

## 《原 著》

# 健常者および虚血性心疾患患者における運動負荷後の 左室駆出率オーバーシュートの成立機序

—<sup>99m</sup>Tc 運動負荷心プールシンチグラフィによる検討—

久保田幸夫\* 飯塚 利夫\* 磯部 直樹\* 長岡 秀樹\*  
今井 進\* 鈴木 忠\*\*

**要旨** 運動負荷終了後に安静時に比し左室駆出率 (LVEF) が増加するオーバーシュート現象 (OS) の機序を明らかにするため, Swan-Ganz カテーテル挿入下に, 健常者 16 例および虚血性心疾患患者 (CAD) 15 例を対象として, 運動負荷 <sup>99m</sup>Tc 心プールシンチグラフィ (RNVG) を施行し, 安静時, 運動負荷時および負荷後回復期の LVEF と血行動態諸指標の関係を検討した。健常群では LVEF は安静時に比し最大負荷時に有意に増加し, 回復期 3 分ではさらに増加して OS が認められた。また, CAD 群の LVEF は, 最大負荷時には安静時に比し有意に減少したが, 回復期 3 分では安静時に比し有意に増加して OS を示した。OS 時の拡張末期容積は, 健常群では安静時に比し減少したが, CAD 群では不变であり, 収縮末期容積は両群ともに安静時に比し有意に減少した。OS 時の末梢血管抵抗は, 両群ともに負荷時に比し有意に上昇した。心収縮性の指標である収縮期血圧/収縮末期容積は, OS 時に両群とも安静時に比し増加した。CAD 群の 10/15 例は負荷後回復期 3 分には壁運動異常は消失していた。健常群および CAD における負荷後回復期の LVEF の OS は, 前負荷, 後負荷の変化および心筋虚血よりの回復よりも心収縮性の亢進を反映していると考えられた。

(核医学 32: 1079-1088, 1995)

## I. はじめに

健常者および虚血性心疾患患者における運動負荷時の左室反応については,多くの報告があるが<sup>3~5</sup>, 負荷終了後の回復期に左室反応に関する報告は少ない。

<sup>99m</sup>Tc 心プールシンチグラフィ (RNVG) は, 運動負荷時の左室機能の経時的な観察が可能であるため, 左室機能, 予備能の評価および心筋虚血の

検出法として広く利用されている<sup>1,2</sup>。

Slutsky ら<sup>6</sup>は, RNVG を用いて健常者および虚血性心疾患患者の安静時, 運動負荷時および負荷終了後の左室駆出率 (LVEF), 左室容積の変化を検討し, 負荷終了後に一過性に LVEF が増加する現象を報告した。Pfisterer ら<sup>7</sup>は, 運動負荷終了後に安静時よりも一過性に LVEF が増加する現象をオーバーシュート (overshoot: OS) と呼び, その機序として負荷終了後の心拍数の減少による左室拡張時間の延長と後負荷の関与を想定した。

最近では携帯型持続心機能モニター (VEST) を用いた LVEF の OS の時間的経過を検討した報告がある<sup>8,9</sup>。いずれも OS の成立機序として負荷終了後の後負荷, すなわち末梢血管抵抗の減少を想定しているが, 血行動態の諸指標の変化について

\* 群馬大学医学部第二内科

\*\* 群馬大学医療短期大学部

受付: 7年 4月 20日

最終稿受付: 7年 7月 25日

別刷請求先: 群馬県前橋市昭和町 3-39-15 (〒371)

群馬大学医学部第二内科

久保田 幸夫

の詳細は不明である。

今回の研究では、OS の成立機序を明らかにするため、健常者および虚血性心疾患患者にSwan-Ganz カテーテル挿入下にRNVG を施行し、経時的に安静時、運動負荷時および負荷終了後のLVEF、末梢血管抵抗および他の血行動態諸指標を測定し、LVEF の変化と血行動態諸指標の関係を検討した。

## II. 対 象

対象は、健常群 16 例(男性 10 例、女性 6 例、年齢 56±8 歳)、虚血性心疾患患者(CAD)群 15 例(男性 11 例、女性 4 例、年齢 60±10 歳)とした。

健常群は、胸痛精査のために入院し、冠動脈造影にて異常を認めず、かつ運動負荷  $^{201}\text{TI}$  心筋シンチグラフィ(Tl-SPECT)にて心筋虚血を認めない症例とした。CAD 群は冠動脈造影にて 75% 以上の有意冠狭窄が認められ、Tl-SPECT にて心筋虚血の所見を確認した狭心症症例である。CAD 群 15 例の罹患枝および冠狭窄度は、一枝病変 12 例(前下行枝(LAD)7 枝、回旋枝(LCX)3 枝、右冠動脈(RCA)2 枝、病変部の平均狭窄度 87.8±9.2%)と二枝病変 3 例(LAD と LCX: 2 例、LAD と RCA: 1 例)であった。3 例には陳旧性心筋梗塞の既往があったが、いずれも小梗塞であり心機能は正常に保たれていた。

なお、本研究にあたり、被検者には検査の主旨、危険等について説明した後、同意の得られた

場合にのみ以下の検査を施行した。

## III. 方 法

### 1) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 運動負荷心プールシンチグラフィ(RNVG, Fig. 1)と左室機能の諸指標

RNVG は、スズピロリン酸の静注 30 分後に 1.11 GBq の  $^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$  を静注して赤血球に標識し、平衡に達した後、1 心拍を約 20 等分する心拍同期 Multi-gated 法にて行った。装置は高感度コリメータを装着したガンマカメラ(Siemens 社製 LFOV)とオンラインで接続した SCINTIPAC 2400(島津製作所社製)を用いた。撮像は左前斜位 40 度、頭方に 10 度カメラを傾斜させた Modified LAO にて行った。安静時には 30–50 msec/frame, 300 心拍を加算し、最大負荷時および負荷後には、20–30 msec/frame, 2 分間データ収集を行った。

運動負荷は、電気制動型臥位自転車エルゴメータ(建部青州堂製、EM-405)を用いて 25 W より開始し、3 分ごとに 25 W ずつ増加する症候限界性多段階負荷法にて行った。心電図は標準 12 誘導を 1 分毎に記録した。負荷終了点は、胸痛出現、心電図上 0.2 mV 以上の虚血性 ST 低下、予測最大心拍の 85%、下肢疲労のいずれかとした。

左室駆出率(LVEF)は、RNVG より variable ROI 法にて時間容量曲線を作成し算出した。

左室拡張末期容積係数(EDVI)は、熱希釀法より求めた 1 回拍出量係数(SI)を LVEF で除して、

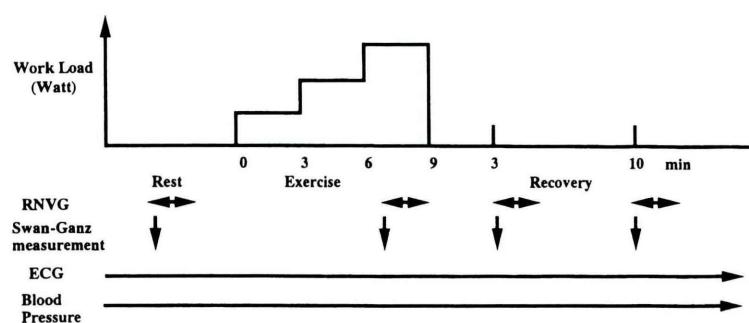
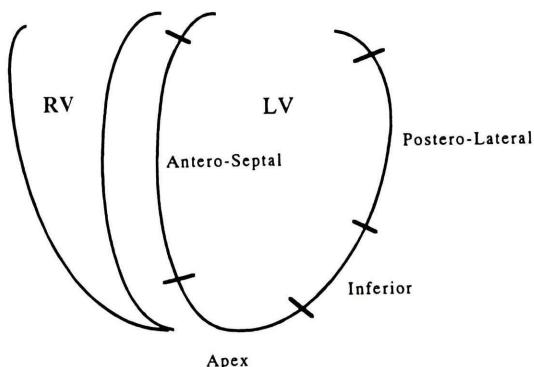


Fig. 1 Protocol for exercise radionuclide ventriculography (RNVG) and Swan-Ganz measurements.

左室収縮末期容積係数(ESVI)はEDVIよりSIを減じて、それぞれ求めた。

## 2) 血行動態の測定と諸指標(Fig. 1)

運動負荷 RNVG と同時に以下の手順で行った。



**Fig. 2** Schematic representation of the modified left anterior oblique view on radionuclide ventriculographic imaging. The left ventricle (LV) was divided into four segments. RV: right ventricle.

肘静脈より 6 F Swan-Ganz カテーテルを肺動脈内に留置し、安静時、最大負荷時、回復期 3 分および回復期 10 分に肺動脈楔入圧(PAWP)、右房圧を測定し、また、熱希釈法により心拍出量を測定して心拍出量係数(CI)を求めた。なお、動脈圧は、カフマノメータ法により 1 分毎に測定した。

左室収縮性の指標には、収縮期血圧／収縮末期容積(SBP/ESV)を、後負荷の指標には末梢血管抵抗係数(SVRI)(平均血圧－右房圧／心拍出量係数)を用いた。

## 3) 左室局所壁運動の評価(Fig. 2)

Modified LAO 像において、Fig. 2 のごとく左室を前壁中隔、心尖、下壁、後側壁に 4 分割し、動画像にて正常、軽度収縮低下、収縮低下、無収縮、奇異収縮の 5 段階に分類し、それぞれ 3, 2, 1, 0, -1 と評点した。安静時に比しきアガが 1 以上低下する場合に壁運動異常出現とした。

## 4) 統計学的検討

すべての成績は平均値±標準偏差で表示した。

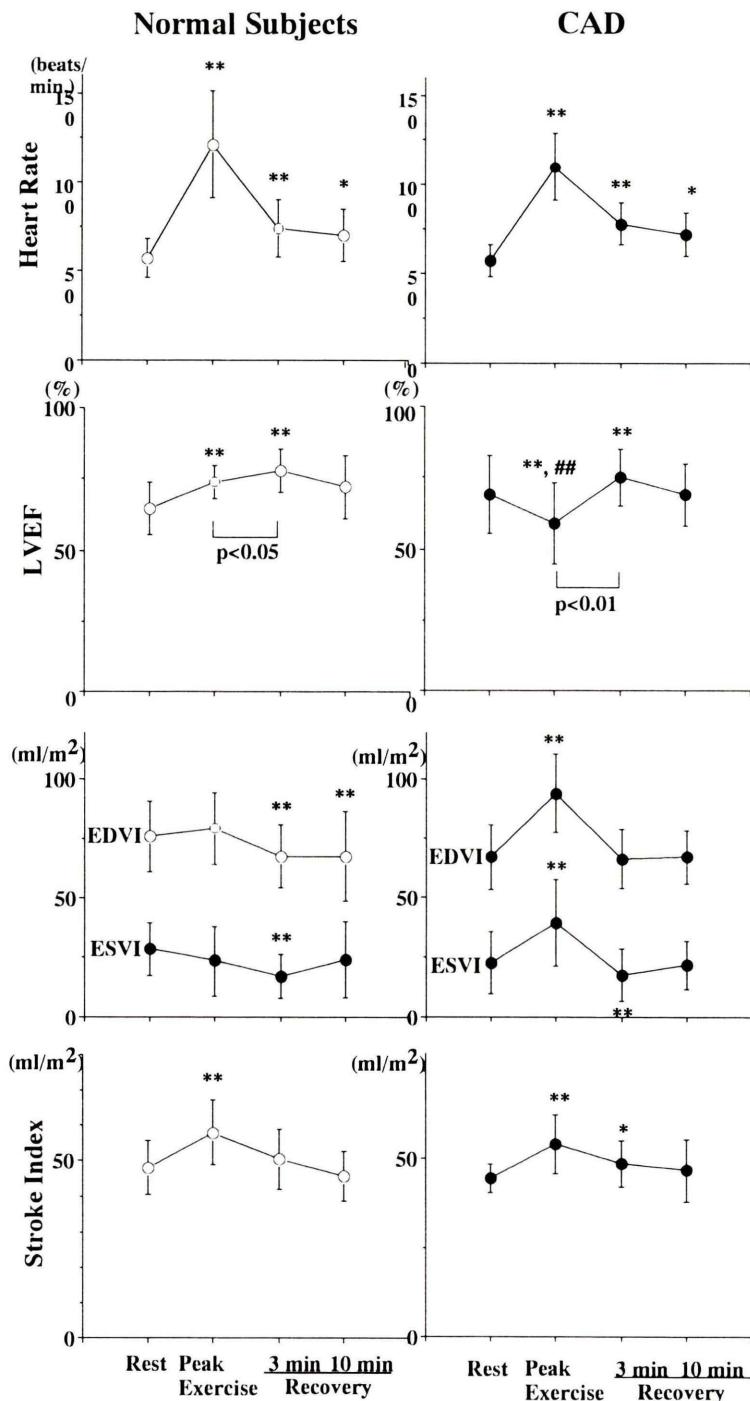
**Table 1** Response of heart rate, systolic blood pressure, work load, chest pain and ST depression at rest, during exercise and recovery periods

	Rest	Peak Exercise	Recovery	
			3 min	10 min
<b>Normal Subjects (n=16)</b>				
HR(beats/min)	57±11	121±23**	74±16**	70±15*
SBP(mmHg)	139±26	190±30**	135±27	134±24
Work load(Watt)		74±21		
Exercise time(min)		10.3±2.5		
Chest pain		0/16	0/16	0/16
ST depression	1/16	0/16	0/16	
<b>CAD (n=15)</b>				
HR(beats/min)	57±9	110±19**	78±12**	72±12*
SBP(mmHg)	144±17	180±21**	147±34	144±16
Work load(Watt)		56±21 <sup>#</sup>		
Exercise time(min)		7.9±2.1 <sup>#</sup>		
Chest pain		11/15	3/15	0/15
ST depression	12/15	5/15	0/15	

HR=heart rate, SBP=systolic blood pressure, CAD=coronary artery disease.

Values are mean ± standard deviation.

\* p<0.05 vs rest, \*\*p<0.01 vs rest # p<0.05 vs Normal Subjects



**Fig. 3** Left ventricular ejection fraction (LVEF), end-diastolic volume index (EDVI), end-systolic volume index (ESVI), stroke index and cardiac index at rest, during exercise and during recovery periods in normal subjects and in patients with coronary artery disease (CAD). \*p<0.05 vs. rest, \*\*p<0.01 vs. rest, #p<0.01 vs. Normal Subjects.

各群間の比較には Unpaired-t test を用い、各群内の安静時、運動負荷時、回復期の比較には paired-t test を用いた。

いずれの場合にも危険率 0.05 以下を有意とした。

#### IV. 結 果

##### 1) 運動負荷量、運動持続時間および収縮期血圧 (Table 1)

最大負荷量は、健常群の  $74 \pm 21$  Watt に比し、CAD 群は  $56 \pm 21$  Watt と有意に少なかった。

運動持続時間も健常群の  $10.3 \pm 2.5$  分に比し、CAD 群は  $7.9 \pm 2.1$  分と有意に短縮していた。

収縮期血圧は、安静時には両群に差を認めず、両群とも運動負荷時有意に上昇し、回復期 3 分には安静時の値に戻った。

##### 2) 心拍数、LVEF、左室容量および SI の推移 (Fig. 3)

心拍数は、安静時、運動負荷時および回復期とも両群間に差を認めず、両群とも負荷時に有意に増加し、回復期 3 分および 10 分でも安静時に比し有意に増加していた。

安静時の LVEF は、健常群で  $64.8 \pm 9.2\%$ 、CAD 群で  $69.2 \pm 13.7\%$  と、両群に差がなかった。

LVEF は、健常群で最大負荷時に  $73.7 \pm 5.9\%$  と安静時に比し有意に増加し、回復期 3 分には  $78.0 \pm 7.6\%$  と最大負荷時より増加して OS を示した。これに対し、CAD 群では最大負荷時には  $59.0 \pm 14.0\%$  と安静時に比し有意に減少し、回復期 3 分には  $75.1 \pm 10.1\%$  と最大負荷時に比し有意に増加して OS を示した。

EDVI は、健常群では負荷時には不变であったが、回復期には安静時に比し有意に減少した。ESVI は、負荷時に減少傾向を示し、回復期 3 分には安静時に比し有意に減少した。

CAD 群では、EDVI、ESVI ともに最大負荷時に有意に増加した。回復期 3 分には、EDVI は安静時と差を認めなかつたが、ESVI は安静時に比し有意に減少した。

SI は、健常群、CAD 群とも最大負荷時には有意に増加した。回復期 3 分には、健常群は安静時と差は認めなかつたが、CAD 群では安静時に比し有意に増加していた。

##### 3) CI, PAWP, SVRI および SBP/ESV の推移 (Fig. 4)

CI は健常群、CAD 群とも安静時に比し最大負荷時に有意に増加し、回復期 3 分にも安静時に比し増加していた。

PAWP は、最大負荷時には安静時に比し両群とも有意に上昇したが、健常群に比し CAD 群で有意に高値であった。回復期 3 分には、両群とも安静時の値と差を認めなくなつた。

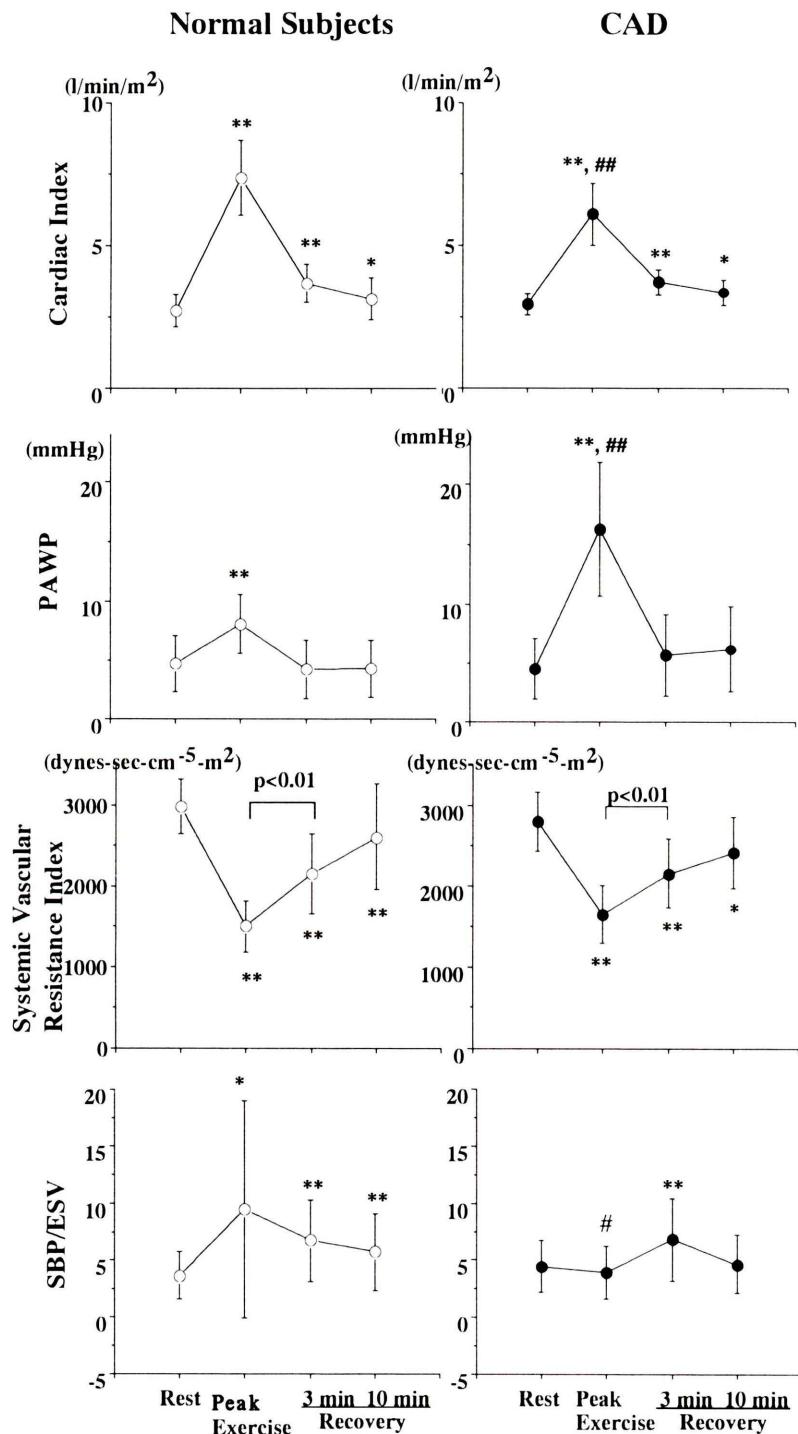
SVRI は、健常群と CAD 群間に安静時、最大負荷時、回復期のいずれにおいても有意な差は認められなかつた。両群とも最大負荷時には安静時より有意に減少し、回復期 3 分には安静時よりも有意に減少していたが、最大負荷時よりは有意に増加した。

健常群では、SBP/ESV は、安静時に比し最大負荷時に有意に増加し、回復期 3 分でも増加していた。CAD 群では、SBP/ESV は、負荷時には有意な変化はみられなかつたが、回復期 3 分には安静時および最大負荷時より有意に増加した。

##### 4) 局所壁運動

健常群では、安静時、運動負荷時および回復期に局所壁運動異常を示した例はなかつた。

CAD 群では、安静時に比し最大負荷時に 1 段階以上、壁運動が悪化したのは 12/15 例であった。5/15 例では回復期 3 分に壁運動異常が認められた。3/5 例は、心筋梗塞例であった。残り 2 例は安静時に比し回復期 3 分での壁運動が悪化していた。この壁運動異常の出現部位は冠動脈狭窄の灌流域と一致しており、心筋虚血の残存と考えられた。この 2 症例の平均 LVEF は、安静時 66.0% より回復期 3 分には 74.3% に増加し、平均 EDVI は安静時  $74.5 \text{ ml}/\text{m}^2$  より回復期 3 分  $72.3 \text{ ml}/\text{m}^2$  と不变、平均 ESVI は安静時  $22.5 \text{ ml}/\text{m}^2$  より回復期 3 分に  $15.9 \text{ ml}/\text{m}^2$  へと減少した。



**Fig. 4** Pulmonary arterial wedge pressure (PAWP), systemic vascular resistance index and systolic blood pressure/end-systolic volume at rest, during exercise and during recovery periods in normal subjects and in patients with coronary artery disease (CAD). \* $p < 0.05$  vs. rest, \*\* $p < 0.01$  vs. rest, # $p < 0.05$  vs. Normal Subjects, ## $p < 0.01$  vs. Normal Subjects.

## V. 考 察

運動負荷時の左室反応に関する研究は多い<sup>10-12)</sup>が、なお議論があり意見の一一致を見ていない。まず、これらの研究においてはその方法論が問題となる。造影剤を用いた左室造影は、観血的でかつ造影剤による左室機能、末梢血管系への影響を無視できない<sup>13)</sup>。また、運動負荷中の左室造影は一般には行われない。心エコー法による運動負荷中の左室径の計測は体動、呼吸などにより技術的に困難で、また局所的収縮異常をきたす虚血性心疾患患者の左室容量の計測には問題がある<sup>14)</sup>。

これに対し、RNVG による LVEF、左室容量の測定は、局所収縮異常の影響を受けにくく、また放射性物質による心血管系への作用もないため、虚血性心疾患患者においても、運動負荷時の左室反応の経時的な観察に適している<sup>12,15)</sup>。ただし、RNVG を用いた Count-based 法による左室容量の経時的な計測は有用であるが、絶対値の計測に関しては放射性活性の胸壁での減衰率が各個人により異なるため問題がある<sup>16)</sup>。本研究では、RNVG により LVEF を算出するとともに、Swan-Ganz カテーテルを留置し、熱希釈法により心拍出量を測定して、左室容積および末梢血管抵抗を算出した。

Slutsky ら<sup>16)</sup>は、健常者の臥位エルゴメータ負荷における左室反応では、左室拡張末期容積(EDV)は不变であるが、左室収縮末期容積(ESV)が減少するため、LVEF は増加するとしている。他方、Poliner ら<sup>17)</sup>は、健常者に臥位エルゴメータ負荷を行い、軽負荷時に一回拍出量(SV)と LVEF の著明な増加、EDV の増加および ESV の減少をきたし、最大負荷時の変化も同様であったと報告している。彼らは、この機序として、軽ないし中等度の負荷による心収縮力の増強と Frank-Starling 効果の両者の関与を想定している。ただし、臥位運動負荷時に心収縮性が増強することは多くの報告で認められているが、Frank-Starling 効果の関与については議論がある<sup>18,19)</sup>。

今回の検討では、健常者においては臥位エルゴ

メータ負荷により EDV は増加せず LVEF が増加した。したがって、健常者における運動負荷時の SV および LVEF の増加には Frank-Starling 効果は関与しないと考えられた。

虚血性心疾患患者の臥位運動負荷時の左室反応に関しては EDV、ESV とともに増加して LVEF は減少ないし 5% 以内の増加にとどまるとする報告が多い<sup>20,21)</sup>。今回の検討でも、最大負荷時に EDV、ESV は増加して LVEF は減少し、既報と一致した。

一方、運動負荷回復期の左室反応に関する報告は多くない。

LVEF が運動負荷終了後早期(2-5 分)に一過性に安静時より上昇するオーバーシュート現象(OS)は Pfisterer ら<sup>7)</sup>により報告されている。彼らはこの現象の機序として運動負荷終了後も運動負荷によるカテコラミンの増加が残存していること、および負荷終了後の静脈還流の増加による Frank-Starling 効果を想定している。すなわち、運動負荷回復期の LVEF の増加は主に末梢循環の変化に起因するものとしている。

Stein ら<sup>22)</sup>は、健常者に臥位自転車エルゴメータ負荷を施行して負荷時および回復期の左室径を M-mode 心エコー法により計測し、最大負荷時に比較し回復期には、EDV、SV の増加と ESV の減少がみられると報告している。その機序として、EDV の増加は負荷中には心拍数増加により Frank-Starling 効果は覆い隠されているが、回復期には心拍数が減少し静脈還流は高いままに保たれ Frank-Starling 効果が顕性となるためとしている。

今回の検討によると、健常者では回復早期に安静時および最大負荷時に比し、LVEF が増加、EDV および ESV は減少し、SV は不变であった。CAD 群でも、回復早期には安静時に比し LVEF は増加するが、EDV は不变で ESV は減少し SV は増加した。負荷終了後早期のこの心容量の変化は Plotnick ら<sup>23)</sup>の報告と一致する。

LVEF は左室のポンプ機能の有用な指標で、心収縮性以外にも、前負荷、後負荷などにより変化

する<sup>24,25)</sup>。前述の Pfisterer ら<sup>7)</sup>, Stein ら<sup>22)</sup>は、回復期の LVEF の OS は主に静脈還流の増加、つまり前負荷の増加に伴う Frank-Starling 効果によるとしている。しかし、運動負荷終了後早期の前負荷に関する今回の検討では、EDV は健常群および CAD 群で安静時および運動負荷時より減少し、PAWP は安静時より変化しなかった。すなわち、負荷終了後早期の LVEF の増加(OS)には、前負荷の増加による Frank-Starling 効果の関与は考えにくい結果であった。

後負荷に関しては、検索した限りでは LVEF の OS 時の末梢血管抵抗を検討した報告はない。Plotnick ら<sup>23)</sup>は健常者および CAD 患者で LVEF の OS 時の EDV および ESV の減少について後負荷の減少を想定しているが、末梢血管抵抗は測定していない。今回の結果をみると、運動負荷時には末梢血管抵抗は、健常者および CAD 患者とともに低下し、回復期 3 分には安静時よりは低値であったが、最大運動負荷時より有意に増加していた。

SBP/ESV は、前負荷、後負荷に影響されない心収縮力の指標で  $E_{max}$  を反映するとされる<sup>26)</sup>。虚血性心疾患患者でその有用性についての報告も多い<sup>20,27,28)</sup>。この SBP/ESV の運動負荷時および回復期の推移をみると、健常者では運動負荷時の増加が回復期にも持続された。これに対し、CAD 群では、運動負荷時には増加せず、回復期 3 分に有意に増加した。すなわち両群とも負荷後回復期 3 分に安静時に比し心収縮性が増強していると考えられた。

運動負荷中および負荷後回復期のノルアドレナリンの推移については Watson ら<sup>29)</sup>の報告があり、これによると血中ノルアドレナリン濃度は運動負荷開始後より次第に増加して負荷終了後約 3 分に最高に達し、約 10 分後に負荷前の値に戻るという。したがって、運動負荷回復期の心収縮性の増強には交感神経系および血中カテコラミンの関与が大きいと考えられる。

虚血性心疾患患者では、運動負荷中から回復期にかけて壁運動が改善することでも示される通

り、心筋虚血よりの回復が心収縮性の増強に関わっていると考えられる。しかし、回復期早期には心筋虚血より回復しておらず、灌流域の壁運動異常が残存した虚血性心疾患症例においても OS は認められ、OS の機序としては虚血よりの回復だけでは十分ではない。これらの虚血残存例における負荷後回復期の左室駆出率の増加には、非虚血部位での心収縮性の増加の寄与が高いと考えられる。また、回復期早期に虚血の残存する症例と虚血より回復している症例を含めた虚血性心疾患患者の負荷後回復期の左室容量、末梢血管抵抗の推移は、ほぼ健常者と同様であった。

虚血性心疾患患者における OS の成因には、健常者と同様に心収縮性の増加が関与していると考えられる。

## VI. 結論

健常者および虚血性心疾患患者における運動負荷後回復期の左室駆出率のオーバーシュートは、前負荷、後負荷の変化および心筋虚血の改善に起因するよりも、むしろ心筋自身の収縮性の増加によるものと考えられる。

## 文 献

- 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**: 839-844, 1977
- 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**: 341-349, 1980
- Burow RD, Strauss HW, Singleton R, Pond M, Rehn T, Bailey IK, et al: Analysis of left ventricular function from multiple gated acquisition cardiac blood pool imaging: comparison to contrast angiography. *Circulation* **56**: 1024-1028, 1977
- Marshall RC, Berger HJ, Costin JC, Freedman GS, Wolberg J, Cohen LS, et al: Assessment of cardiac performance with quantitative radionuclide angiography. *Circulation* **56**: 820-829, 1977
- Pfisterer ME, Ricci DR, Schuler G, Swanson SS,

- Gordon DG, Peterson KE, et al: Validity of left-ventricular ejection fractions measured at rest and peak exercise by equilibrium radionuclide angiography using short acquisition times. *J Nucl Med* **20**: 484–490, 1979
- 6) Slutsky R, Karliner J, Ricci D, Schuler G, Pfisterer M, Peterson K, et al: Response of left ventricular volume to exercise in man assessed by radionuclide equilibrium angiography. *Circulation* **60**: 565–571, 1979
  - 7) Pfisterer ME, Slutsky RA, Schuler G, Ricci DR, Swanson SS, Gordon DG, et al: Profiles of radio-nuclide left ventricular ejection fraction changes induced by supine bicycle exercise in normals and patients with coronary heart disease. *Catheter Cardiovasc Diagnosis* **5**: 305–317, 1979
  - 8) 玉木長良, Mohiuddin IH, 大草知子, 大谷 弘, 不藤哲郎, 林 正隆, 他: 携帯用 RI モニター (VEST) による運動負荷時および負荷後の心機能の経時的変化の検討. *核医学* **26**: 399–408, 1989
  - 9) Koike A, Itoh H, Doi M, Taniguti K, Marumo F, Umehara I, et al: Beat-to-beat evaluation of cardiac function during recovery from upright bicycle exercise in patients with coronary artery disease. *Am Heart J* **120**: 316–323, 1990
  - 10) Badke FR: Left ventricular dimensions and function during exercise in dogs with chronic right ventricular pressure overload. *Am J Cardiol* **53**: 1187–1193, 1984
  - 11) Choi BW, Wasserman AG, Katz RJ, Varma V, Reba RC, Ross AM: Clinical and hemodynamic significance of left ventricular diastolic volume changes by exercise radionuclide ventriculography in coronary artery disease. *Am J Cardiol* **63**: 522–525, 1989
  - 12) Iskandrian AS, Hakki AH, DePace NL, Manno B, Segal BL: Evaluation of left ventricular function by radionuclide angiography during exercise in normal subjects and in patients with chronic coronary heart disease. *J Am Coll Cardiol* **16**: 1518–1529, 1983
  - 13) Vine DL, Hegg TD, Dodge HT, Stewart DK, Frimer M: Immediate effect of contrast medium injection on left ventricular volumes and ejection fraction. *Circulation* **56**: 379–384, 1977
  - 14) Mason SJ, Weiss JL, Weisfeldt ML, Garrison JB, Fortuin NJ: Exercise echocardiography: detection of wall motion abnormalities during ischemia. *Circulation* **59**: 50–59, 1979
  - 15) Links JM, Becker LC, Shindledecker JG, Guzman P, Burow RD, Nickoloff EL, et al: Measurement of absolute left ventricular volume from gated blood pool studies. *Circulation* **65**: 82–91, 1982
  - 16) Petru MA, Sorensen SG, Chaudhuri TK, Rosen P, O'Rourke RA: Attenuation correction of equilibrium radionuclide angiography for noninvasive quantitation of cardiac output and ventricular volumes. *Am Heart J* **107**: 1221–1228, 1984
  - 17) Poliner LR, Dehmer GJ, Lewis SE, Parkey RW, Blomqvist CG, Willerson JT: Left ventricular performance in normal subjects: a comparison of the responses to exercise in the upright and supine positions. *Circulation* **62**: 528–534, 1980
  - 18) Weiss JL, Weisfeldt ML, Mason SJ, Garrison JB, Livengood SV, Fortuin NJ: Evidence of Frank-Starling effect in man during severe semisupine exercise. *Circulation* **59**: 655–661, 1979
  - 19) Steingart RM, Wexler J, Slagle S, Sheuer J: Radionuclide ventriculographic responses to graded supine and upright exercise: critical role of the Frank-Starling mechanism at submaximal exercise. *Am J Cardiol* **53**: 1671–1677, 1984
  - 20) Dehmer GJ, Lewis SE, Hillis LD, Corbett J, Parkey RW, Willerson JT: Exercise-induced alterations in left ventricular volumes and the pressure-volume relationship: a sensitive indicator of left ventricular dysfunction in patients with coronary artery disease. *Circulation* **63**: 1008–1018, 1981
  - 21) Schneider RM, Weintraub WS, Klein LW, Seelaus PA, Katz RI, Agarwal JB, et al: Multistage analysis of exercise radionuclide angiography in coronary artery disease. *Am J Cardiol* **58**: 36–41, 1986
  - 22) Stein RA, Michielli D, Fox EL, Krasnow N: Continuous ventricular dimensions in man during supine exercise and recovery. *Am J Cardiol* **41**: 655–660, 1978
  - 23) Plotnick GD, Becker LC, Fisher ML: Changes in left ventricular function during recovery from upright bicycle exercise in normal persons and patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol* **58**: 247–251, 1986
  - 24) Sonnenblick EH, Braunwald E, Williams Jr JF, Glick G: Effects of exercise on myocardial force-velocity relations in intact unanesthetized man: relative roles of changes in heart rate, sympathetic activity, and ventricular dimensions. *J Clin Invest* **44**: 2051–2062, 1965
  - 25) Quinones MA, Gaasch WH, Alexander JK: Influence of acute changes in preload, after load, contractile state and heart rate on ejection and isovolumic indices of myocardial contractility in man. *Circulation* **53**: 293–302, 1976
  - 26) Starling MR, Mancini GBJ, Montgomery DG, Gross MD: Radionuclide left ventricular contractile indices and their relationship to heart size in dogs. *Am Heart J* **118**: 325–333, 1989
  - 27) Nivatpumin T, Katz S, Scheuer J: Peak left ventricular systolic pressure/end-systolic volume ratio: a sensitive detector of left ventricular disease. *Am J Cardiol*

- 43:** 969-974, 1979
- 28) Iskandrian AS, Heo J: Left ventricular pressure/volume relationship in coronary artery disease. Am Heart J **112**: 375-381, 1986
- 29) Watson RDS, Hamilton CA, Jones DH, Reid JL, Stallard TJ, Littler WA: Sequential changes in plasma noradrenaline during bicycle exercise. Clinical Science **58**: 37-43, 1980

## Summary

### Mechanism of Overshoot Elevation of Left Ventricular Ejection Fraction during Recovery after Exercise in Normal Subjects and Patients with Coronary Artery Disease, Assessed by $^{99m}\text{Tc}$ Exercise Radionuclide Ventriculography

Sachio KUBOTA\*, Toshio IIZUKA\*, Naoki ISOBE\*, Hideki NAGAOKA\*,  
Susumu IMAI\* and Tadashi SUZUKI\*\*

\*Second Department of Internal Medicine, Gunma University School of Medicine

\*\*College of Medical Care and Technology, Gunma University

An "overshoot" (OS) elevation of ejection fraction above resting levels has been demonstrated during recovery after exercise. To characterize the hemodynamic changes during recovery after bicycle exercise, we used radionuclide ventriculography under the Swan-Ganz catheter insertion in 16 normal subjects and 15 patients with coronary artery disease (CAD) at rest, during bicycle exercise and after exercise periods. In normal subjects, the ejection fraction increased from resting value during peak exercise, and showed overshoot elevation in the early recovery period. In patients with CAD, the ejection fraction decreased from resting value during peak exercise, then showed overshoot elevation in the early recovery period. In normal subjects, the end-diastolic volume (EDV) and

the end-systolic volume (ESV) decreased from resting value during OS. In patients with CAD, the EDV at OS was not different from that at rest, the ESV decreased from resting value during OS. The systemic vascular resistance increased from resting value during OS. The systolic blood pressure/ESV, index for ventricular contractility, increased from resting value during OS in both groups. Thus, the decreased systemic vascular resistance does not play a major role during recovery after exercise, whereas enhanced contractility is evident in both normal subjects and patients with CAD.

**Key words:** Exercise radionuclide ventriculography, Left ventricular ejection fraction, Overshoot, Coronary artery disease.