大動脈弁位の SJM 人工弁機能の評価と検討

—Energy loss index にも着目して—

中 村 都 英 矢 野 光 洋 矢 野 義 和
 齋 藤 智 和 新 名 克 彦 古 川 貢 之
 榎 本 雄 介 西 村 正 憲 鬼 塚 敏 男

従来、人工弁機能の指標として圧較差 (PG) と有効弁口面積 (EOA) などが使用されてきたが、これらはエネルギー損失や仕事量の増加を正確には示していない。今回、SJM 弁による大動脈弁置換術施行 40 例 (19HP 6 例, 21 mm 16 例, 23 mm 14 例, 25 mm 4 例) を対象に、これらの指標と Garcia らが提唱したエネルギー損失指数 (ELI) を超音波検査にて測定し、弁機能を検討した。手術から今回の検討までの期間は平均 6.2 ± 4.6 年であった。術前後の比較では左室心筋重量, SV1+RV5, 左室後壁厚が有意に減少したが、これらの減少率は人工弁のサイズによる差を認めず、左室に対する負荷の減少程度は同じであった。左室流出路徑 (19HP: 18 ± 2 mm, 21 mm: 21 ± 2 mm, 23 mm: 23 ± 4 mm, 25 mm: 27 ± 3 mm, $p < 0.01$), 体表面積 (19HP: 1.5 ± 0.2 m², 21 mm: 1.5 ± 0.2 m², 23 mm: 1.7 ± 0.1 m², 25 mm: 1.8 ± 0.1 m², $p < 0.01$), EOA (19HP: 1.2 ± 0.4 cm², 21 mm: 1.9 ± 0.7 cm², 23 mm: 2.2 ± 0.9 cm², 25 mm: 3.5 ± 1.1 cm², $p < 0.01$) に人工弁のサイズによる有意差を認めたが、ELI (19HP: 1.01 ± 0.41 cm²/m², 21 mm: 1.87 ± 1.03 cm²/m², 23 mm: 1.83 ± 1.09 cm²/m², 25 mm: 3.08 ± 1.21 cm²/m², $p = 0.055$) には差を認めなかった。小口径人工弁は有意に左室流出路徑や体表面積が小さい症例に用いられ、EOA は小さいが有効な左室肥大や心筋重量の減少を認めた。適切な症例の選択を行えば小口径人工弁による大動脈弁置換でも良好な弁機能であり、エネルギー損失も少なかった。ELI は人工弁の機能評価に有効であると思われる。日心外会誌 33 巻 2 号: 77-80 (2004)

Keywords: SJM 弁, 有効弁口面積, エネルギー損失指数

Clinical Evaluation of SJM Prosthetic Aortic Valve by Doppler Echocardiography: Application of Energy Loss Index (ELI) as a New Index of Aortic Prosthetic Valve Function

Kunihide Nakamura, Mitsuhiro Yano, Yoshikazu Yano, Tomokazu Saitoh, Katsuhiko Niina, Kohji Furukawa, Yusuke Enomoto, Masanori Nishimura and Toshio Onitsuka (The Department of Surgery II, Miyazaki Medical College, Miyazaki, Japan)

Although the pressure gradient (PG) and the effective orifice area (EOA) have been used as indices of prosthetic valve function, these values show correctly neither energy loss, nor increased workload. This study aimed to evaluate the prosthetic valve function using echocardiography and PG, EOA and energy loss index, a new index advocated by Garcia et al. These were calculated for 40 patients with aortic prosthetic valve replacement by SJM valve (19HP, 6 cases; 21 mm, 16 cases; 23 mm, 14 cases; 25 mm, 4 cases). Preoperative and postoperative echocardiographic measurements and their variations were analyzed and compared according to the size of implanted valve. In the comparison before and after aortic valve replacement, left ventricular mass (383 ± 151 g vs 288 ± 113 g, $p < 0.01$), SV1+RV5 on ECG (5.07 ± 1.73 mV vs 3.83 ± 1.5 mV, $p < 0.01$), and diastolic left ventricular posterior wall thickness (14.4 ± 3.7 mm vs 12.9 ± 2.8 mm, $p < 0.05$) decreased significantly after the operation. However, there was no significant difference according to the size of the prosthetic valve in these reduction rates calculated by (preoperative value - postoperative value)/preoperative value. Small size prosthetic valves were used for patients with small diameter of left ventricular outflow tract (LVOT) (19HP, 18 ± 2 mm; 21 mm, 21 ± 2 mm; 23 mm, 23 ± 4 mm; 25 mm, 27 ± 3 mm; $p < 0.01$) and small body surface area (19HP, 1.5 ± 0.2 m²; 21 mm, 1.5 ± 0.2 m²; 23 mm, 1.7 ± 0.1 m²; 25 mm, 1.8 ± 0.1 m²; $p < 0.01$) in our study. There was a significant difference in EOA (19HP, 1.2 ± 0.4 cm²; 21 mm, 1.9 ± 0.7 cm²; 23 mm, 2.2 ± 0.9 cm²; 25 mm, 3.5 ± 1.1 cm²; $p < 0.01$), but not in ELI (19HP, 1.01 ± 0.41 cm²/m²; 21 mm, 1.87 ± 1.03 cm²/m²; 23 mm, 1.83 ± 1.09 cm²/m²; 25 mm, 3.08 ± 1.21 cm²/m²; $p = 0.055$) according to the size of the prosthetic valve. Small size prosthetic valves had small EOA, but showed satisfactory valve function in decreasing left ventricular hypertrophy and reducing LVM and ELI of small size was similar to that of large size. Jpn. J. Cardiovasc. Surg. 33: 77-80 (2004)

従来、人工弁の血行動態の指標としてはドップラーエコー検査を用いた圧較差 (PG) と有効弁口面積 (EOA) などが使用されてきたが^{1,2)}、エネルギー損失や仕事量の増加を正確には示さず、弁置換の効果は間接的に左室肥大や左室心筋重量および長期予後で評価されてきた³⁾。最近、Garcia ら⁴⁾は理論的にエネルギー損失は大動脈断面積 (Aa) の増加にも依存することを示し、大動脈弁狭窄症 (AS) の重症度として energy loss index (ELI) = (EOA × Aa) / (Aa - EOA) / 体表面積 (BSA) なる概念を提唱し、0.52 cm²/m² 以下は突然死の発生や大動脈弁置換術 (AVR) が必要になることを示した。今回、従来の評価法に ELI を加え、人工弁機能を評価したので報告する。

対象と方法

当科外来通院中の SJM 弁による AVR 施行 40 例を対象とし、外来にて心臓超音波検査を行い、B モードにて大動脈径、左室流出路径、拡張期と収縮期の中隔壁厚、左室後壁厚および左室内腔を測定し、Teichholz 法による駆出率 (EF) と駆出分画 (%FS)、Devereux 法による左室心筋重量 (LVmass) とその指数 LVmass index (LVmass/BSA) を算出した。Composite graft による大動脈基部置換術例は除外した。またドップラー法にて左室流出路の血流速度と時間速度積分、大動脈弁の血流速度と時間速度積分を測定し、簡易 Bernoulli 式による最大圧較差 (PG)、連続式⁵⁾による EOA と EOAI (EOA/BSA)、ELI を計算した。また心電図の SV1+RV5 について術前後の値を比較検討した。人工弁のサイズによる検討は分散分析法、術前後の検討は paired *t*-test にて行い、*p* < 0.05 を有意差ありとした。

結 果

年齢は平均 64.4 ± 11.6 歳 (44 ~ 81 歳) で、手術から今回の検討まで平均 6.2 ± 4.6 年 (0.8 ~ 14 年) が経過していた。男性 23 例、女性 17 例、疾患の内訳は大動脈弁狭窄症 9 例、大動脈弁閉鎖不全症 31 例、使用された SJM 弁は 19 HP 6 例、21 mm 16 例、23 mm 14 例と 25 mm 4 例であった (表 1)。術前後の比較では LVmass (*p* < 0.01) および LVmass index (*p* < 0.01) が術後に有意に減少し、SV1+RV5 (*p* < 0.01) および左室後壁厚 (*p* < 0.05) も術後有意に減少したが、EF、%FS には術前後で差を認め

なかった (表 2)。有意に減少した指標について (術前値 - 術後値) / 術前値を減少率として、各サイズの弁で比較すると、すべての値で有意差を認めず、サイズに関係なく左室負荷は軽減された (表 3)。人工弁のサイズによる検討では手術時年齢には差を認めず、BSA (*p* < 0.01)、左室流出路径 (*p* < 0.01)、EOA (*p* < 0.01)、EOAI (*p* < 0.05) に有意差を認め、小口径弁は有意に体格が小さく、左室流出路が狭小な例に用いられていた。一方、大動脈径、PG、ELI には差を認めなかった (表 4)。

考 察

現在、人工弁の機能を評価するために用いられる指標はカテーテル検査やドップラー超音波検査 (US) にて得られる PG と EOA である。ところが、一般に US で得られる PG がカテーテルで得られる PG より大きく、この差は圧回復現象として軽症から中等度の大動脈弁狭窄症の患者に関係した重要な現象であることが示され^{6,7)}、回復する圧はドップラー流速、大動脈弁口面積、上行大動脈径から予測されることが Baumgartner ら⁸⁾により示された。圧回復現象はエネルギー保存の法則から考えられ実証されたもので、血流が狭窄部を通過するさい、流速の増加すなわち動的エネルギーが増加し、それにより静的エネルギーすなわち側圧が低下する。そして、狭窄部の遠位で流速の低下と乱流が生じ、動的エネルギーが低下すると、静的エネルギーが上昇し、側圧が上昇する。これが圧回復現象であ

表 1 症 例

年 齢	64.4 ± 11.6 歳 (44 ~ 81 歳)
術 後	6.2 ± 4.6 年 (0.8 ~ 14 年)
性 別	男性 23 例、女性 17 例
疾 患	大動脈弁狭窄症 9 例、大動脈弁閉鎖不全症 31 例
使用弁	19 HP 6 例、21 mm 16 例、23 mm 14 例、 25 mm 4 例

表 2 術前後の比較検討

	術前値	術後値	<i>p</i>
左室心筋重量 (g)	383 ± 151	288 ± 113	< 0.01
左室心筋重量指数 (g/m ²)	214 ± 97	184 ± 67	< 0.01
拡張期左室後壁厚 (mm)	14.4 ± 3.7	12.9 ± 2.8	< 0.05
駆出率 (%)	67.3 ± 15.3	66.2 ± 15.1	n. s.
駆出分画 (%)	32.7 ± 12.2	32.1 ± 9.8	n. s.
SV1+RV5 (mV)	5.07 ± 1.73	3.83 ± 1.5	< 0.01

表 3 左室心筋重量、拡張期左室後壁厚、SV1+RV5 の減少率の比較

	19HP (<i>n</i> = 6)	21mm (<i>n</i> = 16)	23mm (<i>n</i> = 14)	25 mm (<i>n</i> = 4)	<i>p</i>
左室心筋重量 (%)	9.1 ± 26.6	8.7 ± 19.8	23.6 ± 16.7	39.0 ± 29.8	n. s.
拡張期左室後壁厚 (%)	8.8 ± 6.0	12.2 ± 19.9	-3.6 ± 29.7	20.4 ± 21.1	n. s.
SV1+RV5 (%)	25.6 ± 22.1	24.9 ± 30.7	12.0 ± 36.8	30.9 ± 41.2	n. s.

表4 使用弁サイズによる比較

	19 HP (n=6)	21 mm (n=16)	23 mm (n=14)	25 mm (n=4)	p
手術時年齢 (歳)	66.3±6.9	60.6±9.7	54.3±12.3	51.3±3.5	n. s.
体表面積 (m ²)	1.5±0.2	1.5±0.2	1.7±0.1	1.8±0.1	<0.01
左室流出路径 (mm)	18.1±2.0	20.9±2.4	22.7±3.9	26.6±3.1	<0.01
大動脈径 (mm)	29.5±3.4	32.0±4.5	34.8±6.3	34.5±1.7	n. s.
有効弁口面積 (cm ²)	1.2±0.4	1.9±0.7	2.2±0.9	3.5±1.1	<0.01
有効弁口面積指数 (cm ² /m ²)	0.8±0.23	1.2±0.49	1.3±0.55	1.9±0.47	<0.05
最大圧較差 (mmHg)	17.8±5.6	22.1±10.4	18.4±6.7	16.6±13.9	n. s.
エネルギー損失指数 (cm ² /m ²)	1.01±0.41	1.87±1.03	1.83±1.09	3.08±1.21	n. s.

り、US で導かれる数値は狭窄部の最大流速を用いて得られ、カテーテルで得られる数値は狭窄部の遠位を含めた全体の数値を表すために、両者に差が発生する。このことから単に US やカテーテルで PG を測定しそれから EOA を推測する方法では弁機能としての仕事量の増加やエネルギー損失を表していないことが考えられてきた。Heinrich ら⁹⁾ は本来の血行動態的負荷の正しい指標であるエネルギー損失と圧回復現象で回復した圧を実験的モデルで測定し、エネルギー損失は弁による圧減少とは相関が弱く、回復した圧と有意相関を示すことを明らかにした。

Garcia ら⁴⁾ は非侵襲的な US によって大動脈弁狭窄により発生するエネルギー損失を正確に示す指標として理論的に ELI を導き、これを用いた臨床的検討から、0.52 cm²/m² 以下は突然死の発生や AVR が必要になることを示した。われわれの検討は AVR 後であり、結果として ELI が 0.52 cm²/m² 以下を呈した症例はなく、妥当な指標であることがうかがわれた。

US により測定される PG は上記の圧回復現象や限局的な狭窄が存在する場合には、過大評価されやすい。また、PG は心拍出量に依存し、心拍出量は体表面積とともに増加する¹⁰⁾。一方、EOA の計算式は左室流出路断面面積との相対的評価であることから、心室中隔が肥厚している場合は左室流出路断面面積が減少し、結果的に EOA も低値を示す。21HP と 23HP を 21 mm と 23 mm の standard cuff と比較した論文でも EOA に有意差がなかったとの報告があり¹¹⁾、われわれの 19HP と 21 mm の人工弁が幾何学的には同じ弁口面積が、US にて測定した EOA に有意差が認められたのも、両群の左室流出路径に有意差が存在していることが原因であるものと思われた。さらに、EOA は弁置換術後の左室壁肥厚の減少とともに増大し¹²⁾、われわれの EOA の結果が諸家の報告より若干大きい理由も、術後平均 6.2 年後の検討であるからと思われた。これらのことから、EOA や PG を用いた人工弁の評価には慎重な判断が必要である。

今回、US を用いて 19HP から 25 mm までの SJM 弁の評価を行ったが、左室心筋重量、左室後壁厚、SV1+RV5

において有意に AVR 後に減少し、すべてのサイズにおいてその減少率には差を認めなかった。すなわち、左室の圧負荷を減少する目的においては 19HP や 21 mm という小口径人工弁でも十分であることが判明した。ただし、われわれの症例は各サイズにおいて術前の体表面積と左室流出路に有意差を認め、体表面積と左室流出路が小さい症例にサイズの小さい弁が用いられていた。

Rahimtoola が当時使用された生体弁、ボール弁および傾斜弁で AVR 後に発生する左室流出路狭窄を valve-patient mismatch として報告して以来¹³⁾、小口径人工弁では圧較差の増大から心機能低下、さらには長期予後の不良が危惧されてきた。しかし有効弁口面積が広い SJM の出現により、小口径人工弁による AVR の是非が論争となり、Kratz ら¹⁴⁾ は SJM19, 21 mm の AVR では BSA 1.9 m² 以上で後期遠隔死亡の危険性をわずかに増加させると報告した。しかし、Hanayama らは valve-patient mismatch を EOAI < 0.6 cm²/m² と定義し、生存率や左室重量には術後 10 年までは差がなく、valve-patient mismatch 自体に否定的な報告を行っている¹⁵⁾。また、左室肥大¹⁶⁾ や長期予後^{17,18)} も口径が大きい人工弁と差がないことが報告されている。われわれの検討でも、21 mm 以下の小口径人工弁による AVR の左室に対する負荷の減少は 23 mm 以上の人工弁と同等であった。

結 語

21 mm 以下の弁は有効弁口面積は小さいが、有意に左室流出路径や体表面積が小さい症例に用いられ、左室肥大や LVmass の減少程度および energy loss index において 23 mm 以上の弁と有意差を認めず、適切な症例の選択を行えば小口径弁でも良好な弁機能であることが判明した。また、energy loss index は人工弁の評価に有効であることが示された。

文 献

- 1) Imanaka, K., Takamoto, S. and Furuse, A.: Favorable results in patients with small size Carbomedics heart valves in the aortic position. Ann. Thorac. Cardiovasc.

- Surg. **7**: 150-154, 2001.
- 2) Jaffe, W. M., Coverdale, A., Roche, A. H. G. et al.: Rest and exercise hemodynamics of 20 to 23 mm allograft, medtronic intact (porcine), and St. Jude medical valves in the aortic position. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **100**: 167-174, 1990.
 - 3) Beth-Hanssen, O., Caidahl, K., Wall, B. et al.: Influence of aortic valve replacement, prosthesis type, and size on functional outcome and ventricular mass in patients with aortic stenosis. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **118**: 57-65, 1999.
 - 4) Garcia, D., Pibarot, P., Dumesnil, J. G. et al.: Assessment of aortic valve stenosis severity—a new index based on the energy loss concept. *Circulation* **101**: 765-771, 2000.
 - 5) Skjaerpe, T., Hegrenaes, L. and Hatle, L.: Noninvasive estimation of valve area in patients with aortic stenosis by Doppler ultrasound and two-dimensional echocardiography. *Circulation* **72**: 810-818, 1985.
 - 6) Niederberger, J., Schima, H., Maurer, G. et al.: Importance of pressure recovery for the assessment of aortic stenosis by Doppler ultrasound. Role of aortic size, aortic valve area, and direction of the stenotic jet in vitro. *Circulation* **94**: 1934-1940, 1996.
 - 7) Laskey, W. K. and Kussmaul, W. G.: Pressure recovery in aortic stenosis. *Circulation* **89**: 116-121, 1994.
 - 8) Baumgartner, H., Stefenelli, T., Niederberger, J. et al.: "Overestimation" of catheter gradients by Doppler ultrasound in patients with aortic stenosis: a predictable manifestation of pressure recovery. *J. Am. Coll. Cardiol.* **33**: 1655-1661, 1999.
 - 9) Heinrich, R. S., Fontaine, A. A., Grimes, R. Y. et al.: Experimental analysis of fluid mechanical energy losses in aortic valve stenosis: Importance of pressure recovery. *Ann. Biomed. Eng.* **24**: 685-694, 1996.
 - 10) Dumesnil, J. G., Honos, G. N., Lemieux, M. et al.: Validation and applications of indexed aortic prosthetic valve areas calculated by Doppler echocardiography. *J. Am. Coll. Cardiol.* **16**: 637-643, 1990.
 - 11) Vitale, N., Caldarera, I., Muneretto, C. et al.: Clinical evaluation of St. Jude medical hemodynamic plus versus standard aortic valve prostheses: The Italian multicenter, prospective, randomized study. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **122**: 691-698, 2001.
 - 12) Gelsomino, S., Morocutti, G., Da Col, P. et al.: Preliminary experience with St. Jude medical regent mechanical heart valve in aortic position: Early in vivo hemodynamic results. *Ann. Thorac. Surg.* **73**: 1830-1836, 2002.
 - 13) Rahimtoola, S. H.: The problem of valve prosthesis-patient mismatch. *Circulation* **58**: 20-24, 1978.
 - 14) Kratz, J. M., Sade, R. M., Crawford, F. A., Jr. et al.: The risk of small St. Jude aortic valve prostheses. *Ann. Thorac. Surg.* **57**: 1114-1119, 1994.
 - 15) Hanayama, N., Christakis, G. T., Mallide, H. R. et al.: Patient prosthesis mismatch is rare after aortic valve replacement: valve size may be irrelevant. *Ann. Thorac. Surg.* **73**: 1822-1829, 2002.
 - 16) De Paulis, R., Sommariva, L., De Matteis, G. M. et al.: Extent and pattern of regression of left ventricular hypertrophy in patients with small size carbomedics aortic valves. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **113**: 901-909, 1997.
 - 17) Medalion, B., Blackstone, E. H., Lytle, B. W. et al.: Aortic valve replacement: Is valve size important? *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* **119**: 963-974, 2000.
 - 18) Sawant, D., Singh, A. K., Feng, W. C. et al.: Nineteen-millimeter aortic St. Jude medical heart valve prosthesis: up to sixteen years' follow up. *Ann. Thorac. Surg.* **63**: 964-970, 1997.