

連続波ドップラー上行大動脈血流速度波形を利用した新しい systolic time intervals の有用性

Noninvasive evaluation of left ventricular function using new systolic time intervals obtained from continuous-wave Doppler echocardiography

大手 信之
中野 佐上
橋本 猛
成田ひとみ
藤浪 隆夫

Nobuyuki OHTE
Sagami NAKANO
Takeshi HASHIMOTO
Hitomi NARITA
Takao FUJINAMI

Summary

Left ventricular function was evaluated using parameters derived from the flow velocity waveforms at the ascending aorta as obtained at the suprasternal notch by continuous-wave Doppler echocardiography in 39 patients; 12 with chest pain but without coronary stenosis, eight with angina pectoris; and 19 with myocardial infarction. Peak flow velocity and the time interval from the beginning of the Q wave of lead II of the ECG to peak flow velocity (Q-V peak) correlated with specific invasive hemodynamic parameters, such as max dp/dt and (max dp/dt)/IP (IP: total left ventricular pressure at the same instant) during isometric contraction of the left ventricle measured with a catheter tip manometer, and left ventricular ejection fraction (LVEF) obtained by bi-plane cineangiography (using the area-length method).

There was no correlation between the peak flow velocity and the invasive hemodynamic parameters. However, significant negative correlations were observed between the Q-V peak time and max dp/dt, with $r=0.40$ ($p<0.05$), and between the Q-V peak time and (max dp/dt)/IP with $r=-0.61$ ($p<0.01$). A negative correlation was obtained between the Q-V peak time and LVEF ($r=-0.75$, $p<0.01$). The regression equation was $LVEF = -0.67 \times (Q-V \text{ peak}) + 176$.

To compare the effectiveness for predicting LVEF between the Q-V peak and the established systolic time intervals as PEP and PEP/ET, these time intervals were measured from flow velocity waveforms invasively obtained with a catheter-type electromagnetic flowmeter inserted into the ascending aorta in 14 patients selected from the original subjects. In this study, the Q-V

名古屋市立大学医学部 第三内科
名古屋市瑞穂区瑞穂町字川澄 1 (〒467)

The Third Department of Internal Medicine, Nagoya City University Medical School, Mizuho-cho, Mizuho-ku, Nagoya 467

Received for publication February 21, 1989; accepted April 30, 1989 (Ref. No. 36-89)

peak interval was considered to be most sensitive method of the three time intervals for LVEF ($r = -0.73$).

It was concluded that left ventricular function in coronary heart disease can be noninvasively evaluated using the Q-V peak interval, even in patients with left ventricular asynergy.

Key words

Systolic time intervals

Left ventricular function

Continuous-wave Doppler

はじめに

左室に壁運動異常を有することの多い虚血性心疾患患者において, global な左室収縮機能の非観血的評価には, M モード心エコー図法, 断層心エコー図法のみでは定量性に欠ける面がある. 大動脈弁に異常がない例では上行大動脈駆出期血流から得られる情報は, 左室壁運動異常の有無にかかわらず, 左室の global な収縮性を反映すると考えられており¹⁻⁸⁾, 最近では, 上行大動脈血流は超音波ドップラー法で容易に捉え得るようになった. 我々は虚血性心疾患において上行大動脈駆出期血流を連続波ドップラー法によって捉え, 心電図と同時記録し, それより得られるパラメーターを用いて左室収縮機能評価を試みた.

対象と方法

対象は, 心臓カテーテル検査を施行した連続 39 例で, 内訳は胸痛あるも冠動脈造影, 左室造影に異常のない 12 例, 労作性狭心症 8 例, 心筋梗塞 19 例(大動脈弁疾患, 僧帽弁疾患は含まれていない)であった. 平均年齢は, 53.5 ± 8.5 歳, 範囲: 36~67 歳, 平均心拍数 65.4 ± 10.2 beats/min, 範囲: 50~98 beats/min であった.

これらを対象に, 超音波心断層装置(東芝製 SSH-65A)に付属した連続波ドップラー装置(発振周波数 2.5 MHz)を用い, 安静仰臥位にて胸骨上窩より上行大動脈血流を捉え, line-scan recorder に, 紙送り速度 100 mm/sec で心電図第 II 誘導と同時記録した. これより, 駆出期上行大動脈最大血流速度 peak flow velocity と, 心電図 Q 波の開始から駆出期最大血流速度までの systolic

time interval (Q-V peak) を計測した. 両指標の計測は, 一人の循環器医が連続 5 心拍について行い, その平均値を計測値として用いた (Fig. 1). このようにして得た 2 指標と, 同日に施行した左心カテーテル法(ミラー製 catheter-tip manometer SPC-474A 使用)によって得た観血的左室収縮性指標との関係を検討した. 観血的収縮性指標は ① 左室等容収縮期指標として $\max dp/dt^9)$, ② $\max dp/dt$ をその時点の左室圧 IP (total left ventricular pressure at the same instant) で除し, 左室の loading condition を考慮した ($\max dp/dt/IP^{10,11)$, ③ 左室二方向造影像を area-length 法¹²⁾で解析し(コントロール製 Cardio 200 による)求めた左室駆出期指標である左室駆出率 LVEF の 3 種類である. なお, 観血データの計測はドップラーの計測とは別の循環器医によってなされた.

次に Q-Vpeak 時間に及ぼす心拍数の影響を考慮するため, Q-V peak を RR 間隔で補正した $Q-V peak/\sqrt{RR}$ と LVEF の関係を検討した. さらに, Q-Vpeak 時間計測における interobserver difference を検討した. 一人の測定者 observer A と別の測定者 observer B 間の interobserver difference は (observer A の計測値 - observer B の計測値/observer A の計測値) $\times 100$ (%) で求めた.

最後に, Weissler ら¹³⁻¹⁵⁾によって提唱された systolic time intervals: pre-ejection period (PEP), それを左室の ejection time (ET) で除した Weissler 指数 (PEP/ET) の両指標と, 我々の提唱する systolic time interval (Q-V peak) のいずれが LVEF をよく反映するかをみるため, 上記の症例中 14 例においてカテーテル先端型電磁

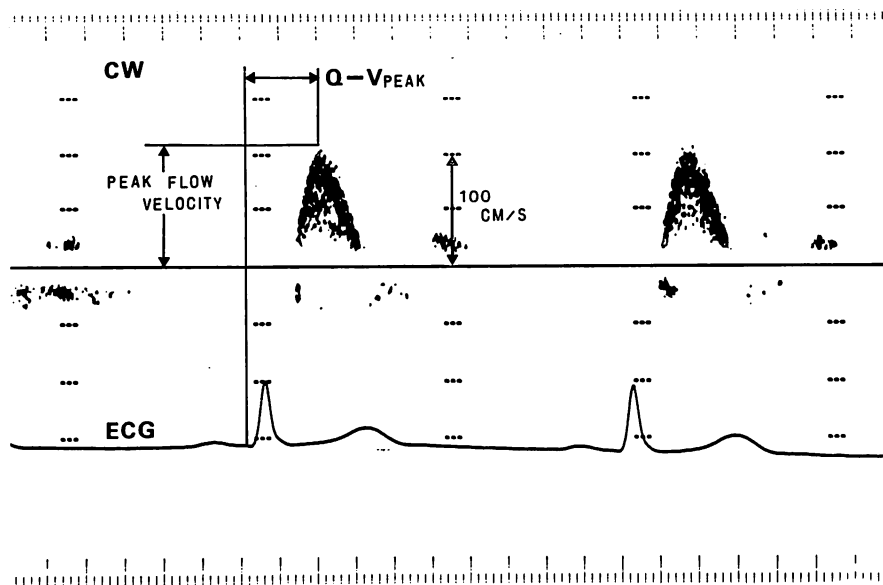


Fig. 1. Simultaneous recording of continuous-wave Doppler echocardiogram and electrocardiogram at a paper speed of 100 mm/sec.

The peak flow velocity at the ascending aorta and the systolic time interval from the beginning of the Q wave of ECG to the peak flow velocity are measured.

CW=continuous-wave Doppler echocardiogram.

流量計 (ミラー製 VPC-673) を上行大動脈に挿入し、得られた連続 5 心拍の流速波形から観血的に Q-V peak, PEP, PEP/ET を計測し、LVEF との関係を検討した。

観血的方法によって得た Q-V peak, PEP, PEP/ET を非観血的方法によるものと区別するため、それぞれ (Q-V peak) invasive, (PEP) invasive, (PEP/ET) invasive とした。電磁流量計による systolic time intervals の計測は、心電図 Q の開始から上行大動脈駆出期血流の peak までを (Q-V peak) invasive, 同じく心電図 Q 波の開始から血流速度立ち上がり点までを (PEP) invasive, 血流速度立ち上がり点から peak を過ぎ、減速過程において最初に流速ゼロの基線と交差する点までを (ET) invasive とした。なお、電磁流量計の流速ゼロは静止水面において校正した。

統計学的検討は、すべて一次回帰法により行い、危険率 5% 以下を有意とした。

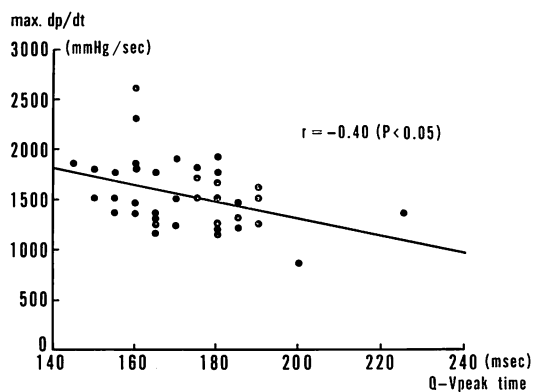


Fig. 2. Correlation between the Q-V peak time and max dp/dt.

結 果

Peak flow velocity と等容収縮期指標 max dp/dt, (max dp/dt)/IP との相関は、それぞれ $r=0.09$, $r=0.26$ で有意な関係を認めなかった。Peak flow

velocity と駆出期指標 LVEF の相関も $r=0.25$ と有意ではなかった. 一方, Q-V peak と max dp/dt には, $r=-0.40$ ($p<0.05$) の有意な負相関関係を認めた. Q-V peak と (max dp/dt)/IP にも, $r=-0.61$ ($p<0.01$) のさらに良好な負相関関係が得られた (Fig. 3). Q-V peak と LVEF は相関係数 $r=-0.75$ ($p<0.01$) と最も良好な負相関を示し, 回帰式: $LVEF = -0.67 \times (Q-V \text{ peak})$

+176 が得られた (Fig. 4). Q-V peak/ \sqrt{RR} と LVEF の関係も検討したが相関係数は $r=-0.70$ と, 心拍数の影響を考慮しても相関係数の改善は得られなかった. Q-V peak 時間測定における observer 間の percent difference を Fig. 5 に示す. Observer A の計測値に対する observer B の計測値の % 変動は大部分の症例で 10% 以下であり, 平均は 3.2% であった.

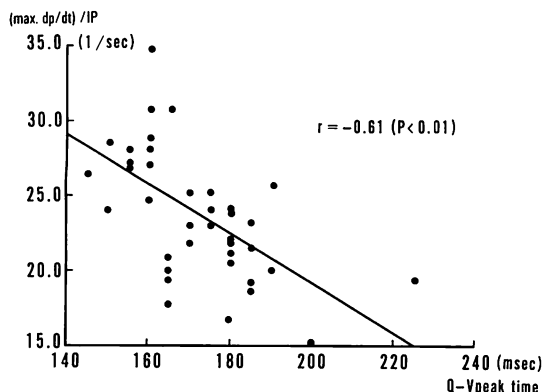


Fig. 3. Correlation between the Q-V peak interval and (max dp/dt)/IP.

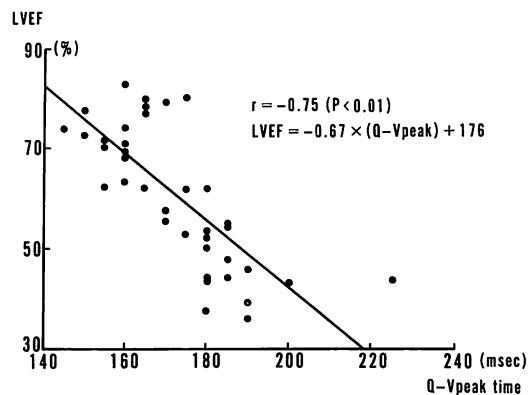


Fig. 4. Correlation between the Q-V peak interval and left ventricular ejection fraction (LVEF).

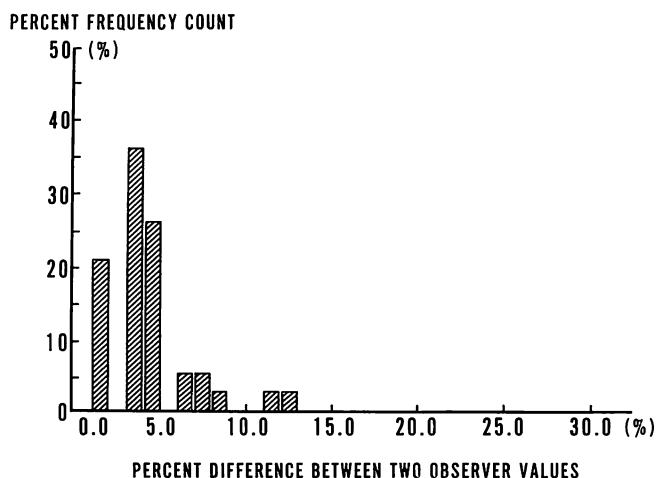
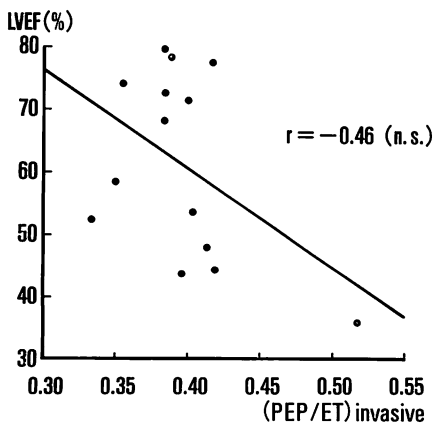
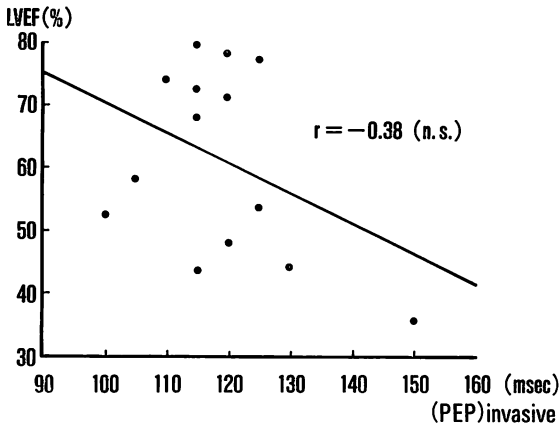
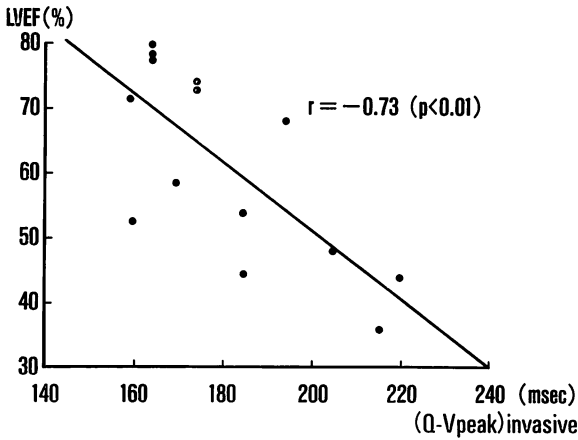


Fig. 5. Histogram illustrating percent difference between the two observers for individual measurement of the Q-V peak interval.

The mean percent difference between the two observer values is 3.2%.



我々の提唱する systolic time interval, すなわち Q-V peak および Weissler らの systolic time intervals: PEP, PEP/ET について, 同一対象群における LVEF との相関を検討した結果を Fig. 6 に示す. (Q-V peak) invasive は LVEF と $r = -0.73$ ($p < 0.01$) の有意な負相関を示したが, (PEP) invasive, (PEP/ET) invasive と LVEF の相関係数はそれぞれ $r = -0.38$, $r = -0.46$ であり, いずれも有意ではなかった.

考 按

連続波ドップラー法による上行大動脈血流速度波形と, 心電図の同時記録から容易かつ正確に計測し得るパラメーターは, peak flow velocity と systolic time interval: Q-V peak 時間と考えられる. 我々の成績では, 上行大動脈の peak flow velocity と 3 種の観血的左室収縮性指標 max dp/dt, (max dp/dt)/IP, LVEF とには有意な相関を認めなかった. しかし, peak flow velocity が左室の収縮性を良好に反映するという報告も多い^{1,2,4-6,8)}.

本研究と同じく虚血性心疾患を対象とした臨床研究では, Bennet ら⁵⁾がカテ先型電磁流量計を用いて上行大動脈の駆出期 peak flow velocity を求め, それが LVEF と良好に相関したとする報告や, 連続波ドップラー法で上行大動脈の peak flow velocity を求め, 同じく LVEF と良好に相関したという Sabbah ら⁶⁾の報告などがある. 一方, peak flow velocity は前負荷, 後負荷の影響

Fig. 6. Correlations between the three systolic time intervals and left ventricular ejection fraction (LVEF).

These systolic time intervals are measured from the flow velocity waveforms obtained invasively with a catheter-type magnetic flowmeter inserted into the ascending aorta. Three panels show the relationships between (Q-Vpeak) invasive and LVEF (upper), the pre-ejection period (PEP) invasive and LVEF (middle), and pre-ejection period/left ventricular ejection time (PEP/ET) invasive and LVEF (lower).

を強く受け, しかも心収縮性の変化に対する追従性は, あまり良好ではないとする Lambert ら¹⁶⁾の報告がある. また, 加齢とともに健常人においても peak flow velocity は低下するとされている¹⁷⁻¹⁹⁾. これには, 加齢による左室収縮性の低下も存在するが, 加齢による大動脈起始部拡大および振れのため^{20,21)}, 正確に peak flow velocity を測定することの困難さも一因と考えられている¹⁷⁻¹⁹⁾. 本研究の対象も広範な年齢層に及んでいたため, これらの影響を受けた可能性がある. 我々は, 上行大動脈駆出期 peak flow velocity を測定することによる左室収縮性の評価は, 真の peak flow velocity を測定することの技術的な問題もあり困難と考えた.

本研究における systolic time interval, すなわち Q-V peak は, 左室の pre-ejection period と上行大動脈駆出期血流加速時間の和である. 左室収縮性が低下した時 PEP が延長することはよく知られている¹³⁻¹⁵⁾. 同様に左室収縮性低下時, 上行大動脈駆出最大血流加速度, 平均加速度が低下することが知られている¹⁻⁸⁾. 後者より, 左室機能の低下した症例において, 駆出血流が最大速度に達するのに時間を要し, 上行大動脈血流加速時間は延長すると考えられる. それゆえそれらの和である Q-V peak は, PEP 単独, 上行大動脈血流加速時間単独に比べ, より鋭敏に左室収縮性の変化を反映する可能性がある. その点に着目し本研究を行ったが, Q-V peak は等容収縮期と左室駆出期の一部より構成されるため, 等容収縮期・収縮性指標 $\max dp/dt^9)$, $(\max dp/dt)/IP^{10,11)}$, および左室駆出期・収縮性指標 LVEF の両指標との関係を検討した. Q-V peak と $\max dp/dt$, $(\max dp/dt)/IP$ には, それぞれ $r = -0.40$ ($p < 0.05$), $r = -0.61$ ($p < 0.01$) の有意な負相関が認められ, Q-V peak と LVEF には, さらに良好な $r = -0.75$ ($p < 0.01$) の負相関関係を認めた. この結果から Q-V peak は等容収縮期よりも駆出期をよく反映すると解釈することもできるが, 対象群において LVEF の分散が等容収縮期指標のそれ

よりも大きく, より良好な相関が得られた可能性もあると思われる.

実地臨床においては, 左室機能の観血的指標として LVEF を用いることが多いため, Q-V peak と LVEF の関係について主に検討した. まず, Q-V peak 時間に及ぼす心拍数の影響を考慮するため Q-V peak を RR 間隔で補正した $Q-V peak/\sqrt{RR}$ と LVEF の関係も検討したが, 相関係数の改善は得られなかった. これは, 対象とした症例に著しい頻脈や徐脈の例は含まれておらず心拍数 50~98 beats/min 程度では, 心拍数の Q-V peak に与える影響は小さいものと思われた. また, Q-V peak 時間のような比較的短い時間間隔の差を計測して心機能の評価を試みる際は, 計測者間の測定値に高い再現性が要求される. 我々の成績では, Q-V peak 時間の測定値のばらつきは, 二人の計測者間で平均 3.2% と極めて小さく, 客観的左室機能指標として, 十分臨床应用到に耐え得るものと考えられる.

Weissler ら^{13,14)}は不全心において PEP は延長し, 左室駆出時間 (ET) が短縮すると報告した. また, Garrard ら¹⁵⁾は, 種々の心疾患を対象に PEP および PEP/ET と LVEF の間に, それぞれ $r = -0.69$ ($p < 0.01$), $r = -0.90$ ($p < 0.01$) の非常に良好な負相関を報告し, PEP, PEP/ET が左室機能の指標となり得ることを述べた. しかし, 対象を本研究と同じ虚血性心疾患に限った時の PEP/ET と LVEF の相関係数は $r = -0.77$ と上記の相関係数に比し低い. 我々の Q-V peak の臨床使用を提唱するに際しては, 本指標と Weissler ら¹³⁻¹⁵⁾の systolic time intervals との優劣を検討することが要求されるかもしれない. その点を明らかにするためには, 同一症例において同一方法で同時に Q-V peak, PEP, PEP/ET を求めることが必要と考えられる. 通常使用し得る連続波ドップラー装置による大動脈駆出血流の記録では, 血流速度波形の立ち上がり点, 終了点を同定することは困難で, それより PEP, ET を正確に求めることはできない. それゆえカテ先型電磁流

量計を上行大動脈に挿入し、得られた流速波形から (Q-V peak) invasive, (PEP) invasive, (PEP/ET) invasive を計測した。これらの 3 指標と LVEF の相関係数では、(Q-V peak) invasive が最も優れていた。

今日、虚血性心疾患患者において心エコー図法は必須の検査法であり、心エコー図検査の一環として連続波ドップラー法を行い Q-V peak 時間による左室機能評価を行えば、壁運動異常を有することの多い虚血心の心機能評価をより定量的になし得ると考える。

結 語

1. 虚血性心疾患患者を対象に、連続波ドップラー法による上行大動脈駆出期血流および心電図の同時記録から得たパラメーターと、観血的左室収縮機能指標である max dp/dt, (max dp/dt)/IP および LVEF の関係を検討した。

2. 上行大動脈駆出期 peak flow velocity と、左室等容収縮期指標 max dp/dt, (max dp/dt)/IP および駆出期指標 LVEF には相関を認めなかった。

3. 我々の提唱した新しい systolic time interval (Q-V peak) は、max dp/dt, (max dp/dt)/IP とそれぞれ $r = -0.40$ ($p < 0.05$), $r = -0.61$ ($p < 0.01$) の有意な負相関を示し、LVEF とは $r = -0.75$ ($p < 0.01$) のさらに良好な負相関関係を示した。

4. Systolic time intervals 中、Q-V peak, PEP, PEP/ET のいずれが LVEF をより良く反映するかを、上行大動脈に挿入したカテ先型電磁流量計による流速速度波形での time intervals と対比して検討した。その結果、3種の指標のうち、Q-V peak が最も優れていた。

5. 虚血性心疾患において、新しい systolic time interval である Q-V peak を用いて左室収縮機能を非観血的に評価し得ると結論した。

要 約

上行大動脈血流速度波形を連続波ドップラー法により求め、それと心電図の同時記録より得たパラメーターと、左室収縮機能の関係を検討した。対象は胸痛症候群 12 例、労作性狭心症 8 例、心筋梗塞 19 例の合計 39 例で、安静仰臥位にて胸骨上窩より上行大動脈駆出血流を捉え、line-scan recorder に紙送り速度 100 mm/sec で心電図第 II 誘導と同時記録した。これより、上行大動脈最大血流速度と、心電図 Q 波の開始からその時点までの時間 (Q-V peak) を計測し、これら二つのパラメーターと、同日施行した左心カテ法 (カテ先マンノメーター使用) による等容収縮期の収縮性指標 [max dp/dt, (max dp/dt)/IP], 左室二方向造影像から area-length 法で求めた駆出期の収縮性指標 (LVEF) との関係を検討した。さらに、Weissler 指数 (PEP/ET) と PEP の 2 指標と Q-V peak のいずれが左室収縮性を良く反映するかを検討した。

最大血流速度と max dp/dt, (max dp/dt)/IP, LVEF には有意な相関関係がなく、一方、Q-V peak と max dp/dt, (max dp/dt)/IP には、それぞれ $r = -0.40$ ($p < 0.05$), $r = -0.61$ ($p < 0.01$) の有意な負相関があった。Q-V peak と LVEF には $r = -0.75$ ($p < 0.01$) の最も良好な負相関が認められた (回帰式: $LVEF = -0.67 \times Q-V \text{ peak} + 176$)。

カテ先電磁流量計を用いて得られた 3 種の systolic time intervals, すなわち (Q-V peak) invasive, (PEP) invasive, (PEP/ET) invasive と LVEF との相関では、(Q-V peak) invasive が LVEF を反映する最も良い指標であった ($r = -0.73$, $p < 0.01$)。したがってこの指標を用い、虚血心の左室収縮能を非観血的かつ定量的に評価しうると考えられた。

文 献

- 1) Noble MIM, Trenchard D, Guz A: Left ven-

- tricular ejection in conscious dogs: I. Measurement and significance of the maximum acceleration of blood from the left ventricle. *Circ Res* **19**: 139-147, 1966
- 2) Nutter DO, Noble RJ, Hurst VW: Peak aortic flow and acceleration as indices of ventricular performance in the dog. *J Lab Clin Med* **77**: 307-318, 1971
 - 3) Harada Y, Sugawara M, Beppu T, Higashidate M, Nakata S, Imai Y: Principle of a noninvasive method of measuring max (dp/dt) of the left ventricle: Theory and experiments. *Heart & Vessels* **3**: 25-32, 1987
 - 4) Sabbah HN, Przybylski J, Albert DE, Stein PD: Peak aortic blood acceleration reflects the extent of left ventricular ischemic mass at risk. *Am Heart J* **113**: 885-890, 1987
 - 5) Bennett ED, Else W, Miller GAH, Sutton GC, Miller HC, Noble MIM: Maximum acceleration of blood from the left ventricle in patients with ischaemic heart disease. *Clin Sci Mole Med* **46**: 49-59, 1974
 - 6) Sabbah HN, Khaja F, Brymer JF, McFarland TM, Albert DE, Snyder JE, Goldstein S, Stein PD: Noninvasive evaluation of left ventricular performance based on peak aortic blood acceleration measured with a continuous-wave Doppler velocity meter. *Circulation* **74**: 323-329, 1986
 - 7) Mehta N, Bennett DE: Impaired left ventricular function in acute myocardial infarction assessed by Doppler measurement of ascending aortic blood velocity and maximum acceleration. *Am J Cardiol* **57**: 1052-1058, 1986
 - 8) Gardin JM, Iseri LT, Elkayam U, Tobis J, Childs W, Burn CS, Henry WL: Evaluation of dilated cardiomyopathy by pulsed Doppler echocardiography. *Am Heart J* **106**: 1057-1065, 1983
 - 9) Mason DT: Usefulness and limitation of the rate of rise of intraventricular pressure (dp/dt) in the evaluation of myocardial contractility in man. *Am J Cardiol* **23**: 516-527, 1969
 - 10) Veragut UP, Krayenbühl HP: Estimation and quantification of myocardial contractility in the closed-chest dog. *Cardiologia* **47**: 96-112, 1965
 - 11) Chung DCW, Chamberlain JH, Seed RGFL: The effect of haemodynamic changes on maximum blood flow acceleration at the aortic root in the anaesthetized, open-chest dog. *Cardiovasc Res* **8**: 362-372, 1974
 - 12) Dodge HT, Sandler H, Ballew DW, Lord JD: The use of biplane angiocardiology for the measurement of left ventricular volume in man. *Am Heart J* **60**: 762-776, 1960
 - 13) Weissler AM, Harris WS, Schoenfeld CD: Systolic time intervals in heart failure in man. *Circulation* **37**: 149-159, 1968
 - 14) Weissler AM, Harris WS, Schoenfeld CD: Bed-side technics for the evaluation of ventricular function in man. *Am J Cardiol* **23**: 577-583, 1969
 - 15) Garrard CL Jr, Weissler AM, Dodge HT: The relationship of alterations in systolic time intervals to ejection fractions in patients with cardiac disease. *Circulation* **42**: 455-462, 1970
 - 16) Lambert CR Jr, Nichols WW, Pepine CJ: Indices of ventricular contractile state: Comparative sensitivity and specificity. *Am Heart J* **106**: 136-144, 1983
 - 17) Levy B, Targett RC, Bardou A, McIlroy MB: Quantitative ascending aortic Doppler blood velocity in normal human subjects. *Cardiovasc Res* **19**: 383-393, 1985
 - 18) Gardin JM, Davidson DM, Rohan MK, Butman S, Knoll M, Garcia R, Dubria S, Gardin SK, Henry WL: Relationship between age, body size, gender and blood pressure and Doppler flow measurements in the aorta and pulmonary artery. *Am Heart J* **113**: 101-109, 1987
 - 19) Stein PD, Sabbah HN, Aronow WS, Alam M, Rosman H, Silverstein J, Reddy K, Smith S, Kemp SR, Frank DM: Effects of age upon left ventricular performance. *Am J Noninvas Cardiol* **2**: 155-159, 1988
 - 20) Gerstenblith G, Frederiksen J, Yin FCP, Fortuin NJ, Lakatta EG, Weisfeldt ML: Echocardiographic assessment of a normal adult aging population. *Circulation* **56**: 273-278, 1977
 - 21) Gardin JM, Henry WL, Savage DD, Ware JH, Burn C, Borer JS: Echocardiographic measurements in normal subjects: Evaluation of an adult population without clinically apparent heart disease. *J Clin Ultrasound* **7**: 439-447, 1979