

大動脈・右心系短絡疾患における大動脈血流波形とその意義

Aortic flow patterns in heart diseases with left-to-right shunts from the aorta, and their clinical significance: A Doppler echocardiographic study

岡本 光師†
仁村 泰治
宮武 邦夫*
木下 直和*
伏島 堅二*
大和 真史*
高尾 精一*
榊原 博*
太田 光重**

Mitsunori OKAMOTO†
Yasuharu NIMURA
Kunio MIYATAKE*
Naokazu KINOSHITA*
Kenji FUSEJIMA*
Mafumi OHWA*
Seiichi TAKAO*
Hiroshi SAKAKIBARA*
Mitsushige OHTA**

Summary

Aortic flow patterns were analyzed using two-dimensional Doppler echocardiography for 15 patients with patent ductus arteriosus, seven with ruptured aneurysms of the sinus of Valsalva, two with coronary artery fistulae and for 22 healthy persons, with special reference to diastolic flow patterns. The conclusions were as follows:

1. In healthy subjects, there was a tiny and transient reversed flow signal in early diastole followed by a slow and sustained diastolic forward flow signal. The velocity of the diastolic forward flow was slower and the duration was shorter in the lower abdominal aorta than in the upper portion.

2. In patients with shunts from the aorta to the right-sided chambers, the early diastolic reverse flow was enhanced, and another reversed flow developed in mid- and late diastole, which was the most evident in the lower portion of the abdominal aorta. The extent of the reversed flow correlated significantly with Qp/Qs by catheterization ($r=0.73$).

3. Thus, the abdominal flow patterns in cases with left to right shunts from the aorta to the right-sided chambers of the heart provided information for estimating the size of the shunt volume.

4. In patients with bi-directional shunts, the dominant direction of the shunt during diastole can apparently be determined by analyzing the aortic flow patterns.

国立循環器病センター 研究所 *内科心臓部門
**放射線診療部門
吹田市藤白台 5-7-1 (〒565)
†(現)広島大学医学部 第一内科

Research Institute, *Division of Cardiology and
**Division of Radiology, National Cardiovascular
Center, Fujishirodai 5-7-1, Suita 565

Received for publication February 27, 1984 (Ref. No. 27-61)

Key words

Pulsed Doppler echocardiography Aortic flow
the sinus of Valsalva Coronary artery fistulae

Patent ductus arteriosus Ruptured aneurysm of
Intracardiac shunt

はじめに

一般に, 心・大血管に短絡があれば, 短絡血流を受ける側の腔はもとより, 送り出す側の腔にも血流動態変化が生じると予想される. 本研究では断層ドプラー心エコー図法により, 動脈管開存, バルサルバ洞動脈瘤破裂, 冠動脈瘻など, 大動脈から右心系への短絡を生じる疾患群について, その大動脈血流を分析し, 臨床的意義を検討した.

対 象

対象は動脈管開存 15 例, バルサルバ洞動脈瘤右室内破裂 7 例, 冠動脈肺動脈瘻 2 例である. その年齢は 16 歳より 59 歳, 平均 37.8 歳である. 全例に心カテーテル法を施行し, また血液ガス分析により求めた肺体血流量比 (Q_p/Q_s) は 0.99~3.53, 平均 1.76 であり, このうち 2 例では両方向性短絡が認められた. バルサルバ洞動脈瘤破裂例は, 全例, 心室中隔欠損を合併していたが, 手術時所見では, 欠損口は拡大したバルサルバ洞によってほとんど閉鎖状態にあり, 心室中隔欠損が短絡量計算に与える影響は少ないと考えられた. また, 大動脈造影で Sellers III° 以上の大動脈弁逆流を有する症例は, 予め対象から除外した.

対照として健常者 22 例を検討した. その年齢は 23 歳より 52 歳, 平均 32.0 歳である.

方 法

使用装置は断層ドプラー・エコー装置で, これは超音波断層装置(東芝製 SSH-11A または 40A)にドプラー機構(SDS-10A または SDS-21A)を組み込んだシステムである. この装置では心内構造物などの動きに基づく比較的低周波数領域のドプラー成分を除去する濾波器を使用しているが, 今回の研究の目的に応じて, 遅い流速成分をも観

察可能なように, その臨界周波数は出来るだけ低くとり, 100 Hz とした. サンプル・ボリウムの深さ方向への大きさは 3 mm, 横方向のそれは 4 mm である. また, 血流シグナルの表示は高速フーリエ分析による周波数スペクトログラムで, 紙送り速度は 50 mm/sec である.

検査の実施にあたっては, 血流ドプラー・シグナルの記録を腎動脈より下位の腹部大動脈を中心に行った. 大動脈波形はこのレベルで最も確実に記録し易いためである. このさいサンプル・ボリウムを大動脈のほぼ中心に設定した. さらに参考のため, 可能な限り, 胸骨上窩アプローチによる上行胸部大動脈や下行胸部大動脈, 腹壁からのアプローチによる高位腹部大動脈などについても併せて検討を行った.

結 果

1. 健常者の大動脈血流パターン

健常者の大動脈中心領域では, 基本的にはいずれのレベルにおいても, 駆出血流のサンプル・ボリウム内の流速は均一に近く, したがってドプラー周波数が線スペクトルの山形パターンを示し, その最高流速はやや前方に偏っていた. その駆出血流の後には, 拡張初期にごく僅かな逆流相が見られるが, これは上行大動脈では痕跡的であり, 下行大動脈では小さいながら明瞭であった. さらにこれに続き, ゆるやかな順流相が拡張期に持続するのが認められた (Fig. 1). このさい, 下位腹部大動脈では, 他の部位に比し, この順流成分は波高が低く, 持続も短い傾向にあった(ただし, 持続が短いと見られるのは, 実は持続しているが, 流速がゆるやかとなり, 濾波器による検出域値以下になっているためかも知れない). さらに, 22 例中 4 例では, これに続き, ごく軽度の逆流相が続いた (Fig. 2). しかしこの拡張末期の逆流相の

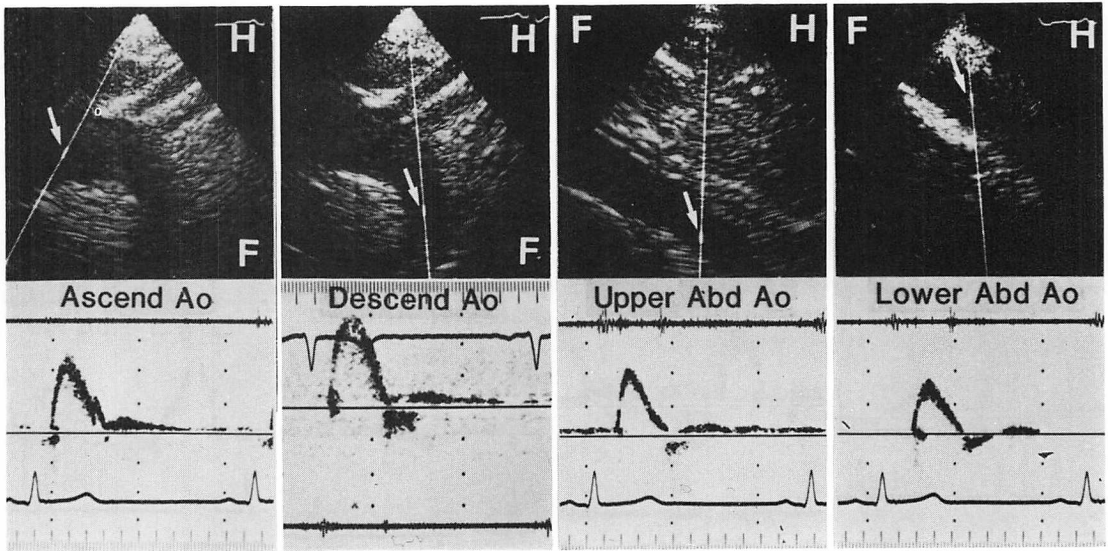


Fig. 1. Normal aortic flow patterns in various levels.

A diastolic forward flow is seen following a short reversed flow in early diastole. The forward flow is not so definite in the lower abdominal aorta. H=head side, F=foot side.

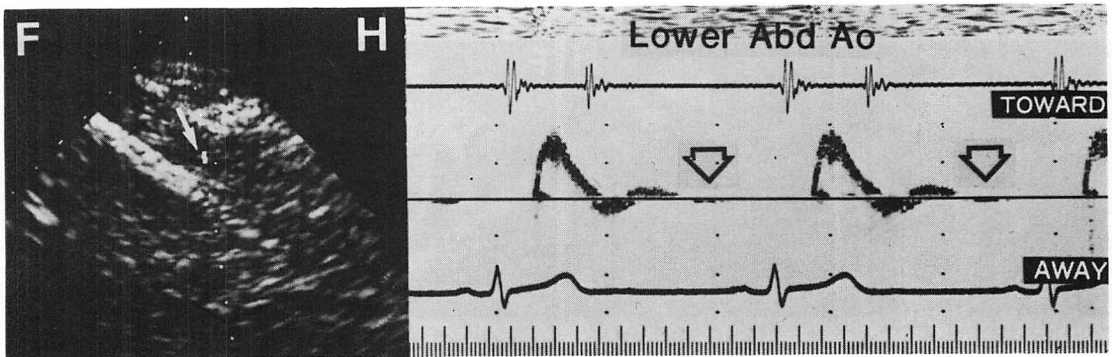


Fig. 2. Normal flow pattern in the lower abdominal aorta.

A trivial reversed flow is seen in late diastole (arrows). The velocity of the flow is slower and the duration is shorter than that of the preceding forward flow.

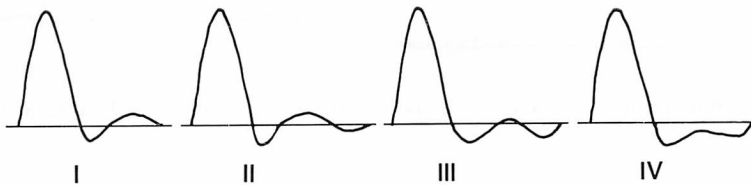


Fig. 3. Classification of the lower abdominal flow patterns.

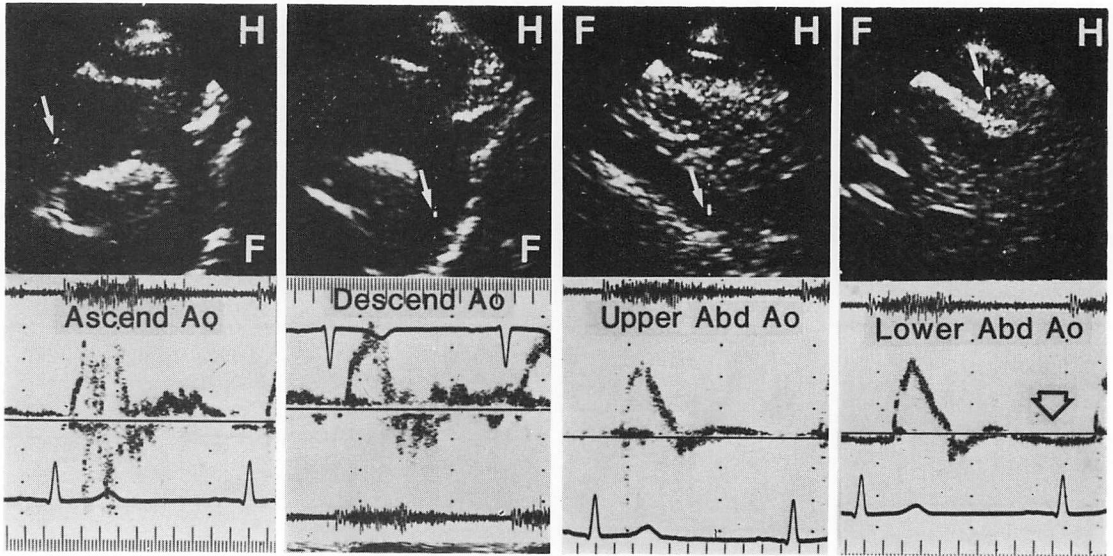


Fig. 4. Aortic flow patterns in a case of patent ductus arteriosus with a small left-to-right shunt ($Q_p/Q_s=1.2$).

A slow reversed flow continues in late diastole in the lower abdominal aorta (arrow), being different from the reversed flow in the same phase in healthy subjects.

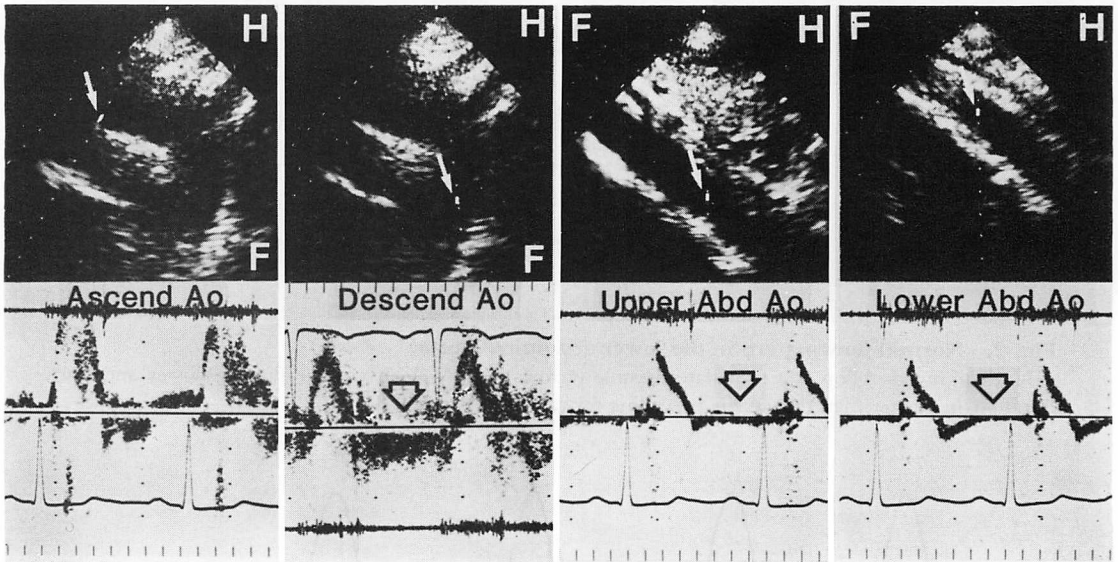


Fig. 5. Aortic flow patterns in a case of patent ductus arteriosus with a relatively large shunt ($Q_p/Q_s=2.4$).

A reversed flow continues throughout diastole not only in the lower abdominal aorta but also in the thoracic and upper abdominal aorta (arrows).

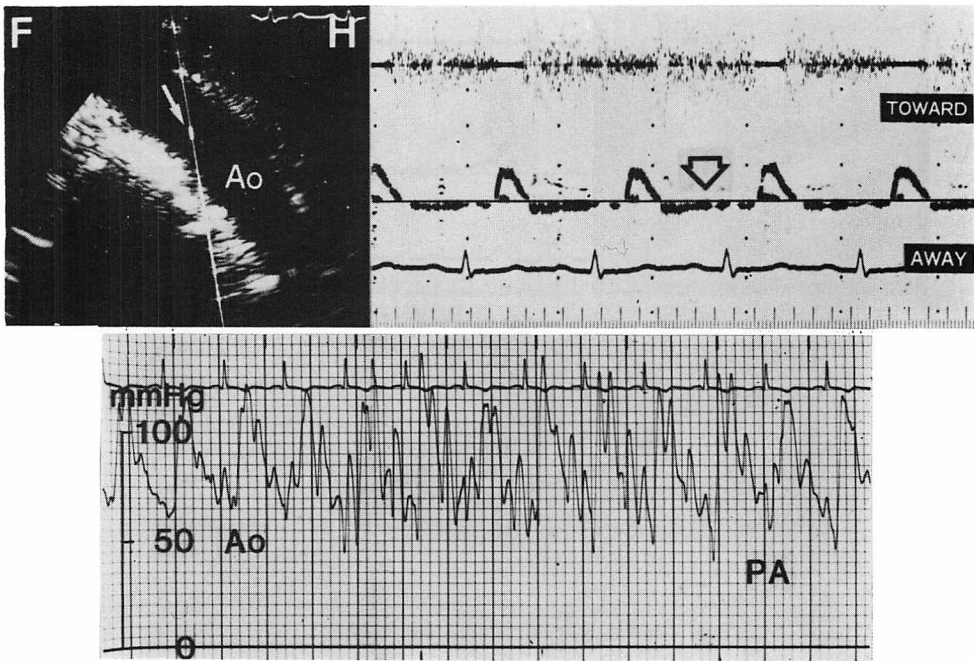


Fig. 6. Lower abdominal flow pattern showing continued reversed flows during diastole and the pull-back pressure recording from the aorta to the pulmonary artery through the ductus in a case of patent ductus arteriosus with bi-directional shunts.

The diastolic pressure is lower in the pulmonary artery than in the aorta, so that the left-to-right shunt is dominant in diastole.

波高は、先行する順流相のそれよりも必ず低値を示した。

2. 短絡群における大動脈血流パターン

下位腹部大動脈血流パターンは、全例で、他の大動脈部位に比し、容易、かつ良好に記録された。この部位での血流パターンは、拡張期の逆流相の様相により、次の4型に分類出来た (Fig. 3):

I 型: 健常者の大多数のごとく、拡張期には緩かな順流相が続き、拡張末期の逆流相が見られない。

II 型: 同様に健常者にも見られるもので、拡張末期の逆流相が認められるが、その波高は先行する順流相の波高よりも低い。

III 型: 拡張末期の逆流相の波高が先行の順流相のそれと同高ないしはそれより大。

IV 型: 拡張期の順流相が全く認められず、逆

流相が持続する。

III 型, IV 型は健常者では見られないパターンであった。短絡群 24 例中、I 型を示したものの 6 例, II 型 4 例, III 型 6 例, IV 型 8 例であった。

一般に拡張末期の逆流相は、下位腹部大動脈における方が、それより中枢側に比し明瞭な傾向があり、下位腹部大動脈に認められても、それより上位では認められない例があった (Fig. 4)。しかし、下位腹部大動脈で逆流相が著明な例では、下行胸部大動脈や高位腹部大動脈にもそれが観察された (Fig. 5)。

3. 両方向性短絡例の短絡方向との関係

両方向性短絡を有する 2 例のうち 1 例では、収縮期には肺動脈圧が大動脈圧を凌駕しており、短絡は右-左であったが、拡張期には肺動脈圧は大動脈圧よりも低く、この時期の短絡は左-右と考

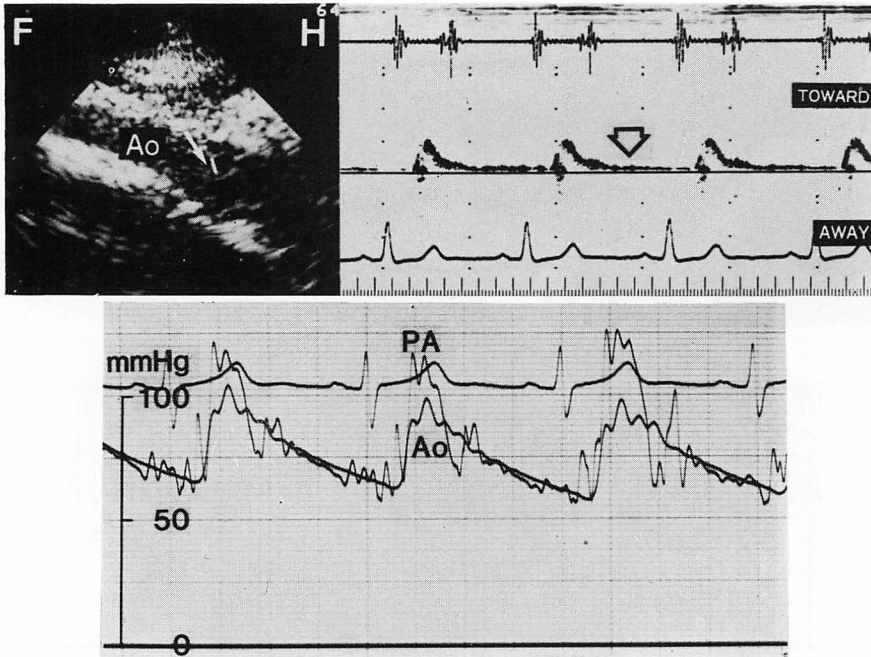


Fig. 7. Lower abdominal flow pattern and the pressure data obtained simultaneously in the aorta and pulmonary artery in a case of patent ductus arteriosus with bi-directional shunts.

The pressure of the pulmonary artery is almost the same as that of the aorta during diastole. Note that the forward flow is seen during diastole.

えられる症例であった (Fig. 6). この例での下位腹部血流パターンは、拡張期を通じて逆流相を呈した. 他の1例では、拡張期の大動脈と肺動脈はほぼ等圧で、大動脈血流パターンでは、拡張期には順流相のみが認められた (Fig. 7).

4. 逆流相の様相と Qp/Qs との関係

下位腹部大動脈血流パターン別の Qp/Qs は、I 型: 平均 1.37, II 型: 1.55, III 型: 1.67, IV 型: 2.22 で、逆流成分の程度に応じ、順次増大を示した (Fig. 8). さらに拡張期逆流成分の程度を半定量的に表現するため、血流パターンの包絡線と基線がなす領域を順流成分と逆流成分とに分けてそれぞれの面積を求め、逆流成分の順流成分に対する割合をパーセント表示した (Fig. 9). この割合は、健常者では平均 $13.9 \pm 9.1\%$ (S.D.) であるのに対し、短絡群では平均 $29.3 \pm 12.4\%$ と有意に大であり、Qp/Qs との間に $r=0.73$ ($p<0.005$)

の相関が得られた (Fig. 10).

考 按

1. 拡張期大動脈血流パターン

健常者における大動脈中心領域の血流は、拡張期にも駆出方向に流れることが認められた. 同様な流れが大動脈の起始部以外の領域で存在することは、電磁流量計やカテ先ドプラー血流計でも示されているが¹⁻³⁾、これが非侵襲的なアプローチにより、自然の状態で存在することが確められた. この拡張期順流相は駆出期に大動脈起始部が押し広げられ、貯えられた弾性エネルギーが拡張期に入り血液を末梢に押し出し、運動エネルギーに変る結果と考えられ、大動脈のいわゆる Windkessel としての働きに対応する現象と思われる⁴⁾.

今回の検討では、拡張期の流れの様相は大動脈の部位により異なることが明らかとなった. すな

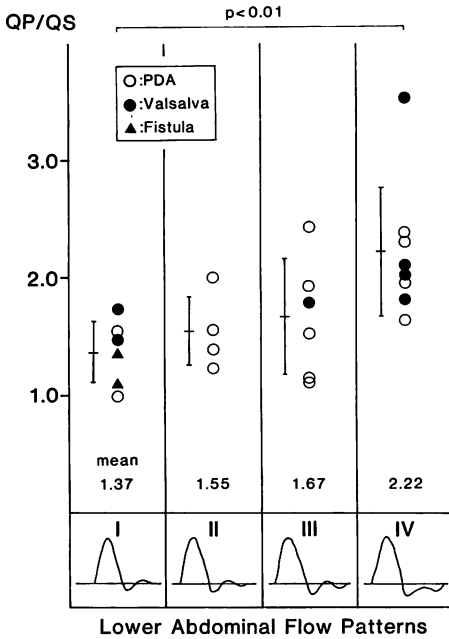


Fig. 8. Relationship between the lower abdominal aortic flow patterns and Qp/Qs.

わち、高位腹部大動脈以上では下位腹部大動脈に比し拡張期順流相の波高が大で、持続も長い。既報のごとく、肝、脾、腎などの腹部実質臓器への動脈血流は、その血管抵抗が骨格筋や皮膚よりも小さいためか、収縮期の急速成分ピークに引き続き、漸減性ではあるが、拡張期にもかなり速い流

速を保つ^{5,6)}。これらの分枝よりも下位の腹部大動脈では、この流速の速い臓器血流成分を失い、かつ抵抗の大きいと考えられる下肢方面に向うために、中枢側よりも拡張期順流成分が減弱するものと考えられる。しかし、なお弾性的な傾向は残っており、したがって症例により第2の逆流相が認められる。ただし、この逆流相は先行する順流相よりも波高が小さく、持続も短いものであり、すでに末梢血管でも論じられたように、大動脈血流波形は全体として減衰振動の状態を示す^{7,8)}ものと考えられる。

2. 短絡による大動脈逆流

大動脈弁閉鎖不全では拡張期に大動脈内逆流のみられることが知られている⁹⁻¹¹⁾。大動脈・右心系短絡でも、短絡先の差異や、短絡が心周期を通じて起こることなどの違いはあるにせよ、結果としては大動脈閉鎖不全と同様に、大動脈より血液がstealされる。この影響が拡張期の大動脈逆流成分として現れるのであろう (Fig. 11)。しかし、短絡の少ない例では逆流相は明らかでなかった。これは観察が短絡箇所よりも離れた場所で行われ、かつ途中の大動脈壁の弾性的ため、短絡の直接の影響が現れにくくなり、通常でみられる拡張期順流相に隠蔽されたためと考えられる。すなわち、短絡による逆流量が順流量を凌駕する時に、始めて逆流相として表現されるものと考えられる。し

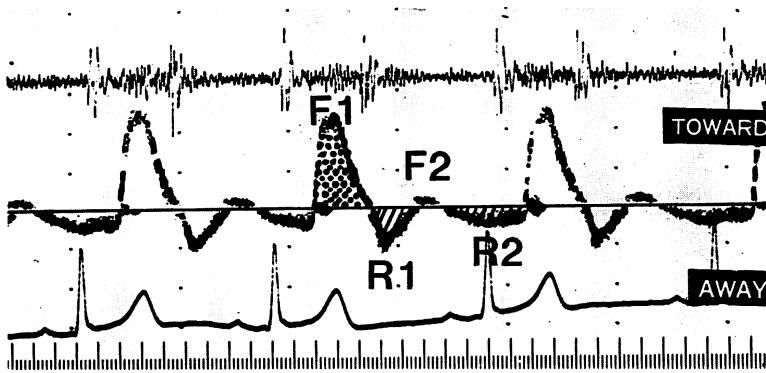


Fig. 9. Estimation of the reversed flow ratio.
 The reversed flow/forward flow (%) = $(R1 + R2) / (F1 + F2) \times 100$.

たがって, 下位腹部大動脈で逆流相が最も鋭敏に出現したのも, 上述のごとく, 本来の順方向への流れが下位大動脈では中枢側よりも少ないことによると考えられる.

拡張期順流相の後の拡張末期に逆流相を呈する

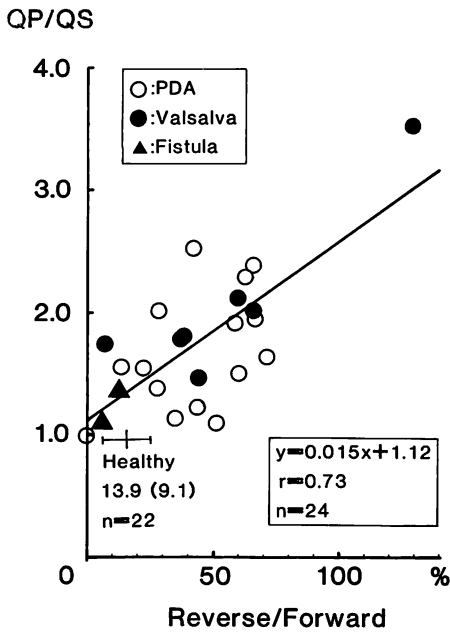


Fig. 10. Reversed flow ratio plotted against Qp/Qs.

パターンは, 健常者でも少数例にみられた. これは上述のように, 動脈血流そのものが減衰振動を呈していることに由来すると考えられる. 同様な血流パターンは短絡例でもみられ, それゆえ, 一般にこの程度の逆流相が見られても, それは短絡のためということとは出来ない. しかし, 拡張末期の逆流相の波高が先行順流相よりも大きなパターンは健常者には認められず, 短絡に基づく所見と考えられる.

3. 短絡例における下位腹部大動脈血流パターンの意義と限界

今回の検討は成人の短絡例を対象としたもので, 短絡量が大になるにつれ, 腹部大動脈の逆流相も著明となる傾向が認められた. しかし, その相関は余り密なものではなかった. これは一つには今回の対象例の Qp/Qs がおおむね 2.5 以下のものに限られたことにもよろう. また, 一方ドプラ法との対比に用いたカテーテル法による短絡率の計算も, 動脈管開存ではその特異的形態異常のために, 誤差を生じやすいことを考慮する必要もあろう.

いずれにせよ, 大動脈逆流相は右室へ短絡する血流量をある程度反映すると考えられ, 小児例の胸部大動脈血流パターン分析からも同様な結果が示されている¹²⁾. しかし, 成人例では必ずしも良

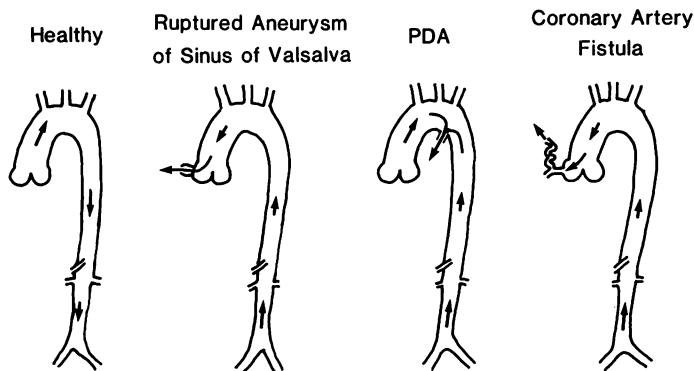


Fig. 11. Schematic drawing showing the mechanism of flow reversal in the aorta in patients with left-to-right shunts from the aorta.

好な胸部大動脈血流パターンが得られないのに対し、下位腹部大動脈では全例で分析可能な血流パターンが得られ、その点で本研究の意義があると考えられる。

これらの点に鑑み、大動脈波形によって短絡量を測定するというわけには行かないが、その波形から短絡量の大小をある程度推定することは可能であろう。さらに、2例ではあるが、両方向性短絡例では左右短絡の優位性をある程度判別できる可能性も示唆された。このような例では典型的な連続性雑音は聴取されず、またドプラー法でも必ずしも肺動脈幹内に連続性乱流が検出されるとは限らない¹³⁾。すなわち、拡張期大動脈逆流が存在すれば、たとえ肺動脈内に乱流が存在しなくても、高度の肺高血圧を伴う動脈管開存を疑う一つの根拠が与えられる。一方、微量な短絡例では大動脈内での血流変化は明らかではなく、血流パターンから短絡量を推定するには限界があるが、短絡の存在が他のなんらかの方法で明らかな場合には、その短絡量は大きくないということが出来る。いずれにしても、本法は直接的な計測法ではないので、短絡量を正確に知ることはできないが、その多寡を知るには、簡便な方法として意義があるといえるであろう。

ここで注意すべき問題は、短絡以外にも大動脈血流に影響を及ぼす諸因子があることである。すなわち、大動脈壁の硬化や大動脈瘤などがあれば、血流パターンは変化する。大動脈炎症候群では大動脈壁が弾性を失い、そのさい、大動脈弁逆流が生ずれば、そうでない場合に比し、下位腹部血流パターンでの拡張期逆流相が誇張される¹⁴⁾。また、大動脈瘤内でも旋回血流などの異常血流が存在し¹⁵⁾、短絡による異常血流の分析は困難となる。今回の症例には以上のごとき疾患は含まれていないが、15～59歳の年齢幅があり、壁硬化因子も微妙に加味され、誤差要因となっている可能性がある。しかし、今回の成績ではそれを明白に示すことはできなかった。

さらに、多くの例では、短絡が収縮期、拡張期

ともに生じているのに対し、本研究では拡張期の動脈血流のみを分析したことも、短絡量と血流パターンとの対応上、バラツキを生む原因となっているであろう。また短絡後前の拡張期圧の差や、短絡路自身の血管抵抗の差なども、血流パターンに微妙な影響を与えていることが考えられる。これらの要素は、さらに多数のデータを集積し、分析、検討して解明する必要があるものと思われる。

要 約

断層ドプラー心エコー図法により、動脈管開存15例、バルサルバ動脈瘤破裂7例、冠動脈肺動脈瘻2例のほか、健常対照者22例の大動脈血流波形を分析し、特にその拡張期部分に注目し、以下の結論を得た。

1. 健常者では拡張初期の一過性の逆流成分があり、それに引き続き、拡張期にも順方向への緩やかな流れが持続するが、その波高は下位腹部大動脈ではそれより中枢側よりも小さく、持続も短い傾向にあった。

2. 大動脈から右心系への短絡があれば、短絡の程度に応じて拡張期の緩やかな順流成分に続いて、大動脈逆流成分を生じる。その逆流相は下位腹部大動脈に最も鋭敏に出現する。短絡の程度が強ければ、この逆流成分は拡張期全体にわたるようになる。

3. 大動脈、右心系短絡疾患における大動脈血流波形、特に下位腹部大動脈波形は、短絡の程度をおおまかに推定する手掛りとなりうる。

4. 両方向性短絡例でも、大動脈血流パターンからその優位な短絡方向を判別できる可能性がある。

本研究の一部は文部省科学研究費(58770637)によることを付記する。

文 献

- 1) McDonald DA: Blood Flow in Arteries. Edward Arnold, London, 1974, p 355-359
- 2) Benchimol A, Dessler KB, Gartlan JL: Bidirec-

- tional blood flow velocity in the cardiac chambers and great vessels studied with the Doppler ultrasonic flowmeter. *Am J Med* **52**: 467-473, 1972
- 3) 林 享, 松尾裕英, 北島 颯, 浅生雅人, 寺尾祐輔, 仁村泰治: カテーテル先端型超音波ドプラ血流計とその問題点. *電子医学* **11**: 219-224, 1976
 - 4) 東 健彦: 血液循環の物理的基礎, 循環・病態生理と診断治療. 竹内 正, 東 健彦, 稲垣義明編, 文光堂, 東京, 1980, p 6-30
 - 5) Nimura Y, Miyatake K, Kinoshita N, Okamoto M, Kawamura S, Beppu S, Sakakibara H: New approach to noninvasive assessment of blood flow in the major arteries in the abdomen by two-dimensional Doppler echography. *Ultrasound '82*, Lerski RA, Morley P, ed., Pergamon press, London, 1983, p 447-451
 - 6) 木下直和, 宮武邦夫, 岡本光師, 榊原 博, 中島伸之, 足立郁夫, 雨宮 浩, 仁村泰治: 超音波パルスドプラ法による腎血流の分析: 血流波形の変化の意義について. *日超医講演論文集* **36**: 25-26, 1980
 - 7) Nimura Y, Matsuo H, Hayashi T, Kitabatake A, Mochizuki S, Sakakibara H, Kato K, Abe H: Studies on arterial flow patterns-instantaneous velocity spectrums and their phasic changes-with directional ultrasonic Doppler technique. *Br Heart J* **36**: 899-907, 1974
 - 8) Spencer MP, Jhonston FR, Denison AB Jr: Dynamics of the normal aorta, inertiance and compliance of the arterial system which transforms the cardiac ejection pulse. *Circ Res* **6**: 491-499, 1958
 - 9) Nolan SP, Fisher RD, Dixon SH Jr, Morrow AG: Quantification of aortic regurgitation with a catheter tip velocimeter. *Surgery* **65**: 876-873, 1969
 - 10) Quinones MA, Young JB, Waggoner AD, Ostojec MC, Ribeiro LGT, Miller RR: Assessment of pulsed Doppler echocardiography in detection and quantification of aortic and mitral regurgitation. *Br Heart J* **44**: 612-620, 1980
 - 11) Veyrat C, Cholot N, Abitbol G, Kalmanson D: Noninvasive diagnosis and assessment of aortic valve disease and evaluation of aortic prosthesis function using echo pulsed Doppler velocimeter. *Br Heart J* **43**: 393-413, 1980
 - 12) Sewer GA, Armstrong BE, Anderson PAW: Continuous wave Doppler ultrasonographic quantification of patent ductus arteriosus flow. *J Pediat* **100**: 297-299, 1982
 - 13) Okamoto M, Miyatake K, Kinoshita N, Beppu S, Ohta M, Yamaguchi T, Kozuka T, Naito T, Sakakibara H, Nimura Y: Noninvasive detection and analysis of the shunt flow in patent ductus arteriosus using real-time two-dimensional Doppler echocardiography. *Shinzo* **15**: 282-290, 1983 (in Japanese)
 - 14) Ohwa M, Miyatake K, Kinoshita N, Nagata S, Fusejima K, Sakakibara H, Okamoto M, Nimura Y, Kawazoe K, Kito Y, Fujita T: Noninvasive estimation of mitral and aortic regurgitation with two-dimensional Doppler echocardiography. *Jap Circ J* **47**: 955, 1983 (abstr)
 - 15) Okamoto M, Kinoshita N, Miyatake K, Beppu S, Sakakibara H, Nimura Y: Detection and analysis of blood flow in aortic dissection with two-dimensional echo Doppler technique. *Ultrasound '82*, Lerski RA, Morley P, ed., Pergamon press, London, 1983, p 331-335