

新生児動脈管短絡における 大動脈血流波形の変化とその 意義: 超音波カラードッ プラー法による検討

Aortic flow patterns in normal neonates with patent ductus arteriosus: Evaluation by Doppler color flow imaging

白石裕比湖
遠藤 秀樹
市橋 光
倉松 俊弘
柳沢 正義

Hirohiko SHIRAISHI
Hideki ENDO
Kou ICHIHASHI
Toshihiro KURAMATSU
Masayoshi YANAGISAWA

Summary

Serial Doppler echocardiography was performed in 12 normal neonates (0.5~4.0 hrs after birth) to evaluate flow patterns through the ductus arteriosus, and in the aorta and brachiocephalic artery.

At the initial examination, flow through the ductus arteriosus was bidirectional in eight of the 12 neonates and continuously left-to-right in the remaining four. The bidirectional ductal shunts became continuous left-to-right flows within 11~21 hrs after birth in seven of the eight neonates and resolved by 29~47 hrs after birth. In the remaining four neonates, the continuous left-to-right shunts disappeared 14~36 hrs after birth.

Systolic ejection flow patterns in the aorta and brachiocephalic artery had a triangular shape with the peak velocity in early systole, followed by a minimal flow reversal in all sites examined.

Diastolic flow patterns in each arterial site were as follows:

1. In the ascending aorta, there was slow and sustained diastolic forward flow, which did not change with increasing age.

2. In the brachiocephalic artery, there was a pan-diastolic flow reversal in the neonates with bidirectional ductal flow (7/8). This pattern changed to slow pan-diastolic forward flow when the ductal flow changed to continuous left-to-right flow or when the ductal closure was confirmed. Most (3/4) of the remaining four neonates with continuous left-to-right ductal flow exhibited pan-diastolic forward flow. Another showed a pan-diastolic flow reversal 2 hrs after birth, which changed to pan-diastolic forward flow in the second examination 6 hrs after birth.

3. In the distal aortic arch, there was a pan-diastolic forward flow in all the neonates, and the velocity decreased when a closure of the ductus was confirmed.

4. In the descending aorta, there was a pan-diastolic flow reversal in neonates with bidirectional ductal flow (7/8). This reversal changed to pan-diastolic forward flow, when the ductal flow changed to continuous left-to-right flow or when the ductal closure was confirmed. In the remaining four neonates with continuous left-to-right ductal flow, two showed a pan-diastolic flow reversal at the initial exami-

nations 2 to 3 hrs after birth. This became a pan-diastolic forward flow at the second examinations 6 and 12 hrs after birth. In the other two, there was a pan-diastolic forward flow which did not change.

This pan-diastolic flow reversal observed in the brachiocephalic artery and descending aorta was closely related to the bidirectional ductal flow. It must be due to the steal of blood from the brain or abdominal organs with flow to the pulmonary arteries.

It was concluded that a pan-diastolic flow reversal may be observed even in normal neonates, and the diminished net forward flow induced by this flow reversal may increase any ischemia of the brain and abdominal organs during the early neonatal period.

Key words

Patent ductus arteriosus Pulmonary hypertension Doppler echocardiography Hemodynamics

はじめに

新生児期早期は胎内循環から胎外循環へ移行するため、血行動態の変化は著しい^{1,2)}。動脈管を経由する血流は胎内で左右方向³⁾で、生後肺血管抵抗・肺動脈圧の低下に伴い左右方向に変化した後、動脈管は機能的に閉鎖する^{4,5)}。未熟児における頭蓋内出血、壊死性腸炎と動脈管短絡についての報告はみられる⁶⁻⁸⁾が、この時期における正常新生児における体循環の血行動態変化については十分解明されてはいない⁹⁾。今回、正常新生児にドップラー法を用い動脈管および大動脈血流波形を分析し検討した。

対象および方法

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12名で、男6名、女6名で、生下時のApgar scoreは8~10点で仮死はなかった。身体所見上チアノーゼや心雑音は認めず、断層心エコー図にて心奇形はみられなかった。

超音波診断装置はToshiba製SSH-65Aを用い、探触子はToshiba PSB 50SS (5.0MHz)を用いた。記録はPolaroidインスタントフィルム(FI-800)を用いた。

検査は安静ないし自然睡眠中に仰臥位で施行した。探触子は胸骨左縁上部、右鎖骨上窩、胸骨上窩、および季肋下に置き、大動脈基部短軸断面、鎖骨上窩長軸断面、胸骨上窩長軸断面、および肋

骨弓下矢状断面を得て、動脈管、上行大動脈、腕頭動脈、大動脈弓、および横隔膜レベルでの下行大動脈の断層像とカラードップラー、FFTドップラーを用いて血流信号を記録した。血流の方向および時相は臨界周波数をできるだけ低くとした状態で、MモードカラードップラーおよびFFTドップラー(高速フーリエ変換によるスペクトラム表示)を用いて判断した。

検査は生後0.5~4時間より開始し、動脈管短絡血流信号の消失を確認するまで、3~17時間間隔で繰り返した。

結 果

1. 動脈管短絡

初回検査時における動脈管は断層心エコー図上全例開存しており、ドップラー心エコー図による短絡血流方向は8名において収縮早期の右-左、収縮末期から拡張期の左-右方向の両方向性であり、他の4名において連続性の左-右方向であった。この両方向性動脈管短絡は7名において、生後11~21時間で連続性の左-右方向に移行した後(Fig. 1)、生後29~47時間で消失していた。1名では生後10時間に施行した2回目の検査時に動脈管短絡を認めなかった。初回検査時に連続性の左-右短絡を呈した4名では動脈管短絡方向は変わらず、生後14~36時間で消失していた(Figs. 2, 3)。

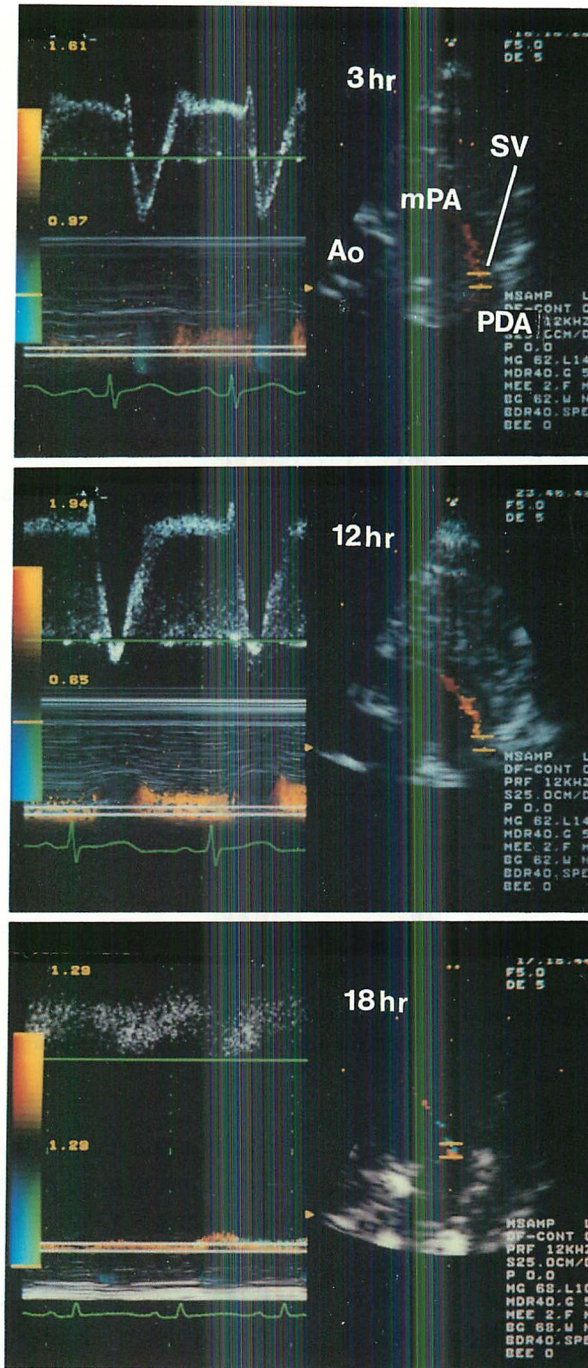


Fig. 1. Changing flow patterns through the ductus arteriosus in a normal neonate.

The flow pattern through the ductus was confirmed as bidirectional 3 and 12 hours after birth, which became a continuous left-to-right shunting 18 hours after birth.

Ao=aorta; mPA=main pulmonary artery; PDA=patent ductus arteriosus; SV=sample volume.

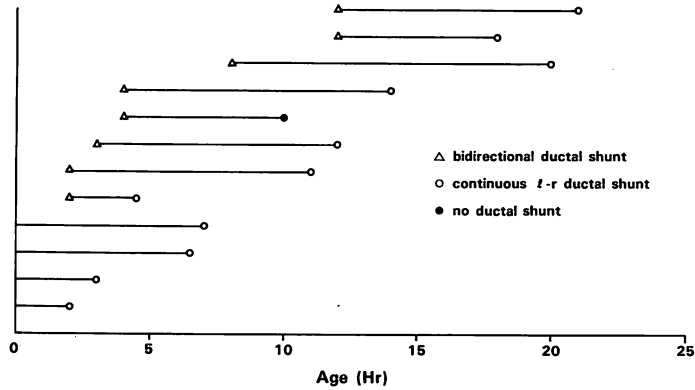


Fig. 2. The times and direction of ductal shunt.

The times of detecting bidirectional ductus shunt (Δ), and continuous left-to-right ductal shunt (\circ) or the closure of the ductus (\bullet) are shown in each neonate.

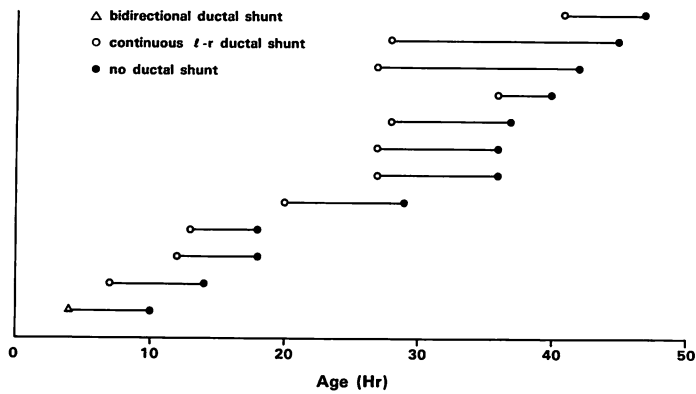


Fig. 3. The times of functional closure of the ductus arteriosus.

The times of detecting the patency of ductus arteriosus (Δ , \circ) and the disappearance of the ductal shunt (\bullet) are shown in each neonate.

2. 大動脈血流

1. 上行大動脈血流

駆出血流の血流パターンは流速が均一に近い山型パターンを示し、流速のピークは前方に偏位していた。駆出流の後には、拡張初期にごく僅かな逆流相あるいは切痕に引き続く流速の小さな順流相を認めた (Fig. 4)。この血流パターンは、経時的にほとんど変化しなかった。

2. 腕頭動脈血流

駆出血流のパターンは上行大動脈と同様で、駆

出血流の後には拡張初期のごく僅かな逆流相を認めた。初回検査時に動脈管両方向性短絡を示した新生時の多く (7/8) で、全拡張期にわたり逆流相が持続した (Fig. 5 上)。1例では拡張期の血流を検出しえなかった。この逆流相は動脈管短絡方向が両方向性から連続性の左-右短絡へ移行した時点 (4名)、それよりやや早期に (2名)、あるいはやや遅れて (2名) 順流相へ変化した (Fig. 5 下)。初回検査時に動脈管連続性左-右短絡を示した新生児では1名において、拡張期逆流相を認め (生後

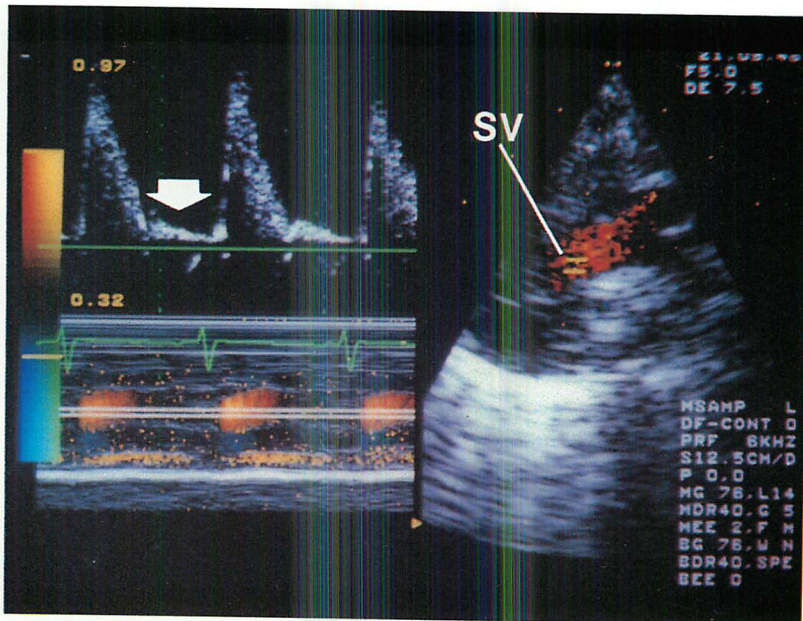


Fig. 4. Ascending aortic flow pattern in a normal neonate.

A systolic ejection flow pattern shows a triangular shape with the peak velocity in early systole followed by a minimal flow reversal and subsequently a slow pan-diastolic forward flow (arrow) is observed.

SV=sample volume.

2時間), これは生後6時間に施行した2回目の検査時に, 順流相に変化していた. 他の3名では拡張期順流相を認め, 経時的に変化しなかった.

3. 大動脈弓血流

遠位大動脈弓における初回検査時の駆出血流のパターンは上行大動脈と同様で, 駆出血流の後には拡張初期のごく僅かな逆流相(7名), あるいは切痕(5名)を認めた. 拡張期には全拡張期にわたり順流相を認めた(Fig. 6上). 拡張初期の切痕は, 生後4.5~27時間のごく僅かな逆流相に変化していた. また大動脈弓拡張期血流速は, 初回検査時平均 38 ± 11 cm/sec から最終検査時平均 15 ± 3 cm/sec へ経時的に流速を減じていた(Fig. 6下).

4. 下行大動脈血流

駆出血流の血流パターンは上行大動脈と同様で経時的に変化を認めなかった. 駆出血流の後には拡張初期のごく僅かな逆流相を認めた. 初回検査

時に動脈管両方向性短絡を示した新生児の多く(7/8)で, 全拡張期にわたり, 逆流相が持続した(Fig. 7上). この逆流相は, 動脈管短絡が両方向性から連続性の左-右短絡へ移行した時点(4名), やや遅れて(2名), あるいはやや早期(1名)で順流相に変化していた(Fig. 7下). 1例では初回検査時より拡張期順流相を認め変化はなかった. 初回検査時に動脈管連続性左-右短絡を示した新生児4名では, 2名で拡張期逆流相を認め(生後2,3時間), これは2回目の検査時(生後6,12時間)には順流相に変化していた. 他の2名では拡張期順流相を認め, これは経時的に変化しなかった.

以上の新生児期早期の動脈管・大動脈血流パターンを収縮期・拡張期に分けて Fig. 8 に示した.

考 按

1. 動脈管短絡

前報¹¹⁾および今回の結果から正常新生児の過半

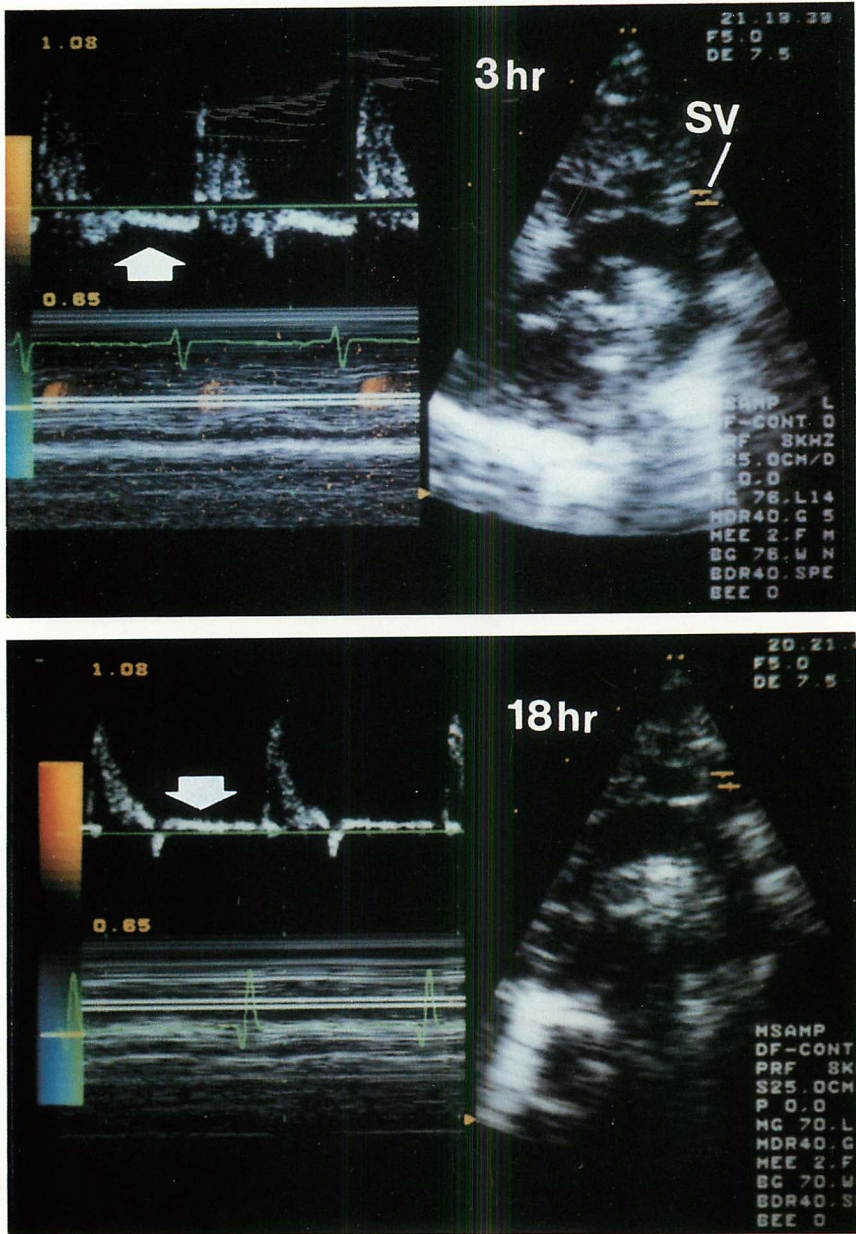


Fig. 5. Changing flow patterns in the brachiocephalic artery in a normal neonate.

A pan-diastolic flow reversal is observed 3 hours after birth (top) and it became a slow pan-diastolic forward flow 18 hours of age (bottom).

SV=sample volume.

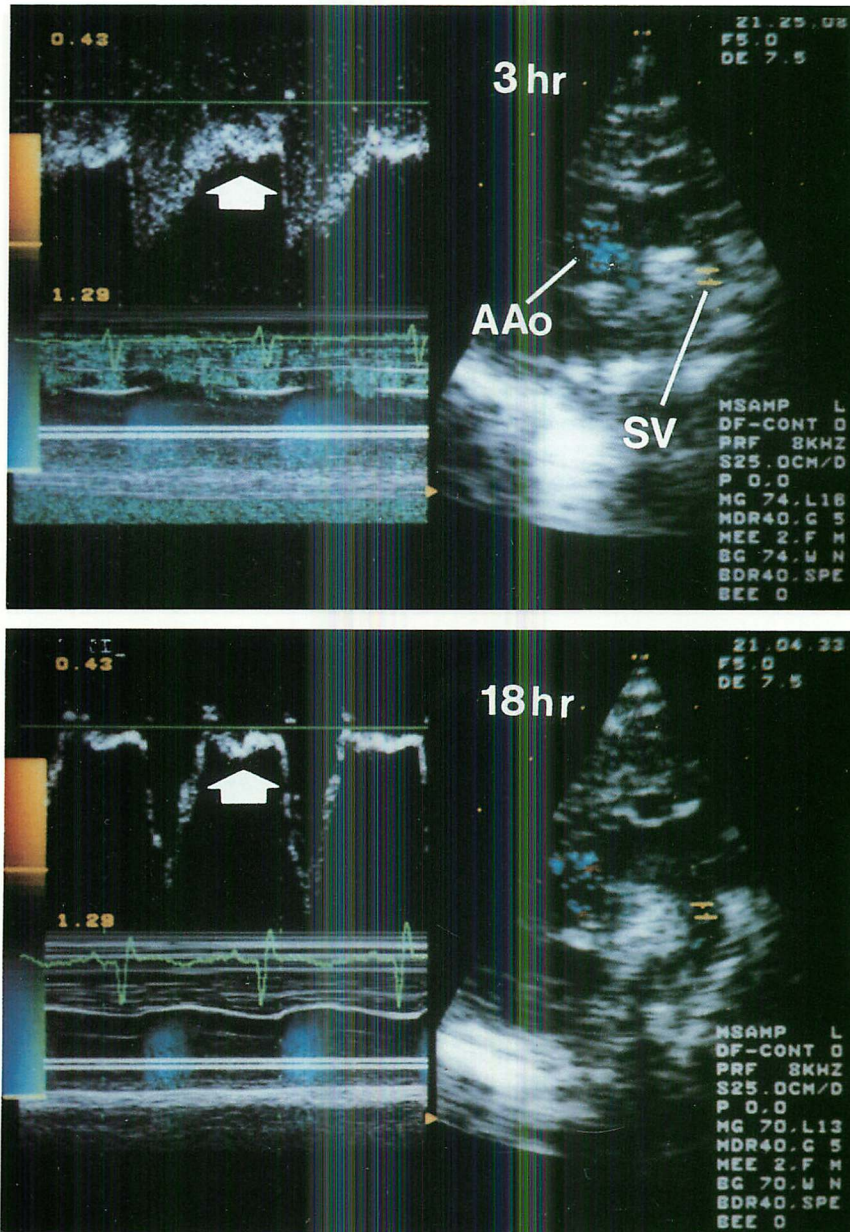


Fig. 6. Flow pattern in the aortic arch in a normal neonate.

The systolic ejection flow is followed by an early diastolic notch and a pan-diastolic forward flow (top). Note that the diastolic flow velocity decreases later (bottom).

AAo=ascending aorta; SV=sample volume.

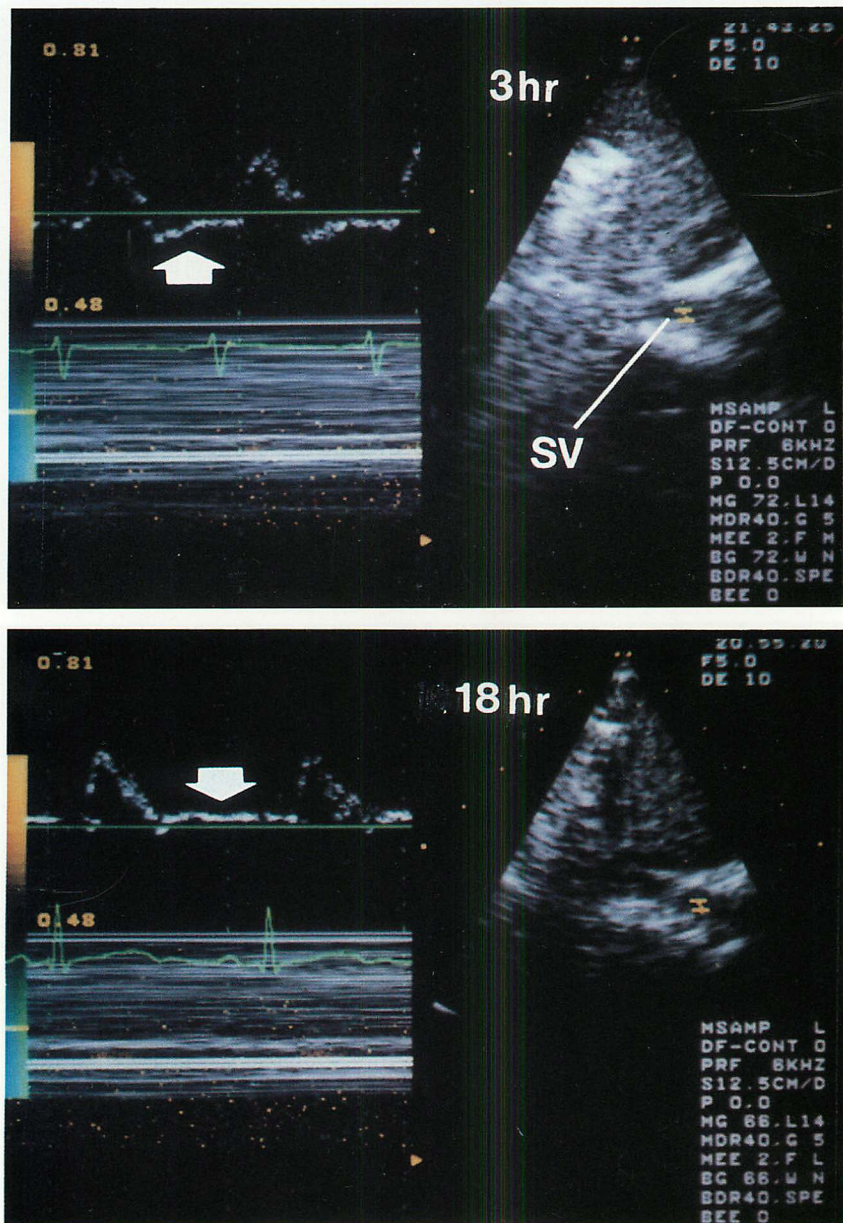
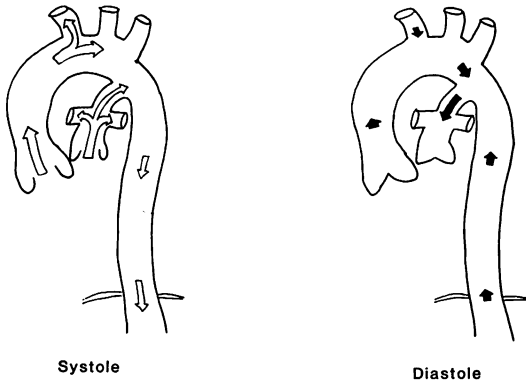


Fig. 7. The changing flow patterns in the descending aorta in a normal neonate.

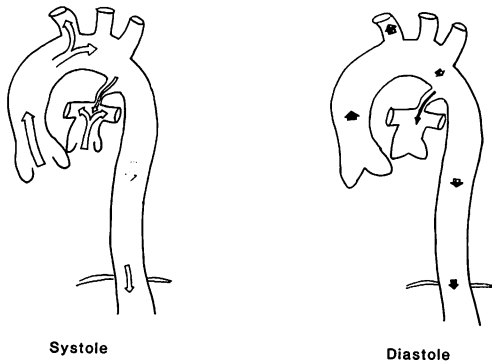
The pan-diastolic flow reversal observed 3 hours after birth became a pan-diastolic forward flow 18 hours of age.

SV=sample volume.

PDA(bidirectional shunt)



PDA(continuous L-R shunt)



DA(closed)

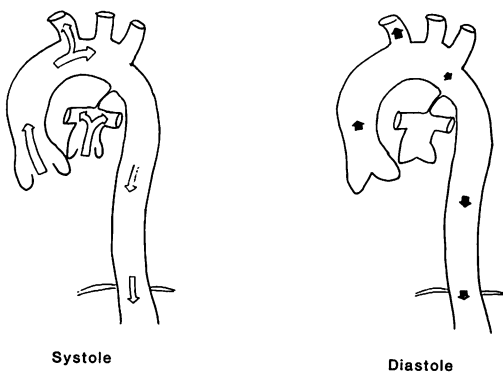


Fig. 8. Schematic drawings showing a changing flow pattern through the ductus arteriosus, in the aorta and brachiocephalic artery in normal neonates.

数(8/12)で出生早期に動脈管両方向性短絡が存在すること、両方向性動脈管短絡は生後時間とともに左-右方向の一方向性短絡となった後に消失することが明らかとなった。両方向性動脈管短絡は肺高血圧を伴った動脈管開存の症例で報告されており^{11,12)}、出生早期の動脈管短絡方向・流速の変化は生後肺動脈圧の漸減に伴う大動脈-肺動脈圧較差の変化を反映しているものと考えられる。

2. 大動脈血流パターン

今回の結果から初回検査時に動脈管両方向性短絡を認めた新生児のほぼ全例(7/8)と、連続性の動脈管左-右短絡を認めた新生児4名の一部に、腕頭動脈および下行大動脈血流波形において全拡張期にわたり、逆流相を認めることが明らかとなった。この拡張期の逆流相は、動脈管短絡の方向が両方向性から連続した左右方向へ変化する時期にほぼ一致して消失、ないし順流相に変化していた。

Wilcoxらは未熟児動脈管開存例における頸動脈波形のパルス・ドップラー法による検討にて、動脈管短絡の存在と頸動脈拡張期逆流相の存在には強い相関がみられたと報告している¹³⁾。今回の検討は腕頭動脈についてなされており、拡張期逆流相の分析にあたっては上肢からの反射の影響について考慮する必要があるが、明らかな逆流相は経時的に順流相に変化しており、これは動脈管短絡の方向・消退と関連して変化していた。

連続波ドップラー法による下行大動脈や大腿動脈血流波形から、新生児動脈管の開存について検討した報告がみられる^{14,15)}。本報告では下行大動脈血流を肋骨弓下から検討しており、血流と超音波ビームのなす角度を十分小さくすることは困難であったが、下行大動脈逆流相の存在は出生早期のみに限られ、動脈管閉鎖時期まで持続しないことから、大腿動脈あるいは下行大動脈の拡張期血流波形をもって動脈管の開存の有無を検討することは、その敏感度に問題があると考えられた。動脈管開存の非侵襲的な診断は断層心エコー図下にパルス・ドップラー法を、あるいはカラードップ

ラー法を用いて, 動脈管肺動脈端や肺動脈側動脈管内における血流波形より評価する方法が最も鋭敏と考えられている^{5,16)}.

Spachらは, 両方向性短絡を伴う動脈管開存の症例における拡張期動脈管短絡は下行大動脈から逆流によるものとし, これを input impedanceの特性より解説している¹⁰⁾. 動脈管開存症例における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らは肺動脈系の低い血管抵抗に基く run off によるとしている¹⁷⁾.

新生児にみられる頭蓋内出血や壊死性腸炎は動脈管の開存が因子の一つと考えられている⁶⁻⁸⁾が, その根拠として, 拡張期逆流相が存在するために net forward flow が減少し, 頭部および腹部が虚血になることが推定される. 動脈管左-右短絡は冠動脈血流にも影響すると考えられる¹⁸⁾が, 今回は冠血流については評価していない.

上行大動脈および大動脈弓の血流波形について, 拡張早期に認められる切痕ないし僅かな逆流相の存在は, 大動脈弁の閉鎖に由来すると考えられた.

上行大動脈血流波形は動脈管開存の有無にかかわらず, 経時的にほとんど変化を認めなかった. 実験的に大動脈-右房短絡を作製し, 上行大動脈の血流波形を短絡の有無で検討すると, 左右短絡の存在下では, 一回拍出量, 左室拍出最高流速, 脈圧が増大するとされている¹⁹⁾. 今回の検討では最高流速や心拍出量の定量はなされておらず, 駆出血流波形には変化を認めなかった.

拡張期の動脈管左-右短絡血流は, 下行大動脈より優先的に生じるとされる^{10,17)}が, 今回の検討では腕頭動脈の逆向き血流・大動脈弓の順流相が拡張期に存在することより, 拡張期の動脈管左-右短絡には, 動脈管より近位の大血管からの血液供給も関与していることが明らかとなった. 大動脈弓遠位における拡張期流速が生後時間が経つにつれ漸減したのは, 大動脈狭部の狭窄の程度が徐々に軽減, あるいは拡張期動脈管左-右短絡の程度が軽減するにつれ, 腕頭部から動脈管への拡張

期 run off が減少・消失したためと考えられた.

本研究により, 新生児期早期の動脈管短絡が体循環に与える影響について評価が可能であると考えられた. 動脈管が開存した新生児における大動脈の血圧-血流波形には, 肺動脈からの反射の影響も考慮すべきであるが, パルス・ドップラー法はこれを検討する上に十分敏感な方法となりうるか否か, この点が今後の検討の課題と思われる.

要 約

正常新生児12名に対し, 生後0.5~4時間よりドップラー心エコー図検査を繰り返し施行し, 動脈管を通過する血流パターンを評価した.

初回検査時の動脈管短絡は12名中8名で両方向性短絡として, 残りの4名では連続性の左-右短絡として観察された. このうち7名で動脈管両方向性短絡は生後11~21時間で連続性左-右短絡に変化した後, 生後29~47時間で消失した. 他の1名では生後10時間で短絡は消失していた. 初回検査時より連続性左-右動脈管短絡として観察された4名の新生児では, その後の血流パターンは変化せず, 生後14~36時間で短絡は消失していた.

大動脈と腕頭動脈における収縮期駆出血流パターンは流速のピークを収縮早期に有する三角型で, 拡張初期に小さな逆向き血流を伴い, 検査した部位により変化がなかった. おのおのの部位における拡張期血流パターンは, 以下のごとくであった.

1. 上行大動脈では, 拡張期に流速の小さな持続する順向性血流を認め, 経時的に変化がなかった.

2. 腕頭動脈では, 動脈管両方向性短絡を認めた新生児(7/8)では流速の小さな全拡張期逆向き血流を認めた. この血流は, 動脈管短絡が連続性左-右短絡に変化するにつれ, あるいは動脈管が閉鎖した時点で, 流速の小さな全拡張期順向性血流に変化した. 初回検査時に連続性の動脈管左右短絡を呈した4名では, 3名に拡張期順向性血流

を認め、生後2時間で検査した1名に全拡張期逆向き血流を認めた。この逆向き血流は生後6時間で順向き血流に変化していた。

3. 大動脈弓遠位部では全例で全拡張期に順向き血流を認め、流速は動脈管短絡消失時に減少していた。

4. 下行大動脈では、動脈管両方向性短絡を認めた新生児の多く(7/8)では全拡張期にわたり逆向き血流を認めた。この血流は動脈管短絡が連続性の左-右短絡に変化した時点、あるいは動脈管が閉鎖した時点で順向きに変化した。初回検査時に動脈管短絡が連続性左-右短絡として観察された4名中2名で全拡張期逆向き血流を認め(生後2,3時間)、これは生後6,12時間には順向き血流に変化していた。他の2名では初回検査時より全拡張期順向き血流を認め、経時的に変化しなかった。

腕頭動脈や下行大動脈におけるこれらの拡張期逆向き血流は動脈管の両方向性短絡と関連しており、頭部および腹部臓器からの血流の steal 現象によるものと考えられた。

今回の検討から、新生児期のごく早期には、腕頭動脈や下行大動脈での拡張期逆流相が存在し、これによってもたらされる net forward flow の減少は、頭部および腹部臓器が正常児であっても、出生早期には虚血になりうる可能性を示唆した。

文 献

- 1) Adams FH: Fetal and neonatal circulations. *in* Moss' Heart Disease in Infants, Children, and Adolescents (ed by Adams FH, Emmanoilides GC). Williams & Wilkins, Baltimore & London, 1983, pp11-17
- 2) Stopfkuchen H: Changes of the cardiovascular system during the perinatal period. *Eur J Pediatr* **146**: 545-549, 1987
- 3) Huhta JC, Moise KJ, Fisher DJ, Sharif DS, Wasserstrum N, Martin C: Detection and quantitation of constriction of the fetal ductus arteriosus by Doppler echocardiography. *Circulation* **75**: 406-412, 1987

- 4) Hiraishi S, Misawa H, Oguchi K, Kadoi N, Saito K, Fujino N, Hojo M, Horiguchi Y, Yashiro K: Two-dimensional Doppler echocardiographic assessment of closure of the ductus arteriosus in normal newborn infants. *J Pediatr* **111**: 755-760, 1987
- 5) Reller MD, Ziegler ML, Rice MJ, Solin RC, McDonald RW: Duration of ductus shunting in healthy preterm infants: An echocardiographic color flow Doppler study. *J Pediatr* **112**: 441-446, 1988
- 6) Dykes FD, Lazzara A, Ahmann P, Blumenstein B, Schwartz J, Brann AW: Intraventricular hemorrhage: A prospective evaluation of etiopathogenesis. *Pediatrics* **66**: 42-49, 1980
- 7) Perlman JM, Hill A, Volpe JJ: The effect of patent ductus arteriosus on flow velocity in the anterior cerebral arteries: Ductal steal in the premature newborn infant. *J Pediatr* **99**: 767-771, 1981
- 8) Cotton RB, Stohman MT, Kovar I, Calterlon WZ: Medical management of small preterm infants with symptomatic patent ductus arteriosus. *J Pediatr* **92**: 467-473, 1978
- 9) Okamoto M, Nimura Y, Miyatake K, Kinoshita N, Fusejima K, Ohma M, Takao S, Sakakibara H, Ohta M: Aortic flow patterns in heart disease with left-to-right shunt from the aorta, and their clinical significance: A Doppler echocardiographic study. *J Cardiogr* **14**: 823-832, 1984 (in Japanese)
- 10) 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**: 110-122, 1980
- 11) 白石裕比湖, 遠藤秀樹, 市橋 光, 倉松俊弘, 谷野定之, 柳沢正義, 伊東紘一: 新生児期早期に認められる動脈管両方向性短絡: 超音波ドップラー法による評価. *J Cardiol* **19**: 541-550, 1989
- 12) Wilcox WD, Carrigan TA, Dooley KJ, Giddens DP, Dykes FD, Lazzara A, Ray JL, Ahmann PA: Range-gated pulsed Doppler ultrasonographic evaluation of carotid arterial blood flow in small preterm infants with patent ductus arteriosus. *J Pediatr* **102**: 294-298, 1983
- 14) Serwer GA, Armstrong BE, Anderson PA: Non-invasive detection of retrograde descending aortic flow in infants using continuous wave Doppler ultrasonography. *J Pediatr* **97**: 394-400, 1980
- 15) 稲葉美徳, 石川自然: 連続波ドップラーによる新生児動脈管左右短絡の診断(大腿動脈における血流パターンの検討). *日児誌* **90**: 306-315, 1986

白石, 遠藤, 市橋, ほか

- 16) Huhta JC, Cohen M, Gutgesell HP: Patency of the ductus arteriosus in normal neonates: Two-dimensional echocardiography versus Doppler assessment. *J Am Coll Cardiol* 4: 561-564, 1984
- 17) Rudolph AM, Scarpelli EM, Golinko RJ, Gootman NL: Hemodynamic basis for clinical manifestations of patent ductus arteriosus. *Am Heart J* 68: 447-458, 1964
- 18) Cassels DE: *The ductus arteriosus*. Springfield, Illinois, Charles C Thomas, 1973, pp143-160
- 19) O'Rourke MF: *Arterial Function in Health and Disease*. Churchill, Livingstone, Edinburgh, London, Melbourne, New York, 1982, p196