

超音波連続波ドプラー法による僧帽弁置換例の評価：
St. Jude Medical 機械弁とブタ異種弁との比較

Continuous wave Doppler assessment of prosthetic valves in the mitral position: Comparison of the St. Jude Medical mechanical valve and the porcine xenograft valve

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

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

Summary

To assess the opening function of prosthetic valves in the mitral position with special reference to the type and size of the valve and the years since replacement, we recorded maximum flow velocity through the mitral orifice using continuous wave Doppler echocardiography for 50 patients with mitral valve replacement and 15 normal subjects. There were 33 patients with St. Jude Medical valves and 17 with porcine xenograft valves. An ultrasonic transducer was placed over the left ventricular apex and the direction of the ultrasonic beam was positioned to be parallel with mitral flow using the Doppler audio signals. A pressure gradient was calculated from continuous wave Doppler flow velocity with a simplified Bernoulli's equation proposed by Hatle et al. The peak and mean maximum flow velocity, mean pressure gradient across the valve and the pressure half time were measured to evaluate the

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, Usukicho 1208-1, Kagoshima 890

Received for publication January 24, 1985; accepted February 22, 1985 (Ref. No. 29-9)

opening function of the prosthetic valve.

The results were as follows:

1. All four measurements were significantly larger in patients with valve replacements than in normal subjects, and were significantly increased in patients with porcine xenograft valves compared to those with St. Jude Medical valves.

2. The opening function was well maintained in patients having larger valves than in those having smaller ones in the group of St. Jude Medical valve replacement.

3. In patients who had porcine xenograft valve for four years or more, the opening function was decreased the more years they had been implanted.

We conclude that continuous wave Doppler echocardiography is a useful noninvasive method for the quantitative assessment of the diastolic opening function of the prosthetic mitral valve.

Key words

Continuous wave Doppler echocardiography

St. Jude Medical valve

Porcine xenograft valve

はじめに

人工弁置換術が始めて臨床に應用されて以来、約20年が経過しており、人工弁の機能を把握することは、術後管理の上で非常に重要である。従来、人工弁の機能を非観血的に評価する場合、心音図、Mモードおよび断層心エコー図¹⁾、あるいはパルスドプラーエコー法²⁾の有用性が報告されているが、いずれの方法も弁機能の定量的評価には限界があり、十分ではない。最近、心疾患の診断に應用され始めた連続波ドプラー法は、血流の最高速度を測定することが可能であり、各種弁狭窄の定量的評価に有用であることが報告されている³⁻⁷⁾。しかし、連続波ドプラー法を用いて人工弁の機能を定量的に評価した報告は少ない⁸⁾。この研究の目的は、連続波ドプラー法を用いて、僧帽弁置換術例における拡張期の血流最大速度を測定し、人工弁の機能を人工弁の種類、サイズ、術後経過年数による変化の3点について検討することである。

対象と方法

対象は僧帽弁置換例50例で、男29例、女21例、平均年齢は 43 ± 10 歳 (mean \pm standard deviation) である。その内訳は St. Jude Medical (SJM) mechanical valve 33例 (弁置換後 6~48

ヵ月、サイズ 27 mm: 10例、29 mm: 13例、31 mm: 10例)、porcine xenograft 17例 (弁置換後 54~114ヵ月、Carpentier-Edwards 弁9例、Hancock 弁8例、サイズ 29 mm: 3例、31 mm: 13例、33 mm: 1例) である。健常人15例 (男8例、女7例、平均年齢 42 ± 15 歳) をコントロールとした。

連続波ドプラーの装置は東芝 SSH 40 B-SDS 21 B、あるいは Pedof Doppler system を東芝 SSH 11 A-SDS 10 A に複合させたものを用いた。探触子は左側臥位にて左室心尖部におき、連続波ドプラー用の超音波ビームを人工弁を通過する血流に対して平行になるように入射した (Fig. 1)。連続波ドプラーエコー図は strip chart recorder を用いて、紙送り速度 50 mm/sec および 100 mm/sec で記録した。連続波ドプラー用の超音波ビームと血流とはほぼ平行であると仮定して血流速度を算出した。連続波ドプラーから人工弁の機能を評価するために、peak velocity, mean velocity, pressure half time, mean pressure gradient の4つの指標を用いた。Peak velocity は拡張早期の rapid filling における最大速度を、mean velocity は拡張期全体の面積を拡張期時間で除した値である。Mean pressure gradient は、Hatle ら⁴⁾により提唱された簡易 Bernoulli の式、 $P = 4 V^2$ (P: 圧較差, V: 最大速度) を用いて、拡

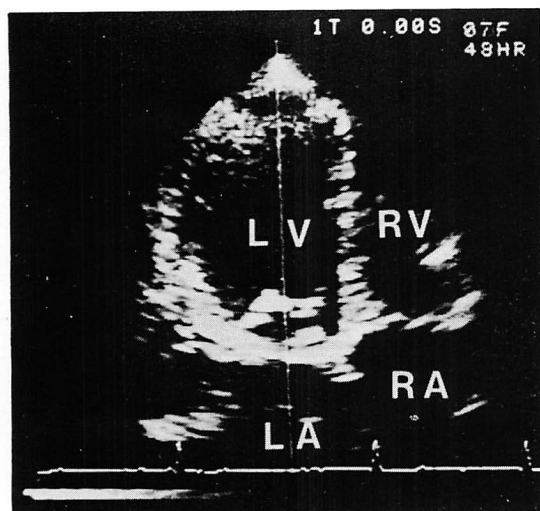


Fig. 1. Left ventricular apical 4-chamber view of a patient with mitral porcine xenograft valve.

The white line shows the ultrasonic beam direction of continuous wave Doppler echocardiography parallel to the flow through the valve orifice.

RV=right ventricle; LA=left atrium; RA=right atrium; LV=left ventricle.

張期の最大速度から最大圧較差曲線を作成し、その面積を拡張期時間で除した値である。Pressure half time は Hatle ら⁹⁾により提唱されたもので、拡張早期の最大圧較差から 1/2 の圧較差になるまでの時間である。これらの指標は、light pen method を用いて、Picture Analyser model Σ5 を一部改良したマイクロコンピューターにより自動的に求め、連続 10 心拍の平均値をその値とした。Fig. 2 はその一例である。上段は porcine xenograft の連続波ドプラーエコー図であるが、矢印の心拍を light pen でトレースすると、下段の図が得られる。下段左は血流速度曲線を、下段右は血流速度から得られた圧較差曲線を示している。上段と下段の間にコンピューターで自動的に計算された、peak velocity, mean velocity, velocity gradient (速度曲線の傾き), peak pressure gradient, mean pressure gradient, pressure half time の値が示されている。

結 果

健常者の僧帽弁口部を通過する連続波ドプラーエコー図は、急速流入期と心房収縮期とに、計二峰性の流速波形を示したが (Fig. 3), 心房細動を伴った弁置換例では、拡張早期の峰だけで、一峰性を示した (Fig. 2)。以下、弁の種類、サイズ、経年的変化による peak velocity, mean velocity, pressure half time, mean pressure gradient の結果を述べる。

1. 人工弁の種類による各指標の比較

Table 1 はその結果を示す。拡張早期の peak velocity の平均は、SJM 弁では 1.4 ± 0.3 m/sec, porcine xenograft では 1.8 ± 0.3 m/sec であり、人工弁例はいずれも健常者 (0.8 ± 0.1 m/sec) に比べて高値を示した ($p < 0.001$)。人工弁の中では porcine xenograft が SJM 弁より有意に ($p < 0.001$) 高値を示した (Fig. 4)。Mean velocity, pressure half time, mean pressure gradient の 3 つの指標は、Table 1 に示すごとく、いずれも peak velocity と同様に、人工弁例の方が健常者より高値を示し ($p < 0.001$ または $p < 0.01$)、かつ porcine xenograft の方が SJM 弁に比べて高値を示した ($p < 0.001$)。

2. 人工弁のサイズの違いによる各指標の比較

SJM 弁の peak velocity は、サイズ 27 mm では 1.5 ± 0.2 m/sec, 29 mm では 1.4 ± 0.2 m/sec, 31 mm では 1.3 ± 0.3 m/sec と、サイズが大きくなるにつれ低値を示し、サイズ 27 mm と 31 mm との間には統計学的な有意差 ($p < 0.05$) が得られた (Fig. 5)。また mean velocity, mean pressure gradient も弁のサイズが大きいほど低値を示したが、有意差は認められなかった。一方、porcine xenograft では、サイズ 29 mm と 33 mm の症例が少なく、統計処理が困難であった。

3. 術後経過年数による各指標の比較

SJM 弁では術後 4 年以内の症例において、4 つの指標にはいずれも経年的変化を認めなかった。これに対し porcine xenograft における mean

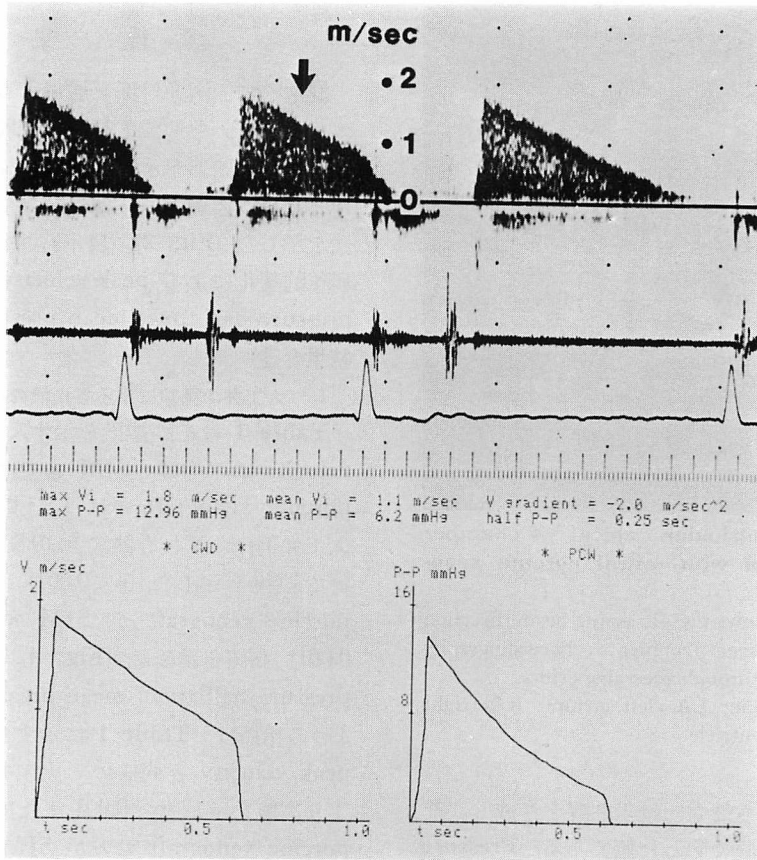


Fig. 2. Measurements of flow velocity, pressure gradient and pressure half time obtained using the microcomputer method in a patient with mitral porcine xenograft valve.

The upper panel shows continuous wave Doppler echogram. The left lower panel is the velocity curve of the second heart beat (black arrow) traced by light pen method, and the right lower one is pressure gradient curve obtained by the microcomputer using a simplified Bernoulli's equation.

max Vi=peak flow velocity in early diastole; mean Vi=mean flow velocity; V gradient=velocity gradient; max P-P=peak pressure gradient in early diastole; mean P-P=mean pressure gradient; half P-P=pressure half time.

Table 1. Summary of measurements of four indexes in patients with mitral prosthesis and normal subjects

	Peak flow velocity (m/sec)	Mean flow velocity (m/sec)	Pressure half time (msec)	Mean pressure gradient (mmHg)
St. Jude Medical valve	-1.4 ± 0.3	-0.8 ± 0.1	86 ± 21	-3.5 ± 1.1
Porcine xenograft	$-1.8 \pm 0.3^{**}$	$-1.1 \pm 0.3^{**}$	$150 \pm 80^*$	$-5.9 \pm 3.0^{**}$
Normal subjects	-0.8 ± 0.1	-0.7 ± 0.1	67 ± 13	-1.2 ± 0.4

P value: $**=p<0.001$, $*=p<0.01$.

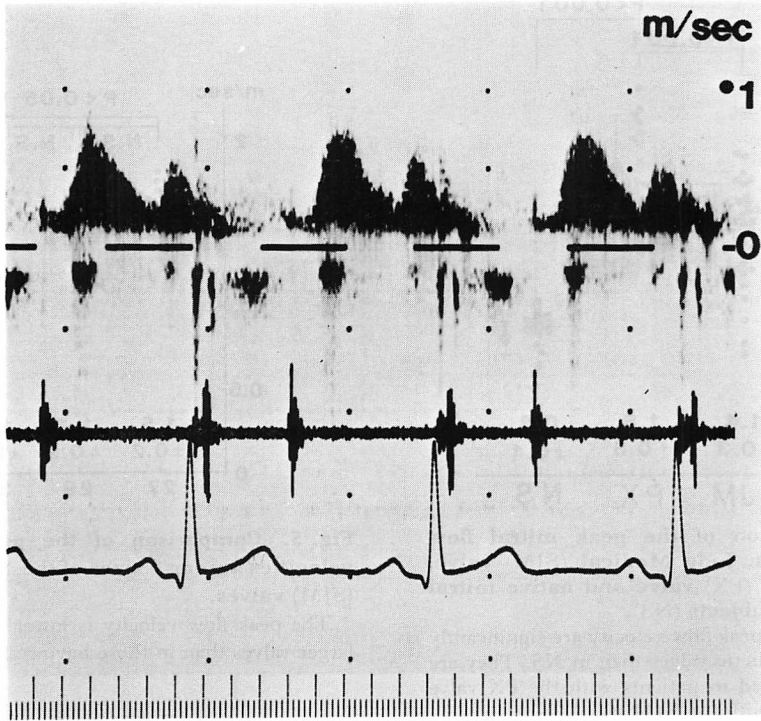


Fig. 3. Mitral flow velocity recorded with continuous wave Doppler echogram from a normal subject.

The pattern of the diastolic flow velocity is biphasic and similar to that of the M-mode echogram of the anterior mitral leaflet. The peak flow velocity is 0.7 m/sec.

pressure gradient は、術後9年半を経過しているにもかかわらず、増大していない症例が1例存在したが、他の例では術後4年半から8年経過した症例では、経過年数とともに mean pressure gradient は明らかな増大を示し、両者間に正相関が認められた ($r=0.72$)。また peak velocity, mean velocity, pressure half time の値も、1例を除くと、mean pressure gradient と同様な経年変化を示した。

4. 症例例示

正常に機能していると思われる人工弁 (Figs. 6, 7), および機能低下が示唆される人工弁 (Fig. 8) の実例を示す。

Fig. 6 は SJM 弁の例で、最大血流速度は 1.2 m/sec で健常者に比べて大きな例を示すが、拡張

期のスロープは健常者と類似している。**Fig. 7** は porcine xenograft の例で、最大流速は 1.8 m/sec と健常者、SJM 弁症例に比し増大し、また拡張期のスロープはそれらに比べて緩徐である。**Fig. 8** は断層心エコー図にて弁尖に石灰化が認められた porcine xenograft の例で、拡張期のスロープの傾きはさらに低下し、最大流速も増大して、僧帽弁狭窄症に類似したパターンを呈している。

考 察

Hatle らは Bernoulli の簡易式を用いて、連続波ドプラー法より、僧帽弁狭窄症における弁口部圧較差を非観血的に測定し得ることをはじめて報告した⁴⁾。我々は圧と連続波ドプラーの同時記録により、この式の妥当性を支持する結果を報告し

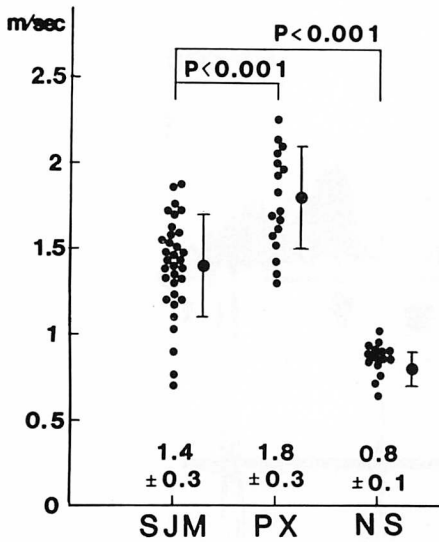


Fig. 4. Comparison of the peak mitral flow velocity of the St. Jude Medical (SJM) valve, porcine xenograft (PX) valve and native mitral valve of normal subjects (NS).

The values of the peak flow velocity are significantly larger in both prosthetic valves than in NS. They are significantly increased in patients with the PX valve compared to those with the SJM valve.

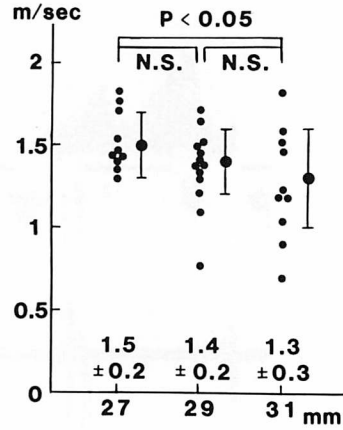


Fig. 5. Comparison of the peak mitral flow velocities among 3 sizes of the St. Jude Medical (SJM) valves.

The peak flow velocity is lower in patients having larger valves than in those having smaller ones.

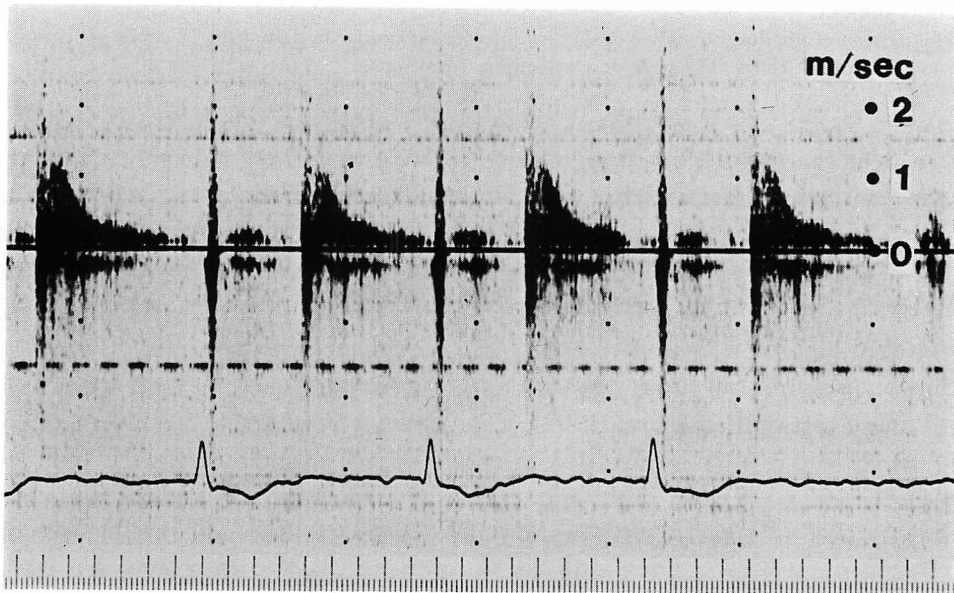


Fig. 6. Continuous wave Doppler echogram of a patient having normal function of St. Jude Medical valve in mitral position.

The diastolic slope of the maximum flow velocity is similar to that of normal subjects. The peak flow velocity is 1.2 m/sec.

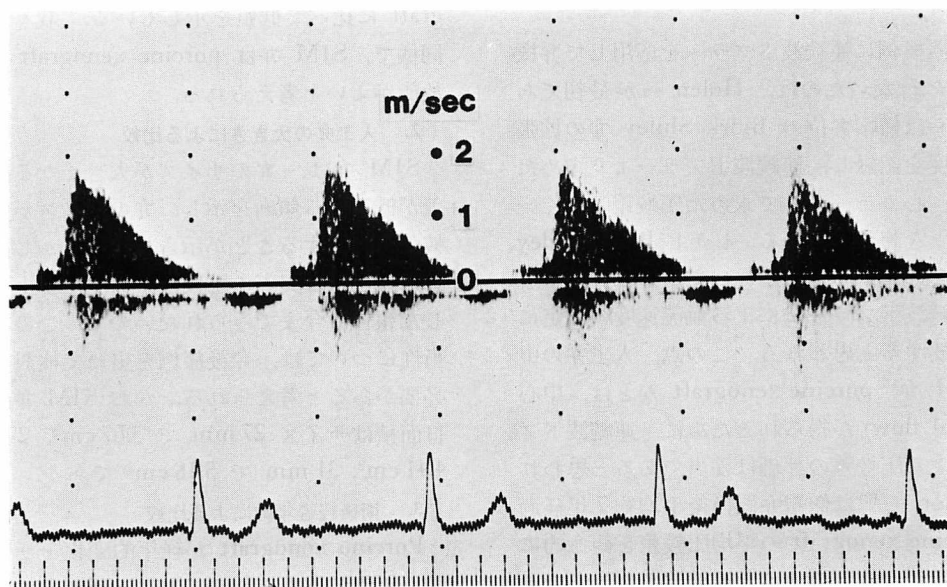


Fig. 7. Continuous wave Doppler echogram of a patient having normal function of a porcine xenograft valve in the mitral position.

The peak flow velocity is 1.8 m/sec and the diastolic slope is gentle in comparison with that of the St. Jude Medical valve shown in Fig. 6.

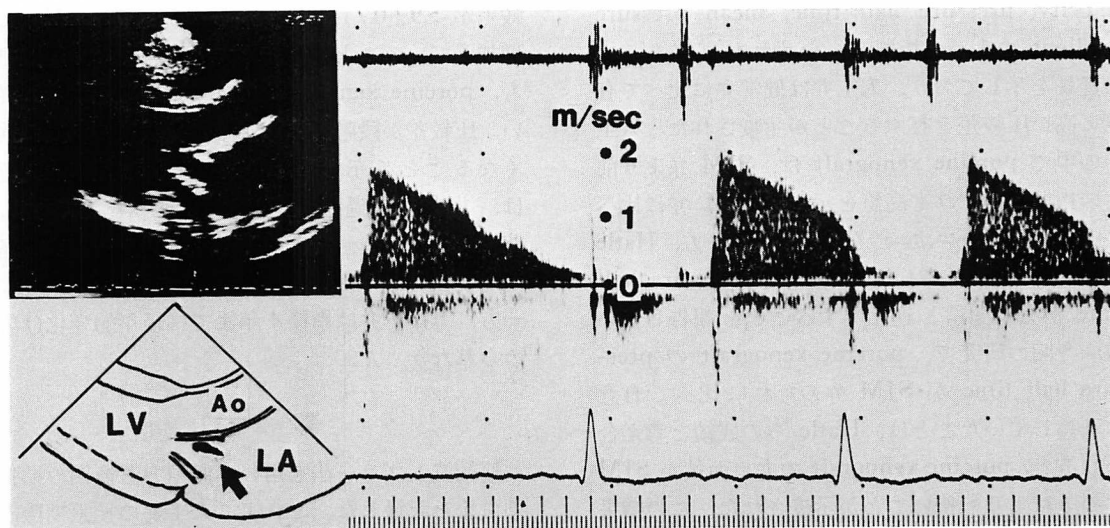


Fig. 8. Two-dimensional (left panel) and continuous wave Doppler (right panel) echogram of a patient with a calcified porcine xenograft valve in the mitral position.

The peak flow velocity is increased (1.9 m/sec). The diastolic slope of the velocity is markedly decreased compared with that of normal subjects. The pattern of continuous wave Doppler echo is similar to that of mitral stenosis.

LV=left ventricle; LA=left atrium; Ao=aorta.

ている^{10,11)}.

人工弁置換例に連続波ドプラーを応用して弁機能の評価を行なったのは, Holen らが最初である¹²⁾. 彼らは僧帽弁位の Björk Shiley 弁の拡張期血流速度を記録し, 連続波ドプラーより求めた圧較差が, 心カテーテルで求めた圧較差とよく一致することを報告している. しかし Björk Shiley 弁では弁を通過する血流が弁口を斜めに通過するため, 連続波ドプラー法による血流速度の測定には注意を要すると思われる. この点, 人工弁の中でも SJM 弁, porcine xenograft などは, 中心流 (central flow) が得られるために, 連続波ドプラー法による圧較差の評価は妥当であると思われる. Lipson ら¹³⁾は僧帽弁置換後平均約7年経過した porcine xenograft の平均圧較差を観血的に求めているが, 彼らの成績と連続波ドプラーで求めた今回の成績は近似している.

1. 人工弁の種類による比較

僧帽弁置換例と健常者における弁機能の比較では, 人工弁例は健常者より peak velocity, mean velocity, pressure half time, mean pressure gradient の4つの指標が, いずれも高値あるいは延長を示しており, 人工弁は健常弁に比べて有意に高い圧較差を有することが示唆された. 人工弁の中で porcine xenograft は, SJM 弁より前述の指標がいずれも高値を示し, SJM 弁に比べて圧較差が大きいことを示した. 一方, Hatle ら⁹⁾は, 僧帽弁狭窄症において, pressure half time が弁口面積と逆相関することを報告している. 今回の研究で, porcine xenograft の pressure half time が SJM 弁のそれに比べて有意に延長していたことは, Hatle らの成績と考え合わせると, porcine xenograft の弁口面積が SJM 弁のそれよりも狭いことが示唆された. この結果は Chaux ら¹⁴⁾の成績に一致している. 彼らは僧帽弁置換後1~2日の SJM 弁と porcine xenograft 症例の平均圧較差を観血的に測定したが, SJM 弁は 1.8 ± 0.8 mmHg, porcine xenograft は 3.6 ± 2.3 mmHg で, SJM 弁の方が porcine xeno-

graft に比べて低値を示している. 我々の成績も同様で, SJM 弁は porcine xenograft よりも開放能がよいと考えられる.

2. 人工弁の大きさによる比較

SJM 弁は, 弁のサイズが大きくなるにつれ圧較差が低下する傾向を示し, 弁のサイズが弁口部圧較差に影響することが示された. しかし観血的に弁の大きさと実際の圧較差との関係を十分に検討した報告は今までみられないので, この結果の妥当性については, 今後症例を重ねて検討していく必要があると考えられる. なお SJM 弁の有効弁口面積はサイズ 27 mm で 3.67 cm², 29 mm で 4.41 cm², 31 mm で 5.18 cm² である.

3. 術後経過年数による比較

Porcine xenograft が経年的変化をうけ, 弁尖に石灰化が認められることは, 断層心エコー図上よく経験することであるが, 断層心エコー図では圧較差の評価は困難である. Lipson ら¹³⁾は同一の porcine xenograft において, 僧帽弁置換直後と平均約7年後の圧較差を観血的に測定し, 圧較差が 5.9 ± 0.7 mmHg から 8.6 ± 0.7 mmHg に増加していることを報告している. 我々の結果でも, porcine xenograft では年数が経過するに従い, 圧較差が段階的に増加し, 弁狭窄の程度が強くなることが示された. このような経年的変化は, 患者の経過観察上十分留意すべき点であり, 非観血的な検査法である連続波ドプラー法は, 経年的変化を評価する上で有用な方法と思われる. 一方, SJM 弁は術後4年までは経年的変化は認められなかった.

要 約

連続波ドプラー法を用いて僧帽弁置換例の拡張期血流を記録した. これより人工弁の拡張期機能の評価し, 弁の種類, サイズ, 術後経過年数による変化について検討した.

対象は僧帽弁置換例 50 例. 内訳は St. Jude Medical (SJM) valve 33 例 (弁置換後 6~48 ヶ月) と porcine xenograft 17 例 (弁置換後 54~114

ヵ月)であり、健常者 15 例を対照とした。人工弁機能の評価には、peak velocity, mean velocity, pressure half time, 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. 人工弁置換例は健常者より高い圧較差を有した。人工弁の中では SJM 弁が porcine xenograft より開放能は良好であった。

2. SJM 弁では弁のサイズが大きい程開放能は良好であった。

3. SJM 弁の術後 4 年以内の症例では、経年的変化は認めなかった。一方、術後 4 年以上経過した porcine xenograft 症例では、弁機能の経年的低下を認めた。

以上の結果より、連続波ドプラー法は、僧帽弁置換例の弁機能の定量的評価に有用であると結論した。

文 献

- 1) Kotler MN, Mintz GS, Panidis I, Morganroth J, Segal B, Ross J: Noninvasive evaluation of normal and abnormal prosthetic valve function. *J Am Coll Cardiol* 2: 151-73, 1983
- 2) 高橋 宏, 林 享, 伊藤勝啓, 中川敬之助, 美濃地忠彦, 田村栄稔, 跡部正明, 松本 学, 北村信夫: 超音波パルスドプラー法による人工弁置換後の僧帽弁口部血流速度波の検討. *日超医講演論文集* 37: 47-48, 1980
- 3) Holen J, Aaslid R, Landmark K, Simonsen S: Determination of pressure gradient in mitral stenosis with a noninvasive ultrasound Doppler technique. *Acta Med Scand* 199: 455-460, 1976
- 4) 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
- 5) Hatle L, Angelsen B, Tromsdal A: Noninvasive assessment of aortic stenosis by Doppler ultrasound. *Br Heart J* 43: 284-292, 1980
- 6) Johnson GL, Kwan OL, Handshoe S, Noonan JA, Demaria AN: 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: 1013-8, 1984
- 7) Holen J, Hauge SN: Evaluation of obstructive characteristics of mitral disc valve implants with ultrasound Doppler techniques. *Acta Med Scand* 201: 429-434, 1977
- 8) Weinstein IR, Marbarger JP, Perez JE: Ultrasonic assessment of the St. Jude prosthetic valve: M-mode, two dimensional and Doppler echocardiography. *Circulation* 68: 897-905, 1983
- 9) Hatle L, Angelsen B, Tromsdal A: Noninvasive assessment of atrioventricular pressure half time by Doppler ultrasound. *Circulation* 60: 1096-1104, 1979
- 10) 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
- 11) 鄭 忠和, 木佐貫 彰, 有馬新一, 有川清猛, 尾辻 豊, 田中弘允: 超音波連続波ドプラー法による三尖弁閉鎖不全症における右室圧の定量的評価. *日超医講演論文集* 44: 533-534, 1984
- 12) 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
- 13) Lipson LC, Kent KM, Rosing DR, Bonow RO, McIntosh CL, Condit J, Epstein SE, Morrow AG: Long-term hemodynamic assessment of the porcine heterograft in the mitral position. Late development of valvular stenosis. *Circulation* 64: 397-402, 1981
- 14) Chauv A, Gray R, Matloff JM, Feldman H, Sustaita H: An appreciation of the new St. Jude valvular prosthesis. *J Thorac Cardiovasc Surg* 81: 201-211, 1981