

心房細動例における脈拍欠損の発生機転：血流動態的解析

Mechanism of production of pulse deficit in atrial fibrillation: Assessment by blood flow dynamics

馬渡 浩介
真田 純一
黒岩 宣親
屋宮 和哉
中村 一彦
橋本 修治

Kosuke MAWATARI
Jun-ichi SANADA
Nobuchika KUROIWA
Kazuya OKUMIYA
Kazuhiko NAKAMURA
Shuji HASHIMOTO

Summary

Pulse deficit in patients with atrial fibrillation is caused by the reduction of preload. The purpose of this study was to visualize the mechanism in view of blood flow dynamics using pulsed Doppler echocardiography. The subjects were 15 cases with atrial fibrillation and pulse deficit, and the results were as follows:

1. Simultaneous recordings of the carotid pulse wave (CPW) and blood flow at the left ventricular inflow tract indicated that, in nine of the total 15 cases, CPW disappeared from the cardiac cycle with short preceding R-R intervals and without rapid filling flow (RF) (Group A). However, CPW disappeared from the cardiac cycle even with sufficient preceding RF in the other six cases (Group B).

2. In Group A, %RF correlated well with %CPW; however, there was poor correlation between them in Group B. Moreover, CPW was always greater than 26% if RF was greater than 50% of each mean value in Group A, but less than 25% in Group B, suggesting poor left ventricular ejection in the latter group.

3. The left ventricular ejection fraction (EF) and %fractional shortening (%FS) decreased significantly in Group B compared to those in Group A (EF; 59 ± 7 vs $41 \pm 12\%$, $p < 0.01$, %FS; 31 ± 5 vs 20 ± 6 , $p < 0.01$). These findings indicate that left ventricular contractility was significantly reduced in the cases with pulse deficit in Group B.

4. Systolic backward flow in the mid-ventricle caused by left ventricular asynchrony due to localized apical wall motion abnormalities was observed in all 15 cases. The heart rate during pulsed Doppler echocardiography was significantly increased in Group A as compared to that in Group B.

In conclusion, pulse deficit always occurs in the cardiac cycle with reduced preload; however, it may occur even in a cardiac cycle with sufficient preload, if there is reduced left ventricular contractility causing left ventricular asynchrony.

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, Kagoshima University School of Medicine, Usuki-cho 1208-1, Kagoshima 890

Received for publication April 13, 1987; accepted May 19, 1987 (Ref. No. 33-56)

Key words

Pulsed Doppler echocardiography

Atrial fibrillation

Pulse deficit

はじめに

心房細動例における脈拍欠損の出現については古くからよく知られているが¹⁾, その発生機転は, いまだ十分解明されていない. また, 心房細動では個々の心拍で血行動態が変化することも知られているが^{2~4)}, 方法論的な制約により, 左室内血行動態は十分検討されているとはいえない.

超音波パルス・ドップラー法は心血管系の局所血流を非観血的に捕え, とくに心内血行動態の詳細な分析が可能である⁵⁾. 我々はすでに同法を用い, 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, 本症の駆出血流は先行 R-R 間隔によって変化し, その短縮時には正常とは逆方向の血流も見られることを報告した⁶⁾. 今回はさらに同方法を用い, 心房細動例の左室内血流, とくに左室流入血流と頸動脈波との関連を検討し, 脈拍欠損発生機転に対する血行動態面よりの解析を試み, 興味ある所見を得たので報告する.

対象と方法

対象は脈拍欠損を有し, 超音波パルス・ドップラー法と頸動脈波とを同時記録した心房細動 15 例である. その基礎疾患は孤立性心房細動 5 例, 拡張型心筋症 4 例, 弁置換術後 2 例, アルコール性心筋症, 収縮性心外膜炎術後, 肥大型心筋症, 狭心症が, それぞれ 1 例ずつであった.

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 time delay 22 msec⁷⁾) 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.

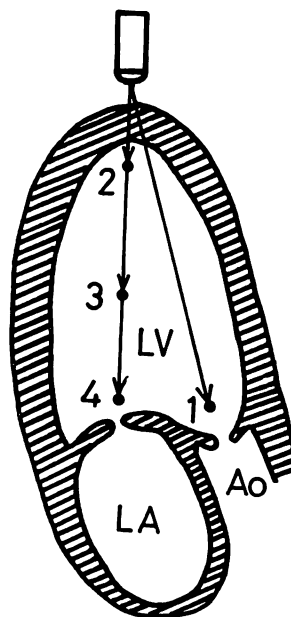


Fig. 1. Schematic illustration of the sampling sites.

The sampling sites are set in the apical long-axis view of the left ventricle.

1: outflow tract; 2: apical area; 3: central area; 4: inflow tract.

Ao=aorta; LV=left ventricle; LA=left atrium.

記録は被検者を半左側臥位とし, 心尖部アプローチで, 主に呼気停止にて毎秒 100 mm のペーパースピードで行った. 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, 左室流入路僧帽弁口部, 左室中央部, 心尖部, 左室流出路の 4 か所で行った.

脈拍欠損の指標として頸動脈波 (carotid pulse wave: CPW) を用い, 左室流入路僧帽弁口部における血流信号と同時記録し, 対比検討した (Fig. 2). R-R 間隔が 600~1200 msec と長く, 急速流入血流が十分得られた連続 5 心拍の, 後続する頸動脈波の波高を平均し, 平均頸動脈波高 (mean

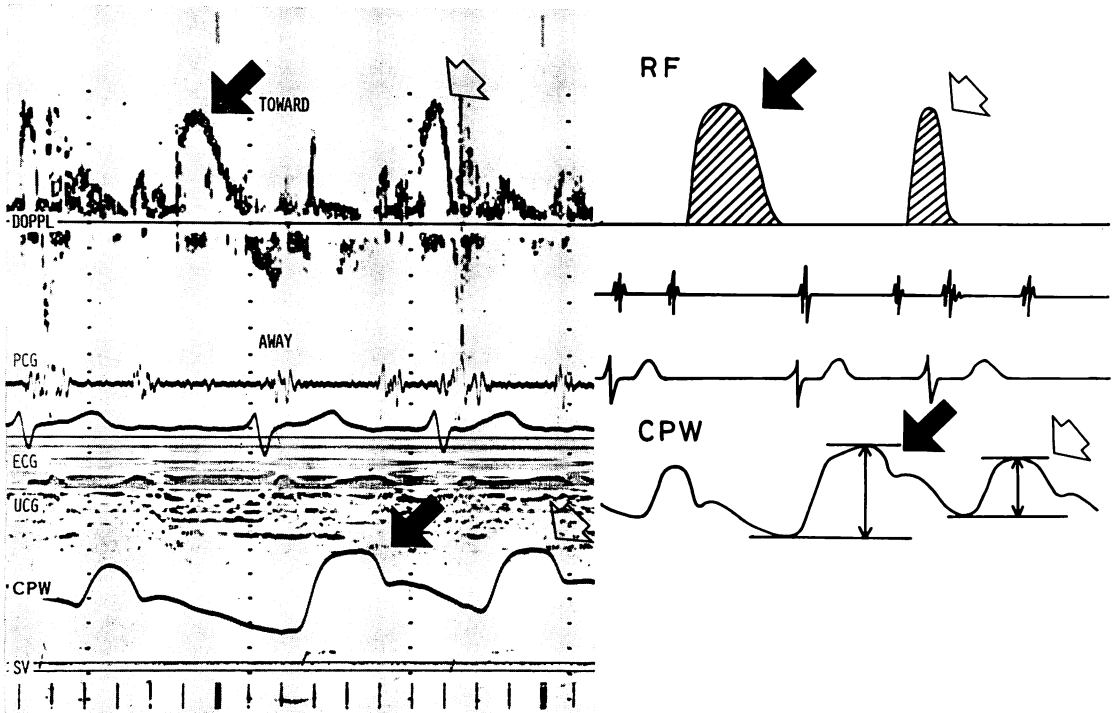


Fig. 2. Simultaneous recording of carotid pulse wave (CPW) and blood flow at the left ventricular inflow tract obtained from a case with atrial fibrillation.

Left panel: Doppler signals at the left ventricular inflow tract (upper) and CPW tracing. Right panel: Schematic illustration. CPW is normal in size in the cardiac cycles with sufficient preceding rapid filling flow (RF) (black arrows), and is reduced in the cardiac cycles with short preceding R-R intervals with insufficient RF (white arrows).

DOPPL=Doppler; PCG=phonocardiogram; ECG=electrocardiogram; UCG=ultrasound cardiogram; CPW=carotid pulse wave; SV=sample volume; RF=rapid filling flow.

CPW) とした。また左室流入血流量の指標として左室急速流入血流 (rapid filling flow: RF) が十分得られた長い心周期(頸動脈波の先行心周期)の RF の面積 (integral RF) を測定し、連続 5 心拍平均にて mean integral RF を求めた。各心周期における急速流入血流と頸動脈波は mean RF, mean CPW に対する比として求め、それぞれ % RF, % CPW とした。また、左室収縮能の指標としては、M モード心エコー図より 5 心拍平均にて左室駆出率 (ejection fraction: EF), % fractional shortening (以下 % FS) を求めた。

結 果

1. 左室流入血流量と頸動脈波との関係

左室流入路僧帽弁口部における血流パターンと、同時記録した頸動脈波との関係では、Fig. 3 の黒矢印に示す如く、急速流入血流の消失を示した際に、その直後の心周期において白ぬき矢印で示す如く、頸動脈波の消失を認める 9 例 (A 群) と、Fig. 4 の黒矢印に示す如く、急速流入血流を認めるにもかかわらず、白ぬき矢印に示す如く、頸動脈波の消失する 6 例 (B 群) に分けられた。

これらの群における % RF と % CPW との関

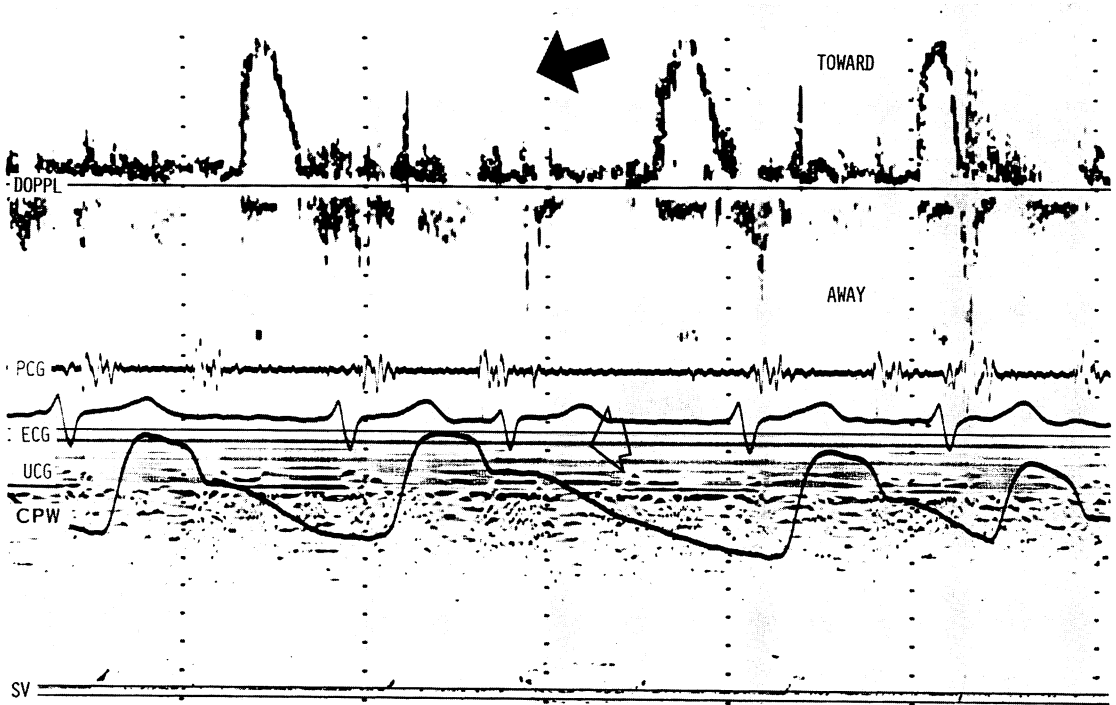


Fig. 3. Simultaneous recording of CPW and blood flow at the left ventricular inflow tract obtained from a case with atrial fibrillation.

CPW disappears (white arrow) in the cardiac cycles with short preceding R-R intervals and without RF (black arrow) (Group A). Abbreviations as in Fig. 2.

係を、連続した心周期において検討すると、A 群では Fig. 5 に示す如く、% RF が低下するにつれて % CPW も低下し、% RF が 0 のとき % CPW も 0 となった。一方、B 群では Fig. 6 に示す如く、% RF と % CPW との間に一定の関係は認められず、分散を示した。さらに詳細な検討の結果、B 群 6 例全例において、% RF が 25% 以上の左室流入血流を認めるにもかかわらず、% CPW が 25% 以下、つまり頸動脈波が著しく減高する心周期が数多く認められた (Fig. 6 の破線で区切られた右下の領域)。

この B 群 6 例中、% CPW が 25% 以下を示した心周期のうち、最大の左室流入血流量をプロットしたのが Fig. 7 の黒丸である。図に示す如く、6 例全例において、% RF が 50% 以上ある

にもかかわらず、% CPW は 25% 以下を示していた。さらに A 群 9 例において % RF 50% 以上流入した心周期に後続する頸動脈波高のうち、個々の症例における最小の % CPW をプロットすると (白丸)、% CPW は 9 例全例において 26% 以上を示した。すなわち、A 群では % RF が 50% 以上あれば % CPW は 26% 以上と、ある程度の駆出が得られるのに比し、B 群では % RF が 50% 以上あっても、駆出が形成されないことがあることが示された。

2. 左室機能との関係

Fig. 8 に A, B 両群全例で、心エコー図より求めた EF を示す。A 群に比し、B 群の EF は有意に低値を示した (59 ± 7 vs $41 \pm 12\%$, $p < 0.01$)。% FS も同様に、B 群は A 群に比べて有

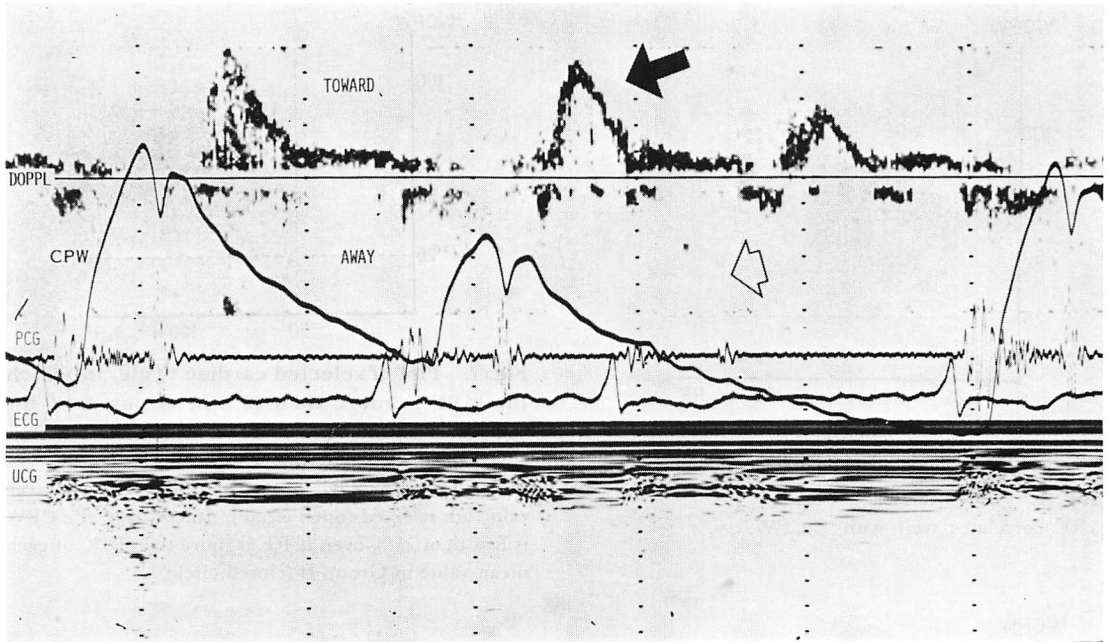


Fig. 4. Simultaneous recording of CPW and blood flow at the left ventricular inflow tract obtained from a case with atrial fibrillation.

CPW disappears (white arrow) even in the cardiac cycle with sufficient preceding RF (black arrow) (Group B). Abbreviations as in Fig. 2.

意に低値を示した (31 ± 5 vs $20 \pm 6\%$, $p < 0.01$) (Fig. 9). すなわち、左室流入を認めるにもかかわらず脈拍欠損を示す症例では、左室ポンプ機能の低下が存在することが示された。さらに、今回対象とした脈拍欠損を有する心房細動 15 例全例に、左室中央部もしくは心尖部において、先行 R-R 間隔短縮時の収縮期に、心尖部へ向かう “back flow” を認めた (Fig. 10 黒矢印)。

なお、両群における EF 計測時の心拍数には有意差は認められなかった。また超音波パルス・ドップラー法施行時の心拍数は、A 群では B 群に比し、有意に高値を示した (90 ± 9 vs 75 ± 13 /分, $p < 0.02$)。

考 按

心房細動例における脈拍欠損の出現機転に関しては、Lewis²⁾ が動物実験により動脈圧と心容量

との関係から血行動態面よりの解析を行って以来、主に前負荷により駆出血流が規定されるという観点から理解されている^{8,9)}。すなわち、脈拍欠損は左室拡張期容量の減少時に出現すると考えられる。しかし、血行動態と脈拍欠損との関係についての詳細な検討は過去に報告をみない。したがって本研究では、超音波パルス・ドップラー法を用いて、心房細動例の左室内血流を検討することにより、脈拍欠損の発生機転に対する血行動態面よりの解析を試みた。

左室流出路における駆出血流と頸動脈波との同時記録の検討では、両者はパラレルな変化を示したため、左室流入血流と左室駆出血流とを同時相において検討する目的で、以下の検討に際しては頸動脈波を左室駆出血流の指標として用いた。その結果、15 例中 6 例に左室流入血流が消失した時のみ後続する頸動脈波が消失したのに対し、他の

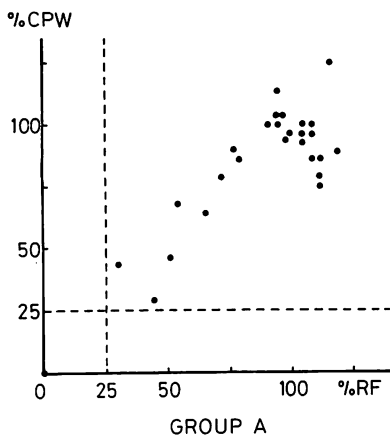


Fig. 5. Comparison of %CPW with %RF in Group A.

%RF correlates well with %CPW.

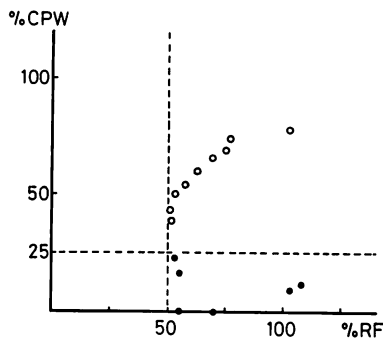


Fig. 7. Plot of selected cardiac cycle, in which the %RF is more than 50% in Group A or the %CPW is more than 25% in Group B.

In Group A, %CPW is always more than 26%, if the cycles with %RF more than 50% of each mean value are selected (open circle). In contrast, the CPW is less than 25% even if RF is more than 50% of each mean value in Group B (closed circle).

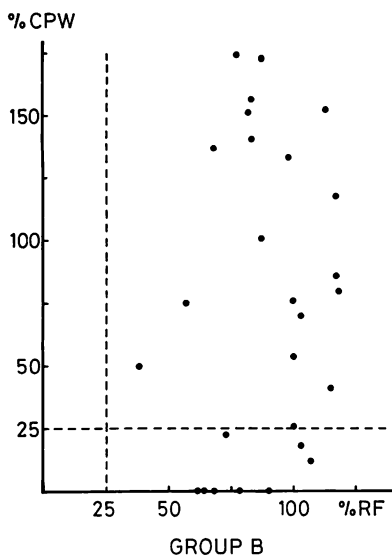


Fig. 6. Comparison of %CPW with %RF in Group B.

There is poor correlation between them.

6例では左室流入血流が十分存在しているにもかかわらず、頸動脈波の消失、すなわち駆出血流の消失を示した。

この2群間の左室機能では、EF、%FSとも

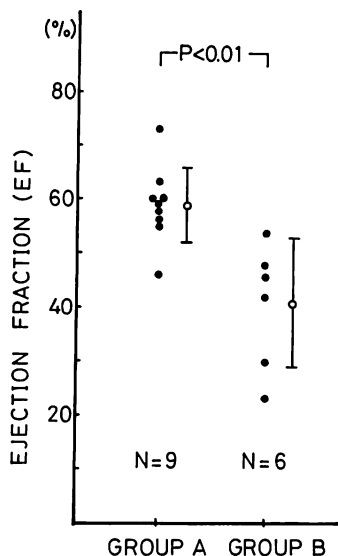


Fig. 8. Comparison of ejection fraction (EF) between Group A and Group B.

EF is significantly less in Group B than that in Group A.

に後者は前者に比べて有意の低値を示した。すなわち、左室収縮が比較的保たれている症例では前負荷に応じて1回心拍出量に変化するのに対し、

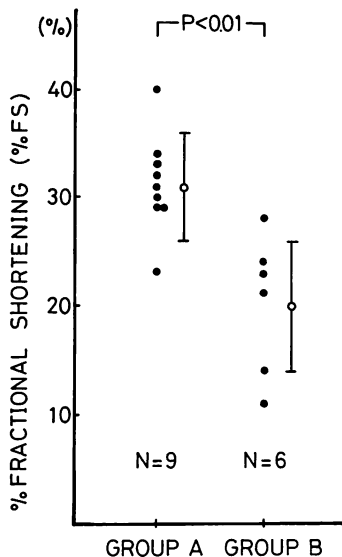


Fig. 9. Comparison of % fractional shortening (%FS) between Group A and Group B.

%FS is significantly decreased in Group B compared to that in Group A.

左室収縮能低下例では、十分な前負荷が存在しても1回心拍出量が減少し、脈拍欠損が出現しやすいということを示唆するものと思われた。

一方、我々は心房細動例の先行 R-R 間隔短縮時および左室機能低下時に、左室心尖部側を中心とする壁運動異常に起因した asynchrony が存在すること、さらに同時相の左室中央部あるいは心尖部において収縮期駆出血流が通常とは逆向きとなり (Fig. 10 黒矢印)、心尖部方向へ向かう層流性血流 (“back flow”) が出現することをすでに報告した⁶⁾。同異常血流出現時に頸動脈波は消失し (Fig. 10 白ぬき矢印)、脈拍欠損出現が示された。

この “back flow” 所見は、今回の対象例全例において認められ、このことは左室 asynchrony の出現が脈拍欠損に関与することを示唆するものと考えられた。

今回の検討では、比較的収縮能の保たれた群においても “back flow” を認めている。超音波パ

ルス・ドップラー法施行時の心拍数を2群間で比較すると、A群はB群に比べて頻脈を示しており、先行 R-R 間隔の短縮が著明なために左室流入血流が減少し、さらには asynchrony 出現が加わることにより、脈拍欠損の出現に至ったものと考えられる。これに対して、左室収縮能低下例では前負荷が十分に保たれていても、左室壁運動の asynchrony が出現しやすいために、さらに脈拍欠損をきたしやすくなるものと考えられる。左室機能低下時には、左室駆出量に対する前負荷の対応が悪化するということは、すでに Sarnoff & Mitchell¹⁰⁾ が指摘した如くであるが、今回の検討では同機転に一致した血流動態が示されるとともに、脈拍欠損には前負荷の多寡に加え、左室 asynchrony の出現が関与することが示唆された。

しかしながら、心房細動における左室壁運動異常の成因はいまだ明らかではなく、今後の解明が必要である。左室ポンプ機能を規定する因子として、左室収縮性、後負荷、前負荷^{11~14)}が知られているが、心房細動例では個々の心周期によりそれが複雑にかかわり合う。今後さらに血行動態と壁運動との関連について検討すべきものと思われた。

要 約

超音波パルス・ドップラー法を用いて、心房細動例における左室流入血流と頸動脈波との関連を検討し、脈拍欠損発生機転に対する血流動態面よりの解析を試みた。

1. 左室流入路における血流パターンと頸動脈波との関係では、急速流入血流 (RF) の消失時、その直後の心周期における頸動脈波の消失を認める9例 (A群) と、RF を認めるにもかかわらず頸動脈波の消失した6例 (B群) に分けられた。

2. %RF と %CPW との関係では、A群では %RF が低下するにつれて %CPW も低下する傾向を示したが、B群では一定の傾向を認めなかった。さらに A群では RF が mean RF の 50% 以上あれば、頸動脈波も平均の 26% 以上

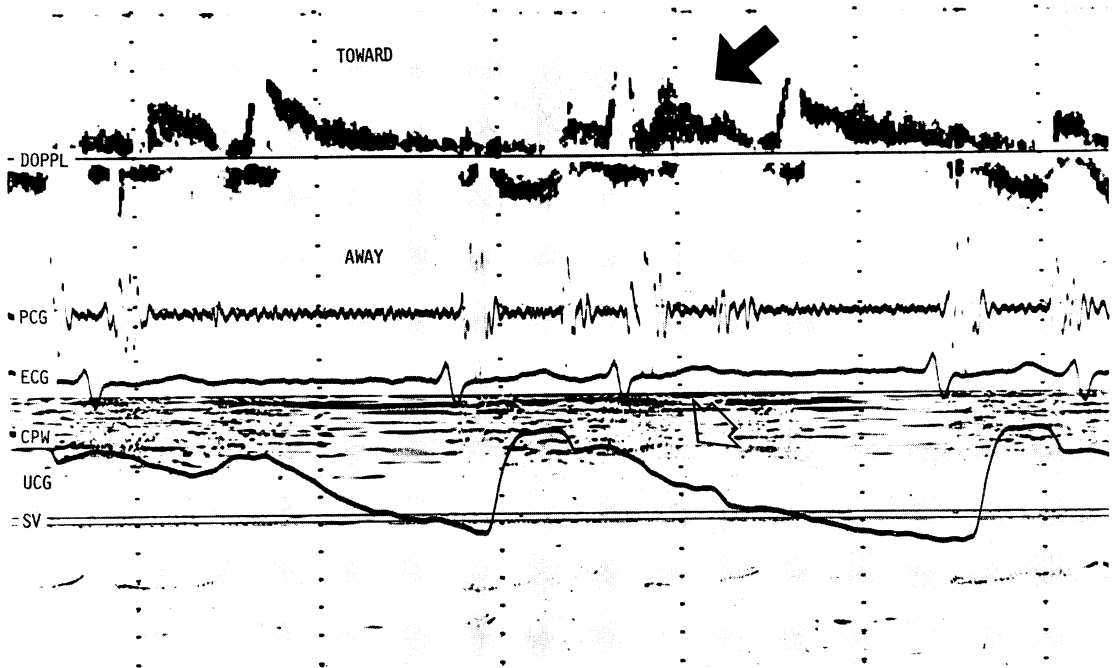


Fig. 10. Simultaneous recording of CPW and Doppler signals at the central region of the left ventricle obtained from a case with atrial fibrillation.

Systolic backward laminar flow directed toward the apex (back flow) is observed in the cardiac cycle with short preceding R-R intervals (black arrow). CPW disappears in the cardiac cycle with back flow (white arrow), indicating pulse deficit.

Abbreviations as in Fig. 2.

と, ある程度の駆出が得られるのに対し, B 群では mean RF の 50% 以上の RF を認めても, 頸動脈波が mean CPW の 25% 以下で, 駆出が形成されないことがあることが示された。

3. A, B 両群間の左室駆出率 (EF), % fractional shortening (% FS) の比較では B 群は A 群に比べて有意の低値 (EF: 59 ± 7 vs $41 \pm 12\%$, $p < 0.01$; % FS: 31 ± 5 vs $20 \pm 6\%$, $p < 0.01$) を示し, 左室流入血流を認めるにもかかわらず脈拍欠損を示す症例では, 左室収縮能低下の存在が示された。

4. 今回対象とした脈拍欠損を有する心房細動 15 例全例に, 左室心尖部側を中心とする壁運動異常に起因した asynchrony に基づく “back flow”

の出現を認めた。収縮能の保たれた A 群では, 超音波パルス・ドップラー法施行時の心拍数は B 群に比較し, 有意に高かった。

以上より, 心房細動例における脈拍欠損の出現機転として, 左室収縮能が比較的保たれている症例では前負荷の減少を主体に拍出量の減少をきたすのに対し, 左室収縮能低下例では前負荷が十分保たれていても, 左室壁運動異常に基づく asynchrony が起こりやすいため, 脈拍欠損も出現しやすと考えられた。

文 献

- 1) McMichael J: History of atrial fibrillation 1628-1819 Harvey-de Senac-Laennéc. Br Heart J 48:

- 193, 1982
- 2) Lewis T: Fibrillation of the auricles: Its effects upon the circulation. *J Exper Med* **16**: 395, 1912
 - 3) Einthoven W, Korteweg AG: On the variability of the size of the pulse in cases of auricular fibrillation. *Heart* **6**: 107, 1915
 - 4) Dodge HT, Kirkham Jr FT, King CV: Ventricular dynamics in atrial fibrillation. *Circulation* **15**: 335, 1957
 - 5) Nakamura K, Sanada J, Minami Y, Kuroiwa N, Ohshige T, Hashimoto S: Pulsed Doppler echocardiographic assessment of the abnormal flow dynamics in the left ventricular cavity in ischemic heart disease. *Jpn J Med Ultrason* **10**: 32, 1983 (in Japanese)
 - 6) Mawatari K, Kuroiwa N, Sanada J, Kawahira M, Kawagoe H, Nakamura K, Hashimoto S: Assessment of abnormal systolic left ventricular blood flow in atrial fibrillation. *J Cardiol* **17**: 625, 1987 (in Japanese)
 - 7) 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. *Respiration & Circulation* **31**: 81, 1983 (in Japanese)
 - 8) Rosenberg SZ: Relationship between electrical and mechanical events in atrial fibrillation: A study of direct arterial pressure tracings. *Am Heart J* **53**: 18, 1957
 - 9) Greenfield JC, Harley A, Thompson HK, Wallace AG: Pressure-flow studies in man during atrial fibrillation. *J Clin Invest* **47**: 2411, 1968
 - 10) Sarnoff SJ, Mitchell JH: Control of function of heart. *in Handbook of Physiology Sec 2, Circulation, vol II*: 489, 1963
 - 11) 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 relationship between left ventricular end-diastolic segment length, filling pressure, and the characteristics of ventricular contraction. *J Clin Invest* **39**: 1874, 1960
 - 12) Rogel S, Mahler Y: Myocardial tension in atrial fibrillation. *J Appl Physiol* **27**: 822, 1969
 - 13) Edmands RE, Greenspan K, Fisch C: The role of inotropic variation in ventricular function during atrial fibrillation. *J Clin Invest* **49**: 738, 1970
 - 14) Edmands RE, Greenspan K: Hemodynamic consequences of atrial fibrillation. *Geriatrics* **26**: 99, 1971