

前駆出期左室流出路血流：  
超音波パルス・ドップラー法  
による検討

Pre-ejection flow in the  
left ventricular outflow  
tract: A pulsed Doppler  
echocardiographic study

山中 俊彦  
林 輝美  
清水 稔  
諸岡 成徳  
高島 豊

Toshihiko YAMANAKA  
Terumi HAYASHI  
Minoru SHIMIZU  
Shigenori MOROOKA  
Yutaka TAKABATAKE

**Summary**

Pre-ejection flow (PEF) has been recognized as the flow of short duration toward the cardiac base in the left ventricular outflow tract. In the present study, PEF was analyzed by pulsed Doppler echocardiography to determine the contribution of left ventricular contraction to the genesis of PEF. The study subjects consisted of 20 patients with lone atrial fibrillation (Af) and 30 patients with premature ventricular contractions (PVC) without other cardiovascular diseases. Phonocardiogram and electrocardiogram were simultaneously recorded with Doppler signal of PEF. PEF was clearly detected in only 18 patients with PVC; in the remaining 12, it was not recorded or could not be differentiated from the signals of the preceding left ventricular diastolic filling.

Results were as follows:

1. PEF in the cases with sinus rhythm appeared before the Q wave; whereas, it appeared after the Q wave in the cases with Af or PVC, and the peak of PEF coincided with the first heart sound on the phonocardiogram.
2. The duration of PEF was  $93.6 \pm 15.4$  msec in sinus rhythm,  $60.6 \pm 14.2$  msec in Af, and  $87.5 \pm 19.4$  msec in PVC.
3. Peak velocities of PEF in Af and PVC were significantly less than peak velocity of PEF in sinus rhythm.
4. Peak velocity of PEF in PVC with left bundle branch block tended to be less than that in PVC with right bundle branch block.

Thus PEF in Af and PVC showed some characteristics in the onset of its appearance, its duration and peak velocity as compared with those in sinus rhythm. Consequently, we concluded that PEF exists in the left ventricular pre-isovolumetric contraction period and the isovolumetric contraction period, and is caused by the geometric change of the left ventricle in the pre-ejection period, because PEF was not influenced by left ventricular filling due to atrial contraction. However, PEF in sinus rhythm may be overlapped with flow of left ventricular contraction in the pre-ejection period and the turning flow of left ventricular filling by atrial contraction. It was also suggested that peak velocity of PEF

---

獨協医科大学越谷病院 循環器内科  
埼玉県越谷市南越谷 2-1-50 (〒343)

Department of Cardiology, Koshigaya Hospital, Dok-  
kyo University School of Medicine, Minamikoshigaya  
2-1-50, Koshigaya 343

Received for publication June 5, 1989; accepted September, 1, 1989 (Ref. No. 36-91)

in PVC is influenced by the site of origin of PVC.

**Key words**

Pre-ejection flow      Left ventricular outflow tract  
lation      Premature ventricular contraction

Pulsed Doppler echocardiography      Atrial fibril-

はじめに

近年, 超音波パルス・ドップラー法による心腔内の血流動態の研究が広く行われ, 正常心のみならず, 各種心疾患における左室内血流パターンの詳細な検討が試みられてきた. 各心時相のうち, 駆出前期の左室流出路には, 心室中隔左室側の中央部から心基部方向に向かう血流 (pre-ejection flow: 以下 PEF) の存在が指摘されているが, この血流に関する検討は, 拡張期流入血流や収縮期駆出血流に比べ, 比較的少ない. これまでの研究では, 左房収縮による流入血が左室内で渦流を形成し, 左室流出路で僧帽弁閉鎖に関連する血流を生じることが知られており<sup>1,2)</sup>, PEF はこの血流と類似している. しかし, PEF の成因には, こうした渦流以外にも, 駆出前期における左室変形の関与が推測され, 現在では, 洞調律の場合, これら二つの成因が重なって生成されるとする説が有力である<sup>3)</sup>.

今回の研究では PEF の成因について左室変形の関与を調べるために, 心房収縮による流入血の影響を除外し得ると考えられる心房細動例と心室性期外収縮例を用いて, 超音波パルス・ドップラー法により本血流の検討を行った.

対象と方法

対象は基礎心疾患を有しない心房細動 20 例 (男性 14 例, 女性 6 例, 平均年齢  $51 \pm 8$  歳) と心室性期外収縮 30 例 (男性 19 例, 女性 11 例, 平均年齢  $41 \pm 16$  歳) である. 心室性期外収縮例はすべて単一起源で, 22 例は左脚ブロック型, 8 例は右脚ブロック型の期外収縮であった. 使用装置は東芝製 SSH-65A で, 発振周波数 3.75 MHz, パルス繰り返し周波数 6 または 4 KHz を用い, 記録は紙

送り速度 50 mm/sec および 100 mm/sec で, 血流ドップラー信号と同時に心電図・心音図を strip chart に記録した. なお, 本装置のドップラー信号から血流信号に変換して表示するまでに要する時間 (time delay) は 23 msec である. 検査方法は, 仰臥位または 30 度の左側臥位にした患者に超音波ビームを心尖部から投入し, 左室長軸断面像を描出後, パルス・ドップラーのサンプルボリュームを流出路内に置いて操作し, PEF が最も良好に, かつ最高速度が記録できる位置に設定した (Fig. 1). 計測は心室性期外収縮例の洞調律心拍と, 心室性期外収縮心拍, および心房細動心拍のそれぞれについて, 1) 心電図 Q 波の開始から PEF の開始までの時間 (Q-PEF 時間), 2) PEF の持続時間, 3) PEF の最高速度の 3 項目について行った (Fig. 2). 全例, Q-PEF 時間については上記の time delay を考慮して, 計測値より 23 msec 減じて補正した. 心房細動例では心電図の先行 R-R 時間と PEF の持続時間, および PEF の最高速度との関係について, また心室性期外収縮例では右脚ブロック型と左脚ブロック型に分けて, PEF の最高速度についての検討も行った.

結 果

1. PEF の検出

洞調律心拍における PEF は, 心室中隔左室側の中央部付近から左室流出路にかけ, 大動脈弁方向に向かう血流として検出され, その速度は流出路内の僧帽弁付近で最大であり, 駆出血流に先行する血流として記録された. 心房細動例でも洞調律と同様, 全例に PEF が認められた. 心室性期外収縮心拍では, その出現時相によっては PEF の検出は不可能で, Fig. 3 に示すごとく, A のよ

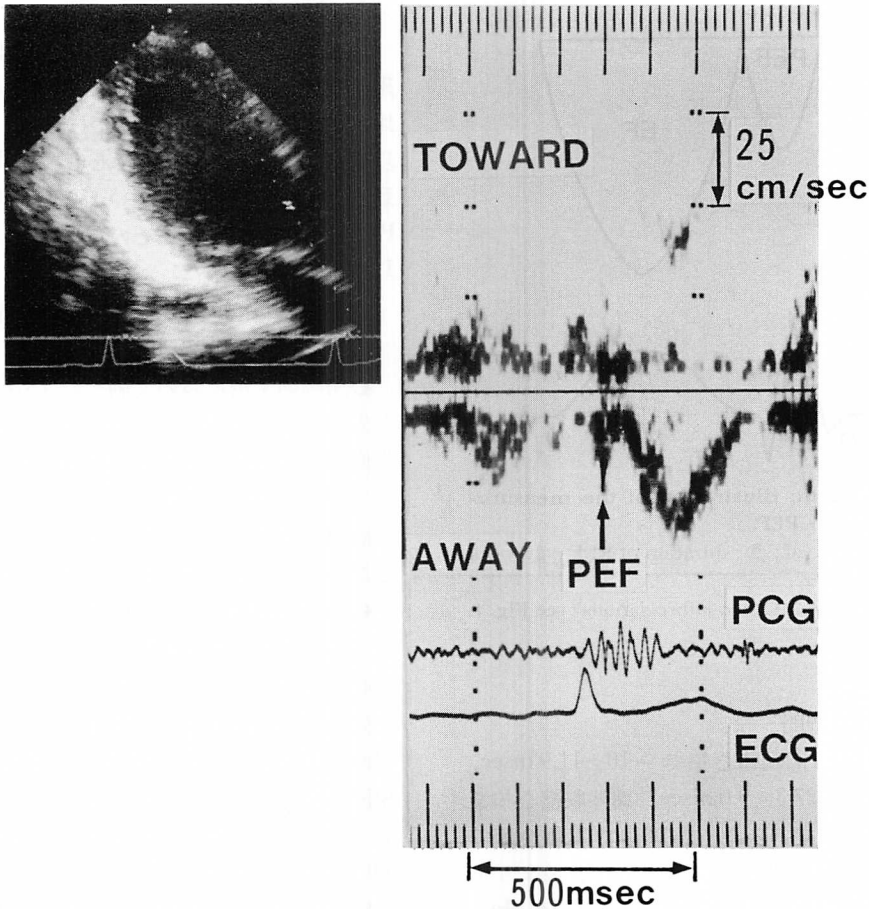


Fig. 1. Sampling site in the left ventricular outflow tract and pulsed Doppler signals.  
PEF=pre-ejection flow ; PCG=phonocardiogram ; ECG=electrocardiogram.

うに R on T タイプや、心音図の先行 II 音から極めて短い時間 (0~40 msec) で出現した場合には、PEF は認められなかった。B のように先行 II 音から約 40~140 msec の間に出現した期外収縮には PEF (矢印) が認められたが、C のように、拡張中期 (140~340 msec) に出現した場合には、急速流入期血流の反転による波形と重なり、分離できなかった。また D のように、心室性期外収縮が拡張後期に出現した場合には PEF が認められた。この例は先行 II 音から 460 msec 離れ、次の心電図 P 波とほぼ同時に出現したもので、

心房収縮による流入血の反転が起こる前に PEF が形成されたと考えられた。したがって心室性期外収縮における検討は、Fig. 3 の B 例と D 例に代表される PEF の明瞭な例に限って行ったが、このような PEF は 30 例中 18 例に認められ、左脚ブロック型 13 例、右脚ブロック型 5 例であった。しかし PEF が分離できなかった 12 例の中には、時相的に明らかに PEF が出現すると予想されるにもかかわらず、その存在が確認できなかった期外収縮が 4 例あり、それらは左脚ブロック型 3 例、右脚ブロック型 1 例であった。

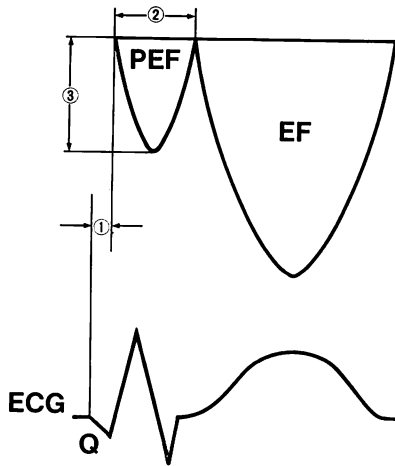


Fig. 2. Schematic illustration of the measurements related to PEF.

①: Q-PEF interval; ②: duration of PEF; ③: peak velocity of PEF.

EF=ejection flow. Other abbreviations: see Fig. 1.

## 2. 計測結果

### 1. Q-PEF 時間

Q-PEF 時間は洞調律心拍で  $-10 \pm 11.9$  msec, 心房細動心拍で  $27.3 \pm 9.0$  msec, 期外収縮心拍で  $52.5 \pm 19.9$  msec であった。洞調律では負の値であったが, これは PEF が心電図の Q 波より早期に出現していることを示している (Fig. 4a)。Q-PEF 時間にはこれら 3 群間にすべて有意差を認めた。

### 2. PEF 持続時間

PEF 持続時間は洞調律心拍で  $93.6 \pm 15.4$  msec, 心房細動心拍で  $60.6 \pm 14.2$  msec, 期外収縮心拍で  $87.5 \pm 19.4$  msec であった。洞調律と心房細動, 心房細動と期外収縮には有意差を認めたが, 洞調律と期外収縮には有意差を認めなかった (Fig. 4b)。

### 3. PEF 最高速度

PEF 最高速度は洞調律心拍では  $31.8 \pm 5.5$  cm/sec, 心房細動心拍で  $26.7 \pm 5.8$  cm/sec, 期外収縮心拍で  $27.1 \pm 5.5$  cm/sec であった。このうち洞調律と心房細動, 洞調律と期外収縮には有意差を認

めた (Fig. 4c)。

Fig. 5 に洞調律, 心房細動の, Fig. 6 に心室性期外収縮の代表例を示す。心房細動では洞調律に比べて PEF の出現は明らかに遅く, 心電図 Q 波以降であり, そのピークは心音図の I 音とほぼ一致し, また持続時間も短い。心室性期外収縮でも PEF の出現は遅く, そのピークはほぼ心音図の I 音と一致していた。

### 3. 心房細動例における PEF の持続時間と心電図先行 R-R 時間との関係

心房細動全例において個々の PEF の持続時間と先行 R-R 時間との相関を求め, それぞれの回帰直線を示した。しかし相関係数が  $r=0.5$  以上のものは 20 例中 10 例と少なく, かつこれらの回帰直線の傾きは,  $-0.07$  から  $0.09$  までとばらつきが多く, 一定の傾向を認めなかった (Fig. 7)。

### 4. 心房細動例における PEF の最高速度と心電図先行 R-R 時間との関係

心房細動全例において個々の PEF の最高速度と先行 R-R 時間との相関を求め, それぞれの回帰直線を示した。20 例中 17 例は負の相関を示し, 相関係数が  $r=0.5$  以上のものは 13 例であった。しかしこの 13 例の回帰直線は傾きが  $-0.019 \pm 0.01$  と極めて小さかった (Fig. 8)。

### 5. 波形別に分けた心室性期外収縮の PEF 最高速度

左脚ブロック型期外収縮 13 例の最高速度の平均は  $25.7 \pm 5.6$  msec, 右脚ブロック型期外収縮 5 例の平均は  $30.6 \pm 3.8$  msec であり, 左脚ブロック型ではより低い傾向を示した ( $p < 0.05$ )。

## 考 察

駆出期直前の左室流出路に心基部方向に向かう持続の短い血流が存在することはすでに知られている事実であるが, その成因や出現時期についての詳細な検討は少ない。これまでに心臓モデルを使用した実験から, 主に左房収縮による流入血が左室内で反転し, 拡張末期に流出路で渦流を形成することが証明されており, この血流は僧帽弁の閉鎖に関与するものと考えられている<sup>1,2)</sup>。同様の

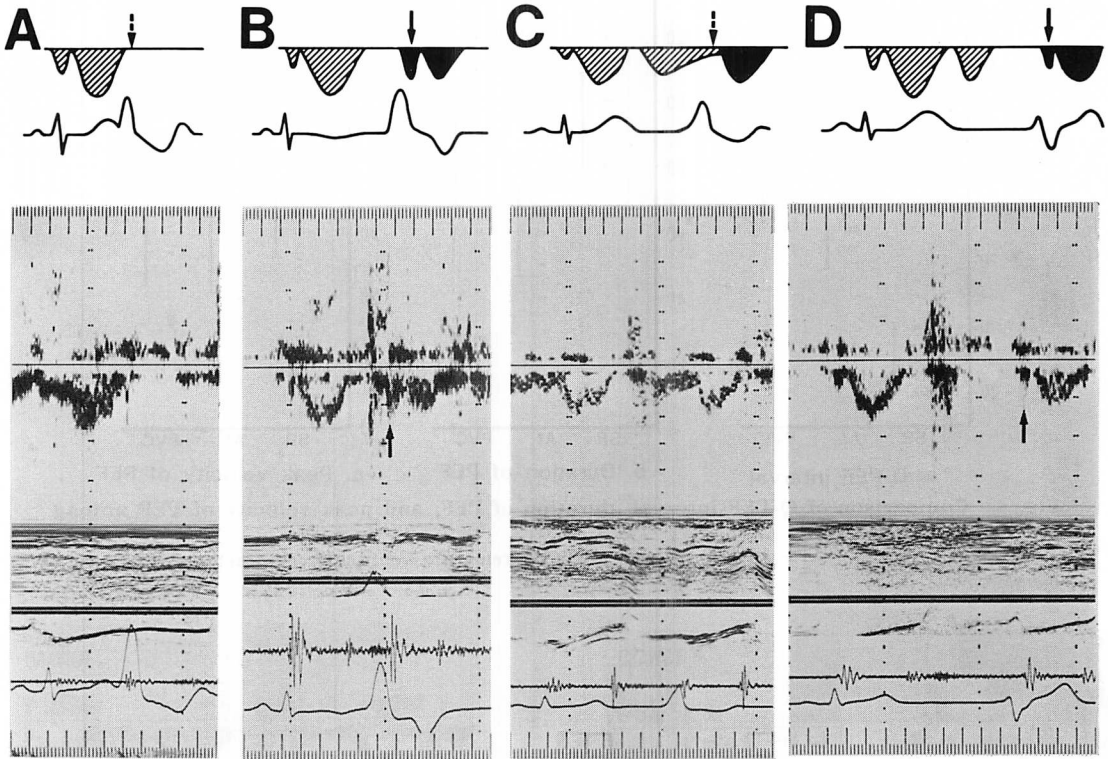


Fig. 3. PEF classification according to coupling time of PVC.

A: PVC appears before the second heart sound of a preceding beat. PEF is not detected (dotted arrow).

B: PVC appears in proto-diastole. PEF is detected (solid arrow).

C: PVC appears in mid-diastole. PEF is not detected because of overlap with a preceding filling signal (dotted arrow).

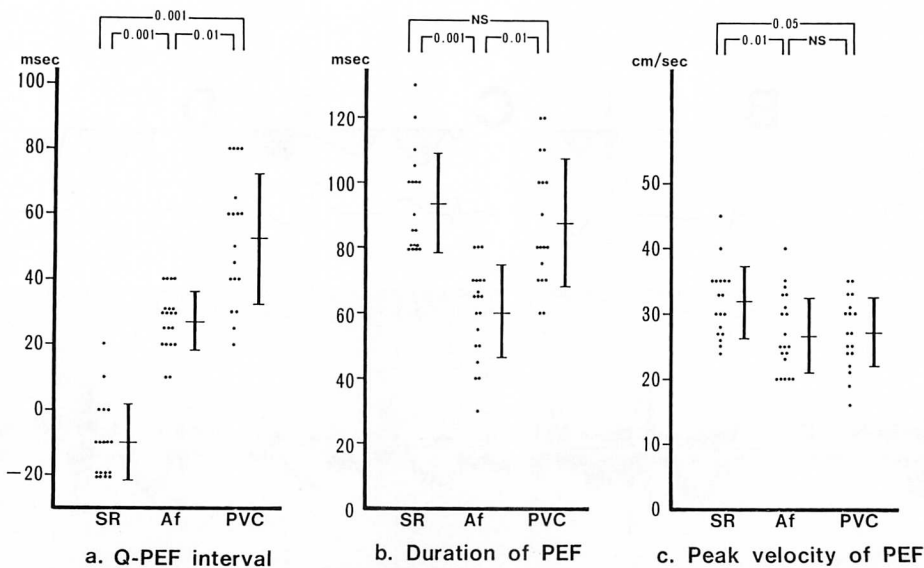
D: PVC appears in end-diastole. PEF is detected (solid arrow).

指摘は他にも報告されており、超音波パルス・ドップラー法を用いた検討では Matsuo らの報告がある<sup>4)</sup>。

真田ら<sup>5)</sup>は健常例において超音波パルス・ドップラー法で駆出前期の左室流出路に検出される血流を心電図と心音図との同時比較を行い、同血流は心電図上 Q 波にほぼ一致して始まり、心音図上 I 音第 2 成分より 5~15 msec 以前に周波数のピークを有するため、その出現時相は左室等容収縮期、特に pre-isovolumetric contraction phase であると、その存在意義は拡張末期の左室内渦流とともに僧帽弁閉鎖に関与すると報告してい

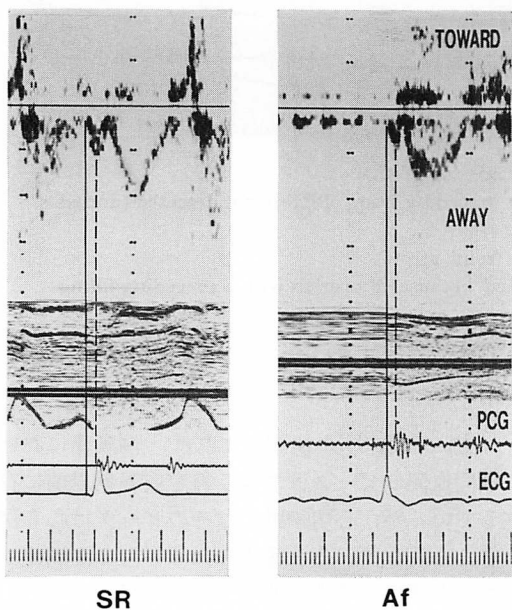
る。

一方、水重ら<sup>3)</sup>の検討によれば、洞調律においては同血流のピークはやはり等容収縮期以前に存在しているが、心房細動ではそのピークは心音図 I 音と一致していると報告した。さらに洞調律ではこの血流は一峰性の波形として記録されるが、第 1 度房室ブロック例では PEF は二峰性の波形となり、その前半のピーク時相は心電図 Q 波より先行し、後半のピークは心房細動での出現時相とほぼ一致することを明らかにした。したがって PEF は左房収縮による流入血の反転から成る A component と、左室収縮と関連して生じる V



**Fig. 4.** Comparison of Q-PEF interval, duration of PEF, and peak velocity of PEF among the three groups.

SR=sinus rhythm; Af=atrial fibrillation; PVC=premature ventricular contraction; PEF=pre-ejection flow.

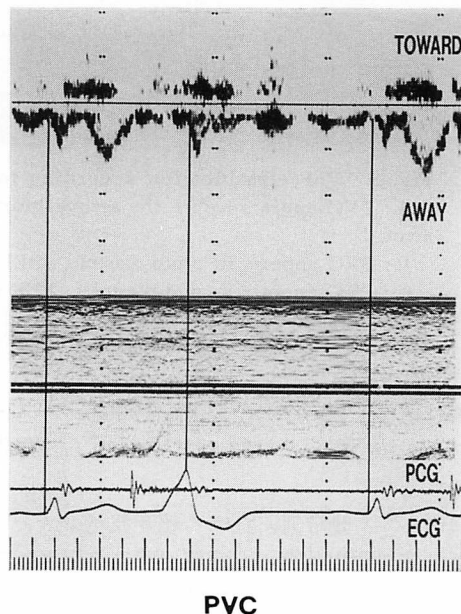


**Fig. 5.** PEF in sinus rhythm and atrial fibrillation.

Left: PEF in sinus rhythm: the onset of PEF appears before the Q wave (solid line), and the peak of PEF appears before the first heart sound (dotted line).

Right: PEF in atrial fibrillation: the onset of PEF appears after the Q wave (solid line), and the peak of PEF coincides with the first heart sound (dotted line).

Abbreviations: see Fig. 4.



**Fig. 6.** PEF in a premature ventricular contraction.

The onset of PEF appears after the Q wave. Abbreviations: see Fig. 4.

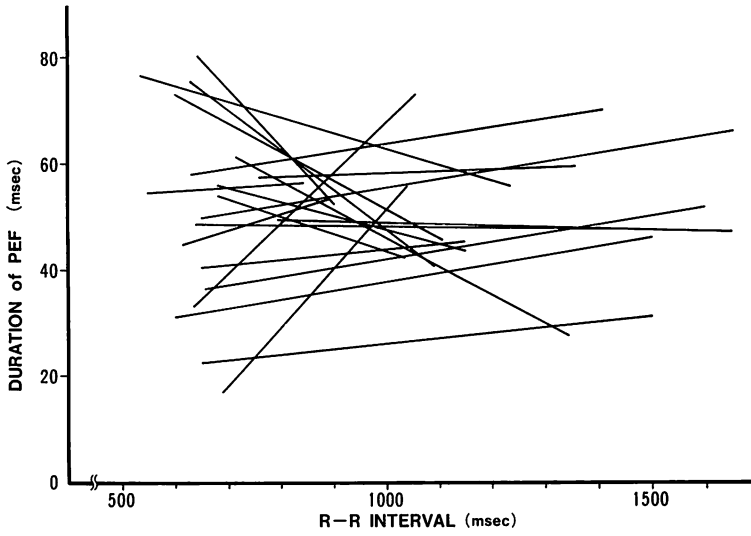


Fig. 7. Correlations between the R-R interval and duration of the PEF in all patients with atrial fibrillation.

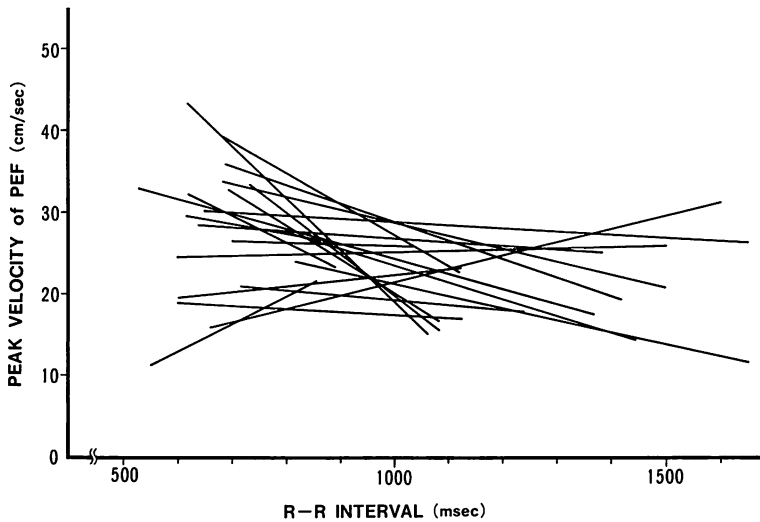


Fig. 8. Correlations between the R-R interval and peak velocity of the PEF in all patients with atrial fibrillation.

component から成るとし、洞調律ではこの二つの成分が重なったものであると結論した。

本研究においては同血流に関して心房収縮の関与を除外して検討するため、心房細動と心室性期外収縮を用いて検討した。洞調律心拍での PEF

は明らかに Q 波より先行して出現しており、その持続時間は最も長く、また最高速度も速かった。これに対し心房細動例の PEF は、Q 波より遅れて出現し、持続時間は最も短く、その最高速度も低く、洞調律心拍の PEF と同一の成因から惹起

されているとは考え難い。これは水重ら<sup>3)</sup>の指摘したように, A component の成分がなく, V component のみにより PEF が形成されているものと思われた。また心房細動例の心電図先行 R-R 間隔と PEF の持続時間の間には, 有意な相関を持つ例が少なく, かつ個々の回帰直線の傾きも一定の傾向を認めなかったため, その関連性はほとんどないと思われる。これに対し先行 R-R 間隔と PEF の最高速度には有意な逆相関を示す例が多かった。しかしその回帰直線の傾きは極めて小さく, 先行する流入期の長さに PEF の最高速度は影響されるもののその関与は少ないと考えられた。

従来等容収縮期の左室変形に関する研究では, その変形の様式について, 心外膜を含む左室形態上短軸方向には拡張し, 長軸方向には短縮するとする説<sup>6)</sup>, 心内膜側では短軸方向に短縮するとする説<sup>7)</sup>など定説はなく, また左室収縮部位も左室中央部からとする説<sup>8)</sup>や心基部から始まるとする説<sup>9)</sup>, 後乳頭筋から始まるとする説<sup>10)</sup>など一定していないが, 一般に左室形態に変化が生じることが認められている。

今回我々が検討した PEF は心音図の I 音以前から認められ (Fig. 5), 前等容収縮期から始まっていることが示された。したがって PEF は, 前等容収縮期および等容収縮期を含めた駆出前期の左室変形によって形成されると示唆された。

また心室性期外収縮においても PEF は認められ, その出現時相は 3 群間中最も遅かった。持続時間は心房細動例に比べて長く, 最高速度は同程度であった。心室性期外収縮においても心房からの流入血の影響を除外できると考えられ, その PEF は出現時相からみて心房細動と同様の成因により形成されると思われた。PEF の出現が遅く, 持続時間が長いことは, 心臓の電氣的興奮が心室全体に伝導されるのに正常心拍より時間がかかり, この間の左室変形の時間も長くなるためであろう。

さらに左脚ブロック型と右脚ブロック型心室期

外収縮に分けると, PEF 最高速度は左脚ブロック型心室性期外収縮の方が低い傾向を示した。一般に心室性期外収縮が発生したとき対側心室の駆出機能は, 発生側より劣っているとされているが<sup>11)</sup>, 左脚ブロック型期外収縮, すなわち右室起源の心室性期外収縮においては駆出前期の左室変形動態も右室側に比して劣っており, これが PEF 速度の発生に差を生じさせる原因の一つと推測される。以上の結果から, PEF の最高速度は駆出前期の左室変形動態を反映していると考えられた。

## 結 論

心房細動および心室性期外収縮の PEF は左室の駆出前期, すなわち前等容収縮期から等容収縮期にかけて存在し, その成因は左室変形によることが示唆された。しかし洞調律の PEF は等容収縮期以前から存在し, これは心房収縮による反転流が重なっているためと考えられた。また PEF の最高速度は駆出前期の左室変形動態を反映していると考えられた。

## 要 約

駆出前期の左室流出路に, 心基部方向に向かう持続の短い血流 (駆出前期血流: pre-ejection flow: PEF) の存在が知られている。本研究ではこの血流の成因について, 左室変形の関与を調べるために, 超音波パルス・ドップラー法を用いて検討した。対象は他に基礎心疾患を有しない心房細動 20 例, 心室性期外収縮 30 例である。ドップラーシグナルと同時に心音図と心電図を記録した。心室性期外収縮例のうち PEF が明瞭に記録できたのは 18 例のみで, 他の 12 例では全く記録されなかったり, 先行する左室流入血のシグナルに重なって分離できなかった。したがって心室性期外収縮例における PEF の計測はこの 18 例について行い, その洞調律の PEF を正常対象とした。結果を以下に示す。

1. 洞調律における PEF は心電図の Q 波よ



り以前に出現した。しかし心房細動例や心室性期外収縮例の PEF は Q 波より遅れて出現し、そのピークはほぼ心音図の I 音と一致した。

2. PEF の持続時間は洞調律例  $93.6 \pm 15.4$  msec, 心房細動例  $60.6 \pm 14.2$  msec, 心室性期外収縮例  $87.5 \pm 19.4$  msec であった。

3. 心房細動および心室性期外収縮における PEF の最高速度は洞調律の場合よりも有意に低かった。

4. 左脚ブロック型心室性期外収縮の PEF 最高速度は右脚ブロックのそれよりも低い傾向にあった。

このように心房細動例や心室性期外収縮例の PEF は、洞調律に比べて、その出現時相や持続時間、最高速度において異なっていた。したがってこれらの PEF は、左室前等容収縮期および等容収縮期に存在し、心房収縮による流入の影響を受けないと考えられ、駆出前期の左室収縮により生成されると結論した。これに対し洞調律例の PEF は、心房収縮による流入血が反転した血流と駆出前期の左室収縮による血流とが重なっている可能性がある。さらに心室性期外収縮例の PEF 最高速度はその発生部位により影響されると思われた。

#### 文 献

- 1) Bellhouse BJ: Fluid mechanics of a model mitral valve and left ventricle. *Cardiovasc Res* **6**: 199-210, 1972
- 2) Lee CSF, Talbot L: A fluid-mechanical study of the closure of heart valves. *J Fluid Mech* **91**: 41-63, 1979
- 3) 水重克文, 森田久樹, 千田彰一, 和田 茂, 松尾裕英: パルス・ドップラー法による左室流出路前駆期血流と僧帽弁閉鎖運動の関連に関する検討. *J Cardiogr* **14**: 507-519, 1984
- 4) Matsuo H, Kitabatake A, Hayashi T, Asao M, Teruo Y, Senda S, Hamanaka Y, Matsumoto M, Nimura Y, Abe H: Intracardiac flow dynamics with bidirectional ultrasonic pulsed Doppler technique. *Jpn Circ J* **41**: 515-528, 1977
- 5) 真田純一, 中村一彦, 南 幸弘, 黒岩宣親, 大重太真男, 橋本修治: 超音波パルス・ドップラー法による左室内等容性収縮期血流の検討. *呼吸と循環* **31**: 81-87, 1983
- 6) Rushmer RF: Continuous measurements of left ventricular dimensions in intact unanesthetized dogs. *Circ Res* **2**: 14-21, 1954
- 7) Gibson DG, Brown DJ: Continuous assessment of left ventricular shape in man. *Br Heart J* **37**: 904-910, 1975
- 8) McDonald IG: The shape and movements of the human left ventricle during systole: A study by cineangiography and by cineradiography of epicardial markers. *Am J Cardiol* **26**: 221-230, 1970
- 9) Eduardo AN, Silvio SC, Paulo ARJ, Luiza KB, Renato GGT: Sequence of shortening of the normal human left ventricle. *Cardiovasc Res* **13**: 703-710, 1979
- 10) Tichonow KB: The geometry of the left ventricle in the isovolumic period. *Radiology* **26**: 446-451, 1986
- 11) Wiggers CJ: Dynamics of ventricular contraction under abnormal conditions. *Circulation* **5**: 321-348, 1952