

心エコー図法による心房細動例の左室機能曲線の検討

Left ventricular function curve determined by echocardiography in patients with atrial fibrillation

藤井 諄一
渡辺 熙
久保木正夫
加藤 和三

Junichi FUJII
Hiroshi WATANABE
Masao KUBOKI
Kazuzo KATO

Summary

Instantaneous changes in the left ventricular volume was detected noninvasively by echocardiography in patients with atrial fibrillation, who showed beat-to-beat changes in the left ventricular end-diastolic volume and stroke volume, from which the left ventricular function curve was determined.

A total of six patients including mitral stenosis (MS) (Case 4), congestive cardiomyopathy (CCM) (Case 5, 6) and lone atrial fibrillation (Case 1, 2, 3) were studied. The echocardiogram and direct brachial artery pressure (BAP) were recorded simultaneously in all patients. The left ventricular end-systolic volume (LVESV), end-diastolic volume (LVEDV) and stroke volume (LVSV) were measured by echocardiography using Teichholz's formula, and the left ventricular stroke work (LVSW) was derived from LVSV and mean BAP. Ejection fraction was 60~70% in Case 1~3, 40% in Case 4, 27% and 30% in Case 5 and 6, respectively. Patients with lone atrial fibrillation were used as controls.

Ventricular function curve (VFC) was constructed by analyzing the relations between LVEDV and LVSV (VFC(V)), LVEDV and LVSW (VFC(W)), respectively, in each of 80~100 consecutive beats in atrial fibrillation. Left ventricular end-systolic pressure-volume ratio was derived approximately from brachial artery pressure at aortic notch (BAP(DN)) and LVESV in order to know the effect of the potentiation on the LVEDV-LVSV (or LVSW) relation in atrial fibrillation.

VFC(W)s in two patients with CCM (Case 5, 6) were shifted downward and to the right of normal control curve, which might represent seriously impaired left ventricular function. VFC(W) in a patient with MS and mild LV myocardial dysfunction (Case 4) showed only a slight shift to the right and downward from normal control curve. VFC(V)s in Case 5 and 6 were also shifted to the right of control curve and VFC(V) in Case 4 showed only a slight shift to the right of control curve, just like VFC(W) in each case.

There was a significant correlation between BAP(DN)/LVESV and preceding R-R(CLI)/preceding R-R(CLI) in 80~100 consecutive beats in atrial fibrillation. Therefore, it is possible that

心臓血管研究所
東京都港区六本木 7-3-10 (〒107)

Cardiovascular Institute, Roppongi 7-3-10, Minato-ku, Tokyo 107

Presented at the 17th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Sendai, October 20-21, 1978

Received for publication April 23, 1979

the relation between LVEDV and LVSV (or LVSW) in atrial fibrillation will be influenced by so-called potentiation. However, the intensity of the potentiation was different from each other and significantly decreased in two patients with CCM.

Although VFC obtained by this method might be influenced not only by afterload but also by potentiation, this reflects the left ventricular function of each case very well as shown in this study and is useful for assessing cardiac function.

Key words

Left ventricular function curve

Atrial fibrillation

Echocardiography

はじめに

左室機能曲線は左室のポンプ機能の示標として臨床的に有用であるが、従来、この曲線を得るためには左室造影法による容積測定が必要であり、さらに2点以上の値を同一例で同時期に得るためには種々の負荷をかけねばならず、その応用は特殊な例に限られていた。

近年、心エコー図法により左室径の経時的な変化を非観血的に記録することが可能となり、それが左室容積変化をよく反映することが明らかにされた。また、心房細動を有する例では、人工的な負荷をかけることなく先行 R-R 間隔に応じて種々の拡張終期容積が同一例で得られることから、心エコー図法により各心拍における左室拡張終期容積と一回駆出量を求め、両者の関係から左室機能曲線が描けることをすでに報告した¹⁾。

そこで今回は、かかる方法で左室拡張終期容積と一回駆出量との関係から得られた左室機能曲線と、Sarnoff ら²⁻⁴⁾が提示した本来の左室機能曲線、すなわち左室拡張終期容積と一回仕事量との関係より求めた左室機能曲線とを比較し、さらに本曲線を構成する各心拍に対する R-R 間隔変動に基づく potentiation の影響の有無、およびその程度について検討した。

対象と方法

対象は一般検査、心エコー法、色素希釈法により他の心疾患の合併がなく、左室機能正常と考えられた孤立性心房細動3例(症例1, 2, 3)、軽度の

駆出分画(EF)低下および左室拡張終期容積(LVEDV)の増大から左室筋傷害を伴うと考えられる僧帽弁狭窄症1例(症例4)、EF低下、心拍出量(CO)減少、LVEDV増大より重症の左室機能障害を有すると考えられるうっ血性心筋症2例(症例5, 6)の計6例である。

Fig. 1のごとく中隔・後壁エコーグラムを約80~100心拍、上腕直接動脈圧(BAP)、心電図、心音図と同時記録し、Teichholzの方法 $[V=7D^3/(2.4+D)]$ 、D:左室径]により近似的に左室拡張終期容積(LVEDV)、左室収縮終期容積(LVESV)、一回駆出量(SV)、駆出分画(EF)を、また[収縮期平均動脈圧(MBAP)×SV×0.0136]より左室収縮期仕事量(LVSW)を求め、LVEDVとSVの関係より左室機能曲線(VFC(V))を、またLVEDVとSWの関係よりSarnoffらの提唱した左室機能曲線(VFC(W))を描いた。

またpreload, afterloadの影響を受けずに左室収縮性を表すとされる $E_{max}^{5,6)}$ の近似値、すなわち収縮終期の左室圧・容積比を、各心拍におけるdicrotic notchでの上腕動脈圧BAP(DN)と心エコー図法によるLVESVとの比 $BAP(DN)/LVESV$ で求め、それらと先行R-R/先々行R-R比との関係を検討することにより、各心拍の収縮性に及ぼすpotentiationの有無、程度の評価を試みた。また、最大動脈圧BAP(PP)とLVESVとの比 $BAP(PP)/LVESV$ により同様の検討を行った。

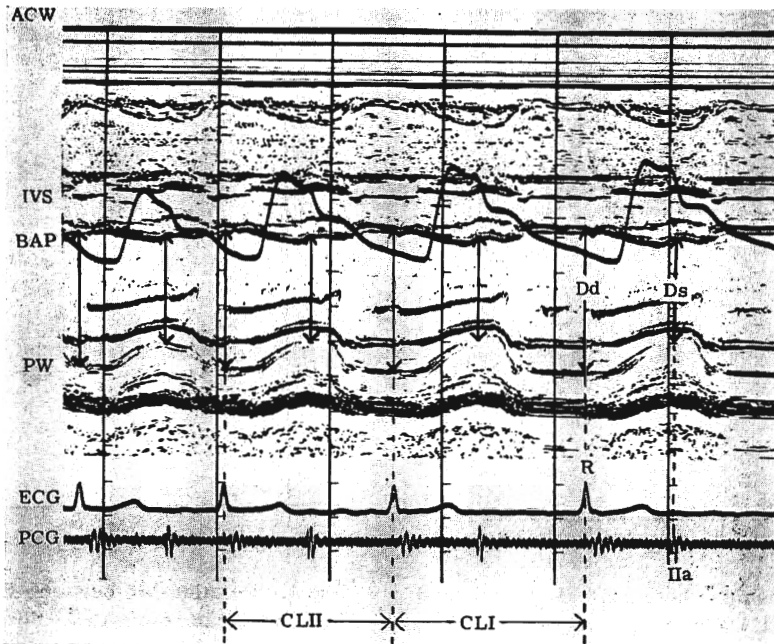


Fig. 1. Simultaneous recording of the echocardiogram and brachial artery pressure.

ACW=anterior chest wall; IVS=interventricular septum; PW=left ventricular posterior wall; BAP=brachial artery pressure; ECG=electrocardiogram; PCG=phonocardiogram; CLI=preceding R-R interval; CLII=pre-preceding R-R interval; Dd=end-diastolic dimension; Ds=end-systolic dimension.

Left ventricular volume was measured by using Teichholz's formula.

$$LVEDV = 7Dd^3 / (2.4 + Dd) \quad LVESV = 7Ds^3 / (2.4 + Ds)$$

結 果

症例1は47歳男子で、他に明らかな心疾患を有さず、色素希釈法による心拍出量は4.0 l/min、心エコー図法によるEFは72% (平均)で、左室機能は正常と考えられた孤立性心房細動の1例である。

Fig. 2は同例のVFC(W)で、比較的急峻な右上方に向う直線に近い関係が得られた。LVEDVとSWは $r=0.92$ ($p<0.001$)の正相関を有し、直線に近似したVFC(W)の勾配は1.99であった。

Fig. 3は同例のVFC(V)で、VFC(W)と同様に急峻な右上方に向う直線に近い関係が得られた。LVEDVとSVは $r=0.91$ ($p<0.001$)の

正相関を有し、直線に近似したVFC(V)の勾配は1.10であった。

症例2は57歳女子で症例1と同様、他に明らかな心疾患を有さず、心拍出量は3.9 l/min、EFは69% (平均)で左室機能正常と考えられた孤立性心房細動の1例である。

Fig. 4に同例のVFC(W)を示すが、症例1のそれと同様に右上方に向う急峻な直線に近い関係が得られた。LVEDVとSWは $r=0.88$ ($p<0.001$)の正相関を有し、直線に近似したVFC(W)の勾配は1.52であった。

Fig. 5は同例のVFC(V)で、同じく右上方に向う急峻な直線に近い関係を示した。LVEDVとSVは $r=0.90$ ($p<0.001$)の密な正相関を有し、直線に近似したVFC(V)の勾配は0.94であ

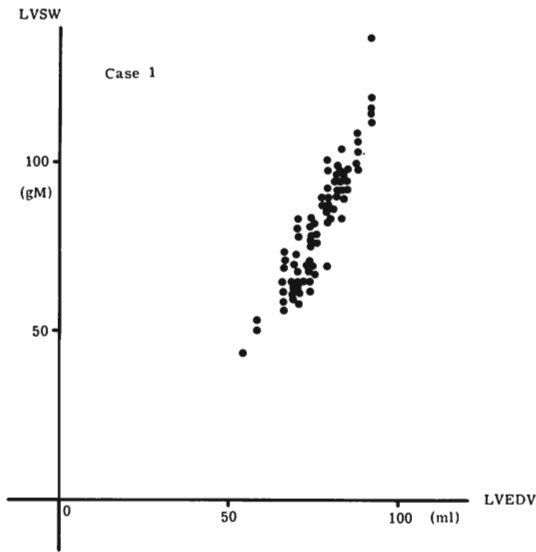


Fig. 2. Relationship between LVEDV and LVSW, so-called LV function curve (VFC(W)), in Case 1 with lone atrial fibrillation.
 $r=0.92$ ($p<0.001$), $y=1.99x-71$.

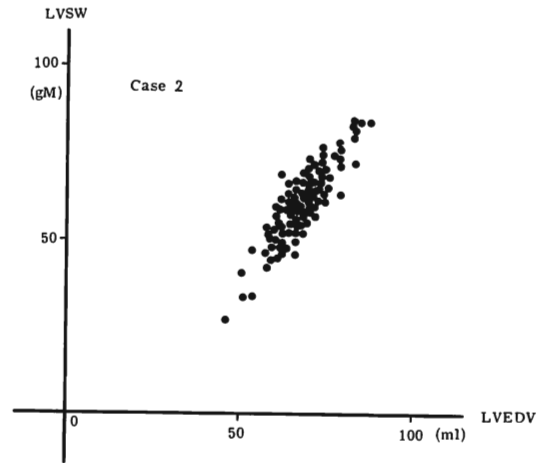


Fig. 4. Relationship between LVEDV and LVSW in Case 2 with lone atrial fibrillation.
 $r=0.88$ ($p<0.001$), $y=1.52x-32$.

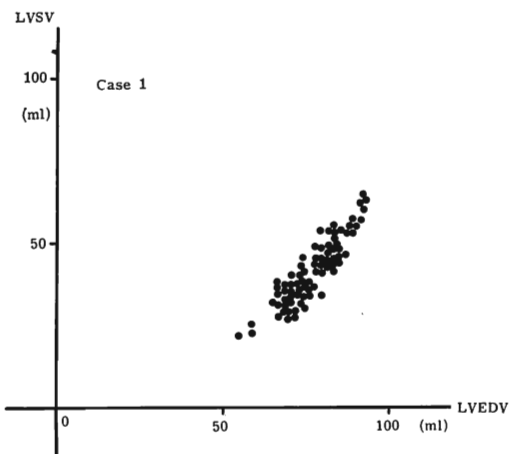


Fig. 3. Relationship between LVEDV and LVSV, so-called LV function curve (VFC(V)), in Case 1 with lone atrial fibrillation.
 $r=0.91$ ($p<0.001$), $y=1.10x-43.40$.

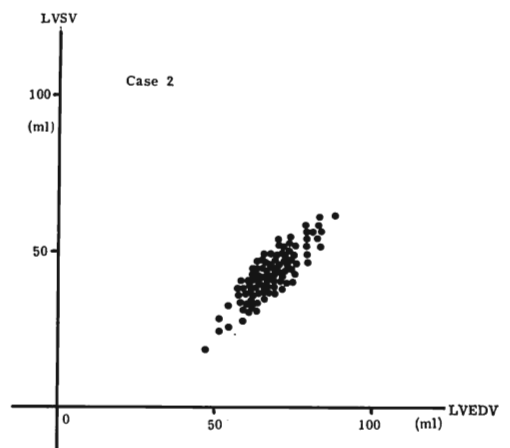


Fig. 5. Relationship between LVEDV and LVSV in Case 2 with lone atrial fibrillation.
 $r=0.90$ ($p<0.001$), $y=0.94x-21.37$.

った。

症例6は65歳男子で、うっ血性心筋症の1例である。心エコー図法によるLVEDVは264 ml(平均)と増大、EFは27%(平均)、色素希釈法による心拍出量は2.1 l/minといずれも減少し、著しい左室機能障害を呈していた。

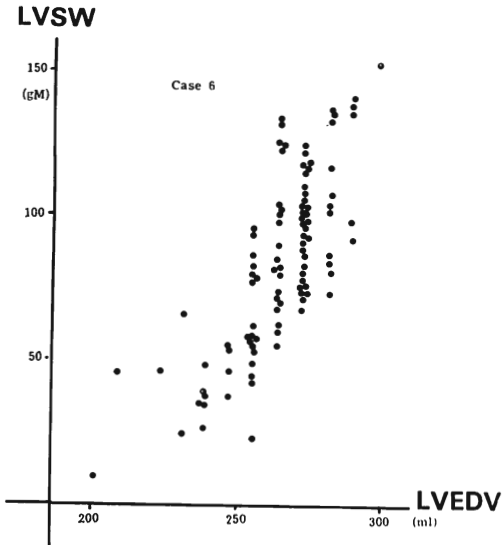


Fig. 6. Relationship between LVEDV and LVSW in Case 6 with CCM and atrial fibrillation. $r=0.75$ ($p<0.001$), $y=1.12x-229$.

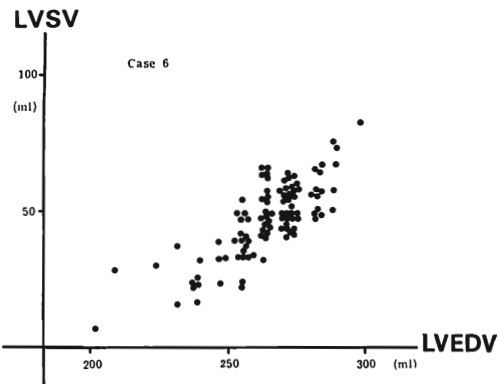


Fig. 7. Relationship between LVEDV and LVSF in Case 6 with CCM and atrial fibrillation. $r=0.79$ ($p<0.001$), $y=0.67x-131$.

Fig. 6は同例のVFC(W)で、症例1,2のそれに比して著しく右方に偏位していた。LVEDVとSWは $r=0.75$ ($p<0.001$)の正相関を有し、直線に近似したVFC(W)の勾配は1.12と症例1,2に比して減少していた。

Fig. 7は同例のVFC(V)で、同様に症例1,2に比して著しく右方に偏位していた。LVEDVとSVは $r=0.79$ ($p<0.001$)の正相関を有し、直線に近似したVFC(V)の勾配は0.67と症例1,2に比して減少していた。

Fig. 8は以上の3例を含めた対象6例のVFC(W)の概略を図示したものである。症例1,2,3は左室機能正常のcontrol例で、それらのVFC(W)は右上方に向う急峻な直線に近い関係を示し、その勾配は1.52~1.99であった。症例4はEFが40%(平均)に低下、LVEDVが140 mlとMSにしてはやや増加傾向を示し、軽度の左室筋傷害を伴うと考えられた僧帽弁狭窄症の1例であるが、Fig. 8のごとくVFC(W)はcontrol例のそれに比しやや右方に偏位し、かつ勾配は1.38と減少していた。症例5,6はEFがおのおの30%, 27%, 心拍出量2.6 l/min, 2.1 l/minといずれも減少、LVEDVは237 ml, 264 mlと増大し、著しい左室機能障害を有するうっ血性心筋症の症例であった。それらのVFC(W)はいずれもcontrol例に比して著しく右方に偏位し、かつ勾配は1.18, 1.12と減少していた。

Fig. 9は対象6例のVFC(V)である。Fig. 8に示した各例のVFC(W)相互の位置関係とほぼ同様の関係が認められた。

つぎにBAP(DN)/LVESVと先行R-R(CLI)/先々行R-R(CLII)比の関係を示す。

Fig. 10は症例1のBAP(DN)/LVESVとCLI/CLII比との関係である。両者の間には $r=0.48$ ($p<0.01$)の疎な正相関が認められるが、回帰線の勾配は0.49で緩やかであった。なおBAP(DN)/LVESVは平均4.01であった。

Fig. 11は症例2の両者の関係で、 $r=0.65$ ($p<0.001$)の良好な正相関が認められ、回帰線の

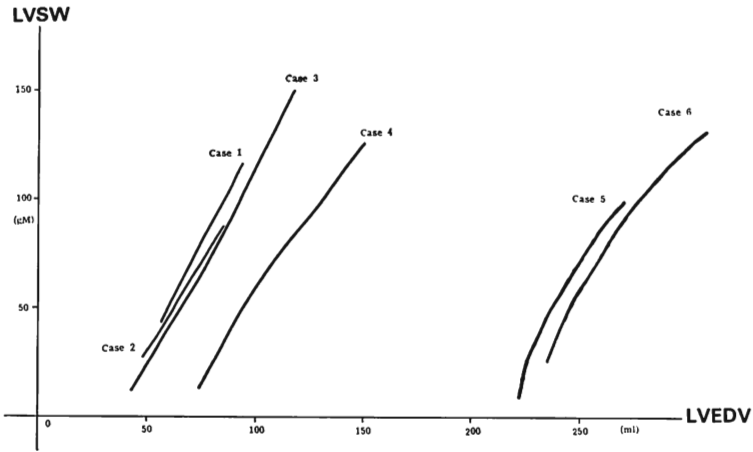


Fig. 8. LV function curves (VFC(W)) in Case 1~6.

Case 1~3: lone atrial fibrillation, Case 4: MS with mild LV myocardial dysfunction, Case 5, 6: CCM.

Case 1~3 with lone atrial fibrillation were used as controls.

VFC(W)s in Case 5 and 6 are shifted downward and to the right of normal control curve, which might represent impaired LV function. VFC(W) in Case 4 with MS and mild LV dysfunction is situated slightly downward and to the right of normal control curve.

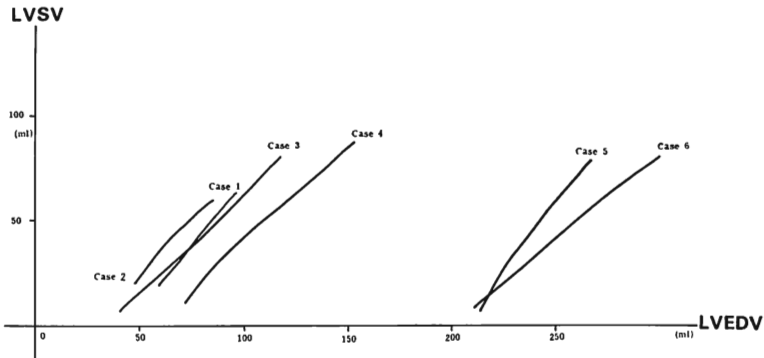


Fig. 9. LV function curves (VFC(V)) in Case 1~6.

VFC(V)s in Case 5 and 6 are shifted to the right of normal control curve, and VFC(V) in Case 4 is situated slightly downward and to the right of normal control curve.

勾配は 1.54 で症例 1 のそれに比して大であった。BAP(DN)/LVESV の値は平均 4.76 であった。

Fig. 12 はうっ血性心筋症の症例 6 における両者の関係である。両者は $r=0.80$ ($p<0.001$) の密な正相関を示すが、回帰線の勾配は 0.21 ときわめて緩やかであった。また BAP(DN)/LVESV

は 0.43 (平均値) と上述の control 例に比して低値を示した。

Fig. 13 は対象とした 6 例の全例の BAP(DN)/LVESV と CLI/CLII との関係を示したものである。両者は $r=0.41\sim0.80$ の正相関を示し、回帰線の勾配は $r=0.16\sim1.54$, BAP(DN)/LVESV

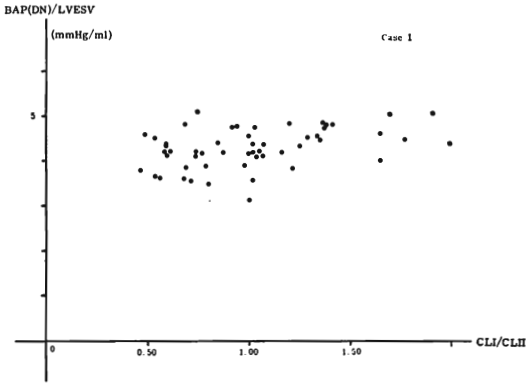


Fig. 10. Relationship between CLI/CLII and BAP(DN)/LVESV in each of 80~100 consecutive beats in Case 1 with atrial fibrillation.

$r=0.48$ ($p<0.01$), $y=0.49x+3.57$.

BAP(DN)=brachial artery pressure at dicotic notch; CLI=preceding R-R interval; CLII=pre-
ceding R-R interval.

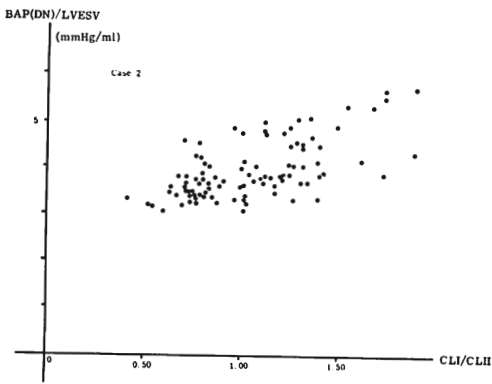


Fig. 11. Relationship between CLI/CLII and BAP(DN)/LVESV in Case 2 with atrial fibrillation.

$r=0.65$ ($p<0.01$), $y=1.54x+3.15$.

比は0.43~4.01と種々であった。著明な左室機能の障害有するうっ血性心筋症の2例では、BAP(DN)/LVESV比、回帰線の勾配ともに低値を示した。

なお BAP(PP)/LVESV 比と先行 R-R/先々行 R-R 比のおよび BAP(DN)/LVESV と先々行

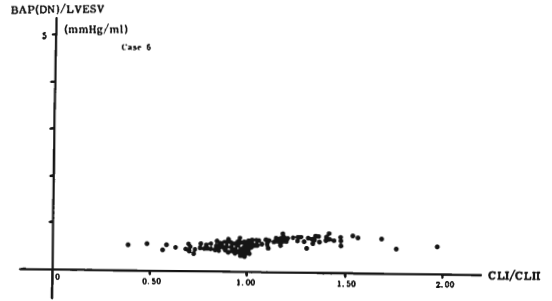


Fig. 12. Relationship between CLI/CLII and BAP(DN)/LVESV in Case 6 with atrial fibrillation.

$r=0.80$ ($p<0.001$), $y=0.21x+0.21$.

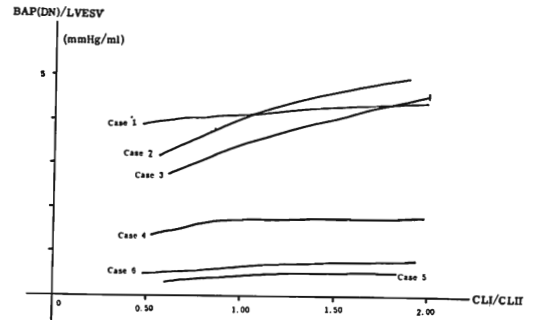


Fig. 13. Relationship between CLI/CLII and BAP(DN)/LVESV in Case 1~6 with atrial fibrillation.

A correlation coefficient (r) and regression equation as follows:

Case 1: $r=0.48$ ($p<0.01$), $y=0.49x+3.57$; Case 2: $r=0.65$ ($p<0.001$), $y=1.54x+3.15$; Case 3: $r=0.68$ ($p<0.001$), $y=1.12x+2.27$; Case 4: $r=0.41$ ($p<0.05$), $y=0.19x+1.43$; Case 5: $r=0.76$ ($p<0.001$), $y=0.16x+0.26$; Case 6: $r=0.80$ ($p<0.001$), $y=0.21x+0.21$.

R-R 間にもそれぞれ同様な相関が認められた。

考 案

Frank, Starling らにより心臓の収縮特性を表すものとして実験的に示された Frank-Starling の法則は、その後の研究により、人の心臓にもあてはまる法則であることが知られ、さらに Sarnoff らによりその意義が明確にされて以来、いわ

ゆる心機能曲線は心収縮性を表すよい指標として用いられている²⁻⁴⁾.

本来, Sarnoff は心機能曲線を平均左房圧, 左室拡張終期圧, 左室心筋線維長などと左室一回仕事量との関係によって示した. そして心臓はある一定の機能曲線に沿って, 絶えず heterometric autoregulation を行い, 強心配糖体や交感神経刺激により心筋収縮力を増大させると機能曲線は左上方移動を, また心筋収縮力低下時には右下方移動をきたすことを示した. 以来, 左室拡張終期容量, 左室拡張終期圧, 平均左房圧などを筋長の代表として, それらと左室一回仕事量, 左室駆出量, 左室収縮期圧, 大動脈圧などの関係から心機能曲線が求められ利用されてきた.

すでに我々は心房細動を有する各種心疾患で, 心エコー図法により計測した 80~100 心拍の LV-EDV と SV の関係から左室機能曲線を描き, 心不全例では心機能正常例に比してこの機能曲線が右下方に位置すること, および digitalis による治療でそれらが左上方に移動することを示したり.

Sarnoff²⁻⁴⁾ が提唱した本来の心機能曲線では, 左室駆出量の代わりに左室仕事量を縦軸にとっている. 従って動脈圧の影響をより強く受けることになる. そこで前述のごとく, 6 例で VFC(V) と VFC(W) を比較してみたが, 生理的な動脈圧の範囲内で, 今回の対象 6 例においては各例の心機能に応じた VFC(V) 相互の位置関係は VFC(W) 相互の位置関係と同様であった. さらに, Sonnenblick ら⁷⁾ は左室仕事量が preload, inotropism 一定でも afterload の変化のみにより変動するのに対して, 駆出量は生理的範囲内での afterload の変動によっては大きな影響を受けず, 主として preload, inotropism に依存すると報告しており, その意味では左室拡張終期容量と駆出量の関係より求めた左室機能曲線 VFC(V) のほうが, 仕事量との関係より得られた VFC(W) よりも心機能曲線としてより実用的である可能性も考えられる.

心房細動における各心拍の収縮性には上述の preload, afterload 以外に, いわゆる R-R 間隔

変動に基づく potentiation が影響するといわれており, それを示唆するいくつかの報告が散見される^{8-11,14)}. 一方, Karliner ら¹²⁾ は最近, 心房細動における各心拍の収縮動態は主として preload に依存すると報告しており, 必ずしも意見の一致をみていない.

期外収縮後収縮力増強 (post-extrasystolic potentiation) は 1885 年に Langendorff により初めて指摘され¹³⁾, Hoffman ら¹³⁾ によりその存在が明確にされたが, coupling interval が短いほど, 続く休止期が長いほど強く働くといわれている¹⁰⁾. そこで preload, afterload の影響を受けずに収縮性を表すとされている $E_{max}^{5,6)}$ の近似値を BAP-(DN)/LVESV として各心拍で求め, 先行 R-R/先々行 R-R 比との関係をみたところ, 6 例中 5 例で有意な正相関が認められ, ある程度 potentiation が関与しているものと考えられた. しかし, 回帰線の勾配は 0.21~1.54 と種々で, potentiation 関与の程度は症例により異なることが知られた. その差違の原因として, うっ血性心筋症の 2 例で回帰線の勾配が最も減少していたことから, 強い心筋傷害のために心筋自体が potentiation を起こしえなかったか, あるいは potentiation に対する反応が不十分であったのではないかと推測される. しかし心機能の正常な例でも本法で求めた potentiation の存在が不明確な 1 例があり, その原因は明らかでない.

心房細動例で得られた心機能曲線は preload の変動に基づく駆出量, 仕事量の変化以外に afterload が関係し, さらに本研究の結果から potentiation を加味したものと考えられるが, 臨床症状や駆出分画, 心拍出量などの値から知られる疾患の重症度をよく反映しており, いわゆる左室機能曲線として, 臨床上, 十分に使用できるものと考えられた.

結 論

1) 心房細動の各心拍における LVEDV と SV および SW との関係から得られた左室機能曲線

VFC(V) および VFC(W) は、いずれも EF, CO, LVEDV, 臨床症状などから評価された各疾患の重症度をよく反映していた。

2) 心房細動における各心拍の収縮性には、preload, afterload 以外に potentiation がある程度影響しているものと考えられたが、その程度は症例により異なり、ことに心筋傷害の強いと考えられるうっ血性心筋症の2例ではきわめて軽度であった。

文 献

- 1) 藤井諄一, 渡辺 灝, 渡辺 坦, 加藤和三: UCG による左室機能曲線について. 心臓 **6**: 1543, 1974
- 2) Sarnoff SJ, Berglund E: Ventricular function: I. Starling's law of the heart studied by means of simultaneous right and left ventricular function curves in the dog. *Circulation* **9**: 706, 1954
- 3) Sarnoff SJ: Myocardial contractility as described by ventricular function curves. *Physiol Rev* **30**: 400, 1955
- 4) Sarnoff SJ, Mitchell J: The regulation of the performance of the heart. *Amer J Med* **30**: 747, 1961
- 5) Suga H, Sagawa K, Shoukas AA: Load independence of the instantaneous pressure-volume ratio of the canine left ventricle and effects of epinephrine and heart rate on the ratio. *Circulat Res* **32**: 314, 1973
- 6) Suga H, Sagawa K: Instantaneous pressure-volume relationships and their ratio in the excised supported canine left ventricle. *Circulat Res* **35**: 117, 1974
- 7) Sonnenblick EH, Dowling SE: Afterload as a primary determinant of ventricular performance. *Amer J Physiol* **204**: 604, 1963
- 8) Greenfield JC, Harley A, Thompson HK, Wallace AG: Pressure-flow studies in man during atrial fibrillation. *J Clin Invest* **47**: 2411, 1968
- 9) Rogel S, Mahler Y: Myocardial tension in atrial fibrillation. *J Appl Physiol* **27**: 822, 1969
- 10) Edmands RE, Greenspan K, Fisch C: The role of inotropic variation in ventricular function during atrial fibrillation. *J Clin Invest* **49**: 738, 1970
- 11) Gibson DG, Broder G, Sowton E: Effect of varying pulse interval in atrial fibrillation on left ventricular function in man. *Brit Heart J* **33**: 388, 1971
- 12) Karlner JS, Gault JH, Bouchard RJ, Holzer J: Factors influencing the ejection fraction and the mean rate of circumferential fibre shortening during atrial fibrillation in man. *Cardiovasc Res* **8**: 18, 1974
- 13) Hoffman BF, Binder E, Suckling E: Post-extrasystolic potentiation of contraction in cardiac muscle. *Amer J Physiol* **185**: 95, 1956
- 14) 加藤和三, 渡辺 灝, 新谷富士雄, 渡辺 坦: 不整脈の血行動態. 呼吸と循環 **22**: 307, 1974