原 著

超音波パルス・ドプラ法による 肺動脈血流の分析

国立循環器病センター病院心臓内科

岡本 光師[◇] 宮武 邦夫 木下 直和 榊原 博

国立循環器病センター研究所

仁村 泰治

ANALYSIS OF PULMONARY BLOOD FLOW WITH THE ULTRASONIC PULSED DOPPLER TECHNIQUE

Mitsunori OKAMOTO, MD, Kunio MIYATAKE, MD, Naokazu KINOSHITA, MD
and Hiroshi SAKAKIBARA, MD

Cardiology Division of Hospital, National Cardiovascular Center, Suita, Osaka

Yasuharu NIMURA, MD

Research Institute, National Cardiovascular Center, Suita, Osaka

概要 健常者10名, 各種心疾患38例において, 超音波パルス・ドプラ血流計と断層心エコー図装置の複合的応用により, 右室流出路より肺動脈基部にかけての血流計測を行なった。断層心エコー法によりサンプル部位を確認しつつ血流ドプラ記録を行ない, 次の結論を得た。1) 健常者の肺動脈弁口ないし肺動脈基部での駆出血流パターンは, 収縮中期で最も速い, ドーム型のパターンを示す。各瞬間においては殆ど均一に近い速度成分で流れる。2) 肺高血圧例では, 弁口付近の駆出血流速は収縮早期にすでに減速し始める。そのため, 血流パターンのピーク速度は収縮早期にある。この異常は, 肺動脈血圧, 特に全肺血管抵抗に密接に関係している。3) 肺高血圧例では, 肺動脈基部の後半分の領域で収縮後期に逆方向の流れが記録される。これは, この領域における渦などの血流の乱れによるものであろう。4) 肺高血圧例における肺動脈弁後尖の特徴あるエコー・パターンは, 血流状況とよく対応している。5) 肺動脈弁領域の収縮期血流パターンの上記の所見は, 肺高血圧の非観血的分析に有用である。6) 特発性肺動脈拡張症の1例についても検討を行なった。血流パターンは, 一見肺高血圧例のそれに似ていた。7) 肺動脈弁領域の収縮期血流パターンは, 一般に肺動脈圧だけでなく, 局所の形態的变化にも基づく。

緒 言

先天性心疾患や, 後天性弁膜症では肺高血圧の有無を適確に認識することが臨床的に極めて重要である。この点より肺循環に関する非侵襲的検査法の開発が望まれていたが, 最近, 超音波パルス・ドプラ血流計^{1)~7)}と断層心エコー図装置との

複合システム^{8)~10)}を用いることにより, 心血管系の血流状況を非侵襲的に分析することが可能となつた。本研究では, これらの方法を用いて, 右室流出路から肺動脈に至る血流状況を検討し, また, 肺高血圧における血流動態変化の分析を行なった。

対 象

対象は, 健常者20名(15才~32才), 各種心疾

[昭和55年6月19日受稿]

表 1. 対象例一覧表

番号	名前	年齢	性	病名	肺動脈圧(平均) mmHg	全肺血管抵抗 dynes·sec·cm ⁻⁵	肺動脈基部 逆方向成分	肺動脈弁口 血流パターン
1	M.A.	74	M	IDPA	35/1 (11)	238	+	W
2	M.N.	43	M	AS	28/10 (17)	340	-	D
3	Y.I.	42	F	MS	28/12 (17)	489	-	D
4	K.D.	50	F	MSR-ASR	26/13 (18)	527	-	T
5	N.F.	47	M	MSR-ASR	30/11 (18)	246	-	D
6	M.O.	27	F	MSR	30/7 (18)	600	+	T
7	M.K.	39	F	MS	28/15 (20)	271	±	D
8	S.H.	36	M	ASD	32/10 (21)	110	-	D
9	Y.O.	51	F	MSR	33/13 (21)	420	-	D
10	M.K.	30	F	ASD	38/10 (21)	120	-	D
11	M.T.	59	F	MR	32/15 (22)	463	±	T
12	T.M.	43	M	MSR	32/10 (23)	736	±	T
13	S.M.	54	F	MR	33/12 (23)	460	-	D
14	Y.K.	28	F	MSR	37/14 (23)	800	±	T
15	A.K.	35	F	MSR	38/18 (25)	689	±	T
16	K.K.	29	F	MSR-AR	40/18 (25)	563	+	V
17	M.T.	59	F	MSR-AR	45/15 (27)	662	+	V
18	T.K.	40	F	MSR	39/19 (28)	566	-	T
19	S.K.	58	M	MSR-ASR	40/19 (28)	711	±	T
20	H.S.	50	M	ASD	54/17 (30)	85	-	D
21	S.Y.	46	F	ASD	49/18 (31)	266	-	T
22	Y.A.	25	F	MS	51/27 (33)	835	±	T
23	T.I.	34	F	MS-ASR	48/26 (34)	566	+	T
24	A.N.	55	M	MS	49/24 (34)	836	+	W
25	Y.M.	43	F	MS	48/27 (35)	830	±	T
26	N.S.	46	F	MSR	49/23 (35)	1120	+	W
27	M.M.	44	F	MYXOMA	57/27 (37)	806	+	V
28	K.S.	44	F	ASD	66/24 (39)	165	±	T
29	A.Y.	47	F	MS	55/31 (41)	1093	+	W
30	N.K.	52	M	MR	72/21 (44)	1294	+	W
31	H.K.	43	F	MS-AS	67/27 (47)	989	+	W
32	I.S.	58	F	MSR	88/25 (53)	1570	+	W
33	S.O.	36	F	MS	82/38 (57)	1443	+	W
34	A.T.	46	F	MS	83/43 (58)	1856	+	V
35	A.M.	35	M	MS	87/42 (60)	1142	+	W
36	S.O.	25	F	MS	83/47 (62)	850	+	V
37	S.K.	53	M	MS	103/46 (67)	1787	+	V
38	E.U.	50	F	MSR	94/51 (68)	2176	+	V

IDPA: 特発性肺動脈拡張症, AS: 大動脈弁狭窄症, AR: 大動脈弁閉鎖不全症, MS: 僧帽弁狭窄症, MR: 僧帽弁閉鎖不全症, ASD: 心房中隔欠損症, MYXOMA: 左房粘液腫.
肺動脈基部逆方向成分: 明瞭に認められるもの(+), 存否が不明瞭なもの(±), 認められないもの(-). 肺動脈弁口血流パターン: D: ドーム型, V: 直線的な加速, 減速を示し一峰性のもの, W: 二峰性のもの, T: ドーム型からV型, W型への中間型.

患例52例(25才~74才)である. このうち分析可能な記録が得られたのは, 健常者10名と心疾患38例であり, 以後の検討はこれらの例についてのみ行なった.

明確な記録が得られた各種心疾患38例の詳細は, 僧帽弁膜症23例, 大動脈弁膜症1例, 連合弁膜症7例, 特発性肺動脈拡張症1例, 心房中隔欠損症5例, 左房粘液腫1例である. この内18例は三尖弁閉鎖不全を有していた. 全例, 心カテーテル検査により診断を確認した(表1). 24例で平

均肺動脈圧が25mmHg以上の肺高血圧が見られた.

方 法

使用装置は超音波パルス・ドプラ血流計(日立メデコ社製EUD-4Z)と, 超音波断層装置(フロカ社製SSD-120)との複合システムである. 血流計の超音波主振動数は2.5MHz, パルス繰り返し数は6.3KHzであり, 超音波ビーム上0.5cm~10cmの深さの範囲の任意の部位にてドプラ・シグナルの検出が可能である. サンプル・ボリウム大きさは, 横が6×6mm, 深さ方向が2mmまたは5mmである(図1). 血流計と超音波断層装置との複合の方法は, おおむね仁村らが, さきに発表した方法に準じた⁶⁾.

測定は被検者を15分間安静仰臥位にした後に行なった. まず, 右室流出路から肺動脈に至る断面にて, 収縮期に超音波心断層図を作成した. 次に, その断面上でドプラ用超音波ビームを肺動脈弁口の前領域, 中央領域, 後方領域に向けて投入し, それぞれのビーム方向にて右室流出路, 肺動脈弁口部, 肺動脈基部の各レベルでドプラ・シグナルを記録した(図2). このようにして検出されたドプラ・シグナルは, リアル・タイムサウンドスペクトログラフにて周波数分析し, 流速成分脈波として表示した. 記録上では, 探触子に近づく流れを基線より上に, 遠ざかる流れを基線より下に表示した. 今回の血流分析は主に収縮期について行なった.

成 績

I. 血流パターンについて

1) 健常者

右室流出路から肺動脈にかけての収縮期血流パターンは, 前方寄り, 中央 後方寄り, いずれの領域でも幅の狭い帯状スペクトルを呈した. すなわち, 流れの流速成分は各領域の中ではそれぞれ比較的均一なもののように見られた(図3).

さらに, 各領域における流速の時間的推移について検討した. 右室流出路, 肺動脈弁口, 肺動脈基部のいずれのレベルにおいても, 前方寄りの領域と中央領域では, 収縮中期に流速のピークを有

図1. 超音波パルス・ドプラ血流計と断層心エコー図との複合システム。

PA: 肺動脈, LA: 左房, RV: 右室, LV: 左室, SV: サンプル部位, TOWARD: 近づく方向の血流成分, AWAY: 遠ざかる方向の血流成分。

断層心エコー図は右室流出路から肺動脈にかけてのもの、断層図上の白線は血流記録のための超音波ビーム方向、その上の光点は血流検出部位 (SV) を示す。ドプラ・シグナルと断層心エコー図は切り換えスイッチにより別々に記録される。ドプラ・シグナルはサウンドスペクトログラフ表示である。

図2. 血流検出部位。肺動脈弁口付近を左から見た模式図。

ドプラ用ビーム方向を白線、検出部位をその上の光点で示す。

ビーム方向。a: 前方領域, b: 中央領域, c: 後方領域。

検出レベル。1: 右室流出路, 2: 肺動脈弁口, 3: 肺動脈基部。

する丸味のあるドーム型の駆出血流パターンを呈し、後方寄りの領域では対象者により、流速は収縮中期よりもやや早くから減速に移る傾向が見ら

れた。肺動脈基部の後方寄りの領域では、両方向性の粗なシグナルが検出された (図3, ビームCのレベル3)。

2) 各種心疾患例

(1) 肺動脈弁口レベル血流パターン

弁口中央領域の血流パターンは、心疾患38例中9例では健常者と同様のドーム型血流パターンを示した。一方、他の16例では健常者のそれとは異なり、血流の加速、減速が直線的でV型あるいはW型の血流パターンを示した (図4)。この際、流速のピークは収縮早期にあり、収縮期の流速は健常者よりも早期に減速に移行するのが見られた。前方および後方寄りの領域でもおよそ、このパターンは同様であつた。W型血流パターンを呈する例では、前方領域に向うにつれてV型に近いパターンを示した。残りの13例はドーム型からV型あるいはW型への中間型を示した。これらの差異は後述のように、主として肺高血圧に関するものと考えられた。

図3. 健常者における肺動脈弁口付近血流パターン。

左：断層心エコー図。右室流出路から肺動脈にかけての断面(左から見たもの)。RVOT：右室流出路，LV：左室，a, b, cはそれぞれ血流記録のためのドブラ用ビーム方向，1, 2, 3はそれぞれのビーム方向における血流検出部位のレベル。

右：断層図で示された個所でのドブラ・シグナル。いずれの領域でも血流パターンはドーム型を示し，流速のピークは，ほぼ収縮中期にある。肺動脈基部後方領域(ビームcのレベル3)では両方向性のシグナルが見られる。

次に，肺動脈弁口中央領域の血流パターンと平均肺動脈圧，全肺血管抵抗との関係を検討した(図5)。

① V型あるいはW型を示した16例の平均肺動脈圧は，1例を除きいずれも25mmHg以上で，そのうち10例は40mmHg以上の肺高血圧例であつた。平均肺動脈圧が25mmHg以下の1例は特発性肺動脈拡張症(11mmHg)であつた(図6)。

図4. 肺高血圧例の血流パターン。

肺動脈弁口レベル(2)では駆出血流は直線的な加速，減速を示し，流速のピークは収縮早期にあり，全体としてW型のパターンを示している。肺動脈基部レベル(3)では中央から後方領域にかけて収縮中期から拡張早期に，駆出とは逆方向への血流成分が見られる。

張症(11mmHg)であつた(図6)。また，全肺血管抵抗は，16例中，特発性肺動脈拡張症の1例(238 dynes · sec · cm⁻⁵)を除きいずれも500 dynes · sec · cm⁻⁵以上の高値を示した。

② 健常者と同様のドーム型血流パターンを呈した9例の平均肺動脈圧は，心房中隔欠損症の1例(30mmHg)を除き，すべて23mmHg以下であつた。この心房中隔欠損症例を含め，これら9例の全肺血管抵抗は500 dynes · sec · cm⁻⁵以下であつた。この群の平均肺動脈圧ないし全肺血管抵抗は，VないしW型の血流パターンを示すものに比

図5. 肺動脈弁口レベル中央領域での血流パターンと平均肺動脈圧、全肺血管抵抗との関係。●：特発性肺動脈拡張症，△：心房中隔欠損症，○：上記以外の心疾患例。

図6. 特発性肺動脈拡張症例での血流パターン。肺高血圧例（図4）とはほぼ同様の血流パターンを示す。なお、拡張期に肺動脈弁閉鎖不全の逆流シグナルが見られる。

し、有意に低値であつた。

③ ドーム型とVないしW型の中間型を示した9例では、平均肺動脈圧、全肺血管抵抗のいずれも①、②両群の中間的な値を示した。

(2) 肺動脈基部レベル血流パターン

肺動脈基部レベルの中央ならびに後方寄りの領域において、収縮中期から拡張早期にかけて、駆出方向の血流成分に加えて逆方向の血流成分を認めるものがあつた（図4，ビームb，cのレベル3）。この逆方向成分は中央よりも後方領域において、より強い傾向があつた。

心疾患例38例中、このような逆方向成分を認めたのは18例で、11例では全くそれを認めなかつた。他の9例では逆方向成分の存否が明確でなく、ノイズとの判別が困難であつた。

この逆方向成分と平均肺動脈圧、全肺血管抵抗との関係を検討すると（図7），

① 逆方向成分を示した18例中、16例は平均肺動脈圧25mmHg以上の肺高血圧例であつた。他の2例は平均肺動脈圧18mmHgの僧帽弁膜症と、同じく11mmHgの特発性肺動脈拡張症（図5）とであつた。また、全肺血管抵抗は、特発性肺動脈拡張症の1例を除く17例でいずれも500dynes·sec·cm⁻⁵以上であつた。

図7. 肺動脈基部レベル中央から後方領域にかけて逆方向成分と平均肺動脈圧、全肺血管抵抗との関係。●：特発性肺動脈拡張症，△：心房中隔欠損症，○：上記以外の心疾患例。

② 逆方向成分を有しない11例では、平均肺動脈圧はいずれも31mmHg以下であり、全肺血管抵抗は全例600 $\text{dynes} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}^{-5}$ 以下であった。

③ 逆方向成分が明確に判定できなかった9例の平均肺動脈圧および全肺血抵抗は、上の①、②両群のほぼ中間的な値を示した。

(3) 右室流出路レベル血流パターン

右室流出路レベルでは前方寄り、中央、後方寄り、いずれの領域でも比較的丸味を帯びた血流パターンが見られた(図4, レベル1)。この傾向は、肺動脈弁口レベルでは直線的な減速、加速を示すV型ないしW型の血流パターンを示す例でも認められた。

(4) 肺動脈弁口レベルでのV型ないしW型の血流パターンと肺動脈基部レベルでの逆方向成分との関係

肺動脈基部での逆方向成分は、肺動脈弁口レベルでVないしW型を示した症例の全例に認められ、一方、ドーム型血流パターンを示したものでは全く検出されなかった。肺動脈弁口レベルで中間型の血流パターンを呈した13例では、その中の2例にのみ逆方向成分を認め、他の11例では逆方向成分の有無が明瞭でなかった。

II. 肺動脈弁口レベル血流パターンと肺動脈弁動態の関係

収縮期を通じ肺動脈弁エコーを連続して記録し得た心疾患10例についてみると、弁運動で収縮中期にノッチを有する例では、その血流パターンはW型を示し、収縮早期より閉鎖方向に向う弁運動を示す例では、血流パターンはV型を示した(図8)。肺動脈弁口レベルでドーム型血流パターンを示した例では、収縮期の肺動脈弁エコーを充分には記録し得なかった。

考 案

超音波パルス・ドブラ法による肺動脈血流の検出については、すでにJohnson⁴⁾, Bommer⁵⁾らの報告がある。しかし、これらの研究では血流検出部位のモニターとしてMモード心エコー図が用いられており、そのため、検出部位を精密に同定する

図8. 肺動脈弁口レベル中央領域での血流パターンと肺動脈弁後尖の動きとの関係。

上段: Mモード心エコー図, 中段: Mモード上の血流検出部位, 下段: ドブラ・シグナル。

ことは困難である。今回、我々は超音波パルス・ドブラ法と断層心エコー図法を組み合わせるにより、血流検出部位を心断層図上で二次元的に確認し、右室流出路から肺動脈に至る血流変化を部位別に検討し得た。しかし、分析可能な記録は特に健常者で約半数と少なかった。これは健常者や高齢者では超音波ビームが入りにくく、肺動脈を広く検索するのが困難なためである。今後、装置の改良により検出率はある程度改善するものと思われる。

1) 健常者における肺動脈血流パターン

健常者では、肺動脈弁口付近での駆出血流の流速は収縮中期にピークをもつドーム型のパターンを示した。このことは、大動脈弁口付近では血流流速のピークが収縮早期にあることとは異なっていた¹¹⁾。肺高血圧例では、血流流速のピークが収縮早期に現われる傾向のあったことも考慮すると、健常者における肺動脈と大動脈との血流パタ

ーンの相違は、右心系は低圧系であるのに対し、左心系は高圧系であることによるのかも知れない。見方を変えれば、肺動脈系と大動脈系の構造、局所的性質の差による血管系の抵抗、弾性などの状況が両者が全く異なることを示すものであろう。

肺動脈基部後方領域では両方向性の粗なシグナルを認めたが、これは両方向性であることからみて、血流と同時に肺動脈壁の振動をも記録した可能性が考えられる。

2) 肺高血圧例における肺動脈弁口レベル血流パターンとその成立機序について

肺高血圧例の肺動脈弁口部血流パターンはV型ないしW型を呈し、その血流流速のピークは収縮早期にあつた。すなわち、肺高血圧例では、駆出血流は健常者に比し早期に減速に移行しており、この意味で、血流全体としての振動性が増したとみうるパターンを示した。

田原ら¹²⁾は実験犬で、電磁流量計にて肺血流量パターンを検討し、急性の肺動脈圧上昇とともに二峰性の血流パターンとなることを報告している。これは急性実験であるが、その血流量パターンの変化は今回の駆出血流パターンの変化に類似している。このように、今回認められた肺動脈血流パターンの変化は肺高血圧そのものと密接に関連する可能性が考えられる。しかし、心房中隔欠損症の1例でも見られたように肺動脈圧が高くて、全肺血管抵抗が正常範囲の例では、血流パターンは健常者と同様にドーム型を示した。このことから見て、肺高血圧例での血流パターンの変化には、全肺血管抵抗の増大が基本的には重要な要素をなすものと考えられる。

一般に血管系の血流の状況は、しばしばRC回路(R: 抵抗, C: 容量)で近似して考えられる。RC回路では一般に、抵抗、容量いずれが大となつても振動性が増す。このことから見ても、肺高血圧例で血流パターンが振動性を増すのは抵抗の増加によるものと推論し得る。

従来、肺高血圧の症例では、Mモード心エコー

図で肺動脈弁は早期閉鎖の傾向のあることが報告されているが^{13)~16)}、以上のような血流状況の変化に対応するものと考えられる。

一方、特発性肺動脈拡張症の1例では平均肺動脈圧や全肺血管抵抗が正常にもかかわらず、W型の血流パターンを呈した。すなわち、肺動脈圧や全肺血管抵抗の上昇だけでなく、肺動脈拡大など局所の形態変化も、血流パターンに変化を来す要因の一つと考えられる。特発性肺動脈拡張症では肺高血圧類似の肺動脈弁動態が知られているが^{17) 18)}、このような血流パターンに対応するものと言える。

3) 肺高血圧例における肺動脈基部レベル血流パターンとその成立機序について

肺高血圧例、全肺血管抵抗の高い例で、肺動脈基部レベルの中央から後方寄りの領域にて、収縮中期から拡張早期にかけて駆出とは逆方向の血流成分が高率に記録された。このような逆方向成分は、肺動脈の後方寄りになるほど強い傾向にあり、前方寄りの領域ではほとんど認められなかつた。このことから、肺動脈後方領域では収縮期に反転血流のあることが推測される。小泉らによるコントラスト・エコー法による研究でも、肺動脈基部に逆方向成分が認められている¹⁹⁾。これはおそらく、今回の研究の逆方向成分と同一のものであろうと考えられる。

本来、右室流出路より肺動脈にかけての流路は後方に弯曲している。そのため、肺動脈弁口より急速に駆出される血流には流路の後方寄りに流線の剝離を生じ、渦流を生じることが予想される。これを示唆する現象は、すでに弁の動態に見られる。著者らの経験によれば、肺動脈弁が前、後尖とも同時に記録できた症例では、後尖は早く閉鎖方向に向つたが、前尖は全駆出期を通じ、全開放を示した(図9)。このことから、肺動脈基部付近における血流動態が前後非対称であることが示唆される。

肺高血圧例の場合は、肺高血圧による肺動脈基部の後方への弯曲度の増強や肺動脈の拡張傾向に

図 9. 肺高血圧例における肺動脈弁のMモード心エコー図。後尖は収縮早期より閉鎖方向に向うのに対し、前尖は駆出期を通じ、全開放している。

よる局所の血流様相，加えて上述のように流れが振動性を増すことなどが，肺動脈基部後方領域の渦流のような流れの出現を助長するものと考えられる。

肺動脈拡張症では，肺動脈弁口から広い肺動脈基部内へ血流が噴流として吹き出され，その結果，管腔の周辺で渦流を生じ，さらに肺動脈の後方への湾曲も加味して，特に後方寄りの領域で強い逆方向成分が検出されることが予想される。そのことは，1例ではあつたが今回の症例における観察によつて示されたと言えよう。

総 括

超音波パルス・ドプラ法と断層心エコー図とを組み合わせ用いることにより，後者によつて血流検出部位を確認しつつ，肺動脈弁付近の収縮期血流パターンを検索し，以下の結論を得た。

1) 健常者の肺動脈弁口部ないし肺動脈基部での血流パターンは，収縮中期で最も速いドーム型のパターンで，かつ，各瞬間においては比較的均一な速度成分で流れる。

2) 肺高血圧例では，肺動脈弁口付近を中心とする収縮期の流速は比較的早く減速に向う。このことは，肺高血圧と，またさらに全肺血管抵抗上昇と，より密接な関係が認められる。

3) 肺高血圧例では肺動脈基部中央から後方寄りの領域で，収縮後期に駆出とは逆方向の血流成

分が高率に記録された。これは，当該部位における渦流など流れの乱れによるものと考えられる。

4) 肺高血圧時の肺動脈後尖のエコー・パターンと血流状況との間には，密接な対応が認められる。

5) 特発性肺動脈拡張症も1例観察した。この症例では肺高血圧はなかつたが，一見，肺高血圧例に類似の血流パターンが見られた。これは局所の形態的变化に基づく血流の乱れと解される。

この研究は一部昭和54年度厚生省循環器病研究委託費（肺高血圧並びに右心障害の診断の体系化に関する研究）ならびに昭和54年および55年度文部省科学研究費補助金 試験研究（2）No. 487094によつたことを付記する。

文 献

- 1) Baker DW: Pulsed ultrasonic Doppler blood flow sensing. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonic 3 (Suppl. 17): 170, 1970.
- 2) Peronneau P, et al: Pulsed Doppler ultrasonic flowmeter and flow patterns analysis. Roberts C, ed. Blood Flow Measurement, Senter Publishing Ltd, London, 1972, p24.
- 3) Baker DW, et al: Pulsed Doppler echo cardiography, principles and applications. Amer J Med 63: 69, 1977.
- 4) Johnson SL: Pulse-Doppler echocardiography, localization of murmurs and spectrum of clinical applications. Mason DT, ed. Advances in Heart Disease 1, Grune & Stratton Inc, New York, 1977, p389.
- 5) Bommer WJ, et al: Current status of pulse-Doppler ultrasound in clinical cardiology. Mason DT, ed. Advances in Heart Disease 2, Grune & Stratton Inc, New York, 1978, p115.
- 6) 古幡 博: 超音波パルス・ドプラ血流計。電子医学 11: 225, 1976.
- 7) 中塚喬之, 他: 超音波パルス・ドプラ血流計の臨床応用。電子医学 11: 255, 1976.
- 8) Nimura Y, et al: Studies on the intracardiac blood flow with a combined use of the ultrasonic pulsed Doppler technique and two-dimensional echocardiography from a transcutaneous approach. White D, Brown RE, ed. Ultrasound in Medicine, Plenum Press, New York, 1977, p1279.
- 9) 宮武邦夫, 他: 大動脈弁閉鎖不全症における心

- 臓内血流パターンについて. 第34回日超医論文
集: 13, 1978.
- 10) 宮武邦夫, 他: 僧帽弁閉鎖不全症における逆流
の超音波パルス・ドプラ法, 断層法併用によ
る検討. *J Cardiography* 9: 241, 1979.
 - 11) 宮武邦夫, 他: 大動脈起始部ならびに肺動脈起
始部の血流流速パターンの差異について. *脈管
学* 18: 791, 1978.
 - 12) 田原 稔, 他: 実験的肺高血圧症における収縮
期肺動脈弁エコーパターンの検討, 肺動脈血流
量波形との相関. *超音波医学* 6: 168, 1979.
 - 13) Weyman AE, et al: Echocardiographic pat-
terns of pulmonic valve motion with pul-
monary hypertension. *Circulation* 50: 905,
1974.
 - 14) Nanda NC, et al: Echocardiographic evalua-
tion of pulmonary hypertension. *Circulation*
50: 575, 1974.
 - 15) 大脇 嶺, 他: 心エコー図による肺高血圧症診
断の問題点. *呼吸と循環* 25: 247, 1977.
 - 16) Hada Y, et al: Echocardiogram of the pul-
monary valve, variability of the pattern and
the related technical problems. *Jap Heart J*
18: 298, 1977.
 - 17) Bauman W, et al: Mid systolic notching of
the pulmonary valve in the absence of pul-
monary hypertension. *Amer J Cardiol* 43:
1049, 1979.
 - 18) Asayama J, et al: Echocardiographic find-
ings of idiopathic dilatation of the pulmonary
artery. *Chest* 71: 671, 1977.
 - 19) 小泉克己, 他: コントラストエコー法による肺
動脈血流パターンと流速の推定について. *超音
波医学* 6: 9, 1979.