

《原 著》

心筋梗塞患者の運動負荷時心拍出予備能の評価

金 奉賀* 石田 良雄* 常岡 豊* 平岡 俊彦*
 福島 正勝* 松本 正幸* 井上 通敏* 阿部 裕*
 木村 和文** 南野 隆三***

要旨 心筋梗塞患者 (MI) の運動負荷時心拍出予備能を評価するため、狭心症の合併のない MI 18 例 (MI-1), 合併する MI 7 例 (MI-2), 健常 11 例 (N) に対して、安静時および最大運動負荷時に平衡時心プールイメージングを施行した。心収縮性の指標として P/V index (収縮期最高血圧/左室収縮末期容積係数), 前負荷の指標として左室拡張末期容積係数 (EDVI) を計測し、各群で比較検討した。N 群の P/V index は 4.7 ± 1.5 mmHg/ml/m² から 8.3 ± 3.2 mmHg/ml/m² に有意に増加したが ($p < 0.01$), EDVI は不変であった。MI-1 群の P/V index も 2.7 ± 1.2 mmHg/ml/m² から 3.5 ± 1.2 mmHg/ml/m² に増加したが ($p < 0.01$), その増加度は N 群に比し低値であった。一方, EDVI は 102 ± 26 ml/m² から 121 ± 41 ml/m² に増加した ($p < 0.01$)。狭心痛で運動負荷を終了した MI-2 群では, P/V index は 4.9 ± 1.6 mmHg/ml/m² から 3.8 ± 1.4 mmHg/ml/m² に減少し ($p < 0.05$), EDVI は 76 ± 13 ml/m² から 95 ± 18 ml/m² に増加した ($p < 0.05$)。以上より, 心収縮性予備能の低下した梗塞心では, Frank-Starling 機構が代償的に作動することが示された。

I. 緒 言

心筋梗塞患者の運動耐容能は、主として運動負荷時の心ポンプ予備能に依存しているため、心ポンプ予備能の評価は本疾患患者の運動許容量の決定、予後の予測に有用である。

心拍出量は前負荷、後負荷、心収縮性、および、心拍数により規定されるが、健常人では運動負荷時の心拍出量増加には、心拍数の増加に加えて心収縮性の増強が主要な役割を果たす。一方、梗塞心では運動負荷時に左室拡張末期圧^{1,2)}、左室拡張末期容積³⁻⁶⁾が増大することから、前負荷増大による Frank-Starling 機構 (以下、F-S 機構) が働くことが予想される。しかし、梗塞心において前

負荷と心収縮性の両予備能の関係を詳細に検討した報告は少ない。

本研究では平衡時マルチゲート心プールイメージング法を用いて、左室容積を計測し、心収縮性の指標として収縮期最高血圧と左室収縮末期容積の比 (P/V index) を求め、その運動負荷時変化から梗塞心の心収縮性予備能の評価を行った。さらに、梗塞心における心収縮性予備能の低下に対する代償機構としての F-S 機構の関与について検討した。

II. 対 象

対象症例は心筋梗塞の既往を有する 25 例 (MI 群) と、対照として心疾患の既往のない 4 例および胸痛精査の目的で施行した冠動脈造影で異常を認めなかった 7 例の計 11 例 (N 群) であった。

MI 群は前壁梗塞 14 例、下壁梗塞 8 例、心内膜下梗塞 3 例で、年齢は 59.5 ± 10.7 歳 (平均 \pm S.D.) であった。N 群の年齢は 47.8 ± 17.8 歳であった。MI 群 25 例中 18 例 (前壁 13 例、下壁 5 例) は労作性狭心症を合併せず (MI-1 群)、7 例 (前壁 1 例、下

* 大阪大学医学部第一内科

** 同 中央放射線部

*** 桜橋渡辺病院

受付: 59 年 6 月 25 日

最終稿受付: 59 年 8 月 6 日

別刷請求先: 大阪市福島区福島 1-1-50 (〒553)

大阪大学医学部第一内科心研センター

金 奉 賀

壁3例, 心内膜下3例)は労作性狭心症を合併していた(MI-2群). 対象例に β ブロッカー, ジギタリス剤の服用例はなく, 亜硝酸剤, Ca拮抗剤は運動負荷の少なくとも12時間前に服用を中止した. なお, MI群では心筋梗塞発症から運動負荷試験までの期間は平均9か月(2か月~3年8か月)であった.

III. 方 法

1. 運動負荷試験

仰臥位自転車エルゴメータによる Symptom-limited 多段階運動負荷を行った. 負荷量は, 25 watt から開始し, 3~4分ごとに 25 watt ずつ増量し, 狭心痛, 呼吸困難, 下肢倦怠のいずれかの出現で運動負荷を終了した. 運動耐容能の低い4例では 12.5 watt から開始し, 3~4分ごとに 12.5 watt ずつ負荷を増量した. 運動負荷前および負荷中1分ごとに血圧, および, 12誘導心電図を記録し, 収縮期圧が 220 mmHg 以上に達した場合, 胸痛を伴わなくとも 0.2 mV 以上の ST 低下が出現した場合には負荷を終了した.

2. 心プールのイメージング法

^{99m}Tc -赤血球 in vivo 標識用ピロリン酸 10 mg 静注30分後に, 心拍出量計測のため, 右肘静脈より $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 15~20 mCi を急速静注し, 高感度コリメーターを装着したシンチカメラを左前斜位 45度方向から照準して first-pass 像を撮像した. 300 msec/フレームで 400 フレームのデータを収集し, 3分間の計測休止後に最終希釈値を求めるため 10 sec のデータ収集を行った. $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 静注10分後に循環血液量の計測のために反対側の肘静脈より血液を採取した. この血液と患者に投与したのと同量の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を保存し, 24時間後に Well 型シンチレーションカウンターを用いてそれぞれの放射能を計測し, 希釈法の原理に基づいて循環血液量を求めた.

$^{99m}\text{TcO}_4^-$ 静注約15分後に, シンチカメラを両心室が最も明瞭に分離できる左前斜位 30~50°, 頭側 10° 方向から照準して安静時および運動負荷時の平衡時心電図 R 波同期マルチゲート心プー

ルイメージングを施行した. 安静時には 40 msec/フレーム, 400 心拍のデータをフレームモード収集した. 運動負荷中は各負荷レベルで血圧, 心拍数が安定する負荷開始1分後より, 心拍数が 100/分以下の時には 40 msec/フレーム, 250 心拍加算, 100/分以上の時は 30 msec/フレーム, 300 心拍加算のデータ収集を行った. また, 不整脈除去の目的でデータ収集開始直前の R-R 間隔 ± 150 msec を入力し, この整脈範囲から逸脱した心拍およびその次の心拍は計測から除外した. データ収集・処理には日立メディコ社製シンチカメラ(ガンマ・ビュー H)と, これにオン・ラインで接続した同社製 RI データ処理装置 HARP を用いた.

3. 心機能指標の計測法

安静時の心拍出量(CO)は Stewart-Hamilton 法の原理に基づいて, first-pass データより得られた右室関心領域(ROI)内の time-activity curve 下の面積(A), 循環血液量(TBV), 最終希釈値(cf)から次式を用いて求めた.

$$CO = 60 \cdot TBV \cdot cf / A$$

左室駆出率(EF)は, 左室拡張末期 ROI, 左室収縮末期 ROI をカット・オフ法により別個に設定し, それぞれの ROI 内のカウントを左室収縮末期 ROI の外側に設定したバックグラウンド ROI のカウントを補正して求めた⁷⁾.

安静時の一回拍出量(SV), 左室拡張末期容積(EDV), 左室収縮末期容積(ESV)は, CO, EF, 心拍数(HR)から次式より求めた.

$$SV = CO / HR, \quad EDV = SV / EF, \quad ESV = EDV - SV$$

以上の方法を用いて求めた左室容積は, 20例において2方向同時左室造影から Chapman 法⁸⁾より求めた左室容積との間に $r=0.89$ の良好な正相関を認めた (Fig. 1).

運動負荷時の左室容積は, 運動負荷時の左室 ROI 内カウントに対して, 安静時の計測から負荷時の計測までの時間の物理的減衰補正を行い, 補正後のカウントに安静時の容積・カウント比を適用して求めた.

以上の方法により求めた CO, SV, EDV, ESV は体表面積補正を行い, それぞれ, CI, SI, EDVI,

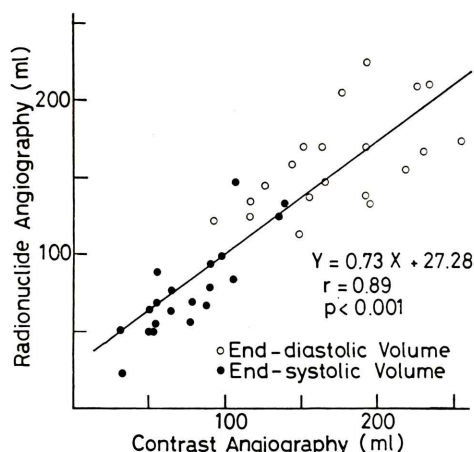


Fig. 1 Relations between radionuclide and contrast angiographic estimates of left ventricular volumes for 20 cases.

ESVI とした。

心収縮性の指標としてカフ圧より求めた収縮期最高血圧と ESVI の比 (P/V index) を用いた。

本研究では上記の心機能指標を安静時と最大運動負荷時で比較検討した。

IV. 結 果

1. 運動負荷による血行動態の変化 (Table 1)

N 群11例のうち10例は下肢倦怠のため、1例は

収縮期血圧が 220 mmHg を超えたため、運動負荷を終了した。N 群の心拍数は安静時 68 ± 9 /分 (平均 \pm S.D. 以下同様) から負荷時 109 ± 9 /分に増加し ($p < 0.001$), SI は安静時 48 ± 10 ml/m² から負荷時 59 ± 13 ml/m² に増加した ($p < 0.001$), CI も安静時 3.2 ± 0.6 l/min/m² から負荷時 6.4 ± 1.4 l/min/m² に増加した ($p < 0.001$).

MI-1 群18例のうち15例は下肢倦怠, 2例は胸痛を伴わない 0.2 mV 以上の ST 低下, 1例は収縮期血圧の 220 mmHg 以上の上昇で運動負荷を終了した。MI-1 群の心拍数は安静時 64 ± 11 /分から負荷時 106 ± 14 /分に増加し ($p < 0.001$), SI も 44 ± 9 ml/m² から 54 ± 16 ml/m² に増加した ($p < 0.001$). 安静時の CI は 2.7 ± 0.5 l/min/m² と N 群に比し低値 ($p < 0.05$) であったが, 負荷により 5.6 ± 1.6 l/min/m² に増加し, N 群の負荷時 CI とは有意差を認めなかった。

MI-2 群は全例 0.1 mV 以上の ST 低下を伴う狭心痛の出現により運動負荷を終了した。MI-2 群では心拍数は安静時 62 ± 10 /分から 91 ± 21 /分に増加したが ($p < 0.01$), SI は安静時 45 ± 6 ml/m² から負荷時 47 ± 12 ml/m² と有意な増加を認めなかった。CI は安静時 2.8 ± 0.4 l/min/m² と N 群に比べ低値の傾向を認めたが有意差はなかった。負荷により 4.3 ± 1.3 l/min/m² に増加したが ($p < 0.05$),

Table 1 Hemodynamic parameters at rest and during exercise in three patient groups

| | N | | MI-1 | | MI-2 | |
|-------------------------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|----------------|
| | R | Ex | R | Ex | R | Ex |
| BP (mmHg) | 131 \pm 14 | 180 \pm 25*** | 130 \pm 19 | 175 \pm 23*** | 151 \pm 17 | 181 \pm 26 |
| HR (bpm) | 68 \pm 9 | 109 \pm 9*** | 64 \pm 11 | 106 \pm 14*** | 62 \pm 10 | 91 \pm 21** |
| EF (%) | 62 \pm 7 | 72 \pm 4*** | 45 \pm 11 | 47 \pm 15 | 60 \pm 7 | 50 \pm 10* |
| EDVI (ml/m ²) | 78 \pm 12 | 83 \pm 18 | 102 \pm 26 | 121 \pm 41** | 76 \pm 13 | 95 \pm 18* |
| ESVI (ml/m ²) | 30 \pm 7 | 24 \pm 7*** | 58 \pm 26 | 67 \pm 36* | 31 \pm 11 | 48 \pm 15** |
| SI (ml/m ²) | 48 \pm 10 | 59 \pm 13** | 44 \pm 9 | 54 \pm 16*** | 45 \pm 6 | 47 \pm 12 |
| CI (l/min/m ²) | 3.2 \pm 0.6 | 6.4 \pm 1.4*** | 2.7 \pm 0.5 | 5.6 \pm 1.6*** | 2.8 \pm 0.4 | 4.3 \pm 1.3* |
| P/V index (mmHg/ml/m ²) | 4.7 \pm 1.5 | 8.3 \pm 3.2*** | 2.7 \pm 1.2 | 3.5 \pm 1.2** | 4.9 \pm 1.6 | 3.8 \pm 1.4* |

Values are mean \pm SD

BP=systolic blood pressure, HR=heart rate, EF=ejection fraction, EDVI=end-diastolic volume index, ESVI=end-systolic volume index, SI=stroke index, CI=cardiac index.

Statistical comparisons (R vs. Ex): * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

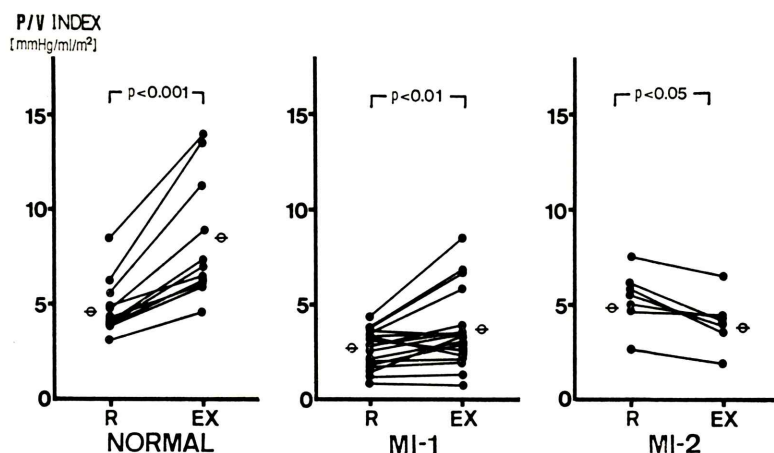


Fig. 2 Changes in P/V index at rest and during exercise in three patient groups.

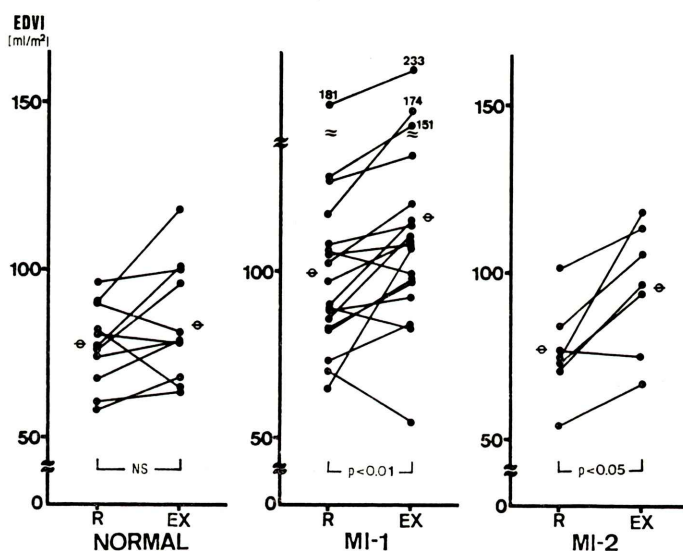


Fig. 3 Changes in end-diastolic volume index at rest and during exercise in three patient groups.

N 群の負荷時 CI に比べ低値であった ($p < 0.01$).

2. 運動負荷による P/V index の変化 (Fig. 2)

心収縮性の指標として用いた P/V index は、N 群では運動負荷により全例で増加した (安静時: 4.7 ± 1.5 mmHg/ml/m², 負荷時: 8.3 ± 3.2 mmHg/ml/m², $p < 0.001$). MI-1 群の安静時 P/V index は 2.7 ± 1.2 mmHg/ml/m² で N 群に比し有意に低値であり ($p < 0.05$), 運動負荷により 3.5 ± 1.2 mmHg/

ml/m² に有意に増加したが ($p < 0.01$), その増加度は N 群に比し有意に小さかった ($p < 0.001$). MI-2 群の安静時 P/V index は 4.9 ± 1.6 mmHg/ml/m² で N 群との間に有意差を認めなかったが, 狭心痛が出現した運動負荷時には, 3.8 ± 1.4 mmHg/ml/m² に有意に減少した ($p < 0.05$).

3. 運動負荷による EDVI の変化 (Fig. 3)

前負荷の指標である EDVI は、N 群では安静

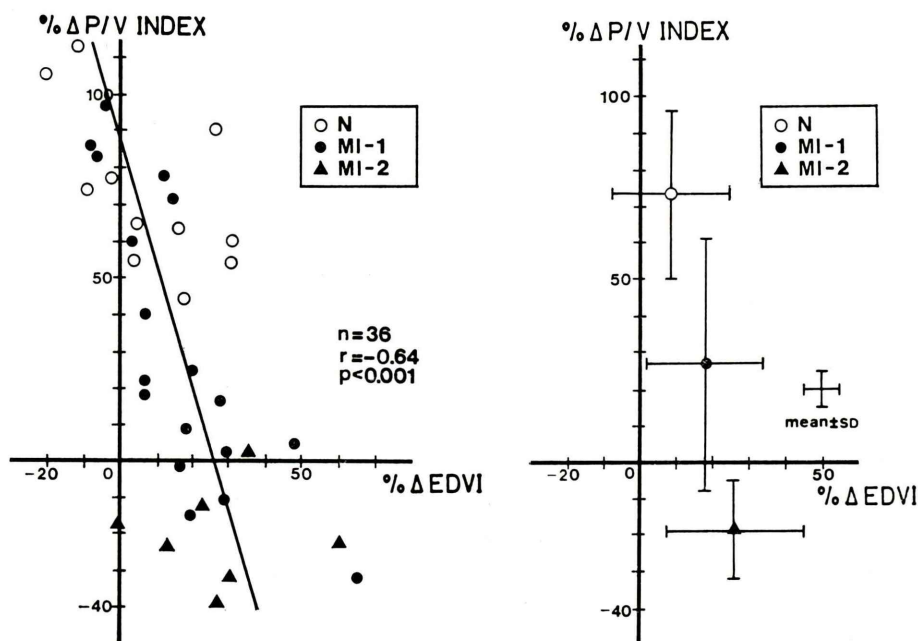


Fig. 4 Relations between percent changes in end-diastolic volume index (% Δ EDVI) and P/V index (% Δ P/V index) during exercise in three patient groups.

時 78 ± 12 ml/m² から負荷時 83 ± 18 ml/m² に増加傾向を認めたが有意な変化ではなかった。MI-1群の安静時 EDVI は 102 ± 26 ml/m² で N 群に比し有意に高値であり ($p < 0.05$)、運動負荷により 121 ± 41 ml/m² にさらに増加した ($p < 0.01$)。MI-2群の安静時 EDVI は 76 ± 13 ml/m² で N 群と有意差は認めなかったが、狭心痛が出現した運動負荷時には 95 ± 18 ml/m² に有意に ($p < 0.05$) 増加した。

4. P/V index と EDVI との関係 (Fig. 4)

全対象例の P/V index と EDVI の運動負荷による変化率 (安静時値に対する) を、それぞれ、% Δ P/V index, % Δ EDVI とすると、Fig. 4 に示すごとく両者には $r = -0.64$ の有意な負の相関を認めた ($p < 0.001$)。

V. 考 察

心筋梗塞患者の心機能評価には安静時のみならず、運動負荷時の心ポンプ予備能の評価が不可欠である。心ポンプ予備能は心拍数の増加および心

収縮性の予備能に大きく依存している。しかし、梗塞心のように心収縮性予備能の低下がある場合には、前負荷の増大、すなわち、F-S 機構により心ポンプ機能が維持されることが予測される。したがって、心ポンプ予備能の評価には、心収縮性とともに前負荷の動きを計測する必要がある。心臓カテーテル検査を施行すれば心収縮性を反映する指標としての max dp/dt, Vcf (円周短縮速度)、前負荷の指標として左室拡張末期圧または左室拡張末期容積を求めることができるが、侵襲的であり、運動負荷中の経時的データを得ることは困難である。M モード心エコー法を用いれば運動負荷時の左室径の経時的変化を観察することは可能であるが、梗塞心のように左室ジオメトリの異常がある場合には左室径は必ずしも左室容積を反映しない。そこで本研究では、左室ジオメトリの異常がある場合にも非侵襲的に左室容積変化を計測しうる RI 心プールのイメージング法を用い、心収縮性を反映する指標としての P/V index と、前負荷の指標としての EDVI を求め、心筋梗塞患者の

運動負荷時心ポンプ予備能の評価を試みた。

本研究では左室容積は、 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ をトレーサとする心放射図から求めた心拍出量と心プール法から求めた左室駆出率から算出した。心放射図から心拍出量を求める際には、循環血液量の測定が必要であり、 ^{131}I ヒト血清アルブミン (RISA) による方法が確立されている。著者らは $^{99m}\text{TcO}_4^-$ による循環血液量測定の妥当性を検討するため、5例で $^{99m}\text{TcO}_4^-$ と RISA を用いて循環血液量を計測したが、両法による循環血液量の差は僅少であり ($^{99m}\text{TcO}_4^-$: 4628 ± 498 ml, RISA: 4847 ± 407 ml), 本法による循環血液量, 心拍出量の測定が可能と考えた。

菅ら⁹⁾は犬の心臓を用いた圧・容積関係の解析から、左室収縮末期圧・容積点が同じ収縮性のもとでは直線関係にあり、その勾配、 E_{\max} が前負荷、後負荷の影響を受けない心収縮性の指標であることを示した。Grossman¹⁰⁾ ら、Mehmel ら¹¹⁾ は人においても左室収縮末期圧・容積直線の勾配が心収縮性を反映することを示した。 E_{\max} の計測には左室内圧を求めるために侵襲的手法が必要となるが、非侵襲的に簡便に計測できる指標として本研究でも用いた左室収縮期最高血圧と左室収縮末期容積の比が、左室機能をよく反映する指標であることが報告されている¹²⁾。

N 群では P/V index は運動負荷により全例で増加し、収縮性の増大が運動負荷時の心拍出量増加に寄与することを認めた。MI-1 群では安静時 P/V index が N 群より有意に低く、また運動負荷による増加率も N 群より低値であり、心筋梗塞の存在による心収縮性およびその予備能の低下が示唆された。狭心痛の出現で運動負荷を終了した MI-2 群では安静時 P/V index は N 群と有意差を認めなかったが、これは MI-2 群の安静時 EF が 7 例中 6 例で 50% 以上であったことから、小梗塞例が多数含まれていたことによると考えられた。MI-2 群では運動負荷により P/V index は安静時値に比し有意に減少した。この群では狭心痛の発現のため、他の 2 群より軽い負荷量で負荷を終了した例が多かったことも P/V index が増加しな

ったことの一因と考えられる。しかし、7 例中 6 例で逆に減少を示したことは、運動負荷により収縮性の増大が期待される非梗塞部心筋に、運動により新たに虚血が出現し、その部の収縮性が低下したことが主要な原因であると考えられる。

前負荷の指標である EDVI は N 群では運動負荷により増加する例、不変ないし減少する例が混在し、一定の傾向を示さず、平均値でみる限りにおいては健常群での運動負荷時 F-S 機構の関与は少ないと考えられた。Rushmer^{13,14)} らは意識犬を用いた実験で運動負荷時の SV はほぼ一定であり、左室径の変化を認めなかったことから、健常心での F-S 機構の関与は少ないと考えた。しかし、Horwitz⁵⁾ ら、Vatner¹⁶⁾ らは運動負荷時の血行動態は負荷量の影響を強く受け、最大運動負荷時には左室径、SV とも増加し、F-S 機構が作動することを示した。人においても運動負荷時の F-S 機構の関与に関する報告は多いが、左室容積計測法、運動体位、運動負荷量などに差異があり、左室拡張末期容積は増加するという報告^{3,17,18)}、不変ないし減少するという報告^{1,19,22)}があり、いまだ一定の結論が得られていない。MI-1 群の EDVI は安静時から N 群より有意に高く、運動負荷により有意に増加した。この群の P/V index が安静時から N 群より低く、また負荷による増加も少なかったことから考えると、この群では安静時から心収縮性の低下が高度であり、またその予備能も障害されているため、前負荷の増大、すなわち、F-S 機構の作動によって運動負荷時の心拍出量増加を保障したものと思われる。MI-2 群は小梗塞例が多かったため、安静時 EDVI は P/V index と同様、N 群と有意差がなかったが、狭心痛が発現し P/V index が減少した運動負荷時には EDVI は著明に増加した。この群でも心筋虚血に伴う心収縮性の低下に対応して、F-S 機構が作動したと考えられるが、左室拡張末期容積の増大は心筋虚血をさらに増悪させ¹⁾、心収縮性を低下させて心ポンプ機能をさらに悪化させた可能性がある。

本研究では心筋梗塞患者を運動負荷時の狭心痛

出現の有無により2群に分類したが、心筋梗塞患者の心ポンプ予備能は、この非梗塞部心筋への冠血流予備能のみならず、梗塞巣の大きさ、形態、非梗塞部心筋の性状など多くの因子により左右される。しかし、全対象例の% $\Delta P/V$ index と % $\Delta EDVI$ に有意な負の相関を認めたことは、心収縮性の増加に制限がある症例では、運動負荷などの急速な心拍出量増加要請に際し、F-S 機構が作動して代償することを示している。したがって、臨床的に心ポンプ予備能を評価する場合、単に心拍出量から評価するだけでなく、心拍出量を規定する前負荷と心収縮性の両予備能の相対的な寄与度を観察すべきと考えられる。

VI. ま と め

(1) 心筋梗塞患者の運動負荷時心拍出予備能を平衡時マルチゲート心プールのイメージング法を用いて評価した。

(2) 心収縮性の指標として P/V index (収縮期最高血圧/左室収縮末期容積係数) を計測した。

(3) 運動負荷により P/V index の増加率が低いほど、前負荷の指標である $EDVI$ は増加する傾向を認めた。

(4) 以上より、心収縮性予備能の低下した梗塞心では、前負荷増大による F-S 機構の作動によって、運動負荷時の心拍出量増加を保障することが示唆された。

本研究の遂行にあたりご協力頂いた中央放射線部の久住佳三氏、大森英史氏、中村幸夫氏に深謝いたします。

文 献

- Sharma B, Goodwin JF, Raphael MJ, et al: Left ventricular angiography on exercise: A new method of assessing left ventricular function in ischemic heart disease. *Br Heart J* 38: 59-70, 1976
- 福井須賀男, 佐藤秀幸, 扇谷信久, 他: 心筋梗塞症における運動負荷時の左室ポンプ機能の評価. *心臓* 13: 688-693, 1981
- Rerych SK, Scholtz PM, Newman GE, et al: Cardiac function at rest and during exercise in normals and in patients with coronary heart disease: Evaluation by radionuclide angiography. *Ann Surg* 187: 449-464, 1978
- Peter CA, Jones RH: Effects of isometric handgrip and dynamic exercise on left ventricular function: *J Nucl Med* 21: 1131-1138, 1980
- Slutsky R, Karliner J, Gerber K, et al: Peak systolic blood pressure/end-systolic volume ratio: Assessment at rest and during exercise in normal subjects and patients with coronary heart disease. *Am J Cardiol* 46: 813-820, 1980
- Dehmer GJ, Lewis SE, Hillis LD, et al: 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
- 山本浩二, 石田良雄, 松本正幸, 他: Multiple gated cardiac pool imaging 法による左室駆出分画測定精度に関する検討: Variable ROI 法の有用性. *J Cardiology* 12: 461-470, 1982
- Chapman CB, Baher O, Reynolds J, et al: Use of biplane cine fluorography for measurement of ventricular volume. *Circulation* 18: 1105-1117, 1958
- Suga H, Sagawa K: Load independence of the instantaneous pressure-volume ratio of the canine left ventricle and effects of epinephrine and heart rate on the ratio. *Circ Res* 32: 314-322, 1973
- Grossman W, Braunwald E, Mann T, et al: Contractile state of the left ventricle in man as evaluated from end-systolic pressure-volume relation. *Circulation* 56: 845-852, 1977
- Mehmel HC, Stockings B, Ruffmann KM, et al: The linearity of the end-systolic pressure-volume relationship in man and its sensitivity for assessment of left ventricular function. *Circulation* 63: 1216-1223, 1981
- Nivatpumin T, Kats 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
- Rushmer RF, Smith O, Eranklin D: Mechanism of cardiac control in exercise. *Circ Res* 7: 620-627, 1959
- Rushmer RF: Constancy of stroke volume in ventricular responses to exertion. *Am J Physiol* 196 (4): 745-750, 1959
- Horwitz LS, Atkins JM, Leshin SJ: Role of the Frank-Starling mechanism. *Circ Res* 31: 868-875, 1972
- Vatner SF, Franklin D, Higgins CB, et al: Left ventricular responses to severe exertion in untethered dogs. *J Clin Invest* 51: 3052-3060, 1972
- Weiss JL, Weisfeldt ML, Mason SJ, et al: Evidence

- of Frank-Starling effect in man during severe semisupine exercise. *Circulation* **59**: 655-661, 1979
- 18) Poliner LR, Dehmer GJ, Lewis SE: Left ventricular performance in normal subjects: A comparison of the responses to exercise in the upright and supine positions. *Circulation* **62**: 528-534, 1980
 - 19) Stein RA, Michelli D, Fox ED, et al: Continuous ventricular dimensions in man during exercise and recovery: An echocardiographic study. *Am J Cardiol* **41**: 655-660, 1978
 - 20) Gorlin R, Cohen LS, Elliot WC, et al: Effect of supine exercise on left ventricular volume and oxygen consumption in man. *Circ Res* **32**: 361-371, 1965
 - 21) Slutsky R, Karliner J, Ricci D, et al: Response of left ventricular volume to exercise in man assessed by radionuclide equilibrium angiography. *Circulation* **60**: 565-571, 1979
 - 22) Matsumoto M, Hanrath P, Kremer P, et al: Evaluation of left ventricular performance during supine exercise by transesophageal M-mode echocardiography in normal subjects. *Br Heart J* **48**: 61-66, 1982

Summary

An Analysis of Cardiac Reserve Mechanism during Supine Bicycle Exercise in Patients with Myocardial Infarction: Evaluation by Multi-gated Radionuclide Angiography

Bonga-Ha KIM*, Yoshio ISHIDA*, Yutaka TSUNEOKA*, Toshihiko HIRAOKA*, Masakatsu FUKUSHIMA*, Masayuki MATSUMOTO*, Michitoshi INOUE*, Hiroshi ABE*, Kazufumi KIMURA** and Takazo MINAMINO***

*The First Department of Medicine,

**The Division of Nuclear Medicine, Osaka University Medical School, Osaka

***Sakurabashi Watanabe Hospital, Osaka

To evaluate the function of cardiac reserve mechanism during supine bicycle exercise (Ex) in patients (pts) with myocardial infarction (MI), multi-gated radionuclide angiography was performed at rest and during maximal Ex in 25 pts with MI and 11 normals (N). Twenty five pts with MI consisted of 2 groups, 18 pts (MI-1) without and 7 pts (MI-2) with effort angina. Myocardial contractility was estimated from P/V index, peak systolic pressure/end-systolic volume index. There was no significant difference in cardiac index, blood pressure and heart rate during Ex between N and MI-1, but the increases in these parameters in MI-2 were less than in N. In N, P/V index significantly increased (4.7 ± 1.5 to 8.3 ± 3.2 mmHg/ml/m², $p < 0.001$) without significant increases in end-diastolic volume index (EDVI) (78 ± 12 to

83 ± 18 ml/m², NS). In MI-1, P/V index moderately increased from 2.7 ± 1.2 to 3.5 ± 1.2 mmHg/ml/m² with significant increases in EDVI (102 ± 26 to 121 ± 41 ml/m², $p < 0.01$). In MI-2, P/V index significantly decreased from 4.9 ± 1.6 to 3.8 ± 1.4 mmHg/ml/m² with increases in EDVI (76 ± 13 to 95 ± 18 ml/m², $p < 0.05$) during anginal attack. There was an inverse correlation between changes in EDVI and P/V index during Ex ($r = 0.64$).

These results indicate that in pts with limited augmentation of myocardial contractility (P/V index), increases in cardiac output during Ex may be executed by increasing EDVI, as an index of preload, and heart rate.

Key words: Multi-gated radionuclide angiography, Myocardial infarction, Cardiac reserve, P/V index, Preload.