

インピーダンス・カルジオ
グラフィックによる心拍出量
測定： dZ/dt 波の異常と右
心拍出量の影響について

Cardiac output determi-
nation by impedance
cardiography with refer-
ences to right heart
output and distortion of
impedance waveform

酒井 章
岩坂 壽二
斧山 英毅

Akira SAKAI
Toshiji IWASAKA
Hideki ONOYAMA

Summary

Impedance cardiography has provided a measure for determining cardiac output using a formula proposed by Kubicek and others, where the value of the formula (Kubicek's value: KV) is equal to stroke volume (SV). The validity of this method, however, is still controversial since the theoretical background remains speculative and unestablished, and the exact origin of the transthoracic impedance change has not been clearly identified. In this study, the effects of the right heart stroke volume and the distortion of the first derivative impedance (dZ/dt) waveform on KV values were investigated, based on the KV-SV comparison studies using RCG analog simulation method and thermodilution technique.

By statistical analysis of 71 pairs of KV and SV values obtained from 71 cases with regular sinus rhythm and without any significant intracardiac shunt, valvular lesions or conduction defect, the functional relation between KV and SV was estimated as $SV=0.736 KV+24.65$ or $KV=1.359 SV-33.49$, assuming that the observational errors in determining KV and SV are even. Supposing here that the KV value is influenced not only by left ventricular stroke volume (LtSV), but also by right one (RtSV) though less strongly, the following relation could be introduced: $KV=LtSV+0.359 RtSV-33.49$. In 14 cases with ventricular septal defect, RtSV and LtSV were computed by RCG analog simulation and served for calculating the equation shown just above. The values so calculated were compared to the KV values simultaneously observed. The correlation coefficient between KV calculated and that observed was 0.93, and the scattergram occupied the region nearly around the equal line. This finding would support the hypothesis that the KV values would reflect both LtSV and RtSV if the latter is of a lesser extent.

In 35 patients with acute myocardial infarction, 98 cardiac output determinations were achieved by means of Swan-Ganz thermodilution technique, simultaneously with impedance cardiography. In one-third of the 98 determinations, the ratios of the stroke volume values of the two methods were

関西医科大学 第二内科
守口市文園町1 (〒570)

The Second Department of Internal Medicine, Kan-
sai Medical University, Fumizono-cho 1, Moriguchi
city, Osaka 570

Presented at the 19th Meeting of the Japanese Society of Cardiovascular Sound held in Kyoto, October 20-21, 1979

Received for publication January 21, 1980

out of $\pm 25\%$ range. This deviation was considered to be due to distortion of systolic dZ/dt waveform. It was concluded that cardiac output determination by impedance cardiography was invalid if the systolic impedance waveform shows distortion.

Key words

Impedance cardiography Stroke volume Functional relation First derivative impedance waveform
 Kubicek's formula

はじめに

心拍出量の測定は心機能を評価する上で最も基本的な事項であるが、これを長時間にわたって非侵襲的にモニターすることは、きわめて困難なことである。インピーダンス・カルジオグラフィ（IMP 法）は、胸部の電気的インピーダンス（Z）の変化が大動脈血流量とよく相関するという実験成績を基礎にして、心拍出量を連続的、非侵襲的に測定する検査法として Kubicek らにより開発されたものである¹⁻³⁾。以来、本法による心拍出量測定値と、Fick 法、指示薬希釈法などによる測定値との対比成績が報告されており⁴⁻¹³⁾、短絡疾患、弁膜症などのない場合にのみ妥当性があるとするもの、絶対値の信頼性には問題があるが、心拍出量の変化の追跡には有用であるとする意見^{3,14)}など、IMP 法による心拍出量測定に関してはなお議論が多い。

本研究においては、我々が行った心放射図法（RCG 法）との対比検討^{11,12)}および CCU における熱希釈法との併用経験の成績から、IMP 法による心拍出量測定の問題点について考察した。

方 法

1) IMP 法は Kubicek らの方法に従って 4 電極法により、IFM 製 Impedance Cardiograph Model 304A または、東芝製 Impedance Pneumocardiograph を用いて、心電図、心音図、インピーダンス微分波形 (dZ/dt) を記録した。心拍出量の算出は Kubicek の式³⁾を用いた。すなわち、

$$KV = \rho \cdot \left(\frac{L}{Z_0} \right)^2 \cdot \left[\frac{dZ}{dt} \right]_{\min} \cdot ET \quad \dots\dots (1)$$

ここで KV は IMP 法による一回拍出量計算値 (ml/beat) の意で、いわゆる一回拍出量 SV と区別した。ρ は血液比抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}$) で、ここでは $135 \Omega \cdot \text{cm}$ を採用した。L は検出電極間距離 (cm)、 Z_0 は胸部平均インピーダンス (Ω)、 $[dZ/dt]_{\min}$ は dZ/dt の収縮期ピーク値 (Ω/sec)、ET は駆出時間 (sec) である。

2) RCG 法と IMP 法の同時検査は京都大学医学部付属病院において 129 症例に施行し、その成績はすでに報告した^{11,12)}。この症例のうち心室中隔欠損症 (ASD) 14 例、心室中隔欠損症 (VSD) 14 例について、RCG 法により算出した体および肺血流量と KV との対比を行った。

3) 熱希釈法と IMP 法の同時検査は関西医大 CCU に収容した急性心筋梗塞症 35 例について、Swan-Ganz カテーテル法により Edwards 心拍出量計を用いて行った。

成 績

1. RCG 法との対比

各種心疾患等を含む 129 症例について、RCG 法による SV と IMP 法による KV の同時測定の結果を Fig. 1 に示す。両法の測定値間には、相関係数 $r=0.80$ ($n=129$) の相関が得られた。このうち、心内短絡、弁膜症、伝導障害を伴うものは 58 症例で、この群では $r=0.66$ ($n=58$) と低い相関を示したが、残りのもの、すなわち短絡、弁膜症、伝導障害の有意なものを有しない洞調律の 71 症例では、 $r=0.90$ の良好な相関関係が得られた¹²⁾。後者の群における KV と SV の関係を

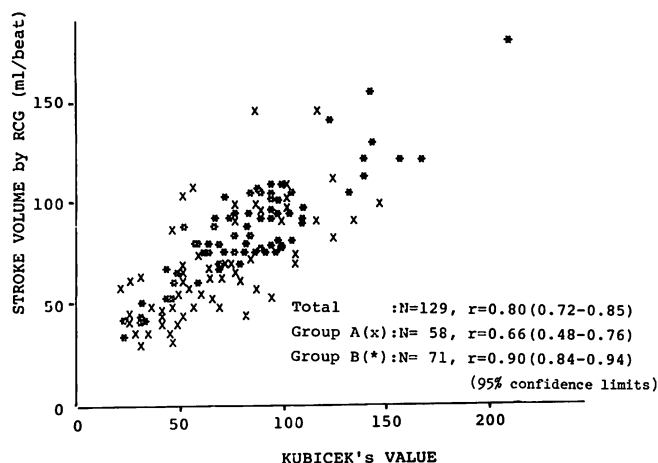


Fig. 1. Relation between stroke volume values (SV) by RCG and Kubicek's values (KV) of impedance method.

The calculated values (KV) of Kubicek's formula in impedance cardiography are plotted against the stroke volume values (SV) simultaneously determined by RCG analog simulation method. Correlation coefficient between KV and SV is 0.80 in the total cases (N=129). It is 0.90 with 95% confidence interval of 0.84 to 0.94 in group B (N=71), which consists of 71 cases with regular sinus rhythm and without any significant intracardiac shunts, valvular lesions or conduction disturbances. The remaining cases, which compose group A, show the correlation coefficient of 0.66. Intracardiac shunt, valvular lesion and distortion of the systolic impedance waveform worsen the KV-SV relation.

Fig. 2 に示した。既報のごとく^{11,15)}、両者間の機能的関係¹⁶⁾ $SV = \alpha + \beta KV$ を推定すると

$$SV = 24.65 + 0.736 KV \quad \dots(2)$$

となり、 α および β の 95% 信頼区間はそれぞれ 16.77~31.89 および 0.828~0.652 であった。上式を KV について示すと

$$KV = -33.49 + 1.359 SV \quad \dots(3)$$

または

$$KV = 1.359 (SV - 24.65) \quad \dots(4)$$

以上、KV-SV 関係は 1 対 1 の対応を示さず、 $KV = SV$ から有意に偏位していることが示された。この成績は KV の (1) 式による算出にさいして、 $\rho = 135$ とした場合であるが、 ρ を症例ごとにそのヘマトクリット値に従って算出したものを用いても、KV-SV 関係は本質的に変わらなかった¹⁷⁾。

2. 短絡疾患における KV-SV 関係

前述の 58 症例中の心房中隔欠損 (ASD) の 14

例、および心室中隔欠損 (VSD) の 14 例について、RCG 法により右室拍出量 (RtSV) および左室拍出量 (LtSV) を算出し¹⁸⁾、同時に得た KV 値と対比検討した。

ASD 症例における KV-RtSV および KV-LtSV 関係を **Fig. 3** に示す。両者間の相関係数はそれぞれ、0.46 および 0.65 で良好な関係は得られなかったが、KV は LtSV より大であり RtSV より小であることが明白であった。

同様に VSD 症例についての関係を **Fig. 4** に示す。KV と RtSV および LtSV 間の相関係数はそれぞれ 0.88 および 0.86 とかなり良く、前者の機能的関係は $RtSV = 1.32 KV - 4.9$ 、後者のそれは $LtSV = 0.725 KV + 9.1$ で、ここでも KV は LtSV より大、RtSV より小であった。

今ここで、KV は LtSV のみを測定しているのではなく、RtSV の一部も測定していると仮定すれば、KV-SV 関係は、

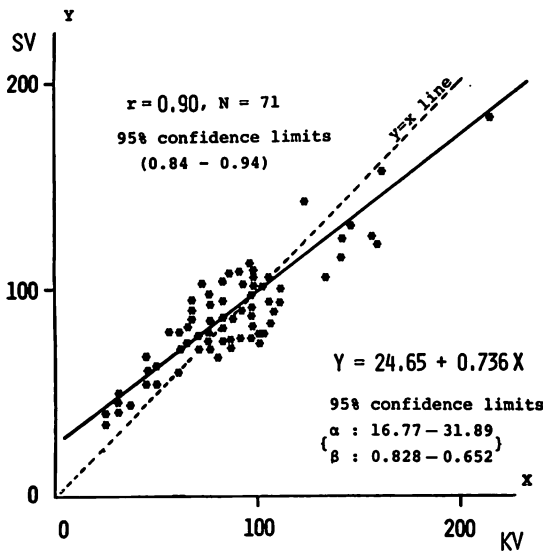


Fig. 2. Functional relation of Kubicek's value to stroke volume.

Using the data obtained from group B cases shown in Fig. 1, the functional relation of KV to SV ($SV = \alpha + \beta KV$) is estimated as $SV = 24.65 + 0.736KV$, with an assumption that the observational error in calculating KV is the same as in observing SV. A 95% confidence interval of α is 16.77 to 31.89 and that of β is 0.828 to 0.652. The relation may be rewritten as $KV = 1.359SV - 33.49$. The relation shown above is not a regression equation, where the observational error in the independent variable X being supposed to be zero, the equation can not be rewritten like this.

$$KV = \alpha LtSV + \beta RtSV + \gamma \quad \dots\dots(5)$$

と表わすことができる。LtSV=RtSV の場合は、

$$KV = (\alpha + \beta)SV + \gamma \quad \dots\dots(6)$$

これは (3) 式に相当することから、 $\alpha + \beta = 1.359$, $\gamma = -33.49$ である。ここで $\alpha = 1.0$ と仮定すれば、

$$KV = LtSV + 0.359 RtSV - 33.49 \quad \dots\dots(7)$$

この式の関係を検定するため、上述の VSD 14 例の測定値を用いて (7) 式の右辺に代入した値 (y) と、KV 値 (x) との関係を検討した。Fig. 5 に示すように、両者間の相関係数は 0.93 で、散布図は $y=x$ よりやや下方に分布するも、両者の関係は $y=x$ に非常に近いものと推定される。以

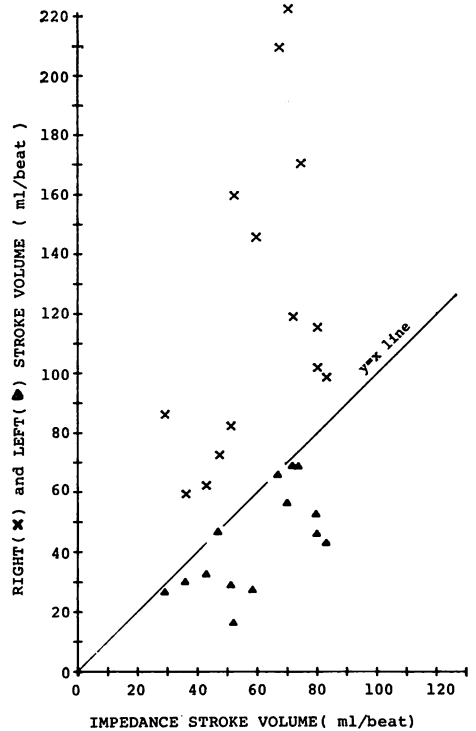


Fig. 3. Relations of impedance stroke volume to right and left ventricular stroke volumes determined by RCG in atrial septal defect.

Right and left ventricular stroke volumes (RtSV and LtSV) are computed by RCG analog simulation method and compared to Kubicek's values (KV) in 14 cases with atrial septal defect. Correlation coefficients of KV to RtSV and LtSV are 0.46 and 0.65, respectively. KV's are always larger than LtSV and smaller than RtSV as seen in this figure.

上、 α と β の係数のとり方に問題があり、また検定の症例数が少ないけれども、KV に対する右心拍出量の関与を示唆する成績と考えられる。ASD 症例については、KV と RtSV, LtSV との相関が低いことから、この検討に値しないと考えた。

3. 急性心筋梗塞症例における熱希釈法との対比成績

梗塞症の 35 症例について、計 98 回の IMP 法と熱希釈法による一回拍出量の対比を行った。

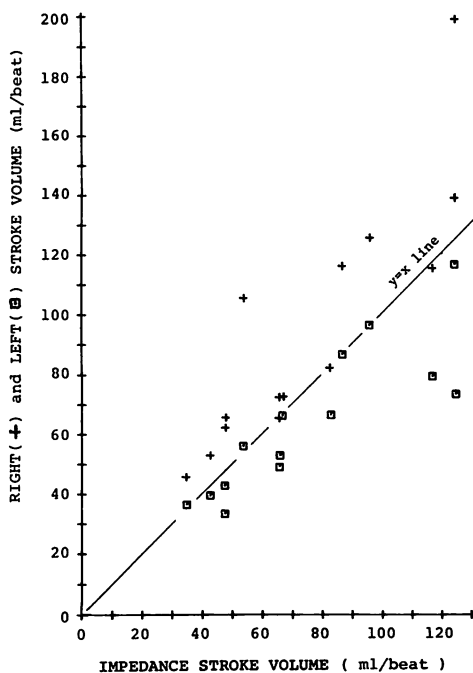


Fig. 4. Relations of impedance stroke volume to right and left ventricular stroke volumes in ventricular septal defect.

Right and left ventricular stroke volumes (RtSV and LtSV) computed by RCG and Kubicek's values (KV) in 14 cases with ventricular septal defect are compared. Correlation coefficients of KV to RtSV and LtSV are 0.88 and 0.87, respectively. As seen in the figure, KV is larger than LtSV and smaller than RtSV. Functional relations of KV to RtSV and LtSV are estimated as $RtSV = 1.32KV - 4.9$ and $LtSV = 0.73KV + 9.1$, respectively.

IMP法のSVは、まず(1)図式でKV値を求め、(2)式により補正した。SVについての散布図をFig. 6に示す。ばらつきがかなり大きく、±25%の外にあるものが約30%で、IMP法で小さく測定されるものが多かった。SVと心拍数の積、すなわち分時拍出量の対比はFig. 7に示すように、ばらつきがきわめて大であった。

考案

IMP法による心拍出量算出の妥当性を検定す

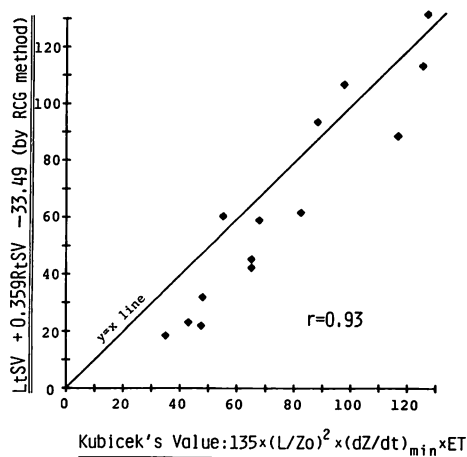


Fig. 5. Relation of Kubicek's values observed to those hypothetically predicted.

In the functional relation $KV = 1.359SV - 33.49$ as shown in Fig. 2, the right and left ventricular stroke volumes are supposed to be the same ($SV = RtSV = LtSV$). Supposing that KV is totally related to LtSV and also partially to RtSV, a hypothetical equation may be introduced: $KV = LtSV + 0.359RtSV - 33.49$. Using RtSV and LtSV values obtained in 14 cases with VSD as shown in Fig. 4, the values of the equation above (predicted KV) are plotted against the actually observed KV. Here is shown a significantly high correlation coefficient ($r = 0.93$), and the scattergram is nearly around the $y = x$ line. The finding would support the hypothesis shown above.

る目的で行ったRCG法との比較検討で、KVとSVとの間の相関係数0.90が、有意な短絡疾患、弁膜症、心室内伝導障害を有しない洞調律の71症例で得られた。短絡や弁膜症などを有する58症例については、0.66にすぎなかった。これらの例では、短絡または弁口逆流があるか、dZ/dt収縮期波形の変形または歪みが認められた。すなわち、心内異常血流またはdZ/dt波の変形が、KV-SV相関を低下せしめると推定される。

心内短絡に関して、LababidiらはVSD 14例、ASD 5例を含む左右短絡を有する21症例について、Fick法で求めた体および肺血流量とIMP法で求めた心拍出量(L/min/m²)値との相関をみ

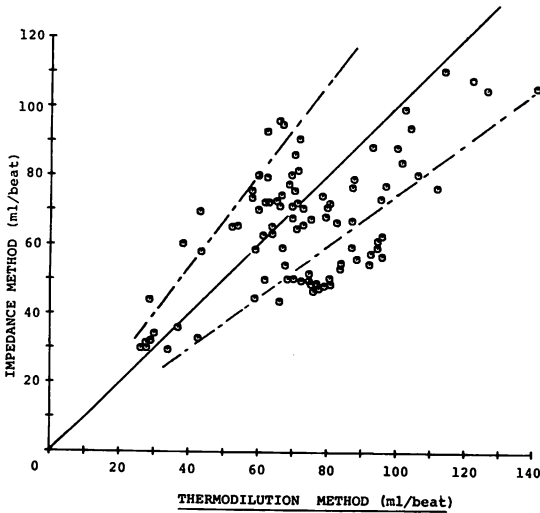


Fig. 6. Comparison of stroke volume values by impedance method and by thermodilution method.

In 35 patients with acute myocardial infarction, 98 times of cardiac output determination are made by thermodilution method under Swan-Ganz catheterization simultaneously with impedance cardiography. The stroke volume values so obtained by the two methods are compared. The ratios of these values are out of $\pm 25\%$ range in 29 of the total 98 pairs of determinations. The greater deviation of the ratios from the equal line is considered mainly due to the more significant distortion of the first derivative impedance waveform in systole.

て, それぞれ 0.21 および 0.96 の相関係数を報告している¹⁹⁾. すなわち右心拍出量との関連が高いという成績と解することができる.

本研究においては ASD 例ではあまり良い相関は得られなかったが, VSD の 14 例では KV は RtSV と LtSV の両者に有意な相関が認められた. ASD と VSD のこの成績の相違は, Fig. 8 に示すように, VSD では dZ/dt 収縮期波形に歪みを生じないが, ASD では一般に dZ/dt 収縮期の頂上の分裂, 下降部の遅延が認められる²⁰⁾ ことによると考えられる. 後者のような変形は右脚ブロック例にしばしばみられるものである¹⁵⁾. ここで仮説として dZ/dt 収縮期波形が LtSV と

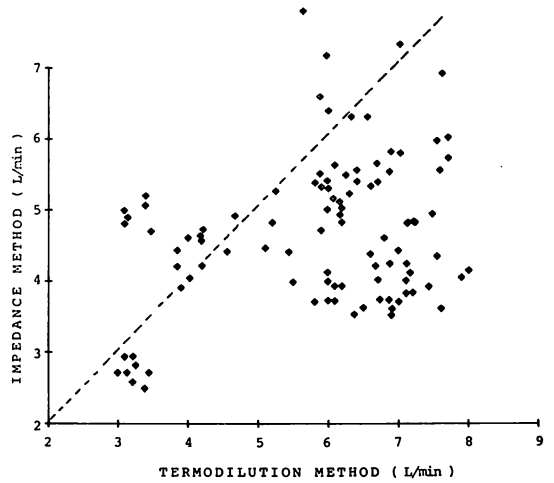


Fig. 7. Comparison of cardiac output values by impedance method and by thermodilution method.

The scattergram is for comparison of cardiac output values in L/min instead of SV as shown in Fig. 6. More than 30% of the plots are greatly deviated from the equal line. It is concluded from this comparison study that impedance cardiography is inappropriate in determining cardiac output if the first derivative impedance waveform shows any distortion in its systolic phase.

RtSV の両者を起源としており, ASD では右室収縮の延長遅延のためその分裂を生じ, VSD ではシャントによる RtSV の増加分だけ dZ/dt 収縮期波高が増大するものであると推論した. すなわちこれが前述 (5) 式の背景である. 伊藤らの右心・左心分離灌流実験における IMP 法と電磁流量計による拍出量の%変化を検討した成績によれば²¹⁾, 肺動脈遮断時の大動脈血流と IMP 法による拍出量の変化は, 1対1で対応しているのに比べ, 大動脈遮断時の肺動脈血流と IMP 法の拍出量の変化は, 1:0.30 くらいで対応しているようである. この実験成績より推論すれば, $KV = LtSV + 0.30RtSV$ (ただし%変化) となる. 先の 71 症例で得た KV-SV 関係を同様に変形したものが (7)式となる. すなわち KV は LtSV の全部と, RtSV の一部 (0.359) とを反映しているとする仮

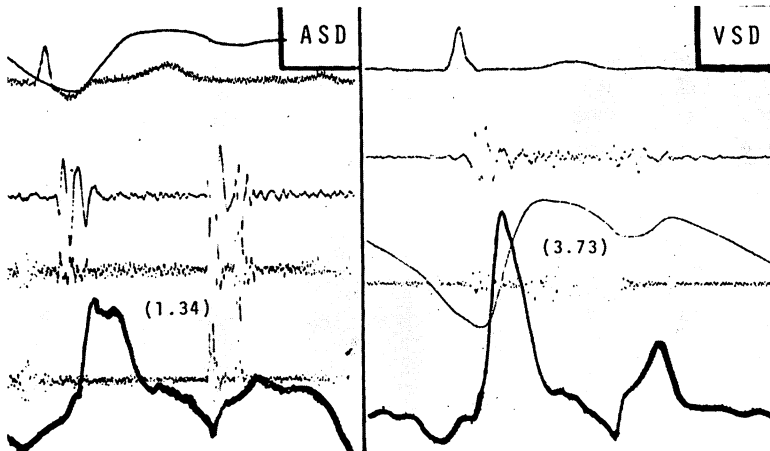


Fig. 8. First derivative impedance waveforms of patients with atrial and with ventricular septal defects.

The first derivative waveforms shown here are traced manually for better recognition. In ASD the waveform shows notch or step on its top and a slowing of its descending limb in systole while in VSD it is essentially the same in its shape as in normal controls. The distortion as seen in the former is usually observed in cases with right bundle branch block. The distortion as shown here is considered to be due to delay in contraction of, and increase in stroke volume, of the right ventricle.

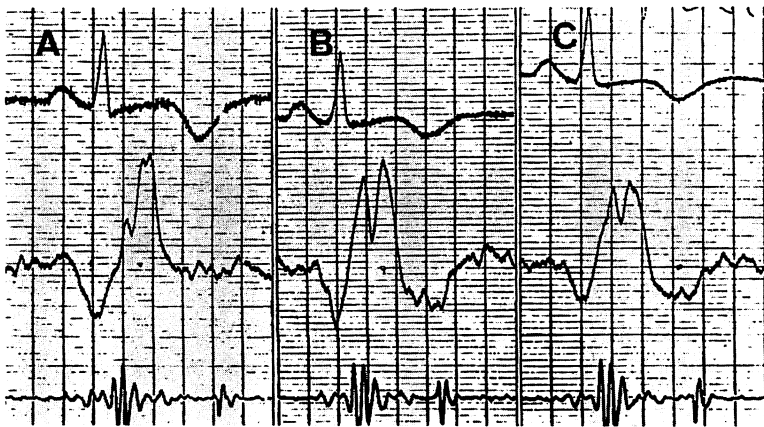


Fig. 9. Distortion of impedance waveform seen in a case with acute myocardial infarction.

A 62 years old female with acute myocardial infarction reveals a distorted impedance waveform transiently after sublingual isosorbide dinitrate (ISD). Panel A (left) shows a control waveform, which has a minimal distortion on its peak systole. Fifteen minutes after sublingual isosorbide dinitrate (ISD) the systolic wave is disunited on its top as shown in panel B (middle). The distortion persists for 30 minutes as in panel C (right), and one hour later it is restored to the control pattern. Impedance cardiac output calculated at the time of A, B and C are 2.45, 2.25 and 2.22 L/min, respectively, and the corresponding values computed by thermodilution technique are 5.53, 4.70 and 5.39 L/min, respectively.

説である。VSD の 14 症例でこの(7)式の両辺が一致するという成績は得られなかったが、VSD においては RCG 法で求めた RtSV, LtSV のほかに欠損部を通じての左室から右室への血流の存在を考慮に入ると、Fig. 5 の成績はかなり $y=x$ の近似と考えられる。IMP 法における検出電極の間には左心大動脈系のみならず、右心肺動脈系があり、したがって dZ/dt 波形には後者に起源する血流動態の変化も反映されると考えるのはむしろ当然であろう。

以上は、RtSV と LtSV の差違に基づく KV 値の問題点について述べたが、心室収縮様式の変化によっても、 dZ/dt 収縮期波の変形をきたし、KV-SV 関係を変化させると考えられる。本研究で示した急性心筋梗塞例を対象とした IMP 法と熱希釈法で得た対比検討では、SV に関してそのばらつきは大きく (Fig. 6)、これと心拍数の積として求めた分時拍出量のばらつきはさらに著明となって (Fig. 7)、IMP 法が心拍出量測定法として意味をなさないという結果を得た。これは、波形の歪みを考慮に入れていないことが主な原因 dZ/dt である。この dZ/dt 波形の変形は、脚ブロックのさいに特徴的な形がみられるようであるが、その変形の理由の明らかでない場合も少なくない。Fig. 8 にその 1 例を示す。これは急性心筋梗塞例からのものであるが、(A) の対照時には収縮期波の頂上にわずかな変形を呈すのみであったが、ニトロール舌下投与 15 分後には (B) に示すように大きな 2 峯性の波形に変化し、30 分後にもなお (C) に示すような変形を残し、1 時間後には再び対照時の形に復した。この A, B および C の波形から求めた IMP 法による心拍出量計算値は、2.45, 2.25 および 2.22 L/min で、対応する熱希釈法による値それぞれ 5.53, 4.70 および 5.39 L/min の 50% 以下であり、また変化の方向も必ずしも対応していなかった。

SV-KV 関係を変化させる最も大きな因子の 1 つとして、大動脈血流波形が重要であることを、山越らはモデル実験 および 動物実験で示してい

る²²⁾。すなわち、その立ち上がり時間と立ち下がり時間に、SV-KV 関係は依存しているので、これらの変化がある限られた範囲内であれば KV より SV の変化を相対的に判断しようとしている。ここでもやはり、 dZ/dt 波形のいかに重要であることが示されている。

結 論

1) dZ/dt 収縮期波形に歪みがなく、心内短絡、弁膜症を有しない洞調律の 71 症例において、IMP 法による心拍出量計算値 KV と、RCG 法による SV の対比検討により、両者間に良い相関 ($r=0.90$) が得られ、その機能的関係式として、 $KV=1.359 SV-33.49$ を推定した。

2) KV には左心拍出量 LtSV のみならず、右心拍出量 RtSV も関与していると考えられることから、 $KV=\alpha LtSV+\beta RtSV+\gamma$ なる機能的関係が成立しうることを示唆する成績を得た。

3) dZ/dt 収縮期波形のいかに考慮せずに行った、急性心筋梗塞例における IMP 法と熱希釈法による分時拍出量に関する対比検討では、IMP 法による拍出量算出に妥当性がないことが示された。すなわち、 dZ/dt 波形変形の存在する場合には、IMP 法による心拍出量測定は不可能であると結論した。

要 約

インピーダンス・カルジオグラフィーによる心拍出量の測定法があり、Kubicsek らにより提唱された式の値 (Kubicsek's value, KV) が一回拍出量 (SV) と等しいとして算出される。しかしながらこの方法の妥当性に関しては議論の多いところである。すなわちその理論的背景はなお実証的ではなく、未確立のままであり、さらに胸部インピーダンス変化の起源そのものも明確には同定されていないからである。本研究では RCG 法および熱希釈法を用いて行った KV と SV の比較検討成績を基にして、右心拍出量、およびインピーダンス微分波形 (dZ/dt) の変形が KV 算出値に及ぼ

す効果について検討した。

有意な心内短絡、弁障害または伝導障害を有しない洞調律の 71 症例から得られた 71 対の KV および SV 値の推計学的分析により、SV と KV の間の機能的関係を推定した。すなわち $SV = 0.736KV + 24.65$ または $KV = 1.359SV - 33.49$ である。ただし KV および SV の測定誤差は等しいと仮定した。ここで、KV 値は左室拍出量 (LtSV) の影響を受けるだけでなく、その程度はさほど強くはなくとも右室拍出量 (RtSV) の影響も受けると仮定すると、 $KV = LtSV + 0.359 \times RtSV - 33.49$ の関係式も考えられる。14 例の VSD 症例について RCG 法により LtSV および RtSV を求め、これを上記の式に代入計算し、この計算値と実測値とを比較した。両者の相関係数は 0.93 で、散布図はほぼ $y = x$ の線上近くにあった。この所見は KV 値は LtSV と RtSV の一部を反映しているという仮説を支持するものであろう。

急性心筋梗塞の 35 症例に、インピーダンス・カルジオグラフィとスワン・ガンツの熱希釈法の同時検査を行い、98 回の心拍出量測定を行った。そのうちの 1/3 においては 2 つの検査法で得た一回拍出量の比は、 $\pm 25\%$ の範囲外にあった。この偏位は、 dZ/dt 収縮期波形の歪みによるものと考えられた。以上より収縮期インピーダンス波形に変形が認められる場合は、インピーダンス・カルジオグラフィによる心拍出量の測定は無効であると結論される。

文 献

- 1) Kubicek WG, Karnegis JM, Patterson RP, Witsoe DA, Mattson RH: Development and evaluation of an impedance cardiac output system. *Aerospace Med* **37**: 1208, 1966
- 2) Kubicek WG, Witsoe DA, Patterson RP, Mosharafa MA, Karnegis JN, From AHL: Development and evaluation of an impedance cardiographic system to measure cardiac output and development of an oxygen consumption rate computing system utilizing a quadrupole mass spectrometer. Contract No. NAS 9-4500 (NASA Spacecraft Center Houston Texas), 1967
- 3) Kubicek WG, Kottke FJ, Ramos MU, Patterson RP, Witsoe DA, Labree JW, Remole W, Layman TE, Schoening H, Garamella JT: The Minnesota impedance cardiograph—Theory and applications. *Biomed Engl* **9**: 410, 1974
- 4) Judy WV, Langley FM, McCowen KD, Stinnett DM, Baker LE, Johnson PC: Comparative evaluation of the thoracic impedance and isotope dilution methods for measuring cardiac output. *Aerospace Med* **40**: 532, 1969
- 5) Smith JJ, Bush JE, Wiedmeier VT, Tristani FE: Application of impedance cardiography to study of postural stress. *J Appl Physiol* **29**: 133, 1970
- 6) Baker LE, Judy WV, Geddes LE, Langely FM, Hill DW: The measurement of cardiac output by means of electrical impedance. *Cardiovasc Res Cent Bull* **9**: 135, 1971
- 7) Naggar CZ, Dobnik DB, Flessas AP, Kripke BJ, Ryan TJ: Accuracy of the stroke index as determined by the transthoracic electrical impedance method. *Anesthesiology* **42**: 201, 1975
- 8) 松森正之: Impedance Cardiograph による開心術後の血行動態に関する研究. *日本胸部外科学会雑誌* **24**: 19, 1976
- 9) Denniston JC, Maher JT, Reeves JT, Cruz JC, Cymerman A, Grover RF: Measurement of cardiac output by electrical impedance at rest and during exercise. *J Appl Physiol* **40**: 91, 1976
- 10) 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: 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. *J Cardiography* **6**: 111, 1976
- 11) 酒井 章, 岩坂寿二, 津田信幸, 塩田登志也, 斎藤宗靖, 本原征一郎, 平川顕名, 河合忠一: Impedance cardiography による心拍出量算出法の評価. *医用電子と生体工学* **15**: 139, 1977
- 12) Sakai A, Iwasaka T, Tsuda N, Shiota T, Saito M, Mctohara S, Hirakawa A, Kawai C: Reevaluation of the significance of stroke volume determination by impedance cardiography. Advances in bioelectrical impedance measurements (Technic-Laboratory-Clinic). *Comptes Rendus du 2^e Congrès International d'Impedance Bioélectrique*, Lyon, 1976, p 16-19 Juin
- 13) 高田和夫, 中山広一, 中野佐上, 藤浪隆夫: Impedance Cardiography の臨床的有用性について. *脈波* **7**: 119, 1977
- 14) 吉良枝郎: Impedance 法による心拍出量の測定.

酒井, 岩坂, 斧山

- 現状— 呼吸と循環 **23**: 1085, 1975
- 15) 酒井 章: インピーダンス・カルジオグラフィー. 臨床科学 **12**: 690, 1976
- 16) Kendall MG, Stuart A: The advanced theory of statistics, Vol. 2, Griffin p 375,
- 17) 酒井 章: インピーダンス・カルジオグラフィー臨床的適用とその問題点— 最新医学 **32**: 36, 1977
- 18) Saito M, Motohara S, Hirakawa A, Ogino K, Takayasu M, Kuwahara M: Determination of intracardiac shunts in patients with congenital heart disease by means of analog simulation radiocardiogram. Jpn Circulat J **37**: 1, 1973
- 19) Lababidi Z, Ehmke DA, Durnin RE, Leaverton PE, Lauer RM: Evaluation of impedance cardiac output in children. Pediatrics **47**: 870, 1971
- 20) 酒井 章, 栗本 透, 岩坂寿二, 田中貞光, 芹田正毅, 塩田登志也: Impedance cardiography の研究 (IV) インピーダンス波形 (dZ/dt) の意義にかんする考察(抄). 日内会誌 **64**: 925, 1975
- 21) 伊藤寛志, 山田明夫, 山越憲一, 三浦 茂, 富野哲夫, 栗沢貫治, 熊本三矢戒: 電気インピーダンス法による心拍出量の非観血的測定法. 第 II 報. 心拍動に伴う胸部インピーダンス波形の起源に関する研究. 東女医大誌 **43**: 531, 1973
- 22) 山越憲一, 伊藤寛志, 戸川達男: Impedance plethysmography による心拍出量測定法理論の検討. 医用電子と生体工学 **13**: 8, 1975