

心エコー図法による胎児血行動態の検討

Fetal hemodynamics evaluated by pulsed Doppler echocardiography

高橋 路子
島田 英世
柳沢 紘
片桐 鎮夫
小林 英郎

Michiko TAKAHASHI
Hideyo SHIMADA
Hiroshi YANAGISAWA
Shizuo KATAGIRI
Hideo KOBAYASHI

Summary

The hemodynamics of fetal hearts, possibly having right ventricular overload were investigated using pulsed Doppler and cross-sectional echocardiography.

The subjects consisted of 250 normal fetuses at 30 to 38 weeks gestation, 23 of which were studied by Doppler method. The ultrasonic beam was directed toward the centers of the tricuspid and mitral orifices imaged in the apical four-chamber view to record right ventricular and left ventricular inflow velocities. The flow velocity patterns of right and left ventricular inflow tracts were similar and consisted of two peaks; the rapid filling phase and the atrial contraction phase. The peak velocity of the atrial contraction phase was slightly greater than that of the rapid filling phase. Mitral peak flow velocity was 52.1 ± 9.9 cm/sec (mean \pm SD), while tricuspid peak flow velocity was 56.1 ± 8.7 cm/sec, and the ratio of the latter to the former was 1.09 ± 0.09 . We calculated the excursions and diastolic descent rate (DDR) of the mitral and tricuspid valves using M-mode echocardiography, which were also strongly affected by stroke volume. TV DDR/MV DDR = 1.06 ± 0.10 , and TV excursion/MV excursion = 1.09 ± 0.09 .

Reportedly, 2/3 of the total cardiac volume entered the right ventricle, based on the experimental study of fetal lambs. However, the results obtained in the present study suggest that the right ventricular flow volume may be only slightly greater than that of the left ventricle.

Key words

Fetal Doppler echocardiography
flow volume

Fetal hemodynamics

Right ventricular flow volume

Left ventricular

はじめに

断層心エコー図法の登場により、胎児心の動態を生理的な状態でより詳細に観察することが可能

となった。これにより、出生前の段階においてある種の心奇形は発見することが可能となり¹⁾、我々もすでにその1例の報告を行っている²⁾。一方、ヒト胎児心の血行動態は出生後のそれと異なって

北里研究所病院 内科
東京都港区白金 5-9-1 (〒108)

Kitasato Institute Hospital, Shirogane 5-9-1, Minato-ku, Tokyo 108

Received for publication August 7, 1984; accepted September 29, 1984 (Ref. No. 28-6)

いるが³⁾, 生理的状态で直接観察した報告はなく, その実体については羊を用いた Rudolph & Heymann の実験成績に依るものしかない⁴⁾. ヒト胎児心においては, この成績をそのままあてはめたものが一般的概念となっている.

我々は胎児心エコー図の記録法の標準化を試み⁵⁾, これに基づいて, M モード心エコー図および断層心エコー図を記録し, ヒト胎児心の血行動態について検討を加えてきた. これらの成績からは, ヒト胎児心では右室血流量は左室血流量よりは確かに多いが, 少なくとも Rudolph らの報告したごとく, 2:1 よりもはるかに小さいことが示唆された⁶⁾. 本報では, M モード法に加えてパルス・ドプラー法を用いることにより, より直接的にヒト胎児心の右室および左室の血流量の評価を試みたものである.

対象と方法

対象は当院産婦人科に通院中の 30 ないし 38 週の正常妊娠 250 例である. このうち胎児心エコー図の記録が良好であった症例について検討を加えた. このうち, パルスドプラー法は 23 例に実施した.

パルス・ドプラー法は Fig. 1 に示すごとく, 胎

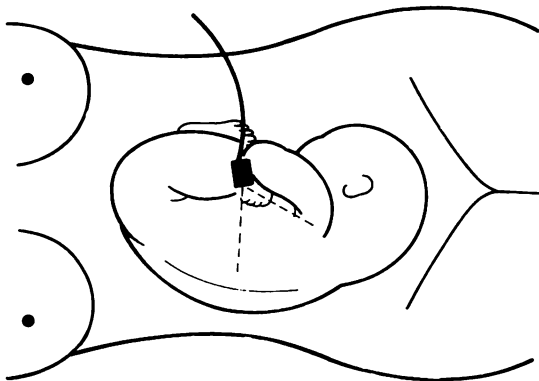


Fig. 1. Transducer position for the examination of fetal heart.

The fetus is in the right cephalic presentation. Transducer is placed in the maternal navel region.

児が頭位, かつ, 母体右側腹部に児背を認める位置で, 胎児の心尖部よりの四腔断層像からアプローチし, 右心系については三尖弁直下の右室流入口, 左心系については僧帽弁直下の左室流入口に sampling volume を置き, 得られた Doppler spectrum について検討した. なお, 筆者らの使用した装置では最小 sampling volume は 2 mm 幅であり, 肺動脈起始部に sampling volume をおくと, Doppler motion ghost signal を生じ, 良好な spectrum を得ることはできない. したがって θ を $0^\circ \sim 30^\circ$ に押えられ, 再現性ある良好な spectrum が得られる sampling volume の位置として, 心尖部からの四腔断層図における僧帽弁血流と三尖弁血流を選択した. これら胎児は出生後 2 ないし 5 日目に心エコー図を記録し, 正常心であることを確認した. 記録は東芝製 SSH-11A セクター型断層心エコー装置, 探触子は同社製 2.4 MHz を使用した. パルス・ドプラー血流計は上記装置に複合した東芝製 SDS-10A を用いた. 断層心エコー図はビデオテープ及びポラロイドフィルムに記録し, M モード心エコー図および高速フーリエ解析により周波数分析されたドプラー信号は, 東芝製 line scan recorder に記録した.

成績

1. M モード心エコー図による胎児血行動態の検討

胎児心の M モード心エコー図の僧帽弁と三尖弁波形は, とともに類似した 2 峰性の波形を呈した (Fig. 2). 明瞭な肺動脈弁エコーは 30 例に認められ, うち 6 例では “a” dip を認め, 他の 24 例では認められなかった (Fig. 3).

三尖弁 DDR は 42.80 ± 4.60 mm/sec, 僧帽弁 DDR は 40.96 ± 5.09 mm/sec であった. 同一症例における三尖弁 DDR と僧帽弁 DDR の比 (TVDDR/MVDDR) は 1.06 ± 0.10 であった (Fig. 4). また, 三尖弁振幅は 6.96 ± 0.87 mm, 僧帽弁振幅は 6.46 ± 0.87 mm で, 同一症例における三尖弁振幅の比は 1.09 ± 0.09 であった (Fig. 5).

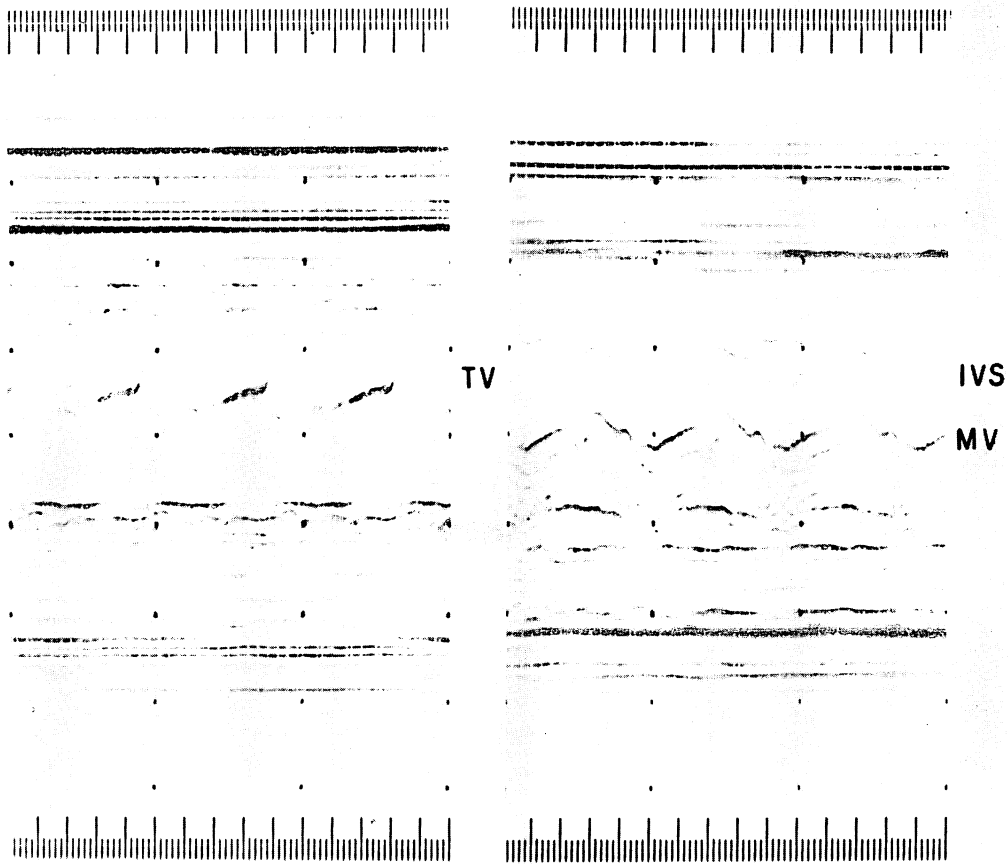


Fig. 2. M-mode echocardiograms of the mitral the and tricuspid valves in a normal fetus.

2. パルス・ドプラー法による血行動態の検討

妊娠 30 週の胎児の 右室流入口及び 左室流入口における血流パターンを Fig. 6 に示す。右室流入口血流パターンと左室流入口血流パターンにはほとんど相違を認めず、急速流入期に一致すると思われる拡張中期の flow (R 波) と心房収縮期に一致すると思われる前収縮期の flow (A 波) にそれぞれピークを持つ、二峰性の血流パターンを示した。血流の持続時間は、右室流入口血流パターンと左室流入口血流パターンとの比が 1.01 ± 0.04 で、非常に近似した値であった。三尖弁最大血流速度は 56.1 ± 8.7 cm/sec、僧帽弁最大血流速度は 52.1 ± 9.9 cm/sec であった。また、同一症例にお

いてその比は 1.09 ± 0.09 であった (Fig. 7)。

3. 同一症例における TV DDR/MV DDR, TVEX/MVEX, TV flow velocity/MV flow velocity
その比は 1.0~1.3 の間にあった (Fig. 8)。

考 按

胎児心を生理的な状態で観察する試みは、以前より超音波法を用い、二、三発表されているが⁷⁻⁹⁾、断層心エコー図法の出現により、その情報は著しく多くなり、出生前にある種の心奇形を発見することや¹⁾、血行動態を推定することも可能となってきた。しかし、胎児の血行動態についての定量的な分析については Sahn ら¹⁰⁾の発表があるに

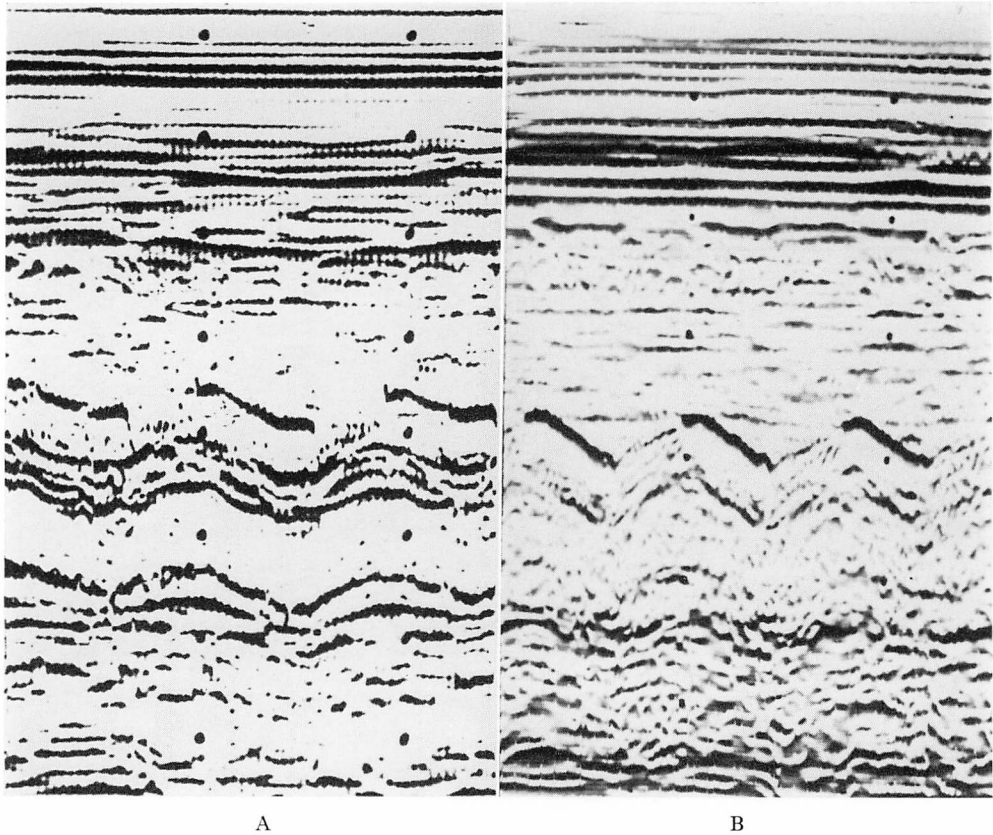


Fig. 3. The echocardiograms of the pulmonary valve in a fetus.

- (A) An "a" dip is not noted on this tracing.
- (B) An "a" dip is noted on this tracing.

すぎない。さらにドプラー法を用いての検討は Maulik ら¹¹⁾の発表をみるのみである。我々はこれまでに M モード心エコー図, 断層心エコー図を用いて, 出生前後における僧帽弁と三尖弁の DDR, 振幅, また左房径/大動脈径の変化を比較検討した。この結果, 右室血流量と左室血流量の比は従来言われていた 2:1 より小であることを報告した⁶⁾。

本報における胎生期の右室血流量と左室血流量は, 理想的には肺動脈基始部および大動脈基始部の血流量で計測されるべきであろう。Maulik ら¹¹⁾は肺動脈血流量を計測しているが, 我々の経験では, 肺動脈血流をドプラー入射角 (θ) 30° 以

内で求めることはきわめて困難であり, かつ, sampling volume 幅が 2 mm では, Doppler motion ghost signal を生じ, 良好な spectrum を得ることは不可能であった。したがって, Maulik らの成績には方法論的に疑問がある。上記の理由より, θ を $0^\circ \sim 30^\circ$ に保ち, 再現性のある良好な spectrum が得られる sampling volume の位置として, 四腔断面における三尖弁血流と僧帽弁血流を選択し, 右室と左室血流量を計測するのがよいと考える。これにより得られた両心の流入口血流パターンは相似しており, ともに二峰性を示している。その理由としては, 出生後の直列な状態の血行動態とは異なり, 出生前は卵円孔と動脈管の

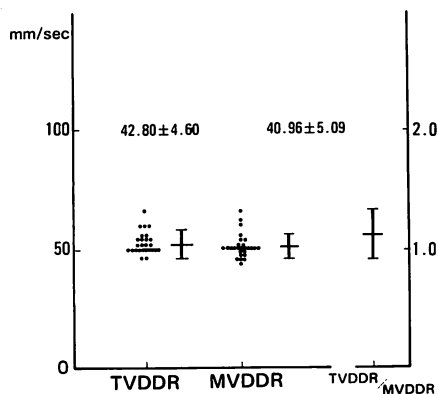


Fig. 4. The value of TVDDR and MVDDR of fetuses, and the ratio of TVDDR to MVDDR in the same subjects.

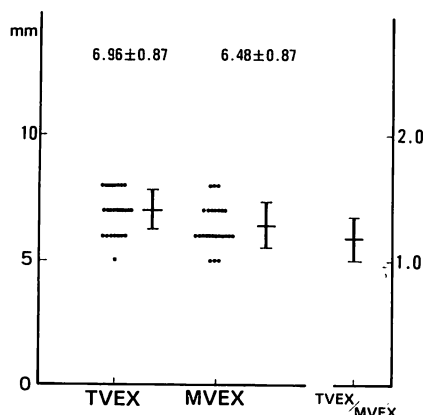


Fig. 5. The value of TV excursion and MV excursion of fetuses, and the ratio of TV excursion to MV excursion in the same subjects.

開存、及び肺循環の欠如により、右室と左室の血行動態が並列な状態にあることが考えられる。また、A/R比が1より大であることより、心房収縮力の増強、心室機能の未成熟が予想される。肺高血圧があるにもかかわらず、肺動脈弁“a” dipが16%の症例に存在したことも、上記状態を裏付けるものであろう。

一方、右室弁口面積と左室弁口面積を直接求めることはできないが、三尖弁、僧帽弁の振幅は、

機能的な弁開口面積に近似しているものと考えられ、その比は 1.09 ± 0.09 であった。一方、右室径/左室径は我々の成績では 1.02 ± 0.03 であり¹²⁾、Sahnらによれば 1.18 ± 0.01 であるという¹⁰⁾。以上より、右室弁口面積は左室弁口面積よりもわずかに大きいものと推定された。すでに述べたように、右室流入口血流パターンと左室流入口血流パターンは相似しており、三尖弁血流時間と僧帽弁血流時間の比は 1.01 ± 0.04 とほぼ等しいから、三尖弁と僧帽弁の血流速度は、右左心室血流量を強く反映していると考えられる。かくして求められた三尖弁血流最大速度は 56.1 ± 8.7 cm/sec、一方、僧帽弁血流最大速度は 52.1 ± 9.9 cm/sec であり、またその比は 1.09 ± 0.09 であった。この値に基づくと、左室弁口面積よりもわずかに大きい右室弁口面積を考慮に入れても、右室血流量は左室血流量の1.3~1.5程度となり、2倍には達しない。また、血流量を反映していると考えられるDDR、振幅¹³⁾についても、TVDDR/MVDDR = 1.09 ± 0.09 、TVEX/MVEX = 1.06 ± 0.10 と、最大血流速度と同様の結果を得ており、先に述べたドプラー法の成績と良く一致していた。一方、胎児心の心室中隔は平坦あるいは奇異性の運動を呈するが、中に正常運動を示すこともあることが知られている¹⁴⁾。また、心室中隔が奇異性運動を呈するためには、右室血流量/左室血流量は1.3以上といわれている¹⁵⁾。すなわち、ヒト胎児心における右室血流量/左室血流量は、心室中隔が奇異性運動をきたす限界値、1.3前後に近い値であるということになるであろう。

要 約

右室流入口と左室流入口における血流量について、胎児23例を対象とし、パルス・ドプラー法を用いて検討を行った。

1. 右室および左室流入口の Doppler spectrum は相似しており、血流の持続時間はほぼ等しく、ともに急速流入期(R波)と心房収縮期(A波)にpeakを持ち、かつ $A/R > 1$ となる二峰性

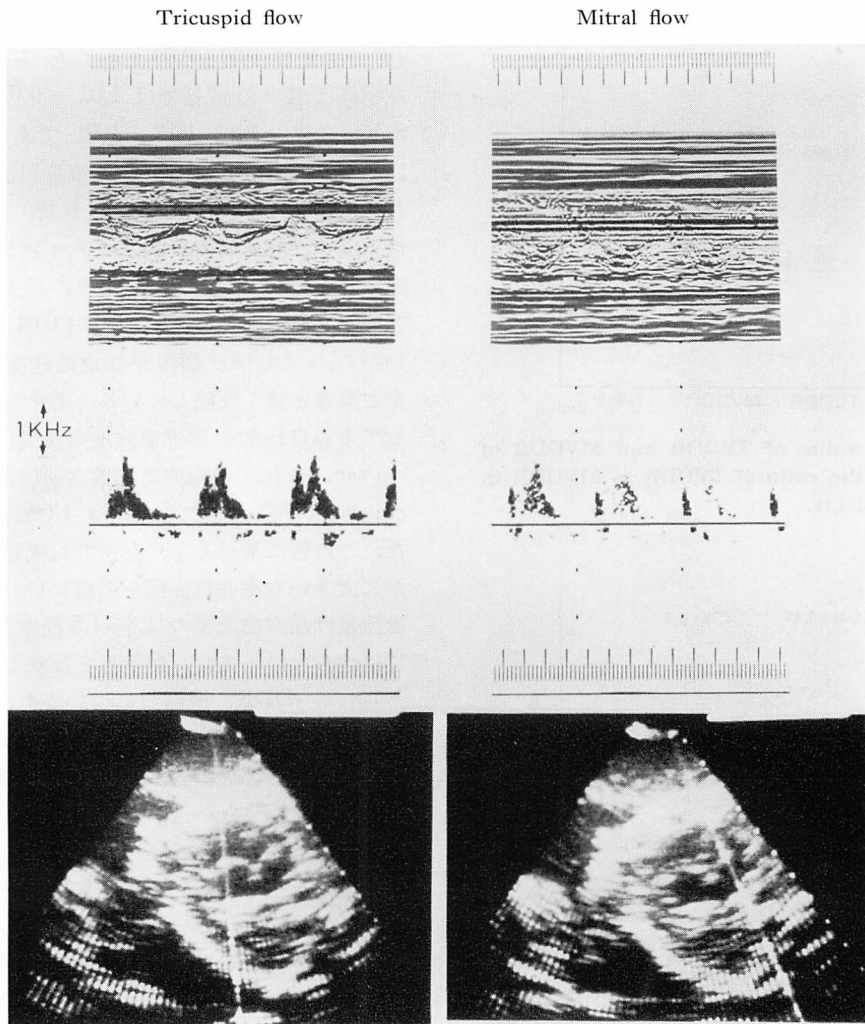


Fig. 6. Tricuspid Doppler flow pattern and mitral Doppler flow pattern in a fetus at 30 weeks gestation.

Bottom: 2D echocardiograms of the apical four-chamber view in the cephalic position. The Doppler beams are indicated by transverse bars and the sampling volumes are placed in the center of the tricuspid valve orifice (left) and the mitral valve orifice (right).

Top: The flow velocity pattern is shown by the Doppler frequency shifts. Mitral and tricuspid flow patterns are characterized by two peaks with rapid filling and atrial contraction phases.

パターンを呈した。

2. 心室流入口の最大血流速度は、三尖弁最大血流速度では 56.1 ± 8.7 cm/sec (mean \pm SD) であり、僧帽弁最大血流速度では 52.1 ± 9.9 cm/sec であった。同一症例における両者の比は、 1.09 ± 0.09

で、三尖弁血流速度の方がわずかに大であった。

3. 同一症例における三尖弁、僧帽弁の DDR の比は 1.06 ± 0.10 であり、振幅比は、 1.09 ± 0.09 であった。

以上得られた結果より、ヒト胎児心における右

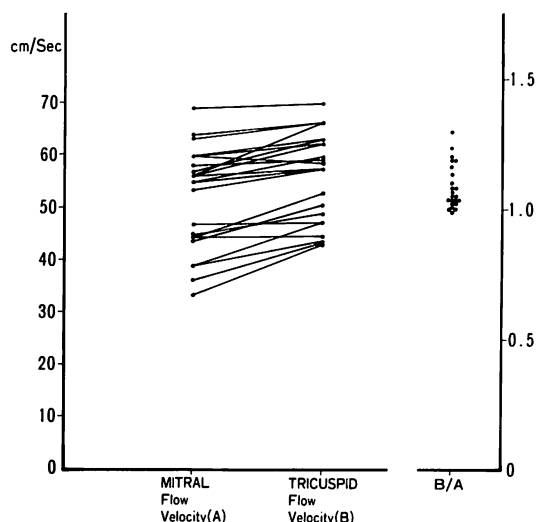


Fig. 7. Comparison between the peak velocity of mitral flow and the peak velocity of tricuspid flow in the same subjects.

The ratio of the peak velocity in tricuspid flow to the peak velocity in mitral flow is 1.09 ± 0.09 .

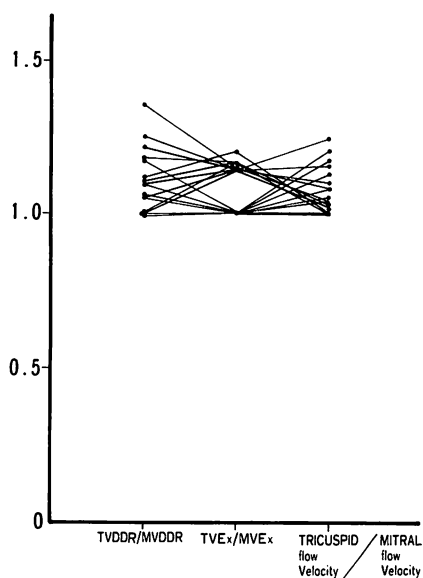


Fig. 8. Relation among the ratio of TVDDR to MVDDR, the ratio of TV excursion to MV excursion, and the ratio of tricuspid peak flow velocity to mitral peak flow velocity in the same subjects.

左心室を流れる血流量の比は Rudolph らの羊の実験より得られた値である 2:1 よりもはるかに小さく、やや右室血流量が優る程度であると考えられた。これは胎児の心室中隔が奇異性ないし平坦な動きをし、中には正常運動を呈するものもあることを裏づけるものであろう。すなわち、右左心室の血流量比は、心室中隔が奇異性運動を呈する限界点 1.3 に近いものと考えられる。

文 献

- 1) Kleiman CS, Hobbins JC, Jaffe CC, Lynch DC, Talner NS: Echocardiographic studies of the human fetus: Prenatal diagnosis of congenital heart disease and cardiac dysrhythmias. *Pediatrics* **65**: 1059-1067, 1980
- 2) Takahashi M, Shimada H, Hiramata N, Katagiri S, Kimura K, Morikawa Y, Osana M: Detection of the cardiac anomalies before birth by cross-sectional echocardiography. *J Cardiology* **11**: 661-669, 1981 (in Japanese)
- 3) Walsh SZ, Lind J: The fetal circulation and its alteration at birth. *in* Stave U, ed. *Perinatal Physiology*. Plenum, New York, 1978 p 129-280
- 4) Rudolph AM, Heyman MA: Circulatory changes during growth in the fetal lamb. *Circulat Res* **26**: 289, 1970
- 5) 高橋路子, 平馬直樹, 島田英世, 片桐鎮夫, 小林英郎, 斉藤嘉鶴: 胎児の心エコー図記録の試み. *日超医講演論文集* **36**: 175-176, 1980
- 6) Takahashi M, Shimada H, Katagiri S, Kobayashi H: Cross-sectional and M-mode echocardiographic evaluation in the normal human fetus and new born. *Jpn Circ J* **46**: 822, 1982 (abstr)
- 7) Lange LW, Sahn DJ, Allen HD, Goldberg SJ, Anderson C, Giles H: Qualitative real-time cross-sectional echocardiographic imaging of the human fetus during the second half of pregnancy. *Circulation* **62**: 799, 1980
- 8) Rikitake N, Takechi T, Suzuki K, Matsunaga S, Yoshioka F, Kato H: Fetal echocardiography: Structural evaluation of the fetal heart and prenatal diagnosis of congenital heart disease. *J Cardiology* **11**: 1319-1327, 1981 (in Japanese)
- 9) Kleiman CS, Donnerstein RL, Jaffe CC, Devore GR, Weinstein EM, Lynch DC, Talner NS, Berkowitz RL, Hobbins JC: Fetal echocardiography: A tool for evaluation of in utero cardiac arrhythmias and monitoring of in utero therapy. *Am J Cardiol* **51**: 237-243, 1983

高橋, 島田, 柳沢, ほか

- 10) Sahn DJ, Lange LW, Allen HD, Goldberg SJ, Anderson C, Giles H, Haber K: Quantitative real-time cross sectional echocardiography in the developing human fetus and newborn. *Circulation* **62**: 588, 1980
- 11) Maulik D, Nanda NC, Saini VD: Fetal Doppler echocardiography: Method and characterization of normal and abnormal hemodynamics. *Am J Cardiol* **53**: 572-578, 1984
- 12) Takahashi M, Shimada H, Hiramasa N, Tsutani K, Katagiri S, Kobayashi H: Cross-sectional and M-mode echocardiographic evaluation in the normal human fetus and new born. *Jpn Circ J* **45**: 924-925, 1981 (abstr)
- 13) 島田英世, Segal BL: Echocardiography による僧帽弁膜症の診断; その有用性と限界. *心臓* **1**: 373, 1969
- 14) Kleinman CS, Hobbins JC, Jaffe C, Lynch DC, Talner NS: Echocardiographic studies of the human fetus. *Pediatrics* **65**: 1059, 1980
- 15) Dippel WF, Kerber RE: Mechanism of the echocardiographic abnormality of intraventricular septal motion in right ventricular volume overload. *Circulation* **46** (II): 137, 1972 (abstr)