirodai 5-7-1, Suita 565

Manuscript received August 5, 1995; revised July 30, 1996; accepted August 5, 1996

心室の収縮性を評価する指標として多用されているものに心室圧の一次微分の最大値  $dP/dt_{max}$  がある<sup>10)</sup>. この指標の計測には従来, 心臓カテーテル法を用いた侵襲的手法が必要であったが, 最近, 連続波ドップラー法で記録された僧帽弁逆流速度が収縮期の左室-左房間圧較差を反映することから, この速度を用いて非侵襲的に左室  $dP/dt_{max}$  を推定できることが報告されている<sup>11,12)</sup>. 我々は同様の考えに基づき, 連続波ドップラー法を用いて求めた三尖弁逆流速度から, 右室の  $dP/dt_{max}$  を精度よく評価することが可能であることを明らかにした<sup>13)</sup>. しかしながら  $dP/dt_{max}$  は負荷状態に依存する指標であり, 負荷状況の全く異なる疾患群間で比較することは困難であると思われる<sup>5)</sup>. 一方,  $dP/dt_{max}$  をそのときの心室圧で除した指標  $dP/dt_{max}/IP$  は負荷に比較的非依存性であることが知られている<sup>5)</sup>.

本研究では種々の心疾患において連続波ドップラー法により得られた三尖弁逆流速度から  $dP/dt_{max}$ ,  $dP/dt_{max}/IP$  を求め, 両者を比較することにより, 右室収縮性指標としての  $dP/dt_{max}/IP$  の臨床的有用性を明らかにすることを目的とした.

## 対 象

連続波ドップラー法で三尖弁逆流速度波形を明瞭に記録しえた心疾患患者 31 例を対象とし, それらをその病態から以下の 3 群に分け検討した (Table 1).

対照群: 右室圧負荷, 容量負荷, 収縮異常などが存在しないか, あるいは存在してもごく軽度と考えられる 11 例. 内訳は極めて軽症の僧帽弁膜症 7 例, 狭心症 1 例, 基礎疾患を有しない心室性期外収縮 1 例, 一過性心房細動 1 例, 特に心疾患を認めない症例 1 例であった. 男 5 例, 女 6 例, 年齢 44-78 歳 (平均年齢 59.0 歳), 洞調律 4 例, 心房細動 7 例であった.

心筋症群: 厚生省特定疾患「特発性心筋症」調査研究班の診断の手引きの臨床病型分類による拡張型心筋症<sup>14)</sup>の 9 例, および肥大型心筋症の拡張相の 1 例の計 10 例であった. 心プールシンチグラフィによる右室駆出率の平均は 33% であった. 連続波ドップラー法で計測された右室-右房間圧較差は全例が 16 mmHg 以上 45 mmHg 以下であった. 男 5 例, 女 5 例, 年齢 43-71 歳 (平均年齢 56.7 歳), 洞調律 8 例, 心房細動 2 例であった.

肺高血圧群: 連続波ドップラー法で計測された右

## Selected abbreviations and acronyms

DCM = dilated cardiomyopathy
$dP/dt$ = first derivative of ventricular pressure
HCM = hypertrophic cardiomyopathy
IP = instantaneous pressure
NYHA = New York Heart Association
PH = pulmonary hypertension

室-右房間圧較差が 50 mmHg 以上の肺高血圧症の 10 例. 内訳は原発性肺高血圧症 3 例, 心房中隔欠損症 4 例 (うち 2 例は欠損孔閉鎖の手術後, 肺高血圧症残存), 肺塞栓症 2 例, 僧帽弁置換術後 1 例であった. 男 4 例, 女 6 例, 年齢 24-68 歳 (平均年齢 44.7 歳), 洞調律 8 例, 心房細動 2 例であった.

## 方 法

三尖弁逆流波形の記録は東芝製 SSH-160A セクター式電子走査型超音波断層記録装置, および発振周波数 2.5 MHz の探触子を用いて施行した. 患者を左側臥位にし右室流入路の短軸断面あるいは心尖部四腔断面像を描出した後, カラードップラー法を併用してドップラービームを三尖弁逆流血流にできるだけ平行に入射し, 連続波ドップラー法を用いて三尖弁逆流波形を描出, 100 mm/sec の速度でストリップチャート上に記録した (Fig. 1).

得られた三尖弁逆流波形をパーソナルコンピューター (NEC PC-98) に連動したデジタイザーでトレースし, 2 msec ごとにサンプリング, 簡易 Bernoulli 式により圧に変換後スムージングをかけた. 得られた圧波形を微分することにより  $dP/dt$  を算出し,  $dP/dt$  の最大値 ( $dP/dt_{max}$ ), および  $dP/dt_{max}$  をそれが得られた時点での右室-右房間圧較差 (instantaneous pressure: IP) で除した  $dP/dt_{max}/IP$  を算出した. 更に Fig. 2 に示すように, 縦軸に  $dP/dt$  を, 横軸に右室-右房間圧較差 (P) をとり,  $dP/dt$ -P 曲線を表示した. この曲線の頂点が  $dP/dt_{max}$  であり,  $dP/dt_{max}/IP$  は原点から曲線の頂点に引いた線分の傾きとして表示される. 洞調律例では連続 3 心拍, 心房細動例では連続 10 心拍の平均値を用いた.

Fig. 3 は以上の方法によって得られた対照群, 心筋症群, 肺高血圧群の典型例である.

測定値は全て平均±標準偏差で表示した. 統計学的処理は, 群間比較には ANOVA 検定を用い, 各群間の

Table 1 Basic profiles of the patients

Case No.	Sex	Age(yr)	NYHA	Heart disease	Pressure gradients*	Rhythm	dP/dt <sub>max</sub>	dP/dt <sub>max</sub> /IP
Control group								
1	Male	62	I	MSR	28	Af	274	38
2	Female	68	I	MSR	20	Af	218	38
3	Female	44	I	MS	31	Af	329	52
4	Male	44	I	PVC	17	NSR	281	44
5	Female	74	I	AP	25	NSR	274	42
6	Male	44	I	MSR	23	Af	222	30
7	Female	78	I	Transient Af	27	NSR	243	35
8	Male	49	I	—	10	NSR	115	33
9	Male	58	I	MSR	25	Af	209	35
10	Female	65	I	MS	21	Af	216	35
11	Female	63	I	MSR	30	Af	359	48
DCM group								
1	Male	53	IV	DCM	16	DDI	125	14
2	Female	44	III	DCM	30	NSR	310	42
3	Male	43	III	DCM	44	NSR	249	13
4	Female	50	III	DCM	20	NSR	124	10
5	Male	70	IV	DCM	45	NSR	312	11
6	Female	71	II	DCM	42	NSR	251	13
7	Male	66	III	DCM	30	Af	257	39
8	Male	64	III	HCM	19	VVI	131	16
9	Female	55	III	DCM	25	Af	307	35
10	Female	51	III	DCM	41	NSR	277	22
PH group								
1	Male	24	III	PPH	76	NSR	693	40
2	Female	33	III	PPH	76	NSR	423	38
3	Female	39	III	PPH	81	NSR	552	27
4	Female	68	IV	PTE	110	NSR	707	24
5	Male	63	III	PTE	72	NSR	551	37
6	Female	32	III	ASD	73	NSR	521	14
7	Female	44	II	P/O, ASD	100	NSR	470	32
8	Male	60	III	P/O, MVR	88	Af	492	37
9	Female	39	II	P/O, ASD	78	NSR	389	31
10	Male	45	II	ASD	50	Af	387	26

\*Pressure gradients between the right ventricle and right atrium determined by continuous-wave Doppler echocardiography.

MSR=mitral stenosis+mitral regurgitation; Af=atrial fibrillation; MS=mitral stenosis; PVC=premature ventricular contraction; NSR=normal sinus rhythm; AP=angina pectoris; DDI or VVI=DDI or VVI permanent pacemaker implanted; PPH=primary pulmonary hypertension; PTE=pulmonary thrombo-embolism; ASD=atrial septal defect; P/O=post operation; MVR=mitral valvular replacement.

心房細動例の頻度および男女比の有意差検定には $\chi^2$ 検定を用い、 $p<0.05$ を有意差の判定とした。

## 結 果

### 1. dP/dt<sub>max</sub>の比較

dP/dt<sub>max</sub>は対照群で249±66 mmHg/sec, 心筋症群で234±78 mmHg/sec, 肺高血圧群で519±113 mmHg/secと, 肺高血圧群で最も高値を呈した( $p<0.01$ ; Fig. 4). 対照群と心筋症群との間には有意差を認めなかった。

また, 心筋症群のうちで右室-右房間圧較差が40 mmHg以上の高値を示した4例(軽度肺高血圧合併例)は, いずれも心筋症群の平均値よりも高いdP/dt<sub>max</sub>の値を示した(Table 1).

### 2. dP/dt<sub>max</sub>/IPの比較

dP/dt<sub>max</sub>/IPは対照群で39±7/sec, 心筋症群で22±12/sec, 肺高血圧群で31±8/secと対照群が最も高値を, 心筋症群が最も低値を示し, 肺高血圧群は両者の中間

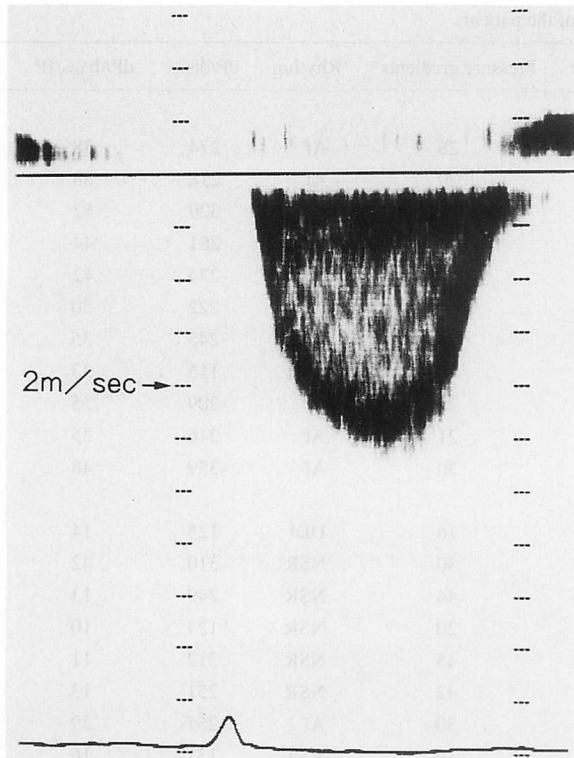


Fig. 1 Recordings of tricuspid regurgitation flow by transthoracic continuous-wave Doppler echocardiography

であった。対照群と肺高血圧群との間 ( $p < 0.05$ )、対照群と心筋症群との間 ( $p < 0.01$ )、肺高血圧群と心筋症群との間 ( $p < 0.05$ ) でそれぞれに有意差を認めた (Fig. 5)。心筋症群のうち軽度肺高血圧症を合併した 4 症例の  $dP/dt_{max}/IP$  は心筋症群の平均値以下であった (Table 1)。

### 3. 性別差, 心房細動例数

3 群間に有意差は認められなかった。また各群の症例の New York Heart Association (NYHA) による心機能分類の平均値は、対照群で 1.0 度、心筋症群で 3.1 度、肺高血圧群で 2.8 度であった。

## 考 察

### 1. 右室収縮性指標としての $dP/dt_{max}/IP$

現在、臨床的に右室機能を判定する指標は少なく、心プールシンチグラフィやサーミスター付きバルーンカテーテルで求められる右室駆出率が用いられているにすぎない。しかしながら駆出率は負荷状態に依存して変化するため<sup>5)</sup>、厳密な意味での収縮性指標とするには問題があろう。左室、右室の  $dP/dt_{max}$  はともに

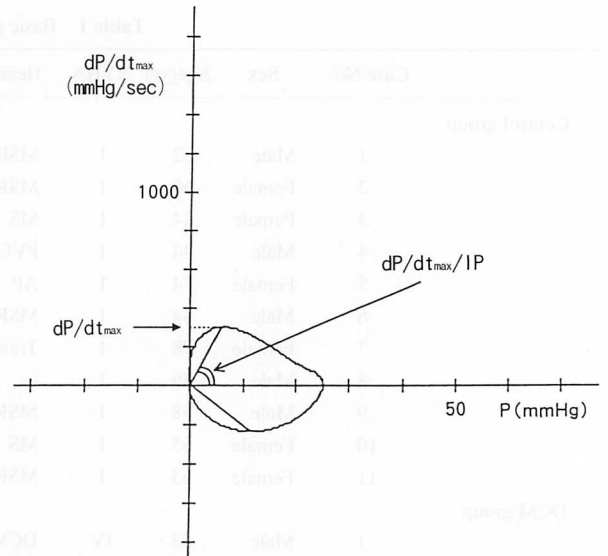


Fig. 2  $dP/dt$ -P loop

$dP/dt_{max}$  is obtained at the vertex of the loop.  $dP/dt_{max}/IP$  is obtained by dividing  $dP/dt_{max}$  by the pressure difference between the right ventricle and right atrium at that moment, and expressed as the slope of the line connecting the point of origin and the vertex.

連続波ドップラー法を用いて非侵襲的に推定可能であることが明らかにされているが<sup>11-13)</sup>、この指標もまた負荷に依存する指標であり<sup>5)</sup>、その負荷依存性を是正するために様々な補正指標が考案されている。例えば  $dP/dt_{max}$  を拡張終期容積 (end-diastolic volume:  $V_{ed}$ ) で除した  $dP/dt_{max}/V_{ed}$ <sup>5)</sup>、等容収縮期の瞬時の圧 (IP) で除した  $dP/dt_{max}/IP$ <sup>5)</sup>、 $dP/dt_{max}$  に達するまでの時間と組み合わせた指標<sup>15)</sup>、等容収縮期間中の心室壁張力を時間積分した値 (integrated systolic isometric tension: IIT)<sup>16)</sup> などがある。これらのうち、 $dP/dt_{max}/IP$  は圧情報だけから求められる指標であり、簡易 Bernoulli 式を用いることによりエコードップラー法だけで容易に算出することができる。

### 2. $dP/dt_{max}$ , $dP/dt_{max}/IP$ の意義

今回の検討では  $dP/dt_{max}$  は肺高血圧群で最も大きく、対照群と心筋症群の間には有意な差はなかった。右室心筋が長年月の圧負荷にさらされ、疲弊していると予測される肺高血圧群で  $dP/dt_{max}$  が高値となり、また左心室のみならず、右心室の収縮性も低下してくるとされる心筋症群で対照群と差がなかったのは、一見奇異に思われる。しかしながら、負荷に比較的依存しないとされる  $dP/dt_{max}/IP$  は対照群、肺高血圧群、心

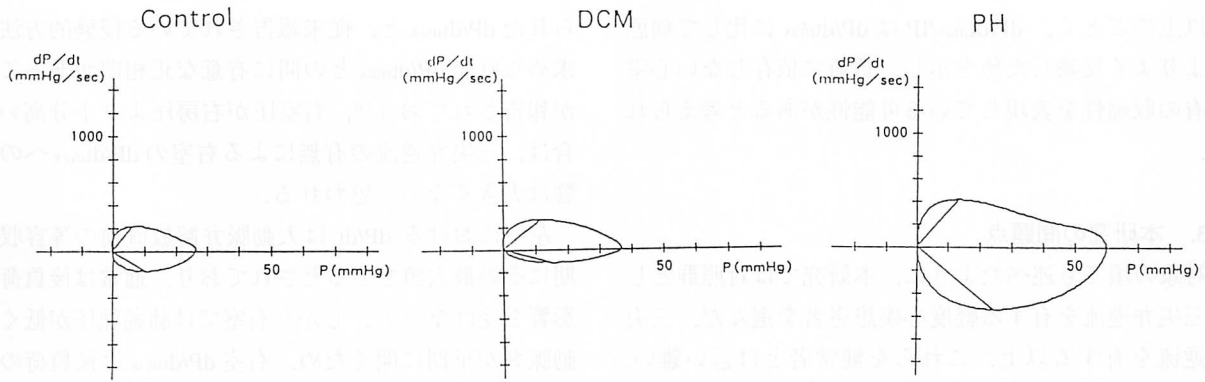


Fig. 3 Representative dP/dt-P loops in the control group, the DCM group and the PH group

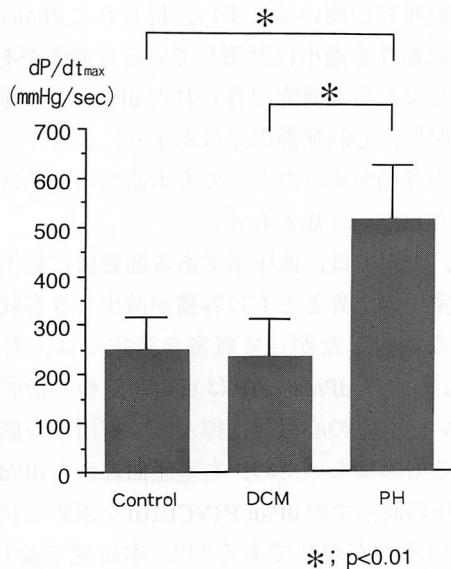


Fig. 4 Comparison of dP/dt<sub>max</sub> between the three groups

dP/dt<sub>max</sub> was significantly larger in the PH group compared with the control group and the DCM group. There was no significant difference between dP/dt<sub>max</sub> in the control group and in the DCM group.

筋症群の順に高値を示し、前述の各群における dP/dt<sub>max</sub> の差は負荷状態の影響によるものであることが推察された。すなわち、肺高血圧群では前負荷（右室拡張末期容積）が大きく、大きな後負荷（肺動脈圧）とあいまって、dP/dt<sub>max</sub> が高値となったものと思われる。また、肺高血圧群の NYHA 心機能分類の平均値は対照群のそれよりも高く、臨床的には肺高血圧群のほうが重症であるにもかかわらず、dP/dt<sub>max</sub> は肺高血圧群のほうが高値を示した。一方、dP/dt<sub>max</sub>/IP は肺高血圧群が対照群よりも低値を示しており、この事実も dP/dt<sub>max</sub>/IP が dP/dt<sub>max</sub> よりも病態をよりよく反映することを支持している。

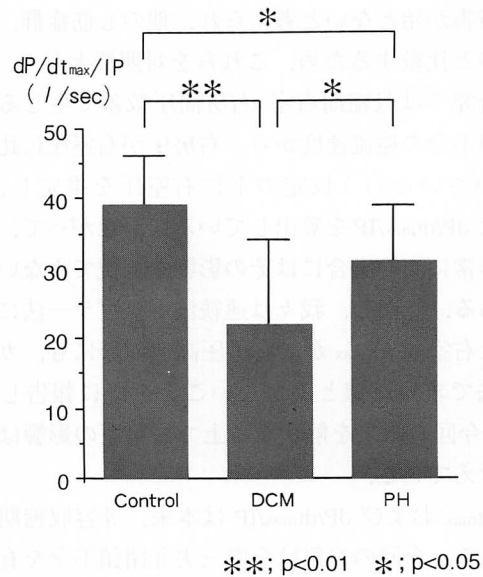


Fig. 5 Comparison of dP/dt<sub>max</sub>/IP between the three groups

dP/dt<sub>max</sub>/IP was the largest in the control group and was significantly higher in the PH group than in the DCM group.

心筋症群において dP/dt<sub>max</sub> が対照群と差がみられなかったことは、本疾患群にしばしばみられる右室拡大（右室前負荷増大）の影響が大きいと思われる。また、心筋症群のうちで、右室-右房間圧較差が 40 mmHg 以上を示した軽度肺高血圧合併例の 4 症例は、どの症例も dP/dt<sub>max</sub> は心筋症群の平均値よりも高値を示し、dP/dt<sub>max</sub>/IP は心筋症群の平均値以下の値を示した。したがって、これらの症例では右室後負荷の影響を受けて dP/dt<sub>max</sub> が高値となったものと思われた。

また心筋症群のうち dP/dt<sub>max</sub>/IP が比較的高値を示した症例が 3 例 (Table 1; 症例 2, 7, 9) あった。これら 3 例は、まだ右室心筋の収縮能が比較的保たれている状態にあるのかもしれない。

以上のごとく、 $dP/dt_{max}/IP$  は  $dP/dt_{max}$  に比して病態をよりよく反映した値を示し、負荷に依存しない心室固有の収縮性を表現している可能性があると考えられた。

### 3. 本研究の問題点

対象の項でも述べたように、本研究では対照群として三尖弁逆流を有する軽度心疾患患者を選んだ。三尖弁逆流を有する以上、これらを健常者とは言い難い。しかしながら、少なくとも臨床所見上、またNYHA心機能分類上でもわかるように、これらの患者には右室機能障害が殆どないと考えられ、他の心筋症群、肺高血圧群と比較するため、これらを対照群とした。

本研究では収縮期右室-右房間圧較差で生じる三尖弁閉鎖不全の逆流速度から、右房圧が右室圧に比して十分小さいという仮定の下に右室圧を推定し、 $dP/dt_{max}$  と  $dP/dt_{max}/IP$  を算出している。したがって、右房圧が非常に高い場合にはその影響を無視できない可能性がある。しかし、我々は連続波ドップラー法により求めた右室  $dP/dt_{max}$  が、右房圧高値の際にも、カテテル法で求めた値と差がないことを既に報告しており<sup>13)</sup>、今回の結果を解釈する上で右房圧の影響は少ないと考えている。

$dP/dt_{max}$  および  $dP/dt_{max}/IP$  は本来、等容収縮期の指標である。今回の対象は全例三尖弁閉鎖不全を有するため、三尖弁逆流速度から求めた  $dP/dt_{max}$  や  $dP/dt_{max}/IP$  は厳密な意味では等容期指標とはいえない。これは僧帽弁逆流速度から左室の  $dP/dt_{max}$  を求める際にも問題となってくる。左室の場合には僧帽弁逆流の有無により  $dP/dt_{max}$  の値が大きく変化しないことが知られており、僧帽弁逆流からの  $dP/dt_{max}$  は臨床適用が可能とされている<sup>11)</sup>。右室で同様の議論が成立するか否かは今後の検討を待たねばならない。しかしながら三尖弁逆流のある症例において本研究と同様の方法により得

られた  $dP/dt_{max}$  と、従来報告されている侵襲的方法で求められた  $dP/dt_{max}$  との間に有意な正相関があることが報告されており<sup>13)</sup>、右室圧が右房圧より十分高い場合は、三尖弁逆流の有無による右室の  $dP/dt_{max}$  への影響は大きくないと思われる。

左室における  $dP/dt$  は大動脈弁解放直前の等容収縮期にその最大値をとるとされており、通常は後負荷の影響を受けない<sup>5,17)</sup>。しかし右室では肺動脈圧が低く肺動脈弁が早期に開くため、右室  $dP/dt_{max}$  は後負荷の影響を受ける可能性がある。すなわち肺高血圧症を伴わない対照群や心筋症群では  $dP/dt$  が最大値に達する以前に肺動脈弁が開いてしまい、得られた  $dP/dt_{max}$  の値は真の収縮性を過小に評価している可能性がある。

しかしながら本研究で得られた  $dP/dt_{max}$  の肺高血圧群と対照群、心筋症群の差はあまりに大きく、仮に若干の過小評価があったとしても本研究の結果は本質的には変わらないと思われる。

また、右室では、低圧系である肺動脈に駆出するため、右室圧の上昇とともに容積が減少し等容収縮期がみられない。したがって厳密な意味では、右室では  $dP/dt_{max}$  および  $dP/dt_{max}/IP$  は真の収縮性の指標とはなりえない。右室の心機能指標として有用かつ簡便に測定しうるものはないため、右室圧曲線から  $dP/dt_{max}$  や、一定の圧の時点での  $dP/dt/P$  (VCE10) を求める試みがなされているのが現状である<sup>18,19)</sup>。本研究で論じた  $dP/dt_{max}/IP$  は、簡便に得られる右室の収縮機能の一つの目安として有用であると考えられる。

## 結 論

エコードップラー法を用いて非侵襲的に右室圧由来の収縮機能の指標である  $dP/dt_{max}$ 、 $dP/dt_{max}/IP$  を求めた。 $dP/dt_{max}/IP$  は負荷依存性の指標  $dP/dt_{max}$  に比べ、病態をよりよく反映した値を示し、臨床的に有用であると思われた。

## 要 約

右室の  $dP/dt_{max}$  と比較的負荷非依存性である  $dP/dt_{max}/IP$  [ $dP/dt_{max}$  をその時の右心室圧と右心房圧との差 (IP) で除した指標] は、連続波ドップラー法を用いて、三尖弁逆流血流速度から得ることができる。今回の研究では、右室収縮性の指標としてこれらの指標の有用性について検討した。

対象は有意な心疾患を有さない対照群 (11 例)、拡張型心筋症 9 例および肥大型心筋症の拡張相 1 例の心筋症群 (10 例) および肺高血圧症を有する肺高血圧群 (10 例) の 3 群、合計 31 例であ

る。

右室の収縮性は心筋症群および肺高血圧群において低下しているにもかかわらず、 $dP/dt_{max}$  は肺高血圧群が対照群および心筋症群よりも有意に高値を示した ( $519 \pm 113$  vs  $249 \pm 66$  および  $234 \pm 78$  mmHg/sec, おのおの  $p < 0.01$ ). 対照群と心筋症群間には有意差はなかった. 一方、 $dP/dt_{max}/IP$  は肺高血圧群において対照群よりも小であり ( $31 \pm 8$  vs  $39 \pm 7$ /sec,  $p < 0.05$ ), 心筋症群より大であった ( $22 \pm 12$ /sec,  $p < 0.05$ ). NYHA 心機能分類の平均値は、対照群では 1.0 度、心筋症群では 3.1 度、肺高血圧群では 2.8 度であった. したがって  $dP/dt_{max}/IP$  は、連続波ドップラー法によって非侵襲的に得ることが可能であることもあり、 $dP/dt_{max}$  よりも右室の収縮性の評価により適していると思われた.

*J Cardiol* 1996; 28: 287-293

## 文 献

- 1) Peterson KL, Skloven D, Ludbrook PA, Uther JB, Ross J Jr: Comparison of isovolumic and ejection phase indices of myocardial performance in man. *Circulation* 1974; **49**: 1088-1101
- 2) Falsetti HL, Mates RE, Greene DG, Bunnell IL:  $V_{max}$  as an index of contractile state in man. *Circulation* 1971; **43**: 467-479
- 3) Parakos JA, Grossman W, Saltz S, Dalen JE, Dexter L: A noninvasive technique for the determination of velocity of circumferential fiber shortening in man. *Circ Res* 1971; **29**: 610-615
- 4) Suga H, Sagawa K, Shoukas AA: Load independence of the instantaneous pressure-volume ratio of the canine left ventricle and effects of epinephrine and heart rate on the ratio. *Circ Res* 1973; **32**: 314-322
- 5) Kass DA, Maughan WL, Guo ZM, Kono A, Sunagawa K, Sagawa K: Comparative influence of load versus inotropic states on indexes of ventricular contractility: Experimental and theoretical analysis based on pressure-volume relationships. *Circulation* 1987; **76**: 1422-1436
- 6) Starr I, Jeffers WA, Meade RH Jr: The absence of conspicuous increments of venous pressure after severe damage to the right ventricle of the dog, with a discussion of the relation between clinical congestive failure and heart disease. *Am Heart J* 1943; **26**: 291-301
- 7) Graham TP Jr, Jarmakani JM, Atwood GF, Canent RV Jr: Right ventricular volume determinations in children: Normal values and observations with volume or pressure overload. *Circulation* 1973; **47**: 144-153
- 8) Arcilla RA, Tsai P, Thilenius O, Ranniger K: Angiographic method for volume estimation of right and left ventricles. *Chest* 1971; **60**: 446-454
- 9) Ferlinz J, Gorlin R, Cohn PF, Herman MV: Right ventricular performance in patients with coronary artery disease. *Circulation* 1975; **52**: 608-615
- 10) Colucci WS: Observations on the intracoronary administration of milrinone and dobutamine to patients with congestive heart failure. *Am J Cardiol* 1989; **63**: 17A-22A
- 11) Bargiggia GS, Bertucci C, Recusani F, Raisaro A, Servi S, Valdes-Cruz LM, Sahn DJ, Tronconi L: A new method for estimating left ventricular  $dP/dt$  by continuous wave Doppler echocardiography. *Circulation* 1989; **80**: 1287-1292
- 12) Chung N, Nishimura RA, Holmes DR Jr, Tajik AJ: Measurement of left ventricular  $dP/dt$  by simultaneous Doppler echocardiography and cardiac catheterization. *J Am Soc Echocardiogr* 1992; **5**: 147-152
- 13) 今西敏雄, 中谷 敏, 山田幸子, 松原広己, 山岸正和, 大森文夫, 永田正毅, 別府慎太郎, 宮武邦夫: 連続波ドプラ法を用いた三尖弁逆流速度計測に基づく右室  $dP/dt$  の推測と問題点. 日超医講演論文集 1992; **61**: 461-462
- 14) 特発性心筋症診断の手引き. 厚生省特定疾患特発性心筋症調査研究班(班長: 戸嶋裕徳)・昭和 61 年度研究報告集, 1986; pp 13-15
- 15) Mason DT, Sonnenblick EH, Ross J Jr, Covell JW, Braunwald E: Time to peak  $dP/dt$ : A useful measurement for evaluating the contractile state of the human heart. *Circulation* 1965; **32** (Suppl II): II-145 (abstr)
- 16) Siegel JH, Sonnenblick EH: Isometric time-tension relationships as an index of myocardial contractility. *Circ Res* 1963; **12**: 597-610
- 17) Brodie BR, Grossman W, Mann T, McLaurin LP: Effects of sodium nitroprusside on left ventricular diastolic pressure-volume relations. *J Clin Invest* 1977; **59**: 59-68
- 18) Yabek SM, Berman W Jr, Dillon T: Right ventricular contractile function in children with congenital heart disease. *Am J Cardiol* 1984; **53**: 899-901
- 19) 小野裕逸, 成田敦志, 長尾好治, 竹内 功, 岩淵 知, 首藤邦昭, 福井康三, 小山浩一, 鈴木宗平, 鯉江久昭: Modified Swan-Ganz Catheter を用いた右心機能評価に関する実験的研究. 日心外会誌 1992; **21**: 126-132