

連続波ドップラー法による 僧帽弁位各種機械弁の機能 および遠隔成績に関する検 討

Clinical and hemody- namic sequelae of mitral prostheses evaluated by Doppler echocardi- ography

岩橋 和彦
太田 稔明
佐藤 洋
神田 裕史
杉本 貴樹
岡田 昌義
中村 和夫

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

Summary

To determine the relative superiority of a prosthesis in the mitral position, *in vivo* hemodynamics were examined by Doppler echocardiography, and the results were compared with other types of mechanical mitral valves including 63 Björk-Shiley convexo-concave (BS) valves, 30 Duro-medics (DM) valves, and 58 Medtronic Hall (MH) valves. For this comparison, the following indices were evaluated: peak velocity of mitral flow (PV), mitral valve orifice area (MVA), mitral valvular regurgitation, New York Heart Association (NYHA) classification, pulmonary capillary wedge pressure (PC), cardiac index (CI) and valve-related complications.

On Doppler echocardiograms, PV ranged from 1.2 to 2.0 m/sec with a mean of 1.6 m/sec. There was no evident relationship between the PV and the valve size in each type of prosthesis, and no significant difference in the PVs among the valves. The mean MVA was 2.6 cm² (25 mm DM, 25 mm MH), which was regarded satisfactory from a clinical standpoint. MVA increased with the increase in the valve size in all types of valves, and of all sizes, MVA was larger in the DM and MH groups than in the BS group. Similarly, the incidence of valvular regurgitation was relatively low in all groups, and the degree of regurgitation proved to be grade II or less in all cases. As for the clinical results, clinical symptoms (NYHA) and hemodynamic states (PC, CI) improved postoperatively, with the differences among the types of prosthetic valves being insignificant. The incidences of thromboembolism, valvular thrombosis, valve failure and prosthetic endocarditis were relatively low in all groups. In the DM group, however, hemolytic anemia occurred more often in the early postoperative period than in the other groups. Moreover, the lactate dehydrogenase (LDH) values were higher in this group than in the other groups even 6 months or more after valve replacements, which means

神戸大学医学部 第二外科
神戸市中央区楠町 7-5-2 (〒650)

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

Received for publication May 25, 1991; accepted November 1, 1991 (Ref. No. 38-94)

that there is a higher risk of subclinical hemolysis in the DM group.

These results indicate that the DM and MH valves are somewhat superior to the BS valve as to hemodynamics, but with the DM valve, there remains the problem of hemolysis.

Key words

Mitral valve replacement Mechanical heart valves In vivo hemodynamics Doppler echocardiography
 Clinical results

緒 言

近年, 工学技術の進歩に伴って種々の機械弁が考案され, その各々について, in vitro における血行力学的評価は既に確立されている. しかしながら, 生体内での血行力学的弁機能評価の困難さから, 各種機械弁の in vivo における弁機能を比較検討した報告は少なく, また, いずれの弁が臨床的に優れているかについても, いまだ一致した見解はない. 一方, 近年, 心エコー図法, 特にドップラー法の発達は目覚ましく, 生体内での弁機能を非侵襲的に評価することが可能となってきた.

今回我々は, 僧帽弁位各種機械弁につき, 連続波ドップラー法を中心とした心エコー図法による血行力学的評価を試み, あわせて臨床的指標に基づく弁機能の比較検討を行なった.

対象および方法

1980年10月から1990年5月までに神戸大学第二外科で僧帽弁置換術を施行した症例のうち, 代表的な3弁種である Björk-Shiley convexo-concave (BS) 弁63例, Duromedics (DM) 弁30

例, Medtronic Hall (MH) 弁58例の計151例を対象とした (Table 1).

血行力学的弁機能評価としては, まず超音波連続波ドップラー法により最大左室流入血流速度 [peak velocity (PV)] を計測し, さらに流入血流速度波形より pressure half time (PHT) を求め, 次式により機能的弁口面積 (MVA) を算出した.

$$MVA (cm^2) = \frac{220}{PHT (msec)}$$

なお, PV, MVA とも心房細動例は連続5心拍の平均値, 洞調律例は3心拍の平均値とした. 次いで断層ドップラー法により人工弁逆流の有無を判定した.

臨床の評価は, 臨床症状の改善度, 血行動態の改善度および弁由来の合併症の3点とした. このうち臨床症状の改善度は術前および術後遠隔期の NYHA 分類によって示し, 血行動態の改善度は術前および術後1ヵ月に施行した心臓カテーテル法による肺動脈楔入圧 (PC), 心拍出量係数 (CI) により比較した. 弁由来の合併症の有無は臨床症状, 血液生化学検査, 定期的心エコー図検査からの所見により総合判断した.

計測値および計算値はすべて平均値±標準偏差

Table 1. Number of mechanical heart valves in the mitral position

Years used	Valve type	Valve size (mm)				Total
		25	27	29	31	
1980-1985	Björk-Shiley convexo-concave (BS)		11	35	17	63
1986-1987	Duromedics (DM)	21	7	2		30
1987-1990	Medtronic Hall (MH)	17	30	9	2	58
Total		38	48	46	19	151

Table 2. Peak velocity of mitral flow (PV) measured by continuous-wave Doppler echocardiography

Valve	Valve size (mm)			
	25	27	29	31
BS	—	1.6±0.1	1.7±0.2	1.5±0.2
DM	1.7±0.2	1.6±0.2	1.6±0.3	—
MH	1.7±0.2	1.7±0.2	1.5±0.2	1.3

Values are means±standard deviations (m/sec). Abbreviations are as in Table 1.

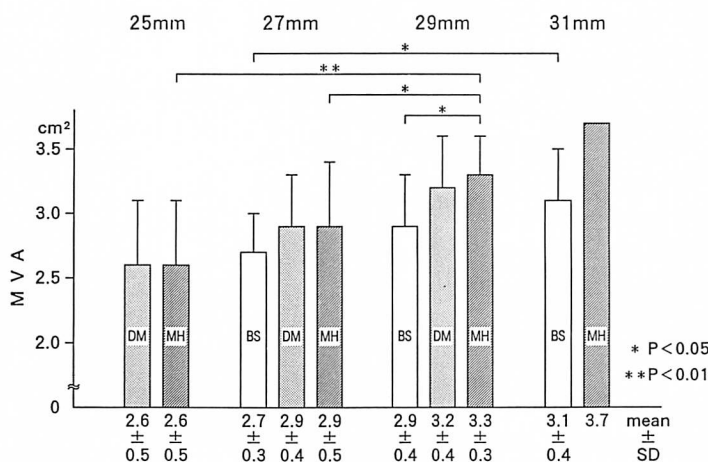


Fig. 1. Mitral valve orifice area (MVA) for each size and type of prosthetic valve calculated from pressure half time.

Values are means±standard deviations (cm²).

Abbreviations are as in Table 1.

(SD) で示し、有意差検定は Student t 検定にて行ない、 $p < 0.05$ を有意とした。

結 果

1. 血行力学的弁機能評価

PV (Table 2) はいずれの人工弁においても最小1.2 から 2.0 m/sec の範囲にあり、異常な高値を示すものはなかった。また各弁種とも、弁サイズが大きくなるに従い PV がやや低下する傾向を認めたが、有意の差異を生じるものではなく、また同一弁サイズにおける3弁種間のPVにも有意差は認められなかった。一方、MVA (Fig. 1) は、BS 弁では弁サイズ 27, 29, 31 mm でそれぞれ 2.7 ± 0.3 , 2.9 ± 0.4 , 3.1 ± 0.4 cm², DM 弁では 25, 27,

29 mm でそれぞれ 2.6 ± 0.5 , 2.9 ± 0.4 , 3.2 ± 0.4 cm², MH 弁では 25, 27, 29 mm でそれぞれ 2.6 ± 0.5 , 2.9 ± 0.5 , 3.3 ± 0.3 cm² となった。また、各弁種とも弁サイズが大となるに従って MVA も増大する傾向を認め、BS 弁では 27 mm と 31 mm の間で、MH 弁では 25 mm と 29 mm の間および 27 mm と 29 mm の間に有意差が認められた。

同一弁サイズにおける各弁種間の比較では、いずれのサイズにおいても BS 弁に比し DM 弁および MH 弁でやや大きな MVA が得られ、特に弁サイズ 29 mm の BS 弁と MH 弁の間に有意差が認められた。

人工弁逆流 (Table 3) は BS 弁では認められ

Table 3. Incidence of mitral valvular regurgitation detected by two-dimensional Doppler echocardiography

Leakage	BS (n=37)	DM (n=19)	MH (n=43)
Paravalvular	0	1 (5.3%)	1 (2.3%)
Transvalvular	0	1 (5.3%)	2 (4.7%)
Total	0	2 (10.5%)	3 (7.0%)

ず, DM 弁では paravalvular leakage 1 例(5.3%), transvalvular leakage 1 例(5.3%) の計 2 例(10.5%)を認め, MH 弁では paravalvular leakage 1 例(2.3%), transvalvular leakage 2 例(4.7%) の計 3 例(7.0%)に認めたが, いずれの症例も逆流の程度は II 度以下で軽微なものであった. また逆流の有無により血清 LDH 値を比較すると (Fig. 2), 逆流を有する群では 371 ± 77 IU/l に対し, 逆流を有しない群では 570 ± 231 IU/l で, 両群間に有意差は認められなかった.

2. 臨床的指標からの評価

1. 臨床症状の改善度 (Fig. 3)

BS 弁では術前 67% の症例が NYHA III 度または IV 度を示し, 術後は 83% が II 度以下に改善した. 同様に DM 弁では術前 76% が III 度以上であったが, 術後は 90% が II 度以下となり, MH 弁でも術前 71% が III 度以上であったが, 術後は 85% が II 度以下に改善し, NYHA

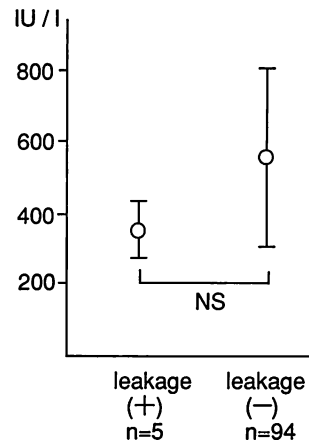


Fig. 2. Comparison of lactate dehydrogenase (LDH) values (mean±SD) between the patients with and without mitral regurgitation.

NS=not significant.

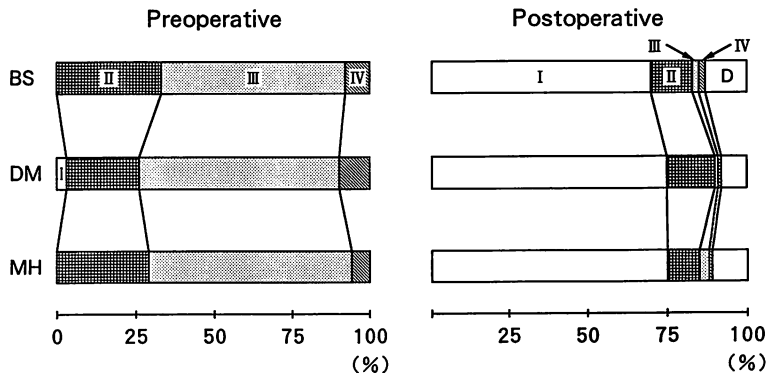


Fig. 3. Preoperative and postoperative New York Heart Association (NYHA) classification. Abbreviations are as in Table 1.

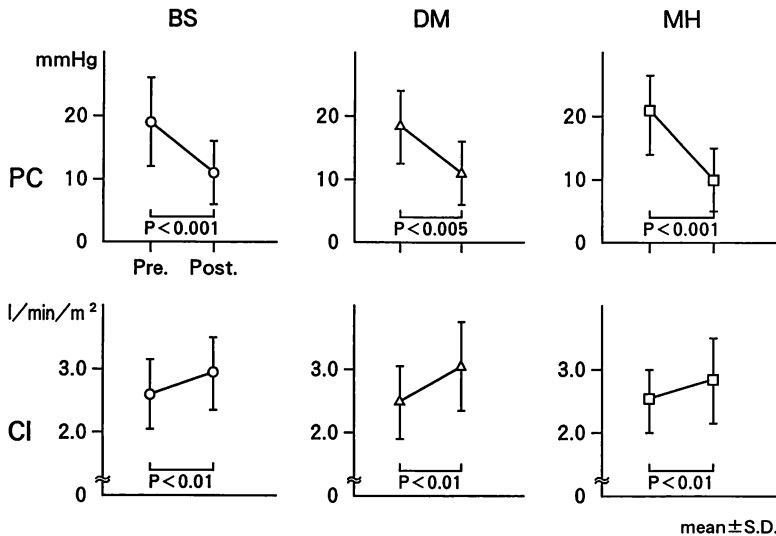


Fig. 4. Postoperative improvement in the hemodynamic state in each type of prosthetic valve.

PC=pulmonary capillary wedge pressure; CI=cardiac index.

Other abbreviations are as in Table 1.

Table 4. Valve-related complications

Complication	BS	DM	MH
Mean follow-up (months)	88.0	47.6	22.4
Thromboembolism	3(0.65)	0	0
Valve thrombosis	0	0	0
Valve failure	0	0	0
Prosthetic valve endocarditis	1(0.22)	0	0
Hemolytic anemia	0	10(8.4)	0

Data in parentheses represent the incidence per 100 patient-years. Abbreviations are as in Table 1.

の改善度に対する弁種間の差は認められなかった。

2. 血行動態の改善度 (Fig. 4)

PC は、BS 弁では術前の平均 19.2 から術後は平均 11.0 mmHg に有意に低下した。同様に DM 弁では術前 18.0 から術後 11.0 mmHg に、MH 弁でも術前 20.5 から術後 10.1 mmHg へと、いずれも有意に低下し、PC の改善度に弁種間の差は認められなかった。また CI は、BS 弁では術前平均 2.6、術後平均 2.9 l/min/m² と有意に増加した。同様に DM 弁では術前の 2.4 から術後は 3.0 l

min/m² に、MH 弁でも術前 2.5 から術後 2.8 l/min/m² へと、いずれも有意に増加し、CI の改善度に弁種間の差は認められなかった。

3. 弁由来の合併症 (Table 4)

術後の血栓塞栓症は追跡期間の長い BS 弁で 3 例 (0.65%/patient-years) に認められ、DM 弁および MH 弁では認められなかった。血栓弁はいずれの弁種にも確認し得たものはなかった。弁機能不全も 3 弁種ともに認められなかったが、perioperative stuck valve を MH 弁の 2 例に認め、うち 1 例を失った。ただしこれらはいずれも粘液

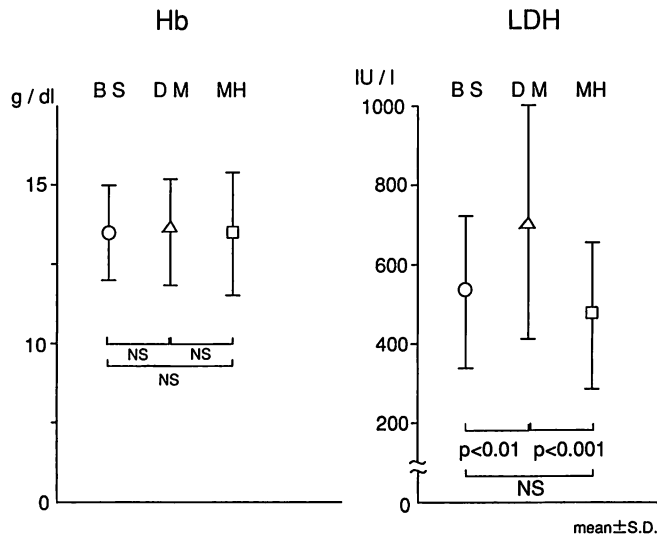


Fig. 5. Hemolysis indicated by hemoglobin (Hb) and lactate dehydrogenase (LDH) values 6 months or more after valve replacement.

NS = not significant.

Other abbreviations are as in Table 1.

変性弁を置換した際の残存腱索による stuck がその原因であり、弁自体に帰因するものはなかった。人工弁感染は BS 弁で 1 例 (0.22%/patient-years)、術後 7 ヶ月にアスペルギルス感染を発症した症例を認めたのみであった。溶血性貧血は BS 弁および MH 弁では認められなかったが、DM 弁では 30 例中 10 例 (8.4%/patient-years) に術早期 (1 ヶ月以内) に認め、その全例に輸血を必要とした。しかし、これも経過とともに改善し、術後遠隔期に輸血を要した症例はなかった。この術後遠隔期における溶血の問題をヘモグロビン (Hb) 濃度および血清 LDH 値により検討すると (Fig. 5), Hb は BS 弁 13.4 ± 1.9 g/dl, DM 弁 13.6 ± 1.7 g/dl, MH 弁 13.5 ± 1.5 g/dl と、3 弁種間に有意差は認められなかったが、LDH は BS 弁 540 ± 178 IU/l, MH 弁 480 ± 180 IU/l に比し、DM 弁では 710 ± 293 IU/l と有意に高値を示した。

考 按

僧帽弁位における各種機械弁の血行力学的評価

において、まず連続波ドップラー法により計測された PV は、いずれの弁も 1.2 ないし 2.0 m/sec (平均 1.6 m/sec) の範囲に入った。これを簡易 Bernoulli 式により圧較差に換算すると 4.5-12.6 mmHg (平均 8.0 mmHg) となり、これは心臓カテーテル法により計測された諸家の報告¹⁻⁴⁾ともほぼ一致している。同一弁サイズにおける各弁種間の比較でも、その PV に明らかな差異は認められず、3 弁種の血行力学的弁機能に差はないものと考えられた。しかしながら、同一種類の弁において弁サイズと PV の間にも明らかな相関を認めなかったことは、PV が MVA のみでなく流入血流量、すなわち心拍出量に影響される指標であることを示唆しており、この点から考えると、PV は弁機能評価の指標としてはやや鋭敏性に欠けると言わざるを得ない。ただし PV は簡便に計測し得ること、また血栓弁症例で PV の異常高値を示したという報告⁵⁾もあることから、術後の弁機能検査のスクリーニングとしては有用であろう。

一方、PHT は心拍数や流入血流量にほとんど影響されない指標とされており^{6,7)}、これから算出された MVA⁷⁾ は弁機能評価法としては PV よりも優れたものである。今回の検討では、いずれの弁種も弁サイズが大となるに従って MVA は増大し、使用された最小弁サイズである 25 mm 弁でも、MH 弁、DM 弁ともに平均 2.6 cm² と、臨床的には十分満足し得る MVA が得られた。また各弁種間の比較では、いずれの弁サイズにおいても、BS 弁に比し、DM 弁および MH 弁でやや大きな MVA が得られ、DM 弁、MH 弁は 1 サイズ大きい BS 弁に匹敵する MVA を有すると考えられた。志田ら⁸⁾や Horstkotte ら⁹⁾も心臓カテーテル法により同様の結果を得ているが、その原因としては、機械弁のもつ最大解放角 (BS 弁 60°, DM 弁 71°, MH 弁 70°) の相違があるのかもしれない。

臨床面からの弁機能評価であるが、今回比較検討された 3 種の機械弁 (BS 弁、DM 弁、MH 弁) に関する臨床成績は多数報告されている¹⁰⁻¹⁷⁾。特に、NYHA などの臨床症状の改善や PC、CI などの血行動態の改善については、いずれの弁についてもほぼ満足し得る成績が得られている。本検討においても、3 弁種間でこれらの臨床指標の改善度に差異を認めず、すべて良好であった。また、血栓塞栓症、血栓弁、弁機能不全、人工弁感染などの合併症の発生頻度も、諸家の報告と同様、いずれの弁種においても極めて低率であった。しかしながら溶血に関しては、DM 弁で術後早期の溶血性貧血を高率に認め、術後遠隔期においても血清 LDH 値が他の 2 弁に比し有意に高値であったことから、本弁には subclinical な溶血の問題が残るものと考えられた。DM 弁の溶血の原因については、BS 弁、MH 弁が teflon cuff をもつ傾斜ディスク弁であるのに対し、DM 弁が dacron cuff をもつ二葉弁であることから、1) 二葉弁の特徴である self washing 機構、2) 二葉の非同期運動、3) dacron cuff の影響、4) valve orientation、5) 弁周囲逆流などの関与が考えられる。溶

血の多いことは同じ二葉弁である St. Jude Medical (SJM) 弁でもよく指摘されている^{18,19)}が、この SJM 弁については、例えば 2) について、楊井²⁰⁾は、非同期運動の有無により溶血の程度に差異は認められなかったとし、3) についても、西²¹⁾は teflon cuff SJM 弁を使用した結果、溶血に関して dacron cuff SJM 弁との有意差はなかったとするなど、いずれも否定的な見解を述べている。今回の我々の DM 弁における検討でも、sewing ring がほぼ器質化したと考えられる術後 6 ヶ月以降^{22,23)}においてさえ LDH が高値であったことから、sewing ring の違いが溶血に及ぼす影響は少ないものと考えている。4) についても、二葉の支軸が僧帽弁本来の交連部に対し平行となる anatomical orientation に縫着した場合に溶血が多くなると指摘する報告^{20,21)}もあるが、その原因については推測の域を出ていないのが現状である。また 5) についても、自験例では paravalvular または transvalvular leakage が他の 2 弁に比し異常な高頻度であったとは言えず、逆流の有無による LDH 値の差異もなく、これも否定的と言わざるを得ない。以上より、DM 弁の溶血の原因については、1) の問題、すなわち二葉弁という構造自体の問題が残るが、これも明確なものではなく、今後さらなる検討が必要であろう。

以上の検討より、BS 弁に比し、DM 弁および MH 弁の方が血行力学的には優れていると考えられるが、僧帽弁位においては必ずしも大きいサイズの弁を用いる必要がないとする意見¹²⁾も多く、弁の選択に関しては、抗血栓性、溶血の程度などを含め、総合的に評価すべきであると考えられる。また MH 弁に関しては観察期間も短く、今後、長期の経過観察が必要である。

結 論

僧帽弁位における各種機械弁 (BS 弁、DM 弁、MH 弁) につき、血行力学的および臨床的評価を行なった結果、以下の結論を得た。

1. 超音波連続波ドップラー法による PV はい

ずれの弁も 1.2-2.0 m/sec (平均 1.6 m/sec) で異常高値を示すものは認められず, 弁の種類およびサイズにより, PV には有意差を認めなかった. 一方, MVA はいずれの弁種も弁サイズが大きくなるに従って増大する傾向を認め, また同一弁サイズによる比較では, BS 弁に比し, DM 弁および MH 弁で MVA が大となる傾向が認められた.

2. いずれの弁種においても, 術後, 臨床症状および血行動態の改善は良好で, その改善度に弁種による差は認められなかった.

3. 弁由来の合併症に関し, 血栓塞栓症, 血栓弁, 弁機能不全, 人工弁感染の頻度はいずれの弁種も低値で, 3 弁種間に差は認められなかった. しかし DM 弁では術後早期における一過性の溶血性貧血が多く, 遠隔期においても subclinical な溶血が多いと考えられた.

要 約

僧帽弁位各種機械弁の生体内弁機能を比較検討すべく, 連続波ドップラー法を中心とする心エコー図法にて血行力学的弁機能評価を行なうとともに, 臨床成績による弁機能評価も合わせて行なった. 対象とした機械弁は Björk-Shiley convexo-concave (BS) 弁 63 例, Duromedics (DM) 弁 30 例, Medtronic Hall (MH) 弁 58 例の 3 種, 計 151 例であり, 検討項目は, 最大左室流入血流速度 [peak velocity (PV)], 機能的弁口面積 (MVA), 人工弁逆流のほか, 術前後の NYHA 心機能分類, 肺動脈楔入圧 (PC), 心拍出量係数 (CI) および弁由来の合併症とした.

心エコー図法による評価では, PV はいずれの弁も 1.2-2.0 m/sec (平均 1.6 m/sec) で, 異常高値を示すものは認められず, また弁の種類およびサイズによる差異も明らかではなかった. MVA は使用弁中の最小サイズである 25 mm DM 弁, MH 弁でともに平均 2.6 cm² と最小値を示したが, これも臨床的には満足し得る値であった. この MVA は各弁種とも弁サイズが大になるに従い増大する傾向を認め, また同一弁サイズで

は, BS 弁に比し, DM 弁および MH 弁で大となる傾向を認めた. 人工弁逆流の頻度はいずれの弁種も低値であり, その程度も全例 II 度以下であった.

臨床的評価では, 臨床症状 (NYHA), 血行動態 (PC, CI) は各弁種とも術後の改善は良好で, その改善の程度に差を認めなかった. 弁由来の合併症として, 血栓塞栓症, 血栓弁, 弁機能不全および人工弁感染の頻度はいずれの弁種においても低値で, 3 弁種間に差は認められなかった. しかし DM 弁では術後早期における一過性の溶血性貧血の頻度が高く, 術後遠隔期においても, 血清 LDH 値は他の 2 弁に比し有意に高値を示した.

以上より, 血行力学的には BS 弁に比し DM 弁および MH 弁のほうが若干優れているが, DM 弁では溶血の問題が残ることが明らかとなった.

文 献

- 1) Björk VO, Bök K, Holmgren A: Significance of position and opening angle of the Björk-Shiley tilting disc valve in mitral surgery. *Scand J Thorac Cardiovasc Surg* 7: 187-201, 1973
- 2) Horstkotte D, Haerten K, Herzer JA, Seipel L, Bircks W, Loogen F: Preliminary clinical and hemodynamic results after mitral valve replacement using St. Jude Medical prostheses in comparison with the Björk-Shiley valve. *Thorac Cardiovasc Surg* 29: 93-99, 1981
- 3) 田宮幸彦, 数井暉久, 原田英之, 横山秀雄, 小松作蔵: 僧帽弁位における Duromedics 弁の血行動態的検討. *人工臓器* 16: 310-313, 1987
- 4) Starek PJK, Beaudet RL, Hall LV: The Medtronic-Hall valve: Development and clinical experience: *Cardiac surgery. State Art Rev* 1: 223-236, 1987
- 5) 朝野晴彦, 横手祐二, 松村 誠, 許 俊鋭, 高本真一, 尾本良三: 僧帽弁位 SJM 弁の遠隔成績: ドブラ断層法及び連続波ドブラ法による弁機能評価. *人工臓器* 16: 302-305, 1987
- 6) Libanoff AJ, Rodbard S: Atrioventricular pressure half-time: Measure of mitral valve orifice area. *Circulation* 38: 144-150, 1968
- 7) Hatle L, Angelsen B, Tromsdal A: Noninvasive assessment of atrioventricular pressure half-time by Doppler ultrasound. *Circulation* 60: 1096-1104, 1979

- 8) 志田 力, 有川俊治, 安宅啓二, 家永徹也, 脇田昇, 中村宏臣, 西脇正美, 小沢修一, 岡田昌義, 中村和夫: Björk-Shiley convexo-concave 弁, monostrut 弁及び Duromedics 弁による僧帽弁置換の比較検討. *人工臓器* **16**: 277-280, 1987
- 9) Horstkotte D, Haerten K, Seipel L, Körfer R, Budde T, Bircks W, Loogen F: Central hemodynamics at rest and during exercise after mitral valve replacement with different prostheses. *Circulation* **68** (Suppl II): 161-168, 1983
- 10) Karp RB, Cyrus RJ, Blackstone EH, Kirklin JW, Kouchoukos NT, Pacifico AD: The Björk-Shiley valve: Intermediate-term follow-up. *J Thorac Cardiovasc Surg* **81**: 602-614, 1981
- 11) Lepley DJ, Flemma RJ, Mullen DC, Motl M, Anderson AJ, Weirauch E: Long-term follow-up of the Björk-Shiley prosthetic valve used in the mitral position. *Ann Thorac Surg* **30**: 164-172, 1980
- 12) 志田 力, 中村和夫, 岡田昌義, 松森正之, 松田昌三, 小沢修一, 太田稔明, 西山範正, 沢田勝寛, 兼平暁夫: Björk-Shiley convexo-concave 弁による弁置換 100 例の経験. *日胸外会誌* **33**: 1214-1219, 1985
- 13) Pomar J: Early results with the new Duromedics bileaflet heart valve. *Proceedings of First International Hemex Symposium on the Duromedics Bileaflet Valve*, January 23-27, 1985
- 14) Dimitri WR, Williams BT: Intermediate term follow-up of Duromedics pyrolytic carbon valve. *J Cardiovasc Surg* **28** (Suppl): 15-16, 1987
- 15) 小澤修一, 中村和夫, 岡田昌義, 志田 力, 西脇正美, 小寺沢俊洋, 有川俊治: Duromedics 弁 30 例の使用経験. *人工臓器* **17**: 1158-1161, 1988
- 16) Nitter-Hauge S, Abdelnoor M: Ten-year experience with the Medtronic Hall valvular prosthesis: A study of 1104 patients. *Circulation* **80** (Suppl I): 43-48, 1989
- 17) Beaudet RL, Nakhle G, Beaulieu CR, Doyle D, Gauvin C, Poirier NL: Medtronic-Hall prosthesis: Valve-related deaths and complications. *Canad J Cardiol* **4**: 376-380, 1988
- 18) 岡本育夫: 人工弁置換後の慢性溶血に関する研究: とくに St. Jude Medical 弁を中心として. *日胸外会誌* **29**: 1478-1493, 1981
- 19) Horstkotte D, Körfer R, Seipel L, Bircks W, Loogen F: Late complications in patients with Björk-Shiley and St. Jude Medical heart valve replacement. *Circulation* **68** (Suppl II): 175-184, 1983
- 20) 楊井 剛: St. Jude Medical 弁による僧帽弁置換術後の臨床的検討: 急性期溶血発生因子の考察. *久留米医学会誌* **49**: 393-409, 1986
- 21) 西 義勝: 人工弁置換術後の溶血に関する臨床的検討: 主に St. Jude Medical 弁を中心として. *久留米医学会誌* **51**: 999-1017, 1988
- 22) Berger K, Sauvage LR, Wood SJ, Wesolowski SA: Sewing ring healing of cardiac valve prostheses. *Surgery* **61**: 102-117, 1967
- 23) Bull B, Fuchs JCA, Braunwald NS: Mechanism of formation of tissue layers on the fabric lattice covering intravascular prosthetic devices. *Surgery* **65**: 640-648, 1969