

パルス・ドップラー法を用いた大血管転位症におけるバルーン心房中隔切開術後の血行動態の検討

Hemodynamic evaluation before and after balloon atrial septostomy in patients with transposition of the great arteries using pulsed Doppler echocardiography

斉藤 彰博  
土谷 之紀  
上田 憲  
中野 博行

Akihiro SAITO  
Yukinori TSUCHITANI  
Ken UEDA  
Hiroyuki NAKANO

### Summary

In nine patients with transposition of the great arteries, hemodynamic changes after the initial balloon atrial septostomy (BAS) were investigated using pulsed Doppler echocardiography and cardiac catheterization. Patients consisted of five males and four females, who ranged in age from zero to 82 days (median, one day). All but one who had ventricular septal defect had no associated cardiac anomalies other than patent ductus arteriosus. Prostaglandine E<sub>1</sub> was administered before and after BAS to four patients who had hypoxemia.

At cardiac catheterization, right and left atrial pressures and arterial oxygen partial pressure were measured. Using pulsed Doppler echocardiography, the time-velocity curve was recorded at the tricuspid and mitral valves, pulmonary artery, ascending aorta and interatrial septum. The maximum diastolic velocity was measured from the tricuspid and mitral valve time-velocity curves. The product of the time-velocity integral and heart rate was measured from the time-velocity recordings at the pulmonary artery and ascending aorta. The duration of the left-to-right shunt at the foramen ovale was measured and was normalized by corresponding R-R intervals on the electrocardiogram.

After BAS, left atrial pressures and pressure gradients between both atria decreased significantly ( $p < 0.01$ ). Arterial oxygen partial pressure increased from  $24.4 \pm 7.2$  to  $40.4 \pm 6.0$  mmHg ( $p < 0.01$ ). The maximum flow velocity at the tricuspid valve increased significantly ( $p < 0.01$ ), but that at the mitral valve showed no significant change after BAS. The velocity time integral of the aorta increased significantly ( $p < 0.01$ ), but that of the pulmonary artery did not. The duration of the left-to-right shunt at the foramen ovale increased significantly. In all, Doppler signals of the ductal shunt could

静岡県立こども病院 循環器科  
静岡市漆山 860 (〒420)

Division of Cardiology, Shizuoka Children's Hospital,  
Urushiyama 860, Shizuoka-shi, Shizuoka, 420

Received for publication September 30, 1986; accepted November 4, 1986 (Ref. No. 32-3)

be detected after BAS.

We concluded that left-to-right shunts increase after BAS through the ductus arteriosus and foramen ovale, resulting in the increment of the tricuspid and aortic blood flows, and an increase of arterial oxygen partial pressure. These hemodynamic changes are apparently influenced by the reduction of the left atrial pressure and the pressure gradients of both atria.

**Key words**

Pulsed Doppler echocardiography      Congenital heart disease      Transposition of the great arteries      Balloon atrial septostomy      Patent ductus arteriosus

はじめに

大血管転位症は出生直後より症状を表す重篤な先天性心疾患であり, 新生児期から乳児期早期にかけて血行動態が複雑に変動するため, balloon atrial septostomy (BAS)<sup>1)</sup> などの緊急の処置や手術を必要とする事が多い. このため血行動態の把握は大血管転位症を管理する上で非常に重要となるが, 大動脈が右室から肺動脈が左室から起始し, 体循環と肺循環とがパラレルに循環する奇形であるため血行動態の把握は必ずしも容易でない.

本稿の目的は, BAS 前後の血行動態の変化を各種計測値および超音波ドップラー法を用いて検討する事である.

対象と方法

対象は BAS 前後に超音波ドップラー法を施行する事のできた連続 9 例の大血管転位症で, 男 5 例, 女 4 例である (Table 1) 検査時年齢は日齢 0 から日齢 82 (中央値: 日齢 1) に亘ったが, いずれも入院直後に BAS を施行した. BAS および心臓カテーテル検査時の体重は 2.2 から 4.2 Kg (平均 3.4±0.6 Kg) であった. 症例 7 は心室中隔欠損を合併していたが, 他の症例では動脈管開存以外の合併奇形を認めなかった. 症例 3, 4, 5 および 9 では, 低酸素血症のため, BAS 前よりプロスタグランジン E<sub>1</sub> (PGE<sub>1</sub>) が投与されていた<sup>2)</sup> が, これは BAS 直後のドップラー法検査時まで続けられた.

**Table 1. Materials**

Case	Sex	Age (days)	VSD	Weight (Kg)	PGE <sub>1</sub>
1	F	1	0	3.2	
2	F	1	0	3.3	
3	M	1	0	2.2	yes
4	M	1	0	3.8	yes
5	F	27	0	3.3	yes
6	M	0	0	3.4	
7	M	51	+	4.1	
8	F	82	0	4.2	
9	M	1	0	3.2	yes

VSD=ventricular septal defect; PGE<sub>1</sub>=prostaglandin E<sub>1</sub>.

超音波ドップラー法は ATL 製 Mark V, および 3 または 5 MHz 探触子を使用した. 断層心エコー図法により診断が確定した後, ドップラー法を用いて心内各部位での血流測定を行った. 心房中隔を交差する血流は, 剣状突起下四腔像にて, 心房中隔にできるだけ直行する超音波断面を選び, BAS 前は卵円孔上に, BAS 後は心房中隔欠損部にサンプリングポイントを置き, 記録した. 僧帽弁および三尖弁流入血流は, 心尖部よりの四腔像にて, サンプリングポイントを弁口部に置いて記録した. 大動脈および肺動脈血流は, 心尖部よりの長軸断面にて, サンプリングポイントを両大血管の弁直上に置き記録した.

心房中隔を介する短絡血流では, 左右短絡を認める時間 (LR) を計測, これを同時記録した心電図上の R-R 時間で標準化した値 (LR/RR) を算出し, 比較した (Fig. 1). 僧帽弁および三尖弁血

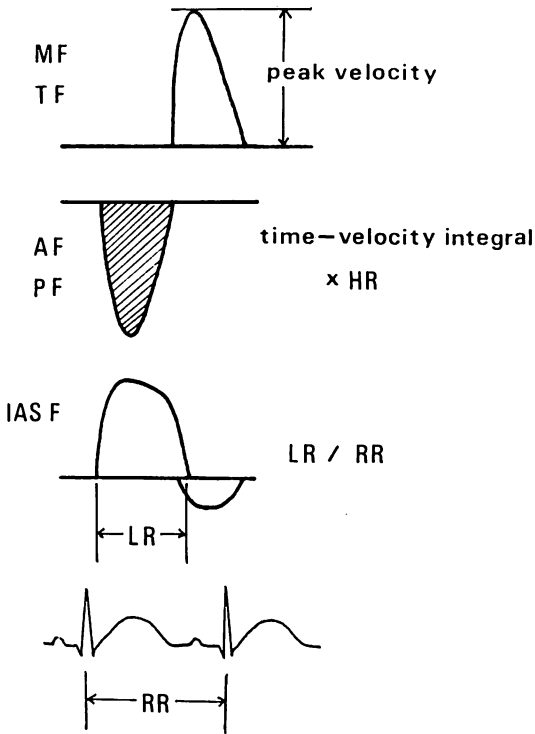


Fig. 1. Diagrams of Doppler echocardiograms.

MF=mitral flow velocity curve; TF=tricuspid flow velocity curve; AF=aortic flow velocity curve; PF=pulmonary flow velocity curve; IASF=flow velocity curve through the interatrial septum; HR=heart rate; LR=duration of left to right shunt; RR=duration from the R to R of the electrocardiogram.

流は全例一峰性のパターンを示したが、この血流記録より拡張期最大流入血流速度を計測した。大動脈および肺動脈血流では、時間血流波形の記録から、パーソナルコンピューターに接続したディジタイザーを用いて時間流速積分を求め、これに記録時の心拍数を掛けた値を算出し、比較した。

心臓カテーテル検査は BAS 術と同時に、BAS 前後に左房圧、右房圧、動脈血酸素分圧を測定した。

BAS 前後における諸指標の平均値の比較検討には、paired t-test を用いた。

## 成 績

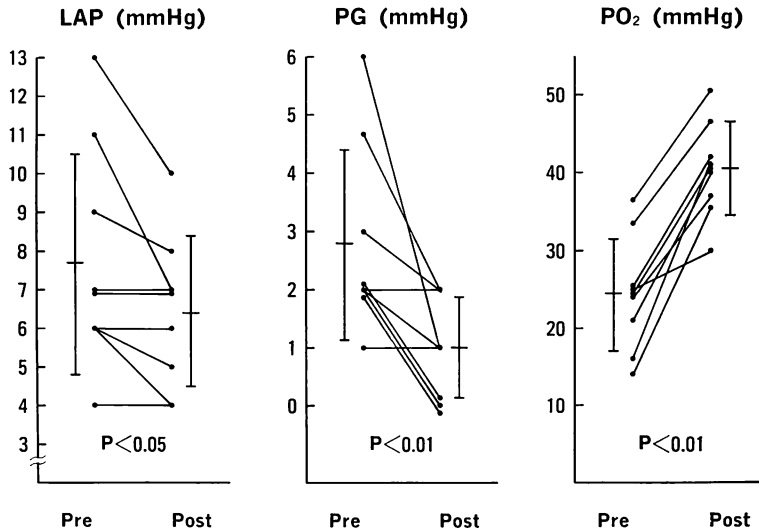
BAS 前後の左房圧、両心房間圧差、動脈血酸素分圧の変化を Fig. 2 に示した。左房圧は 5 例で低下を示したが、他の 4 例では無変化であった。左房圧の平均値は BAS 前  $7.7 \pm 2.8$  mmHg (平均  $\pm$  標準偏差) から、BAS 後は  $6.4 \pm 1.9$  mmHg と減少した ( $p < 0.05$ )。心房間圧差は 2 例を除き減少を認め、平均値も BAS 前  $2.8 \pm 1.6$  から BAS 後  $1.0 \pm 0.9$  mmHg へと有意の ( $p < 0.01$ ) 減少を示した。動脈血酸素分圧は全例 BAS 後に上昇し、平均値は BAS 前  $24.4 \pm 7.2$  mmHg から BAS 後は  $40.4 \pm 6.0$  mmHg へと増加した ( $p > 0.01$ )。

心拍数は BAS 前平均  $154 \pm 18$ /min から、BAS 後は  $148 \pm 18$ /min に変化したが、両群の間に統計学的有意差は認めなかった。

僧帽弁最大流速 (Fig. 3) は 2 例を除き BAS 後に増加したが、BAS 前後の比は +53% から -45% (平均 +10%) とバラツキが多く、平均値は BAS 前 3.0 KHz, BAS 後 3.3 KHz と有意差を認めなかった。これに対して三尖弁最大流速 (Fig. 4) は全例で BAS 後に増加を認め、BAS 前後比では +5% から +210% (平均 +54%) の増加を示した。平均値は BAS 前の  $2.6 \pm 0.8$  KHz から BAS 後  $3.7 \pm 1.3$  KHz と有意に増加した ( $p < 0.05$ )。

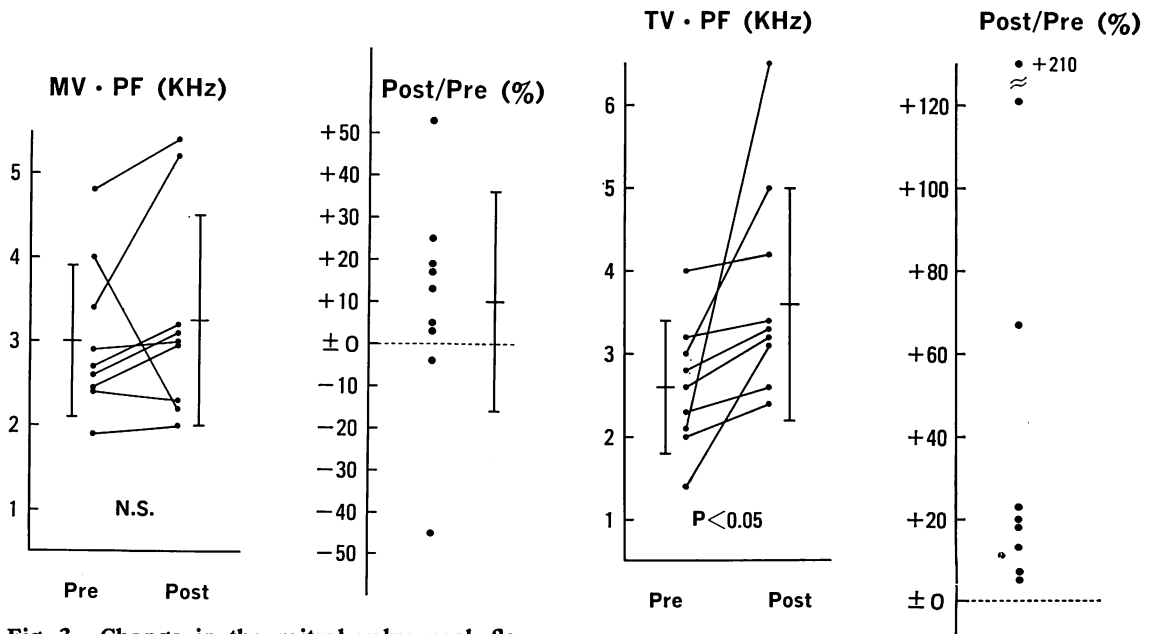
肺動脈時間流速積分 (Fig. 5) は 4 例で減少を、5 例で増加を示し、BAS 前後比は +28% から -19% (平均 -1%) の変化であった。平均値は BAS 前  $80.5 \pm 24.1$ , BAS 後  $75.0 \pm 24.4$  KHz $\cdot$ sec/min で、平均値の差は統計学的有意差を示さなかった。これとは反対に、大動脈時間流速積分 (Fig. 6) は全例 BAS 後増加し、BAS 前後比では +2% から +99% (平均 +40%) の増加を認めた。また平均値も BAS 前の値  $48.9 \pm 10.4$  から BAS 後は  $66.8 \pm 13.2$  KHz $\cdot$ sec/min へと増加した ( $p > 0.01$ )。

心房中隔での 1 心周期における左右短絡時間を



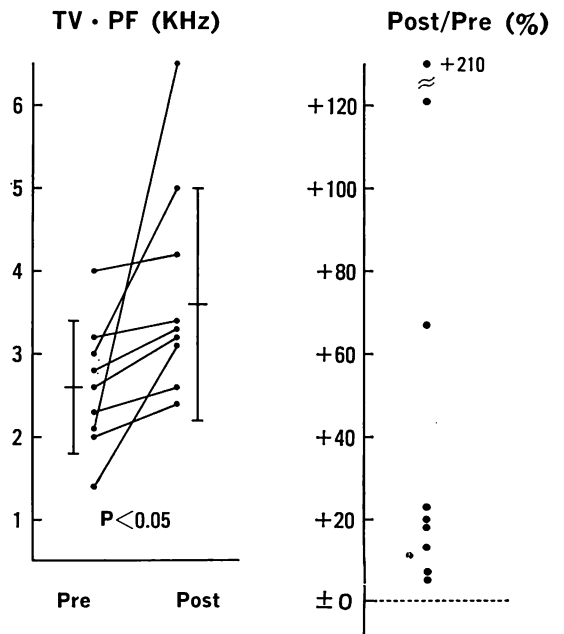
**Fig. 2. Changes in left atrial pressure, pressure gradient between atria and arterial oxygen partial pressure.**

LAP=left atrial pressure; PG=pressure gradient between atria; PO<sub>2</sub>=arterial oxygen partial pressure; Pre=before septostomy; Post=after septostomy.



**Fig. 3. Change in the mitral valve peak flow velocity.**

MV · PF=mitral valve peak flow velocity; Pre=before septostomy; Post=after septostomy; N.S.=not significant.



**Fig. 4. Change in the tricuspid valve peak flow velocity.**

TV · PF=tricuspid valve peak flow velocity; Pre=before septostomy; Post=after septostomy.

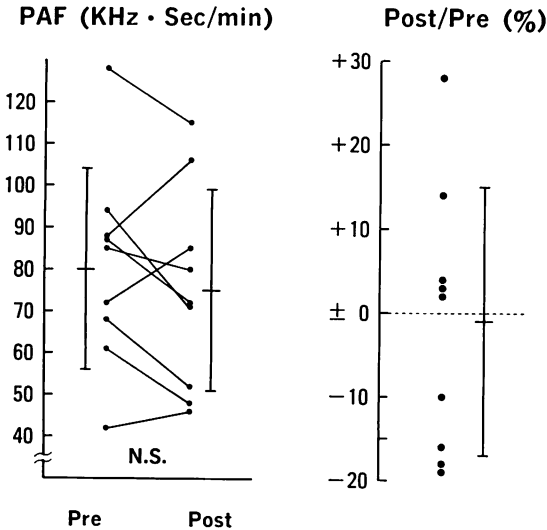


Fig. 5. Change in pulmonary arterial flow velocity integral.

PAF=pulmonary arterial flow velocity integral; Pre=before septostomy; Post=after septostomy; N.S.=not significant.

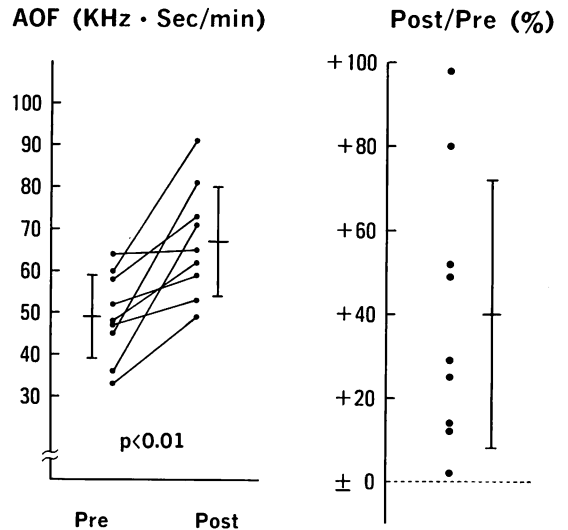


Fig. 6. Change in the aortic flow velocity integral.

AOF=aortic flow velocity integral; Pre=before septostomy; Post=after septostomy.

同時に記録した心電図上の R-R 時間で補正した値 (LR/RR) を BAS 前後で比較すると (Fig. 7), BAS 後に減少した症例はなく, BAS 前の LR/RR は 0.57 から 1.00 (平均  $0.74 \pm 0.15$ ) であったが, BAS 後は 0.78 から 1.00 ( $0.94 \pm 0.09$ ) に増加した ( $p > 0.01$ ). BAS 前後に PGE<sub>1</sub> を使用していた 4 症例では, いずれも BAS 後は収縮期・拡張期を問わず, 左右方向の短絡を認めるようになり, LR/RR の値は 1.00 を示した. LR/RR 値の BAS 前後比は  $\pm 0\%$  から  $+77\%$  (平均  $+31\%$ ) の増加を示した.

大動脈および肺動脈の時間流速積分に対する PGE<sub>1</sub> の影響を検討した (Fig. 8). 肺動脈時間流速積分の BAS 前後比は, PGE<sub>1</sub> 非投与群では平均 0.95 であったのに対し, PGE<sub>1</sub> 投与群では平均 1.04 とやや高値であったが, 両群の間に統計学的有意差は認めなかった. また大動脈時間流速積分への PGE<sub>1</sub> の影響を検討すると, 肺動脈時間流速積分と同様の所見が認められた. すなわ

ち, 時間流速積分の BAS 前後比は PGE<sub>1</sub> 非投与群で平均 1.32 であったのに対し, PGE<sub>1</sub> 投与群では平均 1.50 と若干高値を示したものの, 両群の間に統計学的有意差は認められなかった.

### 考 按

BAS 後の僧帽弁最大血流は増加する症例や減少する症例があってバラつきが大きく, BAS 前後で有意な変化を示さなかったのに対して, 三尖弁最大血流は BAS 後一様に増加する傾向にあった. BAS 前後で心拍数の変化を認めなかったため, 弁輪の大きさが BAS 前後で変化しないと仮定すれば, 最大血流の変化は弁を通過する血流量の変化を反映していると解釈できる. 僧帽弁を通過する血流, つまり左室が肺動脈に駆出する血流には一定の傾向を認めないが, 三尖弁を通過する血流, すなわち心拍出量は増加する傾向にあった.

BAS 前後の短期間には 両大血管径が一定であると仮定できるので, 肺動脈および大動脈血流の

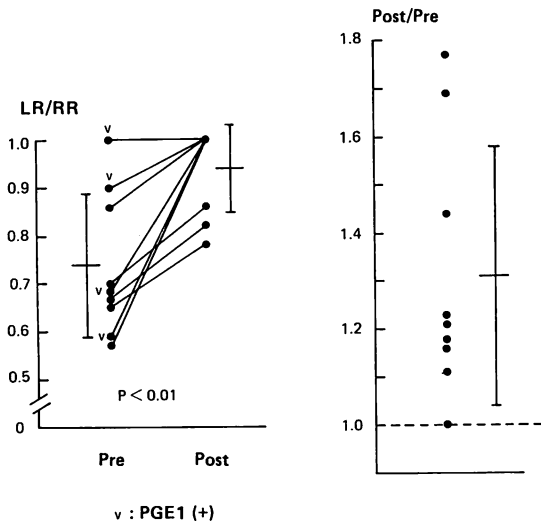


Fig. 7. Change in duration of left to right shunt through the interatrial septum.

LR=duration of left to right shunt through the interatrial septum; RR=duration from R to R on electrocardiogram; Pre=before septostomy; Post=after septostomy; PGE<sub>1</sub>=prostaglandin E<sub>1</sub> administration.

時間流速積分と心拍数との積は、それぞれ肺動脈および大動脈血流量を示すと考えられる。本報告の結果では、肺動脈血流量はBAS前後で大きな変化を示さないのに対して、大動脈血流量は増加する傾向にあった。この結果は房室弁での最大血流速度の検討の結果と一致する。

心房レベルでの左右短絡時間の検討では、BAS後左右短絡時間が延長し、左房から右房方向の短絡が優位になる傾向にあった。BAS後の心房中隔の欠損孔は全例断層心エコー図法にて確認したが、BAS前と比較して拡大していた。左右短絡時間の延長と短絡路の拡大を併せて考えると、心房中隔レベルでは左右短絡量が増加していると推定できる。またBAS後の短絡時間は心周期の78%から100%に達する事より、BAS直後、心房中隔レベルでの短絡は、左房から右房方向の短絡だけの状態にあると考えられた。

以上、BAS後の超音波ドップラー法での血流動態の変化は、大動脈血流は増加、主肺動脈血流

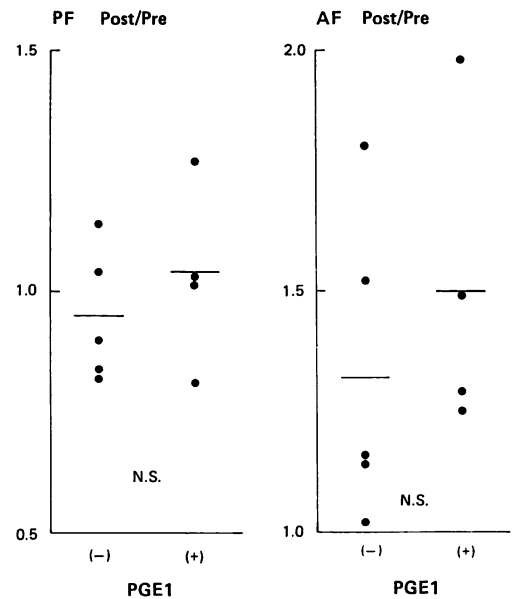


Fig. 8. Comparison of pulmonary and aortic flow velocity integrals in those with and without prostaglandin E<sub>1</sub> administration.

PF=pulmonary flow velocity integral; AF=aortic flow velocity integral; Pre=before septostomy; Post=after septostomy; N.S.=not significant.

は不変、心房レベルでの左右短絡は優位になる。大血管転位症のように、肺循環と体循環とが並列の循環動態を示す疾患において、心房レベルでの左右短絡、つまり肺循環より体循環への短絡が優位になるためには、他の短絡可能部位では逆に体循環より肺循環への短絡が優位になっている必要がある。今回検討した症例中8例では心室中隔欠損を合併しておらず、合併した1症例にしても主肺動脈を通過する血流が変化していないので、心室レベルでの短絡は無視できる。この他の短絡部位としては動脈管を残すのみであるから、これらの結果は、動脈管での体循環より肺循環への短絡の存在を示している。

つまりBAS後は動脈管を通じて大動脈より肺動脈側に流れ込む血流が増加し、この血流は左房に還流した後、心房間交通路を経て右房に流入し、右室から大動脈へ駆出された後、再び動脈管

を通じて肺動脈に流れ込むことになる。この動脈管で大動脈から肺動脈へ、心房レベルで左房から右房へ短絡する血流の増加により、BAS 後に動脈血酸素分圧が上昇することになる。動脈管での短絡の増加は、BAS 前後の血行動態の変化と考え合わせると、左房圧の低下および心房間圧差の減少と関係していると考えられる。左房圧の減少、ひいては肺静脈の軽減は肺血管抵抗を減少させ、動脈管での短絡を増加させると思われる。

BAS 時に動脈管が開存しているか否かに関しては、初回 BAS 時に 81 症例中 39 症例で心血管造影により動脈管が検出されたとの報告がある<sup>3)</sup>。また大血管転位症の剖検の検討では、88 症例中生後 4 週間以内では全例動脈管が開存しており、生後 12 週以降の症例でも約 23% で開存していたとの報告もある<sup>4)</sup>。これらの事より、今回我々が検討した症例でも、動脈管が物理的に開存していたと考える事が可能である。

BAS 直後には動脈血酸素分圧が上昇するにも関わらず、その後次第に酸素分圧が低下するのは、従来、いったん拡大した心房間交通路が収縮するためと考えられてきたが<sup>5)</sup>、今回の我々の検討の結果からは、動脈管での短絡量増大の結果上昇した酸素分圧が、動脈管の閉塞に伴い低下すると考えることも可能である。Tynan<sup>6)</sup> は BAS 直後に上昇した動脈血酸素分圧は時間経過とともに次第に減少してくるが、これは BAS で形成した欠損孔の大きさと無関係であると報告している。Mair らは、大血管転位症の動脈血酸素飽和度は肺循環と体循環との混合に依存しており<sup>7)</sup>、この両循環の混合は交通路の多い方が良好に認められると報告している<sup>8)</sup>。つまり心房中隔レベルでの交通だけの場合よりも、心室中隔欠損や動脈管開存など他の交通路を合併した場合の方が、酸素飽和度が高くなるという。これらの報告は本稿の結論と一致するもので、少なくとも BAS 直後の酸素分圧の上昇には、動脈管での短絡量の増加が関与している事を示唆している。

## 結 論

9 例の大血管転位症を対象に、BAS 前後の血行動態の変化を心臓カテーテル検査および超音波ドップラー法を用いて検討した。

BAS 後は僧帽弁および肺動脈の血流量に変化を認めないのに対して、三尖弁および大動脈の血流量が有意に増加した。また心房レベルでは左右方向短絡が優位になった。この結果は、BAS 後の動脈管における短絡の増加を示唆していた。

BAS 後は動脈管で大動脈から肺動脈方向に、心房レベルで左房から右房方向への短絡が増加し、この結果、動脈血酸素分圧が上昇すると類推された。BAS 後の酸素分圧の上昇には、動脈管での短絡の増加が関与していると考えられた。

## 要 約

9 例の大血管転位症患者を対象として、初回 BAS 前後の血行動態の変化を超音波ドップラー法および心臓カテーテル法を用いて検討した。心室中隔欠損を合併した 1 例を除き、動脈管開存以外の合併は認めなかった。対象の年齢は日齢 1 日から 82 日(中央値 1 日)で、男 5 例、女 4 例であった。このうち 4 症例では BAS 前後ともに PGE<sub>1</sub> の投与を行っていた。

心臓カテーテル検査では BAS 前後の右房および左房圧、動脈血酸素分圧を測定した。超音波ドップラー法では三尖弁および僧帽弁での拡張期最大流速を、肺動脈および大動脈では流速曲線の時間積分と心拍数との積を求めた。心房間交通路での血流波形からは左右短絡時間を求め、これを心電図の RR 時間で補正した値で比較検討した。

BAS 後、左房圧は平均 7.7 から 6.4 mmHg に、心房間圧差は平均 2.8 から 1.0 mmHg へそれぞれ有意に低下した。酸素分圧は平均 24.4 から 40.4 mmHg へ上昇した。僧帽弁最大流速は有意な変化を示さなかったが、三尖弁流速は BAS 後有意に上昇した。肺動脈血流も変化を認めにくかったが、大動脈血流は BAS 後に平均 +40% と

有意に上昇した。心房間短絡血では左右短絡時間が有意に延長し、左右短絡が優位になった。全例で動脈管での短絡血流を検出できた。PGE<sub>1</sub>の投与と以上の結果とは有意な関係を示さなかった。

BAS 後には動脈管で大動脈から肺動脈方向に、心房レベルで左房から右房側に流れる血流が増加し、この結果、動脈血酸素分圧が上昇するものと考えられた。これらの血流の変化は、左房圧の減少および心房間圧差の減少により影響されることが示唆された。

#### 文 献

- 1) Rashkind WJ, Miller WW: Creation of an atrial septal defect without thoracotomy: A palliative approach to complete transposition of the great arteries. *JAMA* **196**: 173, 1966
- 2) Lang PL, Freed MD, Bierman FZ, Norwood WI, Nadas AS: Use of prostaglandin E<sub>1</sub> infusion in the management of transposition of the great arteries. *Circulation* **44**: 76, 1979
- 3) Waldman JD, Paul MH, Newfeld EA, Muster AJ, Idriss FS: Transposition of the great arteries with intact ventricular septum and patent ductus arteriosus. *Am J Cardiol* **39**: 232, 1977
- 4) Cassels DE, Bharati S, Lev M: The natural history of the ductus in association with other congenital heart defects. *Perspect Biol Med* **18**: 541, 1975
- 5) Mullins CE, Neches WH, McNamara DG: The infant with transposition of the great arteries; I. Cardiac catheterization protocol. *Am Heart J* **84**: 597, 1972
- 6) Tynan M: Haemodynamic effects of balloon atrial septostomy in infants with transposition of the great arteries. *Br Heart J* **34**: 791, 1972
- 7) Mair DD, Ritter DG: Factors influencing systemic arterial oxygen saturation in complete transposition of the great arteries. *Am J Cardiol* **31**: 742, 1973
- 8) Mair DD, Ritter DG: Factors influencing intercirculatory mixing in patients with complete transposition of the great arteries. *Am J Cardiol* **30**: 653, 1972