

肺動脈弁狭窄症における右室拡張機能の心血管造影による検討 —バルーン肺動脈弁形成術前後での比較—

(平成2年11月19日受付)

(平成4年2月7日受理)

順天堂大学小児科学教室

島崎信次郎 井埜 利博 大久保又一 秋元かつみ
西本 啓 岩原 正純 藪田敬次郎

key words : 肺動脈弁狭窄症, バルーン肺動脈弁形成術, 右室拡張機能, 後負荷, 心筋重量

要 旨

肺動脈弁狭窄症 (PVS) における右室拡張機能を心血管造影により, 正常対照およびバルーン肺動脈弁形成術 (BPV) 後と比較し, 検討した。対象は, PVS 18例であり, 圧較差30mmHg 以上の11例を1群, 30mmHg 以下の7例を2群として分類した。正常対照 (N 群) は7例である。方法は正側面にて施行した右室造影より Simpson 法を用いて右室収縮末期, 拡張末期容積および diastolic filling period (DFP) の半分の時点における右室容積 (それぞれ RVESV, RVEDV, $1/2 \cdot V$) を測定した。更に, 以上の数値を用いて, 駆出率 (EF), $|RVESV - RVEDV|$ と EDP と 0 点との差との比である $\Delta V / \Delta P$, $1/2 \cdot V$ と $1/2 \cdot DFP$ との比である peak filling rate (PFR), $|1/2 \cdot V - RVESV|$ と $|RVESV - RVEDV|$ との比である half filling fraction ($1/2 \cdot FF$), を計算し, 各群にて比較した。その結果, 1群では, 右室拡張末期圧 (EDP) は有意に上昇し, 右室拡張末期容積 (EDV), $\Delta V / \Delta P$, PFR は低下しており, PVS における拡張機能の低下が示唆された。一方, BPV 後において EDP は低下し, $\Delta V / \Delta P$ は上昇したが, PFR は変化せず, $1/2 \cdot FF$ は低下した。以上より, PVS の拡張機能障害は心筋の肥大による early filling の障害および後負荷による atrial filling の障害の両方が存在し, PVS 施行後は, 後負荷の解除による atrial filling の改善が得られるものと思われた。

はじめに

肥大型心筋症や, 大動脈弁狭窄症等の左心系圧負荷疾患において, 心筋肥大のための心筋重量の増加による拡張機能の低下については, ドプラーエコーによる僧帽弁血流パターンの検討等, 従来よりいくつかの報告がある^{1)~4)}。しかし, 右心室の拡張機能の評価については, その検討方法が難しく, 肺動脈弁狭窄症 (PVS) 等の右室圧負荷疾患に伴う拡張機能の低下に関する報告は少ない^{5)~7)}。また, 後負荷増加による心室壁の圧負荷が右室拡張機能に及ぼす影響については更に少ない⁸⁾。今回, 右室造影像を用いた右室の拡張期容積およ

び圧変化から, 右室の拡張機能を計測し, 正常対照およびバルーン肺動脈弁形成術 (BPV) 施行後と比較することにより PVS における右室拡張機能の低下が心筋重量の増加によるものなのか, 或いは, 後負荷によるものなのかを検討した。すなわち, BPV により, 圧負荷は解除されるが心筋重量は変化しないという仮定のもとに, BPV 施行前後で比較することにより, 心筋重量の変化に影響されない圧負荷のみの右室機能の変化を推察し得るものと考えた。

対象および方法

対象は, PVS 18例であり, 1群として圧較差30mmHg 以上の PVS 11例 (3.5 ± 3.4 歳), 2群として圧較差30mmHg 以下の PVS 7例 (6.1 ± 1.5 歳) の2群に分類した。2群の7例は全例, 心エコーあるいは右

室造影にて肺動脈弁の doming を認めた。また, Qp/Qs が1.3以下の small VSD 6 例および心室性頻拍症 1 例の計 7 例(4.8±3.8歳)を正常対照として N 群とした。BPV を施行した 8 例に関しては, 術前の圧較差47.9±15.5mmHg から, 術後は20.5±13.6mmHg へと有意に低下していた (p<0.0001)。

方法は, 正側面にて施行した右室造影像から収縮末期を選びトレースし, 次に連続した拡張末期容積をトレースし, それぞれの右室容積 (RVESV, RVEDV) を Simpson 法により測定した。次に, 拡張期流入時間 (DFP) の半分の時点における右室容積 (1/2・V) を測定した。拡張期流入時間は, 右室造影上より拡張期のコマ数より計算した。用いたシネアングロは Simpsons 社製の Cardiodiagnost で 1 分間, 50 コマで撮影した。RVEDV に関しては, 体表面積から RVEDV の正常値を算出しそれを基に %RVEDV を求めた⁹⁾。以上の数値を用いて, 収縮機能の指標として駆出率(EF)を計測し, また拡張機能については, 拡張期容積変化つまり RVESV と RVEDV との差の絶対値 (ΔV) と,

右室拡張末期圧の EDP と 0 点の差 (ΔP) との比 (ΔV/ΔP)¹⁰⁾, また peak filling rate (PFR) として,

$$PFR = (1/2 \cdot V - ESV) / 1/2 \cdot DFP$$

$$\text{half filling fraction } (1/2 \cdot FF) \text{ として}$$

$$1/2 \cdot FF = (1/2 \cdot V - ESV) / \Delta V$$

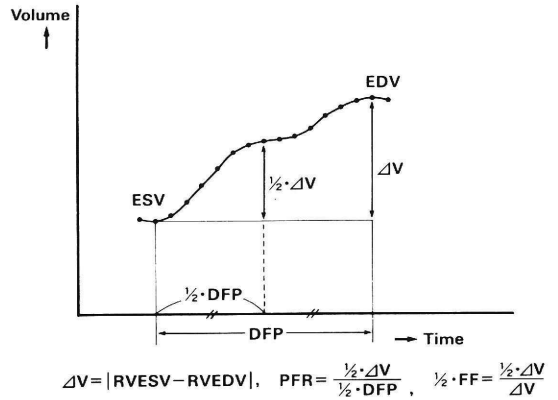


図1 拡張期容積変化曲線および心機能測定方法

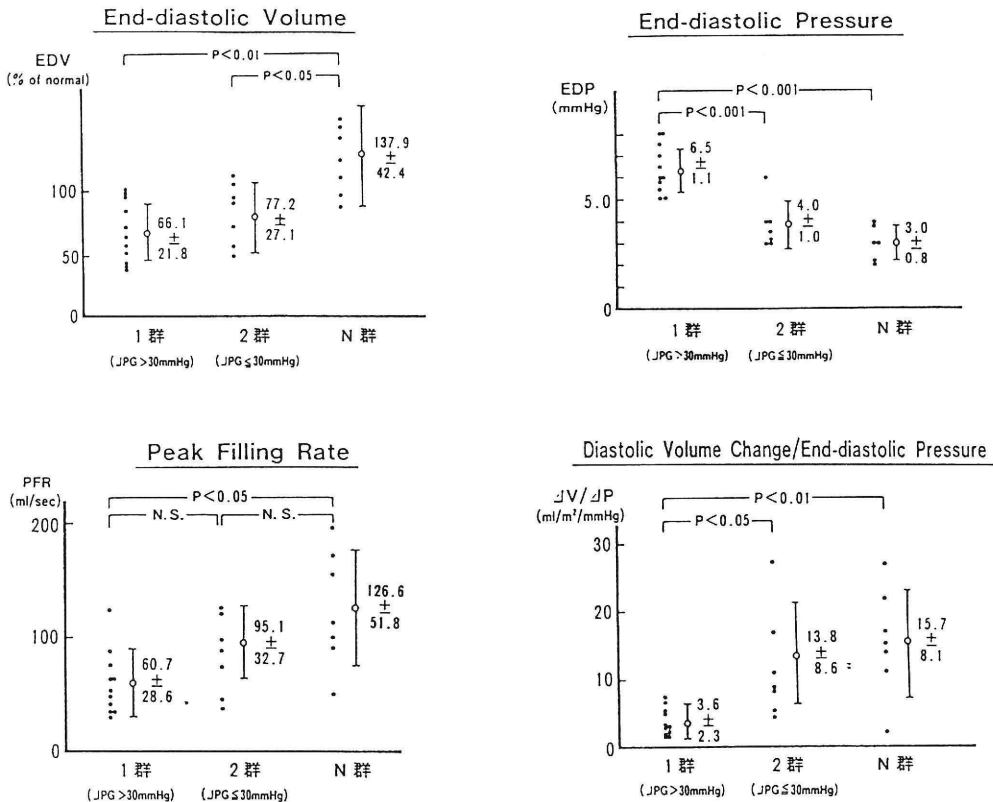


図2 各群における心機能の比較

を右室の拡張機能の指標として計算し¹¹⁾、各群にて比較した(図1)。尚、EDPは右室圧曲線における6心拍の平均を用いた。

統計学的検討は、2群間の比較にはtおよびpaired t検定を、3群間の比較には分散分析を用いた。

結果

1) 正常対照との比較について(図2)

Fick法より求めた心拍出力は1群; 3.4 ± 1.2 L/min/m², 2群; 3.6 ± 1.5 L/min/m², N群; 3.7 ± 1.1 L/min/m², と有意差はなかった。

EFに関しては、1群; $65.2 \pm 11.9\%$, 2群; $64.3 \pm 10.0\%$, N群; $58.6 \pm 5.2\%$ と各群間に有意差はなかった。%EDVは、1群; $66.1 \pm 21.8\%$, 2群; $77.2 \pm 27.1\%$, N群; $137.9 \pm 42.4\%$ と、N群と比較して、1群および2群において有意に低下しており ($p < 0.01$, $p < 0.05$)、1群、2群、N群と上昇する傾向にあった。1群の中に心房間短絡による右左シャントを来した症例はなかった。EDPは、1群; 6.5 ± 1.1 mmHg, 2群; 4.0 ± 1.0 mmHg, N群 3.0 ± 0.8 mmHgと、1群においては、2群およびN群と比較して有意に低下して

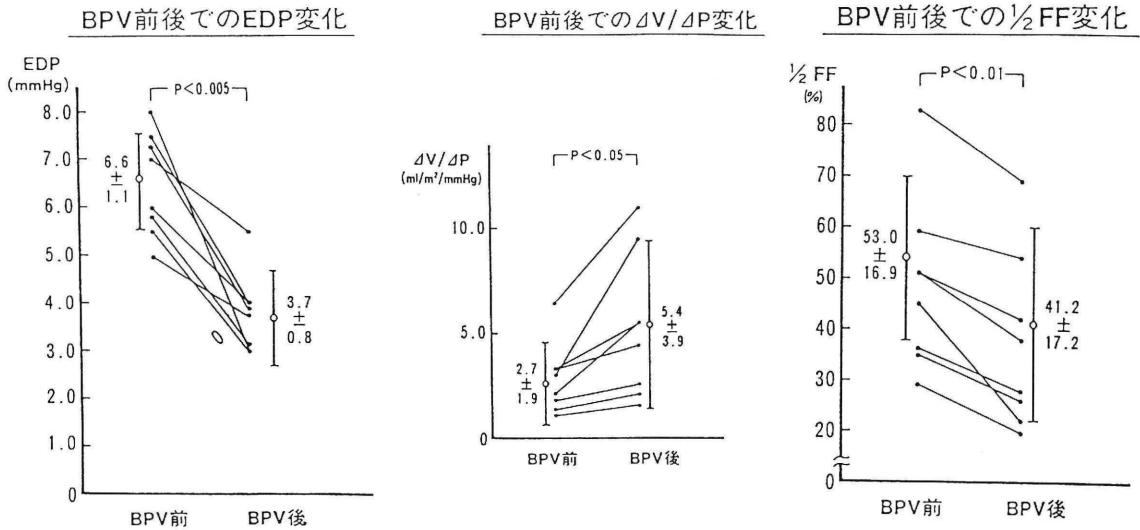


図3 BPV 施行前後における心機能の変化

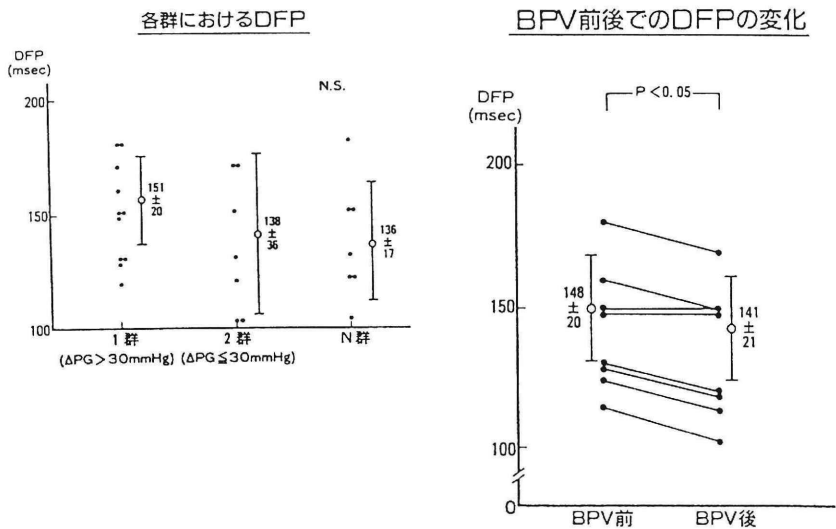


図4 diastolic filling period の各群における比較および BPV 前後での変化

いた($p < 0.001$, $p < 0.001$). $\Delta V/\Delta P$ は, 1群; $3.6 \pm 2.3 \text{ ml/m}^2/\text{mmHg}$, 2群; $13.8 \pm 8.7 \text{ ml/m}^2/\text{mmHg}$, N群; $15.7 \pm 8.1 \text{ ml/m}^2/\text{mmHg}$ と1群において有意に低下していた($p < 0.05$, $p < 0.01$). PFR は, 1群; $60.7 \pm 28.6 \text{ ml/sec}$, 2群; $95.1 \pm 32.7 \text{ ml/sec}$, N群; $126.6 \pm 51.8 \text{ ml/sec}$ と, 1群はN群と比較して有意に低下しており($p < 0.05$), 1群, 2群, N群と上昇する傾向にあった. $1/2 \cdot \text{FF}$ は各群に有意差はなかった.

2. BPV 前後における比較 (図3)

EF は, $63.1 \pm 15.1\%$ から $63.3 \pm 7.9\%$ と, また, %EDV は, $62.5 \pm 25.2\%$ から $64.1 \pm 21.3\%$ と有意な変化を認めなかった. EDP は, $6.6 \pm 1.1 \text{ mmHg}$ から $3.7 \pm 0.8 \text{ mmHg}$ と有意に低下しており($p < 0.005$), $\Delta V/\Delta P$ は, $2.7 \pm 1.9 \text{ ml/m}^2/\text{mmHg}$ から $5.4 \pm 3.9 \text{ ml/m}^2/\text{mmHg}$ と有意な上昇を認めた ($p < 0.05$). PFR は, $47.2 \pm 15.2 \text{ ml/sec}$ から $44.1 \pm 20.1 \text{ ml/sec}$ と有意な変化はなく, $1/2 \cdot \text{FF}$ は, $53.0 \pm 16.9\%$ から $41.2 \pm 17.2\%$ と有意に低下していた ($p < 0.01$).

3) DFP について (図4)

尚, 心拍数は, 各々1群 $105 \pm 24/\text{min}$, 2群 $98 \pm 19/\text{min}$, 3群 $106 \pm 14/\text{min}$, であり, 各群間に有意差はなかった. また, BPV 前後では $102 \pm 22/\text{min}$ から $108 \pm 21/\text{min}$ と有意差はなかった.

DFP は, 1群; $151.6 \pm 20.0 \text{ msec}$, 2群 $138.2 \pm 36.4 \text{ msec}$, N群; $135.7 \pm 26.4 \text{ msec}$ と有意差はなかったが1群, 2群, N群と低下する傾向にあり, また, BPV 施行前後で比較すると, $148.0 \pm 20.0 \text{ msec}$ から $141.3 \pm 21.1 \text{ msec}$ と有意に低下していた.

考 案

1) PVS における右室拡張期機能

左室における拡張機能については, 肥大型心筋症, 大動脈弁狭窄症等に代表される様に, 心筋の肥厚に基づく左室拡張機能の障害として, dV/dP , $dV/dP/V$ および, 圧-容積指数関係 (In-P-V relation) の勾配 k が有意な異常値をとること, あるいは, ドップラーエコー上の僧帽弁流入パターンによる early filling の低下などとして従来より認められてきた^{1)~4)12)~15)}. しかし, 同様に右室心筋の肥厚を呈する肺動脈弁狭窄においては, 左室と比較して右室の拡張機能の評価法が難しいため, PVS 等の圧負荷疾患における右室拡張機能について検討した報告は極めて少ない^{5)~7)}. また, 拡張機能の障害が, 心筋重量の増加のみならず後負荷による影響も加味されている可能性があり, この点に関しては BPV 前後で右室機能の変化を検討することによ

り, 心筋重量の変化に影響されない圧負荷のみの影響を推察し得る.

Meliones らは, 同様に大動脈縮窄症等の左心系の後負荷疾患において Doppler echo で求めた僧帽弁の流入パターンより relaxation の低下を指摘している²⁾. 筆者らの結果では, まず EF は PVS においても有意な低下を認めず, 心不全症状のない PVS においては, 従来どおり収縮機能の低下はないものと思われる. また, %EDV は PVS において有意に低下しており, これは PVS における求心性の心筋肥大の結果, 心筋コンプライアンスが低下することによると考えられた. 一方, 拡張機能については, PVS において EDP は上昇しており, また, $\Delta V/\Delta P$ および PFR は, PVS において有意に低下していた. $\Delta V/\Delta P$ は右室の overall distensibility の指標とされており¹⁰⁾, また, PFR は early filling における平均血流速度を示すものであり, Doppler echo で求めた三尖弁流入パターンの E 波に相当する. 従ってこの値は, PVS における拡張機能の低下を示唆するものであり, 左心の圧負荷疾患における上記の報告と一致する.

2) BPV 前後での右室拡張機能

一方, BPV 施行後では, EF, %EDV は一定の変化を示さず, 右室収縮機能は BPV 施行後も変化しないものと思われた. しかし, 圧較差の低下に伴い, RVEDP は有意に低下し, また $\Delta V/\Delta P$ は有意に上昇していた. これらの変化は BPV 施行後の拡張機能の改善を示唆しているが, PFR の改善は認められず, 逆に, $1/2 \cdot \text{FF}$ は有意に低下していた. これは, BPV 施行後に early filling と比較して atrial filling が増加していることに他ならないが PFR は変化しておらず, atrial filling が上昇していることを示唆している. これらの結果は, BPV 施行後の拡張機能の改善は, early filling の改善よりも, むしろ atrial filling の改善によるものであることが示唆される. すなわち, PVS における拡張機能の低下は, 主に心筋重量の増加による early filling の低下および, 主に後負荷による atrial filling の低下の両者が関与しており, BPV による後負荷の解除により, atrial filling のみが改善され, early filling には変化を及ぼしていないものと考えられる.

この際, EDV および ΔV に有意な変化が認められていない以上, $1/2 \cdot \text{FF}$ が低下する理由としては, $1/2 \cdot \text{DFP}$ の時点における右室容積と収縮末期容積との差, すなわち $1/2 \cdot \Delta V$ が低下していることであるが, $1/2 \cdot \Delta V$ と $1/2 \cdot \text{DFP}$ の比である PFR は変化していない.

つまり、 $1/2 \cdot \text{FF}$ が低下しているにも関わらず PFR の変化が認められないということは、BPV 後に $1/2 \cdot \text{DFP}$ ひいては、diastolic filling period が短縮していることに他ならない。事実 DFP は PVS 群において低い傾向にあり、BPV 施行後は有意に低下していた。この事実は、PVS における拡張機能の低下が DFP の延長として認められていることが示唆される。また、DFP は心拍数により大きく影響を受けるが、今回のデータからは、心拍数は BPV 前後では変化しておらず PVS において、心筋重量の増加が DFP の延長をもたらすことが考えられるが、BPV 施行後に改善していることから、後負荷による拡張障害も DFP の延長に関与している可能性も示唆された。

以上の検討から次の仮説が考えられる。すなわち、PVS における拡張機能の低下は心筋重量の増加のみならず後負荷自体によっても引き起こされ、前者は early filling に、後者は atrial filling に影響を及ぼしている。また拡張機能の低下が、diastolic filling period の延長として反映されている可能性があるものと思われた。

ま と め

PVS における右室拡張機能は、1) 心筋重量の増加による early filling の低下および、2) 後負荷による atrial filling の低下の両方が存在し、BPV による圧差の解除により atrial filling のみが改善されるものと思われる。また PVS の拡張機能の低下は DFP の延長としてとらえられる可能性が示唆される。

尚、本論文の要旨は、第26回日本小児循環器学会にて発表した。

文 献

- 1) James, J.F., Howard, S.B. and Edward, P.R.: Doppler echocardiographic assessment of the effect of balloon aortic valvuloplasty on left ventricular systolic function. *Am. Heart J.*, 117: 18, 1989.
- 2) Meliones, J.N., Snider, A.R., Serwer, G.A., Shaffer, E.M., Rocchini, A.P., Beekman, R.H., Rosenthal, A., Dick, M., Peters, J. and Reynolds, P.: Pulsed doppler assessment of left ventricular diastolic filling in children with left ventricular outflow obstruction before and after balloon angioplasty. *Am. J. Cardiol.*, 63: 231, 1989.
- 3) Lima, C.O., Sahn, D.J., Valdes-Cruz, L.M., Allen, H.D., Goldberg, S.J., Grenadier, E. and Barron, J.V.: Prediction of the severity of left ventricular outflow obstruction by quantitative two-dimensional echocardiographic Doppler studies. *Circulation*, 68: 348, 1983.
- 4) Hatle, L.: Noninvasive assessment of differentiation of left ventricular outflow obstruction with Doppler ultrasound. *Circulation*, 64: 381, 1981.
- 5) Tominaga, T., Oki, T., Okushi, H., Ishimoto, T., Uchida, T., Kagawa, T., Kawano, K., Fukuda, N. and Mori, H.: Diastolic right ventricular hemodynamics in right ventricular overloads assessed by pulsed Doppler echocardiography. *J. Cardiol.*, 18: 1115, 1988.
- 6) 大和真史, 宮武邦夫, 岡本光帥, 水木直和, 別府慎太郎, 朴 永大, 椿森省二, 榊原 博, 仁村泰治: 右室流入の超音波パルス・ドップラー法分析—右室負荷による変化について. *日超医講演論文集*, 41: 353, 1982.
- 7) 水重克文, 千田彰一, 森田久樹, 和田 茂, 三木茂裕, 高光義博, 島 国美, 松尾裕葉: 超音波パルス・ドップラー法による慢性肺疾患における右室流入血流速パターンの解析. *日超医講演論文集*, 41: 355, 1982.
- 8) Vermilion, R.P., Snider, A.R., Meliones, J.N., Peter, J. and Merida-Asmus, L.: Pulsed doppler evaluation of right ventricular diastolic filling in children with pulmonary valve stenosis before and after balloon valvuloplasty. *Am. J. Cardiol.*, 66: 79, 1990.
- 9) 中沢 誠: 心血管造影法による右室容量計算と右室 performance の評価. *心臓*, 7(9): 573, 1977.
- 10) Gotsman, M.S. and Lewis, B.S.: Left ventricular volumes and compliance in hypertrophic cardiomyopathy. *Chest*, 66: 498, 1974.
- 11) Rokey, R., Kuo, L.C., Zoghbi, W.A., Limacher, M.C. and Quinones, M.A.: Determination of parameters of left ventricular diastolic filling with pulsed Doppler echocardiography: Comparison with cineangiography. *Circulation*, 71: 543, 1985.
- 12) Eichhorn, P., Grimm, J., Koch, R., Hess, O., Carroll, J. and Kraysenbuehl, H.P.: Left ventricular relaxation in patients with left ventricular hypertrophy secondary to aortic valve disease. *Circulation*, 65: 1395, 1982.
- 13) Murakami, T., Hess, O.M., Gage, J.E., Grimm, J. and Kraysenbuehl, H.P.: Diastolic filling dynamics in patients with aortic stenosis. *Circulation*, 73: 1162, 1986.
- 14) Toshima, H., Ueba, T., Aoyagi, M., Koga, Y., Miki, N. and Kimura, N.: Peak negative dP/dT as an index of left ventricular relaxation.

- Jpn. J. Med., 15 : 322, 1976.
15) Gaasch, W.H., Battle, W.E., Oboler, A.A.,
Banath, J.S. Jr. and Levine, H.J.: Left

ventricular stress and compliance in man. With special reference to normalized ventricular function curves. Circulation, 45 : 746, 1972.

Angiographical Assessment of Right Ventricular Diastolic Function in Children with Pulmonary Valve Stenosis —Comparison with Normal Control and Post Balloon Pulmonary valvuloplasty—

Shinjiro Shimazaki, Toshihiro Ino, Mataichi Okubo, Katsumi Akimoto, Kei Nishimoto,
Masazumi Iwahara and Keijiro Yabuta

Department of Pediatrics, Juntendo University School of Medicine

To assess right ventricular (RV) diastolic function in children with RV pressure overload and hypertrophy, 14 patients with pulmonary valve stenosis (PVS) were divided 2 groups; group 1, 9 cases with pressure gradient more than 30 mmHg; group 2, 5 cases with that less than 30 mmHg. Normal control subjects were 7 age-matched cases. In addition, 6 cases in group 1 were compared with post balloon pulmonary valvuloplasty. Each child were underwent biplane right ventricular angiography and obtained right ventricular volume at following phase; end-diastolic, end-systolic and one half diastolic filling period. Ejection fraction (EF), $\Delta V/\Delta P$, peak filling rate (PFR) and half filling fraction ($1/2 \cdot FF$) were calculated from the above data and comparison with each group. In group 1, end-diastolic pressure (RVEDP) was significantly increased, $\Delta V/\Delta P$ and PFR were significantly decreased. On the other hand, at post BPV, RVEDP and $1/2 \cdot FF$ were significantly decreased, $\Delta V/\Delta P$ was significantly increased, but PFR was no change. These findings suggest that RV diastolic function disturbance in PVS is characterized by not only ventricular hypertrophy but also pressure overload, however, ventricular hypertrophy effect diastolic early filling and pressure overload effect atrial filling. And then, diastolic filing period may be prolonged by diastolic function disturbance.
