

超音波パルス・ドップラー法
による僧帽弁流入血流の規
定因子に関する検討

Transmitral flow velocity
patterns as influenced
by preload, afterload
and heart rate altera-
tions: Pulsed Doppler
echocardiographic study

竹内 素志
門中 博義
塚本 卓也
林 孝俊
富本 忍
小武 道雄
横田 慶之
福崎 恒

Motoshi TAKEUCHI
Hiroyoshi MONNAKA
Takuya TSUKAMOTO
Takatoshi HAYASHI
Shinobu TOMIMOTO
Michio ODAKE
Yoshiyuki YOKOTA
Hisashi FUKUZAKI

Summary

The influences of preload, afterload and heart rate alterations on the pattern of left ventricular filling were investigated using pulsed Doppler echocardiography (PDE) in humans. Transmitral flow at the level of the valvular tip was recorded during dextran infusion, lower body negative pressure, angiotensin II infusion, and atrial and atrioventricular sequential pacings. Peak velocity of rapid filling (R), peak velocity of atrial contraction (A), the ratio of peak velocities (A/R), flow velocity integrals of the rapid filling phase (IR) and atrial contraction (IA) were obtained.

PDE and the measurement of hemodynamics during lower body negative pressure (0, -10 mmHg, -20 mmHg) and dextran infusion (100 ml, 200 ml) were studied in 22 patients with ischemic heart disease. R decreased significantly after lower body negative pressure, and increased significantly during dextran infusion.

Before and during angiotensin II infusion, PDE and the measurement of hemodynamics were studied in 14 patients with ischemic heart disease. The patients were categorized into 2 subgroups according to left ventricular function. During afterload stress, the A/R and IA increased in patients with normal left ventricular function; whereas, the A/R decreased in patients with poor left ventricular function.

PDE was recorded during right atrial and atrioventricular sequential pacings at the heart rates of 60 to 100 beats/min in 29 patients with ischemic heart disease. When the heart rates increased, R

神戸大学医学部 第一内科
神戸市中央区楠町 7-5-1 (〒650)

The First Department of Internal Medicine, Kobe
University School of Medicine, Kusunoki-cho 7-5-1,
Chuo-ku, Kobe 650

Received for publication March 3, 1990; accepted October 20, 1990 (Ref. No. 36-K27)

decreased during atrial and atrioventricular sequential pacings. The A increased after the occurrence of the summation between the rapid and atrial filling waves. The A/R gradually increased with incremental heart rate. These results indicate that changes in the preload alter the peak velocity of left ventricular filling pattern of transmitral flow. The effects of the increasing afterload depend on the basal left ventricular function, with an increase in the peak velocity of atrial contraction being observed in the presence of normal left ventricular function. Both the peak velocity of rapid filling and atrial contraction were related to the heart rate and atrioventricular conduction delay. In assessing left ventricular filling dynamics using PDE, the influence of the preload, afterload and heart rate must be considered.

Key words

Preload Afterload Heart rate Pulsed Doppler echocardiography Transmitral flow

はじめに

超音波パルス・ドップラー法による僧帽弁流入血流の観察は、虚血性心疾患をはじめ、各種病態の評価に有用であるとされている¹⁻⁶⁾。この拡張早期の僧帽弁流入血流に直接影響を及ぼす因子として左室弛緩特性や左房-左室圧較差が知られているが、前負荷・後負荷・心拍数等の生理学的因子の影響に関する知見はまだまだ乏しい⁷⁻¹⁰⁾。本研究では、虚血性心疾患を対象に、(検討 1) 前負荷の影響を知る目的で下半身を密閉した容器に入れて陰圧を加える lower body negative pressure (LBNP) 負荷時、および dextran 投与時の僧帽弁流入血流パターンについて、(検討 2) 後負荷の影響を知る目的で、angiotensin II 投与時の僧帽弁流入血流パターンについて、(検討 3) 心拍数の影響を知る目的で、心房-心室順次ペーシングおよび心房ペーシング時の僧帽弁流入血流パターンについて検討した。

対象および方法

(検討 1)

対象は虚血性心疾患 22 例 (男性 15 例, 女性 7 例), 平均年齢は 55 歳である。前負荷増大時の影響を知る目的で 14 例を対象に dextran 100, 200 ml を 2 段階で急速静注し、僧帽弁流入血流パターンの変動を観察した。また前負荷低下時の影響を知る目的で 8 例を対象に LBNP を用いて下半身に -10, -20 mmHg の陰圧を加え、僧帽弁流入血

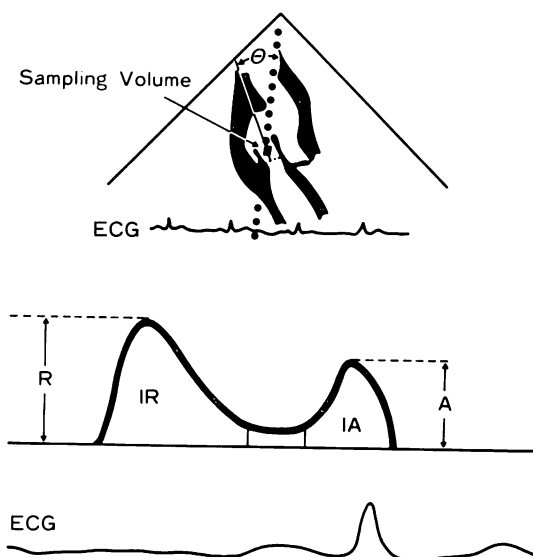


Fig. 1. Schematic drawings of two-dimensional echocardiogram showing the position of sampling volume (upper), and pulsed Doppler velocity curve pattern derived from the left ventricular inflow tract (lower) illustrating the measurement method.

R=peak filling velocity in the rapid filling phase; A=peak filling velocity in the atrial systolic phase; IR=flow velocity integral of the rapid filling phase; IA=flow velocity integral of the atrial contraction phase.

流パターンの変動を観察した。全例洞調律で僧帽弁閉鎖不全合併例は除外した。僧帽弁流入血流の測定には超音波パルス・ドップラー装置 (東芝製 SSH40A / SDS21A および SSH65A) を用い

た¹¹⁾。パルス・ドップラー装置は発振周波数 2.4 MHz, パルス繰返し周波数 4 KHz を使用した。被検者を仰臥位にし心尖部アプローチを行ない、僧帽弁口部をサンプリングポイントとし、ドップラー用超音波ビームを左室流入路に対し入射角 θ が最小 ($\theta < 20^\circ$) となるように入射した。左室流入血流速度波形は紙送りスピード 100 mm/sec で記録した。左室流入血流速度波形の各計測項目を Fig. 1 に示す。急速流入期最大速度 R, 心房収縮期最大速度 A, およびその比 A/R を求めた。また急速流入期の flow velocity integral (IR) ならびに心房収縮期の flow velocity integral (IA) を planimeter にて求め、さらに心房収縮寄与の指標として $IA/(IR+IA)$ を算出した¹²⁾。記録は半呼吸で行ない、各計測値は連続 5 心拍の平均値とした。超音波パルス・ドップラー法の記録と同時に、Swan-Ganz カテーテルによる血行動態の観察を行なった。

(検討 2)

虚血性心疾患 14 例を対象とし、左室造影より求めた左室駆出率 (LVEF) より、左室機能正常群 (I 群: 7 例, mean LVEF 65%), 左室機能低下群 (II 群: 7 例, mean LVEF 43%) の 2 群に分類し、後負荷増大時の僧帽弁流入血流パターンの変動を観察した¹³⁾。超音波パルス・ドップラー法の観察は検討 1 と同様に行なった。同時に Swan-Ganz カテーテルと Millar 製カテ先マノメーターにより血行動態の観察を行ない、左室等容拡張期圧降下の時定数 T を求めた¹³⁾。後負荷を増大させる目的で、angiotensin II の点滴静注を 4 ng/kg/min より開始し、4~5 分おきに倍増させ (~32 ng/kg/min), 大動脈収縮期圧が負荷前値に比し、30% 増加するまで投与した。Angiotensin II 投与前後で超音波パルス・ドップラー法と血行動態の観察を行なった。

(検討 3)

虚血性心疾患 24 例, 正常例 5 例を対象とし、心拍数の僧帽弁流入血流パターンに及ぼす影響を観察した。対象の平均年齢は 55 歳, 男性 22 例, 女

性 7 例である。超音波パルス・ドップラー法の観察は検討 1 と同様に行なった。心拍数の影響を知る目的で、心房ペーシングを行なった。心房ペーシングは心拍数 60/min または 70/min から 100/min まで 10 心拍ずつ増加させ、それぞれの心拍数で僧帽弁流入血流パターンを観察した。また心房-心室順次ペーシングは刺激間隔を 160 msec に保ち、心房ペーシングと同様に行なった。

統計学的解析法

結果は平均値+標準偏差で示し、統計学的解析は Student's t-test を用い、危険率 0.05 未満を有意とした。

結 果

(検討 1)

Dextran 投与後、収縮期血圧、心拍数の有意な変化はなかったが、肺毛細管圧、心房圧、一回心拍出係数の増加を認めた (Table 1)。ドップラー指標では急速流入期最大速度 R の増加を認めたが、心房収縮期最大速度 A は変化しなかった。安静時、dextran 100 ml 投与後、200 ml 投与後の僧帽弁流入血流パターン変化の実例を Fig. 2 に示す。LBNP にて収縮期血圧、心拍数の有意な変化はなかったが、肺毛細管圧、心房圧、一回心拍出係数は減少を示した (Table 2)。Fig. 3 に安静時、LBNP -10 mmHg, -20 mmHg 僧帽弁流入血流パターンの実例を示す。急速流入期最大速度 R は減少したが心房収縮期最大速度 A は変化を示さなかった。

(検討 2)

Angiotensin II 負荷前の血行動態は、I, II 群間で有意差を認めなかった。Angiotensin II 負荷にて平均肺動脈圧、肺毛細管圧、左室拡張末期圧、全身血管抵抗はそれぞれ両群で有意に上昇した。一回心仕事係数 SWI は I 群で有意に増加し、II 群では不変であった (Table 3)。Angiotensin II による一回心仕事係数 SWI の増加に対する左室拡張末期圧 LVEDP の増加の比 ($\Delta SWI/\Delta LVEDP$) は、II 群 (0 ± 0.6) に比し、I

Table 1. Comparison of hemodynamic and echocardiographic variables during infusion of dextran

	Control	Dex 100 ml	Dex 200 ml
HR (beats/min)	68.1±9.4	66.6±9.2	67.4±7.2
SBP (mmHg)	138.5±22.1	143.4±22.0	143.8±18.9
LVDd (mm)	47.4±4.2	47.9±4.3*	48.2±4.7**
PCWP (mmHg)	7.9±3.0	11.4±3.4**	14.2±3.4**
RAP (mmHg)	5.0±1.6	6.7±2.1**	8.2±2.5**
SVI (ml/beat·m)	44.5±8.4	48.9±9.3**	52.1±9.1**
R (cm/sec)	53.5±7.5	57.8±10.0*	60.0±10.6**
A (cm/sec)	54.3±9.8	54.6±7.9	54.9±9.4
A/R	1.04±0.28	0.97±0.24	0.92±0.27

Values are mean±SD.

HR=heart rate; SBP=systolic blood pressure; LVDd=left ventricular end-diastolic dimension; PCWP=mean pulmonary capillary wedge pressure; RAP=mean right atrial pressure; SVI=stroke volume index; A/R=ratio of peak velocities; Dex=dextran. For other abbreviations: see Fig. 1.

* p<0.05, ** p<0.01 (vs control).

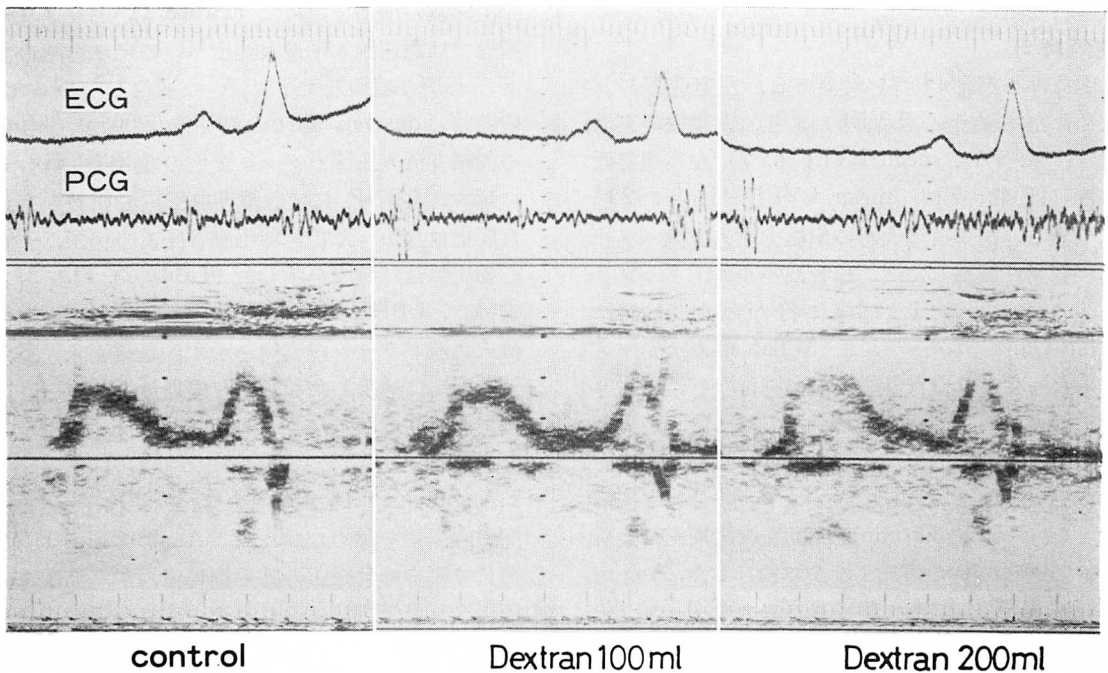


Fig. 2. Pulsed Doppler echocardiograms of transmitral flow velocity on electrocardiogram (ECG) and phonocardiogram (PCG) during infusion of dextran.

Table 2. Comparison of hemodynamic and echocardiographic variables during lower body negative pressure (LBNP)

	Control	LBNP	
		-10 mmHg	-20 mmHg
HR (beats/min)	67.8±10.0	67.8±11.1	66.8±10.5
SBP (mmHg)	144.1±12.0	146.5±12.4	146.6±14.1
LVDd (mm)	50.5±7.0	49.3±7.2*	47.9±7.0**
PCWP (mmHg)	9.1±5.0	7.0±4.3	5.9±3.7**
RAP (mmHg)	2.2±2.1	1.2±1.5	0.5±1.1*
SVI (ml/beat·m)	45.0±6.4	40.7±4.8	40.4±3.9

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ (vs control). For abbreviations: see Table 1.

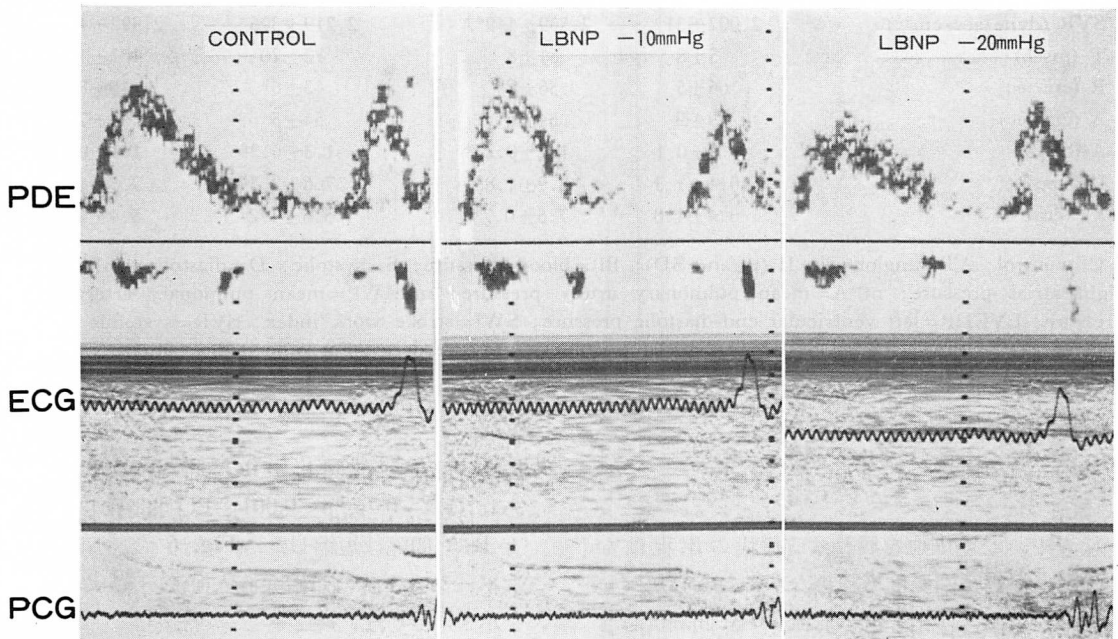


Fig. 3. Pulsed Doppler echocardiograms (PDE) of transmitral flow velocity with electrocardiogram (ECG) and phonocardiogram (PCG) during lower body negative pressure (LBNP).

群 (0.8 ± 0.4) で有意に大であった。ドップラー指標では、急速流入期最大速度 R は負荷前、I 群が II 群に比し大であった。Angiotensin II 後は両群とも変化を認めなかった。心房収縮期最大速度 A は負荷前有意差を認めなかったが、angiotensin II 負荷後 I 群では有意に増大した。Flow

velocity integral による指標では、急速流入期の IR は負荷例 I 群が II 群に比し大であったが、angiotensin II 後は I 群にて有意に減少した。また心房収縮期の IA は I 群で有意に増大した。心房収縮寄与の指標 $IA/(IR+IA)$ は I 群で有意に増大した。Fig. 4 に angiotensin II 負荷前後

Table 3. Hemodynamic and echocardiographic parameters before and during afterload stress

	Group I		Group II	
	C	AT	C	AT
BP (mmHg) (S)	129±9	170±13***	132±21	169±22***
(D)	72±6	92±16**	69±22	97±15***
HR (beats/min)	71±4	72±6	69±5	71±8
mRA (mmHg)	4±2	4±3	3±2	4±2
mPA (mmHg)	15±4	19±5*	13±1	21±6*
mPAWP (mmHg)	8±2	15±4**	9±2	15±4**
LVEDP (mmHg)	9±2	20±4***	11±3	21±4***
SVI (ml/beat/m ²)	49.9±4.7	49.8±4.5	48.3±5.5	46.5±6.3
SWI (gm/m ²)	52.6±7.5	59.0±8.8**	49.8±7.2	50.8±6.8#
SVR (dyne·sec·cm ⁻⁵)	2,002±31	2,569±449**	2,219±396	2,892±489**
T (msec)	5±8	61±8	72±20	102±14****#
R (cm/sec)	66±5	56±8	43±6#	46±8##
A (cm/sec)	49±9	64±6**	54±5	52±7##
A/R	0.8±0.1	1.2±0.2**	1.3±0.2#	1.1±0.2*
IR (cm)	10.4±1.3	8.9±1.8**	7.6±2.3##	7.5±1.9#
IA (cm)	6.4±1.0	7.5±0.7**	5.6±1.2	5.4±1.9

C=control; AT=angiotensin II (mean±SD); BP=blood pressure; S=systolic; D=diastolic; mRA=mean right atrial pressure; mPA=mean pulmonary artery pressure; mPAWP=mean pulmonary artery wedge pressure; LVEDP=left ventricular end-diastolic pressure; SWI=stroke work index; SVR=systemic vascular resistance; T=time constant of left ventricular isovolumic pressure decay. For other abbreviations: see Fig. 1 and Table 1.

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.005 (vs control), # p<0.05 (vs Group I), ## p<0.01 (vs Group I).

の僧帽弁流入血流パターンの実例を示す。

(検討 3)

検査中, 心筋虚血を疑わせる症状の出現はなく, 虚血性心電図変化も認めなかった. 心房ペースングにより, 僧帽弁流入血流 R-A 間隔は急速に短縮したが, 心電図上の PQ 間隔は延長した. 急速流入期最大速度 R は心拍数増加につれ徐々に低下した. 心房収縮期最大速度 A は心拍数が 70 以上に増加すると急速に増大した. Fig. 5 に心房ペースング時の僧帽弁流入血流パターンの変化を示す. 心房-心室順次ペースングでは心拍数増加時の R-A 間隔の短縮は心房ペースングに比しより緩徐であったが, 心拍数の増加に伴い急速流入期最大速度 R は減少し, 心房収縮期最大速度 A は増加した. 僧帽弁流入血流パターンにおける

R-A 間隔は心電図上の PQ 間隔と逆相関が認められ (r=-0.76, p<0.001), PQ 間隔が延長すると R-A 間隔は短縮した. Fig. 6 に心房-心室順次ペースング時の僧帽弁流入血流パターンの変化を示す.

Table 4 は以上の成績の総括である.

考 按

僧帽弁流入血流パターンの解析から, 急速流入期最大速度 R, 心房収縮期最大速度 A が求められ, その比 (A/R) が拡張機能を反映する指標として, その有用性が報告されてきた¹⁴⁻²¹⁾. さらにドップラー波形を積分した値の変化が流入量と比例することから, 本研究では流入速度の指標に加え, 得られた各時相の積分値を流量の指標として

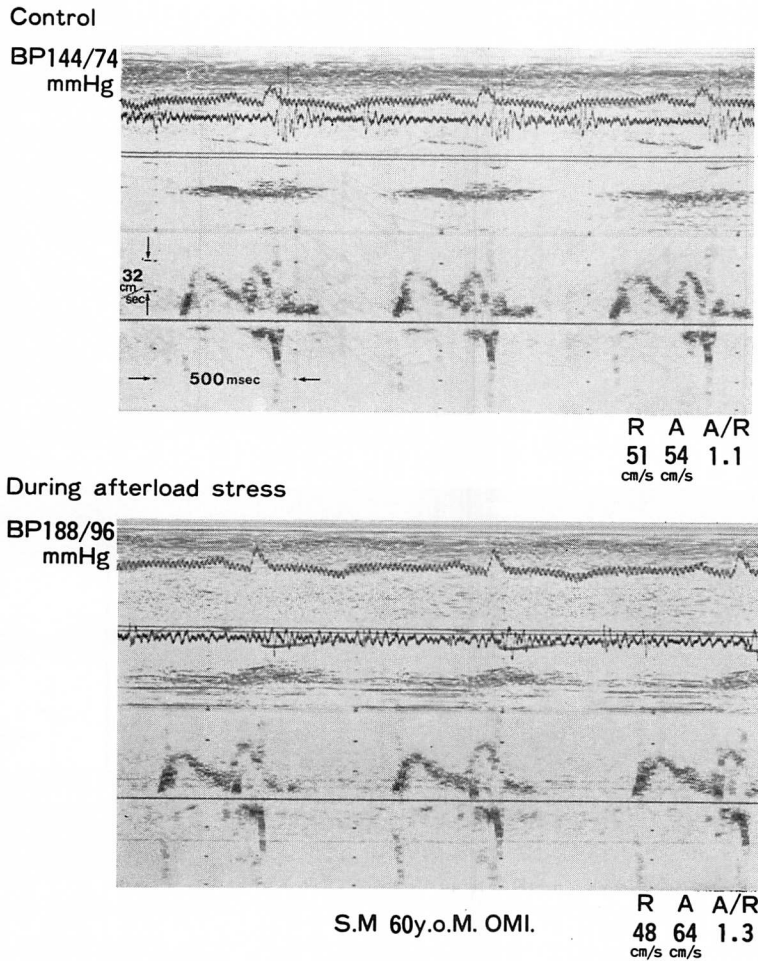


Fig. 4. Pulsed Doppler echocardiograms before and during angiotensin II infusion.
For abbreviations: see Tables 1, 3 and Fig. 1.

求め、僧帽弁流入血流に及ぼす前負荷・後負荷・心拍数の影響を検討した²²⁾。

下半身陰圧法 LBNP により左室拡張末期径は減少し、肺動脈楔入圧、右房圧、一回拍出係数が減少し、ドップラー指標では急速流入期最大速度 R の減少を認めたが、心房収縮期最大速度 A は変化しなかった。Dextran 容量負荷により、左室拡張末期径、肺動脈楔入圧、右房圧、一回拍出係数が増加し、ドップラー指標では急速流入期最大速度 R の増加を認めたが、心房収縮期最大速度 A は変化しなかった。Takeuchi らは左室造影法を

用いて、ニトログリセリン投与時の拡張早期流入の低下を報告した²³⁾。Yellin らは麻酔開胸犬を用いて僧帽弁流入血流が左房圧に依存し、容量負荷にて左房圧の上昇と僧帽弁流入血流最大速度の増加を認めることを報告している^{9,10)}。本研究ではヒトにおいてパルス・ドップラー法からみた僧帽弁流入血流は、心房圧の変化と同様に、前負荷の増減に一致して、急速流入期最大速度 R が段階的に変動した。すなわち急速流入期最大速度は前負荷依存性であることが示唆された。

左室機能が正常な I 群と低下した II 群では

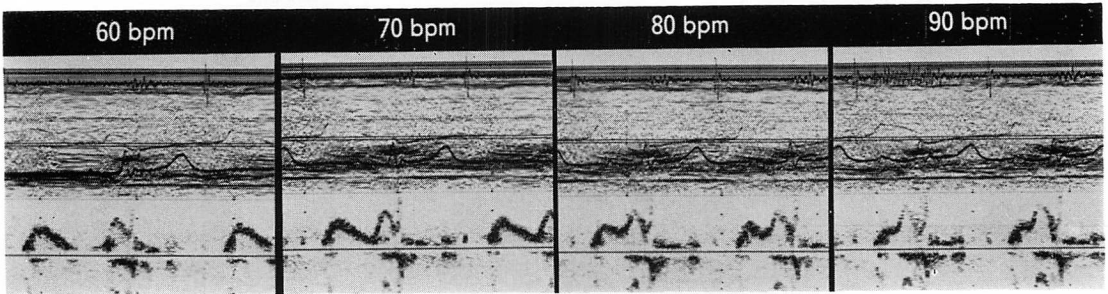
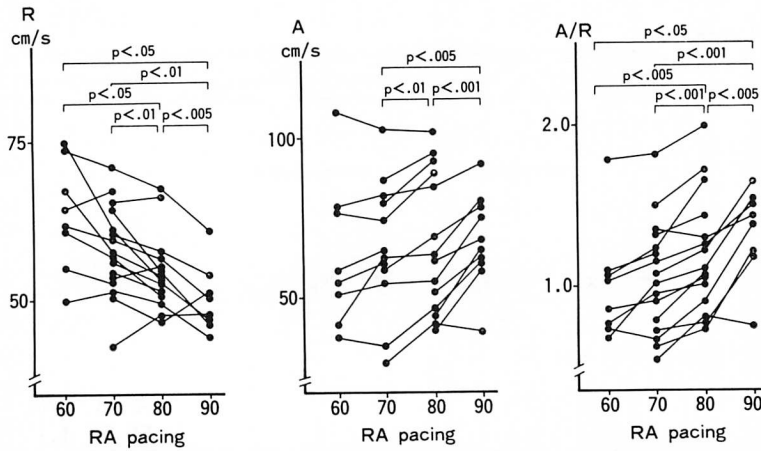


Fig. 5. Effects of heart rates on Doppler-derived indices during right atrial (RA) pacing.

angiotensin II 負荷時の血行動態の反応が異なった。すなわち Δ SWI/ Δ LVEDP の変化から, I 群では心予備能が大であり, 一方, II 群ではこれが小と考えられた。また弛緩特性の指標である等容拡張期圧降下の時定数 T は, II 群で有意に延長した。ドップラー指標では I 群は angiotensin II による後負荷増大に対して心房収縮期最大速度 A および A/R, ならびに flow velocity integral より求めた心房収縮期の比率 $IA/(IR+IA)$ はいずれも増大し, 心房収縮の寄与の増大がみられた。一方, 左心機能が低下した II 群では, I 群に比し急速流入期最大速度 R, および flow velocity integral IR が低値で, 拡張早期流入障害と相対的な心房収縮亢進状態が安静時に既に存在すると考えられた。Angiotensin II による後負荷増大時には心房収縮期最大速度 A は不変, A/R

は減少した。これは後負荷増大時の弛緩障害の増悪および心房収縮の限界が出現するため, さらに心機能低下をきたしたと推察された。心筋梗塞では左房収縮の役割の重要性が以前から報告されているが, Greenberg らは左室機能低下例中肺動脈楔入圧上昇をみる例で, 心房収縮の心拍出量に対する効果は減少することを示している²⁴⁻²⁶。すなわち後負荷に対する僧帽弁流入血流速度は左心機能に依存しており, 後負荷増大時に出現する弛緩障害および左房圧上昇の程度により変化すると考えられた。

心房ペースングによる心拍数増加に応じて急速流入期最大速度 R は減少し, A/R は増加した。心拍数増加の結果, 心室充滿時間の短縮, 左室流入量の減少および左房圧の低下をきたし, 急速流入速度が減少するものと考えられた。心房収縮期

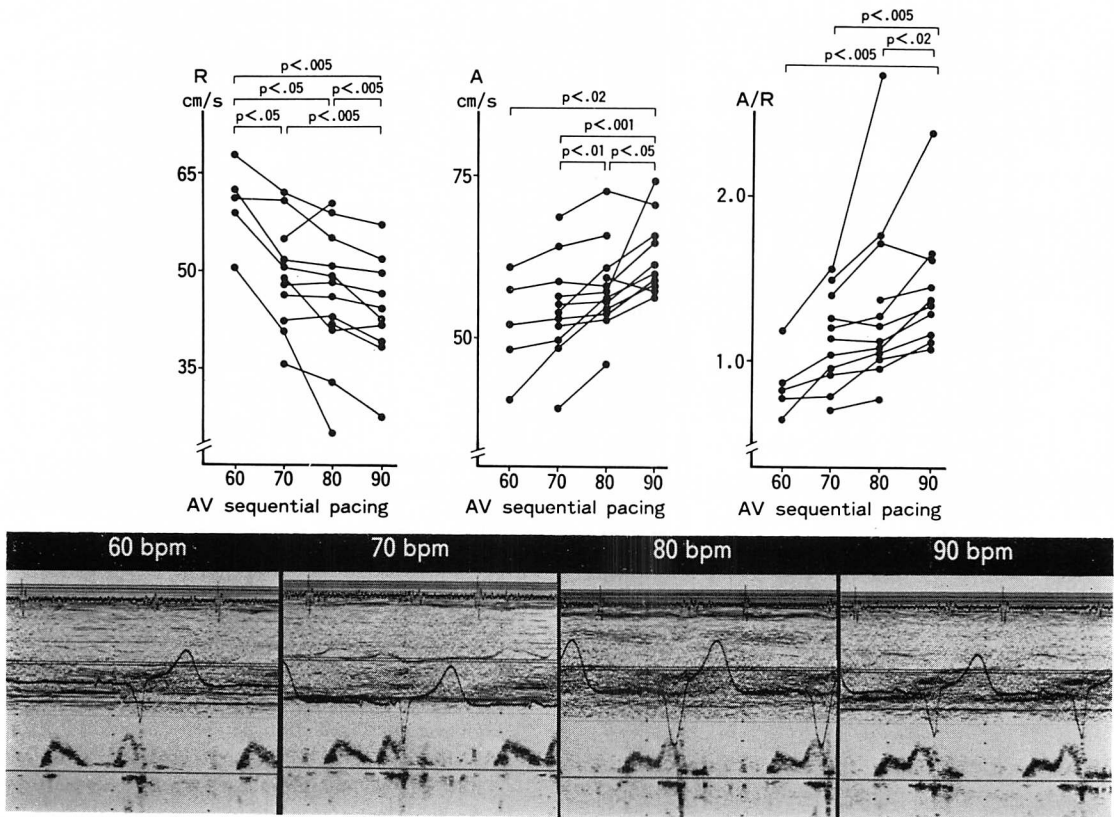


Fig. 6. Effects of heart rates on Doppler-derived indices during atrioventricular (AV) segmental pacing.

Table 4. Summary of results

	R	A	A/R
Preload	↑	↑	~
	↓	↓	~
Afterload	↑	~ ↓	↑
Heart rate	↑	↓	↑
AV delay	↑	~	↑

Abbreviations: see Figs. 1, 6 and Table 1.

最大速度 A は、心拍数増加により、R 波と A 波の重合が出現すると急速に増大した。心房-心室順次ペーシングでは、心房ペーシング時に比し、R 波と A 波の重合の時期が遅延するため、A の増高は軽度であった。Nolan らと Freedman ら

は、僧帽弁流入血流の心房収縮時の速度は心拍数と心電図上の PQ 間隔に影響されると報告した²⁷⁻²⁹⁾。心房収縮期最大速度 A の増大は、心拍数増加による R と A の重合に加え、房室伝導時間延長による心房の前負荷増大によると考えられた。

結 論

超音波パルス・ドップラー法は、非観血的に 1 心拍ごとの僧帽弁流入血流動態を観察し得るため、正常心や病的心の左室拡張能の評価に極めて有用と考えられる。本研究の結果より、超音波パルス・ドップラー法によるヒトの僧帽弁流入血流パターンは、前負荷・後負荷・心拍数の各生理学

的要因によりそれぞれ異なる影響を受けることが明らかとなった。

したがって左室流入動態の評価に超音波パルス・ドップラー法を用いる際は, 心負荷条件および心拍数, 房室伝導時間を考慮に入れることが極めて重要と考えられた。

要 約

超音波パルス・ドップラー法を用い, 僧帽弁流入血流パターンに及ぼす前負荷・後負荷・心拍数の影響について検討した。

虚血性心疾患 22 例を対象に dextran 100, 200 ml を急速静注, または下半身を密閉した容器に入れ陰圧を加える lower body negative pressure を用いて前負荷を変動させ, 僧帽弁流入血流を観察した。虚血性心疾患 14 例を対象に angiotensin II を静注し, 後負荷増大時の僧帽弁流入血流を観察した。虚血性心疾患 24 例, 正常例 5 例を対象に心房-心室ペーシングを行ない, 心拍数増大時の僧帽弁流入血流を観察した。得られた僧帽弁流入血流波形より急速流入期最大速度 R, 心房収縮期最大速度 A およびその比 A/R を求めた。また急速流入期の flow velocity integral (IR) ならびに心房収縮期の flow velocity integral (IA) を planimeter にて求め, $IA/(IR+IA)$ を算出した。一部の例では超音波パルス・ドップラー法と同時に血行動態の観察を行なった。

Dextran 投与後, 肺毛細管圧, 心房圧, 一回心拍出係数は増加した。ドップラー指標では急速流入期最大速度 R が増大した。Angiotensin II 投与後, 平均肺動脈圧, 肺毛細管圧, 左室拡張末期圧, 全身血管抵抗は増加した。心機能良好群で心仕事係数が増加し, ドップラー指標の心房収縮期最大速度 A, flow velocity integral による $IA/(IR+IA)$ が増大した。心房-心室順次ペーシングによる心拍数増加時には, 急速流入期最大速度 R の減高, 心房収縮期最大速度 A の増大を認めた。

前負荷の増減に伴い, 急速流入期最大速度 R が段階的に変動した。一方, 後負荷増大に対する僧

帽弁流入血流速度パターンは左室機能に依存して変動し, 正常左室機能例では心房収縮期最大速度 A が増大した。心拍数増加時には急速流入期最大速度 R, 心房収縮期最大速度 A の両者の変化がみられた。すなわち僧帽弁流入血流は, 心負荷条件および心拍数の差異によりその応答が異なることが示され, 超音波パルス・ドップラー法による心機能評価には, 各要因を考慮することが重要と考えられた。

文 献

- 1) Kitabatake A, Inoue M, Asao M, Tanouchi J, Masuyama T, Abe H, Morita H, Senda S, Matsuo H: Transmitral blood flow reflecting diastolic behavior of the left ventricle in health and disease: A study by pulsed Doppler technique. *Jpn Circ J* 46: 92-102, 1982
- 2) Rokey R, Kuo LC, Zoghbi WA, Limacher MC, Quinones MA: Determination of parameters of left ventricular diastolic filling with pulsed Doppler echocardiography: Comparison with cineangiography. *Circulation* 71: 543-550, 1985
- 3) Fisher DC, Voyles WF, Sikes W, Greene ER: Left ventricular filling patterns during ischemia: An echo/Doppler study in open chest dogs. *J Am Coll Cardiol* 5: 426, 1985 (abstr)
- 4) Toda C, Fujitani K, Tamasaki T, Takeuchi M, Fukuzaki H: Pulsed Doppler echocardiographic assessment of beat-by-beat changes in left ventricular rapid filling during angina. *Circulation* 72: (Suppl): III-59, 1985 (abstr)
- 5) Fujii J, Yazaki Y, Sawada H, Aizawa T, Watanabe H, Kato K: Noninvasive assessment of left and right ventricular filling in myocardial infarction with a two-dimensional Doppler echocardiographic method. *J Am Coll Cardiol* 5: 1155-1160, 1985
- 6) Spirito P, Maron BJ, Bonow RO: Noninvasive assessment of left ventricular diastolic function: Comparative analysis of Doppler echocardiographic and radionuclide angiographic techniques. *J Am Coll Cardiol* 7: 518-526, 1986
- 7) Magorien DJ, Shaffer P, Bush CA, Magorien RD, Kolibash AJ, Unverferth DV, Bashore TM: Hemodynamic correlates for timing intervals, ejection rate and filling rate derived from the radionuclide angiographic volume curve. *Am J*

- Cardiol **53**: 567-571, 1984
- 8) Magorien DJ, Shaffer P, Bush CA, Magorien RD, Kolibash AJ, Leier CV, Bashore TM: Assessment of left ventricular pressure-volume relations using gated radionuclide angiography, echocardiography, and micromanometer pressure recordings: A new method for serial measurements of systolic and diastolic function in man. *Circulation* **67**: 844-853, 1983
 - 9) Yellin EL, Sonnenblick EH, Frater RWM: Dynamic determinants of left ventricular filling: An overview. *in* *Cardiac Dynamics* (ed by Baan J, Arntzenius AC, Yellin EL). Martinus Nijhoff, London, 1980, p 145
 - 10) Ishida Y, Meisner JS, Tsujioka K, Gallo JI, Yoran C, Frater RWM, Yellin EL: Left ventricular filling dynamics: Influence of left ventricular relaxation and left atrial pressure. *Circulation* **74**: 187-196, 1986
 - 11) Tsukamoto T, Takeuchi M, Fukuzaki H: Effects of lower body negative pressure and volume loading on transmitral flow velocity pattern by pulsed Doppler echocardiography. *Jpn Circ J* **53**: 377-386, 1989
 - 12) Snider AR, Gidding SS, Rocchini AP, Rosenthal A, MacDonald D II, Crowley DC, Peters J: Doppler evaluation of left ventricular diastolic filling in children with systemic hypertension. *Am J Cardiol* **56**: 921-926, 1985
 - 13) Hayashi T, Takeuchi M, Fukuzaki H: Evaluation of left ventricular filling dynamics by pulsed Doppler echocardiography during afterload stress in ischemic heart disease using angiotensin II infusion. *J Cardiol* **19**: 699-707, 1989 (in Japanese)
 - 14) Takenaka K, Dabestani A, Gardin JM, Russell D, Clark S, Alfie A, Henry WL: Pulsed Doppler echocardiographic study of left ventricular filling in dilated cardiomyopathy. *Am J Cardiol* **58**: 143-147, 1986
 - 15) Takenaka K, Dabestani A, Gardin JM, Russell D, Clark S, Alfie A, Henry WL: Left ventricular filling in hypertrophic cardiomyopathy: A pulsed Doppler echocardiographic study. *J Am Coll Cardiol* **7**: 1263-1271, 1987
 - 16) Gidding S, Snider R, Rocchini AP, Peters J, Farnsworth R: Left ventricular diastolic filling in children with hypertrophic cardiomyopathy: Assessment with pulsed Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* **8**: 310-316, 1986
 - 17) Wind BE, Snider AR, Buda AJ, O'Neill WW, Topel EJ, Dilworth LR: Pulsed Doppler assessment of left ventricular diastolic filling in coronary artery disease before and immediately after coronary angiography. *Am J Cardiol* **59**: 1041-1046, 1987
 - 18) Maron B, Spirito P, Green KJ, Wesley YE, Bonow RO, Arch J: Noninvasive assessment of left ventricular diastolic function by pulsed Doppler echocardiography in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* **10**: 733-742, 1987
 - 19) Fisher DC, Sahn DJ, Friedman MJ, Larson D, Valdes-Cruz LM, Horowitz S, Goldberg SJ, Allen HD: The mitral valve orifice method for noninvasive two-dimensional echo Doppler determinations of cardiac output. *Circulation* **67**: 872-877, 1983
 - 20) Miyatake K, Okamoto M, Kinoshita N, Owa M, Nakasone I, Sakakibara H, Nimura Y: Augmentation of atrial contribution to left ventricular inflow with aging as assessed by intracardiac Doppler flowmetry. *Am J Cardiol* **53**: 586-589, 1984
 - 21) Lewis JF, Kuo LC, Nelson JG, Linacher MC, Quinones MA: Pulsed Doppler echocardiographic determination of stroke volume and cardiac output: Clinical validation of two new methods using the apical window. *Circulation* **70**: 425-431, 1984
 - 22) Stewart WJ, Jiang L, Mich R, Pandian N, Guerrero JL, Weyman AE: Variable effects of changes in flow rate through the aortic pulmonary and mitral valves on valve area and flow velocity: Impact on quantitative Doppler flow calculations. *J Am Coll Cardiol* **6**: 653-662, 1985
 - 23) Takeuchi M, Fujitani K, Kurogane K, Hong TB, Toda C, Yamasaki T, Fukuzaki H: Effects of diltiazem and nitroglycerin on left ventricular diastolic properties in patients with coronary artery disease. *Jpn Heart J* **26**: 509-520, 1985
 - 24) Matsuda T, Ogawa H, Matsuzaki M, Katayama K, Fujii T, Yoshino F, Moritani K, Kumada T, Kusukawa R: Importance of left atrial function in patients with myocardial infarction. *Circulation* **67**: 566-571, 1983
 - 25) Rahimtoola SH, Ehsani A, Sinno MZ, Loeb HS, Rosen KM, Gunnar RM: Left atrial transport function in myocardial infarction. *Am J Med* **59**: 686-694, 1975
 - 26) Greenberg B, Chatterjes K, Parmley WW, Werner JA, Holly AN: The influence of left ventricular filling pressure on atrial contribution to cardiac output. *Am Heart J* **98**: 742-751, 1979
 - 27) 門中博義, 福崎 恒: 僧帽弁通過血液に及ぼす心拍数の影響: 超音波パルスドプラ法による評価. *神戸大学医学部紀要* **51**: 65-72, 1990

竹内, 門中, 塚本, ほか

- 28) Nolan SP, Dixon SHJR, Fisher RD, Morrow AG: The influence of atrial contraction and mitral valve mechanics on ventricular filling: A study of instantaneous mitral valve flow in vivo. *Am Heart J* 77: 784-791, 1969
- 29) Freedman RA, Yock PG, Echt DS, Popp RL: Effect of variation in PQ interval on patterns of atrioventricular valve motion and flow in patients with normal ventricular function. *J Am Coll Cardiol* 7: 595-602, 1986