

胸壁インピーダンス法：
Post-extrasystolic potentiation の検討および心エコー図との比較

Response of the left ventricle to postextrasystolic potentiation using impedance plethysmography

朝山 純
国重 宏
古川 啓三
松久保晴生
渡辺 俊光
勝目 紘
遠藤 直人
松浦 徹
伊地知浜夫

Jun ASAYAMA
Hiroshi KUNISHIGE
Keizo FURUKAWA
Haruo MATSUKUBO
Toshimitsu WATANABE
Hiroshi KATSUME
Naoto ENDO
Tohru MATSUURA
Hamao IJICHI

Summary

It has previously been noted that residual left ventricular function can be detected in patients with coronary artery disease by their response on postextrasystolic potentiation (PESP) using the ventriculographic technique. In the present study impedance plethysmography, a non-invasive method recently developed, was employed in 13 patients in order to obtain the relationship between PVC coupling ratio and PESP. Minimum value of the derivative of the impedance change (dz/dt min), substituted for impedance plethysmographic stroke volume, bore good relation (augmentation) to PVC coupling ratio in 11 patients. There was no augmentation of the value of dz/dt min in 2 patients with old myocardial infarction.

Additionally, to ascertain the usefulness of impedance plethysmography, comparative study of impedance plethysmography and ultrasound cardiography in regard to stroke volume was done in 30 patients of non-shunt disease or of no mitral regurgitation. Conclusively, the impedance plethysmography was verified a fine non-invasive method for measuring PESP and stroke volume.

Key words

impedance plethysmography
postextrasystolic potentiation
premature ventricular contraction
aortic diastolic pressure
ultrasound cardiogram

京都府立医科大学 第二内科
京都市上京区河原町広小路梶井町 (〒602)

The Second Department of Internal Medicine, Kyoto Prefectural University of Medicine, Kajii-cho, Kawaramachi Hirokoji, Kamigyo-ku, Kyoto, 602

はじめに

Postextrasystolic potentiation (PESP)は, 1885年に Langendorff ら¹⁾によって最初に報告され, 心臓のポンプ機能としての代償機構の1つとされている。

近年, 虚血性心疾患への外科的治療例の増加と共に術後 asynergy の改善を認めない例が目され, residual left ventricular function の判定に, Sonnenblick ら^{2)~4)}は, PESP が極めて有効であると強調している。

一般に, PESP の臨床的検討は, 造影剤を用いての cine-angiography によっている。

私共は, 最近注目されている非観血法の1つである impedance plethysmography⁵⁾⁶⁾ (インピーダンス法)を用いて, PESP と premature ventricular contraction (PVC) の coupling ratio との関係等を臨床例にて検討した。さらに, インピーダンス法より算出される stroke volume と ultrasound cardiography (UCG) より算出される stroke volume を比較検討した。

方法および結果

(1) PESP の検討

当内科にて心雑音や不整脈などの心疾患のため, 心臓カテーテル検査を施行し得た13例を対象とした (Table 1)。

方法は, 東芝社製 50 KHz, 1.5 mA の Pulmocardiography を用い, 4電極法にて心電図, 大動脈圧 (Ao press.) または左室内圧 (LV press.) を半呼気位呼吸停止下で同時記録した。右室心尖部においた双極電極カテーテルより 2msec., 2-3 mA の単発刺激を種々の心時相に加えて PVC を発生させ, PESP の検討を行った (Figure 1)。

計測は Kubicek 法⁶⁾に従った。stroke volume は (A) 式にて求められる。

$$\Delta V = \rho(L/Zo)^2 (dz/dt) \text{ min. } T \dots \dots (A)$$

ΔV = ventricular stroke volume (cc)

ρ = the electrical resistivity of blood (average value 135 ohm-cm)

Table 1. Clinical data of thirteen subjects for postextrasystolic potentiation

Case no.	Age	Sex	Clinical Diagnosis
1	20	M	PAT
2	22	M	PAT
3	23	M	PAT
4	32	M	pericarditis
5	20	M	ASD
6	43	M	ASD
7	19	M	left superiol vena cava + PDA
8	41	F	Stokes-Adams syndrome
9	66	M	Stokes-Adams syndrome
10	68	M	angina pectoris
11	34	M	old myocardial infarction
12	52	M	old myocardial infarction
13	53	M	old myocardial infarction

L = the mean distance between the two inner electrodes (cm)

Zo = the mean body impedance between two inner electrodes in ohms

(dz/dt) min. = the minimum value of dz/dt occurring during the cardiac cycle in ohms per second

T = the ventricular ejection time in seconds as obtained from the dz/dt wave form

(dz/dt) A = the value of dz/dt occurring by atrial contraction in ohm per second

PESP の検討には, 次のパラメータを用いた。
PVC coupling ratio = PVC coupling time/control RR interval

$$\Delta(dz/dt) \text{ min. } \% = \frac{(dz/dt) \text{ min. post PVC} - (dz/dt) \text{ min. control}}{(dz/dt) \text{ min. control}} \times 100$$

$\Delta A_o \text{ diast. press.} = A_o \text{ diast. press. post PVC} - A_o \text{ diast. press. control}$

$\Delta LVEDP = LVEDP \text{ post PVC} - LVEDP \text{ control}$
R - (dz/dt) min. time (from R of ECG to peak (dz/dt) min.)

インピーダンス法による stroke volume は, (A) 式にて与えられるが, $\rho(L/Zo)^2$ の値は, 同一個人では一定値を示すので, T の変動を無視すれば, stroke volume の代用として (dz/dt) min. を用い

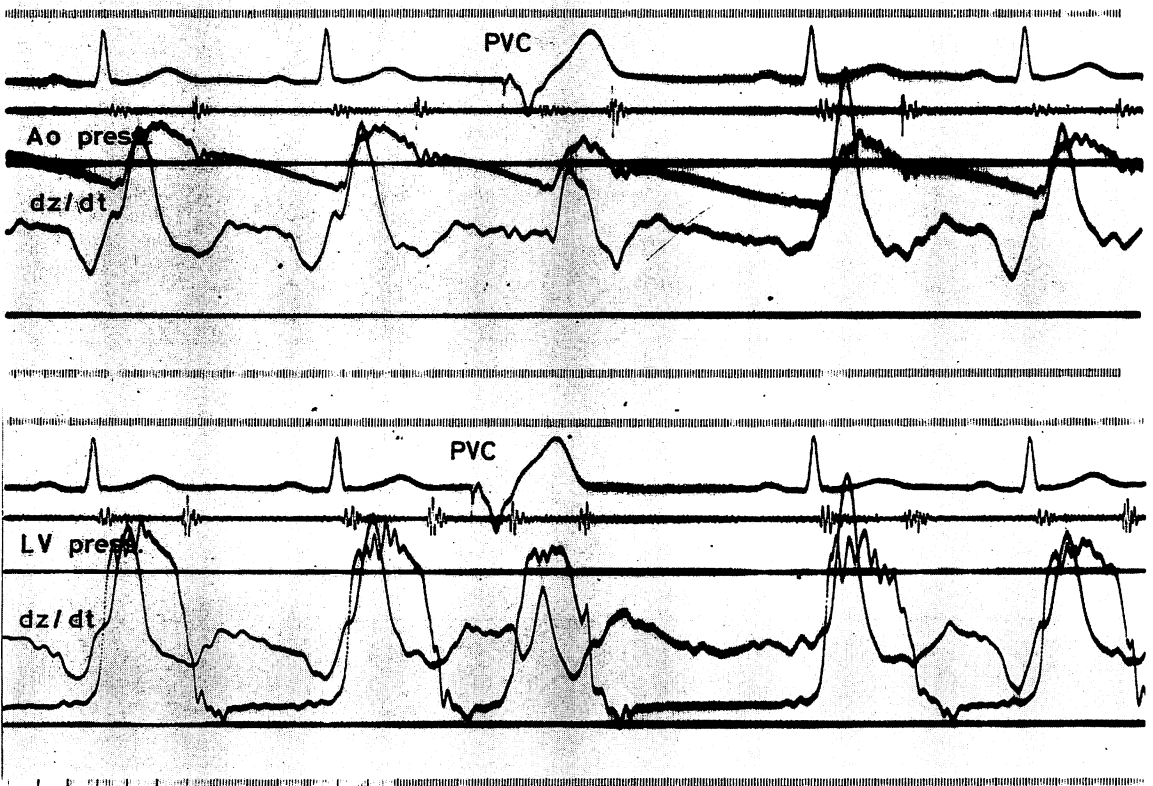


Figure 1. Recording of electrocardiogram, phonocardiogram, aortic pressure (Ao press.), and first derivative of the impedance change (dz/dt).

In lower trace left ventricular pressure (LV press.) was recorded instead of aortic pressure. PVC was introduced at various coupling interval.

てもよいと考えられる。

Figure 2 は、PVC の coupling ratio の大小が種々の指標に与える影響をみたものである。上段は coupling ratio 0.79 で、下段は 0.45。PESP の代用としての $(dz/dt)_{min}$ の増加率は、各々 +35%、+78% である。Ao diast. press. も各々 -13 mmHg、-24 mmHg で、 $R-(dz/dt)_{min}$ time も 105 msec.、95 msec. となっている。

Figure 3 は、case 3 の成績である。preload の index としての LVEDP の変化は、圧でみる限り大きな変化を示さないが、afterload としての Ao diast. press. の減少は、明らかに $(dz/dt)_{min}$ の増加率と一定の関係を示している。dp/dt

と相関があるといわれる $R-(dz/dt)_{min}$ time. も、PCV coupling ratio の短縮に伴い小さくなる。

Figure 4 は case 13 の場合である。PESP は認められない ($\Delta(dz/dt)_{min}$ % は -3% を示す)。

Figure 5 は case 13 の成績で、PVC coupling ratio の短縮に伴い afterload は減少するが、 $\Delta(dz/dt)_{min}$ はほとんど増加しない。

Figure 6 は、13 例の PVC coupling ratio と $\Delta(dz/dt)_{min}$ % の回帰直線を示したものである。心筋梗塞 3 例中 2 例に PESP を認めない。

(2) $(dz/dt)_A$ の検討

Figure 7 上段に明らかなように、PVC 後の A 波は浅くなっている。下段は、case 3 の成績で、

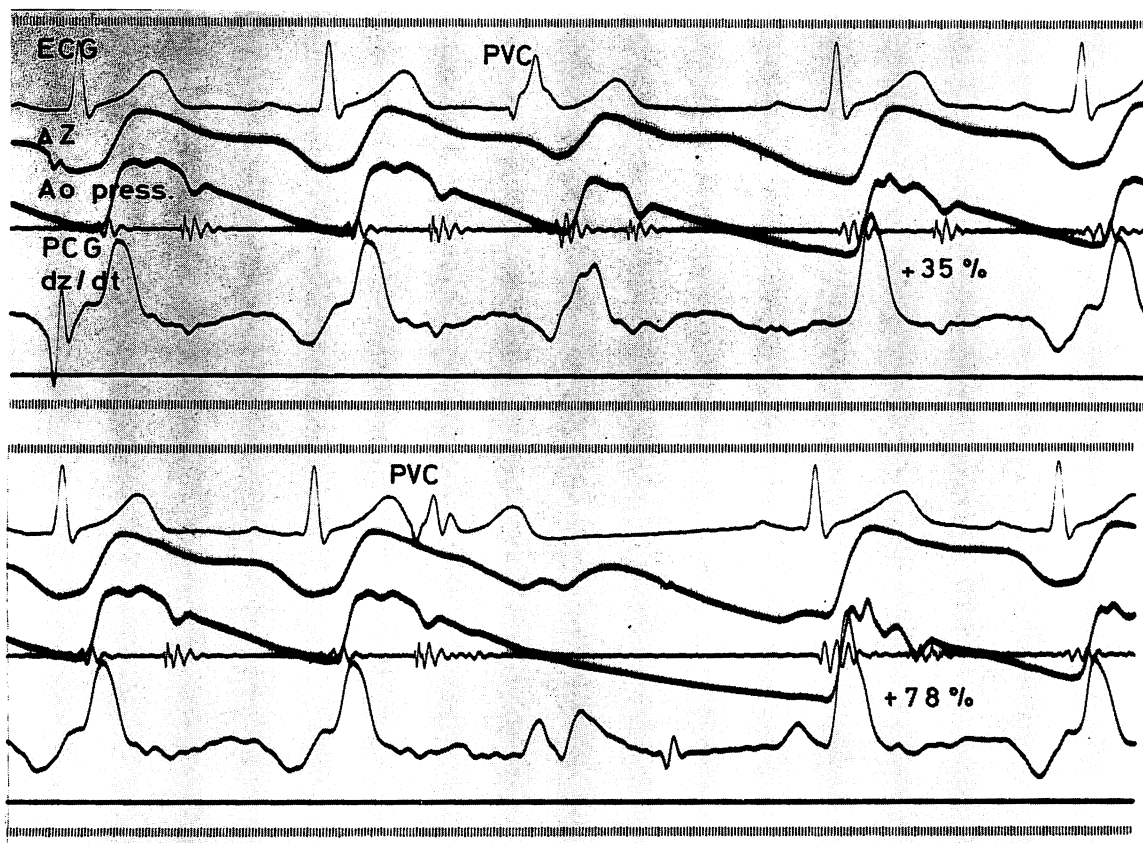


Figure 2. Recording of electrocardiogram, impedance change (ΔZ), aortic pressure, phonocardiogram, and dz/dt from patients 3.

Following a postextrasystolic pause, the fourth cycle shows an augmentation of dz/dt min.; +35% in upper trace, +78% in lower trace.

便宜上, 基線より下をマイナスにとってある。PVC coupling ratio が短縮するに伴い (dz/dt) A は直線的に増大している。ほぼ全例に同様の成績を得た。

(3) インピーダンス法と UCG 法による stroke volume の比較

対象は, シヤント疾患, 僧帽弁閉鎖不全症を除く 30 例である。装置は, Aloka SSD-90 を使用し ECG, PCG, インピーダンス ΔZ , dz/dt を半呼吸位呼吸停止下で同時記録した (Figure 8)。

UCG における stroke volume の測定には, 僧帽弁を明瞭に促える点より左下方に探触子を移動

させ, 腱索が出没する部位で Dd , Ds の計測を仁村⁷⁾の方法に従って行った。 $Dd^3 - Ds^3$ にて stroke volume とした。

各計測値は Table 2 に示した。両者の相関係数は 0.804 を得た。算出した stroke volume の対比を Figure 9 に図示した。

考案

現在, 胸壁インピーダンス法による臨床応用には, 吉良ら⁸⁾⁹⁾による肺循環, 呼吸機能ならびに Kubicek ら^{4)~6)}による左心機能の評価が主なるものである。

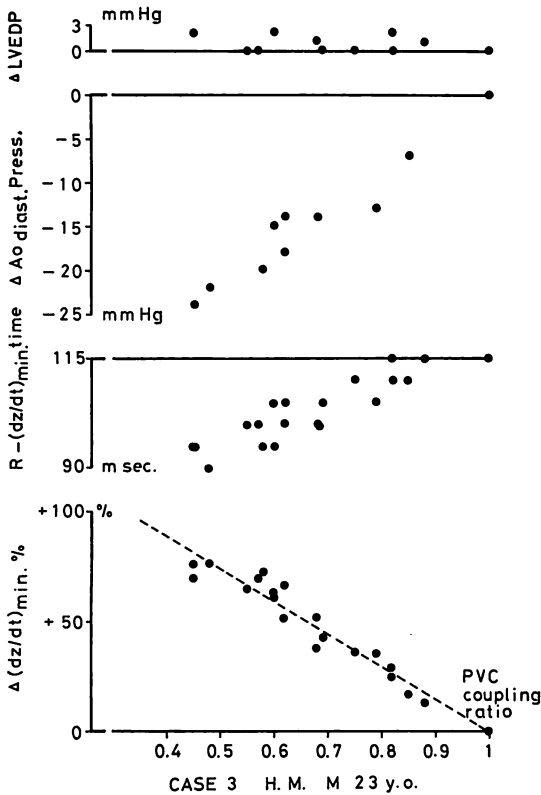


Figure 3. Same patient as figure 2. Δ LVEDP, Δ Ao diastolic pressure, R-dz/dt min. time, and Δ dz/dt min. percentage were plotted against PVC coupling ratio.

左心系に関して、インピーダンス変動より容積変動の定量化について諸家の方法⁶⁾¹⁰⁾¹¹⁾があるが、Kubicekによる定量式が一般に用いられている。

私共は、既に心房細動例でのRR間隔とejection time, stroke volumeの検討¹²⁾およびValsalva法、下肢挙上などの生理的変化に対するインピーダンス諸値の検討¹³⁾を行い、1回拍出量の変動観察に満足すべき成績を得た。今回はさらに、近年注目されているPESPについて本法を用い臨床検討を行った。

PESPに関する報告^{14)~19)}は多いが、臨床的にはstroke volumeの増加あるいはcineangiographyでのasynergyの改善の有無であり、病理組織学的には、梗塞部位でのfibrosisとmyocardial cellの比率による³⁾と考えられている。

近年、PESPが注目を浴びてきたのは、虚血性心疾患の外科的治療の発達によりcoronary revascularizationによってもasynergyの改善を示さない例があり、このような例にriskの高い手術を避け、手術適応を決めるための検査法として有用になったからである。

Sonnenblickら³⁾によれば、術後のasynergy改善例と非改善例の間でLVEDP, cardiac index, ejection fraction, NYHA分類の指標では有意差はなく、PESPにて区別可能であると報告しており、latent function, residual function判定に

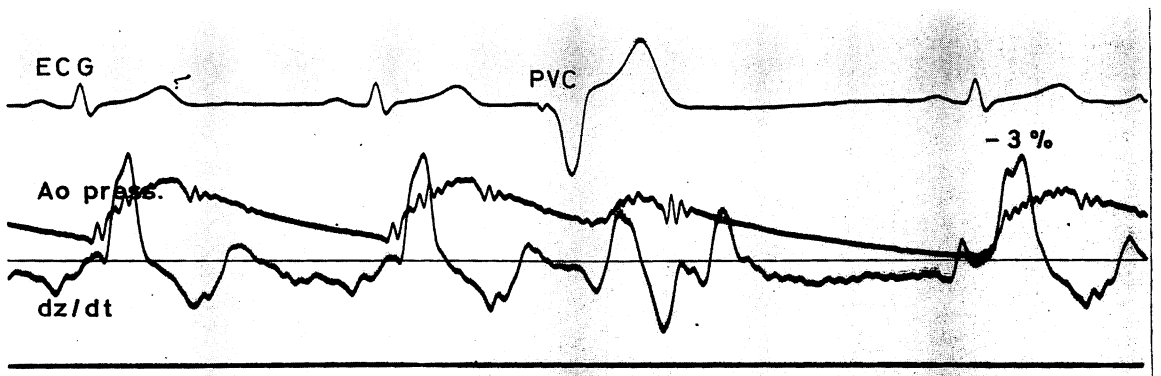


Figure 4. Recording of electrocardiogram, aortic pressure, and dz/dt from patients 13. Note no augmentation of dz/dt min. following a post extrasystolic pause.

PESP を用いる傾向にある。

ところで, 私共の成績では, preload の 1 つの LVEDP はあまり変化を認めなかったが, volume の変化は当然あると思われる。従って, PESP の成因機序に Frank-Starling 効果を否定しえない

CASE 13 K. F. M 62 y.o.

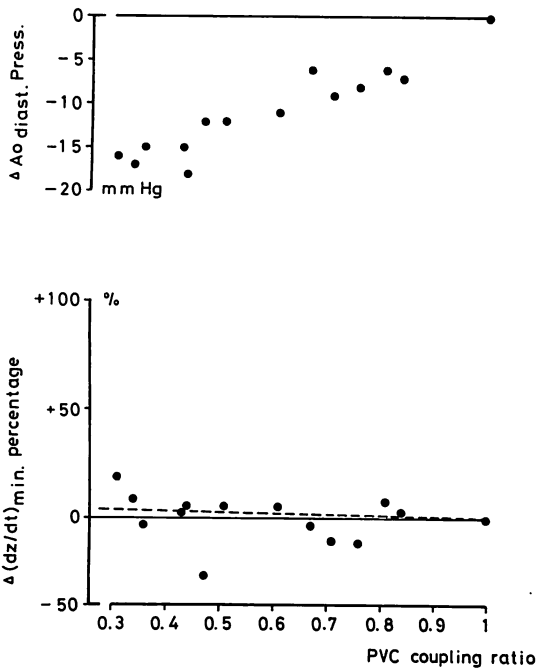


Figure 5. Same patient as figure 4. Δ Ao diast. press., and $\Delta dz/dt$ min. percentage were plotted against PVC coupling ratio.

が, Hamby ら¹⁹⁾ は必ずしも LV end diastolic volume の増加のないものも多く, Frank-Starling 効果の関与に否定的である。

私共の成績で明らかのように, PVC coupling ratio が小になるに伴い afterload としての aortic diastolic pressure は直線的に減少し, PESP に大きく関与していると思われる。

一方, PESP を示さない心筋梗塞の 2 例でも同様に, aortic diastolic pressure は減少を示すにも拘らず $(dz/dt)_{min}$ の増加を全く認めていない。心臓のポンプ機能にとって afterload が減少し, 当然 PESP を生じると思われるが, PESP を生じないことの説明は極めて難しい。ただ, PESP の検討に際し, 収縮機構のみでなく心室拡張に障害があれば, PESP を生じないことも考えられるが, afterload の減少という好条件にも, 既に余力を使い果たした状態では, ポンプ作用は増大しないと考えるのは理解しにくく, 依然としてその本態は不明である。

なお, 本法と一般に行われている cineangiography とを比較すると後者では造影剤による副作用より数回しか施行できないが, asynergy の部位, 程度とその改善状態は明瞭になる。前者では右心カテーテルだけでも施行でき, また頻回施行可能であるが, asynergy の直接的確認はできない。

今回は, cineangiography と本法の比較検討を行っていないが, PESP の screening 検査として

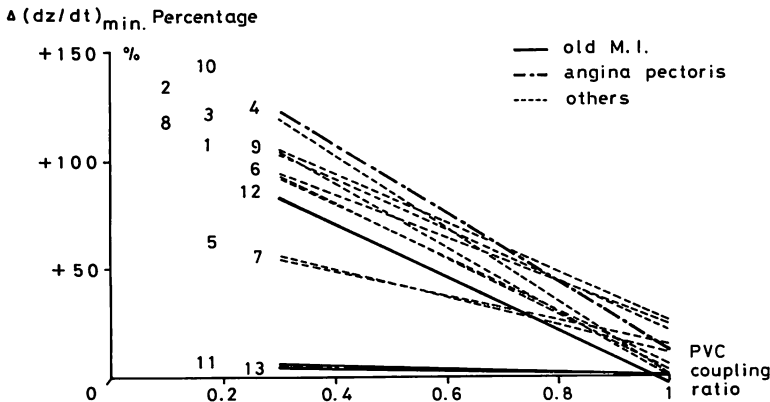


Figure 6. Relationship between PVC coupling ratio and $\Delta dz/dt$ min. percentage in all patients.

Note no augmentation in 2 patients with old myocardial infarction. Number coincides with case number shown in Table 1.

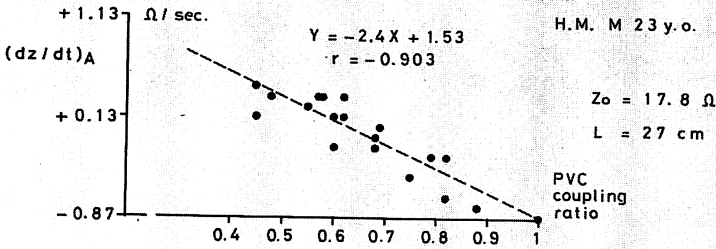
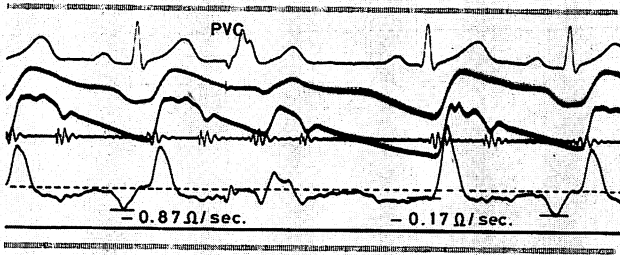


Figure 7. Recording of electrocardiogram, ΔZ , aortic pressure, phonocardiogram, and dz/dt (top panel).

Relationship between PVC coupling ratio and $(dz/dt)_A$ in patient 3 (bottom panel).

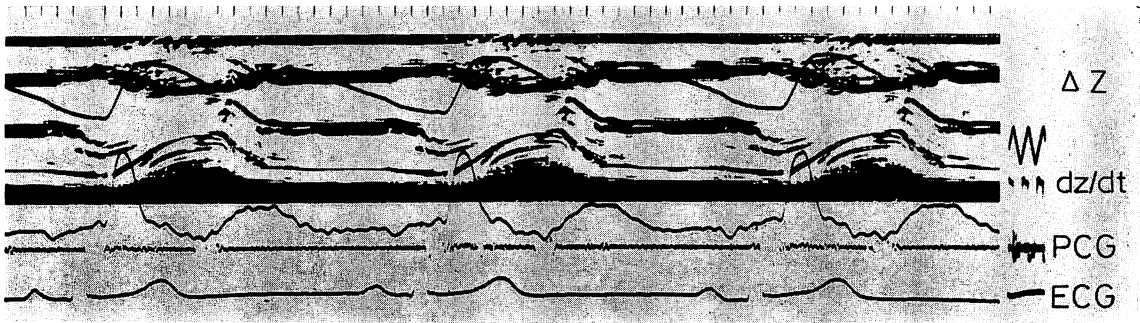


Figure 8. Recording of UCG, ΔZ , dz/dt , phonocardiogram, and electrocardiogram.

は容易な方法であり、今後有用と思われる。

ところで、 $(dz/dt)_A$ について今回の成績は極めて興味深いものと思われる。 $(dz/dt)_A$ 値は胸囲により修飾を受けるとすでに報告した²⁰⁾とおり、絶対値を用いることはできないが、心房細動にて消失すること、および完全房室ブロックにてP波の直後に認めることにより、心房収縮による何らかの血行動態の変化を表現していることは事実であろう。今回の PVC coupling ratio と $(dz/dt)_A$ の関係を考える際、心房の Frank-Starling 効果による atrial kick mechanism を反映しているとの説明が可能である。私共の少数例で PVC 前後での

apexcardiogram の検討では、PVC 後の A 波高はほとんど不変で、A 波率はむしろ減少している。このことはむしろ、Rushmer²¹⁾の説に従って、拡張期が長いために ventricular filling が十分で、atrial contraction の関与の減少を反映しているとも考えられる。

いずれにせよ、今回の $(dz/dt)_A$ に関する成績からは、早急な結論は導き難いが、心房の血行動態を検討するうえに今後有用であると考えられる。

最後に、インピーダンス法と他法の比較は臨床例での radioisotope dilution method, dye dilution method との比較、および犬での electromagnetic

Table 2. Obtained basic values from thirty subjects

case no.	age	sex	Zo	L	dz/dt	T	Dd	Ds
1	12	F	31.0	26.0	2.38	0.30	4.7	3.0
2	15	M	27.2	27.5	2.58	0.26	4.8	3.1
3	18	M	27.6	28.0	1.50	0.28	4.2	2.8
4	20	M	26.6	29.0	1.92	0.28	4.7	3.3
5	20	F	31.2	25.5	1.78	0.28	3.8	2.1
6	20	M	25.2	25.5	2.30	0.29	5.0	3.0
7	20	M	31.5	30.0	1.70	0.30	4.7	3.0
8	21	F	26.0	26.0	1.53	0.30	3.5	1.7
9	22	M	30.0	29.5	1.37	0.22	4.3	3.0
10	22	M	29.0	33.0	1.40	0.26	4.7	3.0
11	23	M	26.0	30.0	2.45	0.29	5.2	3.2
12	23	M	27.0	27.5	1.94	0.26	4.7	3.1
13	24	M	25.4	29.5	1.50	0.30	5.3	3.7
14	24	M	27.5	26.6	2.32	0.30	4.6	2.7
15	24	M	25.0	27.5	1.54	0.26	4.8	3.1
16	24	M	24.0	28.5	2.13	0.29	4.7	3.0
17	27	F	29.4	26.5	2.83	0.27	5.0	2.8
18	28	M	29.0	30.0	2.27	0.27	4.4	2.5
19	29	M	26.6	27.5	2.53	0.30	4.6	2.4
20	30	M	29.0	28.0	2.18	0.31	5.0	3.0
21	30	M	29.7	33.0	2.07	0.27	5.1	3.6
22	35	F	30.6	27.0	3.00	0.27	4.1	1.8
23	36	F	30.6	32.0	2.20	0.27	4.2	2.4
24	39	F	30.8	28.0	2.10	0.26	4.3	2.5
25	45	M	23.5	28.0	0.85	0.31	5.2	3.1
26	58	F	30.6	27.0	3.64	0.33	5.6	3.9
27	60	F	34.8	27.5	2.73	0.30	4.6	2.8
28	62	M	25.4	26.5	1.35	0.29	4.7	3.3
29	67	M	25.0	26.0	1.25	0.27	4.6	3.1
30	69	F	29.5	26.5	1.39	0.36	3.8	2.2

flowmeter での比較²²⁾に於て良い相関が認められている。一方, UCG 法と他方との比較²³⁾に於ても良い相関が得られている。現在, インピーダンス法と UCG 法の比較はないが, 今回の私共の成績は, 当然のことながら良い相関を示している。

まとめ

胸壁インピーダンス法を用い, 陳旧性心筋梗塞を含む 13 症例に, 電気刺激により PVC を生じさせ PESP の検討を行った。

心筋梗塞 3 例中 2 例に PESP の出現を認めなかった。一方, 梗塞の存在が否定しうる 11 例では,

PESP を認め, PVC coupling ratio が小さくなるに従い PESP は直線的な増加を示した。

なお, 付随的にインピーダンス A 波が PVC coupling ratio 減少に伴い増高するという興味ある所見を得た。

さらに, UCG 法およびインピーダンス法による stroke volume 値の比較検討を臨床例 30 例に行い, 高い相関 ($r=0.804$) を得た。よって PESP の検討にインピーダンス法の応用は有用と考えられる。今後さらにインピーダンス波型の詳細な解明がなされれば, 血行動態の分析に役立つものと思われる。

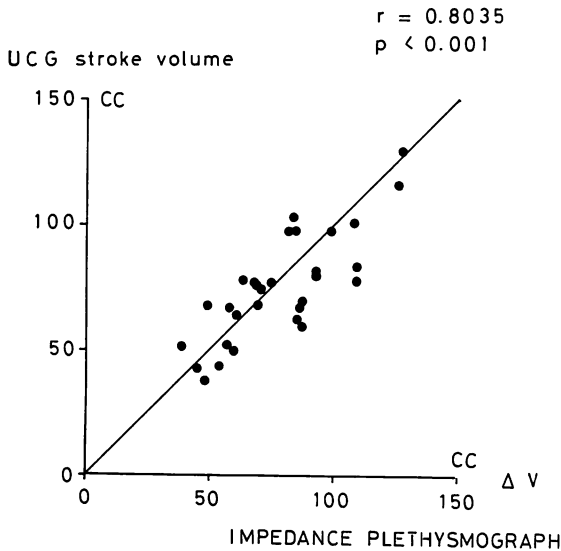


Figure 9. Comparison of impedance plethysmographic stroke volume versus UCG stroke volume.

文献

- 1) Langendorff O: Über elektrische Reizung des Herzens. Arch Physiol (Arch Anat Physiol Phys Abt), 1885, pp. 284
- 2) Dyke SH, Cohn PF, Gorlin R, Sonnenblick EH: Detection of residual myocardial function in coronary artery disease using post-extrasystolic potentiation. Circulation 50: 694, 1974
- 3) Cohn PF, Gorlin R, Herman MV, Sonnenblick EH, Horn HR, Cohn LH, Collins JJ: Relation between contractile reserve and prognosis in patients with coronary artery disease and a depressed ejection fraction. Circulation 51: 414, 1975
- 4) Kubicek WG, Karnegis JN, Patterson RP, Witsoe DA, Mattson RH: Development and evaluation of an impedance cardiac system. Aerospace Med 37: 1208, 1966
- 5) Kubicek WG, Patterson RP, Witsoe DA: Impedance cardiography as a noninvasive method of monitoring cardiac function and other parameters of the cardiovascular system. Ann New York Acad Sci 170: 724, 1970
- 6) Kubicek WG, Kottke FL, Ramos MU, Patterson RP, Layman TE, Schoening H, Garamela JT: The Minnesota impedance cardiograph-theory and applications. Biomedical Engineering: 410, 1974

- 7) 仁村泰治, 久堀周治郎, 別府慎太郎: UCG と左心機能. 日本臨床 32: 67, 1974
- 8) Kira S, Fukushima Y, Kitamura S, Ito A: Trans-thoracic electrical impedance variations at associated with respiration. J Appl Physiol 30: 820, 1971
- 9) Fukushima Y: Physiological identification of various sources of transthoracic electrical impedance during breath holding. Jap Heart J 11: 74, 1970
- 10) Kinnen E, Duff C: Cardiac output from transthoracic impedance records using discriminant analysis. J Ass Advan Med Instrum 4: 73, 1970
- 11) Allison RD: Stroke volume, cardiac output and impedance measurements. Proc 19 Ann Conf Engineering in Medicine and Biology p 53, 1966
- 12) 北村和人, 国重 宏, 松岡謙二, 三品頼甫, 朝山 純, 遠藤直人, 高梨忠寛, 松浦 徹, 沢山俊民: 心房細動における RR 間隔, ejection time, stroke volume の相互関係. Minnesota impedance cardiogram を用いて. 臨床心音図 4: 325, 1974
- 13) 国重 宏, 北村和人, 松岡謙二, 三品頼甫, 朝山純: Impedance cardiograph による dz/dt 波形に関する検討. 臨床心音図 4: 333, 1974
- 14) Takada H, Takeuchi S, Ando K, Kaito A, Yoshida S, Hisada S, Mizuno Y: Experimental studies on myocardial contractility and hemodynamics in extrasystole. Jap Circulat J 34: 419, 1970
- 15) Hunt D, Burdeshaw JA, Baxley WA: Left ventricular volumes during ventricular tachycardia, first post-tachycardia beat, and subsequent beats in normal rhythm. Brit Heart J 36: 148, 1974
- 16) Schwarz F, Thormann J, Winkler B: Frequency potentiation and postextrasystolic potentiation in patients with and without coronary arterial disease. Brit Heart J 37: 514, 1975
- 17) Kvasnicka J, Liander B, Broman H, Varnauskas ED: Quantitative evaluation of postectopic beats in the normal and failing human heart using indices derived from catheter-tip manometer readings. Cardiovasc Res 9: 336, 1975
- 18) Dyke SH, Urschel CW, Sonnenblick EH, Gorlin R, Cohn PF: Detection of latent function in acutely ischemic myocardium in the dog: Comparison of pharmacologic inotropic stimulation and postextrasystolic potentiation. Circulat Res 36: 490, 1975
- 19) Hamby RI, Aintablian A, Wisoff BG, Hartstein ML: Response of the left ventricle in coronary artery disease to postextrasystolic potentiation. Circulation 51: 428, 1975
- 20) 国重 宏, 朝山 純, 松久保晴生, 松浦 徹, 仁木偉 彦夫, 伊地知浜夫: 体格, 血圧, 加齢の胸郭内インピ

朝山, 国重, 古川, 松久保, 渡辺, 勝目, 遠藤, 松浦, 伊地知

ーダンス 1 次微分波に及ぼす影響. 脈管学 14: 451, 1974 (抄録)

21) Rushmer RF: Cardiovascular Dynamics. 3rd ed, WB Saunders Co. 1970, p 81

22) Baker LE, Judy WV, Geddes LE, Langley FM,

Hill DW: The measurement of cardiac output by means of electrical impedance. Cardiovasc Res Center Bull 9: 135, 1971

23) Feigenbaum H: Echocardiography. Lea & Febiger 1972, p 112