— 原 著 —

数量化理論による心係数および肺毛細管楔入圧の推定

河住 茂

日本医科大学第1内科学教室 (主任: 奥村英正教授)
指導: 長沢絃一助教授)

Estimation of cardiac index and pulmonary capillary wedge pressure using the theory of quantification

Shigeru Kawasumi

The First Department of Internal Medicine, Nippon Medical School

An attempt was made to estimate noninvasively cardiac index (CI) and pulmonary capillary wedge pressure (PCWP) in patients with acute myocardial infarction (AMI) using the theory of quantification, a kind of multivariate analysis. Eighty seven patients with AMI in whom hemodynamic measurements had been made were studied. Thirteen parameters (age, sex, height, body weight, systolic, diastolic and mean BP, rales, S_3 or S_4 , pretibial edema, urine protein, leukocyte count, S-LDH) were selected for the estimation of CI. Six parameters (HR, rales, pretibial edema, S-GOT, S-LDH, ESR) were chosen for the estimation of PCWP. The estimated CI was significantly correlated with the data obtained by thermodilution with a correlation coefficient of 0.749 ($p < 0.01$). The estimated PCWP was also significantly correlated with the data obtained by Swan-Ganz catheter with a correlation coefficient of 0.762 ($p < 0.01$). Among 13 parameters, age, sex, rales, pretibial edema and S-LDH contributed greatly to the estimation of CI. Rales and S-GOT influenced largely for the estimation of PCWP.

When the formulae were applied for subsequent 50 patients with AMI (external samples), the correlation coefficient between estimated and measured CI was 0.453 ($p < 0.01$). The correlation coefficient between estimated and measured PCWP was 0.640 ($p < 0.01$). The difference exceeding 1 l/min/M² between estimated and measured CI was observed in 8 cases and the difference exceeding 10 mmHg between estimated and measured PCWP was observed in 6 cases. Deviations of estimated values from actual measurements appeared to occur under the following situations: complete A-V block, immediately after ventricular fibrillation, exceeding 72 h after the attack.

The results indicate that the formulae are useful clinically to estimate CI and PCWP in patients with AMI.

Key words: cardiac index, pulmonary capillary wedge pressure acute myocardial infarction, theory of quantification

緒 言

急性心筋梗塞の主な死因は、重症不整脈、ポンプ失調 (心不全、心原性ショック)、および心破裂 (心室自由壁破裂、心室中隔穿孔、乳頭筋断裂) などである。近年、救急医療体制が発展し、coronary care unit (以下 CCU と略す) における患者監視システムの充実と

治療法の進歩により不整脈死は著しく減少した。しかし、ポンプ失調による死亡は相変わらず多く、肺水腫をきたした重症心不全の 36~38%^{1,2)}、心原性ショックの 80% 以上¹⁻³⁾は死亡しているのが現状である。

急性心筋梗塞に伴うこれらの合併症、特にポンプ失調は心筋壊死・虚血が広範囲に及び、残存心筋の著しい減少をきたした結果、心収縮力の低下、もしくは心筋収縮異常を生じ、十分な心拍出量を維持できなくなった状態をいう訳で、ポンプ失調を心力学変化の面からとらえると、左室拡張終期圧、左房圧、肺毛細管楔

Present address: The First Department of Internal Medicine, Nippon Medical School, 1-1-5, Sendagi, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan

入圧の上昇, 心拍出量の減少である。

急性心筋梗塞の重症度を表す指標として, 現在広く用いられているものの一つに Forrester ら^{4,5)} の hemodynamic subset がある。これは急性心筋梗塞にみられる血行力学的異常を, 心係数低下, 肺毛細管楔入圧上昇の有無によって四つの subset に分類したものであり, それぞれの subset に対応した治療法が発表され, 現在, 日常臨床に利用されている。

このような大切なパラメーターである心拍出量の測定や肺毛細管楔入圧の測定には, 一般的に観血的手技が必要であり, 非観血的方法でこれらを推定できるならば, 日常臨床においても極めて有用と考えられる。その意味で, 著者はベッドサイドで簡単に得られる情報, すなわち身体所見およびルーチンの検査成績を用い, 数量化理論により心係数および肺毛細管楔入圧を推定する式の作成を試み, その有用性について検討した。

研究対象および方法

(1) 対象症例

昭和 53 年 11 月～55 年 11 月までに, 日本医科大学付属病院集中治療室に収容された直後に, Swan-Ganz カテーテルにより心拍出量および肺毛細管楔入圧の測定が行われた急性心筋梗塞患者 87 例を対象とした。年齢は 39～85 歳, 平均 63.6±11.3 歳, 男 63 例, 女 24 例である。

(2) Swan-Ganz カテーテルによる心拍出量および肺毛細管楔入圧の測定

心拍出量の測定は, Swan-Ganz サーマダイリュション・カテーテル Model 93 A-131-7 F を用い, 熱希釈法により行った。カテーテルを肺動脈まで挿入し, 0～5°C に冷却した 5% ブドウ糖液 10 ml を右房内に急速に注入し, Edwards Model 9520 A cardiac output computer により心拍出量を求めた。心拍出量の測定は 1 分以内に 2 回連続して行い, その平均値を算出し, 両者の間に大きな差のみられた場合には 3 回の測定を行い, その平均値を用いることとした。

なお, 心拍出量は年齢, 性, 体格などにより値が異なるため, 下記の式から心係数を算出した。

$$\text{心係数 (l/min/M}^2\text{)} = \frac{\text{心拍出量 (l/min)}}{\text{体表面積 (M}^2\text{)}}$$

肺毛細管楔入圧の測定は, 前述のカテーテルを肺動脈まで挿入し, カテーテル先端のバルーンを 1.5 ml の空気で膨らませた後, Hewlett Packard 社製 Mod-

el 1290 A トランスデューサを用い, 同社製 7402 A レコーダーにて記録した。

(3) 急性心筋梗塞患者から得られる情報の選択

心拍出量および肺毛細管楔入圧は, 左心機能を表す指標であり, 心拍数, 収縮期血圧, 拡張期血圧, 平均血圧, ラ音, III 音または IV 音, 浮腫, 肝腫などの身体所見は, これを反映すると思われる。さらに, 尿蛋白量, 尿量, 動脈血 O₂ 分圧などの臨床検査成績も同様である。そのほか, 心筋壊死の徴候として, GOT, LDH, CPK の心筋逸脱酵素と白血球数, 赤沈値を選び出し, 年齢, 性, 身長, 体重を加え Table 1 に示す計 20 項目につき検討を加えた。

(4) 数量化理論

本理論は, 林^{6,7)} により開発された多変量解析の一つの方法であるが, 共同研究者長沢⁸⁾, 蟹江⁹⁾ らがしばしば紹介記述しているのでここではごく簡単に述べる。

ある事柄とある測定値が線型の関係にない場合には, それに従来の統計理論を応用しても有効な結果が得られるとは限らない。そのような際には, その測定値をいくつかに区切り, この区分された測定値のそれぞれに対し, 心係数推定, 肺毛細管楔入圧推定という目的に最もかなうような数値を見出し, これらの数値を用いて計算を行うものである。

具体的にいうと, i なる症例において $a_1, a_2, \dots$ の各項目 (item) の測定値が得られたとする。この各項目の測定値をいくつかの category にしかるべく区分する。これにより症例 i の測定値は, それぞれの item においていずれかの category に属することになる。このそれぞれの item-category に, 目的に最もかなうような数値を選んで与えるのが, 数量化理論の方式である。この categorization のやり方にはいろいろあるが後節で述べることにする。

心係数の推定および肺毛細管楔入圧の推定を行う際に, 各 item の各 category に与えるべき数量の計算方法を以下に述べる。

各 item, category に与えるべき数量を x_{jk} とすれば, 心係数 (あるいは肺毛細管楔入圧) 推定値 α_i は,

$$\alpha_i = \sum_j \sum_k \delta_i(jk) x_{jk} \dots \dots \dots (1)$$

により表される。

選り出された各項目から, 心係数 (あるいは肺毛細管楔入圧) 実測値 A_i を最も能率よく推定するには, α_i と A_i の相関係数 ρ

$$\rho = \frac{\frac{1}{n} \sum_i (A_i - \bar{A})(\alpha_i - \bar{\alpha})}{\sigma_A \sigma_\alpha} \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{n} \sum_i (A_i - \bar{A})^2 \quad \sigma_\alpha^2 = \frac{1}{n} \sum_i (\alpha_i - \bar{\alpha})^2$$

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_i A_i \quad \bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_i \alpha_i$$

が、最大になるような x を求めればよい。 ρ を最大にするには、 $\frac{\partial \rho}{\partial x_{uv}} = 0$ であり、かつ $\bar{A} = \bar{\alpha}$ とすべきであると考えれば、解くべき式は、

$$\sum_i A_i \delta_i(uv) = x_{uv} n_{uv} + \sum' \sum' x_{jk} f(uv, jk) \dots\dots\dots (3)$$

$$u=1, 2, \dots, R \quad v=1, 2, \dots, R$$

となる。これを解けば、 ρ を最大ならしめる x_{jk} が得られる。

成 績

1. Swan-Ganz カテーテルによる心係数および肺毛細管楔入圧実測値

対象とした急性心筋梗塞患者 87 例の心係数は 1.22~4.88 l/min/M²、肺毛細管楔入圧は 3~52 mmHg にわたり、平均はそれぞれ 2.55±0.70 l/min/M² と 18.3±9.0 mmHg であった。

これを Forrester の subset に分けて示すと、Fig. 1 のごとくであり、Forrester H-I 41 例、H-II 22 例、H-III 8 例、H-IV 16 例であった。

2. 推定式に用いる項目

まず Table 1 に示した 20 項目と心係数、肺毛細

Fig. 1 Distribution of 87 AMI patients on Forrester's hemodynamic subsets

Table 1 Parameters selected for estimation of cardiac index (CI) and pulmonary capillary wedge pressure (PCWP)

	CI	PCWP
1. Age	○	
2. Sex	○	
3. Body height	○	
4. Body weight	○	
5. Heart rate		○
6. Systolic blood pressure	○	
7. Diastolic blood pressure	○	
8. Mean blood pressure	○	
9. Rales	○	○
10. S ₂ or S ₄	○	
11. Edema	○	○
12. Hepatomegaly		
13. Urine protein	○	
14. Urine output (1 h)		
15. PaO ₂		
16. GOT		○
17. LDH	○	○
18. CPK		
19. Leukocyte count	○	
20. ESR (1 h)		○
	13 parameters	6 parameters

管楔入圧との相関を調べたところ Table 2 のごとくであった。心係数と年齢の間には $r = -0.326$ 、また肺毛細管楔入圧と心拍数の間には $r = 0.442$ という良い相関がみられた。良い相関がみられなかったものでも、心係数および肺毛細管楔入圧との関係を図示したところ、有効な情報が含まれていると考えられた項目がいくつかあり、これらを加えて心係数の推定には Table 1 に○印を示した 13 項目を、肺毛細管楔入圧には 6 項目を選び出した。

なお、動脈血 O₂ 分圧は、集中治療室収容時 O₂ 吸入を受けている症例が多く、また吸入 O₂ 量も一定しないため除外した。1 時間尿量もカテーテルを挿入していない症例では正確に測定できないので除外した。血清酵素活性値、白血球数、赤沈値はすべて集中治療室収容直後の値を用いることにした。CPK は心係数、肺毛細管楔入圧いずれの間にも関係を見出しえなかったため除外した。

そのほか、梗塞部位、梗塞発症から収容までの時間も当然、心係数や肺毛細管楔入圧に影響を与えると思われるが、本研究では考慮に入れなかった。

3. Categorization

Table 2 Correlation coefficients between items and hemodynamic parameters

	CI	PCWP
1. Age	-0.326*	0.021
2. Sex		
3. Body height	0.231*	-0.036
4. Body weight	0.232*	0.068
5. Heart rate	0.020	0.442*
6. Systolic blood pressure	0.208	-0.082
7. Diastolic blood pressure	0.149	0.070
8. Mean blood pressure	0.184	0.009
9. Rales		
10. S ₃ or S ₄		
11. Edema		
12. Hepatomegaly		
13. Urine protein		
14. Urine output (1 h)	0.193	-0.229
15. PaO ₂	0.002	-0.171
16. GOT	-0.150	0.126
17. LDH	-0.106	0.077
18. CPK	-0.004	-0.077
19. Leukocyte count	-0.174	0.288*
20. ESR (1 h)	-0.047	0.175

* p<0.05

Fig. 2 A method of categorization

BH : body height, BW : body weight, HR : heart rate, BP_s : systolic blood pressure, BP_d : diastolic blood pressure, BP_m : mean blood pressure, UP : urine protein, CI : cardiac index, PCWP : pulmonary capillary wedge pressure

数量化理論に従えば、まず各項目をしかるべき category に区分しなければならない。この categorization のやり方にはいろいろあるが、年齢、身長、体重、心拍数、収縮期血圧、拡張期血圧、平均血圧、GOT、LDH、白血球数、赤沈値については対象とした 87 例全例の平均値 m と標準偏差 σ を用いて Fig. 2 に示すごとく 3~4 区分した。また性別は男・女に 2 区分し、ラ音、Ⅲ音またはⅣ音、浮腫、尿蛋白はそれぞれ有・無の二つに区分した。ただし、肺毛細管楔入圧の推定にあたっては、ラ音の grading を行いこれを三つに区分した。

これにより心係数の推定に用いる 13 の項目は 42 の category に、肺毛細管楔入圧の推定に用いる 6 項目は 19 の category に区分された。

4. 心係数推定式

数量化理論により求められた心係数推定式は、

$$\alpha_i = \sum_j \sum_k \delta_i(jk) x_{jk}$$

で表される。すなわち、心係数推定値は x_{jk} の総和である。

これにより作成された式は、Table 3 に示すごとくであり、この表の下段に示した各項目につき、それぞれの測定値に相当した category を見出し、それに与えられる数量の総和を求めれば心係数推定値が得られる。

5. 肺毛細管楔入圧推定式

心係数推定式と同様にして得られた肺毛細管楔入圧推定式を Table 4 に示す。

6. 推定値と実測値の比較

Fig. 3 は対象とした 87 例につき、本式により計算された心係数推定値と熱希釈法により得られた実測値を比較したもので、両者の間には $r=0.749$ という有意の相関がみられた。

心係数と同様にして、肺毛細管楔入圧推定値と Swan-Ganz カテーテルにより得られた実測値の間にも Fig. 4 のごとく、 $r=0.762$ とやはり高い相関が認められた。

7. 各計測項目の心係数および肺毛細管楔入圧推定に寄与する程度

用いられた項目が心係数および肺毛細管楔入圧の推定にどの程度強く影響しているかにつき、各 item-

Table 3 Formula for estimating cardiac index

Parameters	Category	Measured value	Quantitative value for substitution	Parameters	Category	Measured value	Quantitative value for substitution
Age	(1)	—52	0.455	Mean blood pressure	(1)	—81	—0.342
	(2)	53—63	0.063		(2)	82—102	0.194
	(3)	64—74	—0.216		(3)	103—124	0.190
	(4)	75—	—0.086		(4)	125—	—0.436
Sex	(1)	Female	—0.179	Rales	(1)	(—)	0.110
	(2)	Male	0.068		(2)	(+)	—0.189
Body height(cm)	(1)	—151.3	0.036	S _a or S _i	(1)	(—)	0.009
	(2)	151.4—159.8	—0.190		(2)	(+)	—0.079
	(3)	159.9—168.3	0.184	Edema	(1)	(—)	0.033
	(4)	168.4—	—0.131		(2)	(+)	—0.329
Body weight(kg)	(1)	—48	0.010	Urine protein	(1)	(—)	0.138
	(2)	48.1—59.3	0.001		(2)	(+)	—0.117
	(3)	59.4—70.6	—0.105	Leukocyte count	(1)	—8441	0.006
	(4)	70.7—	0.237		(2)	8442—12866	—0.013
Systolic blood pressure	(1)	—104	0.219		(3)	12867—17292	—0.158
	(2)	105—135	—0.135		(4)	17293—	0.215
	(3)	136—166	0.148	LDH(IU)	(1)	—352	0.411
	(4)	167—	0.326		(2)	353—1253	—0.097
Diastolic blood pressure	(1)	—68	0.054		(3)	1254—2154	—0.030
	(2)	69—84	0.065		(4)	2155—	0.067
	(3)	85—103	—0.322				
	(4)	104—	0.375				

Estimated cardiac index=(Age)+(Sex)+(Body height)+(Body weight)+(Systolic blood pressure)
 +(Diastolic blood pressure)+(Mean blood pressure)+(Rales)+(S_a or S_i)+(Edema)
 +(Urine protein)+(Leukocyte count)+(LDH)+2.548

Fig. 3 Correlation between the estimated and the actual cardiac indices in 87 samples

Fig. 4 Correlation between the estimated and the actual pulmonary capillary wedge pressures in 87 samples

Fig. 5 Range of x_{jk} in each item-category on the estimation of cardiac index
BH : body height, BW : body weight, BP_s : systolic blood pressure, BP_d : diastolic blood pressure, BP_m : mean blood pressure, UP : urine protein

Fig. 6 Elevation of ρ when adding one item to other items, and the value of partial correlation (ρ') on the estimation of cardiac index
BH : body height, BW : body weight, BP_s : systolic blood pressure, BP_d : diastolic blood pressure, BP_m : mean blood pressure, UP : urine protein

Fig. 7 Range of x_{jk} in each item-category on the estimation of pulmonary capillary wedge pressure
HR : heart rate

Fig. 8 Elevation of ρ when adding one item to other items, and the value of partial correlation (ρ') on the estimation of pulmonary capillary wedge pressure
HR : heart rate

Table 4 Formula for estimating pulmonary capillary wedge pressure

Parameters	Category	Measured value	Quantitative value for substitution
Heart rate (/min)	(1)	-62	-5.64
	(2)	63-84	-0.01
	(3)	85-107	3.27
	(4)	108-	0.23
Rales	(1)	(-)	-2.23
	(2)	(+)	0.76
	(3)	(++)	9.46
Edema	(1)	(-)	-0.54
	(2)	(+)	5.32
GOT (IU)	(1)	-110	-2.70
	(2)	111-365	0.86
	(3)	366-	3.22
LDH (IU)	(1)	-352	0.37
	(2)	353-1253	-0.99
	(3)	1254-2154	1.72
	(4)	2155-	0.12
ESR (1 h)	(1)	-19	0.66
	(2)	20-39	-3.68
	(3)	40-	2.17

$$\text{Estimated PCWP} = (\text{Heart rate}) + (\text{Rales}) + (\text{Edema}) + (\text{GOT}) + (\text{LDH}) + (\text{ESR}) + 18.32$$

category に与える数量 x_{jk} の range の比較, 各項目を積み重ねていった時の ρ の大きさの変化の比較, および要因群偏相関係数を用いて検討した.

(1) 心係数

各 item-category に与えられる数量 x_{jk} の range を Fig. 5 に示す. この range の大きいものほど心係数の推定に大きく寄与していると判断される. Fig. 5 にみられるごとく, 年齢, 性, ラ音, 浮腫, LDH などの項目が心係数に大きな影響を与えることが知られた.

次に項目の追加に伴う ρ の変化を調べた. Fig. 6 の上段に示した折線において, 上昇度の大なる項目ほど, 心係数の推定に大きく寄与しているとみなされる. 年齢のみで ρ は 0.4 以上の高い値を示し, さらに性, 身長, ラ音, 浮腫, LDH などの項目を追加した際にも ρ が大きく増加しており, これらの項目の影響力が大きいことが示された.

また Fig. 6 の下段は, 要因群偏相関係数 ρ' の大きさを示したもので,

$$\rho' = \sqrt{1 - \frac{1 - \rho_l^2}{1 - \rho_{l-1}^2}}$$

により与えられる.

ρ_{l-1} は $(l-1)$ 個の項目を用いての重相関係数, ρ_l はさらに新たな 1 項目を加えた時の重相関係数を表す. すなわちこの式は, 第 l 項を新たに加えた時, その項目がそれまでの $(l-1)$ 個の項目にない力 (心係数を左右する力) をどのくらい持っているかを示すものである. すなわち, Fig. 6 下段に示すごとく, 性の寄与度が大きく, 以下 LDH, ラ音, 浮腫の順であった.

(2) 肺毛細管楔入圧

心係数の場合と同様の方法で, 各項目の肺毛細管楔入圧の推定に寄与する程度を調べた. Fig. 7 に示すごとく, x_{jk} の range の比較ではラ音, 浮腫, GOT などの項目が大きな range を示した.

項目を積み重ねていったときの ρ の変化は, Fig. 8 の上段のごとくであり, ラ音と GOT の 2 項目は特に大きな寄与を示した.

また要因群偏相関係数 ρ' は, Fig. 8 の下段に示すごとく, ラ音と GOT の寄与が大きいであった.

8. External sample による本推定式の信頼性に関する成績

次に, 心係数および肺毛細管楔入圧に関する本推定式の有用性を確かめねばならない. この目的のために, 昭和 56 年 5 月~57 年 12 月までに日本医科大学付属病院集中治療室に収容された急性心筋梗塞患者 50 例につき, 本推定式により計算された推定値と Swan-Ganz カテーテルで測定された実測値の相関を調べた.

(1) 心係数

Fig. 9 Correlation between the estimated and the actual cardiac indices in 50 external samples

Fig. 10 Correlation between the estimated and the actual pulmonary capillary wedge pressures in 50 external samples

本推定式により得られた心係数推定値と実測値の間には、Fig. 9 のごとく $r=0.453$ で $p<0.01$ という有意の相関が得られた。

(2) 肺毛細管楔入圧

Fig. 10 は、本推定式により得られた肺毛細管楔入圧推定値と実測値の関係を示す。

両者の間にも、 $r=0.640$ と有意の相関が認められた ($p<0.01$)。

9. 項目を減らした心係数推定式の作成

前述の 13 項目では、実際の計算にあたりいささか面倒なので、項目を減らした心係数推定式をも作成した。

まず、体格を表す指標としては身長のみを用いることとし体重は除外した。収縮期血圧および拡張期血圧は、平均血圧で代用できると思われたので除外し、これらを除き 10 項目を用いる心係数推定式を作成したところ、推定値と実測値の間には $r=0.679$ と有意の相関が認められた。

さらに、この 10 項目からⅢ音またはⅣ音、浮腫、白血球数と順次除いていって、9、8、7 項目を用いる推定式を作成したが、推定値と実測値の相関はそれぞれ、 $r=0.678$ 、 $r=0.643$ 、 $r=0.633$ とやはり有意であった ($p<0.01$)。

したがって、項目をある程度減らした推定式でも日常臨床に役立つと考えられた。

考 察

1. 左心機能の評価と心拍出量の測定

急性心筋梗塞の左心機能を知るためには、従来の血圧、中心静脈圧測定のみでは不十分であり、Swan ら¹⁰⁾は 1 回拍出量と左室拡張終期圧を用いて、心筋梗塞の左心機能の評価している。

心拍出量の測定法としては、直接 Fick 法、色素希釈法、熱希釈法、インピーダンス法、超音波エコー法、RI 法、左室造影法などいろいろあるが、現在 CCU などでも広く用いられているのは Swan-Ganz カテーテルを利用した熱希釈法である。

熱希釈法とほかの方法により測定された心拍出量を比較した長沢¹¹⁾の成績によれば、Fick 法との間には $r=0.783$ 、左室造影法との間には $r=0.546$ と有意の相関がみられ、浜野¹²⁾も熱希釈法と色素希釈法とにより測定された心拍出量の間には、 $r=0.874$ という高い相関を認めている。そのほか、電磁流量計で得られた値との間にも高い相関がみられている¹³⁾。

熱希釈法による心拍出量測定は再現性が高く、頻回測定が可能で、かつ低拍出量測定にも適していることなどから、本研究のための心拍出量測定は熱希釈法によった。

2. ポンプ失調の診断法

急性心筋梗塞の重症度を判定し、治療方針を決める上で、ポンプ失調の有無を知り、さらにその程度を定量的に評価することは、臨床に極めて重要である。

Killip らは、急性心筋梗塞の重症度を患者の身体所見に基づいて、Class I～Ⅳに分類した^{2,14)}。Class I は身体所見に異常を認めず、心不全がないもの、Class II はラ音ないしⅢ音を聴取し、心不全が存在するものの、Class III は明らかな肺水腫、Class IV は収縮期血圧 90 mmHg 以下、かつ四肢冷感、発汗、乏尿、チアノーゼなど末梢血管収縮所見を認め、心原性ショックと考えられるもので、この分類は臨床的にも有用であり、現在広く用いられている。

一方、Forrester らは Swan-Ganz カテーテルを用いた血行動態検査と臨床症状を対比し、急性心筋梗塞に伴うポンプ失調を、心係数 (2.2 l/min/M^2) と肺毛細管楔入圧 (18 mmHg) で四つの subset に分類し、それぞれの予後を検討し、さらに subset に対応した治療法を発表するなど^{4,5)}、心係数と肺毛細管楔入圧のポンプ失調における重要性を強調し、最近では

Killip 分類より信頼性が高いとして広く使われている。

前述のごとく、Swan-Ganz カテーテルによる血行動態モニターは、急性心筋梗塞の重症度を知る上に有用であるが、これを行うにはある程度の設備と、熟練したスタッフを要するため、その測定が不可能な場合もある。そこで、もしこのような観血的手技を用いずに、血行動態をある程度正確に推定することができれば、日常臨床において極めて有用と考えられる。その意味で、著者はベッドサイドで簡単に得られる身体所見、ルーチンの臨床検査成績から、心係数、肺毛細管楔入圧を簡単に推定する方法があるのではないかと考え、林の数量化理論を利用した。

3. 数量化理論による計量診断

著者が研究に使用した数量化理論は、予測や分類のための情報量が、数量ばかりでなく、質的なものやカテゴリー化したものとして得られている時、このようなデータを多元的に解析する方法である。

数量化理論には“外的基準”のある場合とない場合とある。著者の研究は、身体所見、臨床検査成績から、Swan-Ganz カテーテルにより得られた心係数および肺毛細管楔入圧を推定することになるので、“外的基準”があり、それが数量で与えられているものの数量化が行われる。この方法は、数量化理論第Ⅰ類と呼ばれ、相関係数が予測の効率となる数量化であり、回帰分析の拡張と考えられる。

“外的基準”が数量でなく定性的なものである場合（例えば病名など）は、相関比に基づく数量化が行われ、判別関数の拡張と考えられる。これは数量化理論第Ⅱ類と呼ばれる。これに対して、“外的基準”がない場合の数量化もあり、数量化理論第Ⅲ類、数量化理論第Ⅳ類と呼ばれ、それぞれ成分分析的方法、主座標分析法と呼ぶ。

本理論はすでに市場調査、選挙の予想、稲や化石の分類などいろいろの領域に利用され、それぞれ優れた成績を収めており、医学の分野においても、循環器疾患の予後の判定¹⁵⁾、心電図診断^{9,16,17)}、甲状腺機能検査の解析¹⁸⁾、X線心陰影の計量診断^{8,19)}、トロンベラストグラムの解析²⁰⁾、色素希釈曲線の解析^{21,22)}などに応用されそれぞれ好成績を得ている。

心係数および肺毛細管楔入圧の推定式の作成にあたって、著者が数量化理論を用いた理由は、使用項目の中にいくつかの質的データが入っていることと、数量

で得られたデータと心係数、肺毛細管楔入圧の間に線型な関係があるとは限らないためである。

著者の作成した推定式を用いることにより、心係数推定値と実測値の間には $r=0.749$ 、肺毛細管楔入圧推定値と実測値の間には $r=0.762$ と高い相関が認められ、推定式の作成に数量化理論第Ⅰ類を用いたことは適切であったと判断された。

4. 推定式に用いる項目の選択

本研究の目的は、左心機能を評価する上で最も基本的なパラメータである心係数と肺毛細管楔入圧を、簡単かつ客観的に推定することにある。その意味で、著者は CCU 収容から数時間以内にベッドサイドで得られる情報の中から、急性心筋梗塞の重症度・予後を表す指標、および梗塞サイズに影響を与えと思われるパラメータの中から **Table 1** に示す 20 項目を選び出した。

これら 20 項目と心係数、肺毛細管楔入圧との関係につき検討したところ、心係数の推定には年齢、性、身長、体重、収縮期血圧、拡張期血圧、平均血圧、ラ音、Ⅲ音またはⅣ音、浮腫、尿蛋白、白血球数、LDH の 13 項目が、肺毛細管楔入圧の推定には心拍数、ラ音、浮腫、GOT、LDH、赤沈値の 6 項目が意義ありと判断され、これらの項目を用いて推定式を作成することとした。

急性心筋梗塞の血清酵素学的診断として、最も広く行われる CPK は、心係数、肺毛細管楔入圧いずれとの間にも関係がみられなかったため推定式の作成に用いなかった。心筋梗塞急性期には、CPK は短時間に急激な変動を示し、1 回の測定値のみでは重症度を表す指標として不十分であるのは、むしろ当然であろう。さらに本研究によれば、CPK 最高値と心不全の重症度・予後との間にも関係はみられなかった。また、ΣMB-CK (MB 分画の CPK を用いた梗塞サイズの定量法) は有力な情報と思われるが、これを求めるには頻回の採血を必要とする点、非実用的であるため行わなかった。

尿量は正確に 1 時間量が測定されれば適当な指標になると考えられるが、実際の現場では尿路感染などの合併症を避けるため、カテーテルは必要な患者のみに挿入しており、挿入されていない症例も多く、測定に正確さを欠くこと、さらに利尿剤の早期投与の影響も無視できないため除外した。

動脈血 O_2 分圧は、測定時すでに酸素療法を受けて

いる症例が多く、その吸入量によっても測定値が大きく変動すると考えられるため除外した。

心拍数は心係数との間には相関がみられず、心係数推定式には用いないこととした。これは、心筋梗塞急性期にはポンプ失調、胸痛、低心拍出量の代償機転としての交感神経緊張のほか、洞結節の虚血性変化、発熱などの多くの二次的要因が加わるため、一定の傾向が得られなかったことによると思われる。

肺毛細管楔入圧の推定は、前述のごとき6項目で行い、推定値と実測値の間に $r=0.762$ という高い相関が得られた。

心係数の推定には13項目を用いたが、実際の計算にあたっては、項目が少ないほど臨床上使用するのに有利であるため、項目を減らし、10, 9, 8, 7項目を用いる推定式を作成してみたところ、推定値と実測値の相関はそれぞれ 0.679, 0.678, 0.643, 0.633 と有意であり、日常臨床で用いるにはこれらでも役立つと考えられた。

5. 心係数推定値が実測値から大きくかけはなれた症例の検討

本推定式の有用性を確かめる目的で、急性心筋梗塞50例の external sample における心係数および肺毛細管楔入圧推定値と実測値との関係を調べたところ、Fig. 9, 10のごとく、心係数については $r=0.453$ 、肺毛細管楔入圧については $r=0.640$ という有意の相関が得られた。

しかし、推定値と実測値の間に大きな開きがみられたものも若干あり、Table 5に示すごとく、心係数については 1 l/min/M^2 以上の差がみられたものは8例、全症例の16%であった。

推定値が実測値よりも 1 l/min/M^2 以上大であった5例につき、その理由を調べてみると、4例は下壁梗塞で、うち2例は第2回目発作であった。また4例中3例はII度以上の房室ブロックを合併し、全例血行動態測定後、右室ペーシングを行い心機能改善を認めた症例である。不整脈は推定式の項目に含まれていないが、心係数低下をもたらす要因と思われる。したがって、梗塞部位、不整脈などの項目も加えて推定式を作成すれば、より正確な推定値が得られることも考えられる。なお、下壁梗塞4例のうち2例は肝障害の既往があり治療中であった。

残りの1例は前壁中隔梗塞であったが、第7病日の入院のため、集中治療室収容時すでに白血球数は正常

Table 5 Cases showing a difference of more than 1 l/min/M^2 between the estimated and the actual cardiac indices

Cases with over-estimated cardiac index (n=5)		Cases with under-estimated cardiac index (n=3)	
Inferior infarction	4	Anteroseptal infarction	2
The second attack	2	Diabetes mellitus	2
II°~III°A-V block	3	Hypovolemia	1
Liver function disturbance	2	Volume overloading + Hyperdynamic state	1
Anteroseptal infarction 7 days after attack (Diuretics, precedingly)	1	Anterolateral infarction	1
		Diabetes mellitus	

化、LDHも低下し、しかも前医で利尿剤投与を受けており、ほかの症例と同一には論じられない。

次に、推定値が実測値よりも 1 l/min/M^2 以上小であった3例では、2例が前壁中隔梗塞、1例が前壁側壁梗塞であり、全例糖尿病の既往を有しその治療中に発症した症例であった。前壁中隔梗塞の1例は、高血圧性心疾患の既往があり、検査時 hypovolemia を呈していた。

ほかの前壁中隔梗塞1例は、血行動態検査12時間前に、約1,000 mlの補液が行われていた。この症例は集中治療室収容時、胸痛、不安が強く、頻脈（心拍数 $131/\text{min}$ ）の状態であり、胸痛消失後のデータを用いると、推定値との差は 0.37 l/min/M^2 と縮まった。一時的な hyperdynamic な状態が推定値と実測値の間に大きな差を生じた要因と考えられる。

6. 肺毛細管楔入圧推定値が実測値から大きくかけはなれた症例の検討

50例の external sample において、肺毛細管楔入圧推定値と実測値の間に10 mmHg以上の大きなひらきのみられたものは、Table 6に示すごとく6例、全症例の12%であった。

まず推定値が実測値よりも10 mmHg以上大であった4例につき検討した。梗塞部位は前壁側壁梗塞3例、前壁中隔梗塞1例であった。

前壁側壁梗塞の1例は、ラ音高度と記載されているためこれを用いたが、同時期に他医はラ音軽度と診断しており、いずれが正しいかはっきりしない。また、この症例では GOT 765 u/l 、LDH $1,675\text{ u/l}$ と著しい高値を示しているが、GPT、ALPなどの肝胆道系酵素の中等度上昇も伴っており、肝うっ血の存在が強く示唆された。ほかの前壁側壁梗塞患者は、1例が入院時 hypovolemia を呈しており、1例は検査2時間

Table 6 Cases showing a difference of more than 10 mmHg between the estimated and the actual pulmonary capillary wedge pressures

Cases with over-estimated pulmonary capillary wedge pressure (n=4)		Cases with under-estimated pulmonary capillary wedge pressure (n=2)	
Anterolateral infarction	3	Anterior infarction	1
Rales, markedly?	1	CRBBB	
+Congestive liver		3 days after attack	
Hypovolemia	1	Minor infarction	1
Ventricular fibrillation	1	3 days after attack	
Anteroseptal infarction	1		
Unknown cause			

前に心室細動を発生し、除細動を行った。心室細動および除細動術による血行動態の変化は当然考えられる。

前壁中隔梗塞の1例は、開きの生じた理由を明らかにできなかった。

次に、推定値が実測値よりも10 mmHg以上小であった2例は、ともに発症第3病日の入院であった。1例は完全右脚ブロックを合併し、1例は心電図上異常Q波が第Ⅲ誘導のみにみられ、血清酵素値の変化も小さい minor infarction と診断された症例であった。

心係数推定、肺毛細管楔入圧推定いずれの場合にしろ、推定値と実測値の間に大きな開きがみられた症例については、前述のごとくほとんどの症例においてその理由を明らかにできた。

結 論

Swan-Ganz カテーテルにより心係数および肺毛細管楔入圧の測定がなされた急性心筋梗塞 87 例を対象とし、病歴、身体所見、ルーチンの臨床検査成績を用い、数量化理論により、心係数と肺毛細管楔入圧を推定する式の作成を企て、さらに external sample 50 例において、その推定式の有用性を確かめた。

1) 病歴、集中治療室収容時の身体所見、臨床検査成績の中から、心血行動態の指標として有用と思われる20項目を選び出した。

2) 各項目の測定値と心係数、肺毛細管楔入圧との相関、および測定上の問題点を考慮し、心係数の推定には13項目を、肺毛細管楔入圧の推定には6項目を選び出し、これらを用いて数量化理論により推定式を作成した。

3) かくして得られた心係数推定値と熱希釈法による実測値の間には、 $r=0.749$ という高い相関が得られた。

4) 同様に、肺毛細管楔入圧推定式による推定値と Swan-Ganz カテーテルによる実測値は、0.762 という高い相関で一致した。

5) パラメータを減らし、10, 9, 8, 7項目を用いる心係数推定式をも作成したが、推定値と実測値の相関係数は、それぞれ 0.679, 0.678, 0.643, 0.633 と有意であった。

6) 各項目のそれぞれの推定に寄与する程度を数量化理論を用いて検討するに、心係数の場合は年齢、性、ラ音、浮腫、LDH、肺毛細管楔入圧の場合はラ音、GOT の寄与が大大であった。

7) 急性心筋梗塞 50 例の external sample を用い、本推定式による推定値と Swan-Ganz カテーテルによる実測値の関係を調べたところ、心係数については $r=0.453$ ($p<0.01$)、肺毛細管楔入圧については $r=0.640$ ($p<0.01$) という有意の相関係数が得られた。

8) 推定値と実測値の間に大きな開きがみられた症例が少数あったが、その大部分において、高度の不整脈、他疾患の合併など特殊な要因が見出され、開きの生じた理由が明らかにされた。

文 献

- 1) Pozen, M.W., Stechmiller, J.K., and Voigt, G.C.: Prognostic efficacy of early clinical categorization of myocardial infarction patients. *Circulation*, **56**, 816~819, 1977.
- 2) Killip, T., and Kimball, J.T.: Treatment of myocardial infarction in a coronary care unit. *Am. J. Cardiol.*, **20**, 457~464, 1967.
- 3) Hunt, D., Sloman, G., Christie, D., and Penington, C.: Changing patterns and mortality of acute myocardial infarction in a coronary care unit. *Br. Med. J.*, **I** (6060), 795~798, 1977.
- 4) Forrester, J.S., Diamond, G., Chatterjee, K., and Swan, H.J.C.: Medical therapy of acute myocardial infarction by application of hemodynamic subsets. *N. Engl. J. Med.*, **295**, 1356~1362, 1976.
- 5) Forrester, J.S., Diamond, G.A., and Swan, H.J.C.: Correlative classification of clinical and hemodynamic function after acute myocardial infarction. *Am. J. Cardiol.*, **39**, 137~145, 1977.
- 6) Hayashi, C.: On the prediction of phenomena from qualitative data and the quantification of qualitative data from the mathematico-statistical point of view. *Ann. Ins. Stat. Math.*, **3**, 69~98, 1952.
- 7) 駒澤勉: 数量化理論第I類. “数量化理論とデータ処理” (林知己夫監修), p. 10~48, 朝倉書店, 1982.
- 8) 長沢絃一: X線心陰影の計量診断, 数量化理論による心陰影の判別および心重量推定式の作成. 日内会誌, **59**, 419~431, 1970.

- 9) 蟹江孝之：統計学的方法による左室肥大心電図の診断ならびに心電図計測値よりの心重量推定。日内会誌, **59**, 406~418, 1970.
- 10) Swan, H.J.C., Forrester, J.S., Diamond, G., Chatterjee, K., and Parmley, W.W. : Hemodynamic spectrum of myocardial infarction and cardiogenic shock. *Circulation*, **45**, 1097~1110, 1972.
- 11) 長沢絃一：熱希釈法による心拍出量の測定。脈管学, **23**, 943~949, 1983.
- 12) 浜野昭彦：Monitor としての心拍出量測定。麻酔, **27**, 21~30, 1978.
- 13) Sanmarco, M.E., Philips, C.M., Marquez, L.A., Hall, C., and Davila, J.C. : Measurement of cardiac output by thermal dilution. *Am. J. Cardiol.*, **28**, 54~58, 1971.
- 14) Wolk, M.J., Scheidt, S., and Killip, T. : Heart failure complicating acute myocardial infarction. *Circulation*, **45**, 1125~1138, 1972.
- 15) 諸岡成徳, 開原成允：要因分析による臨床データの統計処理；心臓弁膜症の予後推定。医用電子と生体工学, **10**, 29~35, 1972.
- 16) 木村栄一, 川崎喜志朗, 早川弘一：電子計算機による心電図診断；とくに“数量化理論”による診断。内科, **20**, 54~64, 1967.
- 17) 川崎喜志朗：数量化理論による心電図の診断；ことに疾患の鑑別診断について。日医大誌, **41**, 111~127, 1974.
- 18) 関谷政雄：数量化理論による甲状腺機能諸値の分析；特に PBI, BMR 推定式の作成について。日内分泌会誌, **45**, 45~64, 1969.
- 19) 水野杏一：心X線陰影の計量診断。日医大誌, **46**, 329~341, 1979.
- 20) 田崎次男：トロンベラストグラムと凝血因子の関係についての研究。日医大誌, **39**, 203~216, 1972.
- 21) 須賀洋：色素希釈曲線の自動計測・判別についての研究。Jpn. Circ. J., **36**, 1137~1153, 1972.
- 22) 川越栄：末梢静注色素希釈曲線による短絡性先天性心疾患の非侵襲的計量的判別診断。日医大誌, **49**, 403~420, 1982.

(受付：1984 年1月10日)