

超音波パルス・ドプラー血
流計による大動脈弁閉鎖不
全症の定量的評価

Non-invasive quantitative
evaluation of aortic
regurgitation by ultra-
sonic pulsed Doppler
flowmeter

中山 信彦
原 正忠
照屋日出夫
久能 晃
小池 真弓
中塚 喬之
吉村 正蔵
古幡 博*

Nobuhiko NAKAYAMA
Masatada HARA
Hideo TERUYA
Akira KUNO
Mayumi KOIKE
Takayuki NAKATSUKA
Shozo YOSHIMURA
Hiroshi FURUHATA*

Summary

A usefulness of non-invasive and quantitative evaluation of aortic regurgitation (AR) was investigated by measuring the aortic arch flow from the suprasternal notch with ultrasonic pulsed Doppler flowmeter (UPDF).

Measurement of the blood flow was made on 19 patients with AR, calculating the regurgitant ratio from the waves of relative flow volume, and the estimated grade of AR was compared with the severity judged from the cineortogram.

The results were as follows:

- 1) The aortic arch flow was recorded in 17 out of 19 patients with AR.
- 2) Except mild cases, the diastolic regurgitant flow was recorded in patients with AR.
- 3) The regurgitant ratio obtained by the UPDF correlated well with the grade of the severity of AR judged from the cineortogram.

Key words

Aortic arch flow Aortic regurgitation Regurgitant ratio Ultrasonic pulsed Doppler flowmeter

東京慈恵会医科大学 第四内科
*同 ME 研究室
東京都港区西新橋 3-19-18 (〒105)

The Fourth Department of Internal Medicine and
*Department of ME Laboratory, The Jikei University
School of Medicine, Nishi-shinbashi 3-19-18, Minato-
ku, Tokyo 105

Presented at the 21st Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Tokyo, September 14-15, 1980

Received for publication February 5, 1981

はじめに

大動脈弁閉鎖不全症は臨床症状発現後の予後が不良とされ^{1,2)}, 重症度判定に大きな関心が払われている. 一般にその重症度は大動脈造影法³⁾の成績から判定されているが, 観血的検査であるため必ずしも簡便には実施し難く, 大動脈弁閉鎖不全症の非観血的定量評価法の確立が望まれている. そこで, 我々は超音波パルス・ドプラー血流計(UPDF)^{4~8)}を用い, 非観血的に大動脈血流を計測し, 大動脈弁閉鎖不全症を定量評価する方法の有用性について検討した.

対象

心臓カテーテル検査と大動脈造影検査より, 大動脈弁閉鎖不全症と診断され, 大動脈造影所見より Sellers³⁾ の分類で重症度が判定された19例を対象とした. また, 対照として健常者19例も検査を行った.

方法

1. 装置

使用した UPDF は当大学 ME 研究室古幡⁵⁾の基本設計に基づき, 日立メディコで製作したものである. Fig. 1 は同装置および演算回路のブロック図であり, 超音波発振周波数は 2 MHz, パルス繰り返し周波数は 5 KHz と 10 KHz の2段階切り替え方式である. また, ゲート幅は 6 mm ステップで 30 mm まで, ゲート位置は 3

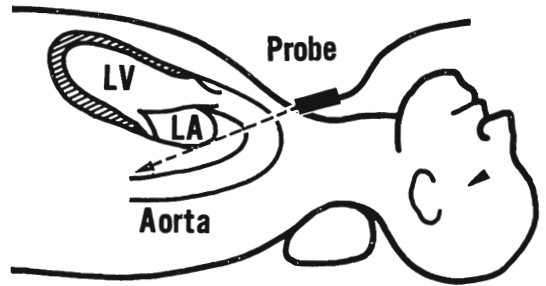


Fig. 2. Schematic diagram for the detection of aortic blood flow by UPDF.

LV=left ventricle; LA=left atrium.

mm ステップでそれぞれ可変である. 本装置では, パルス繰り返し周波数 5 KHz 時の最深計測深度は 15 cm, 測定可能最高流速はビーム入射角 60° の場合約 200 cm/sec で, パルス繰り返し周波数 10 KHz 時の最深計測深度と測定可能最高流速はそれぞれ 7.5 cm, 約 400 cm/sec である.

血流波形の表示は検出した血流信号を演算回路で処理し, 平均流速と相対流量とを実時間アナログ表示する方法を採った.

2. 血流計測法

大動脈血流は Fig. 2 のように被検者を背臥位とし, 頸部を伸展した位置で胸骨上窩にプローブを当て, ドプラー音, A モード信号をモニターしながら計測した. そして大動脈血流を正確に計測し, 個々の症例で sample position を一定とするため, 胸骨上窩より撮影した大動脈弓部の超音波断層像を用い, Fig. 3 のように胸骨上窩から大

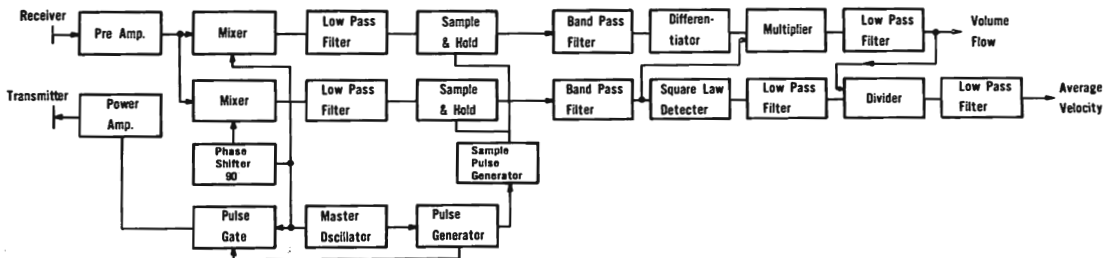


Fig. 1. The block diagram of the pulsed Doppler flowmeter and calculation circuit.

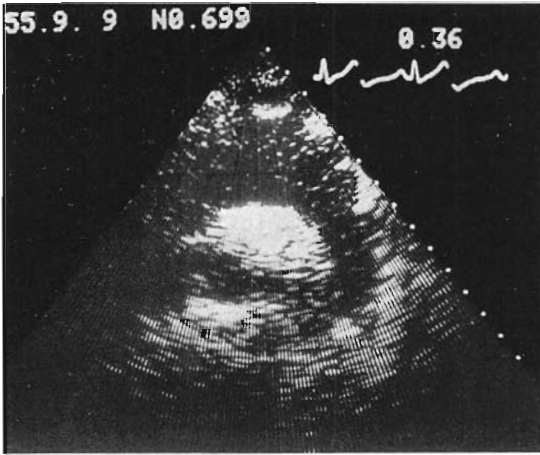
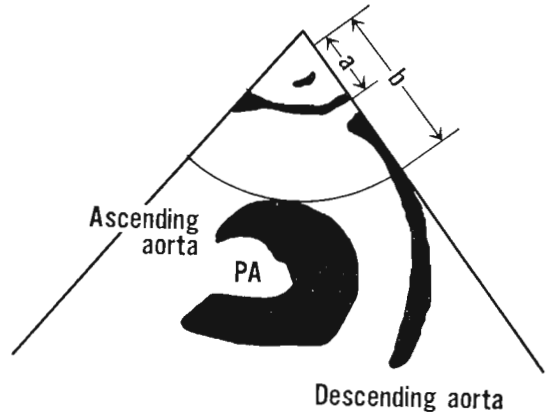


Fig. 3. Two-dimensional echogram of the aortic arch.

a = the depth of the anterior aortic wall, b = the depth of the posterior aortic wall, PA = pulmonary artery.



動脈前壁までの最短距離 (a), 後壁までの最短距離 (b) を求めた。つぎに UPDF の sample gate 位置を a, b 間に設定し, プローブを大動脈走行に沿って動かし, プローブに向う血流 (toward flow), プローブより遠ざかる血流 (reverse flow) の両者の血流信号最強部位を求め, ビーム方向を固定した。このゲート位置決めとビーム方向固定の操作により, sample position は大動脈弓部の血管内に設定されるが, さらに 3 mm ステップでゲート位置を動かし, 血管内各部位で toward flow, reverse flow それぞれの血流波形を記録した。

3. 逆流率算出法

得られた大動脈相対流量波形を大動脈弁閉鎖不全症例と健常者例とで比較検討した。つぎに, 大動脈弁閉鎖不全症症例において, 相対流量波形の順流波形面積と逆流波形面積比から逆流率を算出し, 大動脈造影法による Sellers³⁾ の重症度分類と対比した。

成 績

1. 健常者の大動脈血流波形

健常者例では, 全例において toward flow および reverse flow の両者, あるいは一方を良好

に記録することができた。

Fig. 4 は, 健常者で得られた toward flow である。血流波形は心電図 R 波直後で急峻に立ち上り, T 波上行脚付近で peak を形成した後下降し, 拡張期に入ると zero-flow level に復帰する波形を示した。

Fig. 5 は, 健常者で記録された reverse flow である。Reverse flow は toward flow と基線に対してほぼ対称的な波形を示した。

2. 大動脈弁閉鎖不全症の大動脈血流波形

大動脈弁閉鎖不全症例では, 19 例中 17 例で toward flow, reverse flow の両者あるいは一方を記録することができた。記録不可能であった 2 症例はいずれも他の弁膜症を合併したものであり, 他の連合弁膜症例も記録が困難な傾向にあった。

拡張期逆流波形は軽症大動脈弁閉鎖不全例を除き明瞭に記録され, 中等症例では Fig. 6 のように拡張早期に限局するが, 重症例になると Fig. 7 のように拡張全期に及ぶ傾向が認められた。

3. UPDF による大動脈弁閉鎖不全症の逆流率算出法について

UPDF より求めた逆流率は, 同一症例においても sample position の相違により若干異なる傾向がみられた。しかし, 血流信号最強部位近辺で

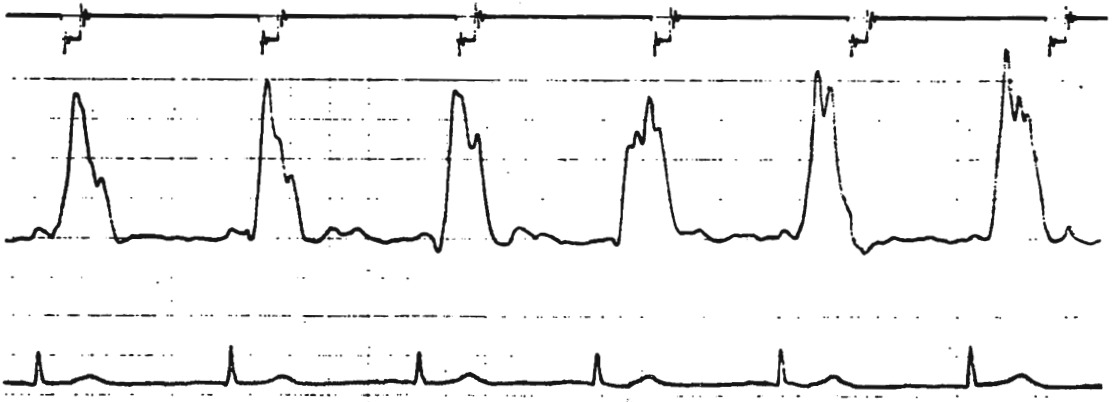


Fig. 4. Toward flow in a normal subject.

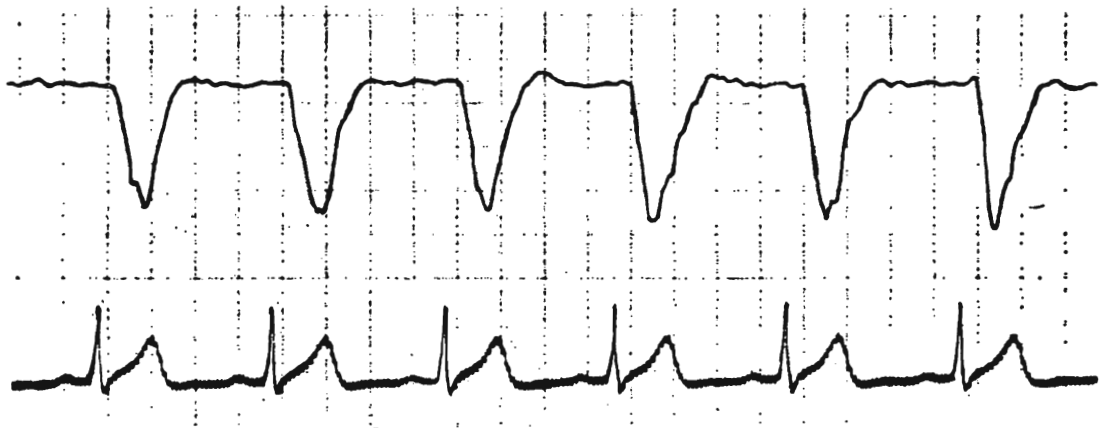


Fig. 5. Reverse flow in a normal subject.

は血流波形が安定し、ほぼ一定の逆流率を示す傾向がみられた。また、同部位が大動脈のほぼ中央に位置することが超音波断層像により確認されたので、血流信号最強部位における相対流量波形 5 心拍より求めた逆流率を、その症例の逆流率として用い検討した。

4. UPDF による逆流率と Sellers の分類との比較

Fig. 8 は上記方法で求めた逆流率と Sellers の分類とを対比したものである。Toward flow より求めた逆流率は T, reverse flow より求めた逆流率は R 上に示し、同一症例で toward flow,

reverse flow の両者より算出することができたものは直線で結び表示した。

UPDF で求めた逆流率は Sellers の分類と良好な対応を示し、Sellers 分類 IV 度症例では全例 50% 以上の逆流率であり、Sellers 分類 I 度症例では計算上の逆流率は 0% であった。

考 案

大動脈弁閉鎖不全症は臨床症状が発現すると急速に進行するので、正確な重症度判定が要求されている。一般に、その判定は大動脈造影法により



Fig. 6. Aortic blood flow detected at the aortic arch in a patient with moderate AR.

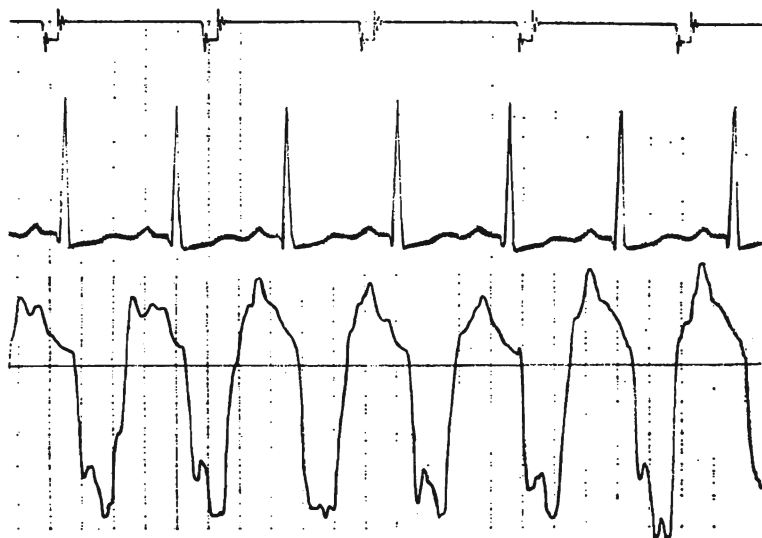


Fig. 7. Aortic blood flow detected at the aortic arch in a patient with severe AR.

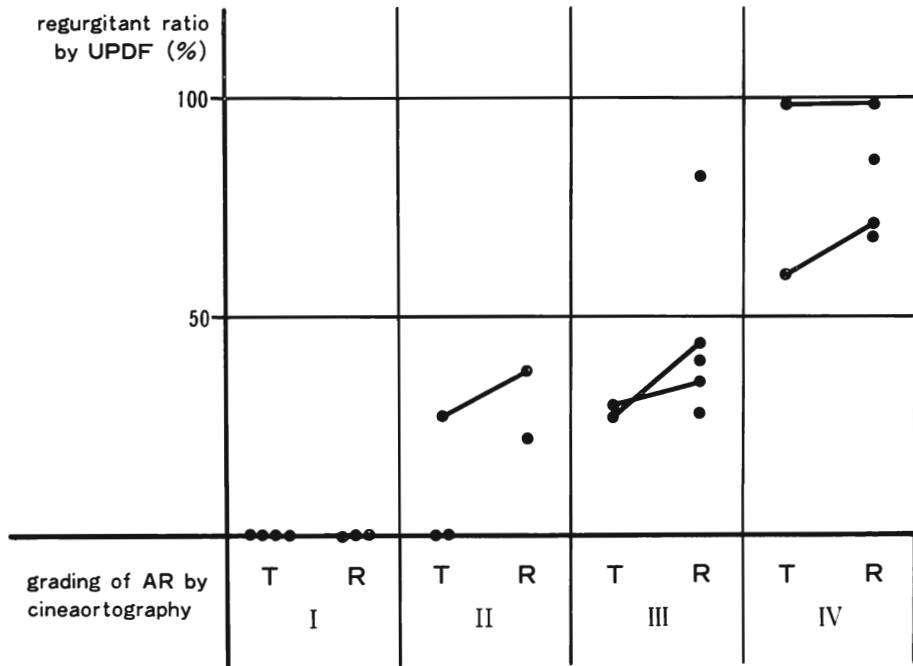


Fig. 8. Comparison of regurgitant ratio obtained by UPDF with cineangiographic grading of AR.

T=toward flow; R=reverse flow.

なされているが、観血的な手法のため簡単には実施し難い。

非観血的な方法としては、連続波ドプラー血流計を用いた Boughner⁹⁾, Thompson¹⁰⁾ らの報告があるが、深さ方向の識別能力がなく、深部における血流計測は困難である。

このような連続波ドプラー血流計の限界を打破するため、特定の深さの血流のみを検出するパルス・ドプラー血流計^{4,7,8)}が開発され、心腔内および深部大血管の血流計測に用いられるようになってきた。我々も1974年以來、アナログ演算回路を組み込み、平均流速、相対流量をアナログ表示することができる超音波パルス・ドプラー血流計^{5,6)}を開発し、体内深部血流計測への応用法を検討してきた。今回は同装置を用い、非観血的に大動脈弁閉鎖不全症の定量評価を行った。

1. 血流測定について

大動脈弁閉鎖不全症を定量評価するためには、心臓に可及的近い部位で大動脈血流波形を記録することが望ましく、当初は大動脈弁直上部の上行大動脈血流測定を前胸壁より試みた。しかし、特殊例を除き安定した血流波形を得ることが不可能であった。その理由として、同部からの測定では超音波ビームと血流走行とが血流計測に不適なこと、装置の血流表示がアナログ波形表示であり、sample volume が大きいことから、血管壁、弁および心腔内血流の信号が混在しやすいことが考えられた。

つぎに、胸骨上窩より大動脈弓部血流測定を試みたが、健常例では全例において良好に記録することができたので、本研究では胸骨上窩からの大動脈弓部血流測定法を採用した。同法により、大動脈弁閉鎖不全症例では19例中17例で toward

flow あるいは reverse flow のいずれかを記録することができた。しかし連合弁膜症例、とくに僧帽弁狭窄症、大動脈弁狭窄症合併例では正常例に比べ記録が困難であったが、その原因として大動脈血流量減少、血流の乱流および高流速化、大動脈壁の振動などが考えられた。

2. UPDF による逆流率算出法について

大動脈が大動脈弓部で屈曲していることや、大動脈弁の逆流部位の相違により、大動脈内各部位での逆流率はある程度異なるものと考えられる。さらに UPDF を使用した場合には、大動脈拍動に伴い sample position が大動脈内で移動し、実際の逆流率とは異なる数値が得られる可能性を否定できない。そのため、より平均的な逆流率を求めるには、大動脈壁の動きが入らない範囲で大動脈内径全域を覆う可及的大きな sample volume を設定するのが妥当と考えられる。そこで、我々は $10 \times 10 \times 12$ mm の sample volume を用い血流計測を行った。得られた大動脈血流波形は、正常例および大動脈弁閉鎖不全症例ともに、電磁流量計¹¹⁻¹⁴⁾、カテーテル先端型ドプラー血流計¹⁵⁾などによる波形と近似し、妥当な波形を記録することができた。しかし、大動脈弁閉鎖不全症では、深さの相違により相対流量波形から求めた逆流率が若干異なる傾向がみられた。そこで、sample point を個々の症例で一定とするために、血流信号最強部位で得られた波形を用い逆流率を算出した。

3. UPDF による大動脈弁閉鎖不全症の定量評価について

我々の方法で求めた逆流率は、Sellers の分類と良好な相関がみられた。Sellers 分類 I 度の症例では全例逆流率 0% との結果がでたが、大動脈弓部は大動脈弁から若干の距離があるので、軽症例では大動脈弓部血流に血行動態異常が生じるに至らなかったものと考えられる。

Veyrat ら¹⁶⁾は sample volume が $2 \times 2 \times 4$ mm の UPDF を用い、我々と同様に胸骨上窩より大動脈血流波形を記録しているが、診断には役立つ

反面、定量評価には適さなかったと報告している。我々の方法とは sample volume の大きさ、検出可能最高流速の違い、sample position の選定が異なるので評価が分かれたものと考えられる。

本法は高流速追従性の限界、sample volume の適否、sample position の選定などの問題を残してはいるが、非観血的に大動脈弁閉鎖不全症を定量評価する信頼性の高い方法がほかにない現在、きわめて有用な検査法と考えられた。

要 約

超音波パルス・ドプラー血流計 (UPDF) を用い、胸骨上窩より非観血的に大動脈弓部血流を測定し、大動脈弁閉鎖不全症を定量評価する方法の有用性について検討した。血流測定は大動脈弁閉鎖不全例 19 例に対し行い、得られた相対流量波形から逆流率を算出した。そして、大動脈造影による評価法と対比し、つぎの結果を得た。

- 1) 大動脈弁閉鎖不全症例 19 例中 17 例で、大動脈弓部血流波形を記録することができた。
- 2) 大動脈弁閉鎖不全症例では、軽症例を除き、拡張期逆流波形を記録することができた。
- 3) UPDF で求めた逆流率は、大動脈造影による評価法とよく一致した。

文 献

- 1) Rotman M, Morris JJ, Behar V, Peter RH, Kong Y: Aortic valvular disease. Comparison of types and their medical and surgical management. *Am J Med* 51: 241, 1971
- 2) 北村信夫, 副島健市: 大動脈弁閉鎖不全症. 榊原仟編: 心臓外科学. 南江堂, 東京, 1975, p 769
- 3) Sellers RD, Levy MJ, Amplatz K, Lillehei CW: Left retrograde cardioangiography in acquired cardiac disease. *Am J Cardiol* 14: 437, 1964
- 4) Baker DW: Pulsed ultrasonic doppler blood flow sensing. *IEEE trans on sonics and ultrasonics*. SU-17 (3), 170, 1970
- 5) 古幡 博: 超音波パルス・ドプラー血流計. *電子医学* 23: 225, 1976
- 6) 中塚喬之, 小池真弓, 中山信彦, 久能 晃, 古幡博, 吉村正蔵: 超音波パルス・ドプラー血流計の臨床応用. *電子医学* 23: 255, 1976

- 7) Kalmanson D, Veyrat C, Bouchareine F, De-groote A: Non-invasive recording of mitral valve flow velocity patterns using pulsed Doppler echocardiography: application to diagnosis and evaluation of mitral valve disease. *Br Heart J* **39**: 517, 1977
- 8) 浅生雅人: 僧帽弁狭窄症における房室圧較差の無侵襲的推定に関する研究——超音波パルス変調ドプラ法を用いて——. *日内会誌* **69**: 330, 1980
- 9) Boughner DR: Assessment of aortic insufficiency by transcutaneous Doppler ultrasound. *Circulation* **52**: 874, 1975
- 10) Thompson RD, Mennel RG, Macvaugh H III, Joyner CR: Evaluation of aortic insufficiency in humans with a transcutaneous Doppler velocity probe. *Ann Int Med* **72**: 781, 1970
- 11) Nolan SP, Fisher RD, Dixon SH, Morrow AG: Quantification of aortic regurgitation with a catheter tip velocimeter. *Surgery* **65**: 876, 1969
- 12) Schenk WG Jr, Andersen MN: Human ascending aortic blood flow measurements: Immediate application of diagnostic and physiologic information obtained during cardiac surgical procedures. *Ann Surg* **160**: 366, 1964
- 13) Brawley RK, Morrow AG: Direct determinations of aortic blood flow in patients with aortic regurgitation. *Circulation* **35**: 32, 1967
- 14) Mennel RG, Joyner CR Jr, Thompson PD, Pyle RR, Macvaugh H: The preoperative and operative assessment of aortic regurgitation. *Am J Cardiol* **29**: 360, 1972
- 15) Benchimol A, Desser KB, Gartlan JL: Bidirectional blood flow velocity in the cardiac chambers and great vessels studied with the Doppler ultrasonic flowmeter. *Am J Med* **52**: 467, 1972
- 16) Veyrat C, Chalot N, Abitbol G, Kalmanson D: Validity of echo-pulsed Doppler velocimetry for assessing the diagnosis and severity of aortic valve disease and prosthetic valve function. *in: Echo-cardiography*. Ed by Lancée CT. Martinus Nijhoff Publishers, Hague/Boston/London, 1979, p 261