

心房細動症例の冠血流：カ
テーテル先端型ドップラー
流速計による検討

Real-time coronary
blood flow measurement
in patients with atrial
fibrillation: A study us-
ing a catheter-tip Dop-
pler velocimeter

根岸 耕二
半田俊之介
石川 士郎
岩永 史郎
和井内由充子
阿部 純久
谷 正人

Koji NEGISHI
Shunnosuke HANDA
Shiro ISHIKAWA
Shiro IWANAGA
Yumiko WAINAI
Sumihisa ABE
Masato TANI

Summary

To clarify the influence of changes in the cardiac cycle length (R-R) and aortic pressure on the coronary blood flow, a catheter-tip Doppler velocimeter was applied for 16 patients with chronic atrial fibrillation (11 with valvular heart disease, 2 with coronary artery disease, 2 with cardiomyopathy and one with atrial septal defect). An area under the coronary flow velocity curve during systole ($\int S$), diastole ($\int D$) and one cardiac cycle ($\int T$) for the proximal portion of the left anterior descending artery (LAD: 12 cases) or the right coronary artery (RCA: 10 cases) was calculated in beat-by-beat. Then, the correlations between each area and the R-R, systolic period (S), diastolic period (D) and aortic pressure were assessed. In both the LAD and RCA, prolongation of R-R associated with prolonged D increased $\int D$, which caused an increase of $\int T$. $\int D$ correlated with D ($p < 0.05$), but $\int S$ did not correlate with S, and the degree of change in $\int S$ or S was much less than that in $\int D$ or D. R-R or D of the preceding beat correlated inversely ($p < 0.05$) with $\int S$ in 11 of 12 LAD cases. In the RCA, positive correlations between R-R or D of the preceding beat and $\int S$ were observed in cases with mitral stenosis ($n=6$) or coronary heart disease ($n=1$), but not in other cases; a case with aortic regurgitation or hypertrophic cardiomyopathy, negative, and dilated cardiomyopathy, no correlation. In the LAD, aortic systolic pressure did not correlate with $\int S$ or $\int D$. In the RCA, aortic systolic pressure correlated with $\int S$ in 6 of 10 cases.

We concluded that prolongation of the diastolic period increased the coronary blood flow of each cardiac cycle. In the LAD, coronary blood flow during systole was reduced in accord with the prolonged

慶應義塾大学医学部 呼吸循環器内科
東京都新宿区信濃町 35 (〒160)

Cardiopulmonary Division, School of Medicine, Keio
University, Shinanomachi 35, Shinjuku-ku, Tokyo
160

Received for publication March 6, 1990; accepted September 11, 1990 (Ref. No. 37-33)

diastolic period of the preceding beat. In the RCA, elevation of aortic systolic pressure tended to increase coronary blood flow during systole.

Key words

Atrial fibrillation Coronary blood flow Doppler velocimeter

はじめに

冠血流は酸素需要の増減に応じて心房細動時にも変化することが報告されている¹⁾. 特に, 心房細動例では α 受容体刺激が亢進しているため, ジピリダモールを負荷した時の最小冠血管抵抗は増大し, 冠血流予備能は減少するという²⁾.

心房細動例で各心時相の冠血流動態を各心拍ごとに実時間で検討した報告は少ない³⁾. 心房細動時には, 先行心周期の変化による心室前負荷変化に伴い, 各心拍で一回心拍出量, 大動脈圧, 冠灌流圧, 左室壁応力などが変化し, 冠血流に影響する. 今回我々は心房細動を有する臨床例で, カテーテル先端型ドップラー流速計 (以下ドップラーカテーテル) を用いて, 各心時相で冠血流速度を大動脈圧と同時に実時間で連続測定し, 心周期および先行心周期が冠血流に与える影響を検討した.

対象と方法

慢性心房細動を有する 16 例 (年齢 42~74 歳) で, 冠動脈造影上狭窄病変を認めなかった冠動脈のうち, 左前下行枝 12 枝, 右冠動脈 10 枝を検討の対象とした. 基礎疾患は弁膜疾患 11 例 (僧帽弁狭窄症 7 例, 僧帽弁閉鎖不全症 2 例, 大動脈弁閉鎖不全症 2 例), 冠動脈疾患 2 例, 肥大型心筋症, 拡張型心筋症, 心房中隔欠損症各 1 例であった.

大腿動脈より挿入した PTCA 用のガイドイングカテーテルを通じてドップラーカテーテルを挿入し, 左前下行枝近位部 (AHA 分類 6 または 7 番) または右冠動脈近位部 (AHA 分類 1 番) に先端を留置した. 冠血流速度の測定は, Millar 製の mikro-tip Doppler catheter (Model DC-101) と velocimeter (Model MDV-20) を用いて, 繰り返し周期 62.5 kHz のゼロクロス法で行なった⁴⁾.

15 Hz の高域遮断フィルターを通した冠血流速度波形を大動脈圧波形と同時に YHP 製カテラボシステム (8890 B) に 50 mm/sec で記録した. 各心拍を心電図 (R 波) と大動脈圧波形 dicrotic notch より収縮期と拡張期に分割し, 収縮期, 拡張期, 全心周期の流速波形下の面積を求めた (Fig. 1). 大動脈圧の変動により, 心外膜面の冠血管の distending pressure は変動するが, それによる冠血管径の変化は比較的小さなことが報告されている⁵⁾. ここでは上記の各流速波形下面積 (JS と JD) の変化が相対的な冠血流量の変化を示すものとした. 各時相における血流波形下の面積を各々相対的な収縮期冠血流量, 拡張期冠血流量, 全心周期冠血流量 (JT) とした. 心周期, 収縮期, 拡張期, 先行心周期あるいは先行拡張期の各時間および大動脈圧と各相対冠血流量との関係を, 症例ごとに平均 14 心拍について求めた.

統計解析

データは平均値±標準誤差で表わした. 相関係数の検討は最小自乗法を用い直線回帰した. 回帰直線の相関係数の検定は $p < 0.05$ を有意な相関とした.

結 果

1. 心房細動例における冠血流速度波形上の前収縮期 dip の消失

洞調律例, 心房細動例の冠血流速度波形を Fig. 2 に示した. 洞調律例 (上図) の左前下行枝, 右冠動脈で心房収縮の時相に一致して前収縮期の dip (atrial coves: Fig. 2 上図の矢印) が認められた. 心房細動例 (下図) の全例でこの dip は消失していた.

2. 心周期時間の変化と冠血流速度波形

心房細動例の平均心拍数は 50~80/min, 心周

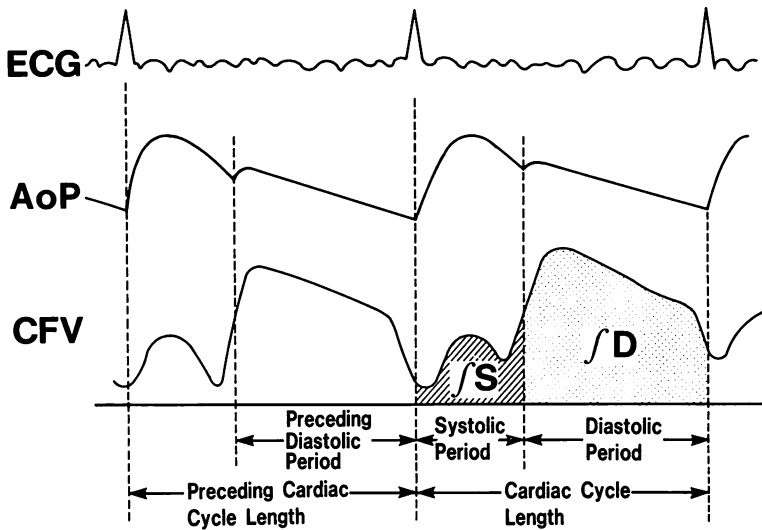


Fig. 1. Measurements of the relative value of coronary blood flow volume (CFV).

$\int S$, $\int D$ and $\int T$ =relative values of coronary blood flow during systole ($\int S$), diastole ($\int D$) and cardiac cycle ($\int T$).

期時間は約 500 msec から約 2,000 msec に分布した。

各症例ごとに各心周期と同一心周期内の冠血流量の関係を検討した。全症例で全心周期冠血流量と心周期時間は強い正相関 ($r \geq 0.85$) を示した。

各心周期を収縮期と拡張期に分けて検討した。左前下行枝での冠血流成分は収縮期 $22 \pm 4\%$ 、拡張期 $78 \pm 5\%$ であった。

56 歳、女性、僧帽弁狭窄症例の左前下行枝のデータを Fig. 3 に示す。収縮期冠血流量と収縮期時間の関係 (Δ) と拡張期冠血流量と拡張期時間の関係 (\bullet) をみると、前者では相関はみられず、また各心拍における収縮期冠血流量、収縮期時間の変化は、拡張期のそれに比しわずかであった。すなわち各点は図の左下に一塊となって集積し、収縮期冠血流量の変化が全心周期冠血流量の変化に関与する割合はわずかであった。一方、拡張期冠血流量は拡張期時間の延長に伴って増加し、全症例で密な正相関 ($r \geq 0.91$) を示した。

右冠動脈では、冠血流成分は収縮期 $35 \pm 4\%$ 、拡張期 $65 \pm 5\%$ であった。右冠動脈においても収

縮期時間と収縮期冠血流量の間に相関はなかった。全症例で拡張期冠血流量は拡張期時間の延長に伴い増加した ($r \geq 0.71$)。

心周期時間が拡張期時間と正相関 ($r \geq 0.98$) を示すことより、心周期時間延長に伴う全心周期冠血流量の増加は、拡張期の延長による拡張期冠血流量増加とすることができる。

3. 先行心周期時間の変化と冠血流速波形

左前下行枝における収縮期冠血流量と先行拡張期時間の関係を Fig. 4 に示した。上段は心房中隔欠損症の男性、74 歳、下段は肥大型心筋症の男性、49 歳の成績である。両者はそれぞれ $r = -0.69$, $r = -0.86$ (各々 $p < 0.01$) の逆相関を示した。この逆相関は 1 例を除き全症例でみられた ($r = -0.58 \sim -0.89$)。

右冠動脈でも同様の検討を行なった。僧帽弁狭窄症の 6 例 (右室収縮期圧: 平均 34 ± 5 mmHg, 右室拡張末期圧: 平均 5 ± 2 mmHg, 肺動脈平均圧: 平均 26 ± 5 mmHg) と虚血性心疾患 (左前下行枝一枝病変で PTCA 後、残存狭窄 AHA 分類の 25%) の 1 例では、先行心周期ないし先行拡張

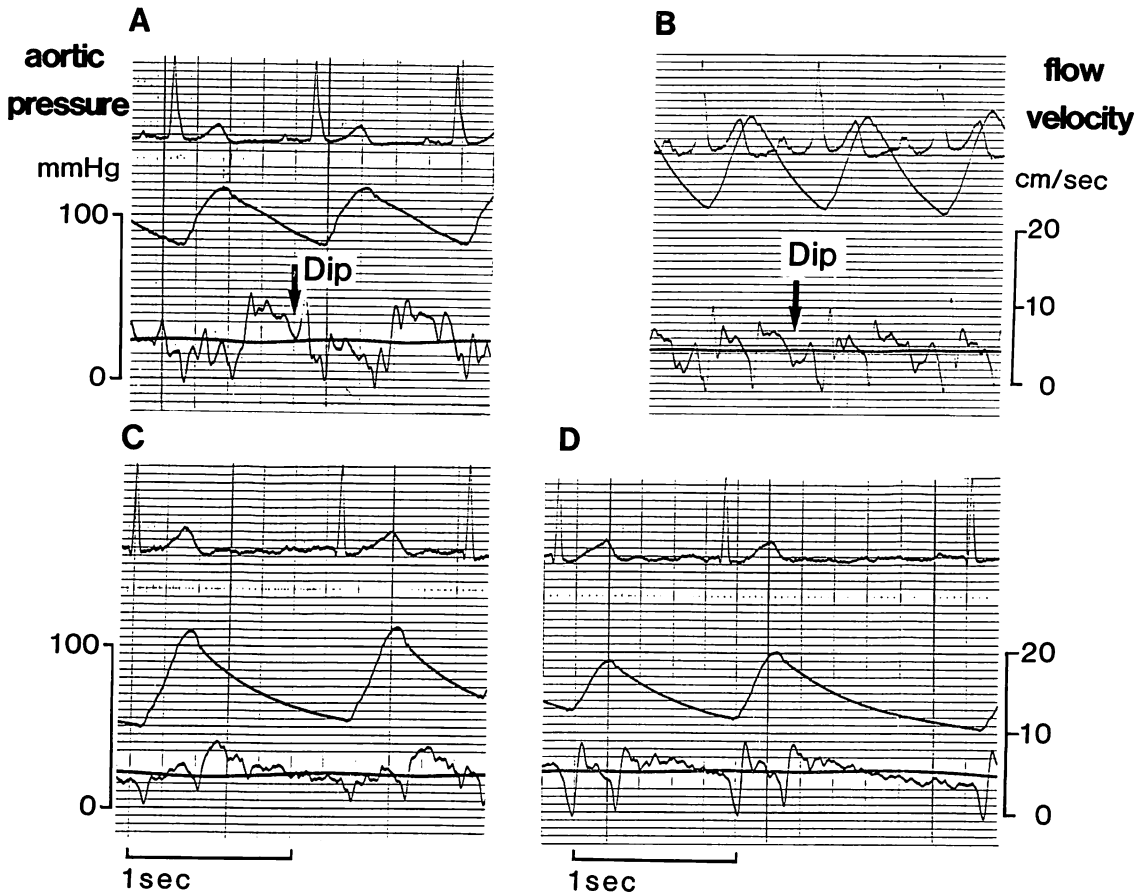


Fig. 2. Phasic pattern in coronary blood flow velocity in patients with normal sinus rhythm (top panels) and that in a patient with atrial fibrillation (bottom panels).

ECG, aortic pressure (mmHg) and coronary blood flow velocity (cm/sec) in the left anterior descending artery (LAD: left panels) and right coronary artery (RCA: right panels) are shown. Presystolic dip (arrows in panels A and B) is observed in patients with normal sinus rhythm (atrial coves), but not in patients with atrial fibrillation (panels C and D).

期時間と収縮期冠血流量は正相関を示した ($r=0.50\sim0.78$). 残りの3例中2例, すなわち中等度の大動脈弁閉鎖不全症および肥大型心筋症では逆相関を示した (各々 $r=-0.67, -0.58$). 残る1例 (拡張型心筋症) では有意な相関はなかった.

以上より, 右冠動脈ではこの関係は疾患によって異なることが示された. それぞれの代表例を **Fig. 5** に示した. 上段は69歳, 男性, 弁口面積 0.9 cm^2 の重症僧帽弁狭窄症例で, 先行拡張期時

間と収縮期冠血流量は正相関を示した ($r=0.91$). 下段は45歳, 女性, 大動脈造影上 $3/4$ の大動脈弁閉鎖不全症例で逆相関を示した ($r=-0.65$).

先行心周期変動あるいは先行拡張期変動による収縮期冠血流量の変化は, 全心周期冠血流量のそれに比しわずかで, 全心周期冠血流量とこれら先行心時相諸指標の間には関連を認めなかった. 左右いずれの冠動脈でも, 先行心時相時間の変化は拡張期冠血流量に影響を及ぼさなかった.

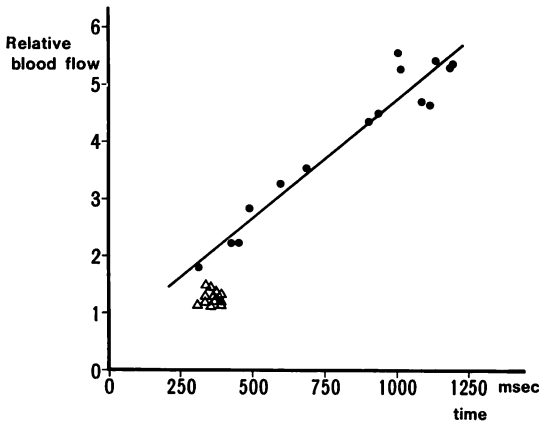


Fig. 3. Cardiac cycle and relative coronary blood flow in the LAD.

JS against systolic period (triangles) and JD against diastolic period (closed circles) in a patient with mitral stenosis are shown. JD correlated with diastolic period ($r=0.97$, $p<0.01$), but there was no correlation between JS and systolic period.

For abbreviations : see Figs. 1, 2.

4. 大動脈圧と冠血流速波形

大動脈収縮期圧の上昇は、右冠動脈の10例中6例で収縮期冠血流量を増加させた。症例を Fig. 6 に示した。上段は63歳、女性、下段は69歳、男性の僧帽弁狭窄症例である。両者は正相関 (各々 $r=0.69$, $r=0.80$) を示した。左前下行枝では大動脈収縮期圧の変動は収縮期冠血流量に影響を及ぼさなかった。

大動脈拡張期圧と同一心周期の拡張期冠血流量および全心周期冠血流量の間には、2例を除き、負の相関 ($r=-0.74\sim-0.97$, $r=-0.72\sim-0.95$) が認められた。拡張期の大動脈圧波形下の面積と拡張期冠血流量は、全例で正相関 ($r=0.63\sim0.95$) を示した。単位拡張期時間当りの冠血流量は、拡張期時間の延長に伴い減少した。

考 按

拡張期時間と拡張期冠血流量の間には良好な直線関係が得られた。しかし、拡張期の延長に伴い、大動脈拡張期圧および冠灌流圧は漸減し、一

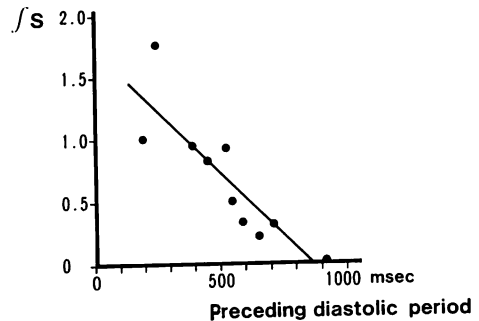
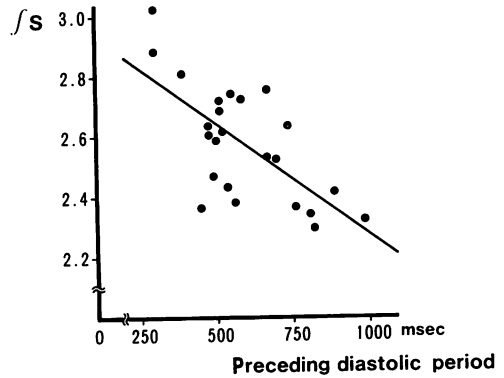


Fig. 4. The preceding diastolic period and JS in the LAD in patients with atrial septal defect (top panel) and with hypertrophic cardiomyopathy (bottom panel).

JS correlated inversely with the preceding diastolic period ($r=-0.69$, $p<0.01$, $r=-0.86$, $p<0.01$).

方左室は拡張し、内圧上昇に伴い壁応力が高まる。したがって拡張期が延長すると単位時間あたりの冠血流量は減少することが予測され、心周期時間が著明に延長すれば、両者の関係を直線回帰することには無理が生じる。事実、心周期時間が1,500 msec を越える心拍では回帰直線の右下にはずれる場合がみられた。

左前下行枝では拡張期時間と全心周期冠血流量の間に密な関連が認められたが、右冠動脈では比較的粗であった。これは全心周期冠血流量に占める拡張期冠血流量の割合が、右冠動脈に比し左前下行枝では高いためと考えられた。

先行心周期における拡張期時間が延長すると、

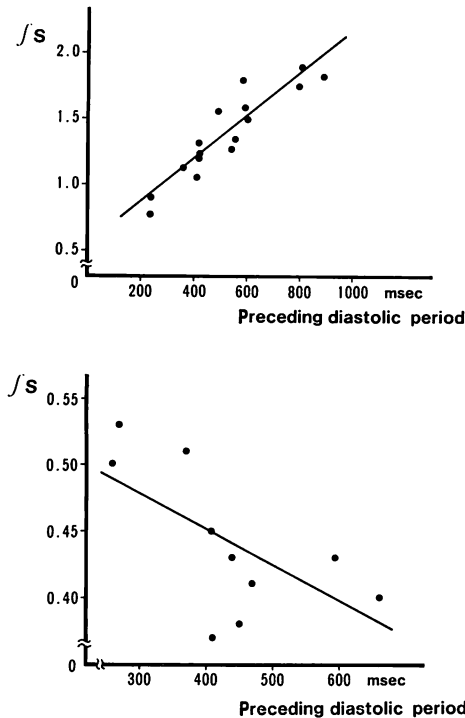


Fig. 5. The preceding diastolic period and fS in the RCA.

fS correlated closely with the preceding diastolic period in a patient with mitral stenosis ($r=0.91$, $p<0.01$; top panel), whereas a negative correlation was observed in a patient with aortic regurgitation ($r=-0.65$, $p<0.05$; bottom panel).

For abbreviations: see Figs. 1, 2.

左前下行枝における次の心拍の収縮期冠血流量は減少した。この理由として、先行拡張期の延長が大動脈拡張期圧の低下をもたらし、次の心拍における収縮開始時の冠血流速を低下させることが挙げられる。また拡張期延長による心室充満の増大が、左室拡張末期容積増大と次の心拍の左室収縮期圧上昇⁶⁾を介して壁応力の増加をもたらし、収縮期の extravascular compression force を増大、収縮期冠血流を減少させる可能性も考えられる。

右冠動脈の先行拡張期時間と収縮期冠血流量との関係は、大動脈弁閉鎖不全症や肥大型心筋症などと右室負荷疾患とは異なっていた。左前下行

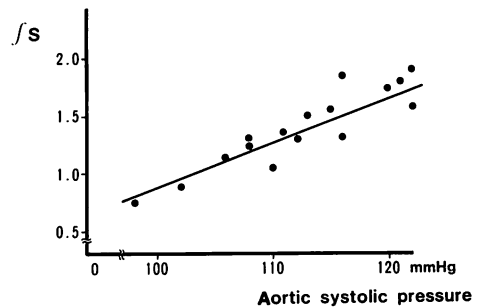
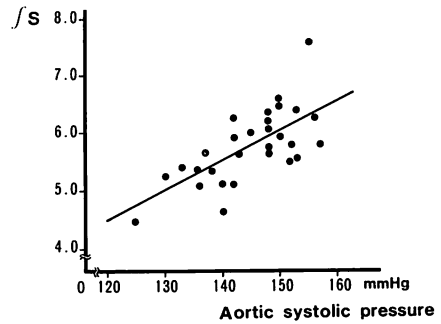


Fig. 6. Aortic systolic pressure and fS in the RCA in patients with mitral stenosis.

fS in the RCA increased with the high aortic systolic pressure. There was a correlation between fS and aortic pressure ($r=0.69$, $p<0.01$, $r=0.80$, $p<0.01$).

枝が左心室のみを灌流しているのに対し、右冠動脈は左右両心室を灌流し、その冠血流速波形は右室灌流成分と左室灌流成分の合成波形となっている。先行拡張期延長による次心拍の左室収縮期圧上昇、すなわち大動脈収縮期圧上昇は、右室灌流成分に対する冠灌流圧の増加を意味し、冠血流量は増大する。これは後述する大動脈収縮期圧と収縮期冠血流量との関連からも明らかである。大動脈弁閉鎖不全症、肥大型心筋症の2症例では先行拡張期時間と収縮期冠血流量が逆相関し、左前下行枝と同様であった。左室心筋重量が増加する疾患では、右冠動脈血流中の左室灌流成分が増加し、冠灌流圧上昇よりも、収縮開始時の冠血流速の低下と extravascular compression force の増大による冠血流量減少の関与が大きいものと推測

された。

左前下行枝では大動脈収縮期圧と収縮期冠血流量の間には関連を認めなかった。右冠動脈ではこの関係は疾患の病態により異なっていた。右冠動脈血流のうち、心室内圧の低い右室灌流成分については、大動脈収縮期圧の上昇は収縮期の冠灌流圧の増加を意味する。しかし左前下行枝では大動脈収縮期圧の上昇は収縮期左室内圧の上昇と平行するため、必ずしも有効な冠灌流圧の上昇にはつながらない。右冠動脈で6例は正相関を示したが、正相関のなかった4症例、すなわち肥大型心筋症、拡張型心筋症、大動脈弁閉鎖不全症、虚血性心疾患(右冠動脈より左回旋枝に側副血行路)では、右冠動脈血流における左室成分の相対的な増加の度合いが関与した結果であると考えられた。

先行心周期、すなわち先行拡張期の延長により次の心拍の収縮期圧は上昇する⁶⁾。左室負荷のない症例の右冠動脈において、先行心周期の拡張期時間と収縮期冠血流量の間に正相関がみられたのは、次の心拍の収縮期血圧上昇が影響していると考えられた。

大動脈拡張期圧と同心周期の拡張期冠血流量および全心周期冠血流量の間の負の相関は、冠灌流圧低下にもかかわらず、冠血流量が増加することを意味する。この際大動脈拡張期圧の低下、すなわち冠灌流圧の低下は拡張期の延長によるものであるが、その延長による拡張期冠血流量の増加が、冠灌流圧の低下の影響を上回った結果、冠血流量の増加がもたらされたと考えられる。

結 論

1. 心房内細動症例 16 例で冠血流速度を測定し、その流速波形と相対的冠血流量を評価した。
2. 拡張期の延長により、同心周期の冠血流量は増加した。
3. 左前下行枝では、先行拡張期の延長に伴い、次の心拍の収縮期冠血流量は減少した。
4. 右冠動脈では、基礎疾患により、先行拡張期と収縮期冠血流量の関係は異なった。

5. 大動脈収縮期圧の上昇により、同心周期の右冠動脈の収縮期冠血流量の増加の傾向がみられた。

要 約

心周期、先行心周期および大動脈収縮期圧、拡張期圧の変化と冠血流量との関係を臨床例で検討する目的で、心房内細動を有する症例にカテーテル先端型ドップラー流速計を用い、各心周期の冠血流量を測定した。

慢性心房内細動 16 例(弁膜症 11 例、冠動脈疾患 2 例、心筋症 2 例、心房中隔欠損症 1 例)を対象とした。心拍ごとに左前下行枝(12 枝)および右冠動脈(10 枝)中枢部の流速波形下の面積を収縮期「J_S」、拡張期「J_D」および全周期「J_T」で求め、心周期、収縮期、拡張期、先行心周期あるいは先行拡張期の各時間、および大動脈収縮期圧、拡張期圧との相関を求めた。

1. 左前下行枝、右冠動脈ともに心周期の延長は拡張期の延長をもたらし、J_D、したがって J_T を増加させた。J_D と拡張期の長さは正相関(p < 0.05)を示した。J_S と収縮期の長さの間には相関を認めなかった。J_S と収縮期の長さの変化は J_D と拡張期の長さの変化に比し極めて小さかった。

2. 左前下行枝では先行心周期、先行拡張期の長さと J_S は、1 例を除き、逆相関(p < 0.05)を示した。

3. 右冠動脈では先行心周期、先行拡張期の長さと J_S は基礎疾患により異なる関係を示した。

4. 左前下行枝では大動脈収縮期圧と J_S、J_D は相関しなかった。右冠動脈では 10 例中 6 例で大動脈収縮期圧と J_S は正相関を示した。

心房内細動に伴う心周期時相の変化と大動脈圧の変動は、各心拍の冠血流量を直接変化させた。この冠血流量の変化は、対象冠動脈あるいは基礎疾患により異なる反応を示すことが明らかとなった。

文 献

- 1) Howard SF, John S, Regina M, Edward S: The

根岸, 半田, 石川, ほか

- effect of atrial fibrillation on myocardial blood flow and energetics. *Proc Soc Exp Biol Med* **180**: 1-8, 1985
- 2) Wichmann J, Ertl G, Rudolph G, Kochsiek K: Effect of experimentally induced atrial fibrillation on coronary circulation in dogs. *Basic Res Cardiol* **78**: 473-491, 1983
 - 3) Benchimol A, Matsuo S: Continuous measurement of phasic aortic and coronary flow velocity during atrial fibrillation in man. *Am J Med* **51**: 466-473, 1970
 - 4) Yaginuma T, Kamada Y: Measurement of coronary flow velocity. *Resp & Circ* **36**: 703-706, 1988
 - 5) Tomoike H, Ootsubo H, Sakai K, Kikuchi Y, Nakamura M: Continuous measurement of coronary artery diameter in situ. *Am J Physiol* **240** (Heart Circ Physiol 9): H73-H79, 1981
 - 6) Dodge HT, Kirkham FT Jr, King CV: Ventricular dynamics in atrial fibrillation. *Circulation* **15**: 335-347, 1957