

動脈管開存症における動脈管、胸部大動脈および肺動脈の血流動態

Pulsatile flow dynamics of the ductus arteriosus, thoracic aorta and pulmonary artery in patients with patent ductus arteriosus

中野 博行  
斉藤 彰博  
上田 憲

Hiroyuki NAKANO  
Akihiro SAITO  
Ken UEDA

Summary

In 20 infants or children with an isolated or complicated patent ductus arteriosus (PDA), we qualitatively and quantitatively studied pulsatile flow dynamics of the ductus, descending thoracic aorta and pulmonary artery by means of a catheter-tip electromagnetic flow velocity probe. They were divided into four groups according to ductal shunt states as follows: 14 patients with a continuous left-to-right (L-R) shunt (Group I), three patients with a bidirectional but a dominant L-R shunt (Group IIA), two patients with a bidirectional but dominant right-to-left (R-L) shunt (Group IIB), and one patient without a significant ductal flow (Group III).

In Group I, the ductal flow was pulsatile and showed continuous L-R shunting. The timing of a peak flow velocity was coincident with the peak aortic pressure at the mid-ductus, and it shifted to diastolic phase as the flow sensor approached the pulmonary end of the ductus arteriosus. In Group IIA, the peak velocity of a L-R shunt flow was located at mid-diastole and a transiently reversed R-L shunt flow was seen during systole. Two patients of Group IIB showed that the peak flow velocity of a dominantly reversed shunt was at mid-diastole, while a low grade L-R shunt flow was seen over a wide range of diastolic period. One patient of Group III who underwent operation for aortic arch interruption did not show any significant ductal flow because of a narrow PDA. In most cases of the present study, a diastolic backflow reflecting a L-R ductal shunt during diastole was demonstrated both in the descending thoracic aorta and main pulmonary artery.

The peak flow velocity of the thoracic aorta was correlated with the ductal L-R shunt ratio determined by the Fick method ( $r=0.46$ ), and the diastolic regurgitant flow fraction of the thoracic aorta was increased in patients with a larger L-R shunt or with a reversed shunt. Therefore, it was suggested that a net forward flow of the thoracic aorta is reduced in these patients. On the other hand, the quantitative evaluation of a pulmonary flow during systole was found unreliable and expected to be underestimated because of the occurrence of turbulence at the site of the main pulmonary artery by the confluence of ejection stream from the right ventricle and a shunted flow from the aorta.

静岡県立こども病院 循環器科  
静岡市漆山 860 (〒420)

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

Presented at the 24th Meeting of the Cardiography Society held in Tokyo, March 23-24, 1982

Received for publication February 23, 1983

The present study indicated that a flow study provides useful informations on the clinical diagnosis of PDA and the operative indication for patients with complicated PDA, especially in infants, and discussion was made on the various complications seen in patients with PDA.

### Key words

Patent ductus arteriosus      Flow velocity sensor      Shunting mechanism      Quantitative evaluation  
Pulmonary and aortic flow

## はじめに

動脈管開存(以下 PDA)は大血管のレベルに短絡を有する代表的な先天性心疾患である。本症は単独あるいは合併奇形として日常しばしば見られるが、動脈管を中心とする血流動態については、十分に解明されたとはいえない。今回、我々はカテーテル式電磁血流計システムを用い、本症の動脈管、胸部大動脈および主肺動脈のそれぞれについて血流計測を試み、動脈管を介する短絡メカニズムの定性的および定量的検討を行ったので報告する。

## 対象と方法

対象は PDA を単独あるいは合併奇形として有する 20 例の小児で、年齢は 6 ヶ月から 7 歳 3 ヶ月である (Table 1)。I 群は連続性に管内左右短絡を示す 14 例で、いずれも PDA 単独の症例である。このうち 5 例に肺高血圧を認めたが、平均肺動脈圧は 45 mmHg 以下であった。II 群は管内両方向短絡を示す 5 例であり、左右短絡優位の IIA 群 3 例、右左短絡優位の IIB 群 2 例から成る。IIA 群では 1 例を除いて心室中隔欠損の合併があり、IIB 群では 1 例が心内膜床欠損、他の 1 例は critical な大動脈弁狭窄をそれぞれ合併していた。なお、肺・体収縮期圧比 (Pp/Ps) は IIA 群でそれぞれ 0.69, 0.83 および 0.91 であり、IIB 群の症例は 1.08 および 1.10 であった。III 群は大動脈離断術後例で、残存動脈管が細く有意の管内血流を示さなかった。この症例の Pp/Ps は 1.49 で、著しく高値であった。

カテーテルの通過により動脈管の開存が確認さ

れた後、血管造影施行前に血流の検索を行った。流速の計測に用いたプローブは Millar 製 6F サイズの電磁式センサー (VPC-663A) であり、カテーテル先端部には micromanometer、これより 3 cm 近位側に流速センサーが装着されている。血流計には Carolina M.E. 製 601D 矩形波電磁式を使用した。この血流計の周波数応答は 15 Hz で -3 dB であり、位相遅れは平均  $37 \pm 3$  msec であった<sup>1)</sup>。流速の計測と同時に、カテーテル先端部の micromanometer により大血管の内圧を記録した。圧の 0 レベルは患児の mid-chest の高さとし、圧センサーを 37°C の生理的食塩水に浸して、実測値 100 mmHg とのあいだで校正を行った。各種出力の記録には Electronics for Medicine VR-12 recorder を用い、通常紙送り速度は 100 mm/sec、時間きざみは 40 msec とした。流速および圧の時間に対する一次微分は、時定数 1 msec の R-C 回路により電氣的に求めて記録した。

動脈管およびその近接部位の血流計測は Fig. 1 に示すような方法で行った。まず、右心カテーテル法によりカテーテルを肺動脈から動脈管を経て下行大動脈に進め、流速波形をモニターしながら、下向きに凸の単相性の安定した波形が得られる部位を胸部大動脈とした。ついで、ここからカテーテルを徐々に引きぬき、圧波形が大動脈、動脈管、つづいて肺動脈を示す部位まで記録した。通常、動脈管内の流速は上に凸の、大きな振幅で、やや不規則な波形となり、また肺動脈流速は大動脈流速と同じく、下向きに凸の規則的な単相性波形を示した。なお、用いたシステムは血流指向性を有しているため、血流の方向とカテーテルの走

Table 1. Classification of patients studied

Group		Cases
I	Continuous L-R shunt	14
II	Bidirectional shunt	5
A	Dominant L-R	3
B	Dominant R-L	2
III	No significant shunt	1
		20

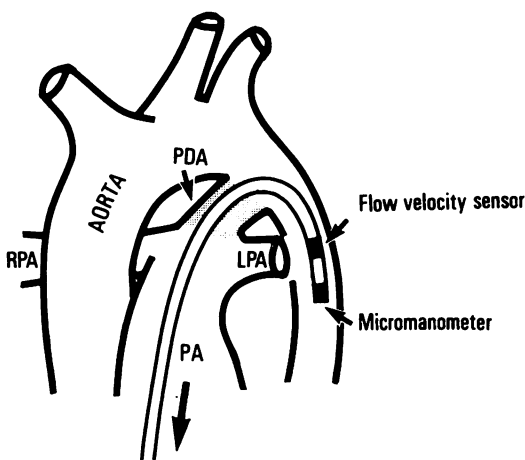


Fig. 1. Schematic illustration of the method in this study.

Flow and pressure data are obtained by the withdrawal of catheter sensors from the descending thoracic aorta to the main pulmonary artery via the ductus arteriosus.

PDA=patent ductus arteriosus; PA=pulmonary artery; RPA=right pulmonary artery; LPA=left pulmonary artery.

行が同じである場合には下向きに凸の波形となり、逆に血流とカテーテルの方向が向い合う場合には上向きに凸の波形となる。したがって、大動脈および肺動脈流速波形はともに収縮期には下向きに凸となり、基線より上方の部分は逆流を示している。動脈管内では、通常血流は高圧系の大動脈から低圧系の肺動脈に向うため、カテーテルの走行と血流方向が向い合う形となり、流速波形は基線より上方に認められるのが普通である (Fig.

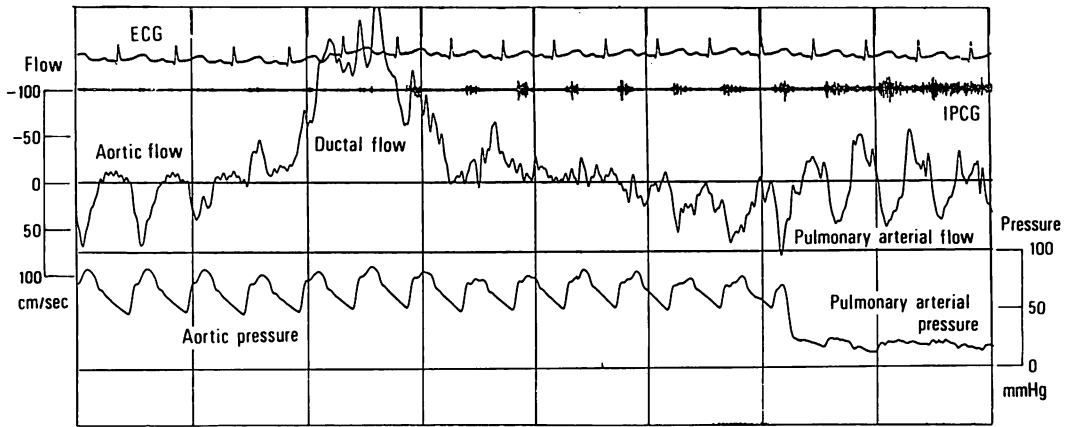
2)。つまり、管内血流は基線より上方の部分は左右短絡を示し、下方は逆短絡の左右短絡を示していることになる。Fig. 2 は単独 PDA の症例で、カテーテルを下行大動脈から動脈管を経て、主肺動脈まで引きぬいてきた時の流速波形、圧波形、および心内心音図のそれぞれの推移を示している。

## 結 果

### 1. 流速波形

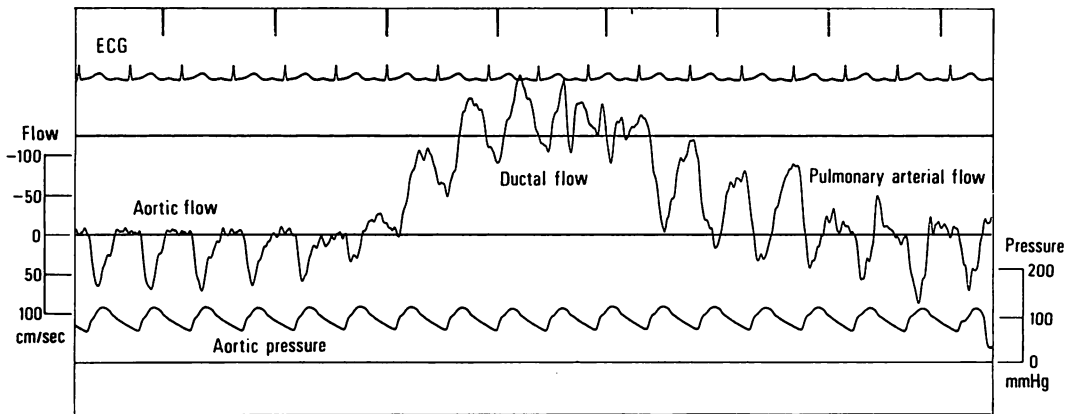
I 群 (動脈管内の左右短絡が連続性に認められる例): その代表的な血流波形を Fig. 3 に示す。図はカテーテルを下行大動脈から動脈管を経て主肺動脈まで引きぬいてきたときの、それぞれの部位における血流動態を示したものである。胸部大動脈では収縮期に一致して単相性の下向きの血流波形と、拡張期に基線より上方の逆流波形を認めた。Fig. 4 は本症 I 群の胸部大動脈における血圧および血流波形であり、拡張期全体にわたって明瞭な逆流波が見られた。

動脈管内の血流動態はやや複雑ではあるが規則的であった (Fig. 3)。管内血流は拍動性であり、管内大動脈端付近の流速のピークは小さいが、カテーテルを引きぬくにつれて徐々に大きくなり、肺動脈端付近に至ると再びそのピークは小さくなった。また、それぞれの拍動における流速のピークの時期は、動脈管中央部付近までは心電図の T 波の終りにほぼ一致することから、この部位の管内血流速度は収縮末期に最大に達すると考えられた。しかし、動脈管肺動脈端付近に近づくにつれて管内血流のピークは心電図の QRS 波、つまり拡張末期に移動するようになった。一方、各拍動における管内血流最小速度は大動脈端付近では収縮早期に位置し、肺動脈端付近では収縮後期に一致した。血流最小速度は肺動脈端付近で減少し、ついには基線を下まわるようになった。I 群の管内血流は拍動の時期にかかわらず常に基線より上に位置し、連続的な左右短絡となるが、動脈管の肺動脈端付近において収縮期に見られる逆流



**Fig. 2. Withdrawal recording of flow velocity and pressure waves.**

Flow velocity and pressure tracings are recorded by the withdrawal of a catheter sensor from the descending thoracic aorta to the main pulmonary artery via the ductus arteriosus.  
ECG=electrocardiogram; IPCG=intracardiac phonocardiogram.



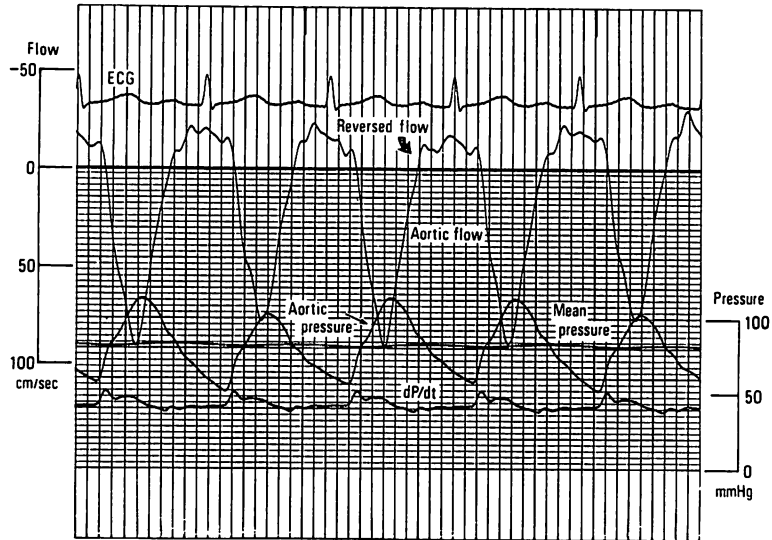
**Fig. 3. Flow velocity and pressure tracings in a patient with a continuous left-to-right ductal shunt.**

ECG=electrocardiogram.

波形は、流速センサーが右室からの駆出血を検知しているものと考えられた。

流速センサーが肺動脈に達すると、血流波形は収縮期に下向きの単相性となり、同時に拡張期に逆流波を伴った (Fig. 5)。一般に PDA の肺動脈血流波形は乱れが生じやすいが、その理由として、収縮期には主肺動脈において右室からの駆出血と動脈管内の左右短絡血がぶつかり合って、乱

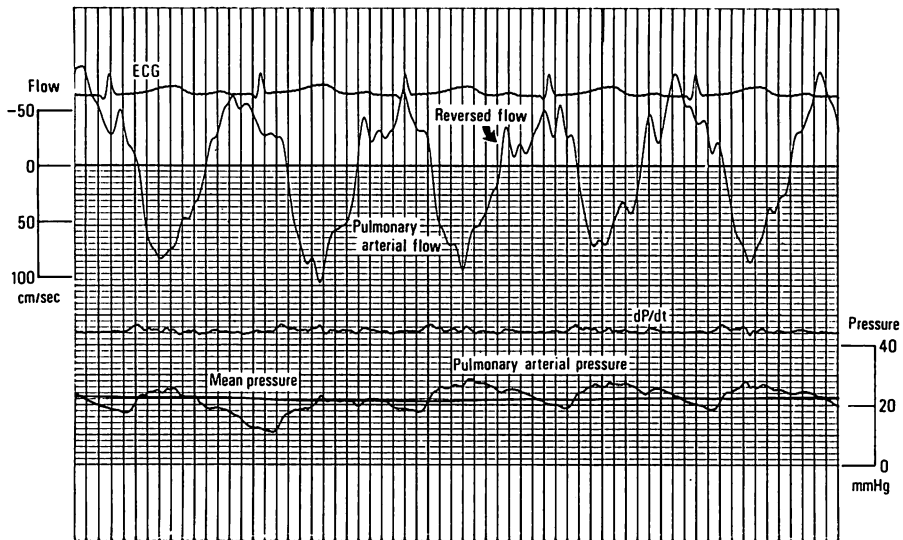
流を形成するためと思われた<sup>1)</sup>。また、肺動脈の拡張期逆流波は本症において常に認められるが、これは拡張期に右室から肺動脈への駆出がとどえた時期に、動脈管内を大動脈から短絡してきた血流を検知していると考えられる。Fig. 6 は本症の右肺動脈血流波形を示しており、収縮期と拡張期にそれぞれ下に凸の波形が認められた。収縮期は右室からの駆出血流を示し、拡張期は管内左右



**Fig. 4. Flow velocity and pressure tracings of the descending thoracic aorta in a patient with a patent ductus arteriosus.**

The diastolic reversed flow is clearly seen.

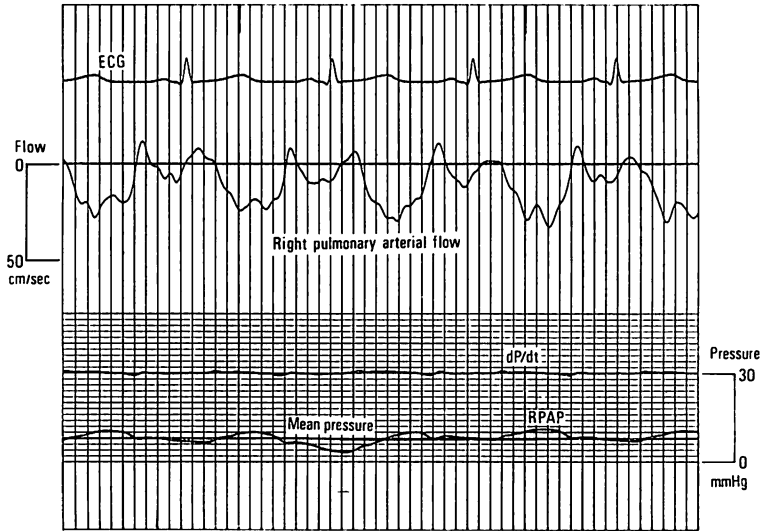
ECG=electrocardiogram.



**Fig. 5. Flow velocity and pressure tracings of the main pulmonary artery in a patient with a patent ductus arteriosus.**

The diastolic reversed flow is shown suggestive of a left-to-right ductal shunt.

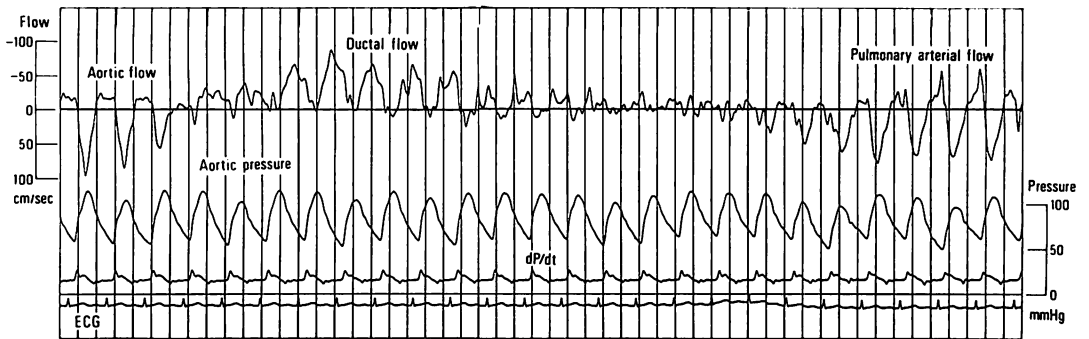
ECG=electrocardiogram.



**Fig. 6. Flow velocity and pressure tracings of the right pulmonary artery in a patient with a patent ductus arteriosus.**

Biphasic flow velocity curves are seen. The larger wave reflects an ejecting flow from the right ventricle during systole and another wave is the shunt flow via the ductus arteriosus during diastole.

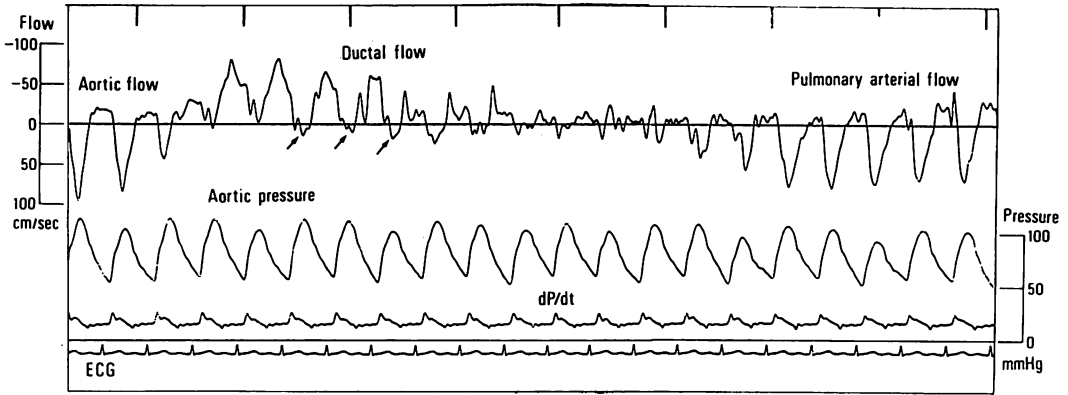
ECG=electrocardiogram; RPAP=right pulmonary artery pressure.



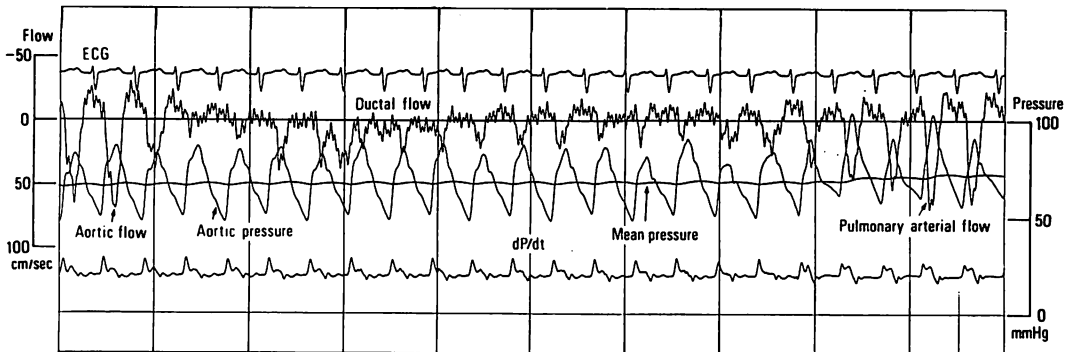
**Fig. 7. Withdrawal recording of flow velocity and pressure waves from the descending thoracic aorta to the main pulmonary artery via the ductus arteriosus in a patient of Group IIA.**

The transient reversed shunt flow is seen at the timing of peak aortic pressure.

ECG=electrocardiogram.



**Fig. 8. Another withdrawal recording of the same patient as in Fig. 7.**  
Arrows indicate a reversed ductal shunt flow during systole.  
ECG=electrocardiogram.



**Fig. 9. Withdrawal recording of flow velocity and pressure waves from the descending thoracic aorta to the main pulmonary artery via the ductus arteriosus in a patient of Group IIB.**

The ductal flow is predominantly occupied by a systolic reversed shunt and a diastolic left-to-right shunt is mild.

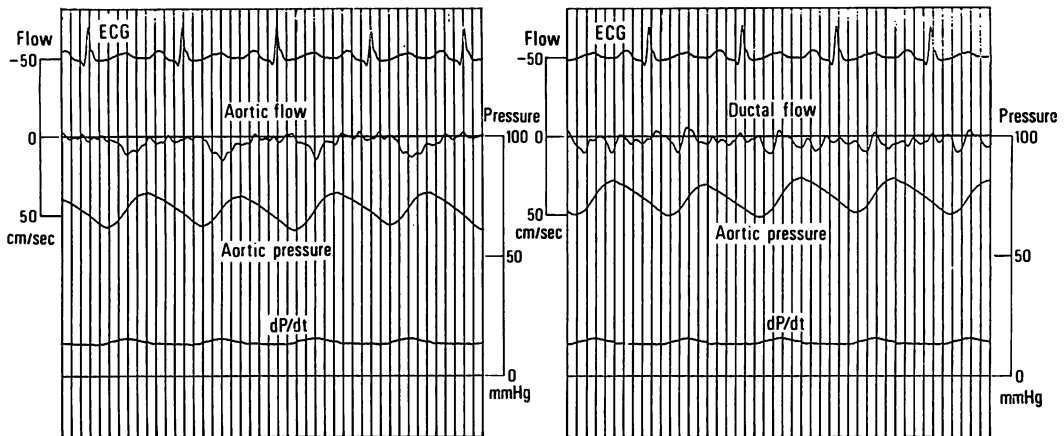
ECG=electrocardiogram.

短絡血流の末梢肺動脈への波及を反映している。

IIA 群 (管内短絡は両方向を示すが、左右短絡優位のもの): 動脈管中央部で流速は最大となった (Fig. 7)。管内血流は拡張期にピークを有し、収縮期に基線を下まわって逆短絡となった。カテーテルを引きぬいて肺動脈端付近に来ると管内血流は不規則となり、血流速度は著しく小さくなってやがて肺動脈に移行した。胸部大動脈および主

肺動脈の血流波形は、I 群の場合と同じく、拡張期に逆流波形を認めた。Fig. 8 は同じく IIA 群の血流波形で、図中矢印で示したように、収縮中期から後期にかけて管内血流は逆短絡となっている。

IIB 群 (管内血流は両方向短絡で、右左優位のもの): Fig. 9 は、10 ヶ月男児で高度の大動脈弁狭窄に合併した PDA 症例の圧および流速波形を



**Fig. 10. Flow velocity and pressure tracings of the descending thoracic aorta (left) and ductus arteriosus (right) in a patient of Group III.**

The thoracic aortic flow is markedly reduced and there is almost no significant flow in the ductus. ECG=electrocardiogram.

示している。基線より下方に見られる管内逆短絡はすべての拍動において認められ、そのピークは収縮中期に位置した。一方、管内左右短絡が拡張期全般の広い範囲にわたって見られたが、その流速は大きくなかった。なお、Fick 法で算出した本症例の短絡率は左右短絡が 15.2% で、右左短絡が 70.2% であった。

III 群 (大動脈離断術後例): 6 ヶ月男子の症例で、PDA および心室中隔欠損が残存していた。カテーテルは肺動脈から動脈管を経て下行大動脈に挿入されたが、動脈管が細く、かつ大動脈離断部の修復が十分でないため、胸部大動脈の脈圧は狭く、また流速は極めて小さかった (Fig. 10 左図)。右側に示したように、動脈管内にはほとんど血流が認められなかったが、注意深く観察すると、収縮中期にわずかに逆短絡血流が記録されていた。

## 2. 定量的分析

PDA 症例を前述のように I~III 群に分け、各群におけるそれぞれの流速指標を定量的に検討した結果を Table 2 に示す。また、本症の短絡率の算出には、左右の末梢肺動脈を mixing chamber と仮定して、Fick 法から求めた。なお、症

例数が少ないため、詳細な統計処理は行わなかった。

まず、各群の胸部大動脈最大血流速度を Fig. 11 に示した。動脈管内の血流が連続的に左右短絡である I 群ではバラツキが大きく、その平均は  $67.5 \pm 19.7$  cm/sec であった。このバラツキの原因として、年齢因子、体の大きさ、大動脈径、左室機能などの影響があげられるが、後述のように、左右短絡率の程度が主要な要因と考えられる。両方向短絡を示す II 群では、左右短絡優位の A 群が逆短絡優位の B 群に比して、最大流速は高値を示した。III 群の症例は動脈管が細く、大動脈離断修復部の残存狭窄が強いため胸部大動脈流の著しい低下を反映して、最大流速は極めて低値であった。

肺動脈の最大血流速度は各群間で特に特徴的所見は認められなかった (Fig. 12)。この流速指標は、本来本症の左右短絡率と正相関が予想されるが、実際には Fig. 13 に示すように、両者間に有意の相関は見られなかった。PDA の肺動脈流は、動脈管付着部付近で収縮期に両方向の血流がぶつかり合って乱流となりやすく、定量的評価が困難と考えられる。これに反して、胸部大動脈最



Table 2. Hemodynamic data

	Case	Age		Shunt ratio (%)		Pp/Ps	PAF PV (cm/sec)	AoF PV (cm/sec)	AoF RF (%)	Combined anomalies
		y	m	L-R	R-L					
Group I	K. S.	5	6	42.5	—	0.35	49.0	87.3	11.2	
	M. A.	4	8	35.7	—	0.26	29.0	45.2	0	
	T. S.	2	3	39.5	—	0.49	53.4	49.8	7.1	
	N. T.	2	7	40.2	—	0.66	50.0	61.8	12.5	
	M. S.	5	3	21.6	—	0.20	55.5	103.5	3.9	
	E. U.	1	9	40.5	—	0.38	51.0	66.0	27.3	
	Y. M.	3	5	21.9	—	0.17	34.5	63.0	0	
	R. S.	4	7	25.3	—	0.31	30.0	41.3	0	
	M. K.	1	0	41.8	—	0.25	25.2	42.1	0	
	A. M.	3	0	42.9	—	0.22	34.5	70.5	19.3	
	M. O.	1	1	32.0	—	0.23	45.6	64.7	19.7	
	M. A.	1	0	51.2	—	0.27	50.4	69.1	0	
	A. N.	7	3	50.2	—	0.23	47.3	85.3	6.0	
	T. S.	2	11	57.5	—	0.23	45.9	96.0	21.1	
Group IIA	A. M.	0	9	31.4	20.0	0.83	41.3	68.0	25.8	MR
	M. U.	5	1	55.9*	—	0.89	42.2	76.5	32.3	VSD
	K. S.	0	11	55.0*	—	0.91	77.5	89.7	24.6	VSD
Group IIB	A. T.	3	5	22.0*	66.7	1.08	68.4	66.9	35.2	ECD
	M. M.	0	10	15.2	70.2	1.10	38.4	33.6	40.9	AS
Group III	A. N.	0	6	61.7	25.4	1.49	45.9	13.0	0	PO.IAA VSD

Pp/Ps=pulmonary to systemic peak pressure ratio; PAF=pulmonary artery flow; PV=peak velocity; AoF=thoracic aortic flow; RF=regurgitant fraction; MR=mitral regurgitation; VSD=ventricular septal defect; ECD=endocardial cushion defect; AS=aortic stenosis; PO.IAA=postoperative interruption of the aortic arch.

The value asterisked includes a L-R shunt at the ventricular level.

大血流速度と左右短絡率との間には正相関の傾向が見られ ( $r=0.46$ ), 大動脈血流波形も安定していた (Fig. 14).

PDA においては, 血流波形の項で述べたように, 血行動態の条件にかかわらず, 拡張期には左右短絡が認められるが, これは胸部大動脈の拡張期逆流波形として表現される。したがって, 拡張期逆流量の収縮期前方血流量に対する割合を逆流率として算出し, これを各群間で比較した (Fig. 15). I 群の 5 例と III 群の症例において有意の逆流波形が記録されなかったが, 残りの症例については管内の逆短絡流の有無, およびその程度と, 胸部大動脈逆流率との間に一定の傾向が認められた。

最後に, 動脈管内中央部の血流波形において最大流速と最小流速の比を ductal peak flow ratio とし, これと Pp/Ps との関係を Fig. 16 に示した。全体として見ると, 両者間にはかなり明瞭な逆相関の傾向があった。管内血流の振幅の大きさには, 両大血管の圧差が主として関与すると考えられた。

## 考 按

動脈管開存 (PDA) は, 単独にあるいは合併奇形として, 日常しばしば遭遇する短絡型の先天性心疾患である。強度の肺高血圧を伴わない限り, 動脈管内の血流は大動脈から肺動脈への左右短絡となり, 臨床的に連続性の心雑音として聴取され

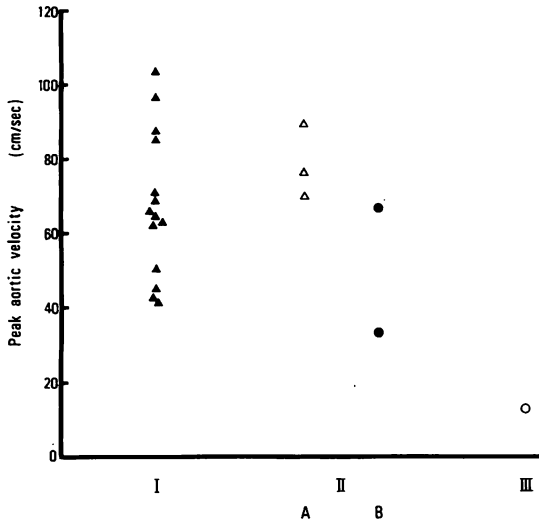


Fig. 11. Peak flow velocity of the thoracic aorta in each group of patients with PDA.

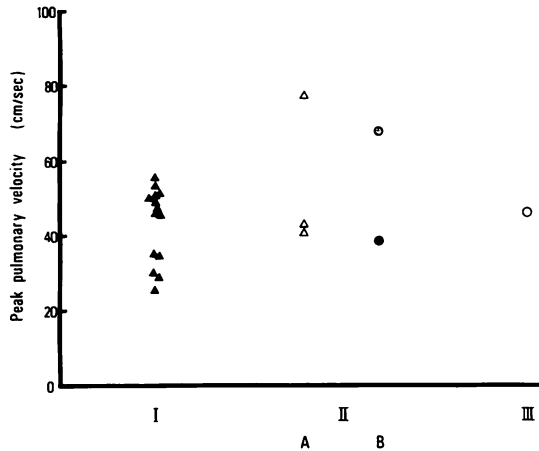


Fig. 12. Peak flow velocity of the main pulmonary artery in each group of patients with PDA.

ることは衆知の事実である。しかしながら、肺動脈圧が上昇し、体動脈圧のレベルに近づくと逆方向の短絡が加わり、管内血流は両方向短絡を呈することになる。この場合心音所見は収縮期雑音のみ聴取されるか、あるいはわずかに II 音を越える transsystolic murmur になることが多い。一方、大動脈弁閉鎖や、PDA に critical な大動脈

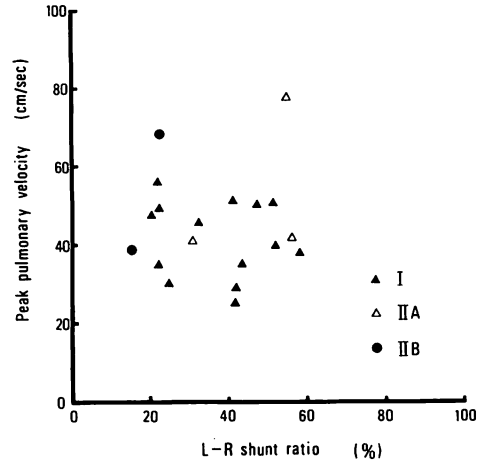


Fig. 13. Relationship between peak flow velocity of the pulmonary artery and the left-to-right shunt ratio determined by the Fick method. No significant correlation is shown.

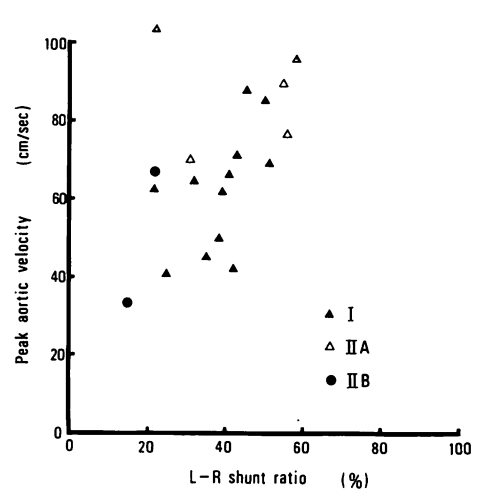


Fig. 14. Relationship between peak flow velocity of the thoracic aorta and the left-to-right shunt ratio determined by the Fick method.

A slight correlation ( $r=0.46$ ) is shown between both values.

狭窄を伴う場合には、肺動脈圧が大動脈圧を凌駕するため、管内血流は右左短絡が優位となる。このように動脈管内の血流は、種々の血行動態的条件に応じて複雑な動態を示すと考えられるが、こ



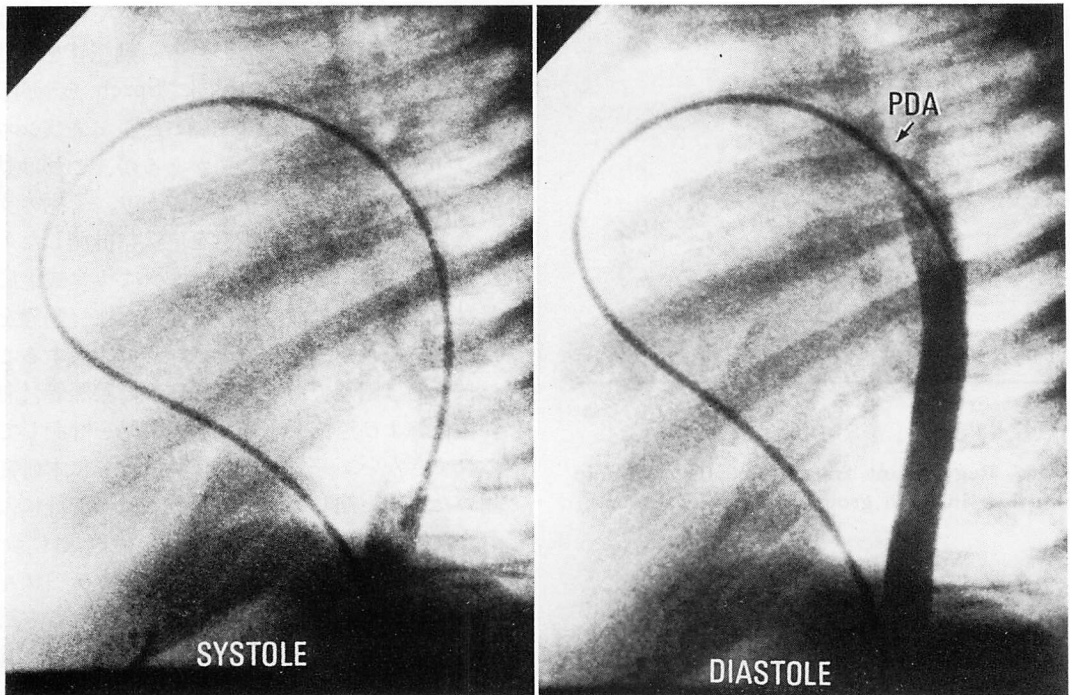


Fig. 17. Systolic (left) and diastolic (right) lateral cineangiograms of the descending thoracic aorta.

Although a catheter-tip is located below the diaphragm, the ductus arteriosus is clearly opacified during diastole.

ークは拡張期に移行するようになる<sup>4)</sup>。つまりこの部位では、収縮期には右室からの駆出血を受けて大動脈から短絡してきた管内血流が減衰される一方、拡張期には肺動脈弁の閉鎖により右室からの駆出はなく、管内血流は抵抗を受けずに、そのまま左右短絡血として反映されるためであろう。このように連続性左右短絡群において、動脈管の部位によって血流動態が異なる点は、阿波らも指摘しており<sup>4)</sup>、本法を用いなければ明らかにできないと考えられる。

単独の PDA あるいは心室中隔欠損に合併した PDA などにおいて、肺動脈圧が体動脈圧レベル近くにまで上昇すると、管内血流はしばしば両方向短絡となる。この場合 Eisenmenger 症候群でなければ通常左右短絡優位であり、逆短絡の程度は多くない。左右短絡の血流波形は動脈管中央部

付近で最大流速を示し、各心拍における流速は拡張早期から中期にかけてピークとなる。一方、逆短絡は軽度であり、その時期は大動脈圧のピークにはほぼ一致する。圧差法によると、左右短絡のピークは収縮期や拡張末期など、種々の時期に認められるが、拡張期全般にわたって左右短絡となる点<sup>2)</sup>は、今回の成績と同様である。しかしながら圧差法によると、逆短絡のピークは収縮早期といわれ<sup>2)</sup>、直接の血流計測所見との間に若干のズレが見られる。この点は、流速波形における位相遅れの関与もあるが、実際には管内血流のメカニズムが、両大血管の圧差よりも impedance の差に基づくことを示唆している。

本稿で IIB 群としてとりあげた大動脈弁閉鎖、critical な大動脈弁狭窄、大動脈縮窄など、左室出口における強度の閉塞性疾患では、PDA の存

在が生存に不可欠である。これらの疾患では、体循環は主として右室からの駆出血が動脈管を介してまかなわれるため、必然的に動脈管は右左短絡を呈することになる。興味あることには、管内血流が連続的に逆短絡であると思われるこれらの症例においても明らかな左右短絡を認める点であり、この事実に関しては、圧差法と直接的な血流計測法とはよく一致している<sup>2)</sup>。IIB群では逆短絡のピークは収縮中期にあり、一方、左右短絡は軽度ではあるが、拡張期の比較的長い時期にわたって認められる。以上の観察より、PDAでは肺高血圧の有無や合併奇形の種類を問わず、いかなる血行動態条件の場合においても、拡張期に左右短絡が存在することが明らかとなった。

PDAの下行大動脈における逆流波の存在は、拡張期の管内左右短絡を間接的に示している。また、実際に下行大動脈でシネアンジオを行うと、この点はより一層明瞭となる。Fig. 17は連続性左右短絡のPDA症例で、カテーテル先端を腹部大動脈に置き、ここで造影すると、造影剤は収縮期にはカテーテル先端部より近位の大動脈に逆流しないが、拡張期には逆流して、動脈管までの胸部大動脈および動脈管が明瞭に描出されることを示している。PDAにおける、このような胸部大動脈の逆流による拡張期左右短絡のメカニズムとして、Rudolphら<sup>5)</sup>は肺動脈系の低い血管抵抗に基づくrun offをあげたが、大動脈弁閉鎖などではこの説は通用しないと思われる。Spachら<sup>2)</sup>は、PDAのない例、左右短絡が軽度のPDA、およびブラロック短絡手術後のファロー四徴の例において、胸部大動脈の拡張期逆流について検討した結果、ブラロック手術により生じた有意の左右短絡を伴うファロー四徴群以外では、胸部大動脈からの拡張期逆流波を見出せなかった。その結果、両方向短絡を伴うPDAでは、拡張期の管内左右短絡が、もっぱら下行大動脈からの逆流によることを明らかにし、その理由として、全身の動脈系は、input impedanceの特性により、頭部上肢は小さく軀幹下肢は大きい、これにPDAに

よる第3の中間動脈系が介在すると、血流は大きな系の方から中間の系へ流れこむためと考えた<sup>2)</sup>。

カテーテル式血流計システムによる血流計測は、より詳細な定量的分析を可能にする。連続性の左右短絡群について見ると、胸部大動脈の最大流速は種々の値を示したが、この指標は左右短絡率、左室ポンプ機能、大動脈径、心拍数などによって左右されると考えられる。

今回の検討では、胸部大動脈最大流速と左右短絡率との間に若干の正相関を認めたことから、これは一見、左右短絡による大動脈流の増大を反映しているように思われる。しかしながら、本症において増大する血流は上行大動脈においてであり、動脈管遠位の下行大動脈流は、短絡率の大きさと無関係のはずである。一方、拡張期の左右短絡量を示す胸部大動脈の逆流率について見ると、I群では一般に軽度であり、IIA群では20%以上、IIB群では30%以上と、各群間に一定の関係が認められた。この逆流波はPDAが小さいとほとんど見られない点は前述のとおりであり、左右短絡の増大や両方向短絡の場合には、大動脈逆流率が増大する。つまり、管内左右短絡が増えると、胸部大動脈最大流速の増大で示されるように、収縮期前方血流量は増えるが、一方、逆流量も増大するため、結果として、net forward flowは必ずしも増大するとは限らないことになる。また、II群ではI群に比べて大動脈最大流速が低く、逆に逆流率が大きいとnet forward flowは減少しているといえよう<sup>2,5)</sup>。

本症の肺動脈流の定量的分析には注意が必要である<sup>1)</sup>。収縮期には主肺動脈部位において、右室からの駆出血と大動脈からの短絡血が合流するため乱流を生じ、肺動脈流は過小評価される。事実、今回の検討においても、各群間で、あるいは左右短絡率と肺動脈最大流速の間には、一定の傾向が見られなかった。したがって、本症の肺動脈流から右室一回拍出量を正確に求めることはできない。

定量的な血流計測の立場から見ると、血中の酸

素含量を指標とする Fick 法を用いて, 本症の短絡率を正確に算出することは困難である. 左右短絡のみの場合であっても, 本症では肺循環における有効な mixing chamber が無いほか, 拡張期には下行大動脈血の逆流を伴うため複雑化する. さらに管内逆短絡があると, 動脈管の近位および遠位の大動脈酸素含量が異なるため, 通常の Fick 法を用いて体血流量を算出することはできなくなる<sup>6)</sup>. それ故, PDA において正確な短絡血流についての情報を知ろうとすれば, 本研究で用いた方法により, 管内血流動態を把握した上で, 両大動脈のそれぞれの部位における血流計測が必要である.

以上に述べたような PDA の血流動態についての定性的および定量的な観察結果は, 臨床において有用な情報を提供する. より直接的には, 種々の心奇形に合併した PDA を閉鎖するか, あるいは放置するかの手術適応決定にさいし, 直接の血流計測により得られた逆短絡優位か否かの情報が決定的に重要となる. 診断面への応用としては, 我々が乳児期大動脈縮窄の診断を目的に開発した, 橈骨動脈注入による逆行性大動脈造影法<sup>7)</sup>が, 乳児期の本症の診断に有用である. つまり, 乳児期では, 橈骨動脈から one shot で注入した造影剤は逆行性に容易に大動脈弓から下行大動脈へ到達するが, この場合, PDA があると, 拡張期にはいかなる PDA であっても左右短絡が存在することから, シネ撮影により肺動脈の描出が認められて, 動脈管の存在が確認されるわけである. 同様な試みとして, 非開胸的に動脈管を閉鎖する場合<sup>8)</sup>に, 動脈管の正確な大きさや形態を把握しなければならないが, この場合でも, 右心カテーテル法により, 胸部大動脈でシネ撮影を行うことによって, 容易に目的を達することができる.

最後に, PDA の拡張期左右短絡の存在は, 本症における種々の病態生理の理解の上で重要である. 新生児期にときに見られる壊死性腸炎は大きな PDA を合併する例に生じやすいが, その根拠として, 拡張期の管内左右短絡のため下行大動脈

の net forward flow が減少し, 腹部領域が虚血状態になるためと推測されている<sup>2)</sup>. また一方, PDA ではしばしば心電図上, 心筋の虚血性変化が見られるが, 本症では一般に大動脈拡張期圧が低い上に, 上行大動脈の血液が収縮期のみならず, 拡張期にも動脈管へ流れこむためいわゆる coronary steal の状態となって, 冠血流量が減少するためと考えられる<sup>3)</sup>. 以上, PDA における動脈管の短絡メカニズム, および隣接大血管の血流動態についての理解は, 病態生理の解明のみならず臨床的にも極めて有用と思われる.

## 要 約

単独, あるいは合併奇形を有する PDA 患児の 20 例を対象に, カテーテル式血流計システムを用いて, 動脈管, 胸部大動脈および肺動脈の血流動態について, 定性的かつ定量的に検討した. 症例を動脈管内の血流が連続性に左右短絡を示すもの (I 群) 14 例, 両方向短絡で左右短絡優位 (IIA 群) 3 例, 同じく右左短絡優位 (IIB 群) 2 例, 有意の短絡を示さないもの (III 群) 1 例に分け, それぞれの特徴を分析した.

I 群では, 管内血流は拍動性で連続性の左右短絡を示し, 流速のピークは管内中央部付近では大動脈圧のピークに一致し, 肺動脈端に近づくにつれ拡張期に移行した. IIA 群では左右短絡優位で, 拡張期に管内流速のピークがあり, 収縮期に一過性の逆短絡が認められた. IIB 群の右左短絡優位では, この逆短絡のピークは収縮中期に見られたが, 一方軽度の左右短絡が拡張期全体にわたって認められた. III 群の 1 例は大動脈離断症術後の症例で narrow PDA のため有意の管内血流は見出せなかった. なお, 大部分の例において胸部大動脈の逆流波が見られ, また同じく肺動脈にも拡張期逆流波を認めた. いずれの逆流波も, 拡張期における管内左右短絡の存在を反映していた.

定量的分析では, 胸部大動脈最大流速は Fick 法による左右短絡率と正相関 ( $r=0.46$ ) を認めたが, 胸部大動脈の逆流率も左右短絡の多い例や,

II 群において増大していた。その結果、大量の左右短絡群や逆短絡を伴う II 群では、下行大動脈の net forward flow は減少していると考えられた。一方、本症の肺動脈流は、収縮期に右室からの駆出血と大動脈からの短絡血が合流して乱流となりやすく、肺動脈流速は過小評価が予想された。

本研究で用いた方法による動脈管をめぐる血流動態の観察の結果、合併 PDA に対する手術適応の判断や乳児期の本症の診断に有用な情報を提供すると考えられた。

#### 文 献

- 1) Nakano H, Saito A, Ueda K: Hemodynamic investigation of congenital heart disease in children with a catheter-tip electromagnetic flow velocity probe. *Respir & Circ* 26: 1211, 1978 (in Japanese)
- 2) Spach MS, Serwer GA, Anderson PAW, Canent RV Jr, Levin AR: Pulsatile aortopulmonary pressure-flow dynamics of patent ductus arteriosus with various hemodynamic states. *Circulation* 61: 110, 1980
- 3) Cassels DE: *The Ductus Arteriosus*. Springfield, Illinois, Charles C Thomas, 1973, p 143-160
- 4) 野間清司, 阿波彰一, 岡本 暁, 菱 俊雄, 兼次邦男, 田村正徳, 高野良裕, 片岡 正, 柳川幸重: 動脈管開存症に於ける管内血流動態. 第 15 回日本小児循環器研究会抄録集, p. 407, 1979
- 5) Rudolph AM, Scarpelli EM, Golinko RJ, Gootman NL: Hemodynamic basis for clinical manifestations of patent ductus arteriosus. *Am Heart J* 68: 447, 1964
- 6) Gersony WM, Duc GV, Dell RB, Sinclair JC: Oxygen method for calculation of right to left shunt: New application in presence of right to left shunting through the ductus arteriosus. *Cardiovasc Res* 6: 423, 1972
- 7) Ueda K, Saito A, Nakano H: Aortography by countercurrent injection via the radial artery in infants with congenital heart disease. *Pediatr Cardiol* 2: 231, 1982
- 8) Porstmann W, Wierny L, Warnke G, Gerstberger G, Romaniuk PA: Catheter closure of patent ductus arteriosus. 62 cases treated without thoracotomy. *Radiol Clin N America* 9: 203, 1971