

動脈管開存例における大動脈・肺動脈圧較差の非侵襲的推測

Non-invasive assessment of the peak pressure gradient between the aorta and pulmonary artery in patent ductus arteriosus

中島 徹*	Tohru NAKAJIMA*
新垣 義夫	Yoshio ARAKAKI
清水 俊男	Toshio SHIMIZU
佐藤 勇	Isamu SATO
二木 志保	Shiho FUTAKI
神谷 哲郎	Tetsuro KAMIYA
宮武 邦夫**	Kunio MIYATAKE**
仁村 泰治***	Yasuharu NIMURA***

Summary

The validity of continuous wave Doppler ultrasound estimation of the peak pressure gradient between the aorta (Ao) and pulmonary artery (PA) in patients with patent ductus arteriosus (PDA) was evaluated.

Ten patients, all without other anomalies, underwent cardiac catheterization and cine-angiography, and the peak pressure gradient between the Ao and PA (dP(C)) was measured during catheterization. In all cases the mean PA pressure was less than 35 mmHg. According to the angiographic findings, the patients were categorized as Group A, consisting of seven patients whose features of the ductus were wedge- or tube-like in configuration; Group B, consisting of two patients whose features were termed "orifice-like" stenosis including one with abrupt narrowing on the PA side of the ductus and the other with a short segmental ductus. Group C consisted of one patient who had a long curved segmental ductus.

The maximum velocity of ductus flow was measured by continuous wave Doppler ultrasonography, and the estimated peak pressure gradient between the Ao and PA by Doppler (dP(D)) was calculated using the simplified Bernoulli equation ($dP=4V^2$).

In group A, dP(D) was overestimated compared to dP(C) in all patients by 19 to 51 mmHg (mean 34 mmHg). However, in group B, the difference between dP(D) and dP(C) was small, 5 mmHg and 7 mmHg, respectively. In group C, dP(D) was underestimated as opposed to dP(C).

Thus, in the limited cases, the simplified Bernoulli equation could be used in estimating the peak

国立循環器病センター 小児科
吹田市藤白台 5-7-1 (〒565)

**同 内科

***同 研究所

*(現)大阪大学医学部 小児科

大阪市福島区福島 1-1-50 (〒553)

Department of Pediatrics, **Internal Medicine and
***Research Institute, National Cardiovascular Center,
5-7-1 Fujishiro-dai, Suita 565

(present address) Department of Pediatrics, Osaka
University School of Medicine, Osaka 553

Received for publication September 30, 1986; accepted October 15, 1986 (Ref. No. 32-1)

pressure gradient between the Ao and PA. However, this equation leads to overestimation in many cases. In evaluating PDA, studies of the morphological features of the ductus should be taken into account.

Key words

PDA Peak pressure gradient between the Ao and PA Continuous wave Doppler ultrasound

はじめに

Holen¹⁾ らが 1976 年に報告して以来, 超音波ドップラー法を用いて心内の圧較差を推定する^{2~9)}方法は, 現在, 臨床的によく使用されている. しかも, 連続波ドップラー法を併用することで速い流速も記録できるようになり, 圧較差の大きいものでも推定可能となった. 今回, 連続波ドップラー法を用いて, 動脈管血流速を記録し, 動脈管開存症における大動脈-肺動脈圧較差の推定を行った.

対象および方法

対象は合併心奇形を伴わない動脈管開存症 10 例である. 年齢は生後 3 ヶ月から 9 歳, 平均 2 歳 10 ヶ月で, 男 4 例, 女 6 例である. 全例心臓カテーテル検査を施行し, 下行大動脈から肺動脈への引き抜き圧曲線からそれぞれの収縮期最大圧の差, すなわち大動脈-肺動脈圧較差 (以下カテ圧差) を求めた. 対象の平均肺動脈圧は 9~35 mmHg の範囲にあった. また, 心臓カテーテル検査と同時にを行った大動脈造影所見より, 動脈管の形態を 3 つのグループに分類した (Table 1). グループ A は, 動脈管の肺動脈側が大動脈側に比べて同じ太さか, 少し細くなった管状またはくさび形の形態を示すもので, 10 例中 7 例にみられた. グループ B は, 動脈管の肺動脈側が急激に細くなった形態を示した例と, 動脈管自体の長さが短かい例の計 2 例で, いわゆるオリフィス狭窄類似の形態と考えられるものであった. グループ C は, 動脈管の走行が長く蛇行した 1 例であった. 全例, 心臓カテーテル検査施行前に連続波ドップラー法を行い, 動脈管血流速を記録し, 最大流速を求め, 簡

Table 1. Classification of patients with PDA

PDA	10 cases
Group A	7
Group B	2
Group C	1

According to the angiographic findings, the patients were categorized in three groups. The feature of the ductus is wedge- or tube-like in Group A, "orifice-like" stenosis in Group B, and a long curved segmental ductus in Group C.

易ベルヌーイ式 $\Delta P = 4V^2$ (ΔP : 圧較差, V : 最大流速)を用いて, 大動脈-肺動脈圧較差 (以下ドップラー圧差)を推定した. 使用した装置は, アロカ製 SSD-730 である. カテ圧差もドップラー圧差とともに安静時の記録であり, 両者の記録時の心拍数に有意差は認めなかった ($p > 0.05$). グループ A に属する 1 例では, 心臓カテーテル検査にさいし, 順行性に肺動脈, 逆行性に下行大動脈にカテ先圧マノメーターを挿入し, 大動脈-肺動脈差圧曲線と連続波ドップラーによる動脈管血流速の同時記録を行った.

結 果

Fig. 1 は, グループ A に属する 1 歳の症例で, 心臓カテーテル検査中の圧と動脈管血流速の同時記録 (Fig. 1a), および大動脈圧, 大動脈-肺動脈差圧, 肺動脈圧曲線 (Fig. 1b) である. この症例の動脈管最大血流速は 4.5m/sec で, ドップラー圧差は 81 mmHg と推定された. 一方, 差圧曲線より求めた大動脈-肺動脈瞬時最大圧較差は 60 mmHg であった. カテ圧差は 55 mmHg であり, 大動脈-肺動脈瞬時最大圧較差との差は 5 mmHg であった. この症例のカテ圧差とドップラ

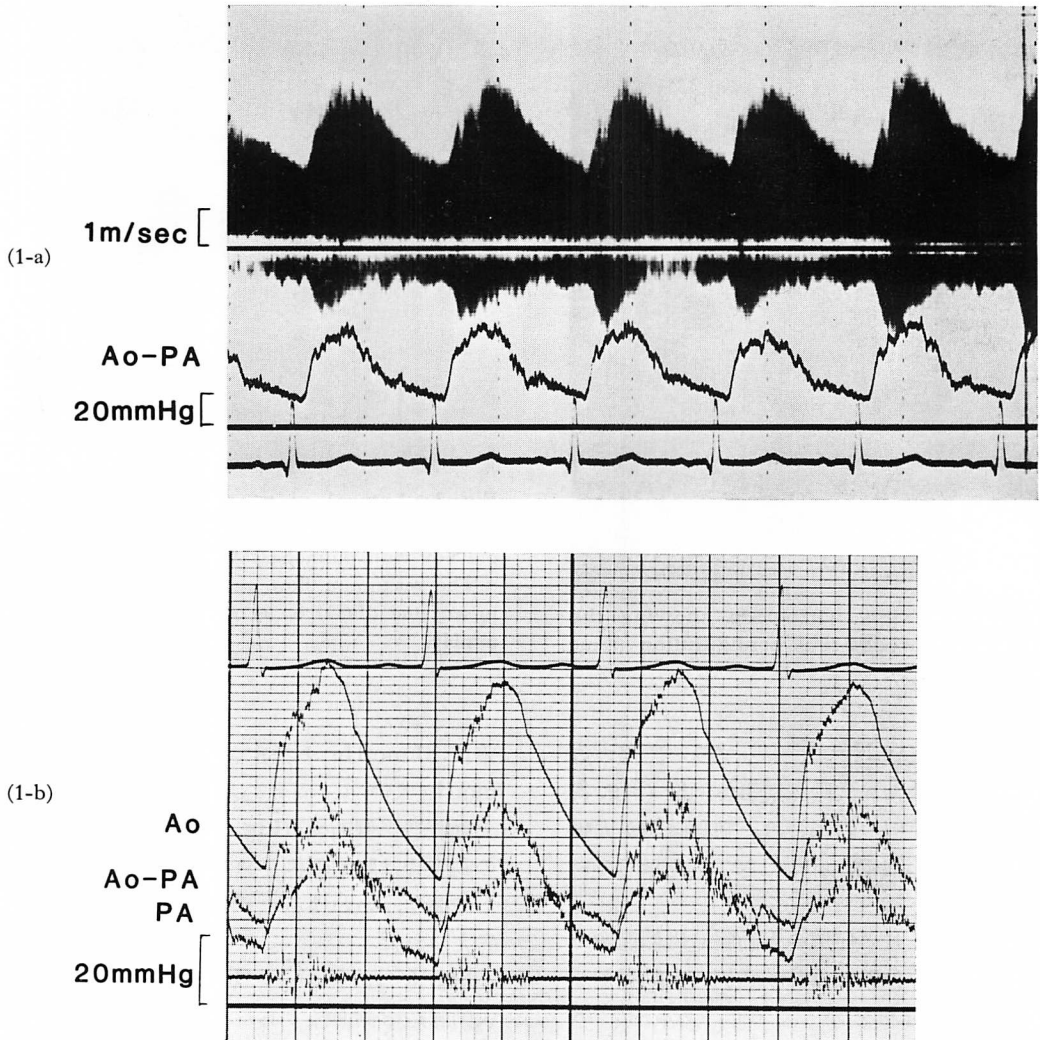


Fig. 1. PDA flow (Fig. 1-a) and the simultaneous pressure curves (Fig. 1-b) (1-year-old girl: group A).

The maximum flow velocity is 4.5 m/sec, and the estimated pressure gradient between the Ao and PA by Doppler (dP(D)) is 81 mmHg, while the peak pressure gradient at the time of catheterization (dP(C)) is 55 mmHg.

Ao=aortic pressure; Ao-PA=pressure gradient between the Ao and PA; PA=pulmonary arterial pressure.

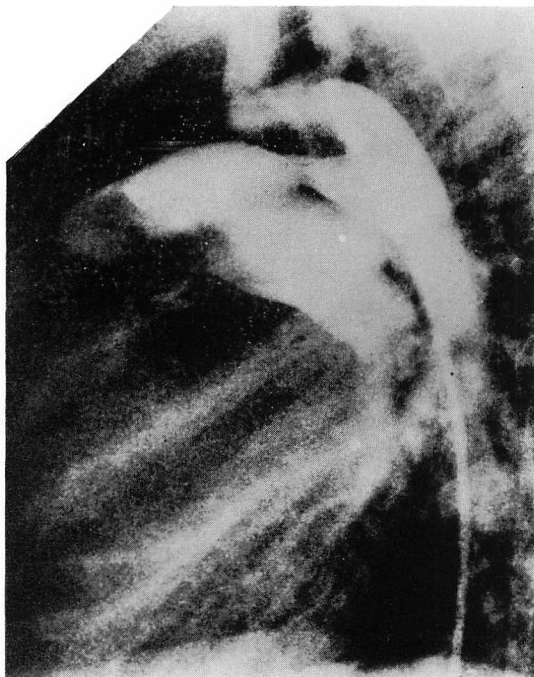


Fig. 2. Lateral view aortogram showing the ductus with a wedge-like configuration (same patient as in Fig. 1).

一圧差の差は 26 mmHg で, ドップラー圧差の方が過大評価していた. 大動脈造影側面像 (**Fig. 2**) 所見より, この症例の動脈管は, 肺動脈側が大動脈側に比べて少し細くなったくさび状を示していた.

Fig. 3 は, 3 ヶ月の症例の大動脈造影側面像である. この症例の動脈管は肺動脈側と大動脈側がほぼ同じ太さの管状を示しており, グループ A に属すると考えられた. この症例の動脈管最大血流速は 4m/sec で, ドップラー圧差は 64 mmHg と推定された. また, この症例のカテ圧差は 30 mmHg であった. したがってドップラー圧差がカテ圧差に比べて 34 mmHg 過大評価した.

Fig. 4 は, グループ B に属する 5 歳の症例の動脈管血流速 (**Fig. 4a**), および大動脈-肺動脈引き抜き圧曲線 (**Fig. 4b**) である. この症例の動脈管血流の最大流速は 4.5m/sec で, ドップラー圧

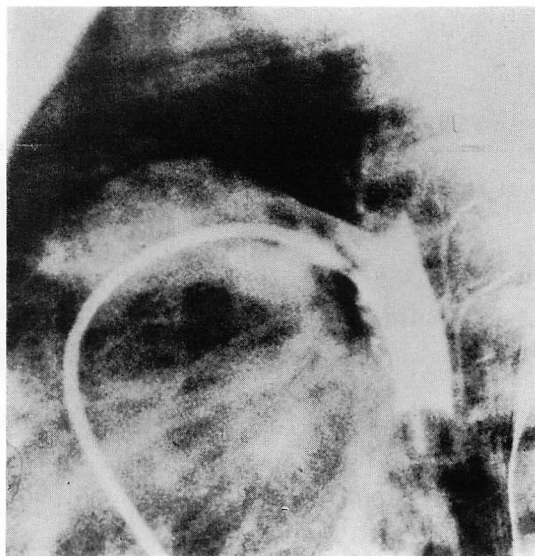


Fig. 3. Lateral view aortogram showing the ductus with tube-like configuration (3-months-old boy with pulmonary hypertension: group A).

The maximum flow velocity of the ductus is 4 m/sec, and dP(D) is 64 mmHg, while dP(C) is 30 mmHg.

差は 81 mmHg と推定されたが, カテ圧差は 76 mmHg であり, 両者の差は 5 mmHg であった. 大動脈造影側面像 (**Fig. 5**) 所見より, この症例の動脈管は肺動脈側が急激に細くなった形態を示しており, いわゆるオリフィス狭窄類似の形態と考えられた.

Fig. 6 は, グループ B の残りの 1 例 (4 歳) の大動脈造影側面像である. この症例の動脈管の長さは非常に短かく, 大動脈と肺動脈が直接繋がったような形態を示しており, オリフィス狭窄類似の形態と考えられた. この症例の動脈管の最大血流速は 4.5m/sec で, ドップラー圧差は 81 mmHg と推定された. この症例のカテ圧差は 74 mmHg であり, 両者の差は 7 mmHg であった.

Fig. 7 は, グループ C とした 2 歳例の大動脈造影側面像である. この症例の動脈管は走行の長い蛇行した形態を示していた. この症例の動脈管

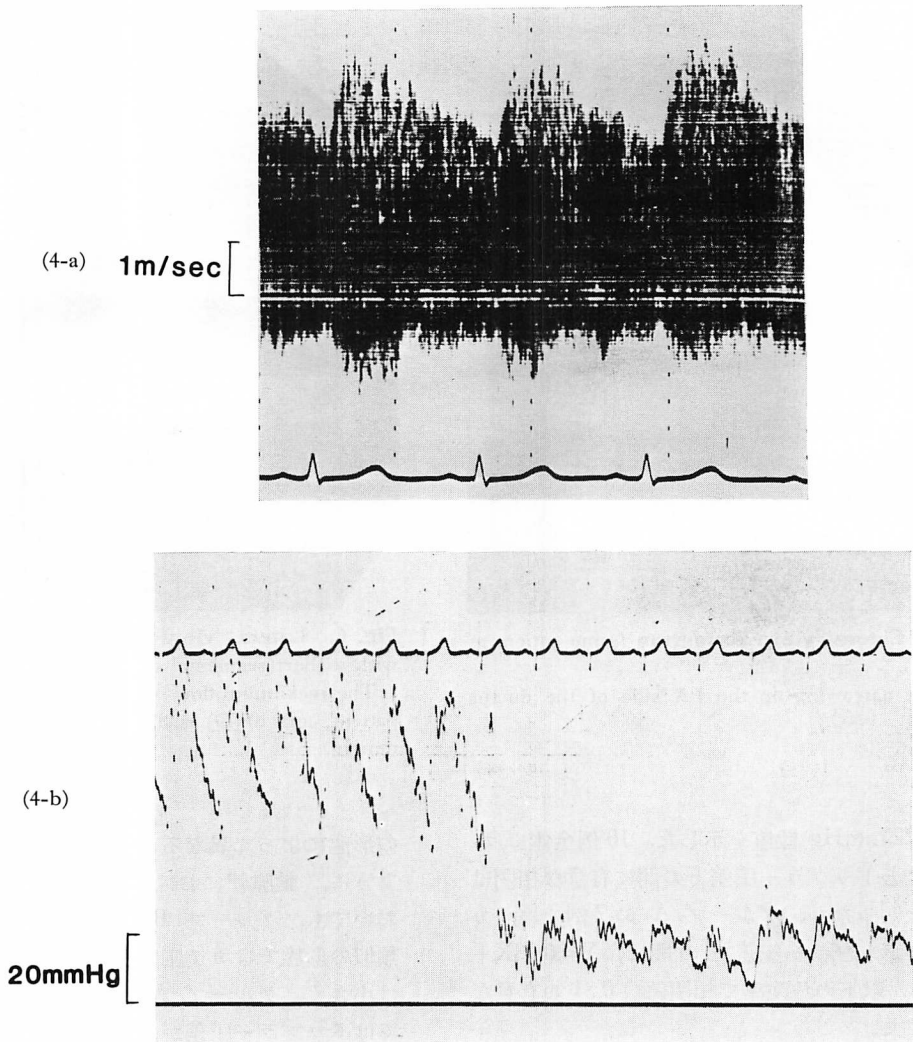


Fig. 4. PDA flow (Fig. 4-a) and the pull-back pressure curve from the Ao to PA (Fig. 4-b) (5-year-old boy: group B).

The maximum flow velocity is 4.5 m/sec, and $dP(D)$ is 81 mmHg, while $dP(C)$ is 76 mmHg.

最大血流速は 3.8 m/sec で、ドップラー圧差は 58 mmHg と推定された。この症例のカテ圧差は 80 mmHg であった。ドップラー圧差がカテ圧差に比べて 22 mmHg 低値を示した。

Fig. 8 は動脈管開存症全 10 例のカテ圧差とドップラー圧差の関係を示したものである。実線は $Y=X$ の直線で、白抜き丸がグループ A、黒丸が

グループ B、三角印がグループ C を示している。グループ A では、全例、ドップラー圧差が 19~51 mmHg (平均±偏差=34±10 mmHg) だけ過大評価した。グループ B は、 $Y=X$ の直線に近いところに分布し、ドップラー圧差とカテ圧差との差は、それぞれ、5 および 7 mmHg であった。グループ C では、ドップラー圧差がカテ圧差に



Fig. 5. Lateral view aortogram (same patient as in Fig. 4).

Abrupt narrowing on the PA side of the ductus is shown.

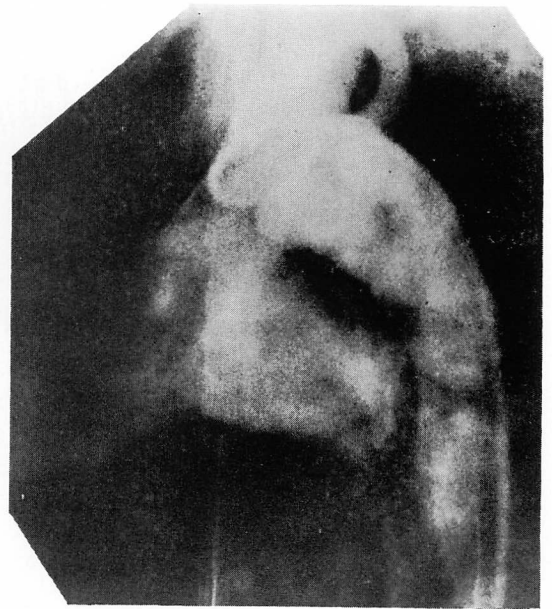


Fig. 6. Lateral view aortogram (4-year-old boy with a short segmental ductus: group B).

The maximum flow velocity is 4.5 m/sec in this patient, and dP(D) is 81 mmHg, while dP(C) is 74 mmHg.

比べて 22 mmHg 低値を示した. 10 例全体では, カテ圧差とドップラー圧差との間に有意な相関は得られなかったが, グループ A の 7 例では, カテ圧差とドップラー圧差との間に, $Y=0.93X+37.3$, 5% 以下の危険率で相関係数 0.81 の有意な相関を得た.

考 按

一般に, オリフィス狭窄類似の形態では, 狭窄直後の加速された流速の運動エネルギーは, 狭窄後に圧以外のエネルギー (例えば熱エネルギー) に変化し, 消失してしまうため, 簡易ベルヌーイ式はよく一致する. 一方, それ以外の形態では, 加速された流速の運動エネルギーは種々の程度に再び圧に変化し, このため簡易ベルヌーイ式で推定したドップラー圧差は過大な値を与える. しかも, 運動エネルギーが圧に変化する割合は, 狭窄

の形態によって異なると考えられる. 今回示したように, 動脈管における大動脈-肺動脈圧較差においても, グループ B のようなオリフィス狭窄類似の形態ではカテ圧差とドップラー圧差との差は小さく, グループ A のようなそれ以外の形態ではドップラー圧差が 19~51 mmHg 過大であった. この考え方からいけば, グループ C の 1 例においてもドップラー圧差が過大な値を与える可能性が高いが, 走行の長い蛇行した動脈管では, その血流速を十分記録できなかった可能性があり, また, 動脈管の管内での粘性などによる圧損失も, 無視できないと考えられた.

今回, カテ圧差を最大圧較差として検討したが, カテ圧差は瞬時最大圧較差とは異なるものである. しかし, Fig. 1 に示したように, 動脈管において瞬時最大圧較差とカテ圧差との差は 5 mmHg 程度であり, カテ圧差でも十分代用でき

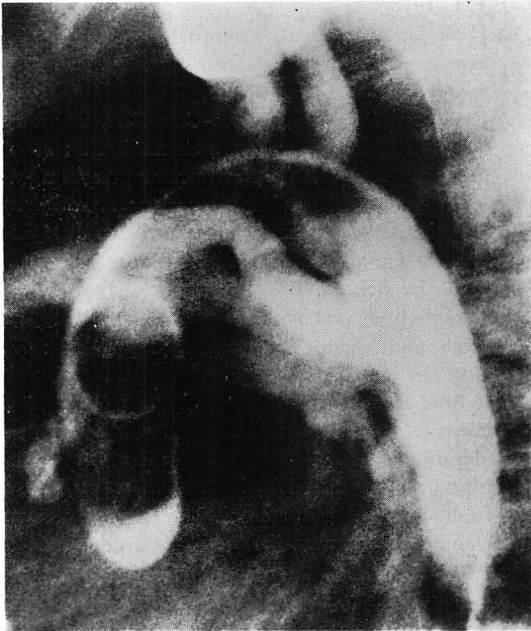


Fig. 7. Lateral view aortogram (2-year-old girl with a long curved segmental ductus and mitral valve prolapse : group C).

The maximum flow velocity is 3.8 m/sec in this patient, and dP(D) is 58 mmHg, while dP(C) is 80 mmHg.

と思われた。

今後、動脈管開存症における大動脈-肺動脈圧較差の超音波ドップラー法による推定には、カテ圧差と瞬時最大圧較差との違いも含めて、さらに動脈管の形態を検討する必要があると考えられた。

結 語

動脈管を狭窄の一形態と考え、簡易ベルヌーイ式を用いて、動脈管における大動脈-肺動脈圧較差の推定を行った。動脈管が、オリフィス狭窄類似の形態ではよく一致したが、それ以外の形態では過大評価するものが多かった。動脈管における大動脈-肺動脈圧較差の超音波ドップラー法による推定には、動脈管の形態が重要であると考えられた。

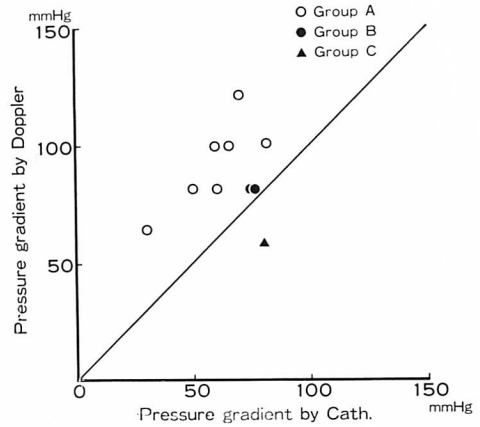


Fig. 8. Relationship between dP(C) and dP(D). A line shows the line of identity (Y=X).

要 約

動脈管開存例における大動脈-肺動脈圧較差の超音波ドップラー法による非侵襲的な推測の可能性を検討した。

対象は他の合併奇形を伴わない動脈管開存10例である。全例、心臓カテーテル検査を行い、大動脈・肺動脈の引き抜き圧曲線より、それぞれの収縮期最大圧の差(カテ圧差)を求めた。対象の平均肺動脈圧は35 mmHg以下の範囲にあった。また、心臓カテーテル検査と同時にを行った大動脈造影所見より動脈管を形態的に3つのグループに分類した。グループAは動脈管の肺動脈側が大動脈側に比して同じ太さか、少し細くなった管状またはくさび状の形態を示し、10例中7例であった。グループBは、動脈管の肺動脈側が急激に細くなった形態を示した例と、動脈管自体の長さが短い例の2例で、いわゆるオリフィス狭窄類似の形態と考えられるものであった。グループCは、動脈管の走行が長く蛇行した1例であった。

全例、心臓カテーテル検査施行前に連続波ドップラー法を行い、動脈管血流速を記録し、最大速を求め、簡易ベルヌーイ式 $\Delta P = 4V^2$ を用いて、大動脈-肺動脈圧較差(ドップラー圧差)を推定し

た. 使用した装置はアロカ製 SSD-730 である.

グループ A では, 全例, ドップラー圧差がカテ圧差に比して, 19~51 mmHg (平均 34 mmHg) 過大な値を示した. グループ B では, ドップラー圧差とカテ圧差との差は, それぞれ 5 mmHg, 7 mmHg と, 小さかった. グループ C では, 1 例であるが, ドップラー圧差がカテ圧差より低値を示した.

動脈管の大動脈・肺動脈圧較差を簡易ベルヌーイ式を用いて推定する場合, オリフィス狭窄類似の形態ではよく一致したが, それ以外の形態では過大評価するものが多かった. 動脈管における大動脈・肺動脈圧較差の超音波ドップラー法による推定には, 動脈管の形態が重要であると考えられた.

文 献

- 1) Holen J, Aaslid R, Landmark K: Determination of pressure gradient in mitral stenosis with a noninvasive ultrasound Doppler technique. *Acta Med Scand* 199; 455, 1976
- 2) Hatle L, Brubakk A, Tromsdal A, Angelsen B: Noninvasive assessment of pressure drop in mitral stenosis by Doppler ultrasound. *Br Heart J* 40: 131, 1978
- 3) Hatle L, Angelsen B, Tromsdal A: Non-invasive assessment of aortic stenosis by Doppler ultrasound. *Br Heart J* 43: 284, 1980
- 4) Lima CO, Sahn DJ, Valdes-Cruz LM, Goldberg SJ, Barron JV, Allen HD, Grenadien E: Non-invasive prediction of transvalvular pressure gradient in patients with pulmonary stenosis by quantitative two-dimensional echocardiographic studies. *Circulation* 67: 866, 1983
- 5) Hatle L, Rokseth R: Noninvasive diagnosis and assessment of ventricular septal defect by Doppler ultrasound. *Acta Med Scand (Suppl)* 645: 47, 1981
- 6) R Brad Stamm, Randolph PM: Quantification of pressure gradients across stenotic valves by Doppler ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 2: 707, 1983
- 7) Marvin B, Russell LB, Peter EG, Emanuel G: Evaluation of aortic stenosis by continuous wave Doppler ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 3: 150, 1984
- 8) Jack K, Jeffrey HR, Martha R, David A, Joseph K: A reconsideration of Doppler assessed gradients in suspected aortic stenosis. *Am Heart J* 110: 765, 1985
- 9) Tomita H, Nakaya S, Arakaki Y, Futaki S, Nakajima T, Kamiya T: Pulsed Doppler echocardiographic estimation of the pressure gradient between the left and right ventricles in ventricular septal defect. *Heart* 17: 528, 1985 (in Japanese)