

超音波ドップラー法を用いた  
新生児期早における左右  
心室拍出量の検討

Left and right ventricular  
cardiac outputs in early  
neonatal periods exam-  
ined using Doppler ech-  
ocardiography

白石 裕比湖  
遠藤 秀樹  
市橋 光  
倉松 俊弘  
谷野 定之  
柳沢 正義

Hirohiko SHIRAISHI  
Hideki ENDOH  
Kou ICHIHASHI  
Toshihiro KURAMATSU  
Sadayuki YANO  
Masayoshi YANAGISAWA

**Summary**

To evaluate early neonatal circulatory adaptation, left and right ventricular cardiac outputs were examined in 10 normal neonates using Doppler echocardiography. Serial examinations were performed until ductal closure was confirmed. Two-dimensional echocardiography and Doppler echocardiography were used to evaluate structures of the heart and great vessels and flow within them. Then, the diameters of the ascending aorta (dAo) and pulmonary artery (dPA) were measured using M-mode echocardiography. The flow velocity patterns of the ascending aorta and pulmonary artery were recorded, measuring mean aortic (VAo) and pulmonary artery velocities (VPA). Left (LVCO) and right ventricular cardiac outputs (RVCO) were calculated as follows:

$$LVCO = (dAo)^2 / 4 \times \pi \times VAo \times 60, \quad RVCO = (dPA)^2 / 4 \times \pi \times VPA \times 60.$$

1. Patency of the ductus arteriosus was confirmed by the shunt through it in all neonates initially examined. The initial flow velocity pattern of the ductal shunts was bidirectional (9/10) or continuous left-to-right (1/10). The flow velocity pattern changed to continuous left-to-right in most neonates, and spontaneous closure of the ductus was confirmed at the age of 13 to 64.5 (mean 31.4) hrs.

2. Left-to-right shunt through the stretched foramen ovale was noted in six neonates temporarily.

3. As for the arterial diameter, dAo did not change, but dPA decreased at the time of spontaneous closure of the ductus.

4. Concerning mean aortic velocity, VAo increased when a continuous ductal left-to-right shunt was initially suspected, while VPA increased when spontaneous closure of the ductus was confirmed.

5. For cardiac output, LVCO (ml/min) changed from 618.4 → 718.3 → 562.7, while RVCO showed no change (576.1 → 546.5 → 557.8) according to a ductal flow change from bidirectional to continuous left-to-right and finally to no shunt. The LVCO/RVCO ratio increased with increasing age

自治医科大学 小児科  
栃木県河内郡南河内町薬師寺 3311-1 (〒329-04)

Department of Pediatrics, Jichi Medical School, Ya-  
kushiji 3311-1 Minamikawachi-machi, Kawachi-gun,  
Tochigi 329-04

Received for publication December 26, 1987; accepted February 19, 1988 (Ref. No. 35-42C)

and (in 7/9) the maximal rate was noted when the continuous left-to-right ductal shunt was confirmed. The increased LVCO contributed to the increased LVCO/RVCO ratio. Using this method, serial evaluations of two ventricular cardiac outputs could be made.

### Key words

Doppler echocardiography    Cardiac output    Neonate    Patent ductus arteriosus    Blood flow velocity

## はじめに

新生児期早期は肺呼吸の開始, 胎盤循環の途絶, 卵円孔や動脈管の閉鎖など, 呼吸・循環系の変化は著しい<sup>1)</sup>.

近年超音波検査法の進歩に伴い, 出生後早期の循環系の順応過程を非観血的に評価することが可能となった<sup>2-5)</sup>. 本法を用いた肺血流量, 体血流量の検討は動物実験や短絡性心疾患患者においてすでに報告され, 検査の妥当性が検討されている<sup>6-9)</sup>. また本法は胎児に応用され, 左右の心室拍出量の検討がなされているが<sup>10-12)</sup>, 出生後早期における左右心室拍出量についての詳細な報告はなされていない.

本研究の目的は, 正常新生児を対象とし, 出生後早期から動脈管が自然閉鎖するまでの左右心室拍出量およびこれらの比をドップラー心エコー図法を用いて経時的に評価し, 循環系の順応過程を検討することにある.

## 方 法

対象は当院産科にて正期産正常分娩にて出生した新生児10名(男3名, 女7名)で, 生下時に仮死はなかった. 生下時体重は  $3372 \pm 251$  g (平均 $\pm$ 標準偏差)で, 心雑音や心電図異常を認めたものはなかった.

使用した装置は東芝製超音波診断装置 SSH-65A で, 探触子は 5.0 MHz (Toshiba PSB-50SS) を用いた.

検査は自然睡眠時あるいは安静時に仰臥位で生後2~7時間, 平均5.25時間より開始し, 動脈管の機能的閉鎖が確認されるまで約8時間間隔で繰り返した. 一部の症例で良好な胸骨上窩からの断

層心エコー図を得る目的で, 肩枕を使用し頸を伸展した. 肋骨弓下, 胸骨左縁, 胸骨上窩からの断層心エコー図およびカラー Doppler 法を用い, 心臓・大血管の奇形, 異常血流の有無について評価した後, 次の計測を行った.

① 胸骨左縁上部ないし胸骨上窩に探触子をあて, 断層心エコー図をモニターしながら, M モード法を用い, 拡張末期における上行大動脈径 (dAo), 主肺動脈径 (dPA) を, モニター画面上でトラックボール機能を用いて leading edge 法により計測した. この際, 大血管の走行とカーソルラインはできるだけ直交するよう断面を設定し, パルサルパ洞直上および肺動脈弁のやや末梢の M モード心エコー図を描出した (Fig. 1). ② 次いで胸骨上窩および胸骨左縁中下部に探触子をあて, カラー Doppler 心エコー図により大血管の血流をモニターしながら, パルス・ドップラー法を用い, サンプルボリュームを上述の dAo, dPA を計測した大血管腔の中央部付近に設定し, 大動脈血流波形, 肺動脈血流波形を描出した (Fig. 2). おのおのの平均流速 (VAo, VPA) はモニター画面上で, トラックボール機能を用い, 波形の Modal Doppler 偏位から計測した<sup>13)</sup>. この際, Doppler ビームの方向と血流方向はできるだけ一致させ, 両者のなす角度を  $15^\circ$  以内とし, 角度補正は行わなかった. 血管径と平均流速は連続4心拍について計測し, これを平均した. 記録は停止画像をフジインスタントカラーフィルム FI-800 を用いて行った.

左右心室拍出量 (LVCO, RVCO) は次式に基づいて計算した.

$$LVCO = (dAo)^2/4 \times \pi \times VAo \times 60$$

$$RVCO = (dPA)^2/4 \times \pi \times VPA \times 60$$

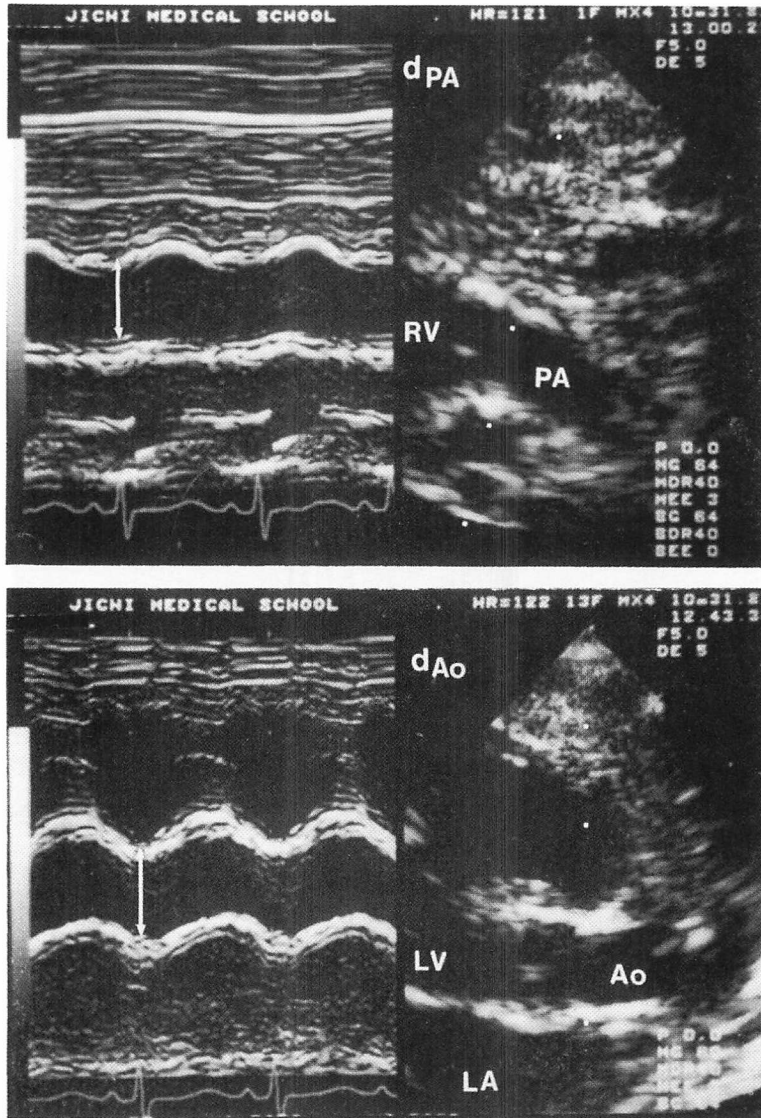


Fig. 1. Positioning of cursor for M-mode echocardiographic recordings and measurements of aortic (dAo) and pulmonary artery diameters (dPA) using M-mode echocardiograms.

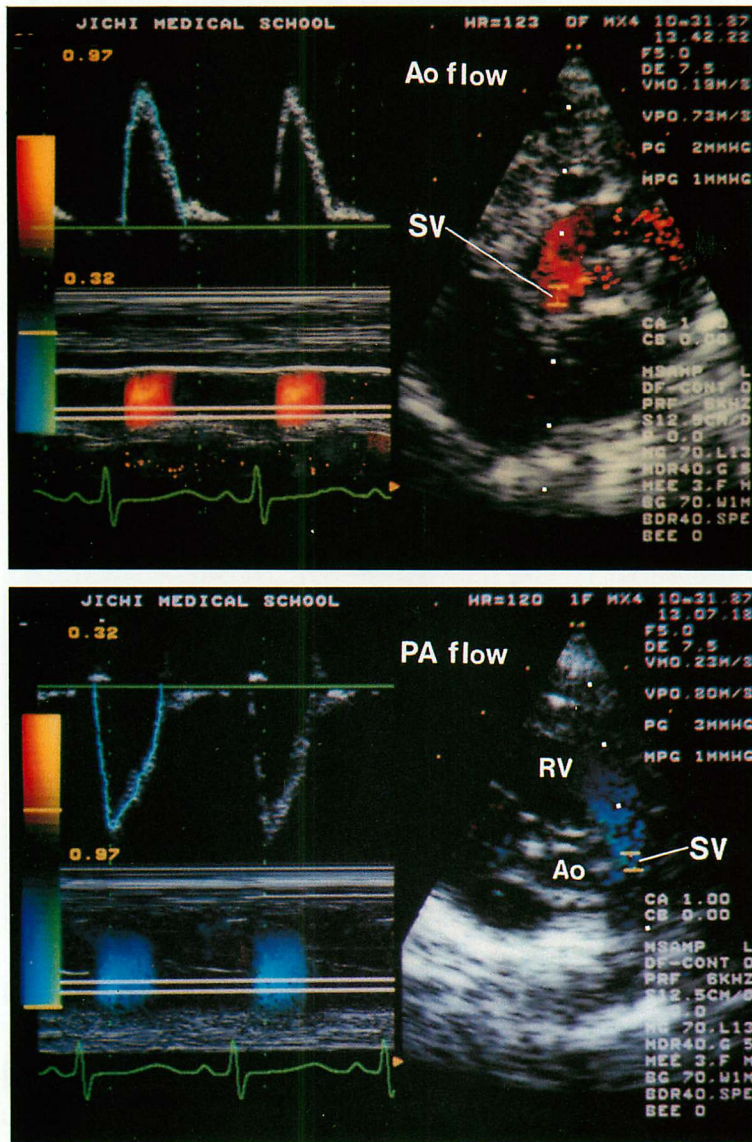
CO: 拍出量 (ml/min), d: 大血管径 (cm), V: 平均流速 (cm/sec)

各群間の比較は Student t 検定を用いて行い、危険率 5% 以下をもって有意とした。

## 結 果

### 1. 動脈管短絡

初回検査時、断層心エコー図上、全例で動脈管は開存しており、パルス・ドプラー法を用いた動脈管内短絡血流速度パターンの検討では、9例



**Fig. 2. Positioning of the sample volume (SV) for Doppler flow velocity recordings and measurements of mean aortic velocity (VAo) and pulmonary artery velocity (VPA).**

で収縮中期左右方向, 拡張期右左方向の両方向性短絡血流を示した. このうち8例では時間とともに左右短絡血流速が増大し, 生後 7~24.5 (平均 15.2) 時間で流速の大きな連続性の左右短絡血流に移行した後, 生後 16~64.5 (平均 35.0) 時間で

それが消失し, 1例では生後 13 時間で施行した 2 回目の検査時, 動脈管短絡は消失していた. 他の 1 例では初回検査時より動脈管短絡は流速の大きな (最大 2.04 m/sec) 左右方向の連続性短絡で, 時間とともに流速が増大した後, 生後 32 時間で動

脈管短絡血流は消失していた。

2. 心房間左右短絡

初回検査時に、断層心エコー図上、心房中隔は右房側に向って膨隆ないし不規則に運動していたが、心房中隔に欠損孔を認めたものはなかった。肋骨弓下四腔断面より、カラードップラー法を用いて検討すると、伸展して開いたと考えられる卵円孔を經由して、心房間の左右短絡血流を一過性に認めたものが6例あった<sup>14)</sup>。この短絡は初回検査時あるいは2回目の検査時(生後5.5~16時間)に出現し、生後13~39.5時間で消失していた。

3. 大動脈径 (dAo), 肺動脈径 (dPA)

初回検査時、動脈管短絡が両方向性短絡を示した9例における dAo は  $0.80 \pm 0.08$  cm, dPA は  $0.86 \pm 0.12$  cm であった。動脈管短絡がはじめて連続性の左右短絡として検出された時点における dAo は  $0.84 \pm 0.07$  cm, dPA は  $0.78 \pm 0.10$  cm, 動脈管短絡が消失した時点におけるそれは、それぞれ  $0.80 \pm 0.08$  cm,  $0.74 \pm 0.07$  cm で、dAo は経時的に有意な変化を示さず、dPA は動脈管が閉鎖した時点で有意に減少していた (Fig. 3)。

4. 大動脈平均流速 (VAo), 肺動脈平均流速 (VPA)

初回検査時に動脈管短絡が両方向性短絡を示していた9例における VAo は  $20.6 \pm 4.5$  cm/sec, VPA は  $18.4 \pm 3.8$  cm/sec であった。動脈管短絡がはじめて連続性の左右短絡として検出された時点における VAo は  $22.1 \pm 5.3$  cm/sec, VPA は  $19.2 \pm 2.9$  cm/sec で、動脈管が閉鎖した時点における値は  $18.9 \pm 3.9$  cm/sec と  $21.8 \pm 2.2$  cm/sec であった。VAo は動脈管短絡が連続性の左右短絡を示した時点で、消失した時点に比べて有意に大きく、VPA は動脈管が閉鎖した時点で、開存時に比し有意に増大していた (Fig. 4)。

5. 左右心室拍出量 (LVCO, RVCO) およびこれらの比 (LVCO/RVCO)

初回検査時に動脈管短絡が両方向性短絡を示した9例における LVCO は  $618.4 \pm 113.6$  ml/min, RVCO は  $576.1 \pm 121.1$  ml/min と計算された。動脈管短絡がはじめて連続性の左右短絡として検出された時点におけるそれらの値は  $718.3 \pm 132.9$  ml/min と  $546.5 \pm 86.2$  ml/min, 動脈管短絡が消失した時点では  $562.7 \pm 120.9$  ml/min と  $557.8 \pm 110.3$  ml/min と計算された。LVCO は動

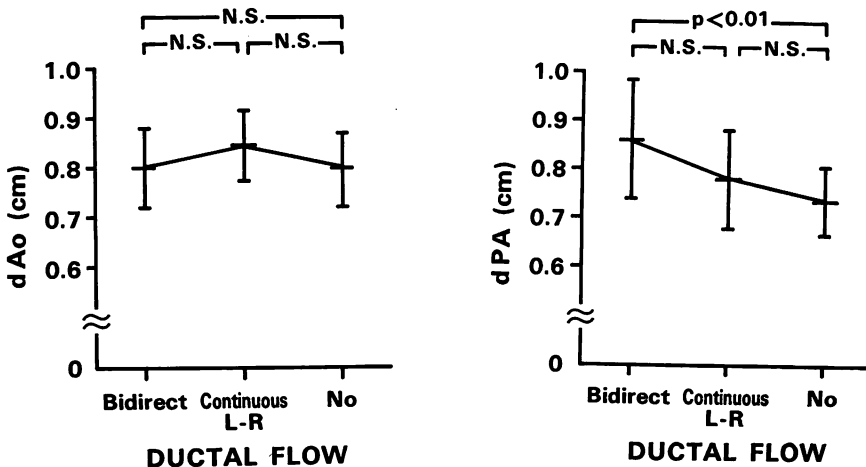


Fig. 3. Changes in the aortic (dAo) and pulmonic diameters (dPA) in centimeters in normal term neonates.

\* Values are means  $\pm$  one standard deviation.

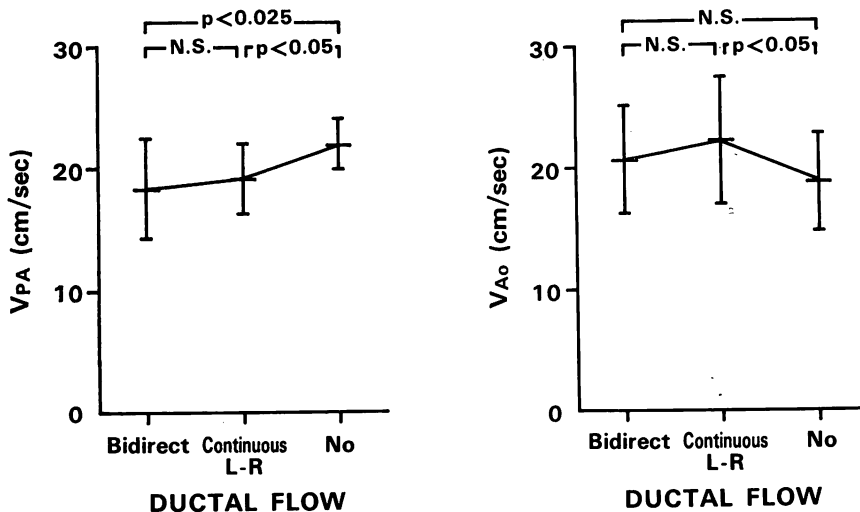


Fig. 4. Changes in the mean velocities of the ascending aorta (VAo) and pulmonary artery (VPA) in centimeters per second in normal term neonates.

\* Values are means  $\pm$  one standard deviation.

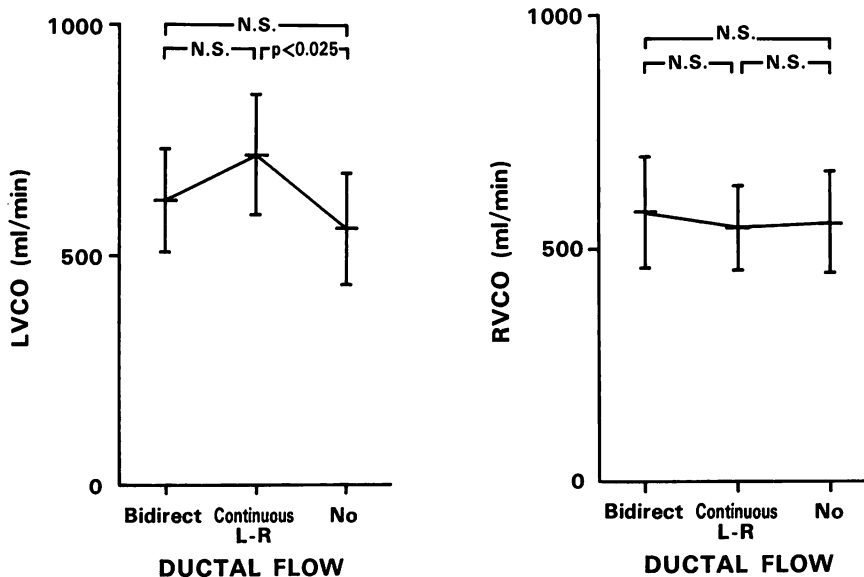


Fig. 5. Changes in left (LVCO) and right ventricular cardiac outputs (RVCO) in milliliters per minute in normal term neonates.

\* Values are means  $\pm$  one standard deviation.

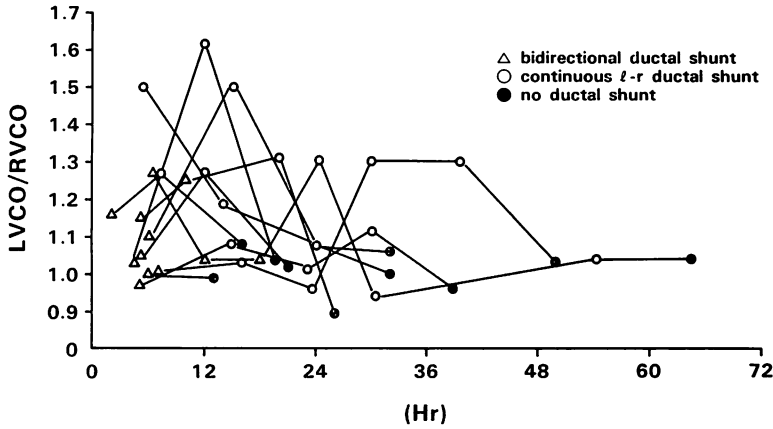


Fig. 6. Sequential left to right ventricular cardiac output ratios (LVCO/RVCO) in ten neonates.

With increases in age, seven demonstrate initial increases followed by decreases in the ratio; two demonstrate gradual decreases in the ratio, and the remaining one demonstrates no change.

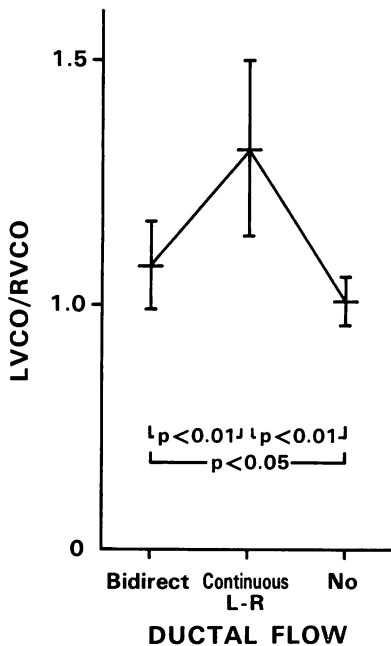


Fig. 7. Changes in the mean value of the left to right ventricular cardiac output ratio (LVCO/RVCO) in normal term neonates.

\* Values are means  $\pm$  one standard deviation.

脈管短絡が連続性の左右短絡を示した時点で、消失した時点に比べて有意に大きく、RVCO は経時的に有意な変化を認めなかった (Fig. 5).

LVCO/RVCO の経時的な推移をおのおのについて検討すると、一度増加した後減少して 1.0 に近づくもの (7 例), 漸減して 1.0 に近づくもの (2 例), ほぼ不変で、早期に動脈管が自然閉鎖するもの (1 例) であった (Fig. 6). LVCO/RVCO の変化した 9 例では、最大値をとったのは生後 5.5~30 時間で、7 例では、動脈管短絡がはじめて連続性の左右短絡として観察された時点に一致していた。

LVCO/RVCO は経時的に  $1.08 \pm 0.09$ ,  $1.32 \pm 0.18$ ,  $1.01 \pm 0.05$  と推移し、動脈管が開存している時点でも増大していたが、その程度は動脈管短絡が連続性の左右短絡を示した時点でより大きかった (Fig. 7).

考 按

今回の検討により、心エコー・ドップラー法を用いた新生児期早期における血行動態、特に動脈管開存時における左右の心室拍出量の定量化が可

能であった。従来新生児期における心拍出量の測定や動脈管短絡の評価は、カテーテル検査により、色素希釈法あるいは Fick 法を用いて行われ、体血流量は  $2.3\sim 3.1\text{ l/min/m}^2$ 、動脈管左右短絡率は  $0\sim 59\%$  と報告されている<sup>1,15)</sup>。Gessner らは色素希釈法を用い、14名の新生児における検討で、生後40分以内の新生児では動脈管右左短絡が存在すること、この短絡の多くは生後1時間以内に消失すること、生後1時間における動脈管左右短絡率は  $28\sim 49$  (平均  $37\%$ ) と計算されることを報告している<sup>15)</sup>。われわれの検討では初回の検査は生後2~7時間に行われているが、10例中9例で動脈管短絡血流の方向は両方向性であり、生後7~24.5時間で左右方向の連続性短絡へと移行していた。生後2時間以降でも動脈管右左短絡を検出することは、ドップラー法がわずかな短絡血流をも検出する鋭敏な検査法であるためと考えられる。また、左右の心室拍出量計測を観血的方法により、短絡が消失するまで経時的に繰り返した報告はなく、非観血的検査法が発達した今日となつては実際には不可能と考えられる。

心房間左右短絡が認められない場合、肺静脈血がすべて大動脈へ駆出されるため、LVCOは肺血流量(Qp)に一致し、体静脈血がすべて肺動脈に駆出されるため、RVCOは体血流量(Qs)に一致する。したがって心房間左右短絡が認められる場合、LVCO/RVCOをもってQp/Qsを推定すると、過少評価する可能性がある。

今回の検討では、LVCO/RVCOが最大となる時期は新生児によって異なるものの、多くは動脈管短絡が初めて連続性の左右短絡として描出された時点に一致していた。これは肺血管抵抗が漸減し、大動脈-肺動脈圧較差が増大する一方、動脈管が比較的大きく開存している時期であると推定される。LVCO/RVCOの最大値は1.0~1.61の間にあり、LVCO/RVCOが1.61を超えなかった理由として、肺血管抵抗が徐々に低下し、肺動脈圧の減少が緩徐なため動脈管左右短絡の増加が穏やかなこと<sup>1)</sup>、左室の量負荷増大に対し、左房

圧が上昇し、緊張、伸展して開いた卵円孔(stretched foramen ovale)を介した心房間の左右短絡により左室拍出量が減少すること<sup>14)</sup>。また、この心房間短絡が右室拍出量の一部となるため、RVCOが増大すること、さらに時間とともに動脈管が自然閉鎖に向けて内径が減少し、短絡量の減少をもたらす、などの要因が考えられた。

LVCO/RVCOが経時的に変化した9例で、その変化に影響した因子としては、RVCOが変化せず一定であったことから、LVCOの変化がより影響したものと考えられた。LVCOの変化についてdAoは有意な変化を示さず、VAoの増大がより大きく関与していると考えられた。

新生児期の血行動態の評価は、近年、ドップラー心エコー図法により非侵襲的になされ、新生児循環の順応過程が報告されている<sup>3-5)</sup>。Takenakaらは新生児期早期(生後5時間と27時間)における血行動態をパルス・ドップラー法によって評価し、生後5時間では動脈管短絡を93%に認め、生後27時間では9%にしか認めなかったこと、flow velocity integralの変化は肺動脈において著しく、上行大動脈で不変であることより、この時期のQp/Qsの変化はQs(本法でのRVCO)の増加によると報告している<sup>4)</sup>。彼らは血管径が経時的に一定であり、血流速度の変化と血流量が相関すると仮定したため、今回の報告(LVCO/RVCOの変化はLVCOの変化による)と異った結論が導かれたものと考えられる。

今回のRVCOの測定にあたり、主肺動脈内で血流パターンを記録したが、動脈管左右短絡による血流の乱れはほとんど経験せず、良好な血流速度パターンを記録した。管腔内の拍動流は、管腔の屈曲によりその血流プロフィールが変化すると報告されているが<sup>13)</sup>、今回血流パターン記録にあたり、半月弁直上部にサンプルボリュームを設定しており、この部位における血流プロフィールは、おおむねフラットであると推定される。

今回平均流速を求めるにあたり、血流方向をカラードップラー法を用いてモニタしながら、超音



波ビームを投入したため、血流方向と超音波ビームのなす角度を 15° 以下にすることが可能であり、角度補正は不要と考え行っていない。

今回の検査では動脈管が閉鎖した時点における LVCO/RVCO はおおむね 1.0 で、これは本法による左右心室拍出量推定の有用性を裏づけるものと考えられる<sup>16)</sup>。心拍出量は動脈管が閉鎖した時点で平均 170 ml/kg/min と計算され、従来、観血的検査法によって求められた心拍出量と一致している<sup>14,15)</sup>。一方、新生児における心拍出量測定は、ドップラー心エコー図法によっても試みられている<sup>17-19)</sup>。Walther らは正常新生児の心拍出量を平均 250 ml/kg/min と報告している<sup>19)</sup>。今回の検討と比較して大きな値をとった理由として、彼らは大血管径を大動脈基部において拡張早期に計測しており、今回行った拡張末期におけるバルサルバ洞上方で計測した径よりも大きな値をとった可能性がある。大血管径は収縮期と拡張期では約 10% 変化するとされ<sup>20,21)</sup>、この差が血流量測定において 2 乗で影響するため、径の計測は血流量測定上非常に重大と考えられる。心拍出量測定にあたり、本法の精度を高めるため、径の計測法について種々の報告があるが一定した結論は得られていない<sup>22-25)</sup>。今回われわれは O'Rourke らの提唱した拡張末期に leading edge 法を用いて大動脈径を計測した<sup>26)</sup>。大動脈の測定部位はドップラー法により血流速度を求めた部位に一致しているものの、時相、計測法には改善の余地があると考えられ、今後検討を重ねたい。

## 要 約

正常新生児 10 例を対象として、出生後早期における肺血流量・体血流量をドップラー心エコー図法を用いて検討し、循環系の順応過程を評価した。生後 2~7 時間より動脈管の自然閉鎖が確認されるまで、約 8 時間ごとに以下の検査を繰り返した。断層心エコー図法、ドップラー法を用いて心臓・大血管の形態や短絡血流について評価した後、M モード心エコー図法を用いて上行大動脈

径 (dAo)、主肺動脈径 (dPA) を計測した。ついで胸骨上窩、胸骨左縁下部よりカラードップラー心エコー図観察下にパルス・ドップラー法を用い、血管径計測部位での血流波形を記録し、大動脈平均流速 (VAo)、肺動脈平均流速 (VPA) を計測した。左右心室拍出量 (LVCO, RVCO) は次式により求めた。

$$LVCO = (dAo)^2 / 4 \times \pi \times VAo \times 60,$$

$$RVCO = (dPA)^2 / 4 \times \pi \times VPA \times 60$$

その成績は以下のごとくであった

1. 動脈管短絡は初回検査時に全例で認められ、その方向は両方向性 9/10、連続した左右方向 1/10 であった。2 回目の検査時すでに消失した 1 例を除き、動脈管短絡は流速の大きな左右短絡に移行した。動脈管短絡は生後 13~64.5 (平均 31.4) 時間で消失した。

2. 卵円孔を介した左右短絡は 6 例において一過性に出現した。

3. 動脈径：上行大動脈径は経時的に変化せず、主肺動脈径は動脈管短絡消失時に減少していた。

4. 平均流速：大動脈平均流速は動脈管短絡が連続性左右方向の時に増大し、肺動脈平均流速は動脈管短絡消失時に増大していた。

5. 拍出量：動脈管短絡が両方向 → 左右 → 消失するにつれ、左室拍出量 (ml/min) は 618.4 → 718.3 → 562.6、右室拍出量 (ml/min) は 576.1 → 546.5 → 557.8 と推移した。両者の比 (LVCO/RVCO) は生後時間経過とともにいったん増大しており、その最大値は (7/9 例において) 動脈管短絡が左右方向へ移行した時期に一致し、この比の増大には左室拍出量の増加が関与していた。

本法により出生に伴う両心室の拍出量の推移が評価可能であった。

## 文 献

- 1) Adams FH: Fetal and neonatal circulations. *in* Adams FH, Emmanoilides GC, eds. Heart Disease in Infants, Children and Adolescents. Williams & Wilkins, Baltimore, 1983, pp 11-17

- 2) Riggs T, Hirschfeld S, Bormuth C, Fanaroff A, Liebman J: Neonatal circulatory changes: An echocardiographic study. *Pediatrics* **59**: 338-344, 1977
- 3) Shiraishi H, Yanagisawa M: Pulsed Doppler echocardiographic evaluation of neonatal circulatory changes. *Br Heart J* **57**: 161-167, 1987
- 4) Takenaka K, Waffarn F, Dabestani A, Gardin JM, Henry WL: A pulsed Doppler echocardiographic study of the postnatal changes in pulmonary artery and ascending aortic flow in normal term newborn infants. *Am Heart J* **113**: 759-766, 1987
- 5) Mahoney LT, Coryell KG, Lauer RM: The newborn transitional circulation: A two-dimensional Doppler echocardiographic study. *J Am Coll Cardiol* **6**: 723-629, 1985
- 6) Meijboom EJ, Valdes-Cruz LM, Horowitz S, Sahn DJ, Larson DF, Young KA, Lima OC, Goldberg SJ, Allen HD: A two-dimensional Doppler echocardiographic method for calculation of pulmonary and systemic blood flow in a canine model with a variable-sized left-to-right extracardiac shunt. *Circulation* **68**: 437-445, 1983
- 7) Sanders SP, Yeager S, Williams RG: Measurement of systemic and pulmonary blood flow and Qp/Qs ratio using Doppler and two-dimensional echocardiography. *Am J Cardiol* **51**: 952-956, 1983
- 8) Barron VJ, Sahn DJ, Valdes-Cruz LM, Lima OC, Goldberg SJ, Granadier E, Allen HD: Clinical utility of two-dimensional Doppler echocardiographic techniques for estimating pulmonary to systemic blood flow ratios in children with left to right shunting atrial septal defect, ventricular septal defect or patent ductus arteriosus. *J Am Coll Cardiol* **3**: 169-178, 1984
- 9) Goldberg SJ, Sahn DJ, Allen HD, Valdes-Cruz LM, Hoenecke H, Carnahan Y: Evaluation of pulmonary and systemic blood flow by 2-dimensional Doppler echocardiography using fast Fourier transform spectral analysis. *Am J Cardiol* **50**: 1394-1400, 1982
- 10) De Smedt MCH, Visser GHA, Meijboom EJ: Fetal cardiac output estimated by Doppler echocardiography during mid- and late gestation. *Am J Cardiol* **60**: 338-342, 1987
- 11) Kenny JF, Plappert T, Doubilet P, Saltzman DH, Cartier M, Zollars L, Leatherman GF, St. John Sutton MG: Changes in intracardiac blood flow velocities and right and left ventricular stroke volumes with gestational age in the normal human fetus: A prospective Doppler echocardiographic study. *Circulation* **74**: 1208-1216, 1986
- 12) Allan LD, Chita SK, Al-Ghazali W, Crawford DC, Tynan M: Doppler echocardiographic evaluation of the normal human fetal heart. *Br Heart J* **57**: 528-533, 1987
- 13) Feigenbaum H: *Echocardiography*. 4th ed, Lea & Febiger, Philadelphia, 1986, p 188
- 14) 白石裕比湖, 市橋 光, 倉松俊弘, 谷野定之, 柳沢正義, 伊東紘一: 正常新生児に認められる心房間左右短絡血流: リアルタイム二次元ドップラー法による検討. *J Cardiol* **17**: 121-128, 1987
- 15) Gessner I, Krovetz LJ, Benson RW, Prystowsky H, Strenger V, Eitzman DV: Hemodynamic adaptations in the newborn infant. *Pediatrics* **36**: 752-762, 1965
- 16) 市橋 光, 白石裕比湖, 遠藤秀樹, 倉松俊弘, 谷野定之, 松井 陽, 柳沢正義: 未熟児および新生児における心エコー・ドップラー法による肺血流量 (Qp), 体血流量 (Qs) および Qp/Qs の評価. *新生児誌* **24**: 867-871, 1988
- 17) Alverson DC, Eldrige MW, Johnson JD: Non-invasive measurement of cardiac output in healthy preterm and term newborn infants. *Am J Perinatol* **1**: 148-151, 1984
- 18) Lees MH: Cardiac output determination in the neonate. *J Pediat* **102**: 709-711, 1983
- 19) Wather FJ, Siassi B, Ramadan NA, Ananda AK, Wu PYK: Pulsed Doppler determinations of cardiac output in neonates: Normal standards for clinical use. *Pediatrics* **76**: 829-833, 1985
- 20) Greenfield JC, Patel DJ: Relation between pressure and diameter in the ascending aorta of man. *Circ Res* **10**: 778-781, 1962
- 21) Loeber CP, Goldberg SJ, Marx GR, Cartier M, Emery RW: How much does aortic and pulmonary artery area vary during the cardiac cycle? *Am Heart J* **113**: 95-100, 1987
- 22) Sholler GF, Wright CM, Celermajer JM: Pulsed Doppler echocardiographic assessment, including use of aortic leaflet separation, of cardiac output in children with structural heart disease. *Am J Cardiol* **57**: 1195-1197, 1986
- 23) Gardin JM, Tobis JM, Dabestani A, Smith C, Elkayam U, Castleman E, White D, Allie A, Henry WL: Superiority of two-dimensional measurement of aortic vessel diameter in Doppler echocardiographic estimates of left ventricular stroke volume. *J Am Coll Cardiol* **6**: 66-74, 1985
- 24) Darsee JR, Walter PF, Nutter DO: Transcutaneous Doppler method of measuring cardiac output—II. Noninvasive measurement by transcut-

- aneous Doppler aortic blood velocity integration and M mode echocardiography. *Am J Cardiol* **46**: 613-618, 1980
- 25) 伏島堅二, 宮武邦夫, 岡本光師, 木下直和, 大和真史, 津村 圭, 増田喜一, 榊原 博, 仁村泰治: 断層ドプラー・エコー法による心拍出量測定とそのための誤差要因の分析. *J Cardiol* **17**: 139-148, 1987
- 26) O'Rourke RA, Hanrath P, Henry WN, Hugenoltz PG, Pisa Z, Roelandt J, Tanaka M: Report of the joint international society and federation of cardiology / World Health Organization task force on recommendations for standardization of measurements from M-mode echocardiograms. *Circulation* **69**: 854-857, 1984