

急性冠動脈閉塞時の左室流入動態評価：パルス・ドップラー法による実験的ならびに臨床的検討

Transmitral flow patterns during acute coronary artery occlusion: Experimental and clinical evaluations by pulsed Doppler echocardiography

辻 光*
樋上 雅一
盛川 洋一
海老沢 哲也
北村 浩一
杉原 洋樹
古川 啓三
朝山 純
勝目 紘
伊地知 浜夫

Hikari TSUJI*
Masakazu HIGAMI
Youichi MORIKAWA
Tetsuya EBIZAWA
Hirokazu KITAMURA
Hiroki SUGIHARA
Keizo FURUKAWA
Jun ASAYAMA
Hiroshi KATSUME
Hamao IJICHI

Summary

To evaluate left ventricular diastolic properties during acute myocardial ischemia, transmitral flow patterns were analyzed by two-dimensional pulsed Doppler echocardiography.

In a preliminary study of transient coronary artery occlusion in anesthetized open-chest dogs, the following results were obtained: decreased peak velocity of rapid filling, prolonged rapid filling period, and compensatory increase in the peak velocity of atrial filling. These changes occurred nearly concomitantly with decreased cardiac output, elevated left atrial and left ventricular end-diastolic pressures, and decreased left ventricular systolic pressures. With reperfusion of the coronary artery, these parameters rapidly returned to the base line values.

In acute and transient myocardial ischemia induced by intracoronary balloon inflation during therapeutic percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA) in man, similar changes in these parameters were observed, and the changes were more marked in PTCA for the left anterior descending artery as compared with that of the right coronary artery.

京都府立医科大学 第二内科
京都市上京区河原町広小路(〒602)

*京都第二赤十字病院 内科
京都市上京区釜座通り丸太町上ル春帯町 355-5 (〒602)

The Second Department of Internal Medicine, Kyoto
Prefectural University of Medicine, Kawaramachi
Hirokoji, Kamikyo-ku, Kyoto 602

*The Second Red-Cross Hospital Kyoto

Received for publication January 6, 1987; accepted March 3, 1987 (Ref. No. 32-25)

In conclusion, noninvasive two-dimensional pulsed Doppler echocardiography is of practical use in evaluating deterioration of the diastolic function of the left ventricle during acute and transient myocardial ischemia.

Key words

Pulsed Doppler echocardiography
angioplasty

Transmitral flow pattern

Percutaneous transluminal coronary

はじめに

近年、冠動脈の血行再建法として経皮経管的冠動脈形成術 (percutaneous transluminal coronary angioplasty: PTCA) が普及しつつある。本法施行中、冠血流は完全に遮断され、その支配領域に絶対的心筋虚血を齎すことから、その間の心機能を評価することは、本法実施時の安全性の確認、合併症の防止、ひいては成績の向上のために重要である。しかしながら、その検討は未だ十分であるとは言い難い。また、PTCA 施行中の絶対的心筋虚血状態に関しては、ヒトでは未開拓の検討分野であり、その意味でも、その血行動態変化を知ることの意義は大である。

この点を明らかにする目的で、本研究では、収縮障害に比し、心筋虚血に対しより鋭敏であるとされる拡張機能障害の評価を、パルス・ドップラー法における左室流入波形変化の観察により試みた。

またそれに先立ち、本法の妥当性を検討する目的で、麻酔開胸犬において短時間の冠動脈閉塞後再灌流し、この間の左室流入動態変化を同様の方法で検討した。

I. 実験的検討

方法

10頭の雑種成犬(体重: 12~20 kg)を α -クロラロース(60 mg/kg)静脈内投与にて麻酔、人工呼吸器装着下に左側開胸し、冠動脈左回旋枝鈍縁枝分岐直後を剝離、occluderを装着した。また、電磁流量計を上行大動脈に装着するとともに、右

内頸動脈から左室へ、左心耳から左房内へ、それぞれカテーテル先端型圧トランスデューサーを挿入し、さらに左心耳に双極電極を装着後、洞房結節をホルマリンにて破壊して、左房ペースング(頻度 100~120/分)を施行した。

イヌを右側臥位とし、3.75 MHz 超音波探触子を用いて体表面より心尖部長軸断面を描出し、パルス・ドップラー法の関心領域を僧帽弁弁口部に設定、2分間の冠動脈閉塞時から再灌流5分後までの左室流入波形変化を、紙送り速度 50 mm/secにて記録した。装置は東芝製超音波断層・ドップラー複合装置 SSH60A/SDS60Aを使用した。同時に、左室圧、同一次微分波および左房圧を記録し、電磁流量計にて心拍出量を計測した。

左室流入波形記録より急速流入波(R波)の最高流速(R)、加速時間(AT)、減速時間(DT)、心房収縮波(A波)の最高流速(A)、持続時間(AFT)、両波の最高流速の比(A/R)の諸指標を計測した(Fig. 1)。なお、血流速度は実測値を超音波ビー

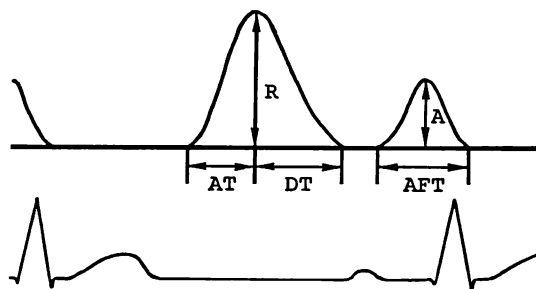


Fig. 1. Measurements of transmitral flow.

R=peak velocity of rapid filling; A=peak velocity of atrial filling; AT=acceleration time of rapid filling; DT=deceleration time of rapid filling; AFT=atrial filling time.

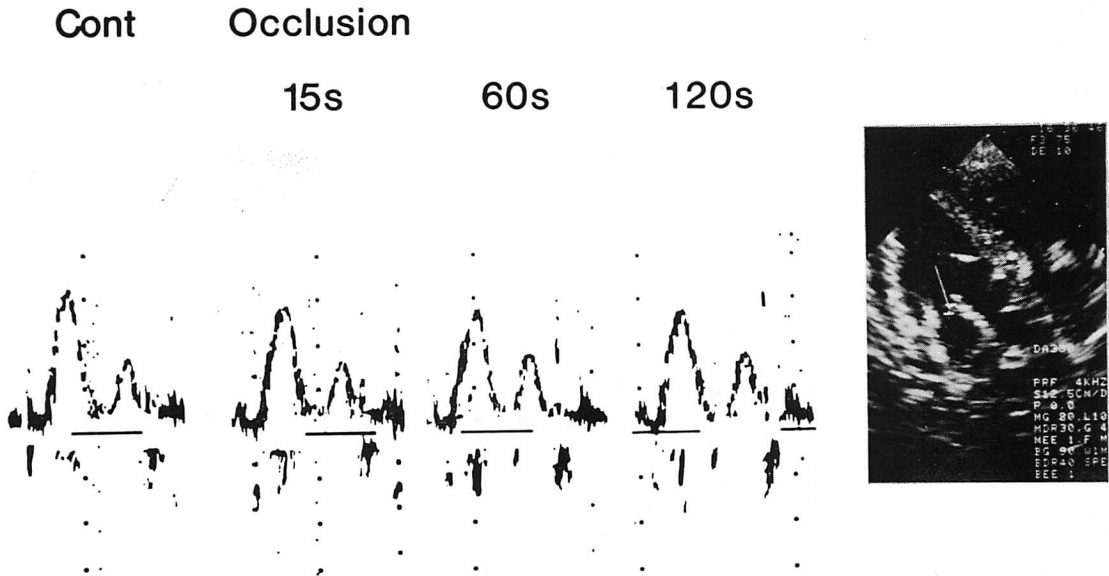


Fig. 2. Time course of the transmittal flow patterns following selective coronary occlusion, and the two-dimensional echocardiogram showing the site of the sample volume.

Cont=control.

ム入射角 θ により補正して求めた。さらに圧記録から左室収縮期圧 (LVSP), 左室拡張末期圧 (LVEDP), 左室圧最大陽性変化率 ($\max(+)\text{dp}/\text{dt}$), 最大陰性変化率 ($\max(-)\text{dp}/\text{dt}$), 左房圧 (LAP: a 波, v 波) を計測した。

すべての記録終了後, 再度同部で冠動脈を閉塞し, 76% Urografin の 2 倍希釈液を良く攪拌後, その 4 ml を pigtail catheter からバルサルバ洞内に注入して左室乳頭筋レベル短軸断面における心筋コントラスト像を記録し, 虚血領域を求めた。

統計学的検討は, 経時変化では paired, 群間比較では unpaired Student's test によった。

結 果

1. 左室流入波形の変化

Fig. 2 に代表的な 1 例を示す。R は閉塞前の 56 cm/sec から, 結紮 15 秒後には 47 cm/sec まで減速し, 更に 120 秒後には 42 cm/sec となった。

A は閉塞後, 僅かに加速した。10 頭の成績をまとめると, Fig. 3 のごとく, R は冠動脈閉塞により急激に減速し, 閉塞中は経時的に更に低下し, 再灌流時の回復は比較的緩徐で, 前値に比し, 90 秒後でも依然有意に ($p < 0.05$) 低下していた。A の変化は軽微であったが, 閉塞 90 秒後には有意に ($p < 0.05$) 増大し, 再灌流後は速やかに前値に復した。

AT は閉塞により軽度ながら有意に ($p < 0.05$) 延長したが, DT には有意な変化を認めなかった。また, AFT は不変であった (Table 1)。なお, 閉塞中に僧帽弁閉鎖不全の発生は認めなかった。

2. 左室圧, 左室圧一次微分値, 左房圧および心拍出量の変化

Fig. 4 に提示した実記録のごとく, 冠動脈閉塞により左室収縮期圧の低下, 左室拡張末期圧の上昇, $\max(+)\text{dp}/\text{dt}$ および $\max(-)\text{dp}/\text{dt}$ の絶対値の減少, LAP の上昇を認め, これらは再灌流に

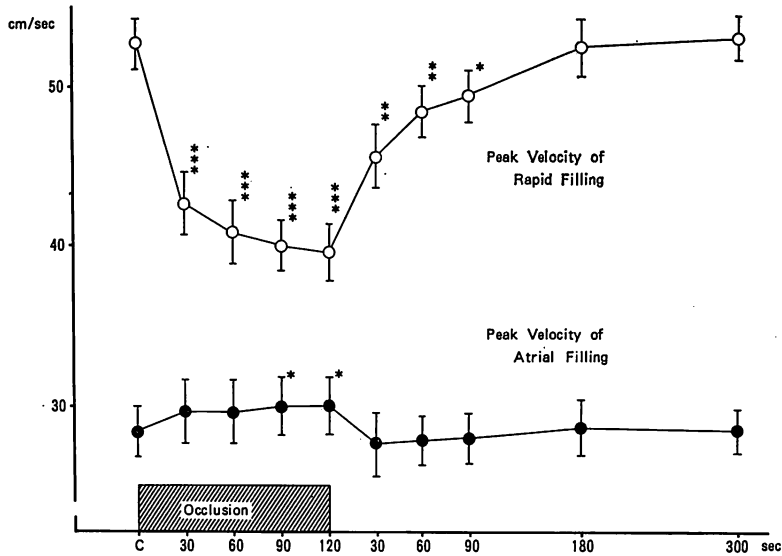


Fig. 3. Effects of transient coronary artery occlusion on the time course of the peak velocities of rapid filling and atrial filling.

The peak rapid filling velocity decreases rapidly following coronary artery occlusion and the peak atrial filling velocity increases slowly and minimally. These changes are rapidly normalized after reperfusion.

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$.

Table 1. Left ventricular diastolic parameters by pulsed Doppler echocardiography during transient coronary artery occlusion

		Control	Occlusion				Reperfusion				
			30"	60"	90"	120"	30"	60"	90"	180"	300"
R (cm/sec)	mean	52.7	42.5***	40.8***	40.0***	39.7***	45.6**	48.4**	49.5*	52.3	53.1
	S.D.	5.0	6.2	6.4	5.1	5.2	5.8	4.9	5.0	4.6	4.3
A (cm/sec)	mean	28.3	29.5	29.5	30.0*	30.3*	27.6	27.7	27.9	28.8	28.4
	S.D.	5.1	5.1	5.1	6.1	5.6	2.7	3.9	4.1	5.7	4.9
A/R	mean	0.54	0.69***	0.73***	0.75***	0.76***	0.61*	0.58	0.57	0.55	0.54
	S.D.	0.07	0.11	0.12	0.13	0.13	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07
AT (msec)	mean	69.0	74.3	74.4	76.0	78.0*	67.4	67.6	67.2	67.5	70.0
	S.D.	12.4	18.0	16.2	12.2	11.1	13.7	12.5	11.3	12.0	12.2
DT (msec)	mean	65.6	67.7	66.5	67.3	68.4	66.0	65.9	65.0	65.4	65.7
	S.D.	16.0	15.2	16.3	14.9	18.5	14.0	14.0	14.9	13.9	15.0
AFT (msec)	mean	78.5	78.5	77.7	77.6	79.1	76.5	76.3	75.9	78.4	76.8
	S.D.	13.6	14.9	11.6	13.3	14.7	11.2	10.4	12.8	11.9	14.8

*, **, ***: probability < 0.05 , < 0.01 and < 0.001 , respectively, by analysis of variance.

R=peak velocity of rapid filling; A=peak velocity of atrial filling; AT=acceleration time of rapid filling; DT=deceleration time of rapid filling; AFT=atrial filling time.

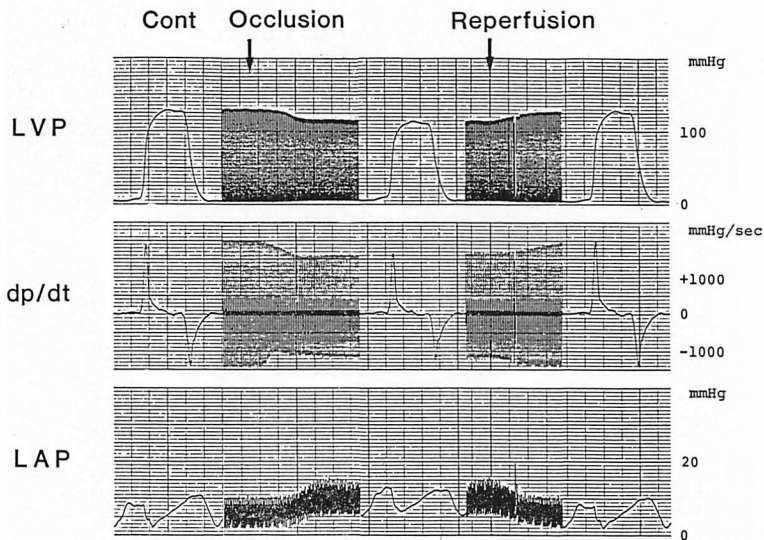


Fig. 4. Effects of transient coronary artery occlusion on the time course of left ventricular pressure, dp/dt and left atrial pressure.

Table 2. Left ventricular pressure, left atrial pressure and cardiac output during transient coronary artery occlusion

		Control		Occlusion					Reperfusion				
			30''	60''	90''	120''	30''	60''	90''	180''	300''		
LVSP (mmHg)	mean	133	123***	123***	122***	121***	130	134	134	134	133		
	S.D.	19	20	22	22	23	26	21	19	19	19		
LVEDP (mmHg)	mean	4.2	6.6*	6.6*	6.7*	6.8*	4.9	4.6	4.5	4.2	4.2		
	S.D.	2.1	3.3	3.3	3.6	3.4	2.4	2.4	2.3	2.1	2.1		
max(+) dp/dt ($\times 100$ mmHg/sec)	mean	14.5	11.3**	11.1**	11.3**	11.4**	13.4	14.7	14.5	14.6	14.3		
	S.D.	3.7	3.0	2.7	2.9	3.0	3.4	3.1	3.8	3.6	3.8		
max(-) dp/dt ($\times 100$ mmHg/sec)	mean	-10.2	-7.0**	-7.9**	-7.9**	-7.8**	-9.7	-10.1	-10.3	-10.3	-10.1		
	S.D.	2.9	2.8	2.8	3.1	2.9	3.3	2.9	2.6	2.9	2.9		
LAP—a wave (mmHg)	mean	5.7	7.7*	7.9*	7.9*	8.0*	6.0	5.9	5.9	5.8	5.7		
	S.D.	2.2	3.5	3.7	3.6	3.7	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2		
LAP—v wave (mmHg)	mean	6.8	8.0*	8.2*	8.1*	8.2*	7.0	7.1	6.9	6.8	6.8		
	S.D.	2.0	2.6	2.8	3.0	2.9	2.0	2.1	2.2	1.9	1.9		
CO (l/min)	mean	1.58	1.36***	1.34***	1.28***	1.26***	1.52	1.58	1.54	1.54	1.54		
	S.D.	0.44	0.46	0.42	0.48	0.46	0.55	0.47	0.41	0.45	0.45		

*, **, ***: probability <0.05, <0.01, and <0.001, respectively, by analysis of variance.

LVSP=left ventricular systolic pressure; LVEDP=left ventricular end-diastolic pressure; LAP=left atrial pressure; CO=cardiac output,

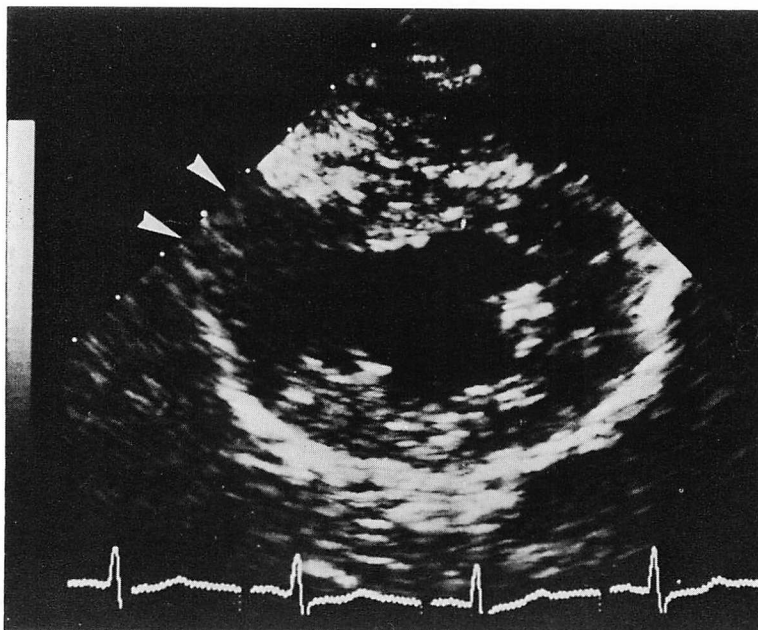


Fig. 5. Myocardial contrast echogram.

This image shows a defect in the perfused area of the distal portion of the left circumflex coronary artery (arrows).

より急速に前値に復した。

10頭の成績を Table 2 に表示した。

左室収縮期圧は冠動脈閉塞直後からの 30 秒間に有意に ($p < 0.001$) 低下, 拡張末期圧は有意に ($p < 0.05$) 上昇し, 再灌流により両者とも速やかに回復した。

$\max(+)\text{dp}/\text{dt}$ は閉塞 30 秒後には有意に ($p < 0.01$) 低下, $\max(-)\text{dp}/\text{dt}$ は結紮早期に急激にその絶対値を減じた後, やや回復してほぼ一定となり, 再灌流 30 秒後には両者とも結紮前と有意差はなくなった。

左房圧は閉塞開始 30 秒間で, a 波および v 波ともに有意に ($p < 0.05$) 上昇したが, その変化は a 波でより著明であった。両者とも再灌流により直ちに復元した。

心拍出量は閉塞後, 有意 ($p < 0.001$) かつ急激に低下し, 閉塞中は更に漸減したが, 再灌流時の回復は速やかであった。

3. 心筋コントラスト法による虚血部位の確認

左室乳頭筋レベル短軸断面の 20~30% の欠損部を認め, 実際に虚血領域の存在を確認し得た (Fig. 5)。

小 括

冠動脈結紮により, パルス・ドップラー法の左室流入波形における R の低下および AT の軽度の延長を認めた。この R 波の結紮後の変化は $\max(-)\text{dp}/\text{dt}$ の変化にやや遅れて出現し, この時左室拡張末期圧, 左房圧が上昇したが, 急速流入期の房室間圧較差は減少していた。A 波の最大流速は代償的に増大し, 左房 a 波の上昇を認めたが, 心房収縮期の房室間圧較差の増加は少なく, A 波の変化も僅かであった。心拍出量は有意に低下した。これらの諸変化は閉塞解除による再灌流時にはすべて速やかに回復した。

以上の成績から, 本法は冠動脈の急性かつ一過

性の閉塞時における左室流入動態変化の検出に有用と考えられ、この成績に基づき、ヒトにおける急性冠動脈閉塞に伴う虚血心について検討した。

II. 臨床的検討

対象ならびに方法

PTCA の適応例であり、かつ超音波パルス・ドップラー法にて評価可能な左室流入波形を記録し得た 5 例(平均年齢: 56 歳, 男性 4 例, 女性 1 例)を対象とした。

12 誘導心電図モニター下に、2.5 MHz 超音波探触子により心尖部二腔断面を描出、僧房弁開口部にサンプル領域を設定し、PTCA 直前から終了 120 秒後まで、15~20 秒毎に経時的に左室流入波形を紙送り速度 50 mm/sec にて記録した。装置はイスでの検討と同様のものを使用し、記録より前述の拡張期諸指標を計測した。

また、2 例において PTCA 施行中に Swan-Ganz カテーテルを肺動脈に留置し、肺動脈圧および熱希釈法による心拍出量を測定した。

結 果

1. 左室流入波形の変化

超音波パルス・ドップラー法による左室流入波形は、Fig. 6 のごとく、冠動脈内に留置した balloon の inflation による急性虚血時には R 波の減高、および A 波の増高を認め、これらの変化は balloon の deflation により速やかに復元した。

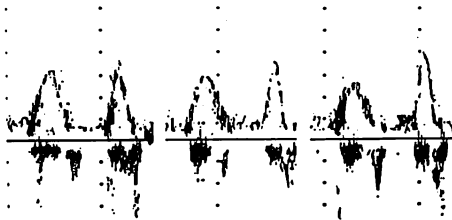


Fig. 6. Time course of transmitral flow patterns during PTCA (inflation period).

この R 波の変化は前負荷や後負荷の影響とは考え難く、急性虚血による左室 compliance の低下に基づくもので、A 波の増高は一回拍出量維持のための代償性変化と考えられた。5 症例計 7 回の PTCA 時の記録の変化を症例別に検討すると、左前下降枝施行例では右冠動脈施行例に比べ、R 波の減高および A 波の増高の程度が大きい傾向を認めた (Fig. 7)。また、AT は軽度延長したが、施行血管による差は明らかではなく、DT および AFT はほぼ不変であった。

2. 心拍数、血圧および心拍出量の変化

PTCA 施行中、balloon inflation による冠動脈閉塞により心拍数は軽度増加し、大動脈圧は低下した。Fig. 8 に示した 1 例の経過のごとく、肺動脈拡張期圧は balloon inflation により経時的に上昇し、心拍出量は低下した。これらの変化は deflation 後、速やかに回復した。他の 1 例の変化も同様であった。

小 括

PTCA 施行時の一過性冠動脈血流遮断により、肺動脈拡張期圧の上昇、大動脈圧の低下、超音波パルス・ドップラー法による左室流入波形の R 波の減高および A 波の増高を認めた。さらに、左前下行枝施行例では、右冠動脈施行例よりも R 波の減高が著明であった。

考 察

1935 年、Tennant & Wiggers の冠動脈結紮時における収縮異常の報告¹⁾以来、全心動態あるいは局所壁動態に関する研究は数多い。心筋虚血時に発現する機能障害としては、冠動脈結紮 30~60 秒後の極めて早期において既に能動的収縮が消失し、全収縮期 bulge が出現するとされている^{2,3)}。拡張期動態も虚血時に障害されることが漸次解明され^{4,5)}、虚血の検出に鋭敏な指標とされるが、収縮期動態に比して知見が少なく、十分には解明されていない。

従来、心筋虚血時における左室拡張機能評価に

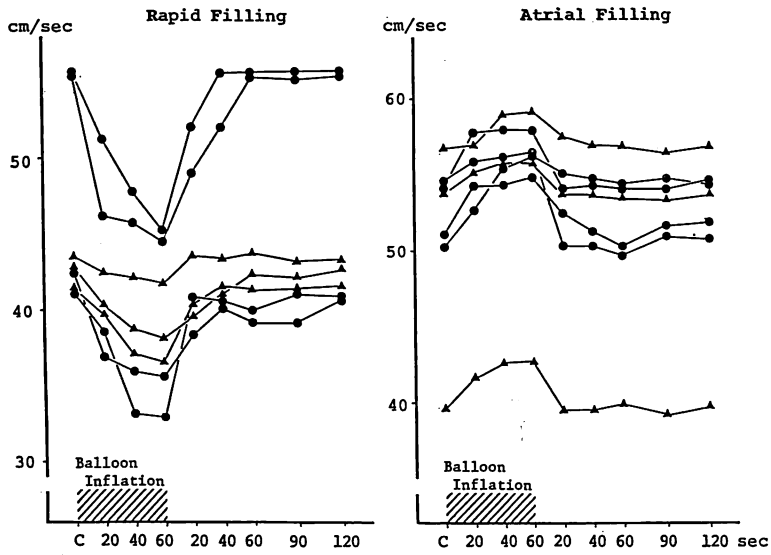


Fig. 7. Effects of balloon inflation on the time course of the peak velocities of rapid filling and atrial filling during PTCA.

The peak rapid filling velocity decreases and the peak atrial filling velocity increases during balloon inflation, then both return to the base line immediately after balloon deflation. These changes are greater in cases of left anterior descending artery lesion (●) than in cases of right orinary artery lesion (▲).

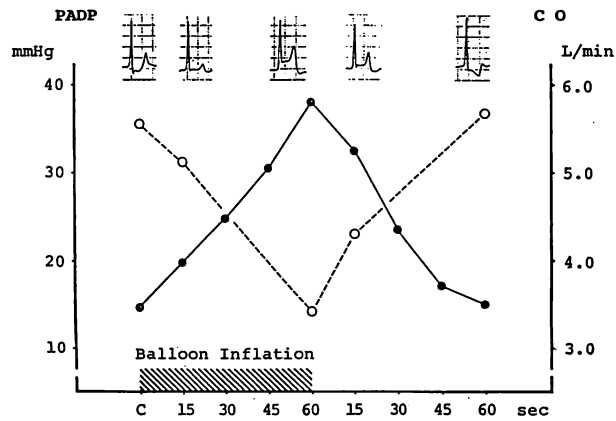


Fig. 8. Effects of balloon inflation during PTCA on pulmonary artery diastolic pressure (PADP) and cardiac output (CO) (ST-T segment changes are also shown).

●: PADP; ○: CO.

は、左室圧最大陰性変化率〔 $\max(-)dp/dt$ 〕あるいはこれに基づく指標が用いられている。 $\max(-)dp/dt$ の絶対値の減少、および左室拡張末期圧の上昇として表現される拡張障害の機序としては、筋小胞体の Ca^{2+} ポンプの障害による Ca^{2+} 動態の異常、収縮蛋白からの Ca^{2+} 除去不足などによる弛緩障害、および拡張期心筋 stiffness の増大とされる⁶⁾。急性虚血時に生じる圧-容量曲線の上方向への偏位^{7,8)}は、筋小胞体からの Ca^{2+} 放出作用を有するカフェインにより増強する⁹⁾ことから、虚血による直接的あるいは ATP の減少に伴う筋小胞体の障害が、細胞内 Ca^{2+} 分布を変化させて拡張障害を呈する可能性が示されている。

我々はヒトについて検討するにあたり、予め検討方法の妥当性を確認すべきと考え、イヌの冠動脈の急性、かつ一過性の閉塞時において予備実験を施行した。

この結果、超音波パルス・ドップラー法による左室流入波形では、R波の減高、AT延長、A波の増高が認められたが、これらの変化は慢性的拡張障害に見られる所見^{10,11)}と同様であった。R波の減高をもたらす因子としては、前負荷の減少^{12,13)}、後負荷の増大¹⁴⁾、左室 compliance の低下^{10,11)}などがあるが、本実験系では心拍数はペーシングにより一定であり、前負荷は左室拡張末期圧の上昇からむしろ増大したと考えられる。また、冠動脈の結紮部位が左回旋枝鈍縁枝分枝直後という末梢部であり、心筋コントラスト法により確認された虚血範囲も狭く、僧帽弁閉鎖不全を生じた例は認められなかった。したがって、また左室拡大およびそれに伴う壁厚減少は比較的軽微であると推察し得、左室収縮期圧の低下を加味すれば、後負荷の変化は必ずしも増大したとは考えられない。

以上の条件にも拘らず急速流入波が減高したことは、急性心筋虚血に基づく左室 compliance の低下による可能性が高いと考えられる。

心房収縮波は、この急速流入期流入障害による拡張後期左房径の拡大のために、心房のスターリング効果によって増高すると考えられ、それに伴

い A/R は著明に増大する。さらに、急速流入期における流入障害の程度と虚血範囲との間には、PTCA 時の成績から、関連がある可能性が示唆された。しかし、逆に広範囲の心筋梗塞症患者や拡張型心筋症患者において、R波の減高を認めず、正常人に類似した左室流入波形を呈する症例も報告されており¹⁵⁾、なお検討の余地がある。

一方、Theroux らは、麻酔下⁸⁾および意識下¹⁶⁾での冠動脈結紮後、非常に早期(10~20秒後)に $\max(-)dp/dt$ の著明な低下を認め、以後結紮を継続しても回復傾向は存続すると報告しており、本実験でも $\max(-)dp/dt$ は従来の報告と同様の变化であった。この機序として、結紮後早期には虚血領域の収縮後期 bulge と非虚血領域における収縮の増強を認めるのに対し、結紮 30~60 秒後には虚血領域は全収縮期 bulge を呈し、非虚血領域における増強された収縮も消失し、これに一致して $\max(-)dp/dt$ が回復することから、局所壁運動の非同期性が原因と推察されている^{2,17)}。

他方、左室流入血流の急性虚血時の変化についての実験的報告はない。本実験のパルス・ドップラー法による左室流入血流の検討では、急速流入波の変化は冠動脈結紮後早期には著明な変化は認められず、結紮時間とともに進行性に減高し、 $\max(-)dp/dt$ とは異なる経過を示した。この $\max(-)dp/dt$ の変化とパルス・ドップラー法での変化の出現時相の差異は、後者が左室の動態変化を直接観察しているのではなく、心腔への流入動態の変化からその compliance 変化を推察するという間接的な指標であり、前者に比し微妙な変化を捉え得ない可能性がある。しかし R 波の動向は、心拍出量をはじめ、 $\max(-)dp/dt$ を除く諸指標と同様であり、左室全体としての機能を良く反映していると思われた。したがって、非観血的で煩雑な手技を要しないパルス・ドップラー法による左室流入血流動態変化の観察は、急性心筋虚血時における拡張期左心機能評価法として優れたものであると考えられる。

要 約

パルス・ドップラー法により求めた僧帽弁弁口部の左室流入血流速度の変化により, 急性冠動脈閉塞時の左室拡張機能障害を臨床的および実験的に検討し, 以下の結論を得た.

1. 冠動脈閉塞により, 急速流入波最高流速の低下および持続時間の延長, 心房収縮波最高流速の増大を認めた.

2. 麻酔開胸犬における実験的検討では, 虚血早期に過剰反応を示した $\max(-)dp/dt$ 以外の左心系圧変化および心拍出量は急速流入波とほぼ同等の変化を呈した.

3. PTCA 施行時における検討では, 急速流入波の障害の程度は, 右冠動脈施行例に比し, 左前下降枝施行例においてより高度であった.

以上から, パルス・ドップラー法による急性心筋虚血時左室流入評価の有用性が示された.

文 献

- 1) Tennant R, Wiggers CJ: The effect of coronary occlusion on myocardial contraction. *Am J Physiol* **112**: 351-361, 1935
- 2) Kumada T, Karliner JS, Pouleur H, Gallagher KP, Shirato K, Ross J Jr.: Effects of coronary occlusion on early ventricular diastolic events in conscious dogs. *Am J Physiol* **237**: 542-549, 1979
- 3) 河野義雄: 心筋虚血時におけるイヌ左心室の局所壁動態. *京府医大誌* **94**: 589-606, 1985
- 4) Little RC, Wead WD: Diastolic viscoelastic properties of active and quiescent cardiac muscle. *Am J Physiol* **221**: 1120-1125, 1971
- 5) Weisfeld ML, Armstrong P, Scully HE, Sanders CA, Daggett WM: Incomplete relaxation between beats after myocardial hypoxia and ischemia. *J Clin Invest* **53**: 1626-1636, 1974
- 6) Mathey D, Bleifeld W, Franken G: Left ventricular relaxation and diastolic stiffness in experimental myocardial infarction. *Cardiovasc Res* **8**: 583-592, 1974
- 7) Serizawa T, Carabello BA, Grossman W: Effect of pacing-induced ischemia on left ventricular diastolic pressure-volume relations in dogs with coronary stenosis. *Circ Res* **46**: 430-439, 1980
- 8) Theroux P, Franklin D, Ross J Jr, Kemper WS: Regional myocardial function during acute coronary occlusion and its modification by pharmacologic agents in the dog. *Circ Res* **35**: 896-908, 1974
- 9) Paulus JA, Serizawa T, Grossman W: Altered left ventricular diastolic properties during pacing-induced ischemia in dogs with coronary stenosis: Potentiation by caffeine. *Circ Res* **50**: 218-227, 1982
- 10) 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. *Jpn Circ J* **46**: 92-102, 1982
- 11) Tanouchi J, Kitabatake A, Asao M, Morita T, Masuyama T, Hori M, Inoue M, Abe H: Role of left ventricular relaxation on transmitral flow dynamics during early diastole: A study with pulsed Doppler flowmetry. *J Cardiogr* **13**: 301-307, 1983 (in Japanese)
- 12) 高橋利之, 佐藤 広, 飯塚昌彦, 芹沢 剛, 大谷哲夫, 河本修身, 望月孝俊, 坂本二哉, 杉本恒明: Lower body negative pressure 時の左室流入血流パターンの変化: 超音波パルス・ドプラー法による検討. *日超医講演論文集* **47**: 729-730, 1985
- 13) 安田正樹, 馬岡 晋, 武内秀之, 関岡清次, 井阪直樹, 中野 赴, 竹沢英郎: 左室拡張末期圧上昇および下降時の左室流入動態の検討. *日超医講演論文集* **47**: 727-728, 1985
- 14) 栗原敏修, 林 亮, 松浦泰彦, 大西修作, 安井潔, 浅生雅人, 福島正勝, 阿倍 裕: Cold pressor stimulation による高血圧症の左室流入血流様式の反応性についての検討. *日超医講演論文集* **48**: 917-918, 1986
- 15) 朴 在福, 木下直和, 岡本光師: 断層エコー・ドプラー法による僧帽弁口血流の分析: うっ血型心筋症と広範囲梗塞. *日超医講演論文集* **39**: 419-420, 1981
- 16) Theroux P, Ross J Jr, Franklin D, Covell JW, Bloor CM, Sasayama S: Regional myocardial function and dimensions early and late after myocardial infarction in the unanesthetized dog. *Circ Res* **40**: 158-165, 1977
- 17) Water DD, Lus PD, Wyatt HL, Swan HJC, Forrester JS: Early changes in regional and global left ventricular function induced by graded reduction in regional coronary perfusion. *Am J Cardiol* **39**: 537-543, 1977