

心房細動例における収縮期
左室内異常血流

Assessment of abnormal
left ventricular systolic
blood flow in atrial fi-
brillation

馬渡 浩介
黒岩 宜親
真田 純一
川平 正純
川越 裕行
中村 一彦
橋本 修治

Kosuke MAWATARI
Nobuchika KUROIWA
Jun-ichi SANADA
Masazumi KAWAHIRA
Hiroyuki KAWAGOE
Kazuhiko NAKAMURA
Shuji HASHIMOTO

Summary

In atrial fibrillation, it is known that hemodynamics vary according to the preceding R-R intervals. However, the informations of blood flow dynamics have not been available because of the methodological limitations. In this study, blood flow dynamics of atrial fibrillation were assessed using pulsed Doppler echocardiography.

The subjects were 160 consecutive patients with atrial fibrillation and without left ventricular asynergy. Using a commercially-available pulsed Doppler instrument (Aloka SSD-910), blood flow patterns in the left ventricle were investigated from the apical long-axis view. The results were as follows:

1. In 22 of the 160 cases (14%), systolic blood flow in the central or apical region of the left ventricle directed towards the apex (termed "back flow").
2. In the cardiac cycle with "back flow", the preceding R-R interval was shorter; whereas it was longer when "back flow" was absent (591 ± 103 vs 817 ± 179 msec, $p < 0.01$). Moreover, when a long R-R interval (PPI) followed by a short R-R interval (PI) was observed (greater PPI/PI ratios), the next beat showed distinct "back flow".
3. Left ventricular ejection fraction decreased significantly in patients with "back flow" compared to those without it (42 ± 15 vs $66 \pm 12\%$, $p < 0.01$).
4. On left ventriculography, the motion of the base of the heart was preserved; however, with "back flow", the motion of the apical area was abnormal, extending towards the apex along the longitudinal axis.
5. Left ventricular ejection flow at the outflow tract disappeared in 13 of the 22 cases with "back flow" in cardiac cycles with short preceding R-R intervals.

These results suggest that, in atrial fibrillation, "back flow" in the left ventricular central or apical area may occur during cardiac cycles with shorter preceding R-R intervals, and especially in

鹿児島大学医学部 第二内科
鹿児島市宇宿町 1208-1 (〒890)

The Second Department of Internal Medicine, Kago-
shima University School of Medicine, Usuki-cho
1208-1, Kagoshima 890

Received for publication October 2, 1986; accepted November 15, 1986 (Ref. No. 32-PS12)

with impaired left ventricular pump function. This abnormal flow is considered to be caused by left ventricular asynchrony due to the localized wall motion abnormality in the apical area.

In patients with “back flow”, left ventricular ejection flow may resolve in cardiac cycles with short preceding R-R intervals, and result in pulse deficit.

Key words

Pulsed Doppler echocardiography

Atrial fibrillation

Back flow

緒 言

心房細動においては個々の心拍で血行動態が変化することが知られているが、主に方法論的な制約により、心室内の血行動態は十分解明されていない。

超音波パルス・ドップラー法は心内血流を可視化¹⁾し、短絡性心疾患、逆流性心疾患の診断、重症度評価に有用なばかりでなく²⁾、梗塞心などでは壁運動異常に伴う特異な心内血行動態も報告され、ポンプ機能やアシナジー判定の一助になっている³⁾。また、本法は心血管造影法と異なり、血行動態に全く影響を与えず、非観血的に長時間の情報収集が可能である。

今回我々は超音波パルス・ドップラー法を用い、心房細動例における左室駆出血流動態の変化について検討した。本症の駆出血流は先行 R-R 間隔によって著しく変化し、その短縮時には、正常とは逆方向の血流も見られた。こうした異常血流は従来全く報告されていないものであり、興味ある所見であるので考察を加え報告する。

対象と方法

対象は当科にて超音波パルス・ドップラー法を施行した心房細動 164 例中、局所壁運動異常を有する心筋梗塞症 4 例を除いた 160 例である。その基礎疾患は、弁膜症 92 例、孤立性心房細動 20 例、人工弁置換術後 17 例、先天性心疾患 8 例、拡張型心筋症 7 例、高血圧性心臓病 5 例、収縮性心外膜炎 4 例、狭心症 3 例、その他 4 例であった。

使用装置は超音波パルス・ドップラー法と断層装置の複合システムであるアロカ製 SSD-910 型

(発振周波数 2.75 MHz, パルス繰り返し周波数 4.4 KHz, パルス信号の時間遅れ 22 msec⁴⁾) である。記録紙上、縦方向は周波数分布(流速)を示し、各点間は 440 Hz, 横方向は時間経過を表わす。基線より上向きは探触子へ近づく血流 (toward), 下向きは探触子より遠ざかる血流 (away) として描出される。

記録に際しては、被検者を左半側臥位とし、心尖部アプローチで主に呼吸停止にて、毎秒 50 mm または 100 mm のペーパースピードを用いた。左室内血流の記録は、Fig. 1 に示すように、心尖部より超音波ビームを投入し、左室中央部、心尖部、左室流出路の 3 ヲ所で行なった。

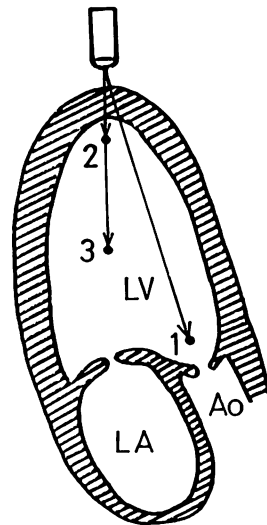


Fig. 1. Schematic illustration of the sampling sites.

Sampling sites are set on the apical long-axis view of the two-dimensional echocardiogram.

1) outflow tract; 2) apical area; 3) central area.

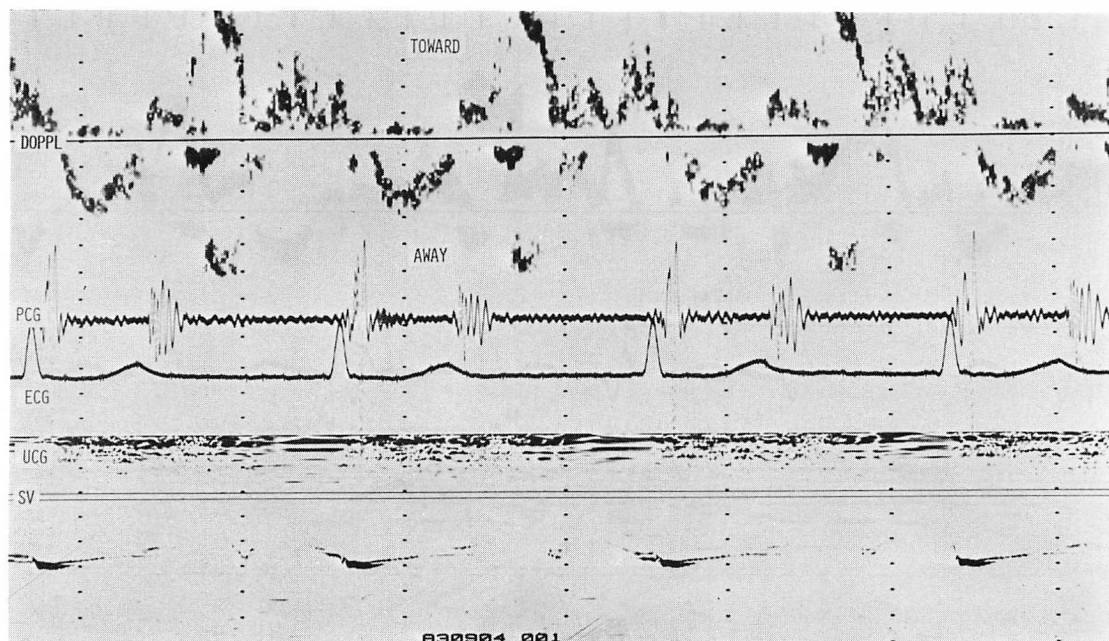


Fig. 2. Doppler signals at the central area obtained from a case with atrial fibrillation.

Laminar systolic ejection flows directing towards the outflow tract, which varies in velocity depending on the preceding R-R interval, are recorded.

DOPPL=Doppler; PCG=Phonocardiogram; ECG=electrocardiogram UCG=ultrasound cardiogram; SV=sampling volume.

また、心房細動 160 例中 33 例では心臓カテーター検査を施行し、左室造影所見との比較を行った。左室造影と超音波パルス・ドップラー法の施行間隔は 1 週間以内であった。左室駆出率 (EF) は左室造影所見より Kennedy ら⁵⁾の方法を用いて算出した。

結 果

心房細動例における左室内収縮期駆出血流は、一般に先行 R-R 間隔の違いにより多彩な流速を示したが、その血流方向はいずれにしても探触子より遠ざかり、左室流出路へ向かう層流性の血流を示す例がほとんどであった (Fig. 2)。しかし Fig. 3 に示すように、一部の症例では、矢印のごとく短い先行 R-R 間隔の時のみ、左室中央部あるいは心尖部において、心尖部へ向かう正常とは

逆方向の層流性の血流が認められた (Fig. 4)。したがって、以下の検討にはこの異常血流 (便宜上 “back flow” と称する) を中心に検討した。

1. “Back flow” の出現頻度

“Back flow” は、今回検討した心房細動 160 例中 22 例 (14%) に出現した。その基礎疾患は、拡張型心筋症全 6 例、弁膜症 6 例、孤立性心房細動 4 例、僧帽弁置換術後 3 例、狭心症 2 例、アルコール性心筋症 1 例であった。

2. “Back flow” と先行 R-R 間隔および先々行 R-R 間隔との関係

Fig. 5 左側は、Fig. 3 症例の左室中央部における “back flow” の有無と先行 R-R 間隔との関係を、一連の心周期において比較したものであるが、“back flow” ⊕ 群では先行 R-R 間隔の短いものが多く、⊖ 群では長いものが多かった (591 ±

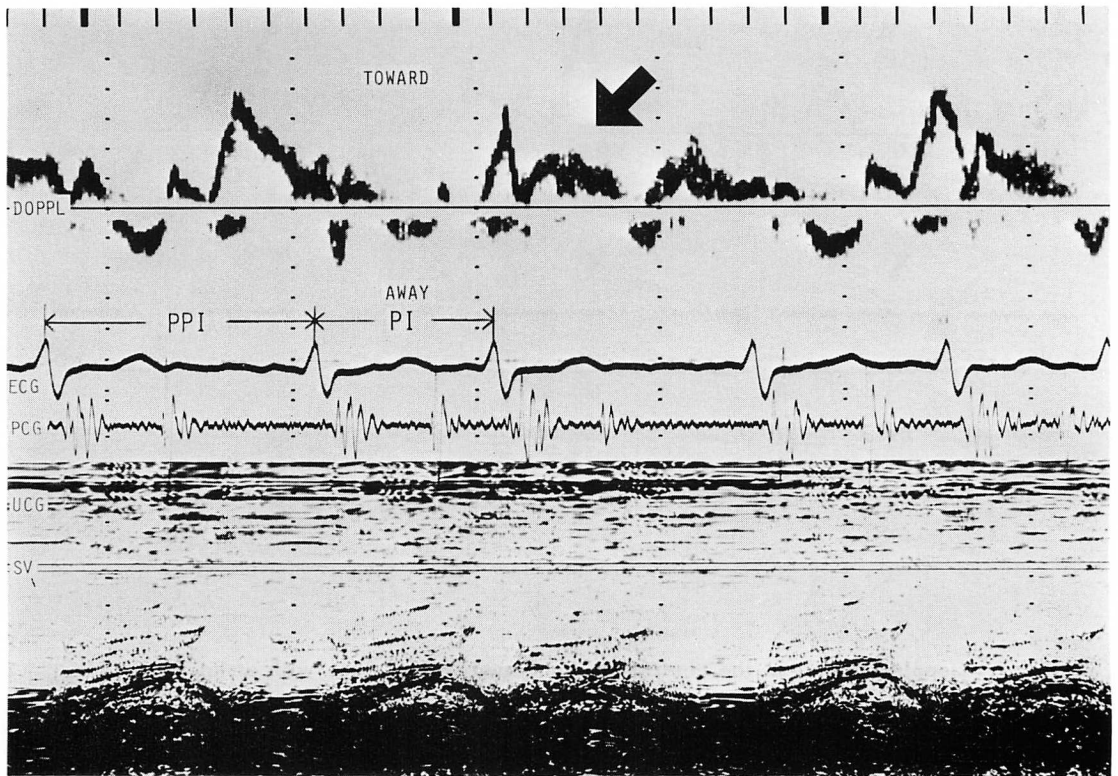


Fig. 3. Doppler signals at the central area obtained from a case of atrial fibrillation.

Systolic backward flow, termed “back flow”, is observed in the cardiac cycle with a short preceding R-R interval (arrow).

PPI=pre-preceding R-R interval; PI=preceding R-R interval. For other abbreviations, see Fig. 2.

103 対 817 ± 179 ミリ秒, $p < 0.01$). 他の症例に関してもほぼ同様で, “back flow” は短い先行 R-R 間隔後に出現しやすい傾向にあったが, Fig. 5 右の僧帽弁狭窄症例のごとく, 一部の例で先行 R-R 間隔が低値を示しながら, この血流を認める場合と認めない場合とがあった。

この点に関し, Fig. 6 に示すように, 先々行 R-R 間隔と先行 R-R 間隔との比 (PPI/PI) との検討を行うと, “back flow” ⊕ 群と ⊖ 群とは, 僧帽弁狭窄症例 (Fig. 6 右) においても明らかに分離された (2.00 ± 0.35 対 0.97 ± 0.25 , $p < 0.01$).

3. “Back flow” と左室駆出率との関係

Fig. 7 に左室造影を施行した 33 例の左室駆出率と “back flow” の有無との関係を示す. 左室

駆出率は, “back flow” ⊖ 群に比し, ⊕ 群で有意に低値を示した ($42 \pm 15\%$ 対 $66 \pm 12\%$, $p < 0.01$). すなわち, “back flow” の認められた症例では左室ポンプ機能の低下を示した。

4. 左室流出路駆出血流と先行 R-R 間隔および先々行 R-R 間隔との関係

Fig. 8 は, Fig. 2 で示した “back flow” 出現例の左室流出路における駆出血流をみたものであるが, 矢印に示すごとく, 先行 R-R 間隔が短いときに駆出血流の消失を認めた。

この点を考慮し, 左室流出路における駆出血流の有無と先行 R-R 間隔との関係を, 一連の心周期において比較すると, Fig. 9 左のごとく駆出血流 ⊖ 群では先行 R-R 間隔の短いものが多く, ⊕

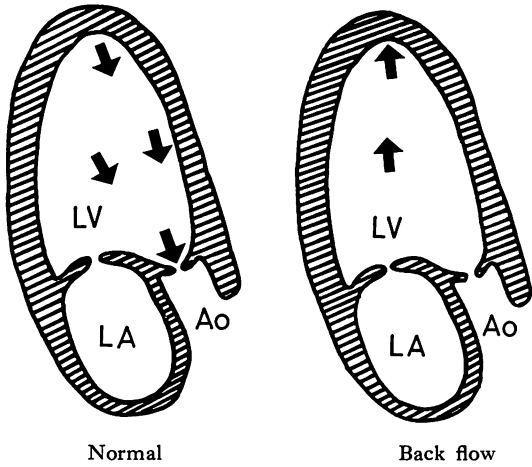


Fig. 4. Schematic illustrations of systolic blood flow patterns in cases of atrial fibrillation.

Left ventricular ejection flow in the cardiac cycle with a long preceding R-R interval is directed towards the outflow tract (left). In the cardiac cycle with a short preceding R-R interval, flow directing towards the apex is seen at the central or apical area (right).
LA=left atrium; Ao=aorta; LV=left ventricle

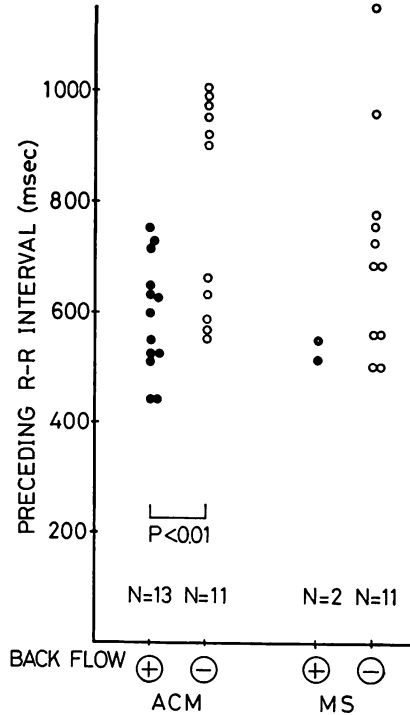


Fig. 5. Comparison of preceding R-R interval between the cardiac cycles with or without "back flow" in two cases with atrial fibrillation.

In the cases with alcoholic cardiomyopathy (ACM), the preceding R-R interval (PI) in the cardiac cycles with "back flow" is significantly shorter than that without it ($p < 0.01$). In the cases with mitral stenosis (MS), however, the difference of PI with or without "back flow" is not significant.

群では長いものが全例であった。さらに、先々行 R-R 間隔と先行 R-R 間隔との比 (PPI/PI) を比較すると (Fig. 9 右), 駆出血流 ⊖ 群では ⊕ 群に比し, 有意に高値を示した。 (1.56 ± 0.22 対 0.92 ± 0.29 , $p < 0.01$).

5. 左室造影による "back flow" の観察

"Back flow" の有無における左室動態の差を造影法により解析した。第 1 斜位における左室収縮様式は Fig. 10 左に示すごとく, 長い R-R 間隔後の心周期では, 左室壁は比較的均等な収縮を示すのに対し, 先行 R-R 間隔の短い心拍では, 心基部は正常の収縮を示すが, 心尖部は正常とは逆方向の長軸方向へ延長する異常な壁運動を示した。

考 按

1912 年, Lewis⁶⁾ が動物実験で, 心房細動例の先行 R-R 間隔の変化に伴う血圧, 脈圧, 静脈圧,

あるいは心室容積の変化から, 先行 R-R 間隔の血行動態に及ぼす影響について報告して以来, その血行動態の変化に関する数多くの検討がなされてきている^{7,8)}。しかしながら, 心房細動例における先行 R-R 間隔の変化に起因した心内血行動態の変化に関しては, 過去に詳細な検討をみない。本研究において我々は, 超音波パルス・ドップラー法を用いることにより, その左室内血流を分析し, 先行 R-R 間隔の変動による左室内血行動態への影響について検討した。

心房細動例の左室内収縮期駆出血流は, 先行

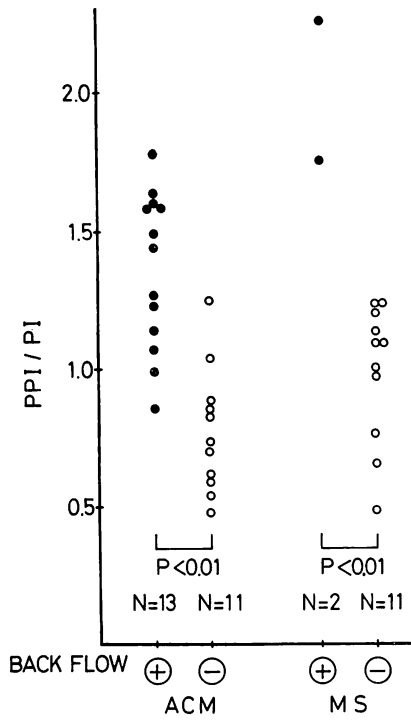


Fig. 6. Comparison of pre-preceding R-R interval / preceding R-R interval (PPI/PI) between the cardiac cycles with and without “back flow” (the same cases as in Fig. 5).

The value of PPI/PI in the cardiac cycles with “back flow” is significantly greater than that without it in both cases ($p < 0.01$).

R-R 間隔に影響されてその流速に変化を生じるが、一般には左室流出路方向へ向かう血流信号として示される (Fig. 4 参照)。ところが、今回検討した 160 例中 22 例 (14%) では、左室中央部あるいは心尖部において、とくに先行 R-R 間隔の短い心周期のみに正常とは逆向きの、心尖部へ向かう異常血流 (“back flow”) を認めた。この血流は左室造影所見に照合すると、心尖部の異常運動に一致するものと思われる。すなわち、“back flow” の成因として、心尖部領域を中心とする壁運動異常に伴う左室のアシナジーが示唆されるものと思われた。

一方、この “back flow” は先行 R-R 間隔短

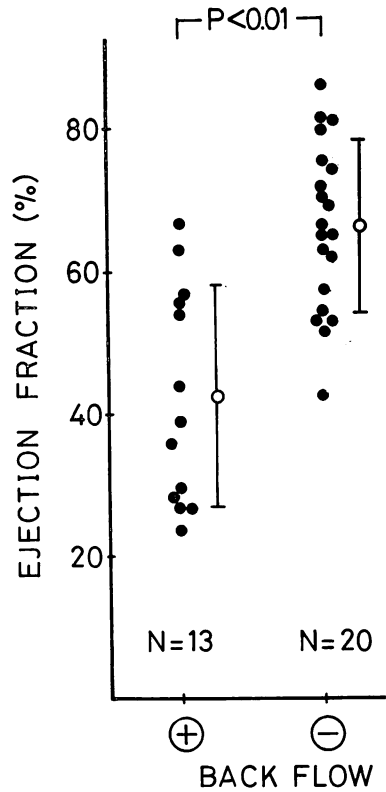


Fig. 7. Relation between ejection fraction and “back flow” in cases with atrial fibrillation.

Ejection fraction is significantly decreased in cases with “back flow” as compared with cases without it.

縮の程度と関連はしても、先行 R-R 間隔短縮程度が同様でも、この flow を認める場合と認めない場合とが存在し、さらに先々行 R-R 間隔と先行 R-R 間隔との比 (PPI/PI) が高ければ “back flow” が出現しやすい。このことは、Edmands ら⁹⁾が麻酔犬において、先行 R-R 間隔と脈圧との関係を調べた際に、先行 R-R 間隔の検討だけでは分散が認められ、先々行 R-R 間隔との比 (PPI/PI) と良好な相関が得られ、心房細動例における各心拍の血行動態がこの両間隔の影響とともに受けるという考えと一致する¹⁰⁻¹³⁾。

さらに、“back flow” 出現例では左室駆出率

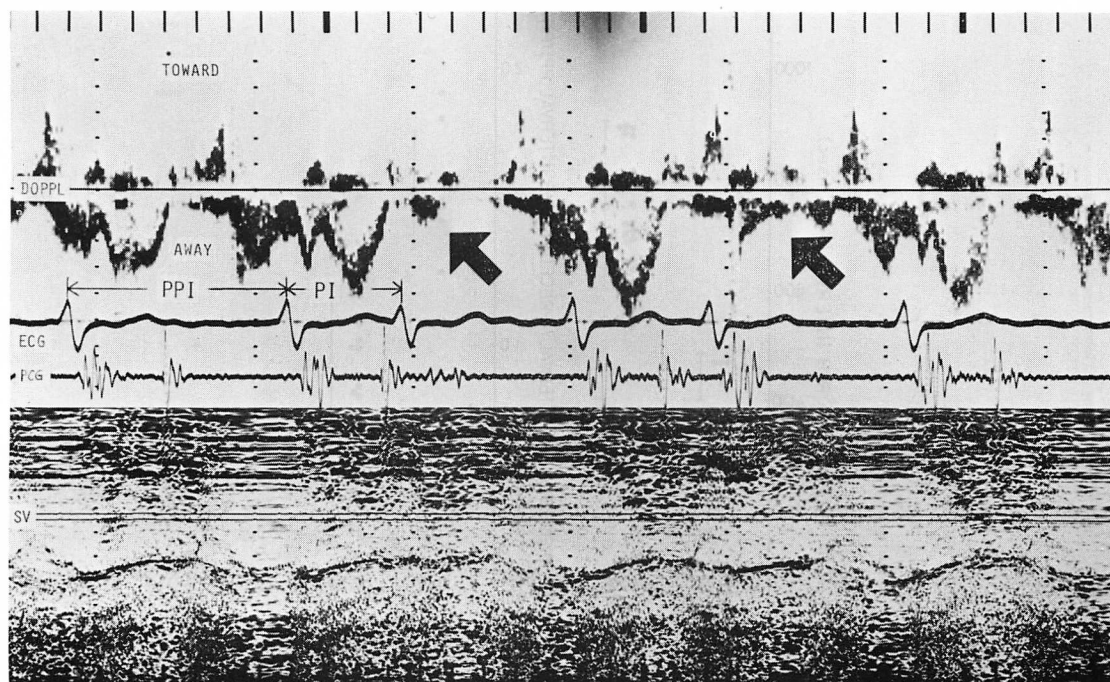


Fig. 8. Doppler signals at the outflow tract obtained from a case with atrial fibrillation and central “back flow”.

Left ventricular ejection flow disappears in the cardiac cycles with short preceding R-R intervals after a long pre-preceding R-R interval (arrows).

Abbreviations as in Fig. 2.

低値例が多く、とりわけ拡張型心筋症6例では全例にこの flow を認めた。

以上より、“back flow”出現の規定因子として、i) 先行 R-R 間隔短縮、ii) 先々行 R-R 間隔と先行 R-R 間隔との比 (PPI/PI) が高い値をとること、iii) 左室駆出率低値が存在することが示された。

一方、“back flow”出現例では、左室流出路における駆出血流が先行 R-R 間隔の短い場合に消失する症例(22例中13例)を認め、また他の9例でも、完全消失には至らなかったものの、著明な減弱をみている。

従来より、先行 R-R 間隔短縮時には、Frank-Starling の法則により左室収縮力の低下、したがって駆出血流の減弱をきたすが⁸⁾、駆出血流の消失と“back flow”出現との間に強い関連を認め

たことは、先行 R-R 間隔短縮時における駆出血流消失の一因として、同時にみられる“back flow”の関与も考慮すべきものと考えられた。

心房細動例では先行 R-R 間隔短縮の程度により脈拍欠損を生ずることが知られているが、今回の検討の結果は、脈拍欠損の出現機転として、心尖部領域を中心とする壁運動異常に伴う左室収縮の非協調性が“back flow”を出現させることも重要な因子となることを示すものと思われた。

要 約

超音波パルス・ドップラー法を用い、心房細動例における先行 R-R 間隔の変化に伴う左室駆出血流動態の変化について検討した。

1. 心房細動例 160 例中 22 例 (14%) で、左室中央部あるいは心尖部において、正常とは逆方向

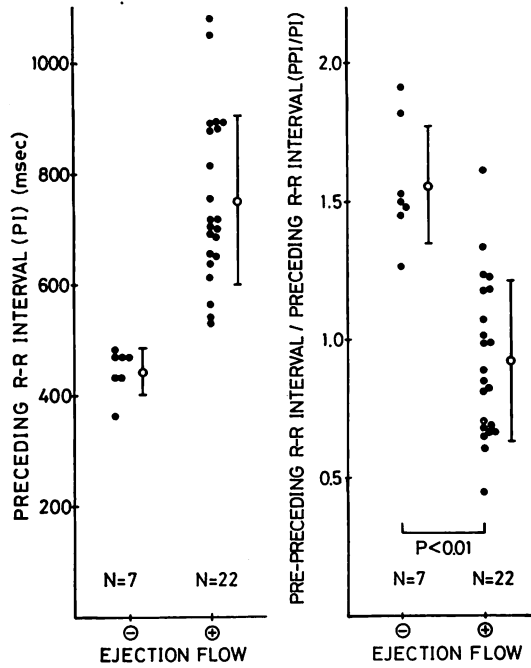


Fig. 9. Comparisons of preceding R-R intervals and pre-preceding R-R interval / preceding R-R interval (PPI/PI) of the cardiac cycles with and without ejection flow, obtained from the same case as in Fig. 7.

Left ventricular ejection flow disappears in the cardiac cycles with short preceding R-R intervals (left). In addition, PPI/PI is significantly increased in the cardiac cycles without ejection flow (right).

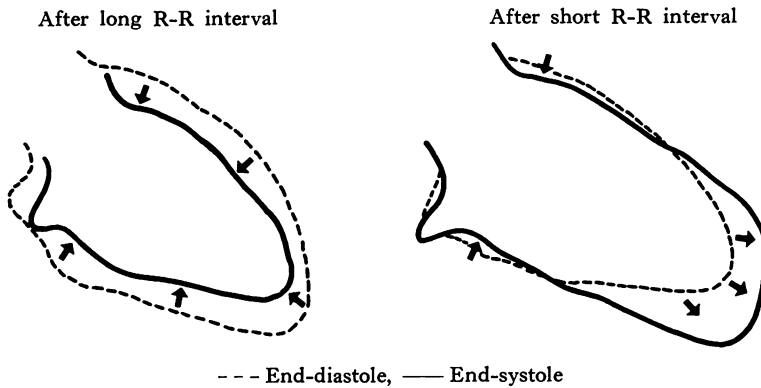


Fig. 10. Left ventriculographic observations in a case with atrial fibrillation.

In the cardiac cycle after a long preceding R-R interval, left ventricular wall motion is good (left). In the cardiac cycle after a short preceding R-R interval, however, it is impaired, especially at the apical region, showing outward movement along the longitudinal axis (right).

の心尖部へ向かう収縮期層流性血流 (“back flow”) を認めた。

2. この flow は短い先行 R-R 間隔を有する心周期に認められたが、とくに先々行 R-R 間隔が延長し、かつ先行 R-R 間隔が短縮するさいに出現しやすい傾向があった。

3. “Back flow” を有する群と有しない群の間で、左室駆出率は前者は後者に比し有意に低値を示し ($42 \pm 15\%$ 対 $66 \pm 12\%$, $p < 0.01$), 左室ポンプ機能低下例でこの flow が出現し易いことが示された。

4. 左室造影第 1 斜位による左室壁の収縮様式は、先行 R-R 間隔の短い心周期では心基部は正常の収縮を示すが、心尖部は正常とは逆の長軸方向へ延長する異常な壁運動を示した。この心尖部領域を中心とする壁運動異常に伴う左室収縮の非協調性のため、この “back flow” が出現するものと考えられた。

5. 左室流出路駆出血流は、“back flow” 出現を認めた 22 例中 13 例で、先行 R-R 間隔短縮の程度が同様の時相においてその消失を認めるとともに、他の 9 例でも、完全消失にはいたらなかったものの、著明な血流減弱を認めた。このことは、心房細動例における脈拍欠損の出現機転として、先行 R-R 間隔短縮時における “back flow” の出現が重要な因子となることを示唆していると思われた。

文 献

- 1) Nakamura K, Sanada J, Minami Y, Kuroiwa N, Ohshige T, Hashimoto S: Pulsed Doppler echocardiographic assessment of the abnormal blood flow dynamics in the left ventricular cavity in ischemic heart disease. *Jpn J Med Ultrason* **10**: 32, 1983 (in Japanese)
- 2) Sanada J, Nakamura K, Minami Y, Kubo H, Kawahira M, Ohshige T, Hashimoto S: Pulsed Doppler echocardiographic assessment of mitral regurgitation. *Jpn J Med Ultrason* **10**: 5, 1983 (in Japanese)
- 3) Kuroiwa N, Nakamura K, Sanada J, Ohshige T, Hashimoto S: The analysis of the blood flow pattern of the left ventricle during isovolumic relaxation period by the use of pulsed Doppler echocardiography. *J Jpn Soc Intern Med* **73**: 51, 1984 (in Japanese)
- 4) Sanada J, Nakamura K, Minami Y, Kuroiwa N, Ohshige T, Hashimoto S: Assessment of left ventricular isovolumic contraction flow by the use of pulsed Doppler echocardiography. *Kokyu to Junkan* **31**: 81, 1983 (in Japanese)
- 5) Kennedy JW, Trenholme SE, Kasser IS: Left ventricular volume and mass from single plane cineangiogram: A comparison of anteroposterior and right anterior oblique method. *Am Heart J* **80**: 343, 1970
- 6) Lewis T: Fibrillation of the auricles: Its effects upon the circulation. *J Exper Med* **16**: 395, 1912
- 7) Meijler FL, Strackee J, van Capelle FJL, du Perron JC: Computer analysis of the RR interval-contraction relationship during random stimulation of the isolated heart. *Circ Res* **22**: 695, 1986
- 8) Braunwald E, Frye RL, Aygen MM, Gilbert JW: Studies on Starling's law of the heart: III. Observations in patients with mitral stenosis and atrial fibrillation on the relationships between left ventricular end-diastolic segment length, filling pressure, and the characteristics of ventricular contraction. *J Clin Invest* **39**: 1874, 1960
- 9) Edmands R, Greenspan K, Fisch C: The role of inotropic variation in ventricular function during atrial fibrillation. *J Clin Invest* **49**: 738, 1970
- 10) Rogel S, Mahler Y: Myocardial tension in atrial fibrillation. *J Appl Physiol* **27**: 822, 1969
- 11) Suzuki H, Yaginuma T, Kondo K, Tsuchiya M, Shiina A, Hosoda S: Echocardiographic evaluation of the left ventricular contraction in cases with atrial fibrillation. *J Cardiogr* **11**: 509, 1981 (in Japanese)
- 12) Koch-Weser J, Blinks JR: The influence of the interval between beats on myocardial contractility. *Pharmacol Rev* **15**: 601, 1963
- 13) Gibson DG, Broden G, Sowton E: Effect of varying pulse interval in atrial fibrillation on left ventricular function in man. *Br Heart J* **33**: 388, 1971