

胸部下行大動脈内にモヤモヤエコーを検出した例の大動脈内血流動態および動脈径に関する検討：二断面経食道ドップラー心エコー図法による検討

Blood flow dynamics and dimensions of the descending thoracic aorta in patients with intra-aortic swirling echoes: Assessment by biplane transesophageal echocardiography

時澤 郁夫
松崎 益徳
小西 光明
西村 裕子
田中 伸明
友近 康明
和崎雄一郎
道重 博行
藤野 尚子
西尾 秀樹
楠川 禮造

Ikuo TOKISAWA
Masunori MATSUZAKI
Mitsuharu KONISHI
Yuko NISHIMURA
Nobuaki TANAKA
Yasuaki TOMOCHIKA
Yuichiro WASAKI
Hiroyuki MICHISHIGE
Hisako FUJINO
Hideki NISHIO
Reizo KUSUKAWA

Summary

To examine the blood flow dynamics in the descending thoracic aorta (DAo) where intra-aortic swirling echo contrast was observed, we analyzed the flow velocity patterns (FVP) in DAo and the DAo dimensions by biplane transesophageal echocardiography (TEE) in 9 patients with intra-aortic swirling echo contrast and in 25 control subjects (N). We recorded sampling volumes with pulsed Doppler echocardiograms at 3 sites: median, central, and lateral sites on longitudinal scan images and on the DAo at the level of the mitral valve. We measured systolic peak flow velocity (V_p), time from the onset of the systolic flow to V_p (acceleration time: AT), deceleration time (DT) of the systolic flow, and $AT/(AT+DT)$ for each sampling volume in the DAo. From the M-mode echogram of DAo, we measured the maximum dimension of the aorta, which usually coin-

山口大学医学部 第二内科
宇部市小串 1144 (〒755)

The Second Department of Internal Medicine, Yamaguchi University School of Medicine, Kogushi 1144, Ube 755

Received for publication December 3, 1990; accepted March 25, 1991 (Ref. No. S1-13)

cided with the mid to late systolic phase. In the normal controls, the systolic forward flow was followed by a small reversal flow in early diastole and then by a small forward flow during holo-diastole. Vp was highest at the center (64 ± 10 cm/sec), then at the median (60 ± 11 cm/sec) and lowest in the lateral (56 ± 9 cm/sec; $p < 0.01$ vs center) sites in the DAo. AT was 70 ± 13 msec and DT 215 ± 26 msec. This flow velocity profile in the DAo was observed in both the control and patient groups. In patients with intra-aortic swirling echoes, Vp was markedly low (33 ± 7 cm/sec; $p < 0.001$ vs N) and dimension of the DAo (13 ± 2 mm/m² in N) was significantly enlarged (21 ± 7 mm/m²; $p < 0.001$ vs N), which might be related to swirling echoes and mural thrombi at the lateral portion in the DAo.

Thus, we concluded that intra-aortic swirling echoes closely related to the production of mural thrombi observed mainly at the lateral site of the significantly dilated DAo.

Key words

Transesophageal echocardiography

Swirling echo

Descending thoracic aorta

Mural thrombi

はじめに

心腔内流動エコー(いわゆる“モヤモヤエコー”: swirling echo)は、血栓を伴う弁膜症例や人工弁機能不全による弁逆流例の左房腔内^{1,2)}、左室瘤を伴う心筋梗塞の左室内³⁾、収縮性心内膜炎での下大静脈および右房、右室内に認められると報告されており、その本態としては赤血球凝集説^{1,4,5)}が有力である⁶⁾。胸部大動脈内における“モヤモヤエコー”は解離性大動脈瘤の偽腔内にみられることが知られているが⁷⁾、いまだその詳細な血流動態的検討はなされていない。その理由として、解剖学的関係より、成人では経胸壁アプローチにより胸部大動脈を広く検出することが困難であり、また、目標血管に到達するまでの周囲組織の干渉による超音波の減衰により、画像診断および計測に十分耐え得る超音波シグナルが得られないことが挙げられる。本研究では、最近開発された二断面経食道ドップラー心エコー図法(biplane TEE)⁸⁻¹⁰⁾を用い、健常者および胸部下行大動脈内に“モヤモヤエコー”を認めた患者を対象とし、大動脈内血流動態と血管径⁸⁾の関係を明らかにし、また、大動脈内“モヤモヤエコー”出現の原因につき検討した。

対象および方法

経胸壁心エコー図法を含む非観血的検査、およ

び心臓カテーテル検査にて心血管系に特に異常を認めない健常者25例と、胸部下行大動脈に“モヤモヤエコー”を認めた真性大動脈瘤例(以下モヤモヤエコー群)9例の計34例を対象とした。真性大動脈瘤各例での拡大や変形の程度はほぼ同一であった。左室造影または断層心エコー図法にて得られた左室駆出分画が45%以下の心機能低下例と、心臓カテーテル検査(14例/34例)時、明らかな低心拍出を呈した例(熱希釈法にて心係数 2.21 min/m²以下)は本研究の対象から除外した。また、“モヤモヤエコー”源として考えられる右心系の微少気泡の存在するものや、左心房および左室内に“モヤモヤエコー”を認めるものも除外した¹¹⁾。心エコー図装置はAloka製SSD 870を使用し、周波数5 MHzのPZT [Pd(Zr-Ti)O₃]振動子32素子の二断面経食道心エコー図用探触子(UST-5233-5)を用いた。食道内探触子の挿入は、既報のごとく¹²⁾、検査10分前に咽頭部を2%キシロカインゼリー5 mlで局所麻酔し、prifinium bromide 7.5 mgを筋肉内注射した後、全例意識下に超音波探触子を食道内に挿入した。探触子先端を門歯から約35 cm挿入し、まず僧帽弁エコー像を描出後、探触子を反時計軸方向に回転させ、左肺静脈に接して走行する胸部下行大動脈の水平断面像を描出した(Fig. 1左)。断層像にて常に最大径を計測しているのを確かめながら、仰臥位安静呼吸停止時、Mモードにてその径の

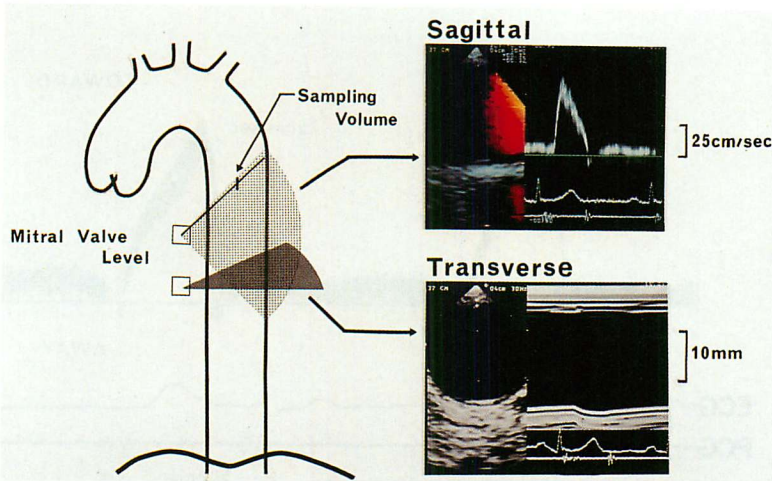


Fig. 1. Schematic illustration of the thoracic aorta (left panel), resultant pulsed Doppler flow signal in the descending thoracic aorta on a longitudinal two-dimensional scan image (right upper panel), and M-mode echocardiogram showing instantaneous dimensional change in the aorta throughout a cardiac cycle (right lower panel).

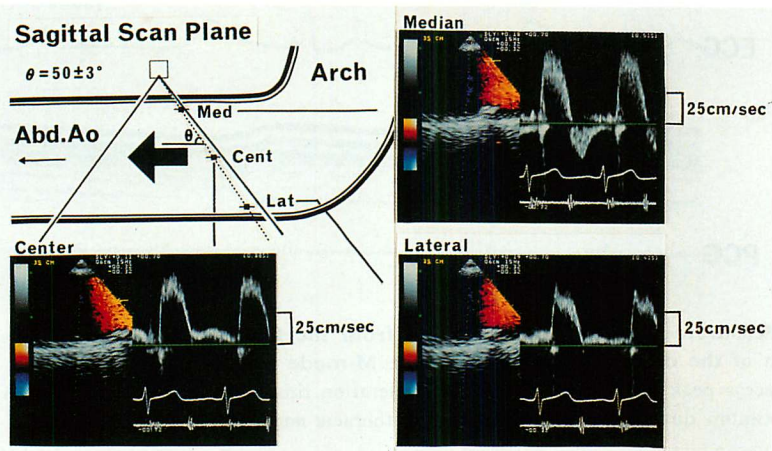


Fig. 2. Schematic illustration of the descending aorta, and flow velocity signals for 3 different sampling volumes in the aorta (median site which is the closest site from the transducer).

θ = beam-flow intercept angle; Arch = aortic arch; Abd. Ao = abdominal aorta; Med = median site; Cent = center site; Lat = lateral site.

経時的变化をポラロイドフィルム (Fig. 1 右下), ならびに strip chart (dry silver paper 7772 type) に, 紙送り速度 100 mm/sec で心電図および心音図と同時に記録した. 続いて水平断面像にて正中部分が最大径であることを確かめた後, そ

の部位の矢状断面像を描出し, 画面上, 胸部下行大動脈の長軸像で, しかも大動脈壁(右前壁と左後壁)が平行で, その径が最大となるように探触子を微妙に操作した. 下行大動脈内“モヤモヤエコー”の有無の検討は, 通常の装置設定下で, 大動脈

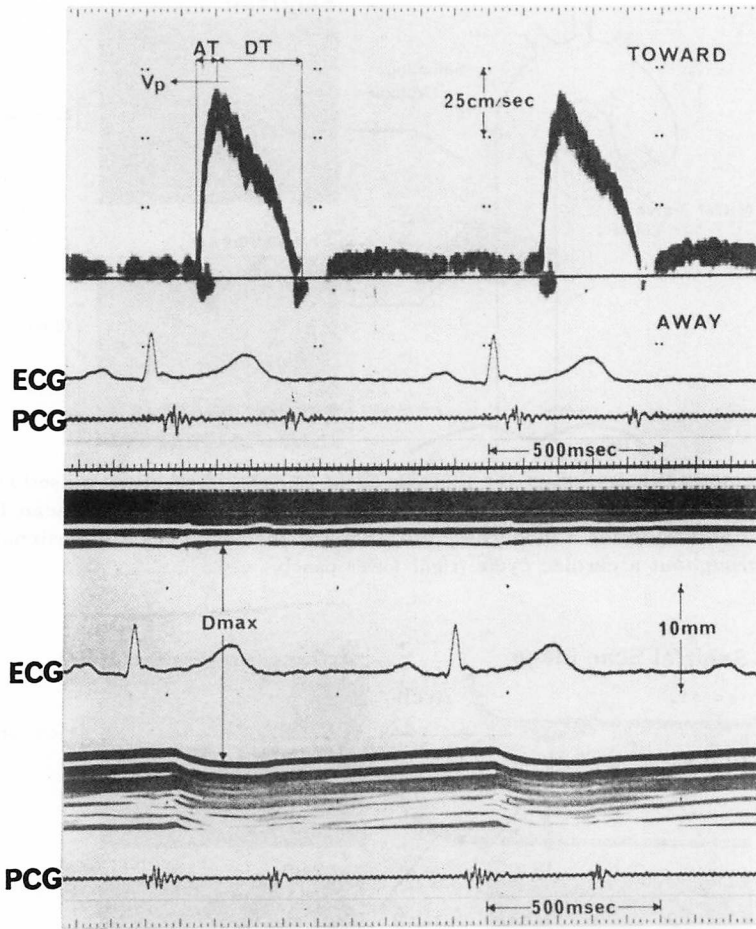


Fig. 3. Measurements of the time indices from the flow velocity signal (upper panel) and dimension of the descending aorta from the M-mode tracing (lower panel).

V_p (cm/sec)=peak velocity; AT (msec)=acceleration time; DT (msec)=deceleration time; D_{max} (mm)=maximum dimension of the descending thoracic aorta in the ejection phase.

壁エコーが明瞭にみられる最低のゲイン設定により行なった。パルス・ドップラー法を用いて、超音波ビーム入射角が最小になるように超音波探触子を最大限頭側におき、カラー・ドップラー法にて描出した大動脈内血流に平行になるよう角度補正を行ない、下行大動脈内に sampling volume を設定した。Sampling size は 1 mm^3 、ドップラー・フィルター 100 Hz/sec にて、M モード法と同様に 100 mm/sec のスピードで、心電図、心音図と同時記録した (Fig. 1 右上)。Fig. 2 に示す

ごとく、対象例で門歯より約 35 cm のレベルでの、胸部下行大動脈内の右前壁側、中央部、左後壁側に各々 sampling volume を設定し、それぞれ内側 (median)、中央部 (center)、および外側 (lateral) として同部位での血流速度波形を記録した。また同時に水銀血圧計を用いたカフ法にて、左または右上腕動脈で体血圧を測定した。Fig. 3 に、得られた血流速度波形 (上段) と大動脈 M モード図 (下段) から計測した指標を示す。最高血流速度 (V_p)、血流の開始よりその最高速度までの時間

(acceleration time: AT), ピークから zero flow レベルへ復するまでの時間 (deceleration time: DT) を計測した. Fig. 3 下段に示すごとく, 下行大動脈は心周期に合わせ収縮期にその径は増大するが, 収縮中期から後期にかけて, 門歯より 30-40 cm の部位の胸部下行大動脈最大径を Dmax として計測した. 計測値は各 5 心拍から得られた値の平均値を使用し, 2 群間の下行大動脈径を始め, すべての指標の比較は Student's t-test を用い, 危険率 5% 以下を有意とした.

結 果

対象例全例に明瞭な下行大動脈内の血流速度

形が記録された. 本法による血流速度波形記録時の超音波ビーム入射角は平均 50 ± 3 度であった. Table 1 に各群の年齢, 心拍数, 収縮期血圧, 拡張期血圧, 左室駆出分画, 体表面積で補正された僧帽弁レベルでの下行大動脈径, 中心流速波形からの指標の平均値と標準偏差および大動脈内壁血栓検出率を示す. 年齢はモヤモヤエコー群では健常群に比し有意に高齢で ($p < 0.001$), 心拍数, 血圧, 左室駆出分画には両群間に差はなかった. 健常群の中心流速波形は, Figs. 2, 3 にみるごとく, 立ち上がりより 70 ± 13 msec (AT) でピークに達した後, やや上に凸の形態をもつ減速カーブを呈し, 215 ± 26 msec (DT) で zero flow

Table 1. Patients' characteristics and their trans-esophageal echocardiographic data

	Control	Swirling echo
n	25	9
Age (yrs)	56 ± 9	$71 \pm 6^*$
Heart rate (beats/min)	79 ± 14	73 ± 16
SBP (mmHg)	142 ± 19	149 ± 13
DBP (mmHg)	88 ± 12	89 ± 10
LVEF (%)	60 ± 8	60 ± 7
Central flow:		
Vp (cm/sec)	64 ± 10	$33 \pm 7^*$
AT (msec)	70 ± 13	66 ± 10
DT (msec)	215 ± 26	226 ± 36
AT/(AT+DT)	0.25 ± 0.04	0.22 ± 0.03
Dmax (mm/m ²)	13 ± 2	$21 \pm 7^*$
Mural thrombi (%)	0	100

All data represent the mean standard deviation of the mean value.

Control=normal control subjects; swirling echo=intra-aortic swirling echo contrast in the descending thoracic aorta; SBP=systolic blood pressure; DBP=diastolic blood pressure; LVEF=left ventricular ejection fraction; Vp=peak velocity of the central flow at the mitral valve level in the descending thoracic aorta; AT=acceleration time; DT=deceleration time; Dmax=maximum dimension of the aorta corrected by body surface area; Mural thrombi=percentage of mural thrombi in each group.

* $p < 0.001$ vs control.

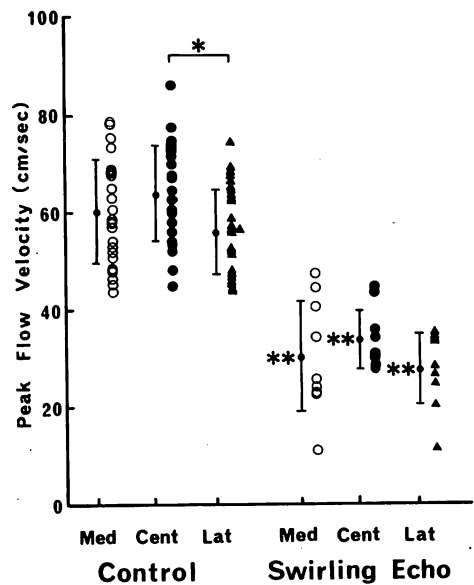


Fig. 4. Comparisons of the peak flow velocities for 3 sampling volumes in the descending aorta between normal control subjects (Control) and patients with swirling echoes.

The peak flow velocity (Vp) is the lowest at the lateral site in both groups, and the Vp at the lateral site is significantly lower than that at the median site in the control subjects. In the swirling echo group, the Vp in the descending aorta is markedly low compared to the control subjects.

** : $p < 0.001$ vs control, * : $p < 0.01$.

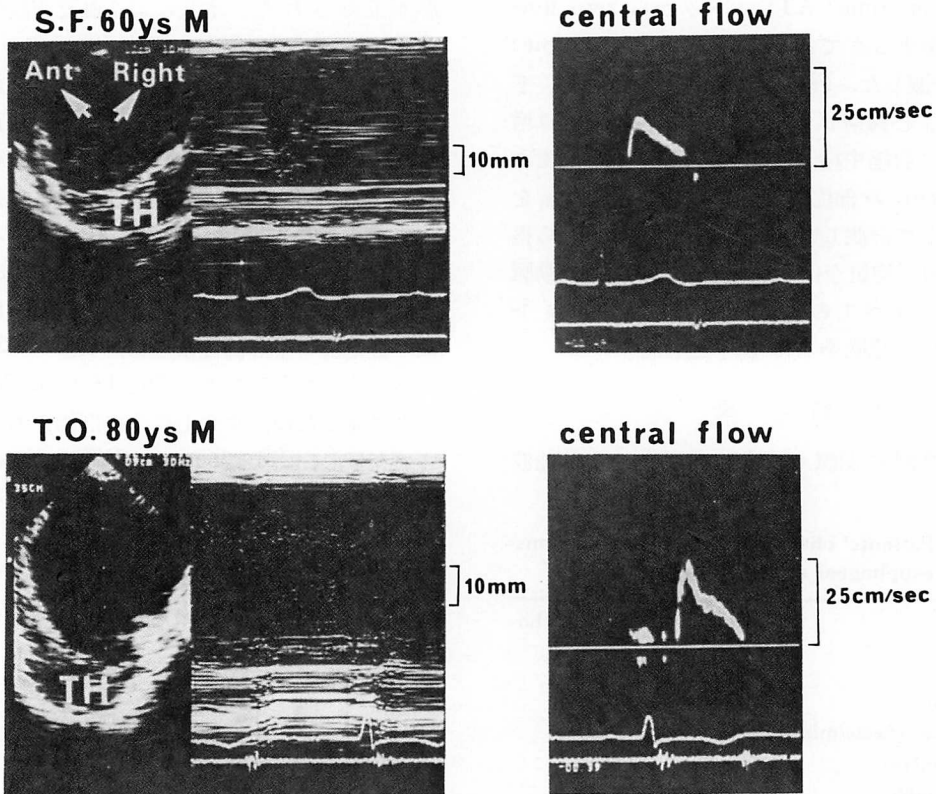


Fig. 5. Representative examples of two-dimensional and M-mode echocardiograms of true aneurysm at the descending aorta with mural thrombi (left panels), swirling echoes (center panels), and flow velocity signals in the aneurysm (right panels).

Ant=anterior aspect of the aorta; Right=right side of the aorta; TH=mural thrombus.

レベルへ復した (Table 1). その後, 拡張早期にほぼ大動脈弁閉鎖時期 (大動脈性第 II 音) に一致して小さな逆転波, また全拡張期に遅い順流波が認められた (Fig. 3 上).

健常群での下行大動脈内の血流速度の分布は, 中心流が最も速く (64 ± 10 cm/sec), 次いで内側流 (60 ± 11 cm/sec) の順に低下し, 外側流でその流速は最も低値 (56 ± 9 cm/sec) を呈した. 外側流の流速は中心流速と比べ有意に低値であった ($p < 0.01$). モヤモヤエコー群では, 有意差はないものの, 中心部 (33 ± 7 cm/sec) で高い血流速度を呈していた. また, いずれの部位の流速も健常群に比し有意に低値 ($p < 0.001$) であった (Fig. 4).

モヤモヤエコー群では全例に壁在血栓エコーを認め, その部分は主に血流速度の低下している外側 (28 ± 7 cm/sec) にみられた (Figs. 4, 5). モヤモヤエコー群 2 例の下行大動脈-断層像 (Fig. 5 左) とその M モード像 (Fig. 5 中央), 同部の中心流速波形 (Fig. 5, 右) を示す. 左図の下行大動脈短軸断層像の 12 時方向は下行大動脈壁の右内側, 6 時方向が左外側である. 2 例とも 6 時方向を中心に大きな壁在血栓を認め, その内腔には M モード像で明らかなごとく, 著明な“モヤモヤエコー”がみられた.“モヤモヤエコー”は収縮期に渦巻くような比較的速い動きを示し, 拡張期にはほとんど静止しているようにみえた. また肉眼的

に、大動脈の内側と外側での“モヤモヤエコー”量に違いはみられなかったが、壁在血栓の著しいところで“モヤモヤエコー”のエコー量は強い傾向にあった。Fig. 5の右図で示す中心流速波形は2例とも著明な大動脈内血流速度の低下がみられた。両群での動脈径係数の比較では健常群 $13 \pm 2 \text{ mm/m}^2$ 、モヤモヤエコー群 $21 \pm 7 \text{ mm/m}^2$ で (Table 1)、健常群に比し、モヤモヤエコー群で有意に拡大していた ($p < 0.001$)。モヤモヤエコー群では健常群に比し中心流速は明らかに低下していたが、中心流の流速波形の分析では、AT (健常群: $70 \pm 13 \text{ msec}$ 、モヤモヤエコー群: $66 \pm 10 \text{ msec}$)、DT (健常群: $215 \pm 26 \text{ msec}$ 、モヤモヤエコー群: $226 \pm 36 \text{ msec}$)、および全駆出時間に対する血流加速時間の比: $AT/(AT+DT)$ (健常群: 0.25 ± 0.04 、モヤモヤエコー群: 0.22 ± 0.03)のいずれにも両群間に有意差はみられず (Table 1)、駆出流速波形は類似性がみられた。

考 按

胸部大動脈内の血流動態に関する研究は、1950年代¹³⁻¹⁵より実験モデルや動物実験で盛んに行なわれるようになり、1960年代末^{16,17}のホットフィルム流速計の生体計測への応用により、臨床的にも詳細な解析が行なわれるようになった。その後、臨床的には、主に経胸壁超音波ドップラー心エコー図法を用い、大動脈内の血流シグナルを記録し、心機能や大動脈疾患の評価が行なわれてきた¹⁸。一方、心腔内流動エコー、いわゆる“モヤモヤエコー”については、1978年、Rasmussenら³により最初に報告されてから、種々な病態時に右心系および左心系の血管内に認められるとの多くの報告がある。しかし、従来の周波数2.5 MHzや3.5 MHzの探触子を用いた経胸壁超音波法では、胸部下行大動脈内血流動態の詳細な研究や、大動脈内“モヤモヤエコー”の血流動態的分析は、十分な検討が困難であった。本研究では、二断面経食道ドップラー心エコー図法を用いて、非侵襲的に健常者および胸部下行大動脈内

“モヤモヤエコー”検出例の大動脈内血流動態、および動脈径について検討した。

二断面経食道ドップラー心エコー図法を用いることの利点は下記のとおりである。1) 胸部下行大動脈の描出に際し、その像を何ら障害物を介することなく描出することが容易である。また、すぐ近傍に標的臓器があるため、高周波探触子を使用することができ、分解能の優れた明瞭な画像とドップラー・シグナルを検出することが可能である。2) 胸部大動脈、特に下行大動脈は食道と解剖学的に並走していることにより、その長軸断層像にて連続的に病変部位を観察でき、かつまた従来の水平断層像と合わせて立体的に下行大動脈の状態を把握することができる。3) 長軸断層像を用いることにより、その断層像上に正確に sampling volume を設定でき、動脈内の血流シグナルを広く記録することが可能である。

1. 大動脈内の流速波形および速度分布

大動脈内流速波形の上行脚(波形の立ち上がりからピークまで)は、左室の収縮で生じた左室圧と大動脈圧の圧力勾配により、大動脈へ駆出される血流の流速波を示し、下行脚(ピークから zero flow レベルまで)は、左室圧と大動脈圧の圧較差逆転の後も慣性によって大動脈へ駆出される血流を表わしている¹⁷。

大動脈内の速度分布に関する諸家の報告では、上行大動脈内の大動脈弁直上ではその流速分布はほぼ対称で、平らな等速分布を示すが、大動脈弓部の開始部位より流速分布に非対称性が現われる。大動脈弓の屈曲部の内側の速度が速く、屈曲部の外側の速度は小さいと報告されている¹⁹。大動脈の軸と垂直な断面において、大動脈弓に生じた遠心力により中心部血流は屈曲部の外側(大動脈の曲率中心から遠い方)へ押し出され、また外側部の血流は血管壁に沿って屈曲部の内側へ流れる二次流(secondary flow)が形成される。実際の流れは軸方向の流れと二次流が合成されて螺旋状となっている。二次流の影響により、軸方向の流速の最大となる部分は外側に押し出されてい

く^{20,21)}.十分に発達した二次流では,大動脈の内側と外側の血流速度は等しい流れとなるが,ヒトの胸部下行大動脈においては,二次流の発達は不十分であると報告されており¹⁴⁾,本研究で得られた胸部下行大動脈の血流速度は中心流速,内側流速,外側流速の順に速かったとする結果と一致していた.

2. 大動脈内血流速度

ヒト大動脈内血流速度については Milnor²²⁾ や Mills ら²³⁾により報告されているが,対象によりかなりの開きが存在する.本研究においては,健常群(平均 56 ± 9 歳)の中心流速は 64 ± 10 cm/secであった.健常群においても,高齢者に比べて若年者の方で血流速度が速い傾向をみたが,これは,高齢者では大動脈径が拡大し⁸⁾,加齢による動脈硬化によりコンプライアンスは低下し,しかも高齢者では若年者より心拍出量も低下する傾向にあるからであろう²⁴⁾.

3. 大動脈内“モヤモヤエコー”

モヤモヤエコー群では,健常群に比べ,中心流速の明らかな低下がみられた.このことにより,“モヤモヤエコー”の出現は,血流速度の低下に密接な関係があるものと推定された.今回の研究で使用した装置の条件下では,大動脈内中心流速が約 40 cm/sec 以下より“モヤモヤエコー”の出現が認められるようになり,30 cm/sec 以下では極めて明瞭に検出された.

本研究において,健常群とモヤモヤエコー群の断層心エコー図像より求めた左室駆出分画は双方とも 60% と等しく,また体血圧にも差は認められなかったことより,モヤモヤエコー群の左心機能は正常に保たれていることが予想される.モヤモヤエコー群全例で心拍出量は測定していないが,以上のことから,一回心拍出量が病的に低下した例は本研究の対象例には含まれていないと判断される.一回心拍出量は大動脈断面積×血流速度の積分値で求められるが,胸部大動脈径は,健常群に比しモヤモヤエコー群では明らかに拡大(1.6倍)しており,大動脈を正円管とすると,

モヤモヤエコー群の断面積は健常群の 2.18 倍となる.また,血流速度の積分値(ドップラー法における収縮期の血流速度曲線とゼロ線との間の面積)を,駆出期の大動脈最高血流速度を高さ,駆出時間を底辺とした三角形とみなせば,健常群とモヤモヤエコー群の駆出時間はほぼ等しいので,モヤモヤエコー群における大動脈内血流の最高速度は健常群の 1/2.18(46%)となる.今回の研究では健常群の平均血流速度は約 64 cm/sec であったが,これより計算して,モヤモヤエコー群での血流速度はその 46% の 29 cm/sec になると考えられ,血管内“モヤモヤエコー”の出現する血流速度となる.これは,血流速度が径変化に大きく依存していることを示している.しかもこれに加えて,モヤモヤエコー群では大動脈の局所的な拡大による渦流の発生や管壁の性状による抵抗の増大が認められ,血液の運動エネルギーの損失を招き,血流速度の低下がさらに増大したものと思われる.

また日常検査時によくみられる所見では,左室収縮機能の極めて低下した症例では,大動脈の拡大を伴わずに胸部大動脈内に“モヤモヤエコー”が検出されることがある.これらのことから,血流速度低下が“モヤモヤエコー”出現の最大の要因であることが示唆される.

本研究においてモヤモヤエコー群は 71 ± 6 歳,健常群は 56 ± 9 歳と,前者で有意に高齢であるが,過去の我々のデータからも⁸⁾,健常者を対象とした研究では,50歳代と70歳代とでは胸部下行大動脈径に有意差はみられなかった.しかし,下行大動脈内の血流速度に関し,健常者の50歳代と70歳代を対象とした研究は見当たらず,70歳代の健常者に下行大動脈内“モヤモヤエコー”が皆無か否かは不明である.しかしながら **Table 1** に示したごとく,この両年齢群間には血圧,左室駆出分画(左室収縮性)に差はなく,また,健常群内の65歳以上の5名での大動脈内血流速度は中心流速で平均 55 cm/sec で,モヤモヤエコー群の中心流速 33 cm/sec に比し,有意に高値を呈していた.これらのことから,真性大動脈瘤例で大動

脈内“モヤモヤエコー”が検出される理由は年齢差ではなく、大動脈径の拡大による血流速度の低下であると考えた。

“モヤモヤエコー”のエコー源は、血流の鬱滞（血流速の著明な低下）に伴う赤血球凝集によるものと考えられている^{1,4,5}。しかし、血流速度の低下のみが“モヤモヤエコー”の原因であるとする、大静脈内や三尖弁血流速度は一般に40 cm/sec前後であることから、右心系の心血管内には常に“モヤモヤエコー”がみられてもよいことになる。事実、重症の低心拍出状態の患者や、収縮性心外膜炎のような静脈還流の障害された例では、拡大した下大静脈や右房内に“モヤモヤエコー”が検出される例もあるが、そのような例での右心系内の血流速度は、大動脈内“モヤモヤエコー”出現例の大動脈内血流速度（40 cm/sec以下）よりもはるかに低下していることが多い。なぜ、通常でも遅い血流速の右心系で“モヤモヤエコー”が検出されないのかは不明であるが、一方、大動脈ではわずかな血流速度の低下で“モヤモヤエコー”が出現する理由としては、大動脈弓部を含む曲がった管内における血管軸方向の流れと、前述の“二次流”の合成による螺旋状の流れ、および拍動流のための非駆出期での血液鬱滞などの相互作用により、赤血球凝集がより促進されやすくなることが考えられる。しかし、その確定的な理由を本研究から求めることは困難であった。

4. モヤモヤエコー群における動脈壁在血栓

健常群、およびモヤモヤエコー群においても、胸部大動脈内血流速度分布に差はなく、外側流速が最も低下していた。また、モヤモヤエコー群全体における壁在血栓も外側に多くみられた。このことは、血液流速が血栓形成にかかわっていると考えられる。本研究でのモヤモヤエコー群は全例真性大動脈瘤例であったが、大動脈瘤の原因としてはアテローム硬化症によるものがほとんどである。アテロームの好発部位と剪断応力の低下領域は一致することが知られており、しかも、剪断応

力の低い大動脈遠心側の内膜面にアテローム変化が起こりやすく、血管壁の障害を生じると報告されている²⁵。局所の壁障害により瘤状形成が発生すると、大動脈内の圧力が加わり、さらに瘤は拡大されて、大きな瘤を形成する。大動脈の断面積が瘤によって急に拡大される部位では、その内を流れる血流は剝離現象を起こし、壁在血栓が生じやすい状態となる²⁶。また、アテロームの破裂も壁在血栓形成の大きな要因となり、それに血流速度低下が加わり、血栓形成がより促進されると推測される。

また“モヤモヤエコー”のエコー量には、大動脈の内、外側で違いはみられなかったが、“モヤモヤエコー”のエコー量が多い例では壁在血栓も著明であった。このことより、“モヤモヤエコー”自体も壁在血栓形成にかかわっていることが示唆される。

5. 本法における限界および問題点

食道は胸部下行大動脈とほぼ並走しているため、食道からの超音波投入により、胸部下行大動脈の断層像やMモード像およびパルス・ドップラー法による血管血流シグナルを鮮明に検出することが可能である。しかし、パルス・ドップラー法における大動脈内血流速度測定において、ドップラー入射角が50度と大きく、下行大動脈血流の螺旋状の三次元的な流れに対して過小評価する可能性があること、また、まれに大動脈の蛇行等による食道と大動脈間の密着性が失われ、鮮明な像が得られない例がある。特に蛇行を伴った大動脈拡大例でその傾向が強く、そのような例での血管内血流速の詳細な検討は、本法では困難であることが分かった。

結 論

1. 胸部下行大動脈内の血流速波形分析に、長軸断層像を用いた二断面経食道ドップラー心エコー図法は非常に有用であった。
2. 健常群およびモヤモヤエコー群にて、内側流速、中心流速、外側流速に血流速度の差はある

ものの血流速度波形プロファイルに違いはなかった。

3. 胸部下行大動脈内血流速度分布は, 外側流速が最も低値を示した。

4. 胸部下行大動脈内“モヤモヤエコー”は, その中心部血流速度が約 40 cm/sec 以下より検出された。特に外側流速の低下により, 同部位に壁在血栓が生じることが示唆された。大動脈内血流速度の低下および壁在血栓の発生には大動脈径の拡大が大きく関与していると考えられた。

要 約

二断面経食道ドップラー心エコー図法および M モード心エコー図法 (biplane TEE) を用いて, 胸部下行大動脈内 (DAo) に“モヤモヤエコー”を検出した真性大動脈瘤例 (以下モヤモヤエコー群) 9 例と, 健常群 25 例の大動脈内血流動態とその血管径につき比較検討した。長軸断層像を用いたパルス・ドップラー法にて, 僧帽弁レベルでの下行大動脈内の右前壁側, 中央部, 左後壁側に各々 sampling volume を設定し, それぞれ, 内側, 中央部, および外側として血流速度波形を記録した。最高血流速度 (Vp), 血流の開始よりその最高速度までの時間 (acceleration time: AT), 収縮期血流減速時間 (deceleration time: DT), 全駆出時間に対する血流加速時間の比 [AT/(AT+DT)] について検討した。また, 胸部下行大動脈の M モード記録にて, 収縮中期から後期にかけての最大径を測定した。健常群の中心流速波形は, 70±13 msec (AT) で最高血流速度に達したのち, 215±26 msec (DT) で zero flow レベルへ復した。収縮期波に続いて拡張早期に一致して小さな逆転波を, また, 全拡張期に遅い順流波を認めた。健常群での下行大動脈内の血流速度分布は, 中心流が最も速く (64±10 cm/sec), 次いで内側流 (60±11 cm/sec) の順に低下し, 外側流でその流速は最も低値 (56±9 cm/sec) を呈した。外側流速は中心流速と比べ有意に低値であった (p<0.01)。健常群およびモヤモヤエコー群に

おいても, その流速に差はみられるものの, 同様の血流分布を呈していた。大動脈内モヤモヤエコー群において, 最高血流は 33±7 cm/sec と健常群に比し有意に低下しており (p<0.001), また, 下行大動脈径は 21±7 mm/m² と健常群の 13±2 mm/m² に比し有意に拡大していた (p<0.001)。モヤモヤエコー群では, 大動脈の外側に壁在血栓を認めた。

以上を要約すれば 1) 胸部下行大動脈内の血流速度波形分析に長軸断層像を用いた二断面経食道ドップラー心エコー図法は非常に有用であった。2) 健常群およびモヤモヤエコー群において, 特徴ある血流速度波形が得られた。3) 胸部下行大動脈内血流速度分布は, 外側血流が最も低値を示した。4) 胸部下行大動脈内“モヤモヤエコー”は, その中心部血流速度が 40 cm/sec 以下の拡大した下行大動脈より検出された。5) また, 壁在血栓は著明に拡大した下行大動脈の外側に認められ, 同部位の血流速度は最も低値を呈した。

文 献

- 1) Beppu S, Park YD, Sakakibara H, Nagata S, Nimura Y: Clinical features of intracardiac thrombosis based on echocardiographic observation. *Jpn Circ J* 48: 75-82, 1984
- 2) Martin RP, Preis LK: Spontaneous left ventricular microbubbles in patients with metallic mitral prosthetic valves. *in Contrast Echocardiography* (ed by Meltzer RS). Martinus Nijhoff, Hague, Boston, London, 1982, pp 59-71
- 3) Rasmussen S, Corya BC, Feigenbaum H, Knoebel SB: Detection of myocardial scar tissue by M-mode echocardiography. *Circulation* 57: 230-237, 1978
- 4) Sigel B, Coelho JCU, Schade SG, Justin J, Spigos DG: Effect of plasma proteins and temperature on echogenicity of blood. *Invest Radiol* 17: 29-33, 1982
- 5) Mikell FL, Asinger RW, Elsperger KJ, Anderson WR, Hodges M: Regional stasis of blood in the dysfunctional left ventricle: Echocardiographic detection and differentiation from early thrombosis. *Circulation* 66: 775-763, 1982
- 6) Hjemdahl-Monsen CE, Daniels J, Kaufman D,

- Stern EH, Teichholz LE, Meltzer RS : Spontaneous echo contrast with inferior vena cava in a patient with constrictive pericarditis. *J Am Coll Cardiol* **4** : 165-167, 1984
- 7) Panidis IN, Kotler MP, Mintz GS, Ross JR : Intracavitary echoes in the aortic arch in type III aortic dissection. *Am J Cardiol* **54** : 1159-1160, 1984
 - 8) Michishige H, Matsuzaki M, Toma Y, Ono S, Murata K, Kohno M, Anno Y, Kusukawa R : Assessment of the influence of aging and hypertension on thoracic aortic wall distensibility by transesophageal echocardiography. *Circulation* **80** (Suppl II) : II-3, 1989 (abstr)
 - 9) Ono S, Matsuzaki M, Toma Y, Michishige H, Okuda F, Kusukawa R : Assessment of atherosclerotic lesions in thoracic aorta by transesophageal echocardiography. *Circulation* **80** (Suppl II) : II-2, 1989 (abstr)
 - 10) Matsuzaki M, Toma Y, Kusukawa R : Clinical applications of transesophageal echocardiography. *Circulation* **82** : 709-722, 1990
 - 11) 赤阪隆史, 吉川純一, 吉田 清, 加藤 洋, 柳原皓二, 奥野富久丸, 小泉克己, 白鳥健一, 浅香隆久, 杉田市朗, 庄野弘幸, 若林宏和 : 心腔内の spontaneous contrast echo : その特徴と臨床的意義について. *J Cardiogr* **17** : 159-168, 1987
 - 12) Matsuzaki M, Matsuda Y, Ikee Y, Takahashi Y, Sasaki T, Toma Y, Ishida K, Yorozu T, Kumada T, Kusukawa R : Esophageal echocardiographic left ventricular anterolateral wall motion in normal subjects and patients with coronary artery disease. *Circulation* **63** : 1085-1092, 1981
 - 13) Womersley JR : Oscillatory motion of a viscous liquid in a thin-walled elastic tube : I. The linear approximation for long waves. *Phil Mag* **46** : 199-221, 1955
 - 14) Prandtl L, Tietlens OG : *Applied Hydro and Aeromechanics* (translated by JP Den Hartog). Dover Publications Inc, New York, 1957
 - 15) Fry DL, Mallos AJ, Casper AGT : A catheter tip method for measurement of the instantaneous aortic blood velocity. *Circ Res* **4** : 627-632, 1956
 - 16) Schultz DL, Tunstall-Pedoe DS, Lee DJL, Gunning AJ, Bellhouse BJ : Velocity distribution and transition in the arterial system. *in* *Circulatory and Respiratory Mass Transport* (ed by Wolstenholme GEW, J Knight). J & A Churchill, London, 1969, pp 172-199
 - 17) Noble MIM : The contribution of blood momentum to left ventricular ejection in the dog. *Circ Res* **23** : 663-670, 1968
 - 18) 岡本光師, 木下直和, 宮武邦夫, 松永 至, 別府慎太郎, 榑原 博, 仁村泰治 : リアル・タイム断層エコー・ドブラ法による解離性大動脈瘤の血流分析. *日超医講演論文集* : 79-80, 1981
 - 19) Caro CG, Pedley JG, Schroter RC, Seed WA : *The Mechanics of the Circulation*. Oxford Univ Press, Oxford, 1978
 - 20) Singh MP, Sinha PC, Aggarwal M : Flow in the entrance of the aorta. *J Fluid Mech* **87** : 97-120, 1978
 - 21) Choi US, Talbot L, Cornet I : Experimental study of wall shear rates in the entry region of a curved tube. *J Fluid Mech* **93** : 465-489, 1979
 - 22) Milnor WR : *Hemodynamics*, 2nd ed. Williams & Wilkins, Baltimore, 1989, pp 146-152
 - 23) Mills CJ, Gabe IT, Gault JH, Mason DT, Ross J, Braunwald E, Shillingford JP : Pressure-flow relationships and vascular impedance in man. *Cardiovasc Res* **4** : 405-417, 1970
 - 24) Nichols WW, O'Rourke MF, Avolio AP, Yaginuma T, Murgu JP, Pepine CJ, Conti CR : Effects of age on ventricular-vascular coupling. *Am J Cardiol* **55** : 1179-1184, 1985
 - 25) Calo CG, Fitz-Gerald JM, Schroter RC : Atheroma and arterial wall shear observation correlation and proposal of a shear dependent mass transfer mechanism for atherogenesis. *Proc Roy Soc (London)* **B117** : 109-159, 1971
 - 26) 沖野 遥, 菅原基晃, 松尾裕英 : 心臓血管系の力学と基礎計測. 第3版. 講談社, 1989, pp 178-186