

心エコー図法による大動脈 弁狭窄症の術前評価

Echocardiographic as- sessment for surgical treatment in patients with aortic stenosis

太田 稔明
岩橋 和彦
神田 裕史*
佐藤 洋
岡田 昌義
中村 和夫

Toshiaki OTA
Kazuhiko IWAHASHI
Hirofumi KANDA*
Hiroshi SATO
Masayoshi OKADA
Kazuo NAKAMURA

Summary

The diagnostic value of preoperative echocardiography was assessed in 51 patients with aortic stenosis. We measured 1) left ventricular-aortic pressure gradient (LV-Ao PG), 2) aortic valve area (AVA), 3) grade of LV hypertrophy and function, and 4) aortic annulus diameter for determining the availability and size of a prosthesis.

The maximal instantaneous PG (max-PG) by continuous-wave (cw) Doppler echocardiography correlated well with the peak-to-peak PG by cardiac catheterization (cath), and their correlation equation was $y=1.49x-48.3$ with a correlation coefficient of 0.90. Excellent correlations were also found between cw-max PG and cath-max PG ($r=0.84$), and between cw-mean systolic PG and cath-mean systolic PG ($r=0.80$). The AVA of the echocardiogram, which was derived from the stroke volume using Gibson's M-mode echocardiographic formula and the cw-Doppler echocardiographic mean gradient, correlated well with the AVA of the cardiac catheterization using Gorlin's formula ($y=1.33x-0.61$, $r=0.79$). Preoperative LV pump function, which was obtained from the M-mode echocardiogram, correlated inversely with end-systolic wall stress, and a depressed LV pump function was observed in patients with inadequate hypertrophy. In such patients, however, depressed function was alleviated after surgical treatment. Thus, we considered that cardiac catheterization for further examination is unnecessary, even in such patients. To determine the available size of the prosthesis, measurement of the inner diameter of the aortic annulus on the long-axis cross-sections was the most useful. The difference in size between the inner diameter and the implanted prosthesis was 0.6 mm in average. The values from the outer diameter were also useful when the aortic valves were severely calcified.

These results indicated that, prior to surgical treatment in patients with aortic stenosis, echocardiography is indispensable and cardiac catheterization is unnecessary for preoperative evaluation, if coronary heart disease is carefully excluded.

神戸大学医学部 第二外科
神戸市中央区楠町 7-5-2 (〒650)
*中津済生会病院 胸部外科

The Second Department of Surgery, Kobe University
School of Medicine, Kusunoki-cho 7-5-2, Chuo-ku,
Kobe 650

*Department of Thoracic Surgery, Nakatsu-Saiseikai
Hospital

Received for publication February 4, 1991; accepted June 13, 1991 (Ref. No. 38-95)

Key words

Aortic stenosis Echocardiography Preoperative assessment

はじめに

大動脈弁狭窄症 (aortic stenosis, 以下 AS) における術前評価, 特に重症度の判定や手術効果の予測のための必須評価事項としては, 1) 左室-大動脈圧較差の測定, 2) 機能的弁口面積の測定, 3) 左室機能および左室肥大の程度の評価, 4) 使用可能な人工弁サイズの決定のための大動脈弁輪径の測定の4点が挙げられる。以下, これらにつき我々の現在までの検討結果を報告し, AS の術前評価における心エコー図法の妥当性と有用性を述べる。

対象および方法

1980年以降の AS 手術症例総計 51 例 (年齢 30-73 歳, 平均 58 歳, 男性 23 例, 女性 28 例) を対象とした。手術適応がないと判断された軽症例, Sellers 分類 III 度以上の逆流を合併するもの, および有意の他弁疾患をもつものは除外した。

左室-大動脈圧較差の検討は, 同時期に心臓カテーテル法および連続波ドップラー法 (CW 法) を施行した症例に行なった。カテーテル法からは, 左室圧-大動脈圧波形の解析により peak-to-peak, maximal instantaneous, mean systolic の圧較差 (おのおの cath-peak PG, cath-max PG, cath-mean PG) を求めた (Fig. 1 左)。一方, CW 法からは, 大動脈弁通過血流から簡易 Bernoulli 式¹⁾を用い, maximal instantaneous および mean systolic の圧較差 (おのおの cw-max PG, cw-mean PG) を求めた (Fig. 1 右)。使用した CW 装置は東芝製 SSH65A で, 2.5 MHz 探触子を用いて入射角が 20° 以内となるよう左下斜側臥位にて経胸壁的に心尖部からアプローチした。

機能的弁口面積 (AVA) は, カテーテル法の場合には, Swan-Ganz カテーテルによる心拍出量と, 圧波形解析による収縮期平均圧較差および駆出時間から, Gorlin の式²⁾によって求めたが (cath-AVA)。一方, 心エコー図法の場合には, M モード図より Gibson 法³⁾で算出した stroke volume

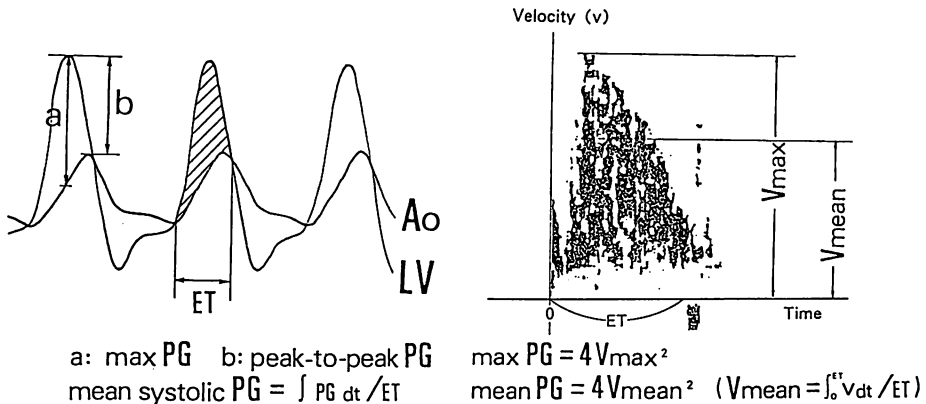


Fig. 1. Measurement method of left ventricular-aortic pressure gradients.

The gradients of catheterization were measured from the simultaneously recorded left ventricular and aortic pressures (left). The gradients of continuous-wave Doppler echocardiography were calculated from the flow velocity across the valve (right).

PG=pressure gradient; V=velocity; ET=ejection time; Ao=ascending aorta; LV=left ventricle.

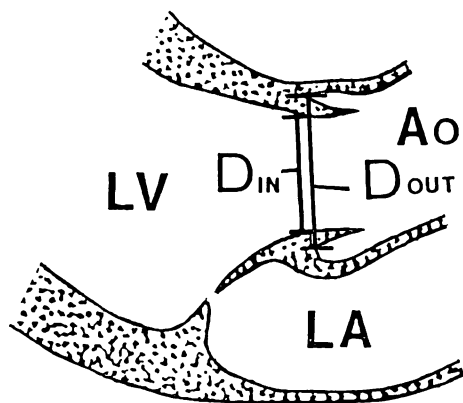


Fig. 2. Measurement method of the annulus diameter.

The inner diameter (D_{in}) and the outer diameter (D_{out}) of the annulus were measured in the mid-systolic long-axis cross-sections on two-dimensional echocardiography.

LA=left atrium. Other abbreviations: see Fig. 1.

(SV) を, CW 法による弁通過血流速度の時間積分値で除して求めた ($cw-AVA = SV / \int_0^{ET} vdt$).

左室機能および左室肥大の評価は M モード心エコー図指標によって行ない, % fractional shortening [$\%FS = (LVDd - LVDs) / LVDd \times 100\%$; LVDd = 左室拡張末期径, LVDs = 左室収縮末期径], mVcf, 左室壁厚 ($LVT = Thd + IVST$; Thd = 左室拡張末期後壁厚, IVST = 拡張末期中隔厚), radius to thickness ratio ($R/Th = LVDd - 2Thd$), Troy 法⁴⁾による左室心筋重量 (LVM), Reichek らの方法⁵⁾による end-systolic wall stress [$\sigma_m = (0.33 \times LVP \times LVDs) / Ths (1 + Ths/LVDs)$; LVP = 左室収縮末期圧, Ths = 左室収縮末期後壁厚] を求めた.

大動脈弁輪径は, 断層心エコー図法の収縮中期左室長軸像より, Fig. 2 のごとく大動脈弁エコー図の内径 (D_{in} = 大動脈弁付着部内側), および外径 (D_{out} = 大動脈弁付着部外側) を計測し, これらの値を実際に使用された人工弁サイズと対比した. なお, 本検討においては, より多数例での比較を得るため, 大動脈弁閉鎖不全症を合併したも

のも一部含めた.

各項目における検討時期は若干異なったが, いずれも各時期の連続した手術症例を対象とした.

結 果

1. 左室-大動脈圧較差

CW 法とカテーテル法によって圧較差 (PG) を測定したものは 18 例であった. その各計測値を平均値 \pm 標準偏差で表わすと, CW 法では $cw-max PG = 102 \pm 26$ mmHg, $cw-mean PG = 65 \pm 17$ mmHg, カテーテル法では $cath-peak PG = 102 \pm 39$ mmHg, $cath-max PG = 130 \pm 40$ mmHg, $cath-mean PG = 77 \pm 33$ mmHg となった.

Fig. 3 は CW 法による各種 PG と, カテーテル法によるそれらの相関をみたものである. このうち, $cw-max PG$ と $cath-peak PG$ には $y = 1.49x - 48.3$, $r = 0.90$ の相関が成立したが, $cw-max PG$ は $PG = 100$ mmHg 付近を境に, それ以下では $cath-peak PG$ より大きく, それ以上では $cath-peak PG$ より小さくなる傾向があった. また, $cw-max PG$ と $cath-max PG$, および $cw-mean PG$ と $cath-mean PG$ にも, それぞれ $y = 1.64x - 37.0$, $r = 0.84$, $y = 1.64x - 29.6$, $r = 0.80$ の回帰式が得られた.

2. 機能的弁口面積

項目 1 と同一の 18 例において, その $cw-AVA$ は最小 0.64 cm^2 から最大 1.66 cm^2 , 平均 0.98 cm^2 , $cath-AVA$ は最小 0.30 cm^2 から最大 1.45 cm^2 , 平均 0.69 cm^2 となった. Fig. 4 はこの両者の相関を示したものであるが, 両者には $r = 0.79$ の正相関が認められた. しかし, その回帰式は $y = 1.33x - 0.61$ となり, $cath-AVA$ に対し $cw-AVA$ がやや高値を示す傾向にあった.

3. 左室機能および左室肥大の評価

Fig. 5 は, AS 27 例において, 左室後負荷を示す σ_m を横軸に, 左室ポンプ機能を示す $\%FS$ を縦軸にとり, いわゆる stress-shortening の関係をみたものである. 本図に示すごとく, σ_m , $\%FS$ とも症例によりかなりの幅はあったが, 両

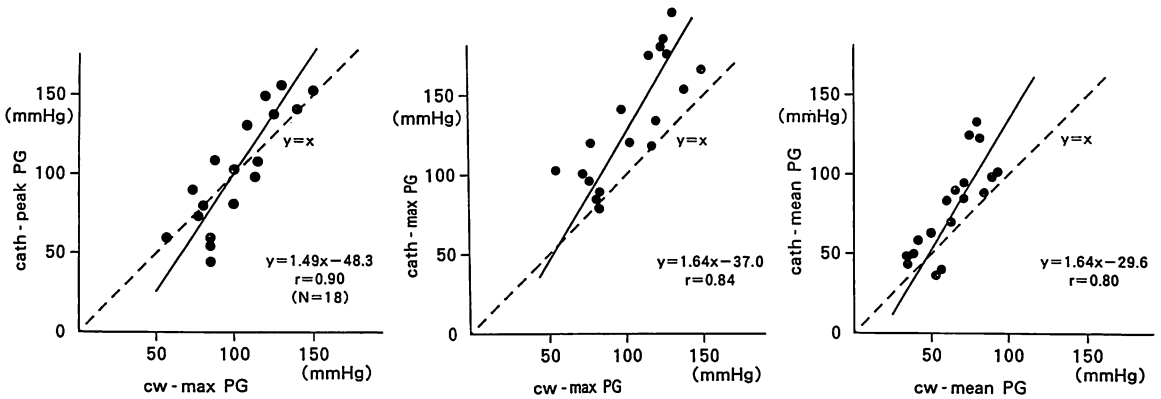


Fig. 3. Correlations between the echocardiographically-determined pressure gradients (PG) and the catheterization-determined pressure gradients.
Significant correlations were observed.

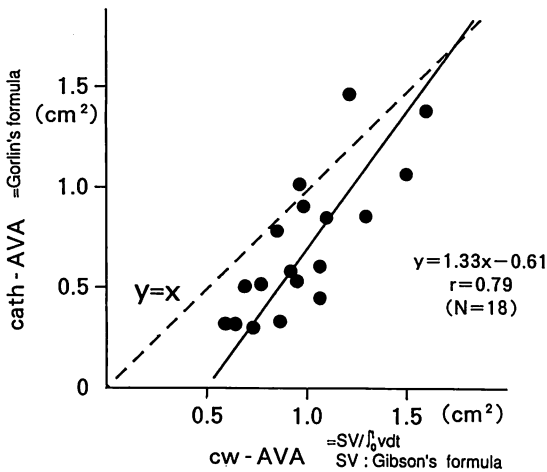


Fig. 4. Correlation between cw-AVA and cath-AVA.

A significant correlation was found, but due to the difference of the calculating formula for stroke volume, the values of cw-AVA tended to be higher than those of cath-AVA.

AVA=aortic valve area; cw=continuous-wave Doppler.

指標間には $r = -0.90$ の逆相関が存在した。また、各症例を R/Th 値に基づく左室肥大の程度から A 群: 求心性肥大の高度な群 (R/Th < 1.3), B 群: 中等度の求心性肥大群 (R/Th 1.3-2.0), C 群: 求心性肥大がまだ不良な群 (R/Th >

2.0), の 3 群に分けたところ, σm は A 群で低値, C 群で高値を示し, 逆に %FS は A 群で高値, C 群で低値を示した。

Fig. 6 は前述の A, B, C, 3 群において, %FS, mVcf, LVWT および LVM の術前後の推移をみたものである。C 群において術前に認められた左室ポンプ機能の低下は, 術後改善して正常化していった。また, 術前に求心性肥大を示した A 群, B 群での LVWT や LVM は, 術後経時的に減少する傾向が認められた。

4. 大動脈弁輪径の測定

Fig. 7 は大動脈弁置換術症例 73 例における弁輪径の計測値と, 実際の使用人工弁サイズの比較である。弁輪部内径 (D in) と使用弁サイズには $r = 0.90$, 外径 (D out) と使用弁サイズには $r = 0.86$ の正相関が認められた。また, 両者の差, すなわち弁輪径の計測値と実際の人工弁サイズとの差は, 内径の測定では平均 0.6 mm, 外径の測定では平均 2.2 mm となった。特に弁輪部の石灰化が強く, 内径測定の困難な症例では, 外径からの回帰式で使用可能な人工弁サイズを推定し得た。

考 按

現在, AS を含む後天性弁膜症の診断に心エコー図法が必須の検査法であることはいうまでもな

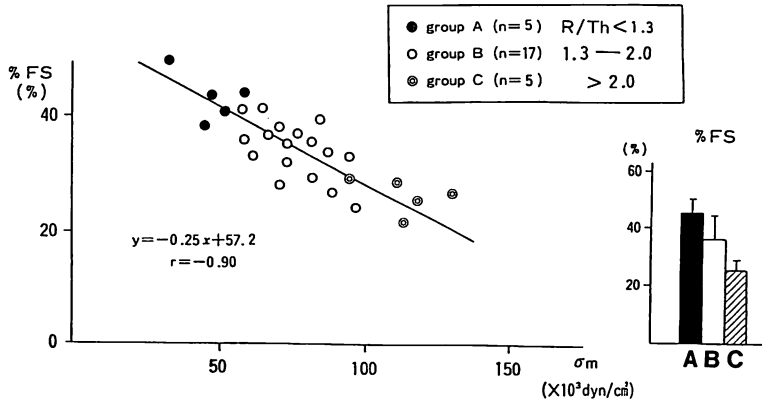


Fig. 5. Relationship between end-systolic wall stress (σ_m) and % fractional shortening (%FS).

This inverse relationship was linear and highly significant, regardless of lower %FS.

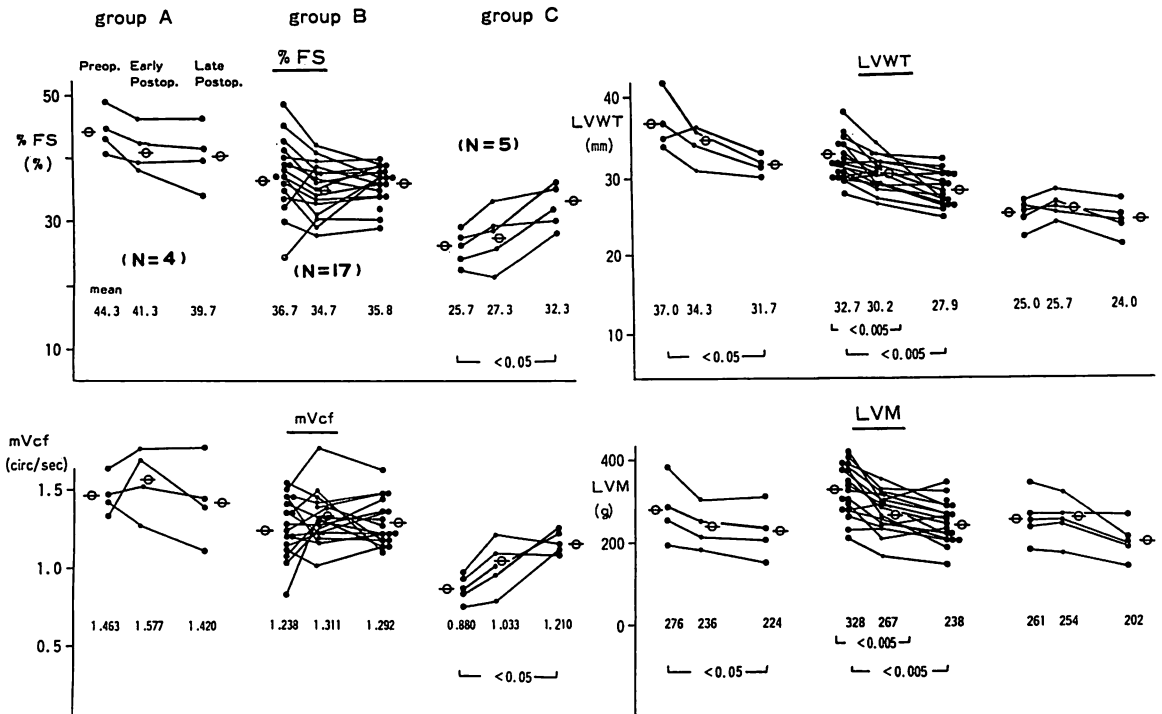


Fig. 6. The early and late postoperative changes in %FS, mVcf, LVWT and LVM.

Decreases of LVWT and LVM occurred in groups A and B during the postoperative period. Percent FS and mVcf in group C improved and returned to normal range.

mVcf = mean velocity of circumferential fiber shortening; LVWT = left ventricular wall thickness (posterior wall thickness + septal thickness); LVM = left ventricular mass.

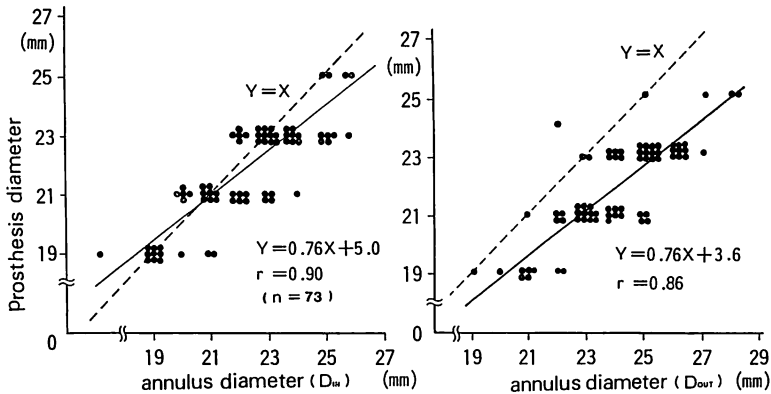


Fig. 7. Correlations between two-dimensional echocardiographically-measured annulus diameter and actual size of prosthesis.

Significant correlations were found, and the differences relative to the size of the prosthesis were less when the inner diameter was measured.

D in = inner diameter; D out = outer diameter.

いが、手術適応の決定に際しては、いまだに観血的評価法が併用されているのが現状であろう。本検討は、心エコー図法が AS の術前評価に必要なかつ十分な検査法であること、および本法のみでもその手術効果を術前に推定し得ることの 2 点を強調したものであるが、以下の考按も、この見地から述べていきたい。

第一点は、CW 法を用いた左室-大動脈圧較差の評価である。これについては、近年いくつかの報告があり⁶⁻¹¹⁾、その信頼性も確立されてきている。また、これらの報告では、最も有用とする指標や、対象とする症例群が若干異なることはあっても、その大半で我々と近似した回帰式や相関関係が得られている。我々は、最も簡便、かつ頻用されているという点からも、cath-peak PG と cw-max PG の相関を重視したが、cw-max PG は PG = 100 mmHg 付近を中心に、これ以下では cath-peak PG より大きく、それ以上では小さくなる傾向にあった。このうち、まず前者の原因としては、左室-大動脈圧較差のずれ、すなわち、peak-to-peak の圧較差は real-time の最大圧較差 (= max PG) よりは当然低くなることが挙げられ、また、後者の原因としては、CW 法におけ

る超音波ビームの入射角の問題や、カテーテルの overshoot の問題などが考えられよう^{8,9)}。しかしながら、このような CW 法とカテーテル法間の差の成因を認識する一方、両手法の相関関係を十分理解さえしておけば、CW 法は左室-大動脈圧較差の評価に必要なかつ十分な手法となるであろう。

第二点の AVA の測定¹¹⁻¹³⁾についても、心エコー図法による測定値はカテーテル法からの測定値とよく相関した。また、その誤差の成因の多くは、stroke volume (SV) の算出法にあるものと思われる。つまり、我々は心エコー図法からの SV を Gibson 法により算出したが、これを含めた M モード法からの formula は、特に求心性肥大が高度で左室の狭小化が強い症例の SV を過大評価する傾向があり、これが結果的に AVA を大きく表現した。したがって、心エコー図法による AVA の評価はこの点を念頭においてなされるべきはあるが、その計算方法は容易であり、また術後の比較など、その測定値も十分にあることから、今後活用すべき手段と考えられている。

第三点は、AS における左室機能や左室肥大の程度と外科治療成績の関連である。本検討でも示したごとく、AS では、弁狭窄に伴う左室圧の上

Table 1. Results of the preoperative assessment by echocardiography in patients with aortic stenosis

1. LV-Ao pressure gradient (PG)	
	cath-peak-to-peak PG=1.49 cw-max PG=48.3
	cath-max PG=1.64 cw-max PG=37.0
	cath-mean PG=1.64 cw-mean PG=29.6
2. Aortic valve area (AVA)	cath-AVA=1.33 cw-AVA = 0.61
3. LV hypertrophy/function	Inadequate hypertrophy — Depressed function — Improve after surgery
4. Available size of prosthesis	
	Actual prosthesis diameter =0.76 D in +5.0
	=0.76 D out +3.6

昇に対する代償機転，すなわち圧負荷によってより増大せんとする wall stress を正常化するための代償機転として求心性肥大が起こり，この結果，左室ポンプ機能は正常に保たれる^{14,15}。さらに我々は，このような求心性肥大が弁置換術により術後経時的に改善していくことも確認した。また一方，AS における左室ポンプ機能の低下は，代償機転としての反応性肥大がいまだ不良なための wall stress の増大を反映したものであり¹⁶，これは弁置換術によって術後改善することも明らかとなった。すなわち，AS の術前に，%FS などの左室ポンプ機能の指標が低値を示した症例でも，心エコー図法からの所見を吟味すれば，特に観血的に左室圧や wall stress を求める必要はないことを意味するものであろう。むしろ我々は，AS における外科治療上の risk factor は求心性肥大の著明な群にあると考えており¹⁷，かかる症例では，手術侵襲により術後容易に左室機能不全に陥る傾向があった。

第四点の，人工弁のサイズ選択のための大動脈弁輪径の測定法については，左室造影法^{18,19}，断層心エコー図法^{20,21}のいずれの報告もあるが，後者がより優れた評価法であることは，既に我々の指摘したところである²²。また，心エコー図法による計測の時相は，大動脈弁が最も明瞭に描出される収縮中期がよく，計測部位は，弁輪部内径の測定が最も誤差の少ないものであった。さらに，

石灰化の強い弁では，弁輪部外径の測定により使用弁サイズの推定が可能となった。一方，心エコー図法による測定の際の留意点は，長軸断層における Valsalva 洞-左室流出路の中心を正しく捉えることであるが，これは慣れれば比較的容易に描出し得るものであった。とにかく，AS における大動脈弁輪径の大小は，その手術術式をも左右する問題であることから，心エコー図法による弁輪径の測定は，本症の外科治療上極めて重要な評価事項であらう。

結 論

Table 1 に，心エコー図法による AS の術前評価をまとめた。

まず左室-大動脈圧較差の検討では，CW 法とカテーテル法の各指標間に有意の正相関をもつ回帰式が成立した。同様に機能的弁口面積も，心エコー図法とカテーテル法間に正相関が成立した。また，AS における術前左室ポンプ機能の低下は，左室肥大がいまだ不良なための後負荷の増大を反映したものであり，冠動脈病変のチェックを除けば，特に観血的検査を追加する必要はないと考えられた。使用弁サイズの予測については，左室長軸断層図からの弁輪部内径の測定が最もよく，石灰化例では，弁輪部外径の測定でこれを推定し得た。

要 約

大動脈弁狭窄症 (AS) の術前評価に必須とされる 1) 左室-大動脈圧較差の測定, 2) 機能的弁口面積の測定, 3) 左室機能および左室肥大の程度の評価, 4) 使用可能な人工弁サイズ決定のための大動脈弁輪径の測定の 4 点を心エコー図法によって試み, 本法の有用性と妥当性を検討した.

左室-大動脈圧較差: 心エコー図連続波ドップラー法 (CW 法) による maximal instantaneous の圧較差はカテーテル法からの peak-to-peak および maximal instantaneous の圧較差と, おおの $y=1.49x-48.3$, $r=0.90$, $y=1.64x-37.0$, $r=0.84$ の正相関を示した. また CW 法の mean systolic の圧較差とカテーテル法の mean systolic の圧較差にも, $y=1.64x-29.6$, $r=0.80$ の正相関が認められた.

弁口面積: M モード心エコー図の Gibson 法から算出した stroke volume を CW 法による弁通過血流速度の積分値で除して求めた弁口面積は, カテーテル法から Gorlin の式で求めた弁口面積と $y=1.33x-0.61$, $r=0.79$ の正相関を示した. しかし一回拍出量の算出法の問題から, 心エコー図法はカテーテル法よりその弁口面積を大きく表わす傾向にあった.

左室機能および左室肥大の評価: 心エコー図法による左室ポンプ機能の指標は, 求心性肥大群で正常, 肥大不良群で低値を示した. しかしこれらは左室後負荷としての stress に逆相関したことから, AS における左室ポンプ機能の低値は肥大不良による後負荷の増大を反映したものであり, かかる症例でも特に観血的に左室圧や stress を求める必要はないものと考えられた.

弁輪径: 使用弁サイズの決定には心エコー図長軸断層像収縮中期における弁輪部内径の測定が最もよく, 平均誤差 0.6 mm で弁サイズを推定し得た. また内径による測定が困難な重症石灰化例では, 弁輪部外径の測定から $y=0.76x-3.6$ の回帰式でこれを推定し得た.

以上の結果より, AS の術前評価において, 心エコー図法は必要かつ十分な手法であることが明らかとなった.

文 献

- 1) 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
- 2) Gorlin R, Gorlin SG: Hydraulic formula for calculation of the area of the stenotic mitral valve, other cardiac valves and central circulatory shunts. *Am Heart J* **41**: 1-29, 1951
- 3) Gibson DG: Estimation of left ventricular size by echocardiography. *Br Heart J* **35**: 128-134, 1973
- 4) Troy BL, Pombo J, Rackley CE: Measurement of left ventricular wall thickness and mass by echocardiography. *Circulation* **45**: 602-611, 1972
- 5) Reichek N, Wilson J, St John Sutton M, Plappert TA, Goldberg S, Hirshfeld JW: Noninvasive determination of left ventricular end-systolic stress: Validation of the method and initial application. *Circulation* **65**: 99-108, 1982
- 6) 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
- 7) Krafchek J, Robertson JH, Radford M, Adams D, Kisslo J: A reconsideration of Doppler assessed gradients in suspected aortic stenosis. *Am Heart J* **110**: 765-773, 1985
- 8) 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 Cardiogr* **15**: 111-121, 1985 (in Japanese)
- 9) Smith MD, Dawson PL, Elion JL, Wisenbaugh T, Kwan OL, Handshoe S, DeMaria AN: Systematic correlation of continuous-wave Doppler and hemodynamic measurements in patients with aortic stenosis. *Am Heart J* **111**: 245-252, 1986
- 10) Teien D, Karp K, Friksion P: Non-invasive estimation of the mean pressure difference in aortic stenosis by Doppler ultrasound. *Br Heart J* **56**: 450-454, 1986
- 11) Grayburn PA, Smith MD, Harrison MR, Gurley JC, DeMaria AN: Pivotal role of aortic valve area calculation by the continuity equation for

- Doppler assessment of aortic stenosis in patients with combined aortic stenosis and regurgitation. *Am J Cardiol* **61**: 376-381, 1988
- 12) Skjaerpe T, Hegrenaes L, Hatle L: Noninvasive estimation of valve area in patients with aortic stenosis by Doppler ultrasound and two-dimensional echocardiography. *Circulation* **72**: 810-818, 1985
 - 13) Ota T, Iwahashi K, Matsuda H, Sugimoto T, Kanda H, Sato H, Okada M, Nakamura K: Evaluation of aortic valve gradient by continuous wave Doppler echocardiography in patients with severe aortic stenosis. *Jpn Circ J* **54**: 755, 1990 (abstr)
 - 14) Grossman W, Jones D, McLaurin LP: Wall stress and patterns of hypertrophy in the human left ventricle. *J Clin Invest* **56**: 56-64, 1975
 - 15) Bennett DH, Evans DW, Raj MVJ: Echocardiographic left ventricular dimensions in pressure and volume overload: Their use in assessing aortic stenosis. *Br Heart J* **37**: 971-977, 1975
 - 16) Ross J Jr: Afterload mismatch and preload reserve: A conceptual framework for the analysis of ventricular function. *Prog Cardiovasc Dis* **18**: 255-264, 1976
 - 17) Ohta T, Kanda H, Sato H, Nishiwaki M, Shida T, Okada M, Nakamura K: Evaluation of left ventricular hypertrophy from a surgical standpoint in patients with severe aortic stenosis. *Jpn J Appl Physiol* **16**: 229-235, 1986
 - 18) Babb JD, Parr GVS, O'Neil MJ: Predicting aortic valve prosthesis size: A step toward better matching of patient and prosthesis. *J Thorac Cardiovasc Surg* **81**: 450-454, 1981
 - 19) Mukharji J, Sloan TJ, Estrera AS, Lipscomb KM: Measurement of aortic root size by biplane angiography before cardiac valve replacement. *Am J Cardiol* **53**: 1084-1086, 1984
 - 20) Francis GS, Hagan AD, Oury J, O'Rourke RA: Accuracy of echocardiography for assessing aortic root diameter. *Br Heart J* **37**: 376-378, 1975
 - 21) 重信雅春, 村上泰治, 川上俊爾, 名和清人, 妹尾嘉昌, 寺本 滋: 大動脈弁置換術患者の代用弁の大きさを術前に予測する方法に関する検討. *心臓* **14**: 1130-1135, 1982
 - 22) 西脇正美, 志田 力, 佐藤 洋, 太田稔明, 小沢修一, 岡田昌義, 中村和夫: 超音波心断層法による大動脈弁輪径の測定. *胸部外科* **38**: 855-858, 1985