

## 運動負荷時の心プールスキ ャンと肺動脈圧測定による 左心機能の検討

## Assessment of left ven- tricular function at rest and during exercise by gated cardiac blood pool scan and pressure meas- urement of the pulmo- nary artery by Swan- Ganz catheter

吉田 章  
鈴木 幸園  
田巻 俊一  
門田 和紀  
神原 啓文  
河合 忠一  
玉木 長良\*  
石井 靖\*  
鳥塚 莞爾\*

Akira YOSHIDA  
Yukisono SUZUKI  
Shunichi TAMAKI  
Kazunori KADOTA  
Hirofumi KAMBARA  
Chuichi KAWAI  
Nagara TAMAKI\*  
Yasushi ISHII\*  
Kanji TORIZUKA\*

### Summary

Gated cardiac blood pool scan and hemodynamic parameters by Swan-Ganz catheter were simultaneously measured in five normal subjects (Group A), five patients with coronary artery disease (CAD) without angina on exercise (Group B) and nine patients with CAD with angina on exercise (Group C) in order to evaluate left ventricular function at rest and during supine bicycle ergometer exercise.

Work load was gradually increased every 3 minutes and each data were acquired using a digital computer. There was a fairly good correlation ( $r=0.83$ ) between stroke volume by thermodilution method and stroke counts corrected by counts/ml of blood on gated cardiac blood pool scan, which were obtained by subtraction of end-systolic counts (ESC) from end-diastolic counts (EDC) in the region of interest arranged at the left ventricle. Stroke counts obtained by this method are considered to reflect a change in the left ventricular volume during exercise. As to the correlation between pulmonary capillary

京都大学医学部 第三内科  
\*同 核医学科  
京都市左京区聖護院川原町 54 (〒606)

The Third Division, Department of Internal Medi-  
cine, and \*Department of Nuclear Medicine, Kyoto  
University Hospital, Kawaramachi 54, Shogoin,  
Sakyo-ku, Kyoto 606

Presented at the 24th Meeting of the Cardiography Society held in Tokyo, March 23-24, 1982  
Received for publication June 30, 1982

wedge pressure (PCWP) and stroke work index (SWI) at peak exercise, there was a large increase in SWI ( $78.9 \pm 17.6$  to  $112.3 \pm 30.0$  g·m/m<sup>2</sup>) with a small rise in PCWP ( $10.0 \pm 1.9$  to  $16.2 \pm 4.0$  mmHg) in Group A. In Group B, SWI was increased ( $57.8 \pm 15.8$  to  $92.9 \pm 25.2$  g·m/m<sup>2</sup>) with a moderate rise in PCWP ( $11.8 \pm 3.7$  to  $20.0 \pm 3.1$  mmHg) at peak exercise. In Group C, there was a trivial increase in SWI ( $74.0 \pm 16.0$  to  $81.2 \pm 29.3$  g·m/m<sup>2</sup>) despite a marked rise in PCWP ( $13.1 \pm 3.1$  to  $33.4 \pm 8.9$  mmHg). Similar relationship was present between SWI and EDC. On mild exercise of 25w, however, the rise in PCWP was more prominent rather than the increase in EDC in Group C. This indicates that the left ventricle in Group C is operating on a very steep portion of the diastolic pressure-volume curve.

### Key words

Coronary artery disease  
End-diastolic volume

Gated cardiac blood pool scan  
Supine bicycle ergometer exercise

Pulmonary capillary wedge pressure

## はじめに

冠動脈疾患 (CAD) の診断において, 運動負荷試験は臨床的に広く行われており, 最近 radionuclide angiography を用いた運動負荷時の心機能の検討が報告されている<sup>1-4)</sup>. 今回, 冠動脈疾患患者の左心予備力の評価を目的として, 安静時および運動負荷時に Swan-Ganz カテーテルを用いて, 肺動脈圧や熱希釈法による心拍出量測定などの血行動態の変化を観察すると同時に, 心電図同期心プールスキャン (以下心プールスキャンと略す) を施行して, 左心機能および左室容量の変化を核医学的に検討した.

## 対 象

心疾患を有さない正常対照群 5 例 (A 群), 運動負荷により狭心痛を生じない CAD 群 5 例 (B 群; 全例陳旧性心筋梗塞), および運動負荷により狭心痛を生じる CAD 群 9 例 (C 群; 心筋梗塞の既往のない労作性狭心症 5 例および陳旧性心筋梗塞 4 例) を対象とした (Table 1). すべての症例について Sones 法による冠動脈造影検査を行い, 冠動脈病変の判定は AHA 分類<sup>5)</sup>に従って行い, 主幹冠動脈の 75% 以上の狭窄を有意狭窄とした.

## 方 法

運動負荷は, 電気制御型仰臥位エルゴメーター

により, 3分ごとに 25 W ずつ増量する symptom-limited の多段階運動負荷試験を行った (Fig. 1). 心電図は aV<sub>F</sub>, V<sub>2</sub> および V<sub>5</sub> でモニターし, 各負荷段階の終了直前にカフマンメーターにより血圧測定を行った. 血行動態は, 内頸静脈より 7F の Swan-Ganz カテーテルを挿入し, 肺動脈圧および肺動脈楔入圧 (PCWP) を体外式圧トランスデューサー (Statham P 231D) を用いて測定した. 圧の 0 点は胸壁高の midpoint とした. 心拍出量は熱希釈法により冷却生食水 (4°C) 10 ml を自動注入器にて急速に注入し, Edward's thermodilution cardiac output computer (9520) を用い, 各負荷段階の終了直前に測定した. 心プールスキャンを施行するにあたり, 5 mg のピロリン酸を静注し, 30 分後に 20 mCi の Tc-99 m pertechnetate を Swan-Ganz カテーテルを通して bolus 注入して, 赤血球の *in vivo* 標識<sup>6)</sup>を行った. このときガンマカメラを RAO 30° とし左室の first pass 像を撮像し, 壁運動の評価に利用した. 5 分後より, ガンマカメラを足方に 10~15° 傾けた modified LAO 40~45° に設定し, 両心室が最もよく分離する位置で心プールスキャンを行った. シンチカメラ (Searle, Pho/Gamma LFOV) に汎用平行コリメーターを装置し, データは安静時 2 分間, 運動負荷時は各負荷段階の後半 2 分間を, オンラインで接続したミニコンピューター (DEC, PDP 11/60) に収集した. データは 128×128 のマトリックスにて 1 心拍を 20 等分し, 280 万ない

**Table 1. Clinical data of all patients**

	Patients		Sex (M/F)
	N	Age	
(A) Normal	5	49.0±8.9	3/2
(B) CAD Angina (-)	5	58.6±7.9	5/0
(C) CAD Angina (+)	9	56.8±8.2	9/0

N=number of patients; M=male; F=female; CAD=coronary artery disease; Angina (-)=without angina on exercise; Angina (+)=with angina on exercise.

し 300 万カウント収集した。心プールのスキューンにおいて、左室の 1 回拍出カウント (SC) は下記の式より求めた。

$$\begin{aligned} \text{Stroke count (SC)} &= \frac{\text{EDC-ESC}}{\text{Number of frames}} \\ &\times \frac{1}{\text{Individual frame}} \\ &\times \frac{1}{\text{Peripheral blood activity/sec/ml}} \end{aligned} \dots\dots\dots (1)$$

EDC=background corrected end-diastolic counts; ESC=background corrected end-systolic counts

左室 1 回仕事係数 (LVSWI) は下記の式を用いて求めた<sup>7)</sup>。

$$\text{LVSWI} = (\text{mSBp} - \text{LVFP}) \times \text{SI} \times 0.0136 \dots\dots\dots (2)$$

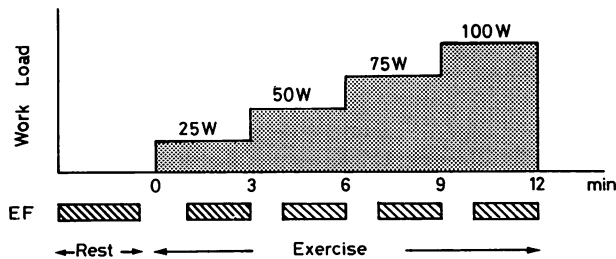
LVSWI=left ventricular stroke work index in g·m/m<sup>2</sup>; mSBp=mean systolic blood pressure in mmHg; LVFP=left ventricular filling pressure in mmHg; SI =stroke index in ml/beat/m<sup>2</sup>

なお LVFP は mean PCWP にて代用した。

**結 果**

安静時と運動負荷中の心プールのイメージにおいて、拡張終期 (ED) と収縮終期 (ES) のイメージを重ね合わせると、A 群では ESC の減少が著明で、EF は上昇した。B 群では EDC も ESC も増加したが、EF はほとんど不変であり、C 群では ESC の増加が著明で、EF は低下を示した (Fig. 2)。各群の運動負荷による EF の変化を比較すると、A 群では peak exercise (PEx) で安静時に比して有意に上昇し (p<0.01)、B 群ではやや上昇傾向にあったが有意差はなく、C 群では 25 W の軽い負荷ではやや上昇するものの、狭心痛の出現する PEx では安静時に比して有意に低下した (p<0.001) (Fig. 3)。

心プールのスキューンより求めた stroke count (SC) と、熱希釈法より求めた stroke volume (SV) との関係では、SV=0.44 SC+58.20 (r=0.83) の良好な相関が得られた (Fig. 4)。これにより、左室に設けた関心領域の運動負荷中のカウ



**Fig. 1. Exercise protocol.**  
EF=data acquisition period at rest and during exercise.

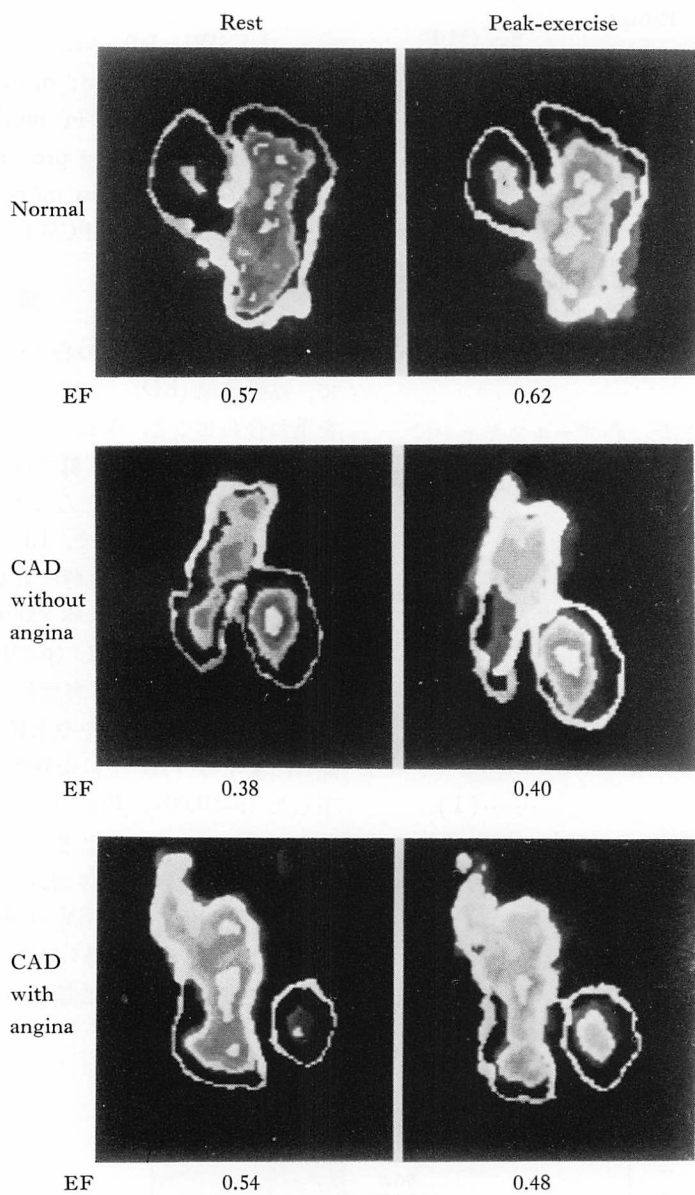
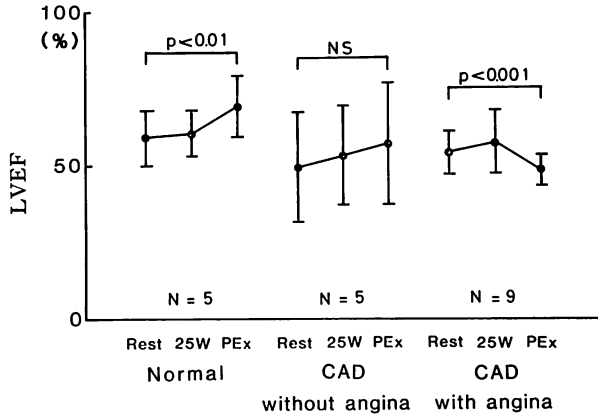


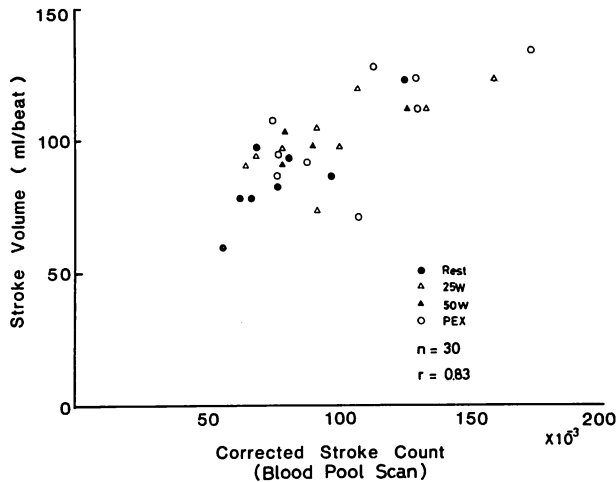
Fig. 2. Gated cardiac imagings of end-diastole and end-systole in normal subjects and patients with coronary artery disease (with or without angina) at rest and during peak exercise (PEX).

EF=left ventricular ejection fraction.



**Fig. 3. Serial changes of left ventricular ejection fraction (LVEF: ordinate) on exercise in normal subjects and patients with coronary artery disease (with or without angina).**

N=number of patients; NS=not significant; CAD=coronary artery disease.



**Fig. 4. Correlation between stroke volume by thermodilution and corrected stroke counts by gated cardiac blood pool scan.**

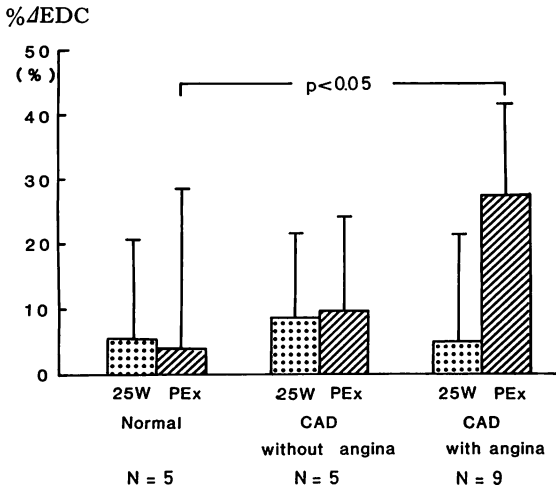
PEx=peak exercise.

ントの変化は、左心容量変化を反映するものと考えられた。

各群の安静時に対する 25 W 負荷時、および PEx における EDC の変化率は、A 群 (25 W:  $5.5 \pm 15.1\%$ , PEx:  $4.0 \pm 24.7\%$ ), B 群 (25 W:  $8.8 \pm 13.1\%$ , PEx:  $9.8 \pm 14.6\%$ ), C 群 (25 W:  $5.0 \pm 16.6\%$ , PEx:  $27.6 \pm 14.3\%$ ) で、PEx にお

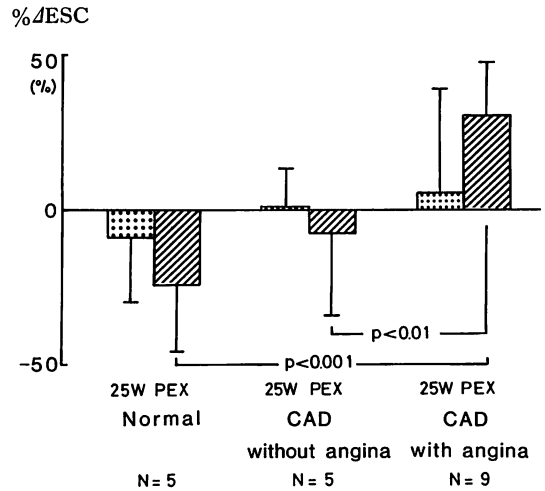
いて A 群と C 群の間には有意な差 ( $p < 0.05$ ) を認めた (Fig. 5).

ESC 変化率も同様に、A 群 (25 W:  $-8.8 \pm 21.1\%$ , PEx:  $-24.2 \pm 21.5\%$ ), B 群 (25 W:  $1.1 \pm 12.3\%$ , PEx:  $-7.4 \pm 26.6\%$ ), C 群 (25 W:  $5.6 \pm 34.1\%$ , PEx:  $30.7 \pm 17.0\%$ ) となり、PEx では A 群と C 群の間 ( $p < 0.001$ ) および B 群



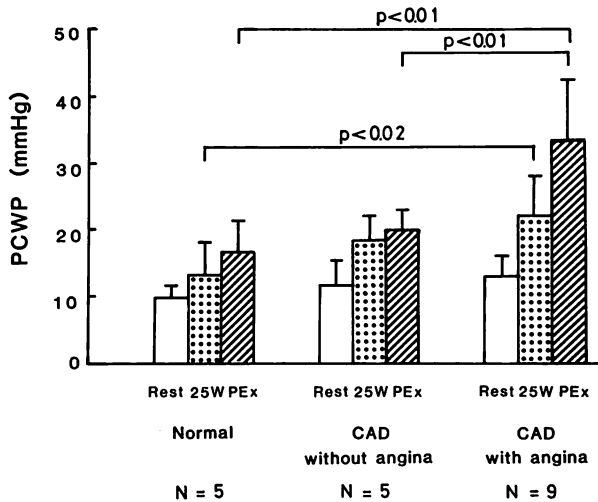
**Fig. 5. Percent change of end-diastolic counts (%ΔEDC: ordinate) in normal subjects and patients with coronary artery disease (with or without angina) during exercise.**

CAD=coronary artery disease; PEx=peak exercise; N=number of patients.



**Fig. 6. Percent change of end-systolic counts (%ΔESC: ordinate) in normal subjects and patients with coronary artery disease (with or without angina) during exercise.**

CAD=coronary artery disease; PEx=peak exercise; N=number of patients.



**Fig. 7. Serial changes of pulmonary capillary wedge pressure (PCWP) in normal subjects and patients with coronary artery disease (with or without angina) during exercise.**

CAD=coronary artery disease; PEx=peak exercise; N=number of patients.

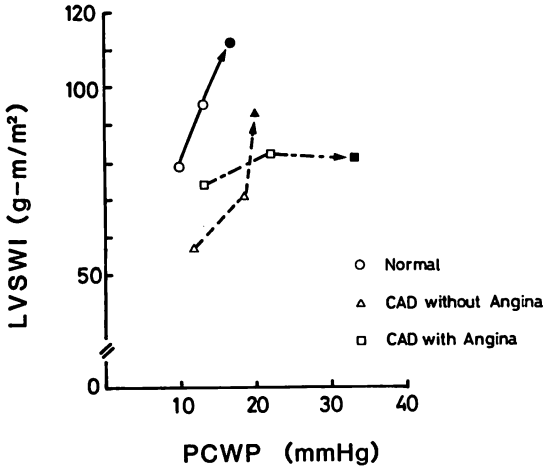


Fig. 8. Correlation between left ventricular stroke work index (LVSWI) and pulmonary capillary wedge pressure (PCWP) in normal subjects and patients with coronary artery disease (with or without angina) at rest and during exercise.

CAD=coronary artery disease.  
 Closed marks (●, ▲, ■) show the data during peak exercise.  
 Only mean data are shown in this figure.

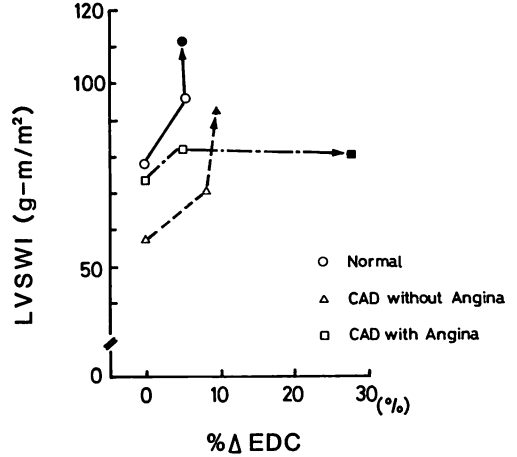


Fig. 9. Correlation between left ventricular stroke work index (LVSWI) and percent changes of end-diastolic counts (%ΔEDC) in normal subjects and patients with coronary artery disease (with or without angina) at rest and during exercise.

CAD=coronary artery disease.  
 Closed marks (●, ▲, ■) show the data during peak exercise.  
 Only mean data are shown in this figure.

と C 群の間 ( $p < 0.01$ ) に有意な差を認め、C 群では PEx で ESC が著明に増加した (Fig. 6).

PCWP は安静時では各群に有意な差はなかったが、A 群では運動負荷により軽度上昇した (Rest:  $10.0 \pm 1.9$ , 25 W:  $13.4 \pm 4.9$ , PEx:  $16.2 \pm 4.0$  mmHg). B 群では A 群よりも高値となったが (Rest:  $11.8 \pm 3.7$ , 25 W:  $18.4 \pm 3.8$ , PEx:  $20.0 \pm 3.1$  mmHg), C 群において PCWP はもっとも上昇した (Rest:  $13.1 \pm 3.0$ , 25 W:  $22.2 \pm 5.9$ , PEx:  $33.4 \pm 8.9$  mmHg). C 群では狭心痛の出現する前に、25 W という軽い負荷でも、PCWP は A 群よりも有意に ( $p < 0.02$ ) 高値を示した (Fig. 7).

LVSWI と PCWP の関係を見ると、A 群では運動負荷による PCWP の上昇はわずかであったが、LVSWI の増加は著明 (Rest:  $78.9 \pm 17.6$ , PEx:  $112.3 \pm 30.0$  g·m/m<sup>2</sup>) であった。B 群にお

る PCWP は運動負荷で A 群よりも高値となったが、LVSWI も増加した (Rest:  $57.8 \pm 15.8$ , PEx:  $92.9 \pm 25.2$  g·m/m<sup>2</sup>). C 群では PCWP は著明に上昇したが、LVSWI の増加はわずか (Rest:  $74.0 \pm 16.0$ , PEx:  $81.2 \pm 29.3$  g·m/m<sup>2</sup>) であった (Fig. 8). なお B 群はすべて陳旧性心筋梗塞例であったため、安静時の LVSWI は C 群のそれよりも低値となった。

EDC の変化率と LVSWI の関係においても同様で、C 群では運動負荷による LVSWI の増加に比して EDC は著明に増加した (Fig. 9).

### 考 案

運動負荷時の左心機能の検討には、dye dilution による方法<sup>7)</sup>や、radionuclide angiography を用いる方法の報告<sup>1-4)</sup>がある。今回、Swan-Ganz カテーテル検査と心プールスキャンを同時

に施行することにより, 圧の情報と左室容量の変化を核医学的に検討した. Radionuclide により左室容量を求める試みは, Slutzky ら<sup>8)</sup>や Dehmer ら<sup>9)</sup>の報告があるが, これらは左室造影より求めた左心容量との検討である. Dehmer ら<sup>10)</sup>は安静時において, 熱希釈法より求めた stroke volume と心プールのスキャンより求めた stroke volume がよく相関すると報告している. 今回, 我々はこれを運動負荷時に試み, 心プールのスキャンによる stroke count と熱希釈法による stroke volume との間に比較的良好な相関があり, 左室容量変化が左室の関心領域のカウントの変化によって反映されることが示された.

運動負荷時の経時的な ejection fraction (LVEF) の検討についての報告は少ないが<sup>11)</sup>, 虚血性心疾患であっても運動負荷により狭心痛の出現しない例では, LVEF は安静時より次第に増加または不変であり, 一方, 狭心痛の出現する例では LVEF は軽い負荷段階では増加していくが, 狭心痛の出現により低下する<sup>4,12)</sup>. 運動負荷により狭心痛の出現する群は, 狭心痛や虚血性の心電図変化がまだ出現しない 25 W という軽度の負荷時において, end-diastolic count の増加よりも PCWP の上昇が著明であり, そのような例の左室は, 拡張期圧容積関係において, より急峻な部分で機能していることを示すものと考えられた.

## 要 約

正常対照群 5 例 (A 群), 運動負荷により狭心痛を生じない冠動脈疾患 5 例 (B 群), および運動負荷により狭心痛を生じる冠動脈疾患 9 例 (C 群) において, 安静時および仰臥位自転車エルゴメーター負荷時の左心機能を検討する目的で, 心電図同期心プールのスキャン (以下心プールのスキャンと略す) と同時に, Swan-Ganz カテーテルによる血行動態の測定を行った.

運動負荷は 3 分ごとに 25 W ずつ漸増する多段階運動負荷試験で行い, オンラインで接続したミニコンピューターに各負荷段階のデータを収集

した. 熱希釈法により求めた 1 回心拍出量 (SV) と, 心プールのスキャンで左室に設けた関心領域における単位血液カウントで補正した, 拡張終期カウント (EDC) と収縮終期カウント (ESC) より求めた 1 回拍出カウント (SC) との間には, 良好な相関 ( $r=0.83$ ) が得られた. この方法により得られる SC は, 運動負荷中の左室の容量変化を反映すると考えられる.

安静時 (Rest) と最大運動負荷時 (PEx) の肺動脈楔入圧 (PCWP) と左室 1 回仕事係数 (LVSWI) の関係をみると, A 群では PCWP の上昇はわずかであるが (Rest:  $10.0 \pm 1.9 \rightarrow$  PEx:  $16.2 \pm 4.0$  mmHg), LVSWI の増加は著明であった (Rest:  $78.9 \pm 17.6 \rightarrow$  PEx:  $112.3 \pm 30.0$  g·m/m<sup>2</sup>). B 群では PCWP は A 群よりも高値となったが (Rest:  $11.8 \pm 3.7 \rightarrow$  PEx:  $20.0 \pm 3.1$  mmHg), LVSWI も増加した (Rest:  $57.8 \pm 15.8 \rightarrow$  PEx:  $92.9 \pm 25.2$  g·m/m<sup>2</sup>). C 群では PCWP は著明に上昇したが (Rest:  $13.1 \pm 3.0 \rightarrow$  PEx:  $33.4 \pm 8.9$  mmHg), LVSWI の増加はわずかであった (Rest:  $74.0 \pm 16.0 \rightarrow$  PEx:  $81.2 \pm 29.3$  g·m/m<sup>2</sup>). EDC と LVSWI の間にも同様の関係が認められた. しかし, C 群においては 25 W という軽い負荷により, EDC の増加よりも PCWP の上昇が顕著であった. これは C 群においては, 左室は拡張期圧容積曲線の急峻な部分で機能していることを示すものと考えられる.

## 文 献

- 1) Borer JS, Bacharach SL, Green MV, Kent KM, Epstein SE, Johnston GS: Real-time radionuclide cineangiography in the noninvasive evaluation of global and regional left ventricular function at rest and during exercise in patients with coronary-artery disease. *N Engl J Med* 296: 839, 1977
- 2) Rerych SK, Sholtz PM, Newman GE, Sabiston DC Jr, Jones RH: Cardiac function at rest and during exercise in normals and in patients with coronary heart disease: Evaluation by radionuclide angiocardiology. *Ann Surg* 187: 449, 1978
- 3) Jengo JA, Oren V, Conant R, Brizendine M, Nelson T, Uszler JM, Mena I: Effect of maximal



- exercise stress on left ventricular function in patients with coronary artery disease using first pass radionuclide angiography: A rapid, noninvasive technique for determining ejection fraction and segmental wall motion. *Circulation* **59**: 60, 1979
- 4) Upton MT, Rerych SK, Newman GE, Port S, Cobb FR, Jones RH: Detecting abnormalities in left ventricular function during exercise before angina and ST-segment depression. *Circulation* **62**: 341, 1980
  - 5) Ad Hoc Committee for Grading of Coronary Artery Disease, American Heart Association: A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. *Circulation* **51**: 5, 1975
  - 6) Pavel DG, Zimmer AM, Patterson VN: In vivo labeling of red blood cells with  $^{99m}\text{Tc}$ : A new approach to blood pool visualization. *J Nucl Med* **18**: 305, 1977
  - 7) Khaja F, Parker JO, Ledwich RJ, West RO, Armstrong PW: Assessment of ventricular function in coronary artery disease by means of atrial pacing and exercise. *Am J Cardiol* **26**: 107, 1970
  - 8) Slutsky R, Karliner J, Ricci D, Kaiser R, Pfisterer M, Gordon D, Peterson K, Ashburn W: Left ventricular volumes by gated equilibrium radionuclide angiography. *Circulation* **60**: 556, 1979
  - 9) Dehmer GJ, Lewis SE, Hillis LD, Twieg D, Falkoff M, Parkey RW, Willerson JT: Non-geometric determination of left ventricular volumes from equilibrium blood pool scans. *Am J Cardiol* **45**: 293, 1980
  - 10) Dehmer GJ, Firth BG, Lewis SE, Willerson JT, Hillis LD: Direct measurement of cardiac output by gated equilibrium blood pool scintigraphy: Validation of scintigraphic volume measurements by a nongeometric technique. *Am J Cardiol* **47**: 1061, 1981
  - 11) Ashburn WL, Schelbert HS, Verba JW: Left ventricular ejection fraction—A review of several radionuclide angiographic approaches using the scintillation camera. *Prog Cardiovasc Dis* **20**: 267, 1978
  - 12) Yoshida A, Suzuki Y, Tamaki S, Kadota K, Kambara H, Kawai C, Tamaki N, Ishii Y, Torizuka K: Assessment of left ventricular function by gated blood pool scan with graded supine bicycle exercise. (abstr) *Jpn J Nucl Med* **19**: 648, 1982