

肺動脈弁狭窄に対するバル
ーン弁形成術の長期経過観
察：パルス・ドップラー心エ
コー図法による検討

Balloon valvuloplasty
for pulmonary valvular
stenosis: A long-term
follow-up study using
pulsed Doppler echo-
cardiography

鈴木 和重
赤木 禎治
豊田 温
三ヶ島 尊利
井上 治
横地 一興
加藤 裕久

Kazushige SUZUKI
Teiji AKAGI
On TOYODA
Takatoshi MIKAJIMA
Osamu INOUE
Kazuoki YOKOCHI
Hirohisa KATO

Summary

From June 1984 to March 1987, percutaneous balloon valvuloplasty (PBV) was performed for 22 patients with congenital pulmonary valvular stenosis. It was successful for 20 patients, and there were significant decreases of transvalvular pressure gradients; 72 ± 30 mmHg before PBV, and 30 ± 12 mmHg immediately after PBV ($p < 0.001$). In a follow-up study, pulsed Doppler echocardiography and cardiac catheterization were used to examine changes in long-term hemodynamic findings after PBV. One year follow-up evaluation was performed for 14 patients, and two year follow-ups for seven patients. One year after PBV the transvalvular pressure gradients were evaluated during cardiac catheterization in 11 patients, and using pulsed Doppler echocardiography in the remaining three patients. The gradients of the seven patients at two year intervals after PBV were evaluated using pulsed Doppler echocardiography. The pressure gradients of two patients improved further one year later due to the anatomical degradation in the right ventricular outflow tracts. For seven patients, two year follow-up evaluations were performed, and the transvalvular pressure gradient reduced from 84 ± 23 to 33 ± 15 mmHg ($p < 0.001$) immediately afterwards; to 27 ± 22 mmHg ($p < 0.01$) one year later; and further to 12 ± 5 mmHg ($p < 0.001$) two years after PBV. Second PBV was performed for three patients in whom a residual gradient was recognized, with the good results.

On auscultation, a pulmonary regurgitant murmur was recognized in 28% of 18 patients immediately after PBV, but 80% of this resolved one year later. Two patients had pulmonary regurgitation with pulmonary valvular stenosis before PBV. When pulmonary regurgitation was examined by pulsed

久留米大学医学部 小児科
福岡県久留米市旭町 67 (〒830)

Department of Pediatrics and Child Health, Kurume
University School of Medicine, Asahimati 67, Kuru-
me 830

Received for publication September 7, 1987; accepted October 30, 1987 (Ref. No. 34-4)

Doppler echocardiography, a mild pulmonary regurgitant signal was recognized in 90% of the patients immediately after PBV. We evaluated pulmonary regurgitation serially using pulsed Doppler echocardiography at intervals from two to twelve months; however, it did not progress and in some patients it resolved. Among complications of PBV, pulmonary regurgitation was recognized, but it was very mild, and was not progressive. Therefore, pulmonary balloon valvuloplasty is an effective and safe means of treating congenital pulmonary valvular stenosis. Pulsed Doppler echocardiography is useful for the follow-up study of PBV.

Key words

Balloon valvuloplasty
follow-up study

Pulmonary valvular stenosis

Pulsed Doppler echocardiography

Long-term

目 的

バルーン弁形成術や血管形成術は、方法の簡便さと、開胸の手術よりも侵襲が少なく経済的であることなどから、肺動脈弁狭窄や大動脈縮窄などの先天性心疾患に対する一般的な治療法と成りつつある¹⁾。1982年に J. S. Kan ら²⁾により先天性肺動脈弁狭窄の治療として、バルーンカテーテルを用いて経皮的弁形成術が試みられた。1984年6月より我々も先天性肺動脈弁狭窄に対してバルーン弁形成術を試み、その有効性と安全性を報告した^{3,4)}。しかしその長期的な意味における持続性効果、あるいは後遺症の問題などが課題として残っている。

本研究は先天性肺動脈弁狭窄に対しバルーン弁形成術を行った症例における長期的血行動態の変化を、パルス・ドップラー心エコー図法を用いて検討したものである。

対象および方法

対象は1984年6月より1987年3月までにバルーン弁形成術を試みた22例の先天性肺動脈弁狭窄である。本法は20例に有効であった。有効でなかった2例は1984年当初の例で、バルーンカテーテル挿入技術の未熟さによるものであった。年齢は1歳から44歳で、小児例での平均年齢は4.6歳であった。平均体重は17.9 kgであった。20例中3例では術後1年目で右室-肺動脈収縮期圧較差が40 mmHg以上残存していたため、2回目の

バルーン弁形成術を行い、有効であった。

方法としては、断層心エコー図により肺動脈弁輪径を測定し、それよりも大であるが最も近似した大きさの dilatation balloon catheter を (Meditech 製) 使用した。初めの3例には外径サイズの小さい DC/10-3/8/100 および DC/15-3/9/100 を使用したが、4例目より DC/18-3/9/100 または DC/20-3/9/100 を使用した。前処置として塩酸ペチジン 1 mg/kg、塩酸ヒドロチシジン 2 mg/kg を筋注、心カテーテル室搬入後、50% ケタミン 5 mg/kg の筋注麻酔を行った。その後、右大腿静脈よりシース法で右心カテーテル検査を施行、右室肺動脈収縮期圧較差を測定後、右室造影で、肺動脈弁の形態ならびに弁輪径を測定し、最終的にバルーンカテーテルのサイズを決定、挿入前に硫酸アトロピン 0.02 mg/kg およびヘパリン 100 μ /kg をカテーテルより注入した。右大腿静脈より先穴カテーテルを左あるいは右肺動脈内の可能な限り末梢まで挿入し、その中を J-ガイドワイヤー (径 0.032 インチ、長さ 260 cm) を通し、ワイヤーを残し、シースとともに先穴カテーテルを抜去した。さらに、J-ガイドワイヤーに 10 または 12 フレンチサイズの dilator を挿入し、右大腿静脈挿入部を拡大した。ついでプレッシャーゲージ (Meditech 製) に接続し、あらかじめ 2~3 倍に希釈した造影剤で満たすことのできるバルーンカテーテルを、J-ガイドワイヤーを通し主肺動脈内まで挿入した。バルーンの中央部に肺動脈弁輪部があることを確認した後、手動的に 3~5 気圧で

バルーンを拡大し、その“くびれ”が消失するのを確かめ、バルーンを縮小した。肺動脈血流完全遮断時間は10秒以内とし、1回目の施行後、血行動態が安定するのを待ち、再びバルーンを拡大し、通常、計3~5回行った。

バルーン弁形成が可能であった20例に対して、右室肺動脈収縮期圧較差と肺動脈弁閉鎖不全に対する長期的推移を、術前・術後および2ヵ月から12ヵ月の間隔で、パルス・ドップラー心エコー図を用いて行った。エコー機種としては high frequency pulsed Doppler 機種を有するアロカ製 SSD730 を用いた。トランスジューサーは 2.5 Mz を用いた。パルス・ドップラー心エコー図による右室肺動脈収縮期圧較差の測定は、簡易ベルヌーイ法を用いて行った。パルス・ドップラー心エコー図による肺動脈弁閉鎖不全の診断は、肺動脈弁直上部から右室流出路に沿っての血流パターンおよびマッピングにより行った。

結 果

バルーン弁形成術を行う前日および術施行翌日に、パルス・ドップラー心エコー図法により求めた右室肺動脈圧較差と、形成前術後の心臓カテーテル検査により求めた右室肺動脈圧較差は、 $r = 0.96$ と非常に良い相関を示した (Fig. 1)。

バルーン形成術可能例20例の術前、術直後の右室肺動脈収縮期圧較差は、 72 ± 30 mmHg から 28 ± 12 mmHg と有意に低下した。2年間フォローアップされた7例での右室肺動脈収縮期圧較差は、術前 84 ± 23 mmHg、術直後 33 ± 15 mmHg、2年後には 12 ± 5 mmHg と改善した。そのうち、初回のバルーン弁形成術時、術前 126 mmHg の圧較差が術直後 56 mmHg に低下し、1年後パルス・ドップラー心エコー図法で求めた圧較差は 9 mmHg、心臓カテーテルから求めたそれは 6 mmHg と、著明な改善を認めた症例を経験した。また初回の断層心エコー図法から求めた肺動脈弁輪径が 15 mm であった症例に、肺動脈弁輪径より外径が 34% 小さい 10 mm のバルーン

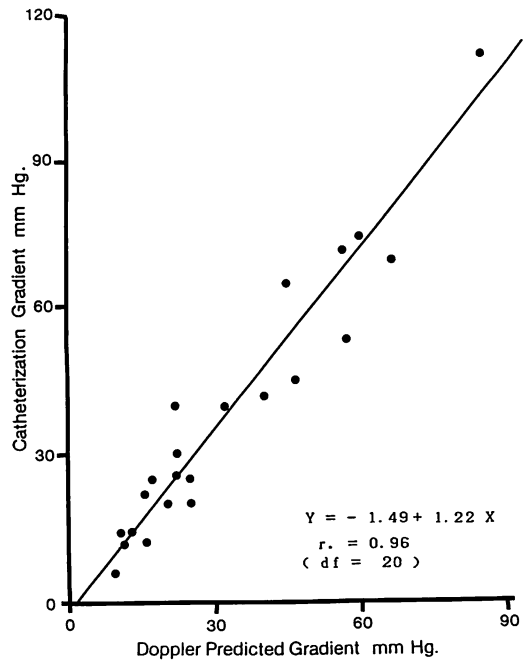


Fig. 1. Comparison of right ventricular-pulmonary artery systolic pressure gradients measured by catheterization with pulsed Doppler-predicted transvalvular gradients calculated using the simplified Bernoulli equation in 20 patients with pulmonary valvular stenosis.

カテーテルを用いた症例では、右室肺動脈圧較差が 96 mmHg から 41 mmHg と有意な圧較差を残し、さらに1年後に 69 mmHg の圧較差を認めたため、2回目以外径サイズ 18 mm (バルーン外径が肺動脈弁輪径より 20% 増) のバルーンカテーテルを用いたところ、術直後に圧較差は 20 mmHg と改善した。術翌日のパルス・ドップラー心エコー図から求めた圧較差は 19 mmHg で、その1年後、パルス・ドップラー心エコー図法から求めた圧較差は 9 mmHg とさらに改善していた。

バルーン弁形成術前と直後、ならびにフォローアップ中の心臓カテーテル検査時に右室造影を行い、右室流出路の形態ならび肺動脈弁の性状、および主肺動脈の狭窄後方拡張の変化を観察した。

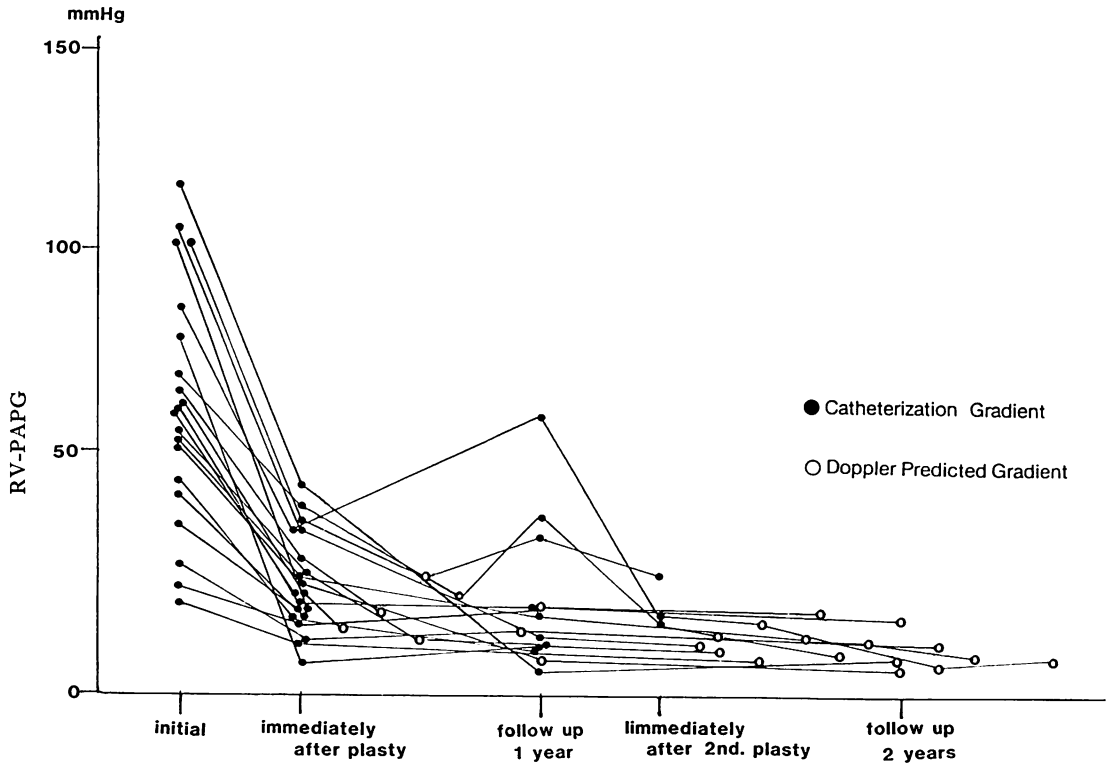


Fig. 2. Follow-up data of right ventricular-pulmonary systolic pressure gradient in the 20 patients with pulmonary valvular stenosis treated by balloon valvuloplasty.

Three cases were subjected to second valvuloplasty with success. In the other 17 patients, the transvalvular gradient is lower two years later than one year after balloon valvuloplasty.

RV-PAPG=right ventricular-pulmonary arterial systolic pressure gradient.

術直後より全例肺動脈弁の開放が大となり、またフォローアップ中の圧較差が術直後より改善した症例では、右室流出路の収縮期狭小化が緩和されていた。また主肺動脈狭窄後方拡張も軽減していた。

全例、術前には第2肋間胸骨左縁に Levine III 度以上の駆出性収縮期雑音が聴取されたが、術後、その雑音は減弱した。術前に20例中2例に肺動脈弁閉鎖不全による拡張早期雑音を第2肋間胸骨左縁に聴取したが、術後、その増強は認められなかった。術前に肺動脈弁閉鎖不全雑音を認めなかった18例中5例(28%)に、術直後、第2肋間胸骨左縁にその雑音(Levine I~II 度)を聴取

した。この雑音は5例中4例(80%)で、1年後には消退していた。

パルス・ドップラー心エコー図法を用い術前に肺動脈弁閉鎖不全の有無を検索し得た症例は4例で、そのうち3例に陽性所見を認めた。しかし4例全例とも、術前、肺動脈弁閉鎖不全雑音は聴取し得ていなかった。上述の3例中、術後に肺動脈弁閉鎖不全の進行・悪化あるいは消退した症例はなかった。術前、パルス・ドップラー心エコー図法による検索を行わなかった16例中14例では、術後、13例に肺動脈弁閉鎖不全のドップラー所見が得られた。その13例の2~12ヵ月間隔でのフォローアップでは、肺動脈弁閉鎖不全の進行・悪

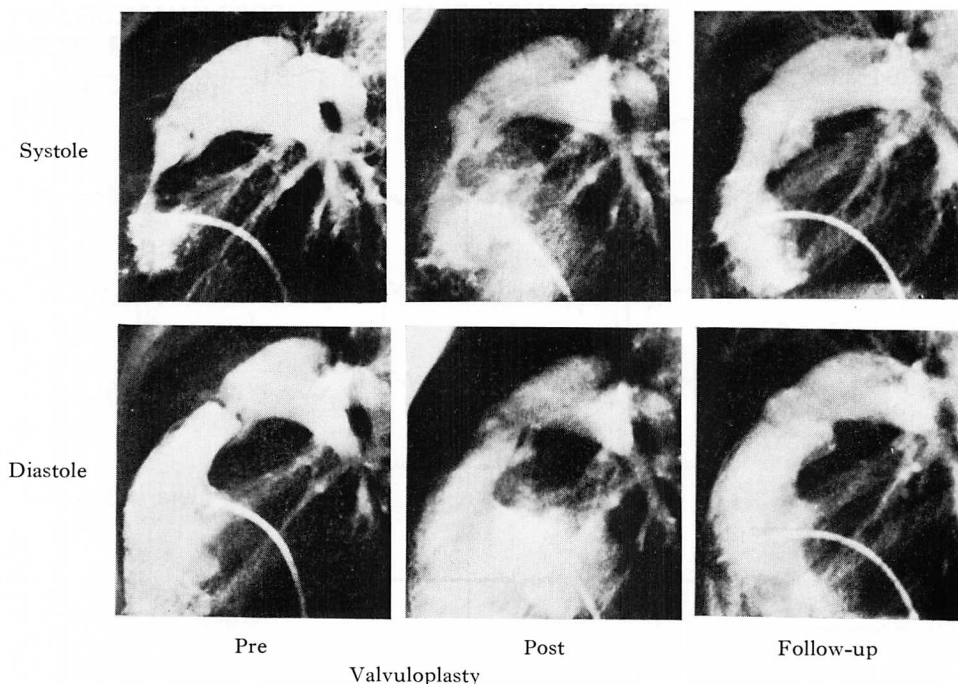


Fig. 3. Right ventricular angiograms.

Immediately after balloon valvuloplasty (middle panel), right ventricular outflow stenosis is resolved compared to that before valvuloplasty (left panel). The follow-up study (right panel) shows further improvement.

化を呈する症例はなかった。

考 察

先天性肺動脈弁狭窄に対する経皮的バルーン弁形成術は、最近欧米でその効果および安全性に関する多くの報告があり、本症に対する一般的な治療となりつつある⁵⁻¹⁴⁾。本研究においても、本法は22例中20例に有効であった。また2年間のフォローアップでは、右室肺動脈収縮期圧較差は、術直後より1年後、さらには2年後で改善を認めている。その理由の一つは、右室造影で示したごとく、術前、術直後に認められていた右室流出路の筋性肥厚が、狭窄の解除により、軽減して行くことがあげられる。

Kanら¹²⁾は、肺動脈弁輪と同程度か1mmないし2mm小さいサイズのバルーンを用いて弁

形成を行っている。我々も、当初、肺動脈弁輪より小さい外径のバルーンを選択したが、成績は不十分で、2回目の弁形成が必要となった。バルーン弁形成術は繰り返し施行できるが、外径サイズが小さいバルーンを用い、これを反復施行することは望ましくない。その点で、術前に断層心エコー図より肺動脈弁輪径を測定し、肺動脈弁輪径より30~50%大きいバルーン外径サイズを選択するのがよいと思われる。我々同様、他のいくつかの施設でも外径サイズの大きいバルーンカテーテルを用いている⁷⁻¹⁰⁾。

そのようなバルーンカテーテルを使用した際、肺動脈弁または肺動脈弁輪周囲に形態変化が生ずる可能性がある。そのさいの肺動脈弁形態の変化について、Wallら¹¹⁾は直視下でバルーン形成術後の肺動脈弁を観察し、弁の形態変化を次の3つ

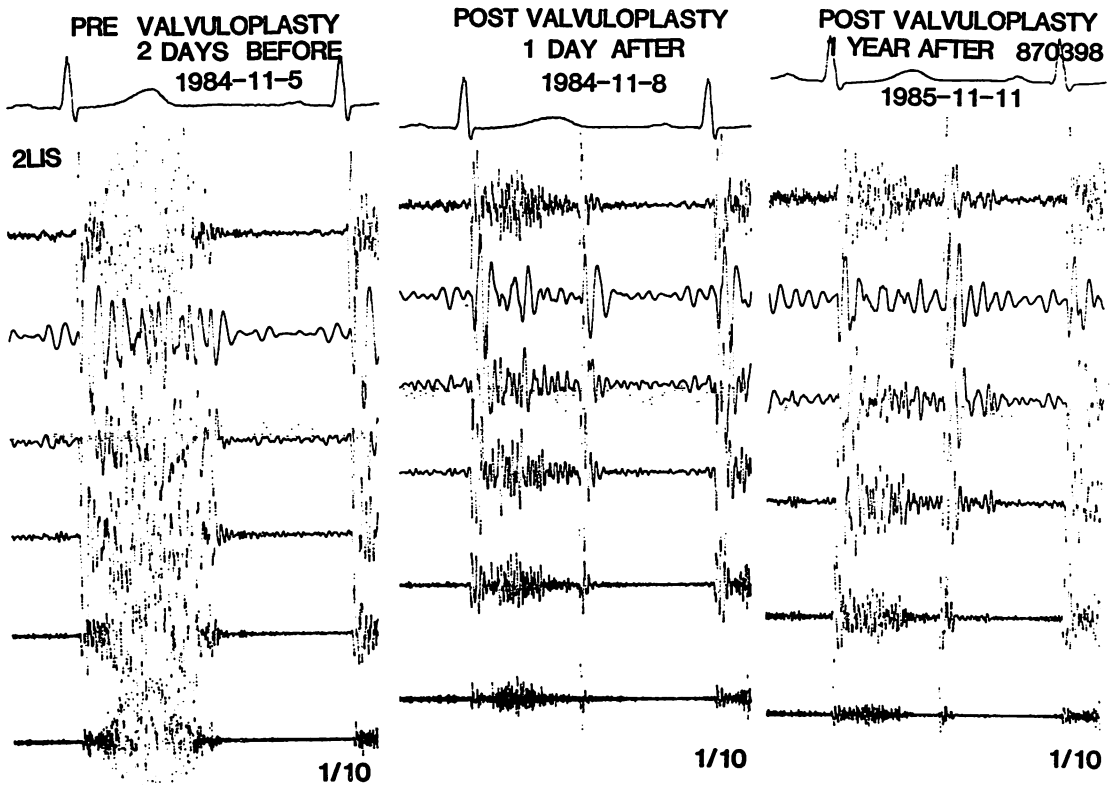


Fig. 4. Serial phonocardiograms.

An intense ejection systolic murmur is recorded, but no early diastolic murmur is depicted two days before valvuloplasty (left panel). The ejection systolic murmur decreased and an early diastolic murmur newly appears one day after valvuloplasty (middle panel), but the early diastolic murmur disappears one year later (right panel).

のタイプに分類した。1) 弁交連部の分離 (commissural splitting), 2) 弁の裂開 (cusp tearing), 3) 弁附着部の剝離 (cusp avulsion). 我々もバルーン弁形成後, 心房中隔欠損の開心術時に肺動脈弁を直視下に観察し得た1例を経験し, Wallらの2)に相当する所見をみた。したがってバルーン弁形成術では単に肺動脈弁輪を拡大するのではなく, むしろ肺動脈弁自体に形態的变化を生じさせ, 弁形成の効果が持続するものと考え。しかし異形成弁に対しては, どの施設でもバルーン弁形成術の効果は期待できないと報告している^{8,12-14}。その理由としては, 現在のバルーンカ

テーテルでは, 弁交連部など, 弁の裂隙・亀裂が存在しない弁に対しては, 弁全体に平均して圧が拡散されるため, その形態变化を生じさせるのに十分な圧が加わらず, 弁に形態变化が生じないのであろう。

バルーン弁形成直後, 30%の症例に肺動脈弁閉鎖不全による拡張早期雑音を認め, 1年後にはそのほとんどで雑音が消失した。その理由としては, 術直後の閉鎖不全雑音は, 肺動脈弁自体の形態的变化だけでなく, 一過性の肺動脈弁輪拡大や主肺動脈狭窄後方拡張の残存など, 血行動態変化に基づくものではないかと考える。ドップラー心

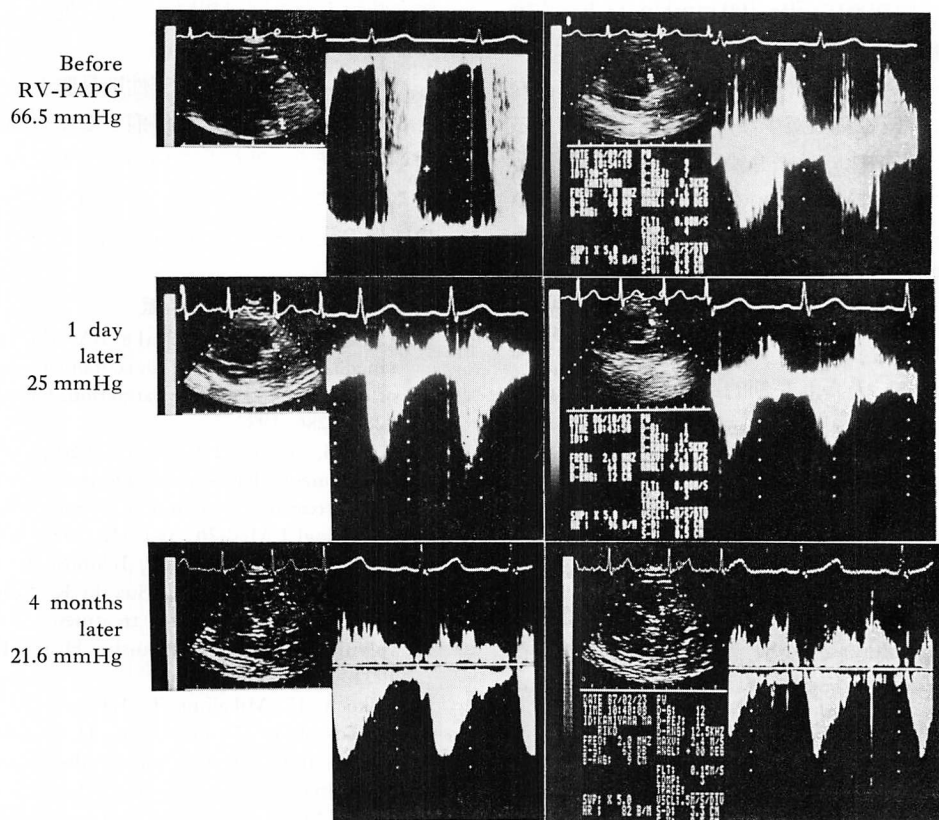


Fig. 5. Pulsed Doppler echocardiographic findings before and after balloon pulmonary valvuloplasty.

Left: Pulsed Doppler signals from the main pulmonary artery for the measurement of right ventricular pulmonary artery pressure gradient (RV-PAPG).

Right: Pulsed Doppler signals from the outflow tract of the right ventricle to obtain pulmonary regurgitant signals.

エコー図所見では、術後全例に肺動脈弁直上部から右室流出路の肺動脈下に、限局した範囲の肺動脈弁逆流シグナルを認めたが、2年間のフォローアップで進行・悪化を呈す症例はなく、またその程度は、正常小児で認められる肺動脈弁閉鎖不全のドップラー心エコー図所見と類似していた。またこのような軽度、しかも圧の低い肺動脈からの弁逆流の出現は、左心系における弁逆流に比べ、臨床上問題になることはなく、バルーン弁形成術の合併症として重視する必要はないと考える。

バルーン肺動脈弁形成術の適応はまだ十分確立

されていないが、我々は右室肺動脈収縮期圧較差が 100 mmHg 以上の重症例でも、十分に良い成績をあげている。そのため、重症の肺動脈弁狭窄にも一応試みしてみる価値があると考ええる。しかし先に述べたように、異形成弁や弁輪の狭小例は適応外と考えている。新生児に対しての報告もあるが^{8,12-14)}、Sullivan ら¹³⁾が現在のバルーンカテーテルに対し、バルーンの長さや硬さに改良すべき問題点があると指摘しているように、我々も新生児への適応を見合わせている。

現在まで、先天性肺動脈弁狭窄に対する手術適

応は, 右室収縮期圧 70~100 mmHg 以上, 右室肺動脈収縮期圧較差 40~50 mmHg であった. しかしバルーン弁形成術は従来の開胸手術とは異なり, 患者に与える負担が少なく, 安全に施行できることから, 先天性肺動脈弁狭窄に対する手術適応を緩和してよいのではないかと考える. ドップラー心エコー図法と心臓カテテル検査より求めた右室肺動脈収縮期圧較差には良い相関があることから, 前者により求めた圧較差が 30~40 mmHg 程度の症例でも, バルーン弁形成術の適応があると考えられる. しかし長期的な観点から, 注意深く肺動脈弁狭窄に対する本法の適応や, 手術合併症の予防をフォローアップする必要がある.

要 約

先天性肺動脈弁狭窄に対し, 1984年6月から1987年3月まで, 経皮的バルーン肺動脈弁形成術22例に試み, 20例で成功した. その長期的な血行動態変化を検討する目的で, パルス・ドップラー心エコー図法を用いて経過を追跡した.

20例中14例で1年後の, 7例で2年後の経過観察ができた. 術後1年目の14例中, 11例に心臓カテテル検査, 残り3例, および術後2年後の7例ではパルス・ドップラー心エコー図法を用い, 右室肺動脈収縮期圧較差を測定した. 2年間経過を観察した7例の右室肺動脈収縮期圧較差は, 術前 84 ± 23 mmHg, 術直後 33 ± 15 mmHg, 1年後には 27 ± 22 mmHg と低下し, さらに2年後には 12 ± 5 mmHg と改善した.

術後1年目に大きな右室肺動脈収縮期圧較差を有していた3例に再度バルーン弁形成術を行い, その結果は有効であった. また術直後に40 mmHg前後の圧較差が残存していても, 1年後には, その圧較差の著明な改善を認め, 右室造影上も, 流出路狭窄の改善を認めた症例があった.

肺動脈弁閉鎖不全雑音は, 聴診上, 術直後に28%の例にみられたが, 1年後にはその80%は消退していた. パルス・ドップラー心エコー図法で術後2ヵ月から12ヵ月の間隔で2回以上肺動

脈弁閉鎖不全を経過観察したが, 進行・悪化を示す症例はなかった.

バルーン弁形成術は先天性肺動脈弁狭窄の治療として有効で, しかも合併症としての肺動脈弁閉鎖不全は軽く, 進行しないので, 安全な方法といえる. またパルス・ドップラー心エコー図法は, 術前後の経過観察に有用な方法である.

文 献

- 1) Lock JE, Niemi T, Burke BA, Einzig S, Castaneda-Zuniga WR: Transcatheter angioplasty of experimental aortic coarctation. *Circulation* **66**: 1280-1286, 1982
- 2) Kan JS, White RI Jr, Mitchell SE, Gardner TJ: Percutaneous balloon valvuloplasty: A new method for treating congenital pulmonary-valve stenosis. *N Engl J Med* **26**: 540-542, 1982
- 3) Yokochi K, Mikajima T, Ichinose E, Sakamoto H, Toyoda O, Kato H, Suzuki K: Percutaneous balloon valvuloplasty for treatment of congenital valvular pulmonary stenosis. *Heart* **17**: 1225-1231, 1985 (in Japanese)
- 4) Yokochi K, Mikajima T, Ichinose E, Sakamoto H, Toyoda O, Akagi T, Kato H, Suzuki K: Follow-up study of transluminal balloon valvuloplasty for pulmonary valve stenosis. *Acta Cardiol Paed Jpn* **2**: 301-306, 1987 (in Japanese)
- 5) Rocchini AP, Kveselis DA, Crowley D, Dick M, Rosenthal A: Percutaneous balloon valvuloplasty for treatment of congenital pulmonary valvular stenosis in children. *J Am Coll Cardiol* **3**: 1005-1012, 1984
- 6) Lababidi Z, Wu J: Percutaneous balloon valvuloplasty. *Am J Cardiol* **52**: 560-562, 1983
- 7) Kveselis DA, Rocchini AP, Snider AR, Rosenthal A, Crowley DC, Dick II M: Results of balloon valvuloplasty in the treatment of congenital valvular pulmonary stenosis in children. *Am J Cardiol* **56**: 527-532, 1985
- 8) Miller GAH: Balloon valvuloplasty and angioplasty in congenital heart disease. *Br Heart J* **54**: 285-289, 1985
- 9) Radtke W, Keane JF, Fellows KE, Lang P, Lock JE: Percutaneous balloon valvotomy of congenital pulmonary stenosis using oversized balloons. *J Am Coll Cardiol* **8**: 909-915, 1986
- 10) Mullins CE, Nihill MR, Vick III GW, Ludomirsky A, O'Laughlin NP, Bricker JT, Judd VE: Double balloon technique for dilation of valvular

- or vessel stenosis in congenital and acquired heart disease. *J Am Coll Cardiol* **10**: 107-114, 1987
- 11) Walls JT, Lababidi Z, Curtis JJ, Silver D: Assessment of percutaneous balloon pulmonary and aortic valvuloplasty. *J Thorac Cardiovasc Surg* **88**: 352-356, 1984
- 12) Kan JS, White RI Jr, Mitchell SE, Anderson JH, Gardner TJ: Percutaneous transluminal balloon valvuloplasty for pulmonary valve stenosis. *Circulation* **69**: 554-560, 1984
- 13) Sullivan ID, Robinson PJ, Macartney FJ, Taylor JFN, Rees PG, Bull C, Deanfield JE: Percutaneous balloon valvuloplasty for pulmonary valve stenosis in infants and children. *Br Heart J* **54**: 435-441, 1985
- 14) Tynan M, Baker EJ, Rohmer J, Jones ODH, Reidy JF, Joseph MC, Ottenkamp J: Percutaneous balloon valvuloplasty. *Br Heart J* **53**: 520-524, 1985