

## [原著] 運動負荷による虚血性心疾患の心予備能評価

水 野 毅\*

(昭和60年9月27日受付)

### 要 旨

健常60例および前壁心筋梗塞46例, 労作性狭心症26例を対象に臥位自転車エルゴメーターを用いた多段階運動負荷を行い, 運動中の血行動態を測定した。運動負荷は自覚的最大まで行うことを原則としたが, 虚血性心疾患では, 胸痛および0.2mV以上のST偏位出現時に中止とした。運動中は, 血圧, 心拍数, 色素稀釈法による心拍出量, 左室収縮期時相分析値 STI, RI法を用いた核聴診器による左室駆出分画および肺動脈圧を測定した。

その結果, (1) 血圧は運動とともに上昇したが, 左心機能の極端に悪い例で収縮期血圧の進行性低下を認めた。虚血性心疾患で, 運動中の拡張期血圧が105mmHg以上に上昇する例が多かった。(2) 虚血性心疾患で, 心係数や一回拍出係数の増加度が低かった。(3) 駆血期 ETは, 健常と虚血性心疾患に差はなかった。しかし, 虚血性心疾患では, 前駆血期 PEPの早期横ばい傾向と ET/PEPの早期低下傾向を示した。(4) 左室駆出分画は, 健常では運動中上昇したが, 虚血性心疾患では, 運動初期より低下傾向を示した。(5) 運動中の肺動脈圧の上昇度は, 重症例で強かった。以上の内, 特に, 運動中の拡張期血圧の上昇度, 一回拍出係数, ET/PEPおよび左室駆出分画の変化パターンをみることにより, 虚血性心疾患の心予備能を評価することが可能であると思われた。

**Key words:** 自転車エルゴメーター, 前壁心筋梗塞, 労作性狭心症, 心係数, 一回拍出係数, 左室収縮期時相分析値, 左室駆出分画, 肺動脈圧

**略語一覧:** IHD: ischemic heart disease, CI: cardiac index, SI: stroke index, STI: systolic time intervals, ET: ejection time, PEP: preejection period, EF: ejection fraction, PAP: pulmonary arterial pressure

### I. はじめに

虚血性心疾患の診断に負荷心電図は不可欠であり, その重要性は広く認められている。しかし, 心電図の sensitivity は60~70%台<sup>1,2)</sup>であり, STの低下度と重症度が必ずしも相関するとは限らず, また, 心電図のみでは, 心予備能の評価や運動能の決定などには限界がある。一方, 虚血性心疾患における安静時の血行動態は, 重篤なもの以外, 正常範囲内に保たれている場合が多い。従って, 運動負荷を加えて初めて, 潜在的な病態異常を明らかにし, 心予備能を評価することが可能となる。本研究は, 臥位自転車エルゴメーターを用いて最大

負荷を行い, 運動中の血行動態を測定し, それらが心予備能評価の指標として有用であるか否かを検討することである。

### II. 対象および方法

#### 1. 対象

対象は, 30歳から65歳の健常男子60例, 40歳から65歳の前壁梗塞46例と労作性狭心症26例である。健常群の内, 運動20分まで可能であった29例(41.3±8.4歳)を健常A群, 16分まで可能であった31例(43.0±8.6歳)を健常B群とした。前壁梗塞では, 運動12分の15例(54.3±8.9歳)をI群, 運動8分の21例(51.8±10.8歳)をII

\* 千葉大学医学部第3内科学教室, 現在所属 社会保険船橋中央病院内科

Takeshi MIZUNO: Evaluation of the Cardiovascular Function by Exercise Stress Testing in Patients with Ischemic Heart Disease.

The 3rd Department of Internal Medicine, School of Medicine, Chiba University, Chiba 280.

Received for publication, September 27, 1985.

群, 運動4分の10例 (49.5±6.7歳) をⅢ群とした。同様に, 労作性狭心症では, 運動8分の11例 (49.0±6.7歳) をⅠ群, 運動4分の15例 (55.7±8.2歳) をⅡ群とした。

虚血性心疾患の選択基準は, 心機能評価を目的とすることを考慮して, (1) 40歳から65歳の男性。(2) 心筋梗塞は前壁梗塞で2カ月以上経過していること。狭心症は労作性であること。(3) 運動負荷開始直前に心不全徴候のないこと。(4) 運動負荷前, 中, 後で血圧, 心電図, 心拍出量および左室収縮期時相分析値 STI を同時に測定してあることとした。

## 2. 方法

方法は, 定量負荷型自転車エルゴメーターを用い, 仰臥位で多段階漸増負荷法を施行した。負荷量は, 最初の4分間は1.0W/Kg を行い, その後は4分毎に0.25W/Kg づつ増量した。運動前および中に心電図, 心音図, 頸動脈脈波を SIEMENS-ELEMA 社製 MINGOGR-AF 81を用いて同時記録した。心電図は, 運動中も標準12誘導を記録し判定した。心音は胸骨左縁第3肋間にマイクを置き, 頸動脈脈波は直径2cm の pick-up を手にもち採取した。心拍出量の測定は色素稀釈法により, 日本光電社製 cardiac output computer MLC-4100を用いイヤーピース法で求めた。なお, イヤーピース法で求めた心拍出量は Cuvette 法でもとめたものと安静時  $r = 0.92$  ( $P < 0.001$ ), 運動時  $r = 0.89$  ( $P < 0.001$ ) のよい相関があった<sup>3)</sup>。一部の例には, 左室駆出分画を <sup>99m</sup>Tc20mCi を用いる RI 法により BIOS 社製核聴診器 nuclear stethoscope model 3000<sup>4)</sup> を使用して4分毎に測定した。また, 虚血性心疾患については, 経静脈的に肺動脈に Swan-Ganz カテーテルを挿入し, 運動中の肺動脈圧を測定した。運動は自覚的最大まで行うことを原則としたが, 次の所見が認められた場合には中止した。(1) 血圧: 運動中の血圧が250/130mmHg 以上の上昇や収縮期血圧の進行性低下を認めた場合。(2) 心電図: 虚血性 ST 偏位, すなわち S 波より0.08秒の時点で0.2mV 以上の偏位, 心室性頻拍性不整脈, 心房性頻拍性不整脈, 第2度以上の房室ブロックが出現した場合。(3) 症状: 狭心痛, 病的な息切れ, 失神, 意識障害が出現した場合。(4) 徴候: チアノーゼ, 顔面蒼白, 冷汗が出現した場合 (表1)<sup>5)</sup>。

## III. 結 果

1. 心電図: エルゴメーターによる負荷心電図の陽性判定基準を S 波より0.08秒の時点で0.1mV 以上の ST 低下および0.2mV 以上の ST 上昇とすると, 前壁梗塞Ⅰ群では, ST 低下5例 (33%), 不変7例 (47%), 上昇3例 (20%), Ⅱ群では ST 低下9例 (43%), 不変8

表 1. 運動負荷中止基準

1) 血 圧
① 250/130 mmHg 以上
② 収縮期血圧の進行性低下
2) 心電図
① 虚血性 ST 偏位 S 波より 0.08 秒にて 0.2 mV 以上の偏位
② 不整脈 心室性頻拍性不整脈 心房性頻拍性不整脈 第 2 度以上の房室ブロック
3) 症 状
狭心痛, 病的な息切れ, 失神, 意識障害
4) 徴 候
チアノーゼ, 顔面蒼白, 冷汗

例 (38%), 上昇5例 (24%), Ⅲ群では ST 低下8例 (80%), 上昇2例 (20%) であった。負荷時間の短い群で ST の低下する割合が大きかった。労作性狭心症では, 全例 ST は低下した。

2. 中止理由: 運動の中止理由では, 前壁梗塞Ⅰ群で, 下肢の疲労13例, ST 低下2例, Ⅱ群では, 下肢の疲労10例, ST 低下4例, 胸痛3例, 血圧上昇2例, 心室頻拍1例, 呼吸困難感1例, Ⅲ群では, 胸痛6例, 血圧低下3例, ST 上昇1例であった。労作性狭心症Ⅰ群では, 胸痛5例, ST 低下4例, 下肢の疲労2例, Ⅱ群では, 胸痛9例, 血圧低下5例, ST 低下1例であった。胸痛で中止した頻度は, 負荷時間の短い群に多く, 運動中に血圧の低下したものは全例4分終了群であった。

3. 血圧: 図1のように, 健常A群の安静時血圧は  $130.2 \pm 14.6 / 83.5 \pm 8.2$  mmHg であり, 最大運動20分で  $211.7 \pm 23.9 / 100.5 \pm 13.8$  mmHg と上昇した。健常B群では, 安静時血圧が  $126.7 \pm 14.4 / 81.3 \pm 9.5$  mmHg が<sup>2)</sup>, 最大運動16分で  $205.9 \pm 24.4 / 101.8 \pm 13.7$  mmHg と上昇した。心筋梗塞Ⅰ群, Ⅱ群では, 運動中の収縮期血圧は, 健常群と差異を認めなかったが, 拡張期血圧は高い傾向にあった。心筋梗塞Ⅲ群では, 運動中血圧低下を示した例が, 10例中3例に認め, その上昇度は健常群より低かった。しかし, 血圧低下例を除くと健常群と差異を認めなかった。労作性狭心症では, 安静時血圧がⅠ群  $152.9 \pm 25.3 / 94.7 \pm 12.7$  mmHg, Ⅱ群  $144.6 \pm 21.6 / 87.8 \pm 11.8$  mmHg と高く, 運動中は, Ⅰ群で収縮期血圧, 拡張期血圧両者で有意に高かった。Ⅱ群では, 血圧低下を15例中5例に認めたため, 平均値としては運動中の上昇度は低かった。しかし, 血圧低下例を除いてみると, 労作性狭心症Ⅰ群と同様, 収縮期血圧, 拡張期血圧

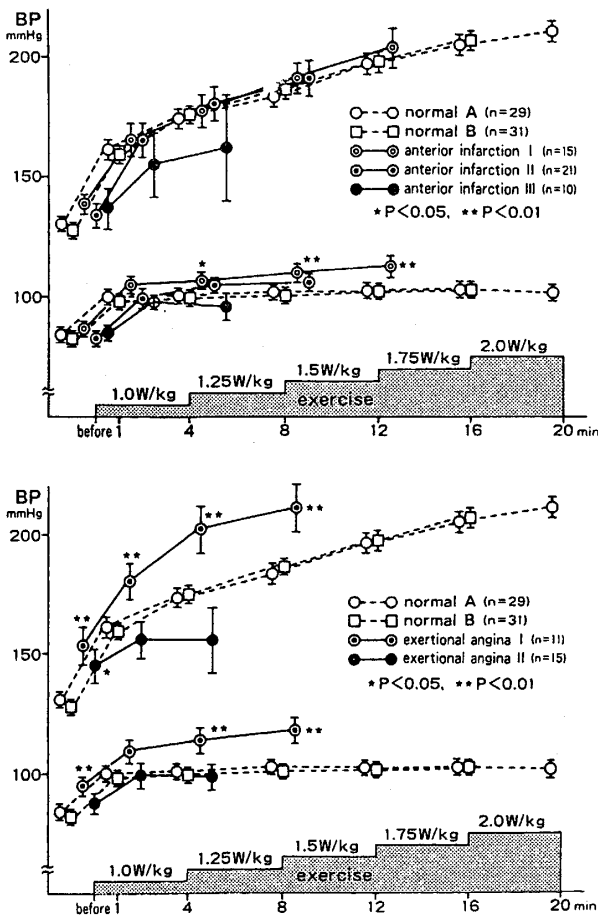


図 1. 多段階運動負荷中の血圧の変化

上段：健常と前壁梗塞，下段：健常と労作性狭心症。normal A：健常20分終了群，normal B：健常16分終了群，anterior infarction I：前壁梗塞12分終了群，anterior infarction II：前壁梗塞8分終了群，anterior infarction III：前壁梗塞4分終了群，exertional angina I：労作性狭心症8分終了群，exertional angina II：労作性狭心症4分終了群

両者の上昇度は健常群に比し大きかった。

4. 心拍数：図2のように、健常A群での最大心拍数は、運動20分で165/分、健常B群では、運動16分で161/分に達した。健常A群は、B群に比し同じ負荷量に対し少ない心拍数で反応した。これは、健常A群に鍛練者が多いためと思われる。虚血性心疾患では、前壁梗塞II群で高く反応した以外差はなかった。

5. 心係数：図3のように、心係数は運動とともに増加し、健常A群では、安静時3.3l/min/m<sup>2</sup>が運動20分で最大9.6l/min/m<sup>2</sup>に増加した。虚血性心疾患では、その増加度は健常群に比し小さい傾向にあったが、労作性狭心症II群以外、有意差はなかった。最も重症の4分終了群でも、心係数は有意に増加した。

6. 一回拍出係数：図4のように、一回拍出係数は健

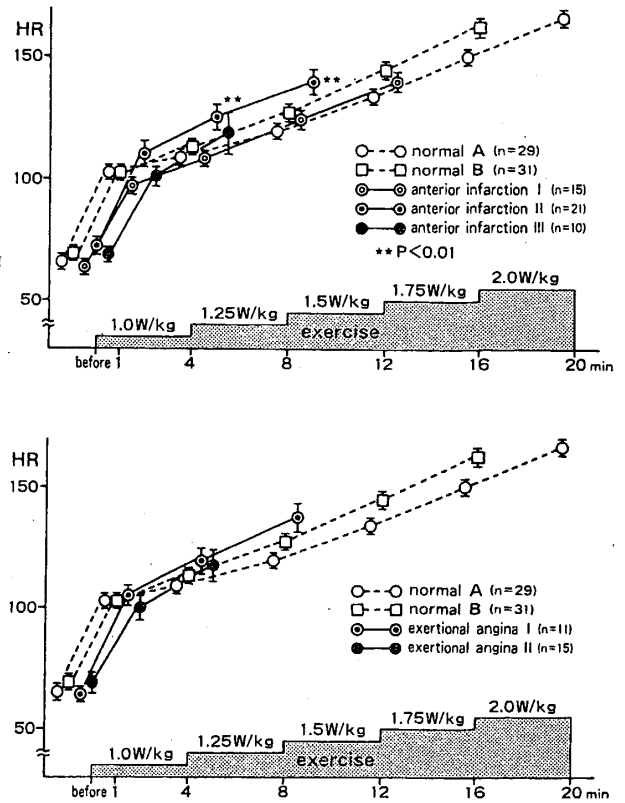


図 2. 多段階運動負荷中の心拍数の変化

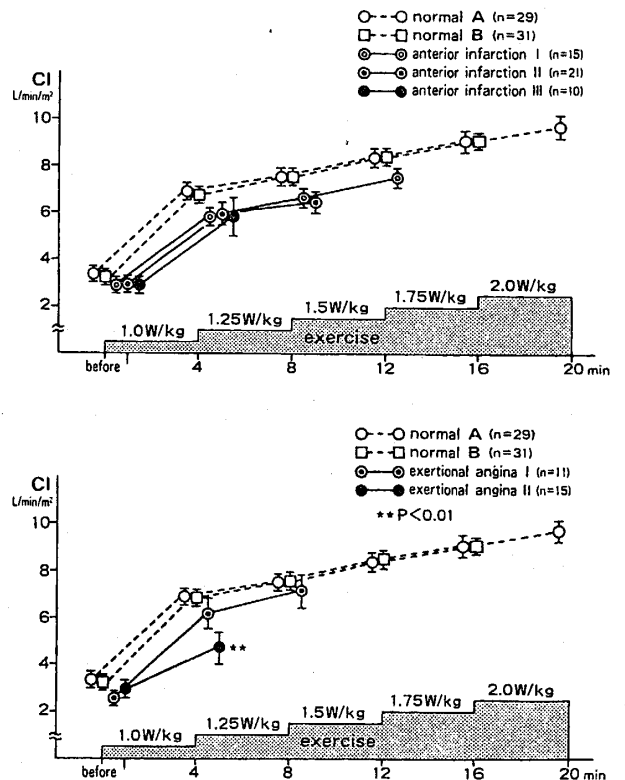


図 3. 多段階運動負荷中の心係数の変化

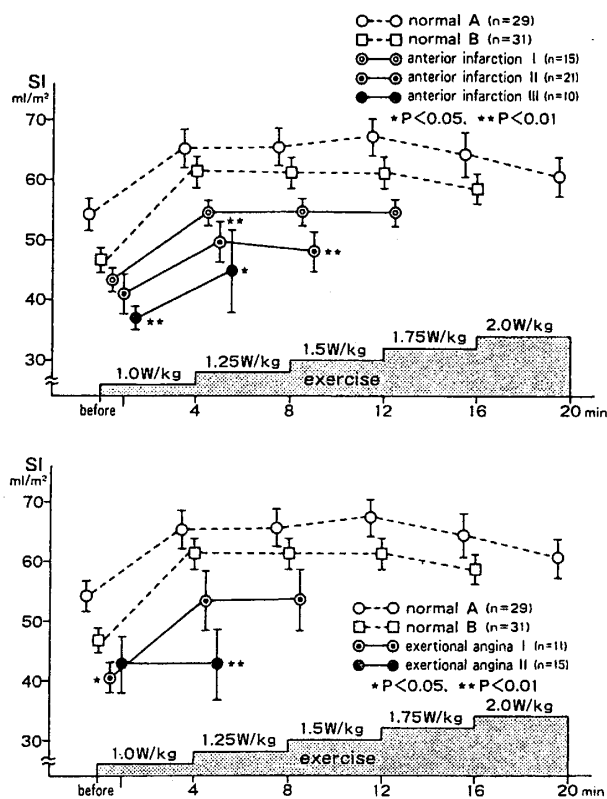


図 4. 多段階運動負荷中の一回拍出係数の変化

常群では運動とともに増加し、健常A群で53.9ml から66.8ml と20.8%、健常B群では46.3ml から61.1ml と32.0%増加したが、運動時間で12分、心拍数で約130/分を越える時点より減少傾向を示した。虚血性心疾患でも運動とともに増加したが、同一負荷量における増加度は健常群より小であり、特に労作性狭心症II群では横ばい傾向であった。

7. STI: STIについてみると、駆血期 ET は図5のように、運動の増しにつれて短縮した。虚血性心疾患では、健常群よりわずかに短縮度が強いようであるが、運動中のETを心拍数に対する係数を1.54として補正したETcには両群間に差を認めなかった。前駆血期 PEPは、図6のように健常群では8~12分で横ばい傾向となるのに、虚血性心疾患では早期に横ばい傾向を認め、特に4分終了群に顕著であった。ET/PEPは、図7のように健常群では運動4~8分に最高値をとり12分以後で低下した。虚血性心疾患では1~4分に最高値をとり、それ以後で低下した。また、健常群に比し運動前・中とも低値を示した。

8. 左室駆出分画 (EF): 核聴診器を用いて運動中のEFを測定した。対象は、健常6例、運動8分終了の虚血性心疾患 (IHD I群) 8例、運動4分終了の虚血性心疾患 (IHD II群) 8例である。図8上段のように、健常

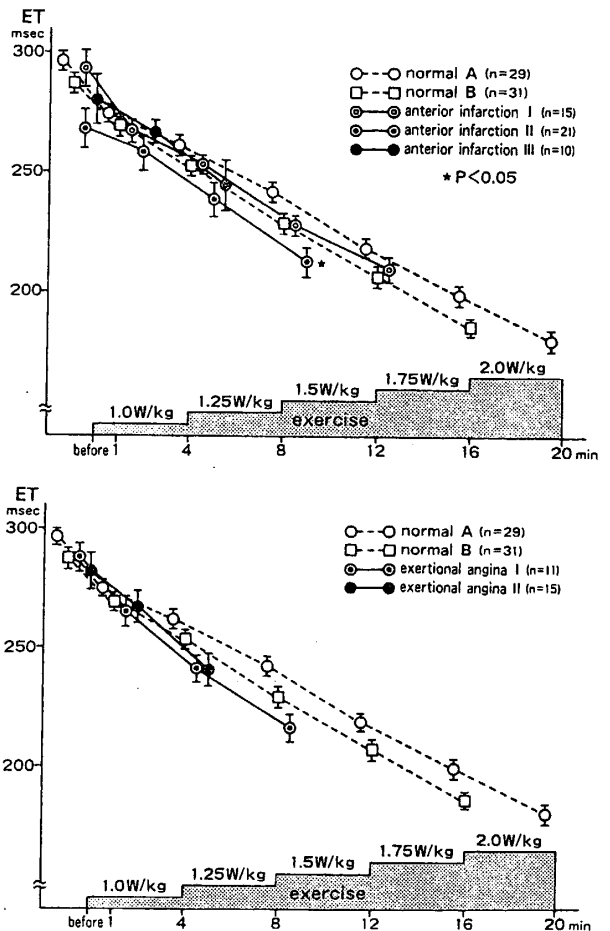


図 5. 多段階運動負荷中の駆血期 ET の変化

群では、運動とともに徐々に増加し、12分で横ばい、ないし、軽度低下を示した。一方、虚血性心疾患では、健常群に比し低下し、特に運動中止時のEFは著明に低下し健常群とは対照的であった。また、IHD群を、前壁梗塞と労作性狭心症に分け、運動中のEFを比較したが、図8下段にみるように両群間に差はなかった。

9. 肺動脈圧 (PAP): 虚血性心疾患における運動中の肺動脈圧は、運動とともに上昇した。特に、4分終了群にその上昇度は顕著であった(図9)。

#### IV. 考案

負荷心電図は、日常の診療に広く利用されているが、女性では陽性・陰性と判定しえない equivocal を示す例が男性より多く<sup>6)</sup>、また、偽陽性率も高い<sup>7)</sup>。特に、運動負荷試験でST低下を認めるが、冠動脈造影にてまったく所見をみとめない syndrome Xは<sup>8)</sup>、中年女性に多く認められる。それゆえ、女性における負荷心電図の成績は、病態を正確に反映しない場合も考えられる。また、女性はエルゴメーターをスムーズに踏むことができず、そのため頸動脈脈波を正確に記録できない例も多く、か

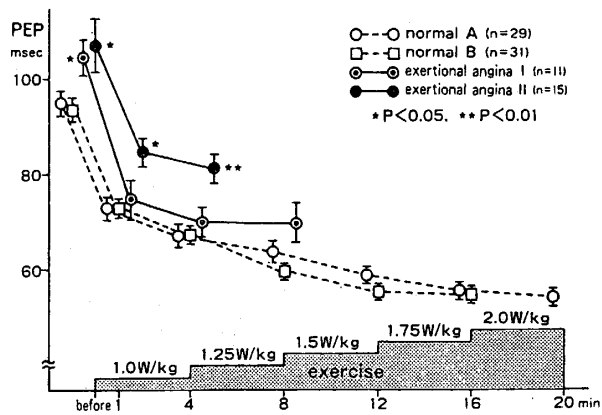
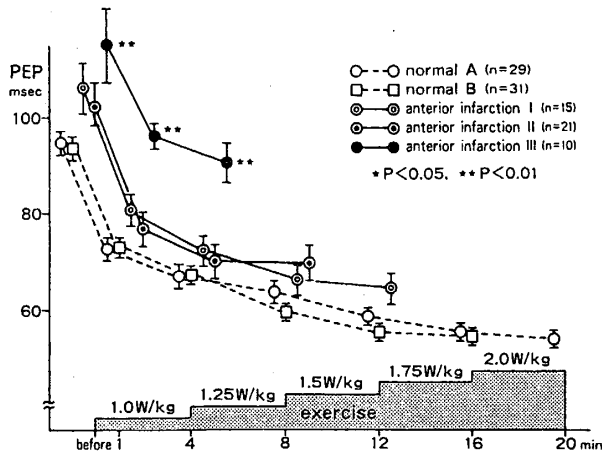


図 6. 多段階運動負荷中の前駆血期 PEP の変化

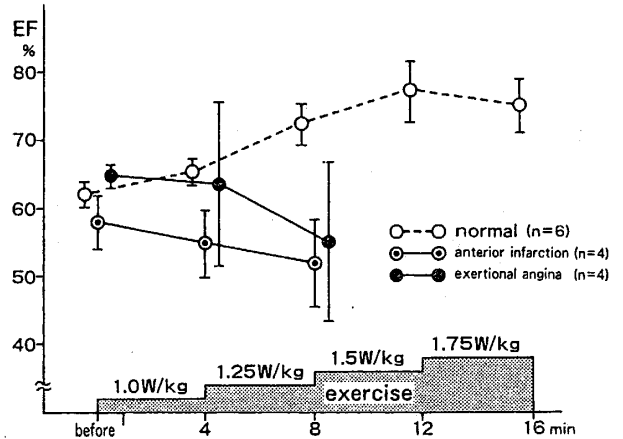
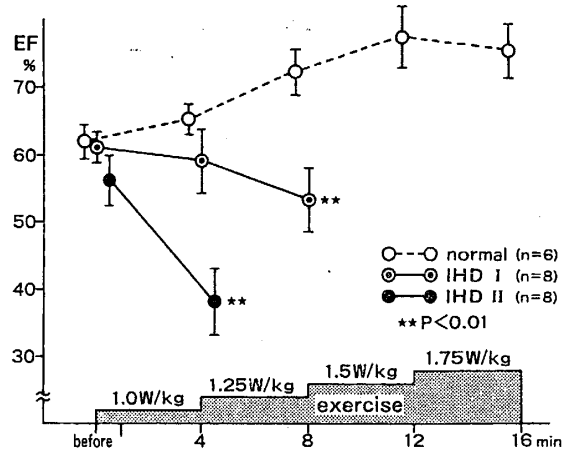


図 8. 多段階運動負荷中の左室駆出分画 EF の変化

IHD I : 虚血性心疾患 (前壁梗塞+労作性狭心症) 8分終了群, IHD II : 虚血性心疾患 (前壁梗塞+労作性狭心症) 4分終了群

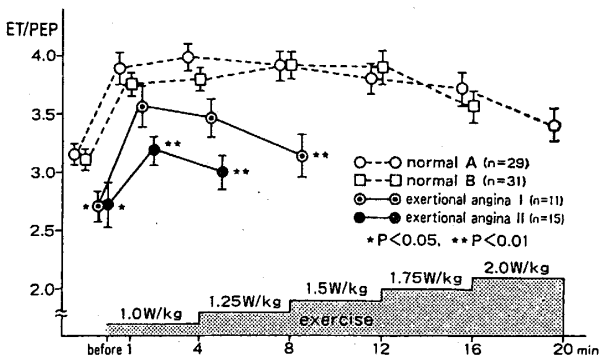
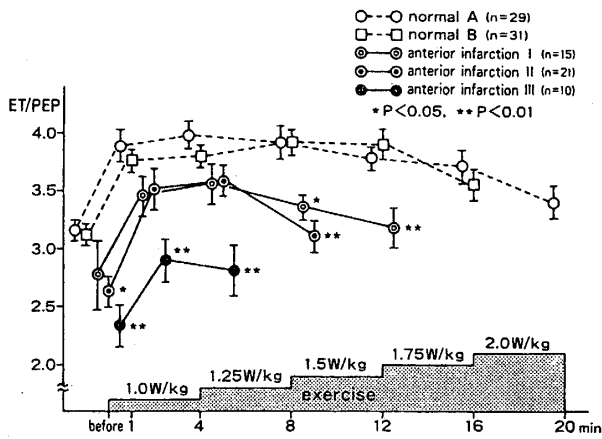


図 7. 多段階運動負荷中の ET/PEP の変化

つ、女性の虚血性心疾患の絶対数の少ないことから、今回の成績は、女性を除外し男性のみを対象とした。

虚血性心疾患における安静時の血行動態は、重症例を除いてほぼ正常に保持されていることが多い。心筋梗塞では、梗塞により壊死に陥った部分に左室壁運動異常が存在する。労作性狭心症では、安静時左室壁運動は正常であるが、運動負荷を加えると ST が低下しその部位に一致して虚血による左室壁運動異常が生じる。これら非可逆的と可逆的の二種類の壁運動異常が、運動中の血行動態的異常に大きく反映する。

まず、心拍数についてみると、臥位自転車エルゴメーターでの最大心拍数は、Bar-Shlomo ら<sup>9)</sup>の154/分 (平均年齢28歳) から Poliner ら<sup>10)</sup>の172/分 (平均年齢26歳) と報告されている。トレッドミルでの最大心拍数は、Ellestad ら<sup>11)</sup>の40歳で182/分, Bruce and Hornsten<sup>12)</sup>の40歳で184/分である。一般に、坐位自転車エルゴメーターは、臥位より最大心拍数が約10/分多く、トレッドミル

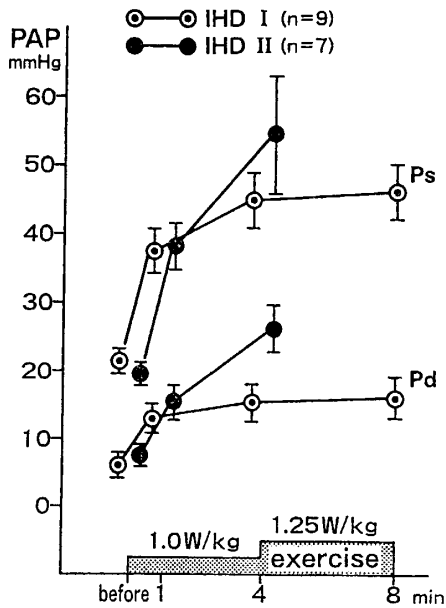


図 9. 多段階運動負荷中の肺動脈圧 PAP の変化  
 IHD I: 虚血性心疾患 (前壁梗塞+労作性狭心症) 8分終了群, IHD II: 虚血性心疾患 (前壁梗塞+労作性狭心症) 4分終了群, Ps: 収縮期肺動脈圧, Pd: 拡張期肺動脈圧

では約20/分多いといわれており、より多くの筋肉を使う運動様式でより高く反応すると思われる。今回の成績での最大心拍数は160/分台であり、平均年齢および運動様式よりみて、健常群においては最大心拍数に達したと判断した。虚血性心疾患での心拍数の反応は、同じ負荷量に対してやや高く反応し、健常群より強い負荷として反応した。Granath ら<sup>13)</sup>は、心筋梗塞発症3週と9週に運動負荷を行い、最大心拍数が130/分を越えるものは、越えないものに比しその予後が悪いと報告し、原因として一回拍出量や左心機能の低下をあげている。反対に、重症例には、少数例であるが、運動に対する心拍数応答の悪い例が存在する。左冠動脈主幹部病変では、最大心拍数が125/分以上に上昇する例は23%にすぎず、運動に対する心拍数の反応の低下とその予後の不良も報告されている<sup>14)</sup>。今回の成績でも、4分終了群では高く上昇するものと、上昇しないものの差が大きく、特に運動中の血圧低下例に心拍数の上昇が小さい傾向にあった。

運動中の血圧の反応は、虚血性心疾患で、特に拡張期血圧が高く反応した。拡張期血圧の上昇度は、健常A群20.5mmHg、健常B群17.0mmHgに対して、前壁梗塞I群25.0mmHg、II群23.3mmHg、労作性狭心症I群で22.4mmHgの上昇であった。また、健常群で運動中の拡張期血圧が105mmHg以上に上昇する例は22%であるのに対し、虚血性心疾患(運動8分と12分終了群)では60%と多かった。トレッドミルの場合には、拡張期

血圧が15mmHg以上の上昇例に有意な虚血性心疾患が多いと報告<sup>15)</sup>されている。今回の成績では、臥位エルゴメーターによる最大負荷試験で、拡張期血圧が105mmHg以上になるものには有意な虚血性心疾患があるともいえる。一方、4分終了群に運動負荷中に進行性血圧低下を示す例がある。この徴候は、多枝疾患や左冠動脈主幹部病変に多く<sup>16)</sup>、心ポンプ作用の破綻を示す指標と考えられる。Hammermeister ら<sup>17)</sup>によれば、運動中の血圧低下は、3枝疾患の15%、左冠動脈主幹部病変の15%、左室駆出分画が30%以下の12%と、その sensitivity は低いが、specificity は95%、93%、92%と高い。

一回拍出係数は、運動とともに増加し最大酸素摂取量の40~50%で最大に達するが、それ以上の運動負荷時の変化に定説はなく、減少<sup>18)</sup>、不変<sup>19)</sup>、増加<sup>20)</sup>との報告がある。今回の健常60例の結果では、一回拍出係数は運動開始とともに20~30%増加し、心拍数が約130/分を越える時点より軽度減少傾向を示した。Bruce ら<sup>21)</sup>は、坐位エルゴメーターを用いて測定し、心拍数が134/分を越えると減少するとし、今回の成績と同様な傾向を示している。また、虚血性心疾患では、一回拍出係数は運動とともに増加するが、健常群に比して増加度が小さく、かつ心拍数が104/分を越えると減少すると報告した。すなわち、虚血性心疾患では、健常群に比して心拍数が少なく負荷量の少ない時点で運動中の一回拍出係数の低下を認めた。

STI は、安静時心機能評価に臨床的に広く利用されている。安静時 STI は、一般的に心拍数、前負荷、後負荷、心筋収縮性の組合わせにより種々に変化するが、ET/PEP は、前負荷の増しにより上昇し、後負荷の増しにより低下、心筋収縮力の増しにより不変ないし上昇、心筋収縮力の減りと心拍出量の減りを伴った心不全では低下する。したがって、心の performance を推定するよい指標<sup>22)</sup>とされ、病態の経過観察や薬剤効果の判定等に応用されている。STI は、虚血性心疾患に対しても広く利用されているが<sup>23)</sup>、主に安静時のものである。運動中への STI の応用は、運動中に体外より頸動脈脈波を採取するという技術的困難さより、その報告は少ない。Nandi and Spodick<sup>24)</sup>は、健常例に50W、100W、150Wそれぞれ4分間の単一定量負荷を行い、STI を測定した。ET/PEP は運動中上昇したが、負荷量による差を認めなかったという。これは、4分間の単一定量負荷が中等度以下の負荷であり、最大負荷まで行っていないためと思われる。今回の成績でも、運動4分から12分までの ET/PEP はほぼ一定であった。Van Der Hoeven ら<sup>25)</sup>は、心拍数が100/分の時点の ET/PEP を、健常群と壁

運動異常を伴う虚血性心疾患と比較し、虚血性心疾患で ET/PEP の低下を認めた。しかし、これらの報告は、運動中の単一時点での観察であり、運動中経時的に測定した報告は、当教室の報告<sup>26)</sup>以外ほとんどみあたらない。運動中の ET/PEP の動きは、心拍数、一回拍出量、心筋収縮力が増す初期の段階では、ET/PEP は増加し、中等度の負荷で横ばい傾向を、最大負荷で低下する。運動中の ET/PEP の変化は、多分に一回拍出係数および左室駆出分画の変化パターンに似ている。安静時の ET/PEP と一回拍出係数<sup>27)</sup>および左室駆出分画<sup>28)</sup>の相関性は認められている。一方、運動中の両者の相関性を直接的に明らかにすることは技術的にははなはだ困難であるが、今回の成績では運動中の ET/PEP の低下傾向の出現にはほぼ一致して、一回拍出係数の減少と左室駆出分画の低下傾向が出現していた。これらのことより、虚血性心疾患での ET/PEP の早期低下傾向は、心の performance の低下傾向を示唆する所見と考えられた。

運動中の左室駆出分画の測定には、BIOS 社製核聴診器を用いた。核聴診器の使用により、運動中の左室駆出分画が簡便かつ経時的に測定でき、左心機能の診断に有用であった。核聴診器による左室駆出分画は、左室造影法のそれと  $r = 0.75$  ( $P < 0.01$ )、Multi-Gate 法と安静時  $r = 0.90$  ( $P < 0.001$ )、運動時  $r = 0.83$  ( $P < 0.001$ ) の相関<sup>29)</sup>があり日常診療には充分使用しえると思われる。健常では、運動中、左室拡張末期容量は減少あるいは不変<sup>30,31)</sup>、または増加、左室収縮末期容量は減少し、結局左室駆出分画は上昇する<sup>32)</sup>。虚血性心疾患では、左室拡張末期容量および左室収縮末期容量は増加し、左室駆出分画は低下する<sup>33)</sup>。Pfisterer ら<sup>34)</sup>は、1 枝疾患で、狭心症と心筋梗塞の左室駆出分画を比較し、狭心症では運動により 64.7% から 56.7% と低下を認めたが、心筋梗塞では、運動前が 41.9% と低下し、運動中は 42.7% と変化しなかったとのべている。今回の成績は、この結果とほぼ同じ傾向にあったものの、狭心症と心筋梗塞には有意差を認めなかった。これは、心筋梗塞群に狭心症例が合併し運動により ST が低下し新たな心筋虚血がおこり、左室駆出分画の低下した例が含まれているためと考えられる。

肺動脈拡張期圧、肺動脈楔入圧そして左室拡張末期圧<sup>35)</sup>は、左心機能を直接反映する重要なパラメーターであり、その相関性は広く認められている。そして、これらの上昇は、左心機能の過負荷を示すものと考えられている。今回の成績では、肺動脈収縮期圧・拡張期圧両者とも運動耐容能の少ない群で、運動中の上昇度が大であった。Hirzel ら<sup>36)</sup>は、臥位自転車エルゴメーター負荷前

後で左室拡張末期圧を測定し、健常群では 10mmHg から 12mmHg と不変であり、虚血性心疾患では 10mmHg から 33mmHg と上昇を認めている。また、Saltups ら<sup>37)</sup>は、運動時の左室拡張末期圧が 24mmHg 以上に上昇する例に傷害冠動脈病変数が多いと報告し、また、運動負荷時に狭心痛の出現する例に<sup>38)</sup>、運動中の左室拡張末期圧および肺動脈平均圧の上昇が大であり、肺動脈拡張期圧の上昇度が心機能の重症度を反映すると考えられる。

以上、臥位自転車エルゴメーターによる運動負荷試験の成績を検討した結果、虚血性心疾患では、運動負荷に耐えうる時間が短かく、運動に伴う拡張期血圧の上昇度が高く、心係数や一回拍出係数の増加度が低く、PEP の早期横ばい傾向と ET/PEP の早期低下傾向、左室駆出分画の早期低下傾向、肺動脈圧の上昇度が強いなどの傾向があった。特に、運動時の拡張期血圧の上昇度、一回拍出係数、ET/PEP および左室駆出分画の変化パターンをみることにより、虚血性心疾患の心予備能を評価することが可能であり、治療や予後の決定および生活指導上、極めて有用であると思われた。

稿を終るにあたり、御指導、御校閲を賜った千葉大学医学部第 3 内科教室稲垣義明教授に深甚なる謝意を捧げます。また研究に際し終始御教示、御鞭撻を戴いた斉藤俊弘講師に、深く感謝致します。さらに本研究に御協力いただいた虚血心および運動負荷グループの諸先生方に感謝致します。本論文の要旨の一部は、昭和 56 年第 22 回日本脈管学会総会、昭和 57 年第 19 回および昭和 58 年第 20 回日本臨床生理学会総会に発表した。本論文は審査学位論文である。

## SUMMARY

Sixty healthy subjects and seventy-two patients suffering from anterior myocardial infarction or with exertional angina pectoris were evaluated with a bicycle ergometer in the supine position. Multiphasic graded stress testing initiated with the workload of 1.0W/Kg, was increased by 0.25 W/Kg every four minutes and terminated at the appearance of subjective findings. The test was also terminated at the workload inducing ST changes of more than 0.2 mV in patients with ischemic heart disease. Blood pressure, heart rate, cardiac output measured by the dye dilution method, left ventricular ejection fraction using a nuclear stethoscope and pulmonary arterial pressure were recorded during exercise.

The following were the results. 1) Blood pressure was elevated from the initiation of exercise, but a failure to increase systolic blood pressure occurred in patients with severe left ven-

tricular dysfunction. Exercise-induced elevation in diastolic blood pressure more than 105mmHg occurred in most of the patients with ischemic heart disease. 2) The rate of increase in cardiac index and stroke volume index were reduced in patients with ischemic heart disease. 3) There was no difference in ejection time (ET) between normal subjects and patients with ischemic heart disease. Pre-ejection period (PEP) revealed a tendency to plateau at the initial stage of the exercise and the ratio of ET/PEP decreased at the initial stage of the exercise in patients with ischemic heart disease. 4) Left ventricular ejection fraction increased during exercise in normal subjects but decreased at an early stage of the exercise in patients with ischemic heart disease. 5) A marked increase of the pulmonary arterial pressure during exercise was observed in patients with more severe ischemic heart disease.

In conclusion, it was shown that the cardiovascular function in patients with ischemic heart disease could be evaluated on the basis of the increased diastolic blood pressure and the changing pattern of stroke volume index, the ratio of ET/PEP and left ventricular ejection fraction in exercise stress testing.

#### 文 献

- 1) Goldschlager, N., Selzer, A. and Cohn, K. : Treadmill stress tests as indications of presence and severity of coronary artery disease. *Ann. Int. Med.* **85**, 277, 1976.
- 2) Tonkon, M. J., Miller, R. R., DeMaria, A. N., Vismara, L. A., Amsterdam, E. A. and Mason, D. T. : Multifactor evaluation of the determinants of ischemic electrocardiographic response to maximal treadmill testing in coronary disease. *Am. J. Med.* **62**, 339, 1977.
- 3) 齊藤俊弘 : 血流測定の臨床——心拍出量測定, その信頼限界と適応——(3)各種心拍出量測定法の相関と再現性. *脈管学* **23**, 933, 1983.
- 4) Berger, H. J., Davies, R. A., Batsfort, W. P., Hoffer, P. B., Gottschalk, A. and Zaret, B. L. : Beat-to-beat left ventricular performance assessed from the equilibrium cardiac blood pool using a computerized nuclear probe. *Circulation* **63**, 133, 1981.
- 5) Kattus, A. A. : *Exercise Testing and Training of Individuals with Heart Disease or at High Risk for its Development: A Handbook for Physicians.* American Heart Association, 1975.
- 6) Linhalt, J. W. and Turnoff, H. B. : Maximum treadmill exercise test in patients with abnormal control electrocardiogram. *Circulation* **49**, 667, 1974.
- 7) Faris, J. V., McHenry, P. L. and Morris, S. N. : Concepts and application of treadmill exercise testing and the electrocardiogram. *Am. Heart J.* **95**, 102, 1978.
- 8) Leikoff, W., Segal, B. L. and Kasparian, H. : Paradox of normal selective coronary arteriograms in patients considered to have unmistakable coronary heart disease. *N. Engl. J. Med.* **276**, 1063, 1967.
- 9) Bar-Shlomo, B., Druck, M. N., Morch, J. E., Jablonsky, G., Hilton, J. D., Feiglin, D. H. I. and McLaughlin, P. R. : Left ventricular function in trained and untrained healthy subjects. *Circulation* **65**, 484, 1982.
- 10) Poliner, L. R., Dehmer, G. J., Lewis, S. E., Parkey, R. W., Blomqvist, C. G. and Willerson, J. T. : Left ventricular performance in normal subjects: A comparison of the responses to exercise in the upright and supine positions. *Circulation* **62**, 528, 1980.
- 11) Ellestad, M. H., Allen, W., Wan, C. K. M. and Kemp, G. L. : Maximal treadmill stress testing for cardiovascular evaluation. *Circulation* **39**, 517, 1969.
- 12) Bruce, R. A. and Hornsten, T. R., : Exercise stress testing in evaluation of patients with ischemic heart disease. *Prog. Cardiovasc. Dis* **11**, 371, 1969.
- 13) Granath, A., Soedermark, T., Winge, T., Volpe, U. and Zetterquist, A. S. : Early work load tests for evaluation of long-term prognosis of acute myocardial infarction. *Br. Heart J.* **39**, 758, 1977.
- 14) Conti, C. R., Selby, J. H., Christie, L. G., Pepine, C. J., Curry, J. R. C., Nichols, W. W., Conetta, D. G., Feldman, R. L., Mehta, J. and Alexander, J. A. : Left main coronary artery stenosis: clinical spectrum, pathophysiology and management. *Prog. Cardiovasc. Dis.* **12**, 73, 1979.
- 15) Sheps, D. S., Ernst, J. C., Briese, F. W. and Myerburg, R. J. : Exercise-induced increase in diastolic pressure: indicator of severe coronary artery disease. *Am. J. Cardiol.* **43**, 709, 1979.
- 16) Comess, K. A. and Fenster, P. E. : Clinical implications of the blood pressure response to exercise. *Cardiology* **68**, 233, 1981.
- 17) Hammermeister, K. E., DeRouen, T. A. and Dodge, H. T. : The predictive and prognostic value of exertional hypotension. *Am. J. Cardiol.* **45**, 456, 1980.
- 18) Keul, J., Dickhuth, H. -H., Simon, G. and Lehmann, M. : Effect of static and dynamic exercise on heart volume, contractility and



- left ventricular dimension. *Circ. Res.* 48, Suppl. I-162, 1981.
- 19) Musshoff, K., Reindell, H. and Klepzip, H.: Stroke volume, arterio-venous difference, cardiac output and physical working capacity and their relationship to heart volume. *Acta Cardiol.* 14, 427, 1959.
  - 20) Hermansen, L., Ekblom, B. and Saltin, B.: Cardiac output during submaximal and maximal treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 29, 82, 1970.
  - 21) Bruce, R. A., Kusumi, F., Niederberger, M. and Peterson, J. L.: Cardiovascular mechanisms of functional aerobic impairment in patients with coronary heart disease. *Circulation* 49, 696, 1974.
  - 22) Ahmed, S. S., Levinson, G. E., Schwartz, C. J. and Ettinger, P. O.: Systolic time intervals as measures of the contractile state of the left ventricular myocardium in man. *Circulation* 46, 559, 1972.
  - 23) Lewis, R. P., Boudoulas, H., Welch, T. G. and Forester, W. F.: Usefulness of systolic time intervals in coronary artery disease. *Am. J. Cardiol.* 37, 787, 1976.
  - 24) Nandi, P. S. and Spodic, D. H.: Recovery from exercise at varying work loads. *Br. H. J.* 39, 958, 1977.
  - 25) Van Der Hoeven, G. M. A., Clerens, P. J. A., Donders, J. J. H., Beneken, J. E. W. and Vonk, J. T. C.: A study of systolic time intervals during uninterrupted exercise. *Br. Heart J.* 39, 242, 1977.
  - 26) 稲垣義明, 斉藤俊弘, 宿谷正毅: Systolic time intervals (STI). *臨床成人病* 8, 63, 1978.
  - 27) Weissler, A. M., Harris, W. S. and Schoenfeldt C. D.: Bedside techniques for the evaluation of ventricular function in man. *Am. J. Cardiol.* 23, 577, 1969.
  - 28) Carrard, C. L., Jr., Weissler, A. M. and Dodge, H. T.: The relationship of alterations in systolic time intervals of ejection fraction in patients with cardiac disease. *Circulation* 42, 455, 1970.
  - 29) 稲垣義明, 斉藤俊弘, 清水正比古: 核聴診器. 呼吸と循環 31, 609, 1983.
  - 30) Sorensen, S. G., Ritchie, J. L., Caldwell, J. H., Hamilton, G. W. and Kennedy, J. W.: Serial exercise radionuclide angiography. *Circulation* 61, 600, 1980.
  - 31) Rigo, P., Chevigne, M., Legrand, V., Joret-Monfort, B. and Foulon, J.: Radionuclide angiography during exercise: review of methodology and results in normal subjects. *Acta Cardiol. Suppl.* 26, 87, 1981.
  - 32) Brady, T. J., Thrall, J. H., Clare, J. M., Rogers, W. L., Lo, K. and Pitt, B.: Exercise radionuclide ventriculography: Practical considerations and sensitivity of coronary artery disease. *Radiology* 132, 697, 1979.
  - 33) Borer, J. S., Bacharach, S. L., Green, M. V., Kent, K. M., Epstein, S. E. and Johnston, G. S.: 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.
  - 34) Pfisterer, M., Glaus, L. and Burkart, F.: Comparative effects of nitroglycerin, nifedipine and metoprolol on regional left ventricular function in patients with one-vessel coronary disease. *Circulation* 67, 291, 1983.
  - 35) Thadani, U., West, R. O., Mathew, T. M. and Parker, J. O.: Hemodynamics at rest and during supine and sitting bicycle exercise in patients with coronary artery disease. *Am. J. Cardiol.* 39, 776, 1977.
  - 36) Hirzel, H. O., Wegmueller, R., Grimm, J., Krayenbuehl, H. P. and Senning, A.: Left ventricular function during exercise before and after bypass surgery. *Cardiology* 68, Suppl. 2, 99, 1981.
  - 37) Saltups, A., McCallister, B. D., Hallermann, F. J., Wallace, R. B., Smith, R. E. and Frye, R. L.: Left ventricular hemodynamics in patients with coronary artery disease and in normal subjects. *Am. J. Med.* 50, 8, 1971.
  - 38) Parker, J. O., West, R. O., Case, R. B. and Chiong, M. A.: Temporal relationships of myocardial lactate metabolism, left ventricular function and S-T segment depression during angina precipitated by exercise. *Circulation* 40, 97, 1969.