

超音波連続波ドプラー法による大動脈置換弁の評価

Continuous wave Doppler echocardiographic assessment of prosthetic aortic valves

木佐貫 彰
鄭 忠和
有川 清猛
尾辻 豊
川添 康郎
夏越久美子
田中 弘允
森下 靖雄*
平 明*

Akira KISANUKI
Chuwa TEI
Kiyotake ARIKAWA
Yutaka OTSUJI
Yasuro KAWAZOE
Kumiko NATSUGOE
Hiromitsu TANAKA
Yasuo MORISHITA*
Akira TAIRA*

Summary

To assess the prosthetic aortic valve functions according to types and sizes of valves, the peak flow velocity was recorded by means of continuous wave Doppler echocardiography in 40 patients (age 45 ± 15 years) with prosthetic aortic valves and in 25 normal subjects. Twenty-one patients had Björk-Shiley valves (1-18 months after replacement); 12 had St. Jude Medical valves (6-48 months after replacement); and seven had Carpentier-Edwards porcine xenografts (48-84 months after replacement). The peak blood flow velocity across the prosthetic valve was recorded at the left ventricular apex, the suprasternal notch, and the right parasternal border in the second intercostal space. The pressure gradient was derived from the peak flow velocity by means of the simplified Bernoulli equation ($P=4V^2$). The peak and mean flow velocities and the peak and mean pressure gradients were measured to evaluate the opening function of the prosthetic valves. The results were as follows;

1. The peak flow velocities were recorded in 33 patients (83%) with aortic valve replacements. All four measurements were significantly greater in patients with prosthetic aortic valves than in normal subjects, but there was no significant difference according to the valve type.

2. The opening function was less in patients with smaller valves than in those with larger ones. There was a clear correlation between opening function and valve size.

We concluded that continuous wave Doppler echocardiography is a useful noninvasive method for evaluating the opening function of a prosthetic aortic valve.

Key words

Aortic prosthetic valve

Continuous wave Doppler echo

鹿児島大学医学部 第一内科
*同 第二外科
鹿児島市宇宿町 1208-1 (〒890)

The First Department of Internal Medicine and
*the Second Department of Surgery, Faculty of
Medicine, Kagoshima University, Usuki-cho 1208-1,
Kagoshima, 890

Received for publication August 23, 1985; accepted August 30, 1985 (Ref. No. 30-45)

はじめに

大動脈弁置換例では, 生体弁では経年的変性による弁狭窄を¹⁻³⁾, また機械弁では血栓の形成, あるいは肉芽の過形成等により弁狭窄をきたす⁴⁾ことが報告されているが, いづれの場合にも, 弁口部圧較差を評価することは臨床的に重要なことである. しかし, この圧較差の評価を断層心エコー図や M モードエコー図で行なうことは困難なことが多く, またたとえ観血的方法を用いても容易ではない. これに対して, 連続波ドプラー法では非観血的に心血管内の血流最大速度を測定することができるので, それに基づいて弁口部の圧較差を算出することが可能である. このようにして得られた弁口部圧較差は, 心カテーテル検査で得られた値によく一致することが報告されている⁵⁻¹⁶⁾. 連続波ドプラー法を用いて人工弁の圧較差を評価した報告は, 僧帽弁置換例においてはいくつみられるが¹⁷⁻¹⁹⁾, 大動脈弁置換例における報告は極めて少ない²⁰⁾.

今回の研究の目的は, 連続波ドプラー法を用いて大動脈弁置換例の弁口部血流速度を測定し, これより人工弁の圧較差を求め, さらにこの圧較差が弁の種類, サイズ, 術後経過年数によりどのように変貌するかを検討することである.

対象と方法

対象は大動脈弁置換例 40 例(男 28, 女 12 例)である. Björk-Shiley 弁置換例がもっとも多く 21 例で, 平均年齢は 48±14 歳, 弁置換後の経過月

数は 1~18 ヶ月で, 弁のサイズは **Table 1** に示す通りである. St. Jude Medical 弁は 12 例で, 平均年齢は 48±11 歳, 弁置換後の経過は 6~48 ヶ月, Carpentier-Edwards ブタ異種弁は 7 例で, 平均年齢は 49±8 歳, 弁置換後 48~84 カ月を経過している. 対照として, 健常人 25 例(男 14, 女 11 例, 平均年齢 49±8 歳)を用いた.

装置は東芝製 SSH 40 B-SDS 21 B と Pedof Doppler system の複合装置, あるいは東芝製 SSH11A-SDS10A と Pedof Doppler system の複合装置を用いた. 超音波の発振周波数は SSH 40B-SDS21B では 2.4 MHz, Pedof Doppler system では 2.0 MHz あるいは 2.4 MHz である. 連続波ドプラーエコーの記録は, 左室心尖部, 胸骨右縁第 2 肋間, 鎖骨上窩の 3 方向より行ない, これを strip chart recorder に紙送り速度 50 mm/sec および 100 mm/sec で記録した.

大動脈弁口を通過する血流の方向と連続波ドプラーの超音波ビーム方向とのなす角度は不明であるが, high-pitched の Doppler audio signal を聴取し, 血流波形が明瞭に記録できる時, その方向における最大血流速度に近いものと考えた¹⁶⁾. 角度による過小評価をできるだけ小さくするため, 3 方向より得た速度のうち, 最大のものを peak flow velocity とした. Peak flow velocity より最大圧較差の算出は, Hatle ら⁶⁾により提唱された簡易 Bernoulli の式である $P=4V^2$ (P: 圧較差 mmHg, V: 最高血流速度 m/sec) の式を用いて行った. また, 既報の如く¹⁹⁾, picture analyzer model Σ5 を一部改良したマイクロコンピュータ

Table 1. Subjects by age and valve type and size

	Number	Age (yr)	Valvular size (mm)						
			19	21	23	25	27	29	31
Björk-Shiley valve	21	48±14	4	1	5	6	2	2	1
St. Jude Medical valve	12	48±11	1	5	6	—	—	—	—
Carpentier-Edwards valve	7	49±8	—	—	3	1	2	1	—
Normal subjects	25	45±15	—	—	—	—	—	—	—

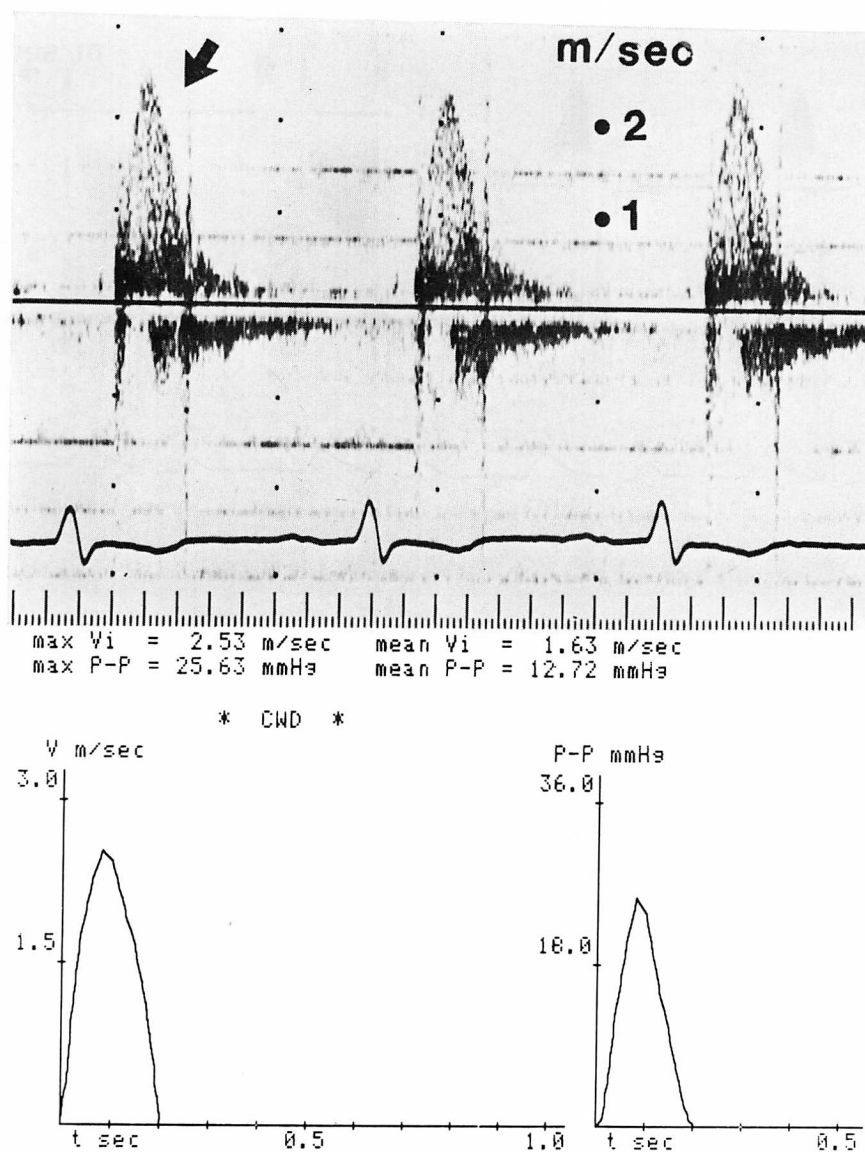


Fig. 1. Measurements of the peak and mean flow velocities (max V_i , mean V_i), and of the peak and mean pressure gradients (max P-P, mean P-P) by means of the microcomputer method in a patient with a Björk-Shiley aortic valve.

The upper panel shows a continuous wave Doppler echogram. The left lower panel indicates the velocity curve of the first heart beat (block arrow) traced by light pen method. The right lower panel shows a pressure gradient curve obtained using the simplified Bernoulli equation.

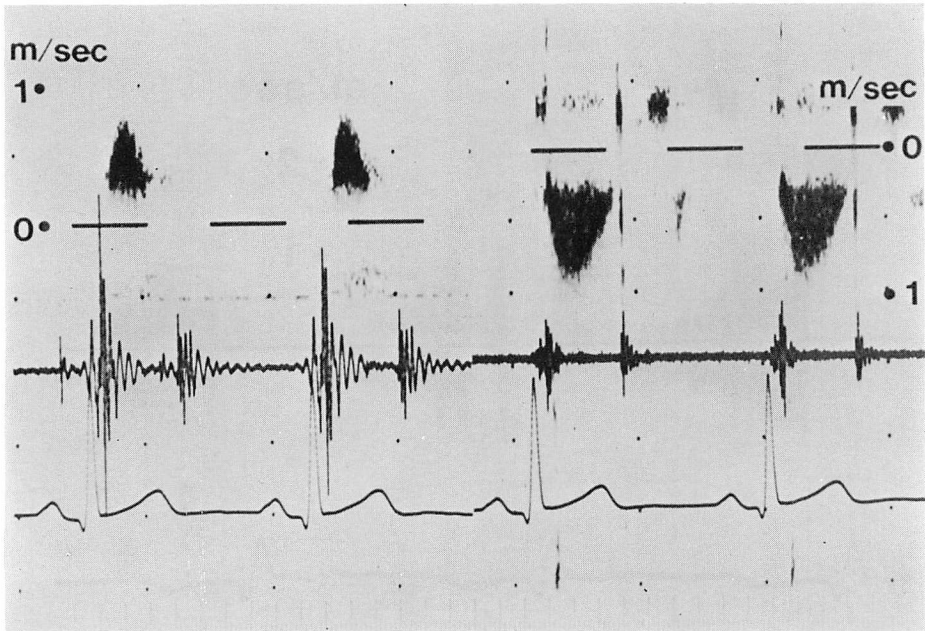


Fig. 2. Aortic flow velocity of a normal subject recorded by using continuous wave Doppler echocardiography.

The left panel is obtained from a suprasternal approach; the right panel from an apical approach. Each peak flow velocity is 0.8 m/sec.

一を用いて, light pen method により, 自動的に peak flow velocity, mean flow velocity, peak pressure gradient, mean pressure gradient の4つの指標を求めた (Fig. 1). これらの指標は, すべて連続5~10心拍の平均値で求めた.

結 果

1. 健常者の大動脈弁口部血流速度

健常者 25 例全例で, 大動脈弁口部血流速度の最大値を求めることが可能であった. Peak flow velocity は 25 例中 21 例では左室心尖部より, 4 例では鎖骨上窩あるいは胸骨右縁第2肋間より得られた. Fig. 2 に健常者の大動脈弁口部を通過する血流の連続波ドプラーエコー図を示す. 図左は鎖骨上窩より, 図右は左室心尖部より記録したものである. Peak flow velocity はいずれも約 0.8 m/sec で近似している. なお健常者の大動脈

弁を通過する peak flow velocity の平均値は 1.1 ± 0.2 m/sec であった.

2. 大動脈弁置換例の弁口部最大血流速度

大動脈弁置換例 40 例中, 明瞭な peak flow velocity の得られた症例は 33 例 (83%) であった. この 33 例中, peak flow velocity は 24 例 (73%) では左室心尖部, 8 例 (24%) は胸骨右縁第2肋間, 1 例 (3%) は鎖骨上窩より得られた, 残り7例では, peak flow velocity を明瞭に求めることができなかった. この7例中, 5例は Björk-Shiley 弁, 1例は St. Jude Medical 弁, 1例は Carpentier-Edwards 弁の症例であった.

以下, 大動脈弁置換例の実例を示す.

Fig. 3 は Björk-Shiley 弁サイズ 29 mm の症例である. 図左は胸骨右縁第2肋間, 図右は左室心尖部より記録したもので, いずれも, peak flow velocity は約 2.2 m/sec で, 近似していた.

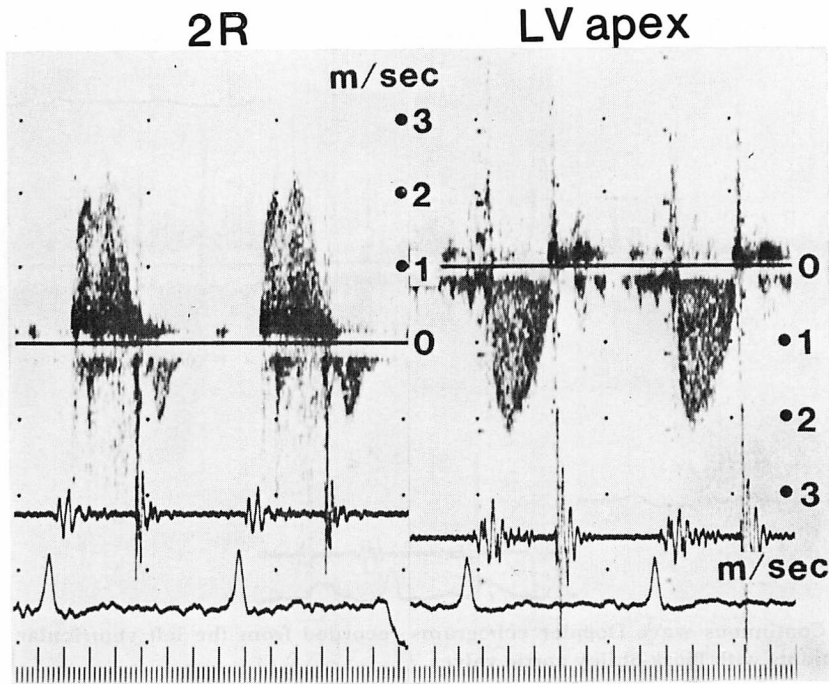


Fig. 3. Aortic flow velocity recorded by means of continuous wave Doppler echocardiography of a patient with a Björk-Shiley 29 mm aortic valve.

The left echogram is made at the right parasternal border in the second intercostal space; the one on the right is at the left ventricular apex. Each peak flow velocity is 2.2 m/sec.

Fig. 4 は異なるサイズの Björk-Shiley 弁の症例を、左室心尖部より記録したものである。サイズ 31 mm では 1.2 m/sec, 27 mm では 2.3 m/sec, 19 mm では 2.8 m/sec の peak flow velocity が得られている。

Fig. 5 は術後約 2 年経過した St. Jude Medical 弁サイズ 21 mm の症例を、胸骨右縁第 2 肋間より記録したものである。Peak flow velocity は 3.1 m/sec であり、最大圧較差は 38 mmHg と算出された。

Fig. 6 は術後約 6 年経過した Carpentier-Edwards 弁サイズ 29 mm の症例で、断層心エコー図上、矢印に示すごとく、弁尖に石灰化が認められる。胸骨右縁第 2 肋間より記録した peak flow velocity は 3.1 m/sec で、最大圧較差は 38 mmHg と算出された。

3. 弁の種類による各指標の比較

Peak flow velocity の平均値は Björk-Shiley 弁では 2.5 ± 0.6 m/sec, St. Jude Medical 弁では 2.7 ± 0.4 m/sec, Carpentier-Edwards 弁では 2.7 ± 0.7 m/sec であった。これに対して、健常者の平均値は 1.1 ± 0.2 m/sec で、いずれの弁の大動脈弁置換例でも、健常者よりは著明に高値を示した ($p < 0.001$)。しかし、それぞれの人工弁間では差が認められなかった (**Fig. 7**)。Peak pressure gradient の平均値は、Björk-Shiley 弁では 26 ± 12 mmHg, St. Jude Medical 弁では 30 ± 9 mmHg, Carpentier-Edwards 弁では 31 ± 15 mmHg であった。各人工弁間では差が認められなかったが、各人工弁とも有意に高い圧較差を有しており、30 mmHg 以上の最大圧較差を示した症例が 13 例、約 40% に認められた (**Fig. 8**)。

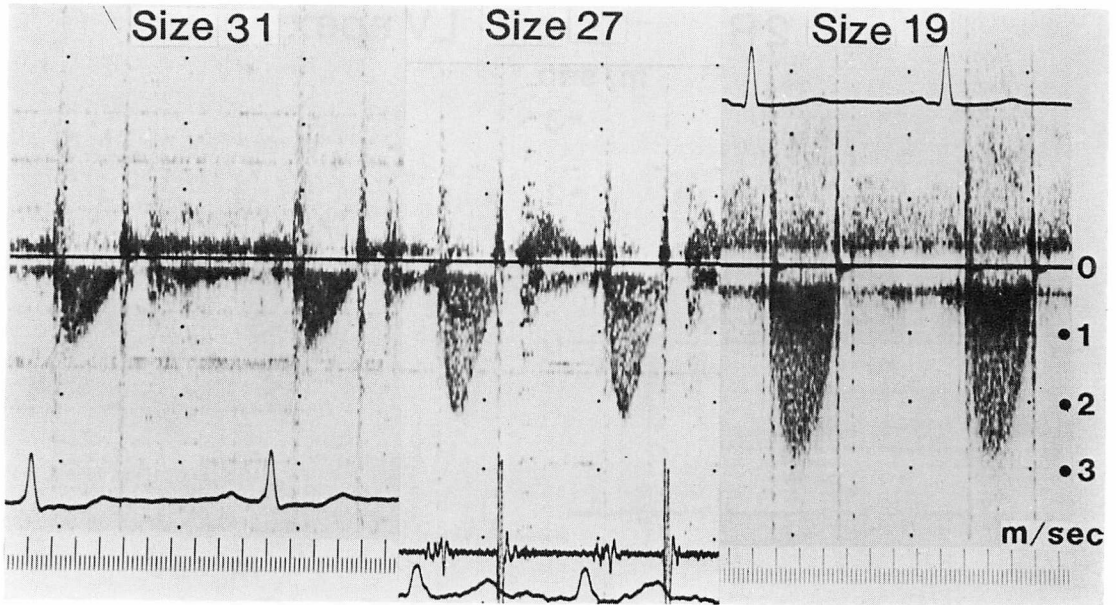


Fig. 4. Continuous wave Doppler echograms recorded from the left ventricular apex in three patients with Björk-Shiley aortic valves.

The peak flow velocities are 1.2 m/sec in the 31 mm size, 2.3 m/sec in the 27 mm size, and 2.8 m/sec in the 19 mm size. The peak flow velocity increases in inverse proportion to the size.

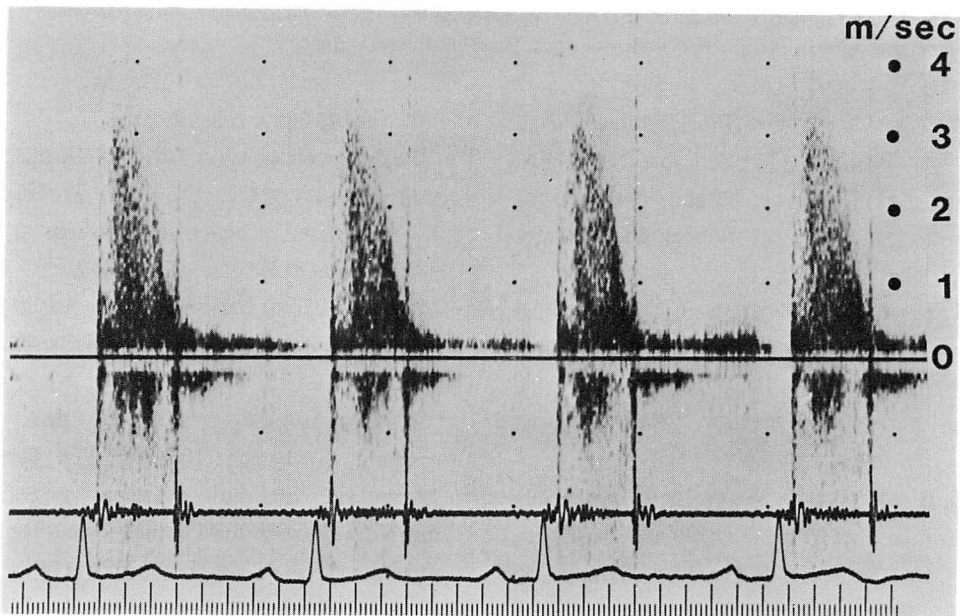


Fig. 5. Continuous wave Doppler (CWD) echogram recorded at the right parasternal border in the second intercostal space of a patient with a St. Jude Medical 21 mm aortic valve.

The peak pressure gradient obtained from CWD echocardiogram is 38 mmHg.

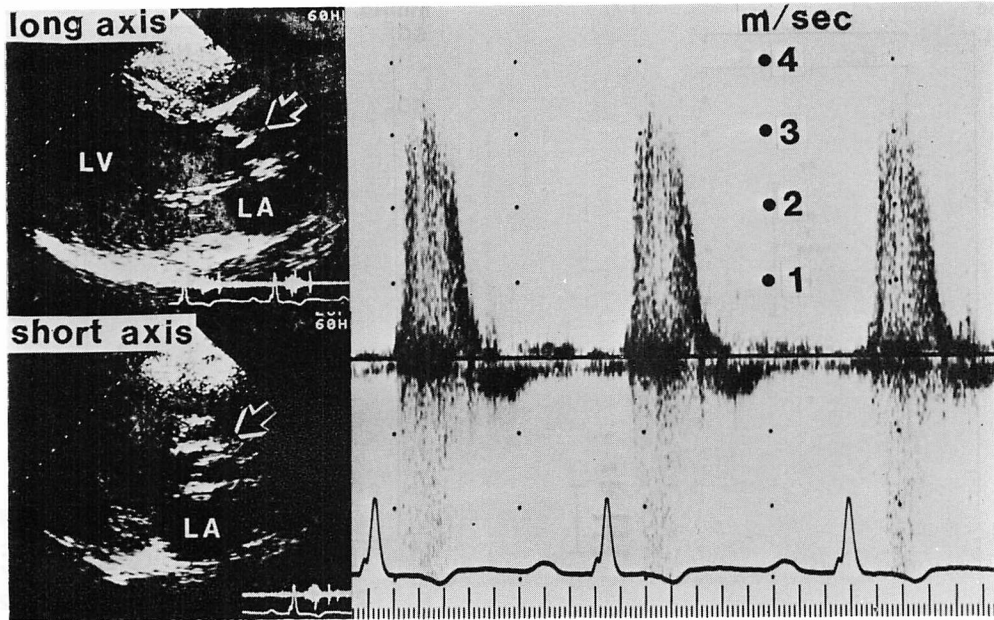


Fig. 6. Two-dimensional echograms (left panel) and continuous wave Doppler echogram (right panel) of a patient with a calcified Carpentier-Edwards 29 mm aortic valve inserted six years ago.

The peak flow velocity is 3.1 m/sec and the peak pressure gradient is 38 mmHg.

Table 2. Indices measurements of patients with prosthetic aortic valves by type and of normal subjects

	Peak velocity (m/sec)	Mean velocity (m/sec)	Peak pressure gradient (mmHg)	Mean pressure gradient (mmHg)
Björk-Shiley valve	2.5±0.6	1.7±0.4	26±12	14±6
St. Jude Medical valve	2.7±0.4	1.8±0.3	30±9	16±5
Carpentier-Edwards valve	2.7±0.7	1.9±0.5	31±15	18±9
Normal subjects	1.1±0.2	0.8±0.1	5±2	3±1

Mean velocity, mean pressure gradient の平均値は Table 2 に示すごとくである。

4. 弁のサイズと各指標との関係

Fig. 9 に Björk-Shiley 弁における peak flow velocity と弁のサイズの関係を示す。横軸は規格として表示された有効弁口面積を示している。弁口面積が小さいほど peak flow velocity は高値を示す傾向があり、有効弁口面積 (X) と peak flow velocity (Y) との間には

$$Y = -0.4 X + 3.5 \quad (r = -0.62, p < 0.01)$$

の関係式が認められた。また有効弁口面積 (X) と体表面積で補正した peak flow velocity (Y') との間にも

$$Y' = -1.5 X + 5 \quad (r = -0.60, p < 0.01)$$

と同様の結果が得られた。Björk-Shiley 弁のサイズと他の3つの指標との関係を Table 3 に示す。Table 4 に3つの人工弁のサイズ別の平均圧較差の平均値を示す。St. Jude Medical 弁でもサ

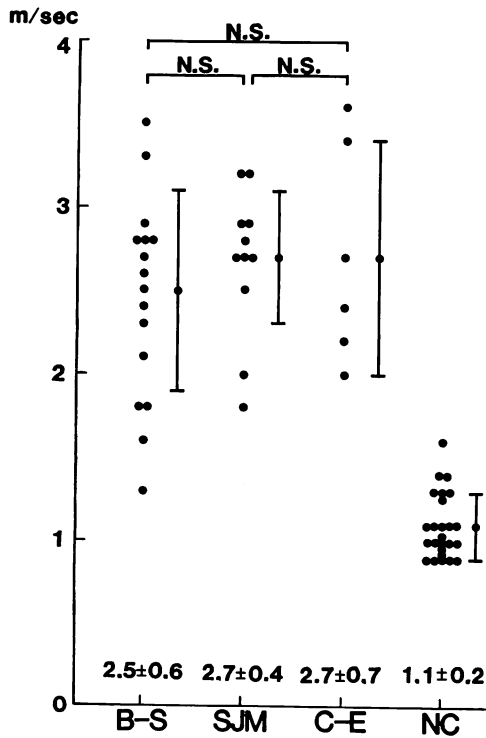


Fig. 7. Comparison of peak aortic flow velocities of patients with Björk-Shiley (B-S), St. Jude Medical (SJM), Carpentier-Edwards (C-E) valves and of normal subjects (NC).

The peak flow velocity of patients with prosthetic valves is significantly increased compared with that of NC, but it does not differ significantly relative to the three kinds of prosthetic valves.

イズが小さいほど高い圧較差を示している。しかし、Carpentier-Edwards 弁サイズ 29 mm の 1 例は、弁のサイズが大きいかかわらず、平均圧較差は 32 mmHg と高値を示していた。

5. 術後経過年数による変化

St. Jude Medical 弁では、術後経過年数 (X) と peak flow velocity (Y) との間に

$$Y = 0.2X + 2.1 \quad (r = 0.66)$$

の正相関が認められ、弁機能の経年的低下が示唆された。

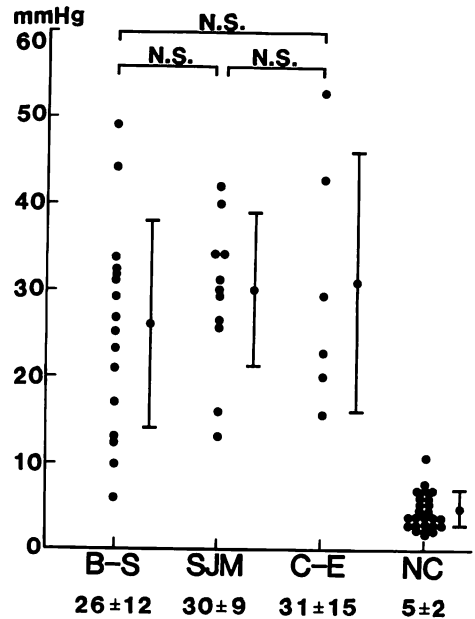


Fig. 8. Comparison of the peak aortic pressure gradients of patients with Björk-Shiley (B-S), St. Jude Medical (SJM), Carpentier-Edwards (C-E) valves and of normal subjects (NC).

Peak pressure gradient of patients with prosthetic valves is significantly increased compared with that of NC, but is not significantly different relative to the three kinds of prosthetic valves. Values of peak pressure gradients exceeding 30 mmHg are seen in 40% of the patients with aortic prosthetic valve.

考 察

1. 連続波ドプラー法による大動脈弁口部の圧較差の評価

Hatle らにより提唱された Bernoulli の簡易式, $P = 4V^2$, を用いることにより、各種弁狭窄症における圧較差の評価が可能であることはすでに報告されている⁵⁻¹⁶⁾。大動脈弁狭窄症においても Hatle ら^{13,14)}, Berger ら¹⁵⁾, および我々¹⁶⁾は、連続波ドプラー法を用いて弁口部圧較差を評価できることを報告している。大動脈弁置換例においても、血行動態的には大動脈弁狭窄症の場合と同様に、最大血流速度から最大圧較差を評価することが可能であると思われる。しかし、今まで大動

脈弁置換例において、連続波ドプラーより得られた圧較差と心カテーテル検査から得られた圧較差を比較検討した報告はない。以下、まず連続波ド

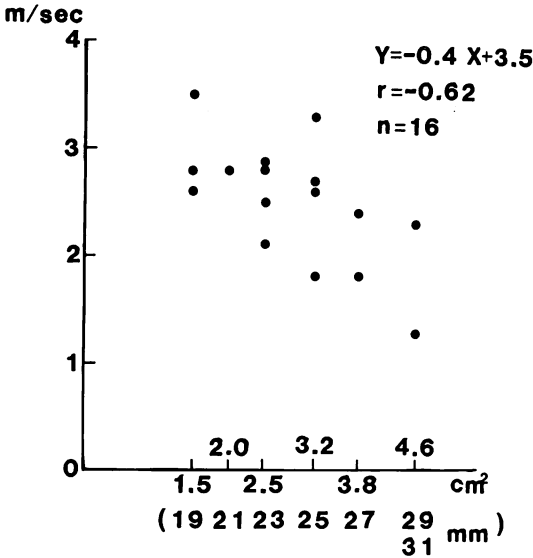


Fig. 9. Comparison of the peak flow velocity and valvular size of Björk-Shiley aortic valves. A clear correlation between peak flow velocity (Y) and valvular size (X) is observed.

プラー法を用いて圧較差を評価する際の留意点について考察する。

1) 圧較差の時相の問題

心カテーテル検査で大動脈弁狭窄症の弁口部圧較差を評価する場合、通常は左室圧の最大値と大動脈圧の最大値の差を圧較差としているが、大動脈圧の最大値は左室圧のそれよりも時相的に遅れることが多く、心カテーテル検査では異なる時相のそれぞれの最大値の差を圧較差とすることが多い。これに対して、連続波ドプラー法の最大血流速度は、収縮期における左室圧と大動脈圧の、瞬時的に変化する圧較差を反映する。したがって、前述の方法で心カテーテル検査から得られる最大圧較差は、連続波ドプラー法で求めた値より低い値を示す可能性がある^{15,21)}。このことは、大動脈弁置換例においても同様である。すなわち、大動脈弁置換例の左室大動脈間圧較差を評価する場合、連続波ドプラー法では時相的なズレはなく、時相的にはより正確な最大圧較差を反映しているといえる。

2) 角度(超音波ビーム入射角)の問題

連続波ドプラー法から Bernoulli の簡易式を用

Table 3. Correlation between valvular size (X) and indices (Y) of Björk-Shiley aortic valve

Indices	Regression equation	r	p value
Peak flow velocity	$Y = -0.4X + 3.5$	-0.62	<0.01
Mean flow velocity	$Y = -0.3X + 2.5$	-0.70	<0.01
Peak pressure gradient	$Y = -6.8X + 45.9$	-0.60	<0.01
Mean pressure gradient	$Y = -4.1X + 25.7$	-0.65	<0.01

Table 4. Mean pressure gradients by type of aortic valve prosthesis and valve size

Valve \ Size (mm)	19	21	23	25	27	29/31
Björk-Shiley	21 ± 7 (n=3)	16 (n=1)	14 ± 4 (n=4)	14 ± 7 (n=4)	9 ± 4 (n=2)	7 ± 6 (n=2)
St. Jude Medical	23 (n=1)	16 ± 5 (n=5)	13 ± 3 (n=5)	—	—	—
Carpentier-Edwards	—	—	17 ± 12 (n=2)	17 (n=1)	12 ± 1 (n=2)	32 (n=1)

いて圧較差を評価する場合, 誤差要因として超音波ビーム方向と血流方向とのなす角度があげられる^{5,6)}. 両者のなす角度は三次元的なものであり, 真の角度を求めるのは実際上不可能であることと, 角度が20度以下であれば誤差は6%以下と小さいため^{18,23)}, 我々は明瞭なドプラー audio signal と血流波形が得られる場合, 角度を0と仮定して最大血流速度を求めている^{8,16,19,24)}. したがって, わずかな過小評価が生じることは十分考えられる. 大動脈弁置換例では左室心尖部, 胸骨右縁第2肋間, 鎖骨上窩の3方向から大動脈弁口部血流速度を記録できるが, 誤差をできるだけ小さくするために, 3方向から得られた血流速度の最大値を peak flow velocity とした. 人工弁の中では, St. Jude Medical 弁, Carpentier-Edwards 弁は中心流が得られるが, Björk-Shiley 弁は傾斜弁であるため, 前2者と血流の方向が異っている可能性もあるが, 他の弁と同様, 大動脈弁口部血流速度を明瞭に記録することができた.

2. 人工弁の種類による弁開放能の比較

大動脈弁置換例は健常者に比べて有意に高い圧較差を有しており, 軽い大動脈弁狭窄の状態であることが今回の成績から明らかにされた. 一方, 人工弁の種類による比較では, 機械弁である Björk-Shiley 弁, St. Jude Medical 弁, プタ異種弁である Carpentier-Edwards 弁の3つの弁は, peak flow velocity, peak pressure gradient 等の指標でみるかぎり, 等価であると見做しうる.

3. 人工弁のサイズによる弁開放能の比較

Björk-Shiley 弁, St. Jude Medical 弁では, 弁のサイズが小さいほど, peak flow velocity, peak pressure gradient 等の指標は高値を示した. このことより, サイズの小さい弁では弁口面積が絶対的に小さいために高い圧較差を有するものと考えられる. また, 観血的方法を用いて測定した圧較差でも同様な成績が報告されている. すなわち, Björk ら^{25,26)}, Levang ら²⁷⁾は Björk-Shiley 弁において, また Chaitman ら²⁸⁾は Carpentier-

Edwards 弁において, 弁のサイズが小さいほど圧較差が高いことを報告しており, 我々のデータは彼らの報告したサイズ別の平均圧較差によく近似している. 一方, Chaux ら²⁹⁾の St. Jude Medical 弁についての報告では, 平均圧較差はいずれのサイズでも数 mmHg と低値を示し, 弁のサイズによる圧較差の差違は小さいという. しかし, 彼らの報告は術後 24~48 時間以内のものであり, 本報告で検討した慢性期症例における圧較差と同じ条件で比較することはできないと思われる.

このように, 大動脈置換例の圧較差は弁のサイズにより異なるので, 人工弁狭窄の診断は弁のサイズを考慮に入れて慎重になされなければならないと考える. 今回の成績の中で, Carpentier-Edwards 弁サイズ 29 mm の症例においてみられた平均圧較差 32 mmHg は, 同じサイズの Björk-Shiley 弁の 7 mmHg に対し明らかに高値を示しており, 人工弁狭窄と診断することができる.

人工弁における開放能の経年変化に関しては, 観察期間, 症例数を含めて未だ不十分であるが, 非観血的検査法である連続波ドプラー法を用いて, 今後更に検討を重ねていく予定である.

結 語

連続波ドプラー法を用いれば大動脈弁置換例の弁口部圧較差を評価することが可能であり, またその圧較差は弁のサイズにより影響をうける.

要 約

連続波ドプラー法を用いて大動脈置換弁の最大血流速度を求め, 弁開放能, したがって圧較差を評価した. さらに, これを弁の種類, サイズ, 術後経過年数ごとに比較検討した.

対象は大動脈弁置換例 40 例(男 28 例, 女 12 例), 平均年齢 45 ± 15 歳である. 内訳は Björk-Shiley 弁 21 例(弁置換後 1~18 カ月), St. Jude Medical 弁 12 例(弁置換後 6~48 カ月), Carpentier-Ed-

wards 弁7例(弁置換後48~84カ月)である。対照として健康人25例を用いた。左室心尖部、鎖骨上窩、胸骨右縁第2肋間より血流速度を測定して、これらの中の最大の値を peak flow velocity とした。弁開放能を評価するために、peak flow velocity, mean flow velocity, peak pressure gradient, mean pressure gradient の4指標を用いた。その結果は次の通りであった。

1. 大動脈弁置換例40例中33例(83%)に明瞭な peak flow velocity を記録することができた。その平均値は Björk-Shiley 弁では 2.5 ± 0.6 m/sec, St. Jude Medical 弁では 2.7 ± 0.4 m/sec, Carpentier-Edwards 弁では 2.7 ± 0.7 m/sec であった。これに対して健康者の平均値は 1.1 ± 0.2 m/sec であり、大動脈弁置換例ではいずれの種類の人工弁も健康者より明らかに高値を示した ($p < 0.001$)。しかし、各人工弁間では差が認められなかった。Peak pressure gradient も人工弁間では差が認められなかったが、30 mmHg 以上の圧較差を示した症例が13例、約40%に認められた。

2. 弁のサイズと弁開放能の比較では、Björk-Shiley 弁では弁口面積が小さいほど peak flow velocity は高値を示し、有効弁口面積 (X) と、peak flow velocity (Y) との間に、 $Y = -0.4X + 3.5$, $r = -0.62$ の関係式が得られた。

3. 術後経過年数による弁開放能については、十分な評価が得られなかった。

以上、連続波ドプラー法は、大動脈弁置換例の弁開放能の評価に有用であり、弁のサイズと弁開放能の間には相関がみられることが明らかとなった。

文 献

- 1) Warnes CA, Scott ML, Silver GM, Smith CW, Ferrans VJ, Roberts WC: Comparison of late degenerative changes in porcine bioprostheses in the mitral and aortic valve position in the same patient. *Am J Cardiol* **51**: 965-968, 1983
- 2) Alam M, Lakier JB, Pickard SD, Goldstein S: Echocardiographic evaluation of porcine bioprosthetic valves: Experience with 309 normal and 59 dysfunctioning valves. *Am J Cardiol* **52**: 309-315, 1983
- 3) Alam M, Madrazo AC, Magilligan DJ, Goldstein S: M mode and two dimensional echocardiographic features of porcine valve dysfunction. *Am J Cardiol* **43**: 502-509, 1979
- 4) Yoganathan AP, Corcoran WH, Harrison EC, Carl JR: The Björk-Shiley aortic prosthesis: Flow characteristics, thrombus formation and tissue overgrowth. *Circulation* **58**: 70-76, 1978
- 5) Holen J, Aaslid R, Landmark K, Simonsen S: Determination of pressure gradient in mitral stenosis with a non-invasive ultrasound Doppler technique. *Acta Med Scand* **199**: 455-460, 1976
- 6) Hatle L, Brubakk A, Tromsdal A, Angelsen B: Noninvasive assessment of pressure drop in mitral stenosis by Doppler ultrasound. *Br Heart J* **40**: 131-140, 1978
- 7) Holen J, Simonsen S: Determination of pressure gradient in mitral stenosis with Doppler echocardiography. *Br Heart J* **41**: 529-535, 1979
- 8) Tei C, Kisanuki A, Arima S, Arikawa K, Otsuji Y, Tomoyose K, Tanaka H: Continuous wave Doppler measurement of transmitral pressure gradient in mitral stenosis: Comparison with catheterization measurement by simultaneous recordings. *J Cardiography (in press, in Japanese)*
- 9) Lima CO, Sahn DJ, Valdes-Cruz LM, Goldberg SJ, Barron JV, Allen HD, Grenadier E: Noninvasive prediction of transvalvular pressure gradient in patients with pulmonary stenosis by quantitative two-dimensional echocardiographic Doppler studies. *Circulation* **67**: 866-871, 1983
- 10) Johnson GL, Kwan OL, Handshoe S, Noonan JA, Demaria A: Accuracy of combined two-dimensional echocardiography and continuous wave Doppler recordings in the estimation of pressure gradient in right ventricular outlet obstruction. *J Am Coll Cardiol* **3**: 1013-1018, 1984
- 11) 北嶋 颯, 藤井謙司, 浅生雅人, 田内 潤, 森田利男, 石原 謙, 増山 理, 伊藤 浩, 堀 正二, 井上通敏, 阿部 裕, 小林順二郎, 加藤 寛, 松田 暉: 肺動脈狭窄症における圧較差の非侵襲的推定—連続波ドプラー法による検討—日超医講演論文集 **43**: 623-624, 1983
- 12) Valdes-Cruz LM, Horowitz S, Sahn DJ, Larson D, Lima CO, Mesel E: Validation of a Doppler echocardiographic method for calculating severity of discrete stenotic obstructions in a canine preparation with a pulmonary arterial band. *Circulation* **69**: 1177-1181, 1984
- 13) Hatle L, Angelsen A, Tromsdal A: Non-invasive

- assessment of aortic stenosis by Doppler ultrasound. *Br Heart J* **43**: 284-292, 1980
- 14) Hatle L: Noninvasive assessment and differentiation of left ventricular outflow obstruction with Doppler ultrasound. *Circulation* **64**: 381-387, 1981
 - 15) Berger M, Berdoff RL, Gallerstein PE, Goldberg E: Evaluation of aortic stenosis by continuous wave Doppler ultrasound. *J Am Coll Cardiol* **3**: 150-156, 1984
 - 16) Tei C, Kisanuki A, Arikawa K, Otsuji Y, Arima S, Kashima T, Tanaka H, Kushitani M, Shah PM: Continuous wave Doppler echocardiographic assessment of aortic stenosis and aortic regurgitation. *J Cardiology* **15**: 111-121, 1985
 - 17) Holen J, Hange SN: Evaluation of obstructive characteristics of mitral disc valve implants with ultrasound Doppler techniques. *Acta Med Scand* **201**: 429-434, 1977
 - 18) Holen J, Simonsen S, Frøysaker T: An ultrasound Doppler technique for the noninvasive determination of the pressure gradient in the Björk-Shiley mitral valve. *Circulation* **59**: 436-442, 1979
 - 19) Kisanuki A, Tei C, Arikawa K, Natsugoe K, Otsuji Y, Kawazoe Y, Tanaka H, Morishita Y, Maruko M, Taira A: Continuous wave Doppler assessment of prosthetic valves in mitral position: Comparison of the St. Jude Medical mechanical valve and porcine xenograft valve. *J Cardiology* **15**: 1119-1127, 1985
 - 20) Weinstein IR, Marbarger JP, Pérez JE: Ultrasonic assessment of the St. Jude prosthetic valve: M-mode, two-dimensional, and Doppler echocardiography. *Circulation* **68**: 897-905, 1983
 - 21) Hatle L: Assessment of aortic blood flow velocities with continuous wave Doppler ultrasound in the neonate and young child. *J Am Coll Cardiol* **5**: 113S-119S, 1985
 - 22) Folland ED, Parisi A, Carbone C: Is peripheral arterial pressure a satisfactory substitute for ascending aortic pressure when measuring aortic valve gradients? *J Am Coll Cardiol* **4**: 1207-1212, 1984
 - 23) Lewis JF, Kuo LC, Nelson JG, Limacher MC, Quinones MA: Pulsed Doppler echocardiographic determination of stroke volume and cardiac output: Clinical validation of two new methods using the apical window. *Circulation* **70**: 425-431, 1984
 - 24) Tei C, Kisanuki A, Arima S, Arikawa K, Otsuji Y, Ri S, Kashima T, Tanaka H: Non-invasive assessment of right ventricular pressure in patients with tricuspid regurgitation by continuous wave Doppler echocardiogram. *Circulation* **70** (Suppl II): II-116, 1984
 - 25) Björk VO, Holmgren A, Olin C, Ovenfors CO: Clinical and haemodynamic results of aortic valve replacement with the Björk-Shiley tilting disc valve prosthesis. *Scand J Thorac Cardiovasc Surg* **5**: 177-191, 1971
 - 26) Björk VO, Henze A, Holmgren A, Szamosi A: Evaluation of the 21 mm Björk-Shiley tilting disc valve in patients with narrow aortic roots. *Scand J Thorac Cardiovasc Surg* **7**: 203-213, 1973
 - 27) Levang OW, Hauge SN, Levorstad K, Frøysaker T: Aortic valve replacement. A randomized study comparing the Björk-Shiley and Lillehei-Kaster disc valves. *Scand J Thorac Cardiovasc Surg* **13**: 199-213, 1979
 - 28) Chaitman BR, Bonan R, Lepage G, Tubau JF, David PR, Dyrda I, Grondin CM: Hemodynamic evaluation of the Carpentier-Edwards porcine xenograft. *Circulation* **60**: 1170-1182, 1979
 - 29) Chaux A, Gray RJ, Matloff JM, Feldman H, Sustaita H: An appreciation of the new St. Jude valvular prosthesis. *J Thorac Cardiovasc Surg* **81**: 202-211, 1981