

血流速度および心エコー図
同時記録による肺動脈弁お
よび大動脈弁動態の解析:
とくに肺高血圧症における
肺動脈弁収縮中期半閉鎖の
発生機序について

Echocardiographic an-
alysis of pulmonic and
aortic valve motion by
simultaneous recordings
of flow velocity and
intravascular pressure:
Genesis of mid-systolic
semi-closure of the pul-
monic valve in patients
with pulmonary hyper-
tension

椎名 明
柳沼 淑夫
松本 芳彬
川崎 建市
土谷 正雄
宮田 捷信
富田 忠孝
松本 陽子
川井 信義
細田 瑳一

Akira SHIINA
Toshio YAGINUMA
Yoshiaki MATSUMOTO
Ken-ichi KAWASAKI
Masao TSUCHIYA
Katsunobu MIYATA
Tadataka TOMITA
Yôko MATSUMOTO
Nobuyoshi KAWAI
Saichi HOSODA

Summary

Pulmonic and aortic valve motions were echographically analyzed in relation to flow velocity (FV) and intravascular pressure. Echocardiograms studied were the pulmonic valve in 3 patients (pts) with pulmonary hypertension (PH) and the aortic valve in 3pts. FV was measured by electromagnetic catheter-tip flowmeter. FV and pressure curves within main pulmonary artery were recorded simul-

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

Department of Cardiology of Internal Medicine, Jichi
Medical School, Yakushiji 3311-1, Minamikawachi-
machi, Kawachi-gun, Tochigi 329-04

Presented at the 13th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, September 25-26, 1976
Received for publication May 23, 1977

taneously with pulmonic valve echogram. The pulmonic valve revealed initial rapid opening at the onset of increasing FV, mid-systolic semi-closure at peak FV and finally reopening in decreasing FV in late systole. On the contrary, pulmonary arterial pressure remained around maximal level at the onset and/or after reopening of the pulmonic valve.

It was thus suggested that the mid-systolic semi-closure of the pulmonic valve in PH might be caused by reduced rising rate of static pressure at valve area during peak FV rather than decreased pulmonary flow itself in mid-systole.

While, the aortic valve stayed in open position throughout systole even in the presence of decreased FV in mid to late systole.

Structural difference between systemic and pulmonary circulation might also attribute to the difference of motions between the pulmonic and aortic valves.

Key words

Echocardiography Flow velocity Pulmonic valve Mid-systolic semi-closure Pulmonary hypertension

はじめに

弁動態は、血流状態、内圧および弁自体の形態の特徴等によって決定される。そこで心エコー図(UCG)により得られた波形を解析する目的で、我々は心内圧およびUCGを同時記録し報告したが¹⁾、今回は、内圧に加え血流速度 flow velocity (FV) を UCG と同時記録し、肺動脈弁および大動脈弁動態、とくに肺高血圧症における肺動脈弁エコーの収縮中期半閉鎖運動(いわゆる W 型運動)の波形についての解析を試みた。

対象と方法

対象は以下に示すごとく計 6 例(5 症例)で肺動脈弁および大動脈弁をそれぞれ 3 例ずつ検討した。

1. 肺動脈弁

第 1 例: H. Y., 34 歳 (F), 心房中隔欠損 (ASD) + 肺高血圧症 (PH) . . . 肺動脈平均圧 61 mmHg (Fig. 1)

第 2 例: H. K., 28 歳 (M), 原発性肺高血圧症 (PPH) . . . 肺動脈平均圧 41 mmHg (Fig. 2)

第 3 例: T. K., 30 歳 (F), 心房中隔欠損 (ASD) + 肺高血圧症 (PH) . . . 肺動脈平均圧 57 mmHg (Fig. 3)

2. 大動脈弁

第 4 例: E. H., 27 歳 (M), 僧帽弁狭窄兼閉鎖

不全 (MSi) + 大動脈弁閉鎖不全 (Ai) (Fig. 4)

第 5 例: H. K., 28 歳 (M), 原発性肺高血圧症 (PPH) . . . 第 2 例と同一症例 (Fig. 5)

第 6 例: K. K., 45 歳 (M), 原発性心筋症 (PMD)

方 法

FV はカロライン製カテ先電磁流速計を用い、catheter 法にて肺動脈主幹部または大動脈基始部に挿入し、心内圧および UCG と同時記録した。流速計は実験的には血管に対して血管走行に 30° の角度および動脈壁にほぼ接触しても FV pattern はほとんど変化せず、流速は約 30% の低下を認めた。時間遅れは遮断周波数 30 Hz, 100 cm/sec で最大約 15 msec であった²⁾。圧測定は第 4 例のみ catheter-tip transducer を用い、他の 5 例については、すべてカロライン製 8F カテータ電磁流速計に付属した内壁を通じて、statham P37 microtransducer を接続して測定した。UCG はスミスクライン社製 EKOLINE 20 A を使用した。直径 0.5 inch, 2.25 MHz の平面探触子を用い、記録は Electronics for Medicine 製 VR-6 にて、紙送り速度 50 mm/sec または 100 mm/sec で行った。

結 果

1. 第1例: ASD+PH (Fig. 1)

肺動脈弁エコーと肺動脈圧および FV との同時記録を示す。肺動脈圧の立ち上がりとはほぼ同時に肺動脈弁は開放方向への運動を開始し、それにやや遅れて FV は陽性波を描いた。FV が増加するに従い弁は閉鎖方向に運動し、いったん半閉鎖

にほぼ一致して FV は peak を形成している。FV にやや遅れて肺動脈圧が peak となるころより、弁は再開放に向かう運動を示した。弁の再開放は、圧が peak を過ぎて下降する時期に開始しており、このころには FV は著明に減少している。肺動脈圧切痕および FV の 0 点とほぼ一致して弁閉鎖に向かう急峻な前方運動の終了点が見られた。

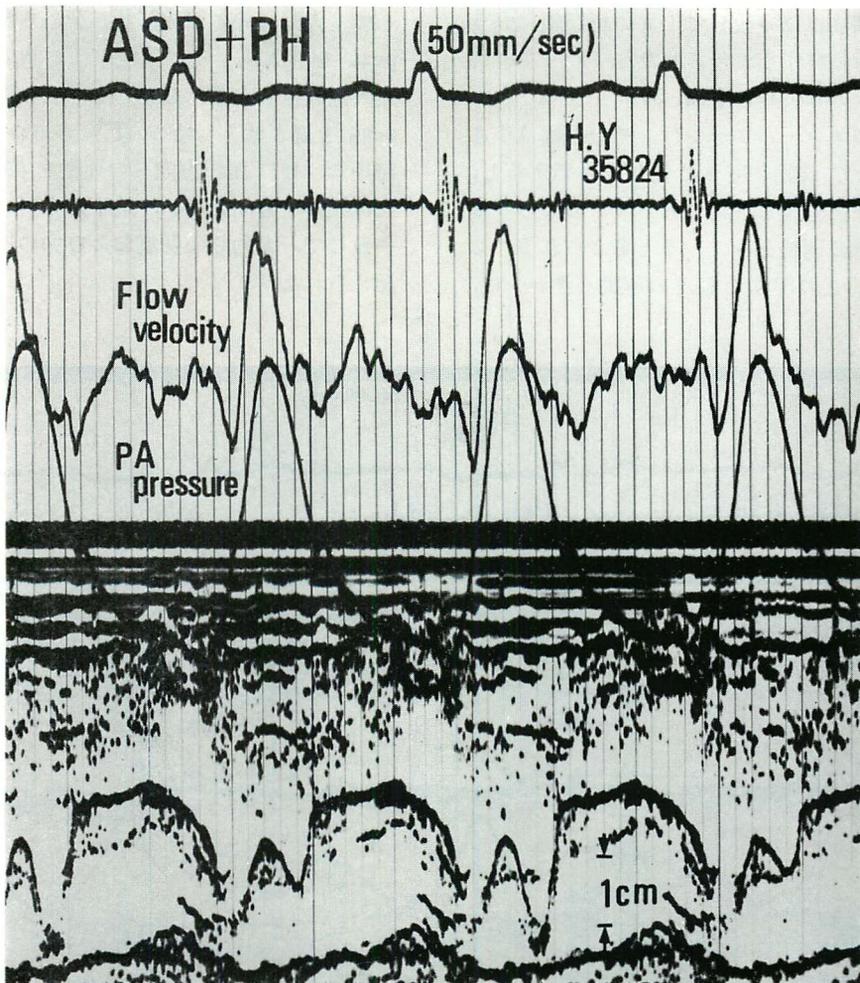


Fig. 1. Simultaneous recordings of pulmonic valve echo, PA pressure and flow velocity within the main PA in a patient with ASD and PH (mean PA pressure: 61 mmHg; Case 1).

Note that the pulmonic valve shows mid-systolic semi-closure at peak flow velocity.

ASD+PH: atrial septal defect with pulmonary hypertension, PA: pulmonary artery.

2. 第2例: PPH (Fig. 2)

第1例同様, 肺動脈圧とFVの立ち上がりにほぼ一致し, 肺動脈弁の開放方向への運動が開始している. FVが急速に増加する時期に, 弁は閉鎖方向に運動し, いったん半閉鎖にやや先行してFVは最大になっている. その後FVが低下し, 圧は引き続き上昇している時期に, 弁は再開放に向かい, FVがほぼ0になり, 圧が低下する時期に再開鎖に向かう運動を示した. FVが最下点を形成する時期にほぼ一致して, 弁の再開鎖に向う急峻な前方運動終了点が見られた.

3. 第3例: ASD+PH (Fig. 3)

この例でのエコーパターンは, その振幅は小さく, 心音および肺動脈圧との関係から考えると, 肺動脈弁尖部を適確に捉えておらず, むしろ弁基部に近い部分の運動をみていると考えられる. しかしながら, この部位でもその運動パターンは,

肺動脈圧およびFVとの関係において前出の2例と同様で, FVのpeakにやや遅れていったん半閉鎖し, FVの低下および圧の上昇に伴い, 平坦ないし後方への運動が認められた.

4. 第4例: MSi+Ai (Fig. 4)

この例では, 大動脈圧を catheter tip transducer により記録している. 大動脈弁エコーと大動脈圧およびFVとの同時記録を示す.

大動脈圧およびFVの立ち上がりにほぼ一致して, 大動脈弁の開放開始が認められる. FVがpeakを形成し, その後低下する時期にも, 弁は最大開放位置を維持している. 大動脈圧がそのpeakを過ぎ低下し始め, FVがほぼ0になった時期に, 弁は閉鎖方向への運動を開始している. 血流波が逆方向となり, 最下点を形成する時期に一致して, 大動脈圧切痕および弁の閉鎖終了点が認められた.

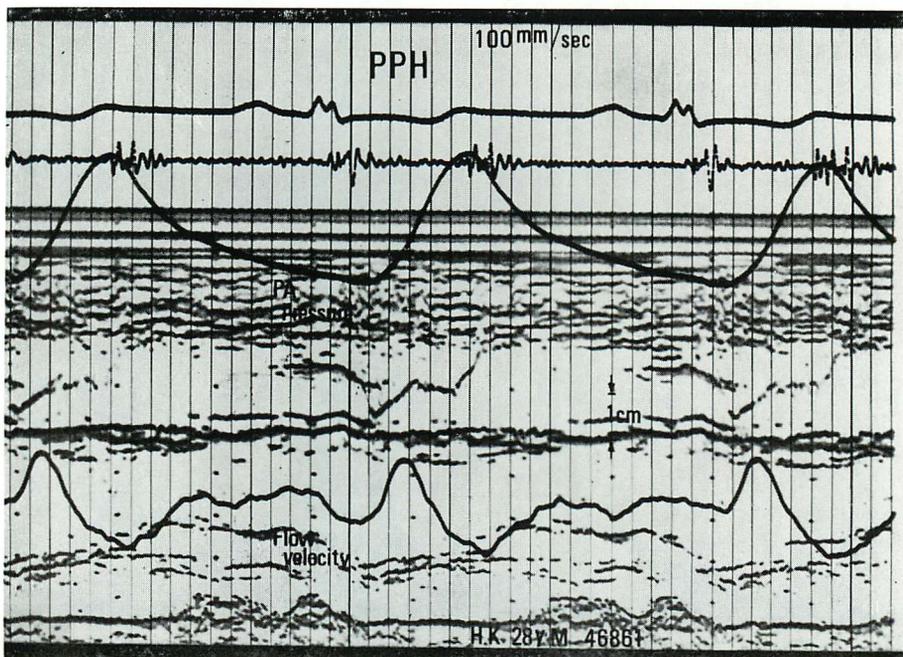


Fig. 2. A patient with PPH (mean PA pressure: 41 mmHg; Case 2).

The same time relation between pulmonic valve motion and pulmonary flow velocity is observed as in Fig. 1. PPH: primary pulmonary hypertension.

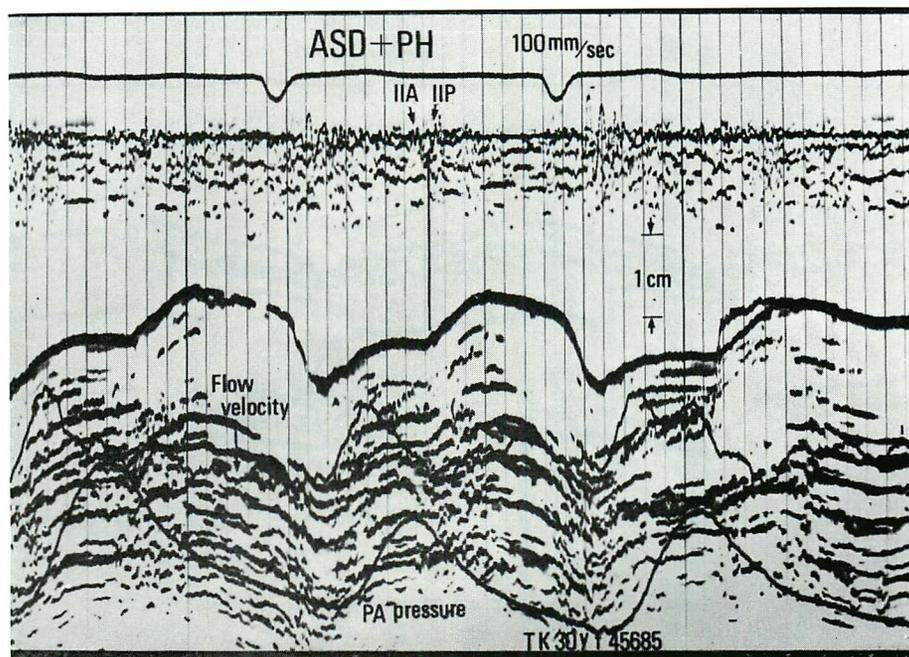


Fig. 3. A patient with ASD and PH (mean PA pressure: 57 mmHg; Case 3).

Echo from the base of the pulmonic valve is shown. ASD+PH: atrial septal defect with pulmonary hypertension, IIA: aortic component of the second heart sound, IIP: pulmonic component of the second heart sound, PA: pulmonary artery.

5. 第5例: PPH (第2例と同一症例) (Fig. 5)

第4例と同様、大動脈圧とFVの立ち上がりはほぼ時間的に一致し、この時期に弁の開放開始がみられた。FVが最大となり、その後急速に低下する時期でも、弁は最大開放の位置を維持している。大動脈圧がそのpeakを過ぎ、FVがほぼ0に近づくころより、弁は閉鎖方向への運動を開始していた。

6. 第6例

第4、第5例と同様、大動脈圧およびFVの立ち上がりとはほぼ一致して、大動脈弁の開放開始が見られた。FVが最大となり、その後急速に低下する時期でも、弁は最大開放位置を維持していた。

考 案

1. 肺動脈弁エコー運動について

近年、UCGによる肺高血圧症(PH)の診断に

関する報告がみられるようになり、その有用性が指摘されている³⁻⁶⁾。それらによると、PHにおける肺動脈弁のUCG所見は、1) a波の減高ないし消失、2) rapid pulmonary valve opening slope、3) e-f slopeの減少、4) presystolic ejection period (PEP)の延長、5) 収縮中期における弁半閉鎖、6) 収縮期における弁細動などである。

これらの所見のうち、1)~4)および6)はエコービームの方向や体位、呼吸などによりその値が変動することや、値そのものが計測できない症例があること、あるいはPH症例以外でもみられる場合があることなどを考慮すると、これらのみで確実にPHを診断することは難しい。それに対し、5)の収縮中期における弁半閉鎖運動は、PH症例で弁尖を正確に記録しえた場合、全例にみられ(我々の症例では13例全例)、正常例では認め

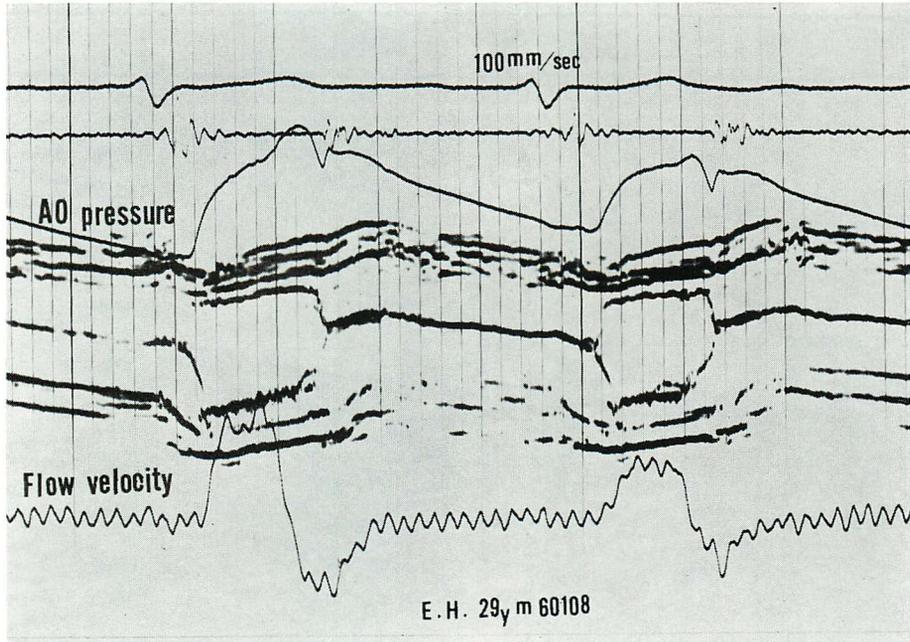


Fig. 4. Simultaneous recordings of aortic valve echo, aortic pressure and aortic flow velocity in a patient with combined valvular disease (MSi+Ai. Case 4).

Note that the aortic valve stays in open position consistently even in the presence of decreasing flow velocity during mid-to late systole.

AO: aorta.

られないところより, UCG による PH 診断上最も重要な所見と考えられる. しかしながら, この収縮中期弁半閉鎖運動の発生機序については血流の低下⁴⁾が推測されているが, それに対する矛盾点も指摘されており⁶⁾, まだ十分な検討がなされていない.

今回我々の行った内圧, FV と肺動脈弁エコーの同時記録による結果では, 原因こそ異なるが, いずれも肺動脈平均圧 41~61 mmHg の PH 症例においては,

- (a) 肺動脈圧と FV が同時に立ち上がる時期に弁の開放方向への運動開始がみられる.
- (b) FV が上昇して, その peak を形成し, 内圧がまだ上昇を続けている時期に, 弁は閉鎖方向に運動している.
- (c) その後 FV が低下するにもかかわらず, 弁

は再開放に向かう運動を示している. この時期に肺動脈圧は最大になっている.

- (d) FV が著明に減少し, 圧が低下し始めた時期に弁は再閉鎖方向への運動を開始している.
- (e) FV がほぼ 0 点を形成し, 肺動脈圧切痕が認められる時期に, 弁の再閉鎖に向かう急峻な前方運動の終了点がみられ, ここが弁の閉鎖終了点と考えられる.

以上の事実から PH における肺動脈弁動態は, 著者らが報告したごとく¹⁾, 肺動脈圧と右室圧交差点より, 急峻な開放方向への運動がみられる. この時点より, FV は急速に上昇し, その後急速に低下するが, その間弁は FV の増減とは逆に半閉鎖, 再開放しているところから, 弁の収縮中期半閉鎖は, 血流の終焉による⁴⁾のではなく, 最高流速時の弁口部における static pressure の増加

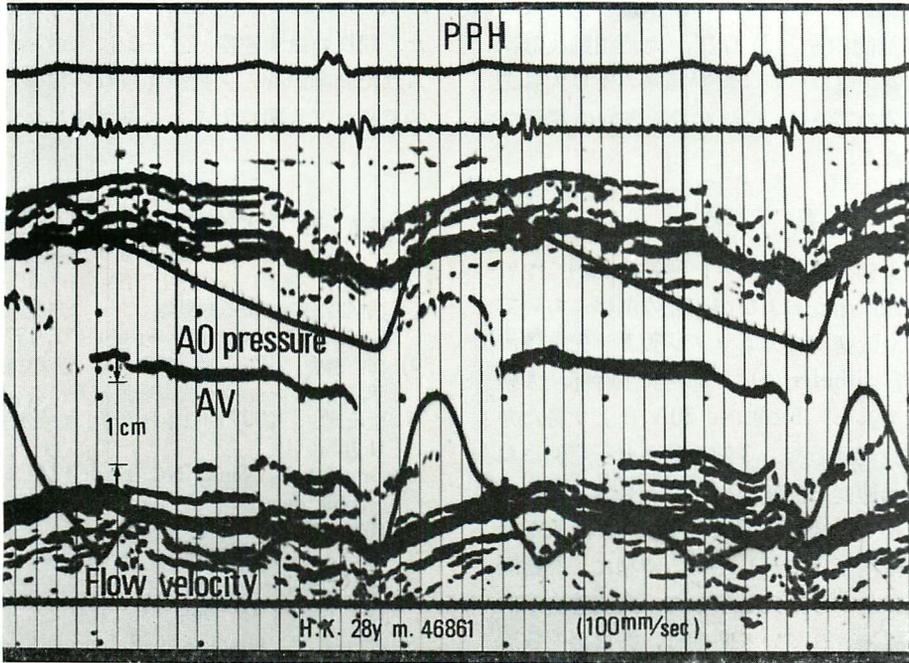


Fig. 5. A patient with PPH (same case as Fig. 2).

The same time relation between aortic valve motion and aortic flow velocity is observed as in Fig. 4.
AO: aorta, AV: aortic valve.

率の停滞によることが示唆される。また、弁の再開放は、FV が急速に低下する時期に、圧がさらに上昇するために生ずると考えられる。弁が再開鎖方向へ運動を開始するのは、この時期には FV がほとんど 0 に近いことと右室内圧が低下していることによると思われる。さらに第 3 例 (Fig. 3) に示すごとく、PH 症例における弁基部と思われる部位の運動も、弁尖部のそれと類似しており、弁基部運動が弁尖部エコーの W 型パターンを増強している可能性が考えられる。

今回は十分検討できなかったが、将来の問題点として、PH の原因疾患による肺動脈弁エコー運動の差異は考慮されるべきと思われる。

2. 大動脈弁エコーパターンについて

大動脈弁の開放および閉鎖開始は、大動脈圧および左室圧交差点とほぼ一致している¹⁾。今回検討した 3 症例では、いずれも FV はその立ち上が

りは内圧と一致しているが、その後急速に上昇した後、内圧と異なり、急速に低下している。これは PH 症例における FV パターンと同様であるが、弁の半閉鎖方向への運動はみられず、全開放の位置を保っている。この事実は、大動脈弁運動、とくに開放運動に関しては、高い左心系内圧により決定されており、FV の影響は余り受けていないように思われる。しかしながら、第 4 例 (Fig. 4) で示すごとく、peak FV 時、内圧がやや plateau になっているのは注目される。大動脈圧が低下し始め、FV がほぼ 0 に近づいたころより弁は閉鎖方向への運動を開始している。

肺動脈弁および大動脈弁は同じ半月弁であり、PH を伴うものは、収縮期圧も余り相違しない状態下で弁エコー上の大きな差が生じている理由は明らかでなく、今後の検討が必要な問題としては、
1) 右室および左室収縮に伴う両弁基部運動の相

違, 2) 右心低圧系の半月弁および左心高圧系の半月弁の形態的相違, 3) 血圧, 血流拍動波形は反射波の影響を受けるが, 肺動脈系および大動脈系の反射部位の差, 4) ビーム投入方向の問題などが考えられる。

要 約

肺動脈および大動脈弁エコー運動を6例について, 弁上部血流速度および内圧との関係において検討した。血流速度はカロライン製カテ先電磁流速計を用い, catheter法にて肺動脈主幹部, 大動脈基始部に挿入し, EKOLINE 20Aにより得た弁エコーと同時記録した。3例の肺高血圧症例においては, 血流速度と内圧が同時に上昇する時期にほぼ一致して肺動脈弁は開放に向かい, 血流が最大流速となり内圧が上昇している時期に, 肺動脈弁は半閉鎖に向かう運動を示した。血流速度が低下し内圧が維持されている時期に, 弁は再開放運動を呈した。これに対して大動脈弁の場合は, 収縮後期に血流速度の低下が著明になるにもかかわらず, 弁エコーはみかけ上弁口を一定に保つ運動を示した。

以上の結果より, 肺高血圧症の収縮中期における肺動脈弁の半閉鎖運動は, 血流速度の低下によるのではなく, 最高流速時の弁口部における

static pressureの増加率の停滞によると考えられた。同様の血流速度パターンにもかかわらず認められた肺動脈弁と大動脈弁運動の相違には, 形態的差異なども関与するものと推測した。

文 献

- 1) 椎名 明, 松本芳彬, 川崎建市, 土谷正雄, 伊東紘一, 外牧洋之, 宮田捷信, 富田忠孝, 松本陽子, 柳沼淑夫, 細田瑛一: 弁上下流に於ける圧と心エコー図同時記録による弁動態: とくに弁開放閉鎖時期の解析. *J Cardiography* 6: 661-672, 1976
- 2) 柳沼淑夫, 土谷正雄, 椎名 明, 宮田捷信, 富田忠孝, 細田瑛一: カテ先電磁流速計による臨床的拍動血流測定. 第17回日本脈管学会総会発表 1975年11月
- 3) Gramiak R, Nanda NC, Shah PM: Echocardiographic detection of pulmonary valve. *Radiology* 102: 153-157, 1972
- 4) Sakamoto T, Matsuhisa M, Hayashi T, Ichiyasu H: Echocardiogram of the pulmonary valve. *Jap Heart J* 15: 360-373, 1974
- 5) Nanda NC, Gramiak R, Robinson TI, Shah PM: Echocardiographic evaluation of pulmonary hypertension. *Circulation* 50: 575-581, 1974
- 6) Weyman AE, Dillon JC, Feigenbaum H, Chang S: Echocardiographic patterns of pulmonic valve motion with pulmonary hypertension. *Circulation* 50: 905-910, 1974