

Treadmill, Ergometer の負荷法の統一化

段階的漸増負荷法にかんする基礎的検討

—負荷量と負荷の与え方—

丹羽 明 博* . 宮原 康 弘*
谷口 興 一* . 小関 迪**

はじめに

循環器領域における運動負荷試験の目的は、虚血性心疾患の診断、心予備能の評価¹⁾、ないしは、心筋梗塞後のリハビリテーション²⁾などにある。しかしながら、運動負荷の方法、負荷量、負荷の与え方、ならびに、安静の条件などが異なれば、負荷に対する生体の反応も異なるため、運動能力や心予備能を正確に把握するには、運動負荷実施法の基準を適確に定めることが必要である。

そこでシンポジウムの主旨にしたがい、多段階 Ergometer 負荷法³⁾における安静の条件、負荷量、負荷の与え方などの基礎的事項を紹介し、あわせて得られた運動耐容量や循環指標の動態について報告する。

I Ergometer 負荷にかんする条件設定

運動負荷の出発点は安静レベルであり、安静のとり方により負荷に対する生体反応に差異がみられる。Ergometer 負荷を毎日一回の割合いで施行した同一例（労作性狭心症）における8日間の血圧の反応をみ

表1 Ergometer 負荷による呼吸・循環指標測定にかんする条件設定

- 1) 安静時レベルの条件設定
 - a) 負荷実施期間中の食事（カロリー）は一定
 - b) 不安除去のための十分な説明
 - c) 負荷前の前投薬は実施しない
 - d) 昼食後 1.5~3 時間に実施
 - e) 負荷前 2 時間の禁煙
 - f) 負荷直前 20 分間の bed rest
 - g) 負荷直前 10 分間に施行した 4 回の BP・HR 測定値がほぼ一定
- 2) 負荷期間中の循環指標測定は同一人で行う。
- 3) 測定法・測定器具は同一にする。
- 4) 負荷法：段階的漸増負荷法
- 5) 負荷回数：1日1回とする。

ると（図1）、症例 K. A. では安静時血圧のばらつきが大きく、負荷時の血圧パターンも様々であり、症例 S. H. では安静時血圧はほぼ一定しているが、負荷中の反応パターンに明らかな差異を認める。これは、安静時および負荷時の条件設定に問題があるためと考えられる。当教室では表1に示すごとく、不安、食事、喫煙などの影響が循環動態に現われないように注意を払い、20分以上安静臥床をとり、血圧や心拍数を数回測定し安定したことを確かめた上で運動負荷を実施している。また、呼吸循環指標測定の際には同一の測定者および同一の測定方法、測定器具で行っている。

負荷のかけ方⁴⁾に関しては、心拍出量を測定するための条件である steady state を得ることが可能な段階的恒常漸増負荷法⁵⁾を用いている。Astrand⁶⁾によると一定レベルの好気性運動負荷では steady state は負荷後 2~3 分で得られることを示している。したがって、教室では各レベルの負荷時間は3分または5分を採用している。このように安静レベル、および、steady state に関する条件設定を行っても必ずしも安定した成績が得られるとは限らない。すなわち、繰り返し運動負荷を行うと、次第に運動耐容量が増加し、いわゆる、慣れの現象⁷⁾がみられる。そこで、運動負荷試験施行の際には、あらかじめ3~6回の練習期間を設け運動負荷に慣れさせておくことが必要である。また、この期間中に6~15分の負荷が可能な初回負荷量（約0.8~1 watt/kg）を設定している。負荷増加量は 10 watt とし、ペダルの回転数は約40/分としている。図2は厳密な条件設定および数回の練習を行ったのち、10回の繰り返し運動負荷を施行した1例（労作性狭心症）の心拍数の推移を示したものである。前述の条件設定の不十分な場合と異なり、安静時のばらつきが少なく、かつ、運動中の推移も一定し、運動

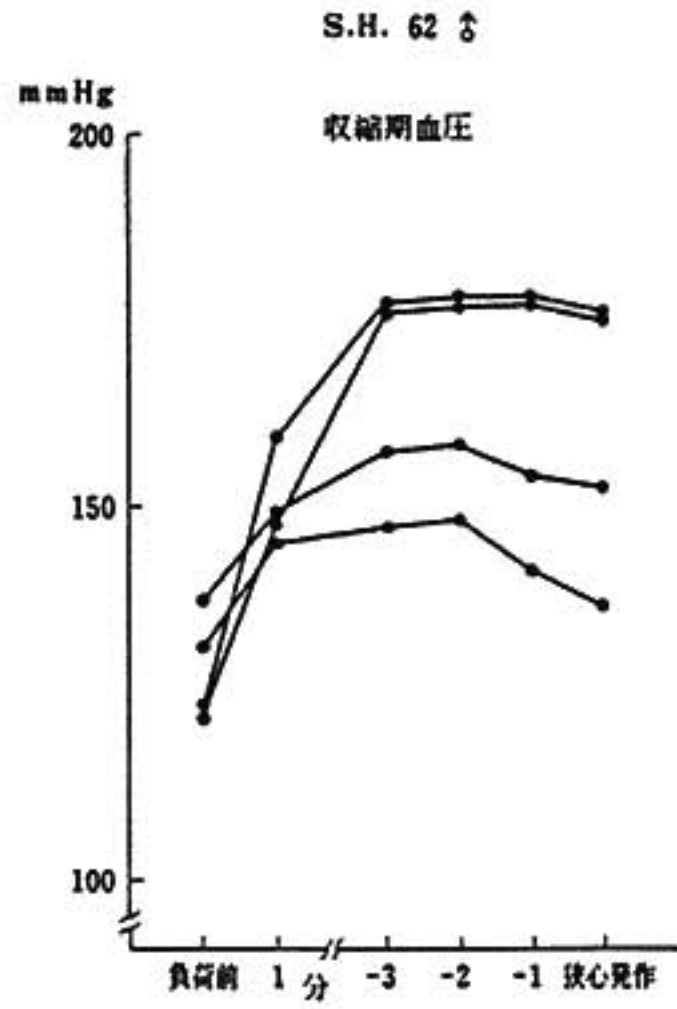
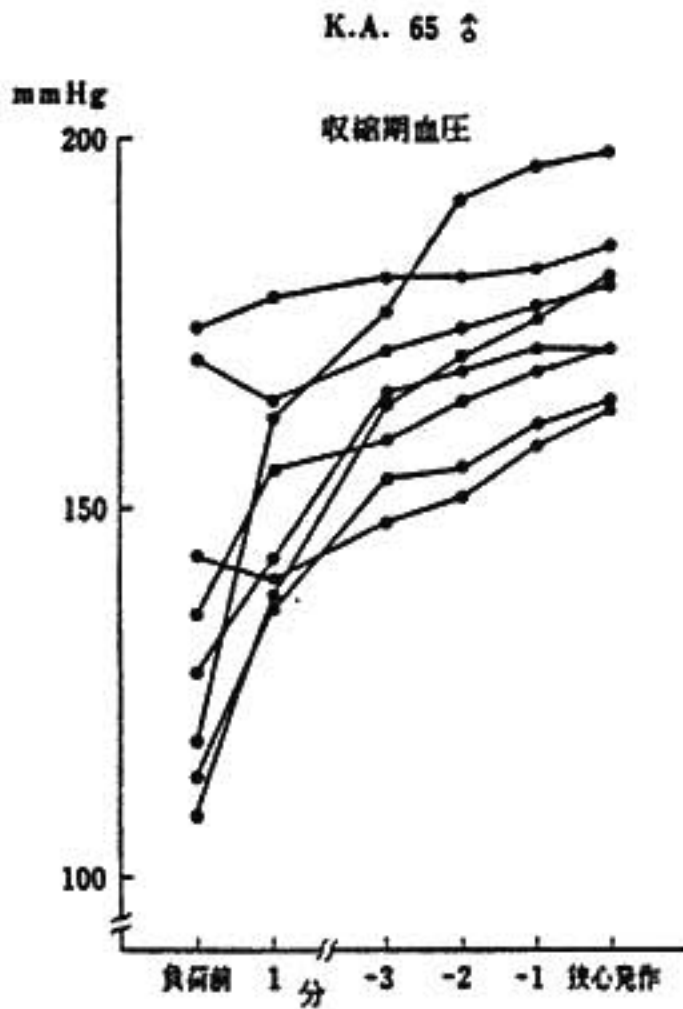


図1 条件設定が不十分な場合の運動負荷における血圧の推移

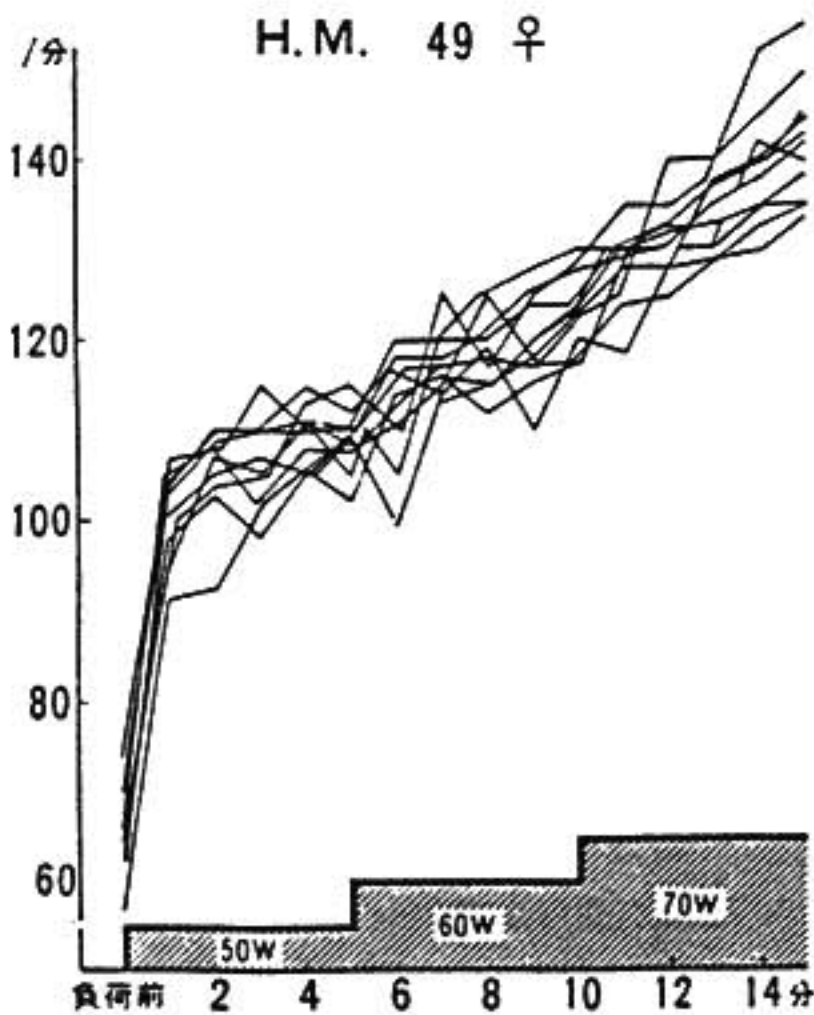
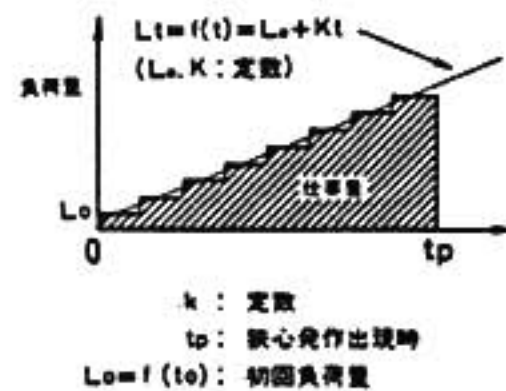


図2 条件設定の十分な運動負荷における心拍数の推移

症12例 (男9例, 女3例) で, 平均年齢は54.5才である。対照は平均年齢23.7才の健常男子13例である。前項記載の条件設定のもとに臥位にて Godart 社製電気制動型 Ergometer を用いて負荷を実施した。負荷量は3分ごとに 10 Watt ずつ増量し, 健常例は9分間, 狭心症例は胸痛発現まで施行した。

運動耐容量は運動開始点 0 から終了点 t_p までの仕事量 W_p として表した (図3)。段階的漸増負荷法で



運動耐容量 (W_p) $W_p = \int_0^{t_p} f(t) dt = L_0 t_p + \frac{k}{2} t_p^2$

図3 段階的漸増負荷法における運動耐容量

負荷実施に対する条件設定の重要性が示唆される。

II 運動耐容量および循環指標の動態⁹⁾

1 対象および方法

対象は運動負荷にて狭心症発作が発現し, 亜硝酸薬が有効で, かつ, 症状が安定した典型的な労作性狭心

は t 分後の仕事量 L_t は近似的に時間 t の一次関数で示され, W_p は L_t を 0 から t_p まで積分したものとみなすことができる¹⁰⁾。また, 色素稀釈法より求めた 1 回拍出係数と心拍数の 2 つの循環指標の動態についても検討した。統計処理には t 検定を用いた。

2 結果

運動耐容量は労作性狭心症8例について1日1回計3~6回の運動負荷を施行して算出した(図4). 各症例間に個体差を認めたが, 個々の症例についてみると, ばらつきは小さく, ほぼ一定の値が得られた.

運動負荷による循環動態のパターンについて健常例と狭心症例を比較すると, 健常例においては心拍数および1回拍出係数ともに負荷により類似した増加傾向

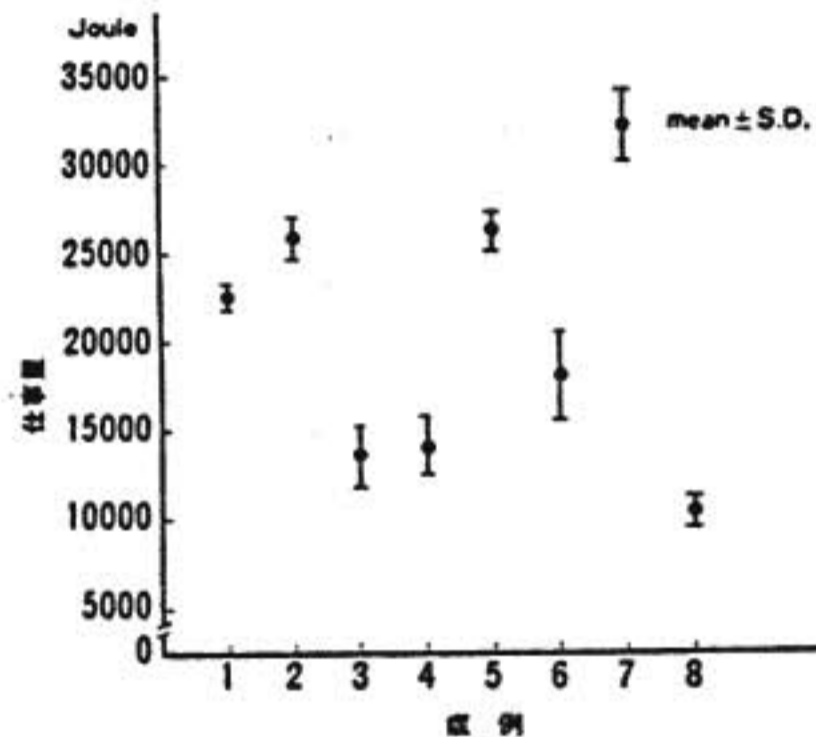


図4 労作性狭心症例の狭心発作誘発仕事量

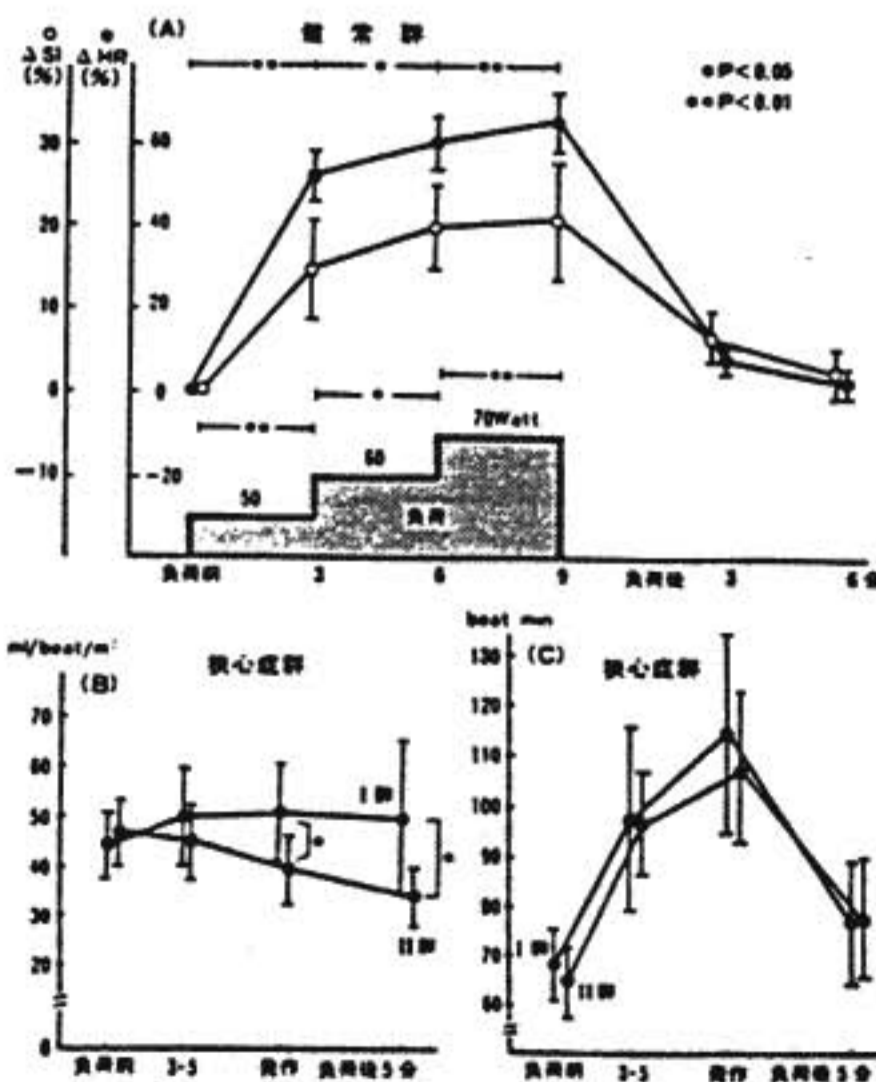


図5 健常群(A)と狭心症群(B, C)における心拍数(HR)と1回拍出係数(SI)の推移

を認めた(図5A). これに対して, 狭心症例では1回拍出係数の動態をみると(図5B), 発作発現まで大きな変化を認めないI群と, 運動によりむしろ低下するII群に分けることができた. 心拍数に関しては(図5C), I・II群いずれも運動中同様な増加を認めた.

3 考察

臨床上的運動耐容量の概念は生理学的最大負荷のbreaking pointと異なり, 一般に心拍数, 血圧, 心電図, あるいは自覚症状から臨床的に許容されうる最大負荷として規定されるべきであると考えられる. 狭心症の運動耐容量評価や薬効評価の際¹¹⁾¹²⁾にしばしば臨床的立場より算出した運動耐容量が用いられているが, その評価を科学的に行うには, 各個体についてばらつきが小さい安定した運動耐容量が得られる条件設定のもとに運動負荷を施行することが肝要である.

循環指標の動態をみると, 健常例においては心拍数と1回拍出係数の両因子の増加に伴う心拍出量の増大によって, 運動負荷時のエネルギー代謝亢進に適應している¹³⁾が, 狭心症例では運動量の増加に対して, 1回拍出係数の増加はほとんどみられず, 心拍数の増大により適應している. また, 狭心症例のII群においては, 心電図上V₁における陰性Pの増大, 息苦しさ等の臨床症状の発現, および, 心係数の低下が認められ, 心機能低下がI群に比しより高度である¹⁴⁾と考えられる.

ま と め

当教室における運動負荷実施法の基礎的事項を概説し, 段階的漸増Ergometer負荷法における運動耐容量, ならびに, 循環指標の動態から, 心機能を臨床的に評価できることを示した. とくに, 運動負荷実施の際には, 数回の予備試験により各症例に適した負荷量を決め, かつ, 厳密な条件設定が必要であることを強調した.

武内重五郎教授の御校閲に感謝いたします.

文 献

- 1) Berger, H. J., et al.: Am. J. Med. 66: 13, 1979.
- 2) Mason, D. T.: Advances in heart diseases 2, Grune & Stratton, New York, p. 345, 1978.

- 3) 谷口興一：第37回日循総会会長要望研究課題，日本医事新報社，東京，p. 66, 1973.
- 4) Shephard, R. J., et al. : Bull. WHO 38 : 765, 1968.
- 5) Bahler, R. C. and Macleod, C. A. : Am. Heart J. 89 : 716, 1975.
- 6) 谷口興一：臨床成人病 4 : 987, 1974.
- 7) Astrand, P. O. and Rodahl, K. : Textbook of work physiology, McGraw-Hill, New York, p. 284, 1970.
- 8) 谷口興一，小関 迪：心臓 6 : 801, 1974.
- 9) 小関 迪：日内会誌 62 : 245, 1973.
- 10) 谷口興一，小関 迪：心臓 7 : 793, 1975.
- 11) Adolfson, L., et al. : Eur. J. Clin. Pharmacol. 3 : 68, 1969.
- 12) Liversly, B., et al. : Br. Med. J. 1(5850) : 375, 1973.
- 13) Epstein, S. E., et al. : Circulation 35 : 1049, 1967.

Treadmill, Ergometer の負荷法の統一化

本邦人における主な protocol の対比

石 田 恵 一* . 平 井 寛 則*

鳥 居 重 夫* . 岩 崎 義 彦* . 中 村 豪*

井 上 健* . 矢 吹 壮* . 関 清*

はじめに

本報告は，より合目的的な既製のプロトコールの選択，あるいは新たなプロトコールを design するに当たっての第一歩として，主だったプロトコールを呼気ガスの面から観察し，本邦人に対する反応を，相対的に比較検討することである。

I 対象と方法

対象は3名，年齢29才2名，25才1名，標準体重にある健康な男子を選んだ。方法は case システム，treadmill 法により，Bruce¹⁾，Kattus²⁾，McHenry³⁾，Naughton⁴⁾，Ellestad⁵⁾ 計5つのプロトコールを使用した。ガス分析は Searl-CPI Series 7000によった。本態は気量検出用センサーとして，ボックススパイロを用いて，エンコーダにより出力する。酸素濃度は polarography，炭酸ガス濃度は thermal conductivity 方式を採用している。

II 成績

図1は，換気量を縦軸に負荷時間と stage を横軸にとり，各プロトコールの値をプロットしたもので，Bruce の最大換気を100とした時の比率で示した。最大換気量は，Bruce, McHenry, Ellestad, Naughton の順に低くなっている。

図2は，縦軸に換気量を横軸に酸素消費量を取り，同じくそれぞれの値をプロットした。Bruce のプロトコールでは，stage III を境に異なったスロープを示し，後のスロープは前のそれより急峻になっている。他のプロトコールには，その現象はみられない。

図3の上段は tidal volume を，下段は呼吸数を示す。tidal volume は Ellestad が最も多く，Bruce がわずかに下回り，McHenry, Naughton の順になっている。下段は Bruce の stage IV と V で他を凌ぎ，図2の換気量の増加は呼吸数の増加がより大きく寄与していることを示している。McHenry と Naughton, とくに前者は逆に呼吸数の増しの割に tidal volume の増しが多い。Kattus と Ellestad はともに

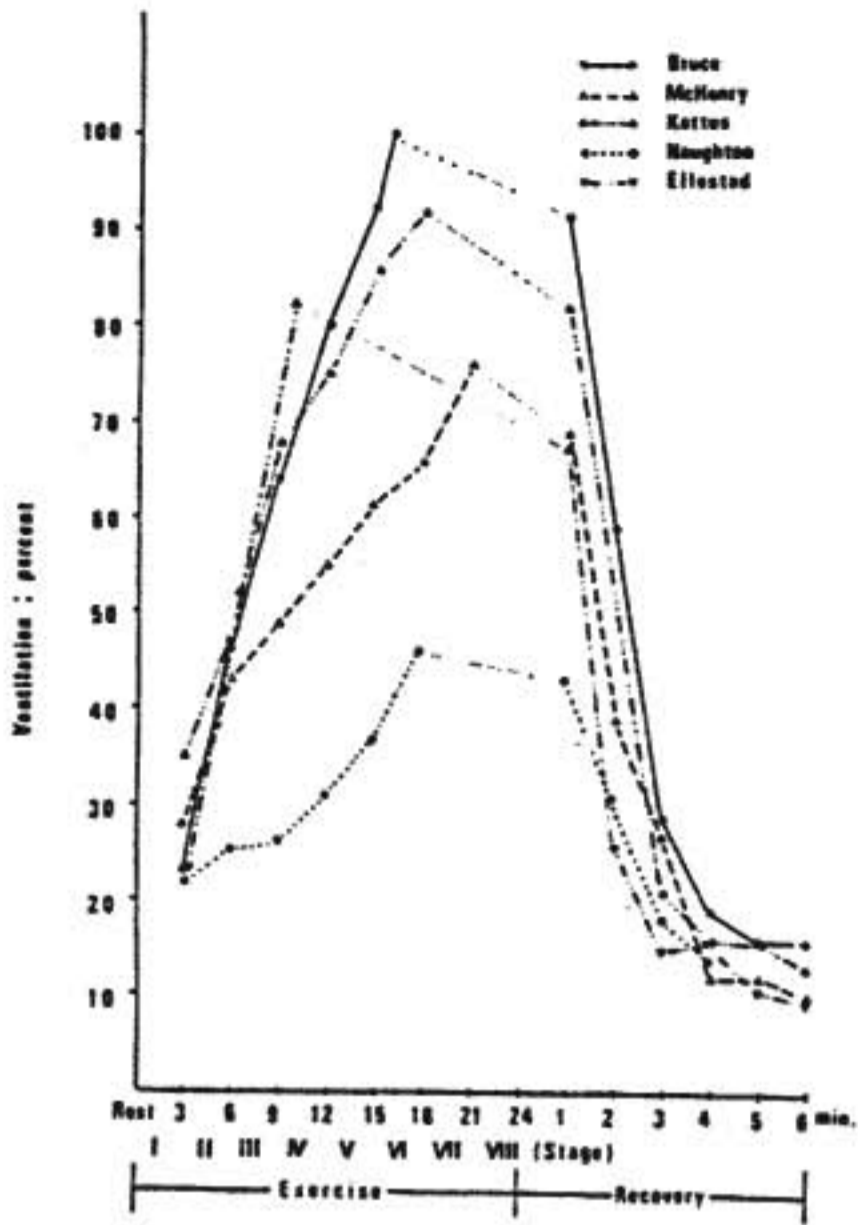


图 1 肺通气在不同工作强度

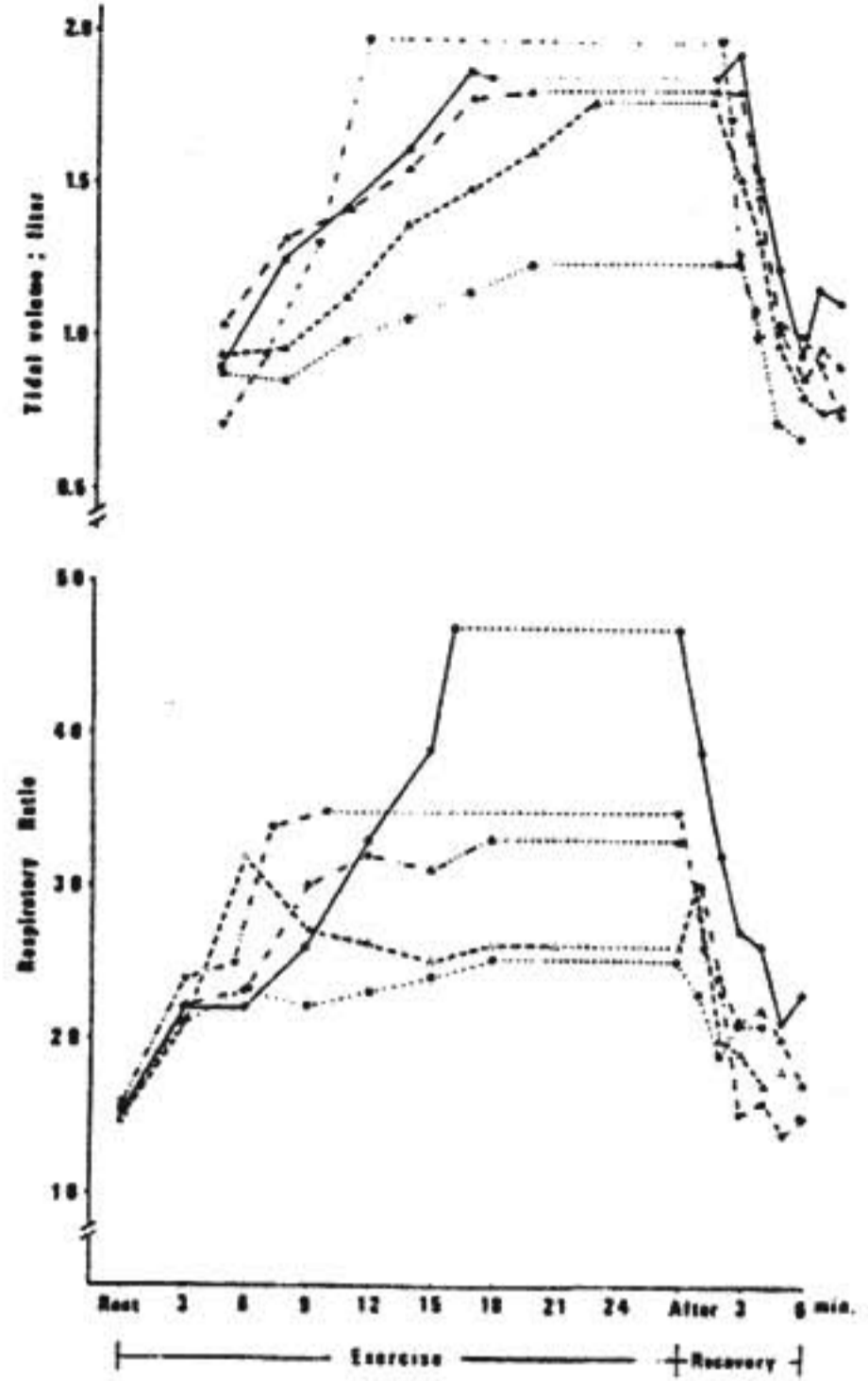


图 3

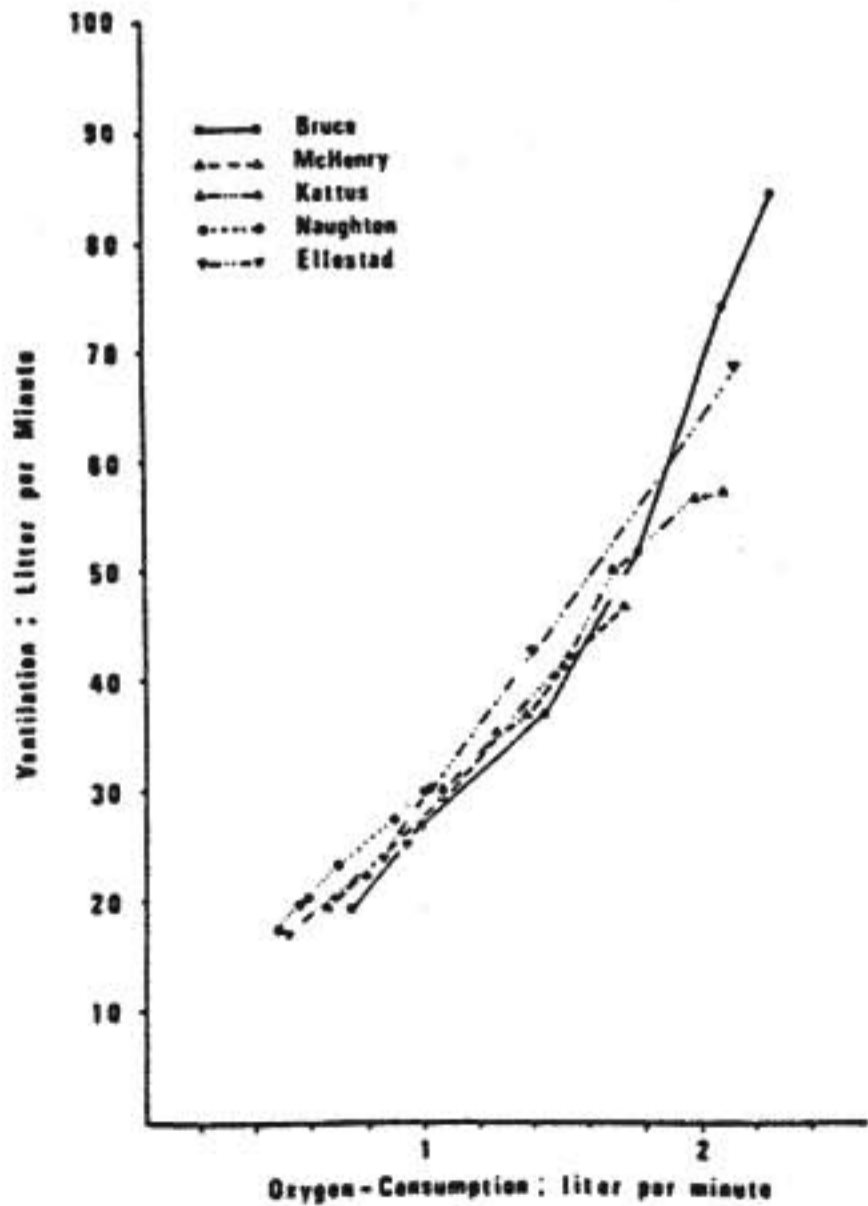


图 2 肺通气与氧消耗之间的关系

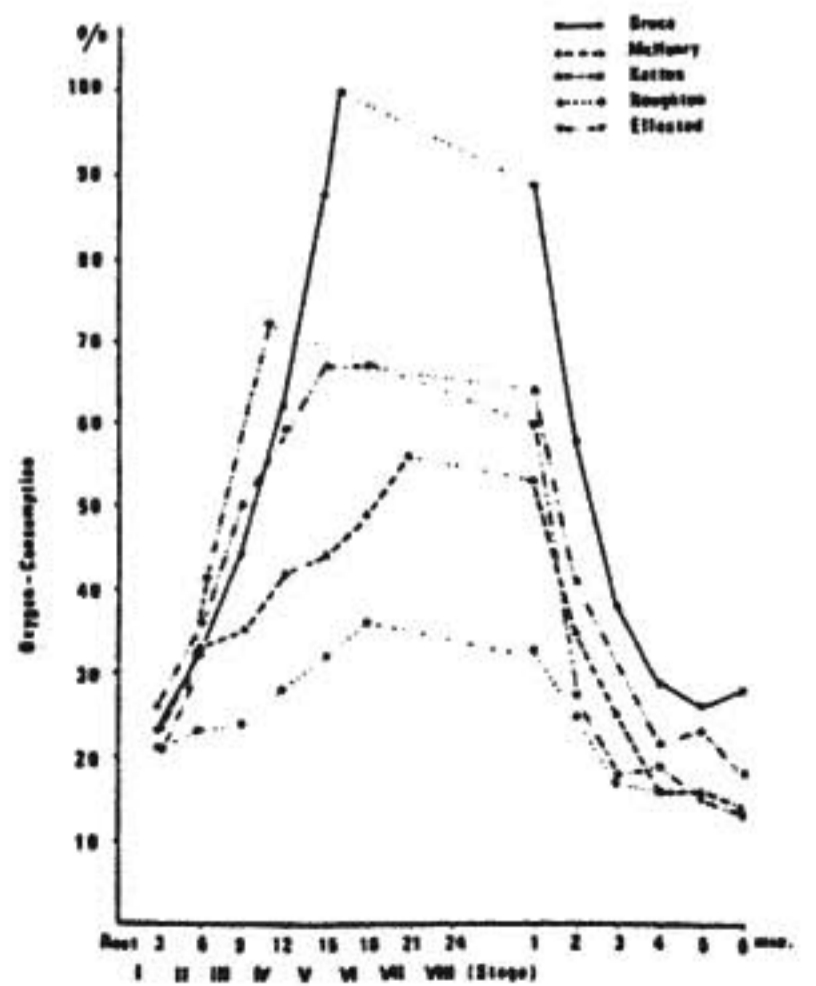


图 4 不同运动强度下氧消耗的变化

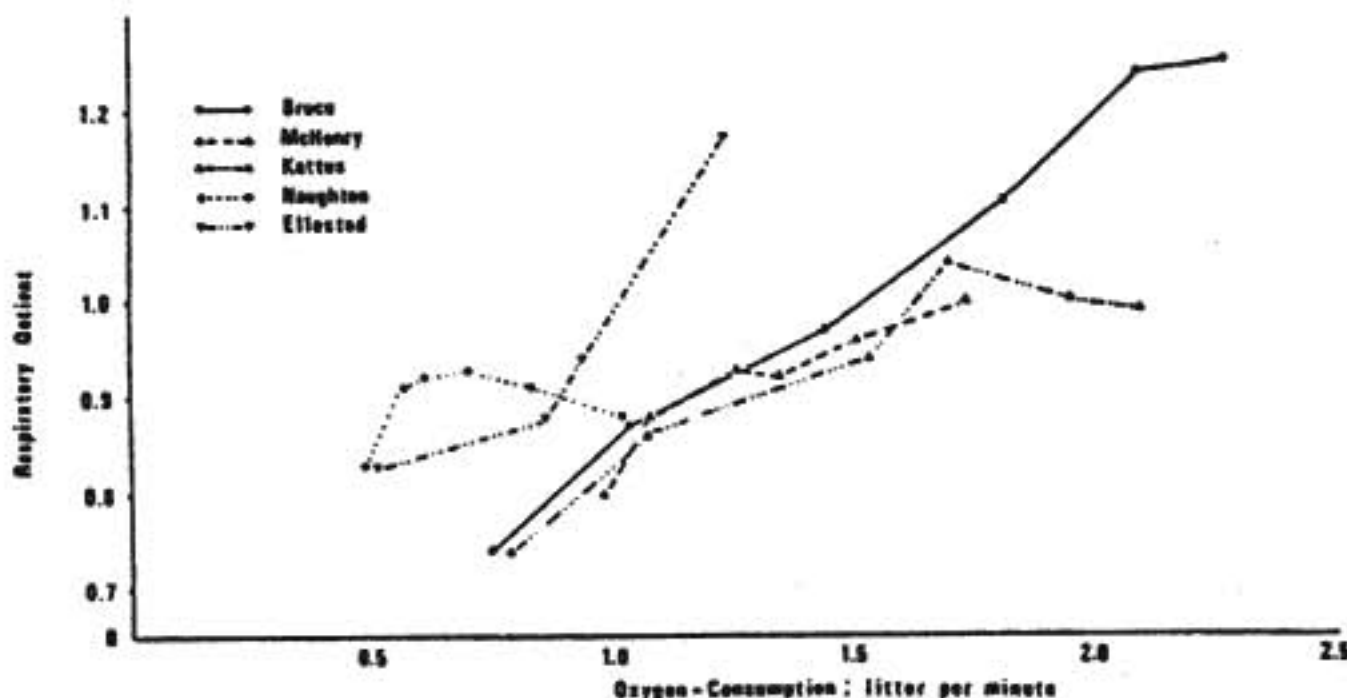


図5 Relation between respiratory quotient and oxygen-consumption at different work load

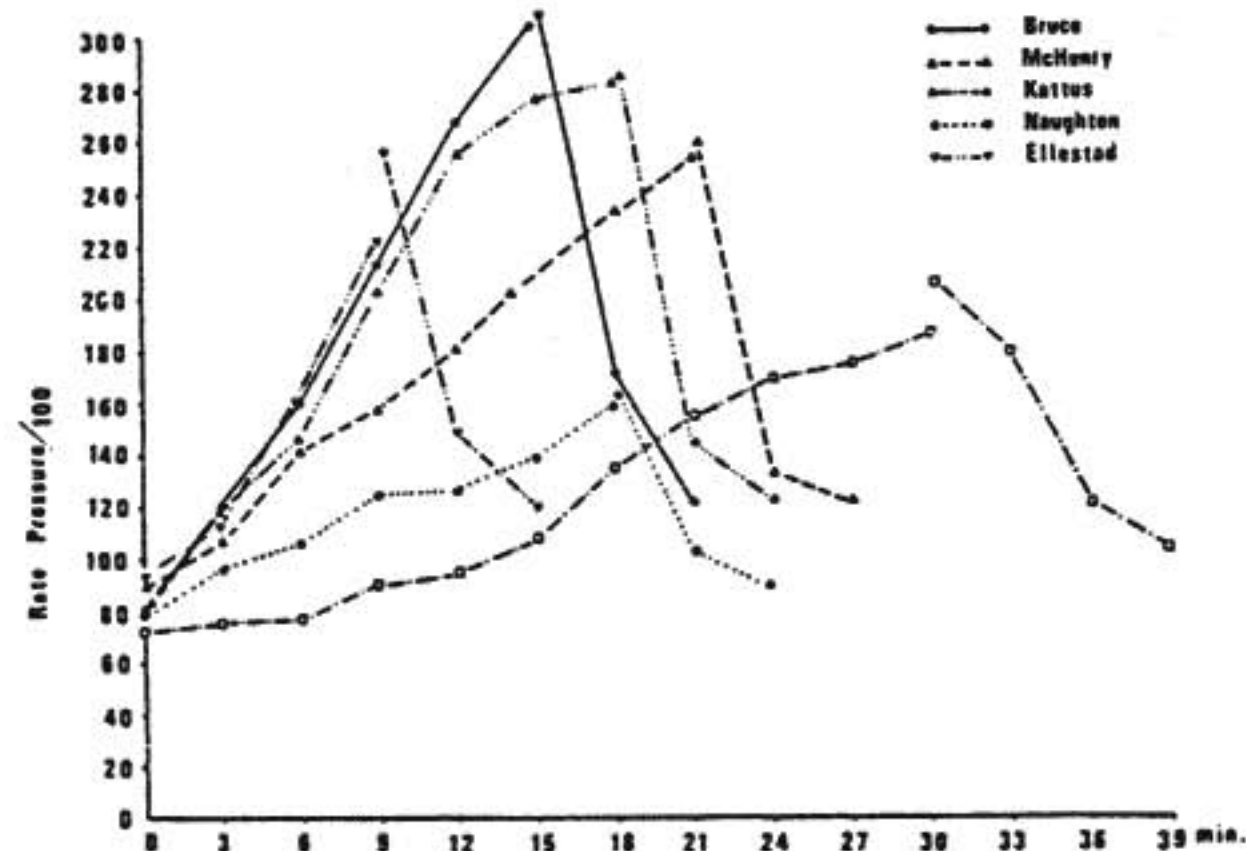


図6 Rate pressure products change in response to various protocols

漸増している。

Bruce の最大酸素消費量を100としたときの比率を図4に示す。stage I では、各プロトコールとも最大酸素消費量の約30%を占めており、Bruce と Kattus の前半はほぼ同じスロープで上昇している。各プロトコールの最大酸素消費量は Bruce, Ellestad, Kattus, McHenry, Naughton の順に低くなっている。

図5は呼吸商と酸素消費量の関係を示す。呼吸商は Naughton 以外は酸素消費量の増加とともに増えている。ΔRQ が 0.4, RQ 1.2 において、ほぼ最大酸素消費量に相当する (Issekutz, 1969) とされ、Bruce と Ellestad はそれに近い値を示している。しかし、Kattus の RQ は1.14と低く QR 1.2 が常に最大

消費量の指標となるとは限らないようである。

Pressure rate product は Bruce, Kattus, Ellestad, McHenry, Naughton の順であった (図6)。

酸素脈は Ellestad が急峻な立上りを示し、Kattus と Bruce が高い値を示した (図7)。

III 考案と結語

本報告の目的は、通常しばしば用いられている5つのプロトコールを、同一人に用いて比較することである。そして、呼気ガス分析の各値の最大値の比較は、下記のごとくであった。

- a. Ventilation : Bruce > Kattus > Ellestad > McHenry > Naughton
- b. T. V. : Ellestad > Bruce > Kattus > McHenry > Naughton
- c. R. R. : Bruce > Ellestad > Kattus > McHenry > Naughton
- d. R. Q. : Bruce > Ellestad > Kattus > McHenry > Naughton

- e. PRP : Bruce > Kattus > Ellestad > McHenry > Naughton
- h. O. P. : Kattus > Bruce > Ellestad > McHenry > Naughton

最近のガイドライン⁶⁾によると、最初の負荷量は 3 METS を越えてはならないと規定されているが、その点は各プロトコールとも問題はなかった。

今回は呼気の各因子に対する5プロトコールの反応の多寡を相対的に比較するにとどめた。各プロトコールの絶対値、優劣、あるいは利点、欠点などについては症例を増し、循環指標を含めて、さらに今後検討する予定である。

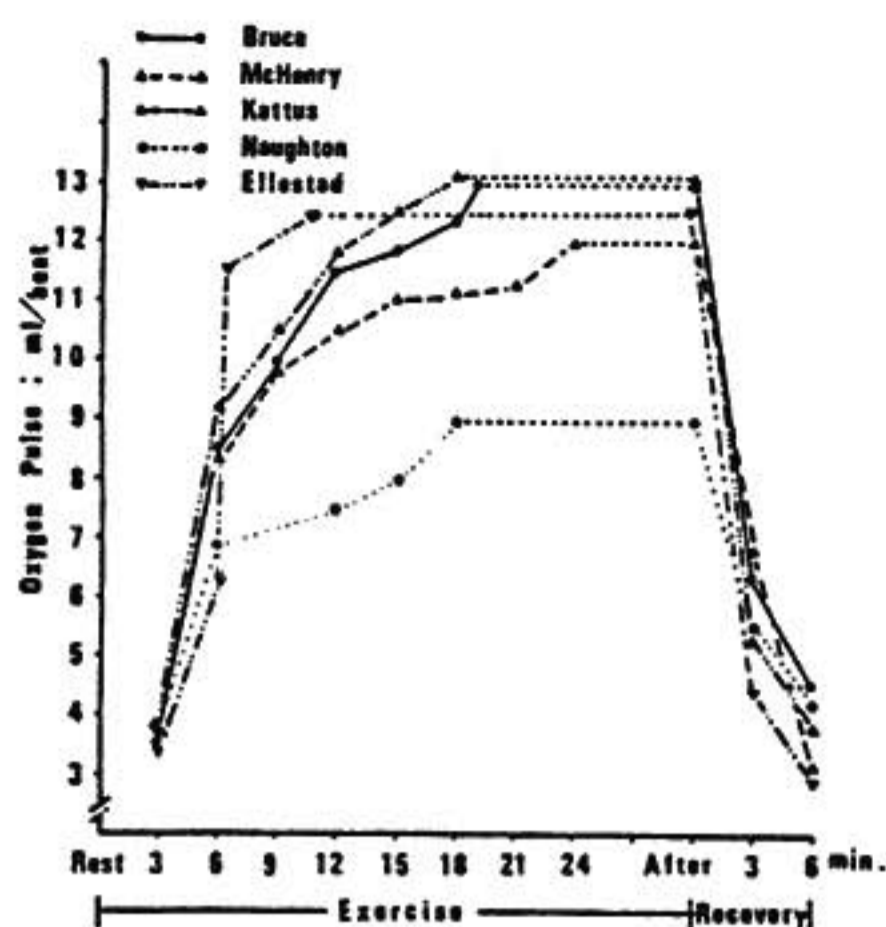


図7

文 献

- 1) McDonough, J. R., et al. : J. South. Carolina Med. Assoc. 65 : 26, 1969.
- 2) Kattus, A. A., et al. : J. Occupas. Med. 10 : 627, 1968.
- 3) Patterson, J. A., et al. : Am. J. Cardiol. 30 : 757, 1972.
- 4) McHenry, P. L., et al. : Exercise electrocardiography—current state of the art. In, Advances in electrocardiography, Vol 2. chap14., edited by Schlant R. C., Grune & Stratton, p. 263, 1976.
- 5) Ellestad, M. H., et al. : Circulation 39 : 517, 1969.
- 6) American Collage of Sports Medicine : Guidelines for graded exercise testing and exercise prescription, Philadelphia, 1975, Lea & Febiger, Publishers.

Treadmill, Ergometer の負荷法の統一化

Bruce 法多段階 treadmill 運動負荷試験法の修正案

外 畑 巖*・近藤 照夫*・都築 実紀**

我々は昭和48年から多段階 treadmill 運動負荷試験を臨床使用しはじめたが、当初は、その当時米国で広く用いられていた Bruce 法をそのまま用いていた。しかし、Bruce 法を実際に臨床使用してみると運動強度の点でかなり問題があることに気づき、以来、本邦での臨床使用に適するよう Bruce 法の修正を試みてきた。

図1上段の実線は、日本人正常成人男子10名(23~41才、平均28才)に Bruce 原法にしたがい symptom-limited の多段階 treadmill 運動負荷試験を施行したときの1分間毎の酸素消費量 ($\text{ml}/\text{kg}\cdot\text{min}$) ($\dot{V}\text{O}_2$) を示す。この運動負荷試験での peak 心拍数は全例、Robinson の最大予測心拍数の90%以上に達した。酸素消費量はフクダイリカ製エレクトロメタボラー BMS-600 を用い連続測定した。図の点線は

Bruce らが正常米国人で得た $\dot{V}\text{O}_2$ を示す。我々が10名の日本人で得た $\dot{V}\text{O}_2$ は、第Iから第III段階にかけては Bruce らが米国人で得た $\dot{V}\text{O}_2$ に比しやや低値を示したが、IV段階に入ると急激に増加し、米国人の値に比し高値となった。Bruce 法III段階から第IV段階にかけての $\dot{V}\text{O}_2$ の増分は米国人に比し日本人の方が大となった原因は、両者の下肢長の差、単位時間当りの歩数の差にあると考えている。我々の対象はすべて sedentary (座業) 群に属し、多くは第IV段階に入ると下肢筋の高度の疲労のため all-out になった。第III段階 (3.4 mph 14%) の $\dot{V}\text{O}_2$ は 9 METs 強であり、座業従事者にとってはこれはすでにかかなりの労作といえる。このような状況で第IV段階 (4.2 mph 16%) に入り急激に運動強度が増大する (4 MET 強の増加) のは危険防止の点から望ましくないと考えられ

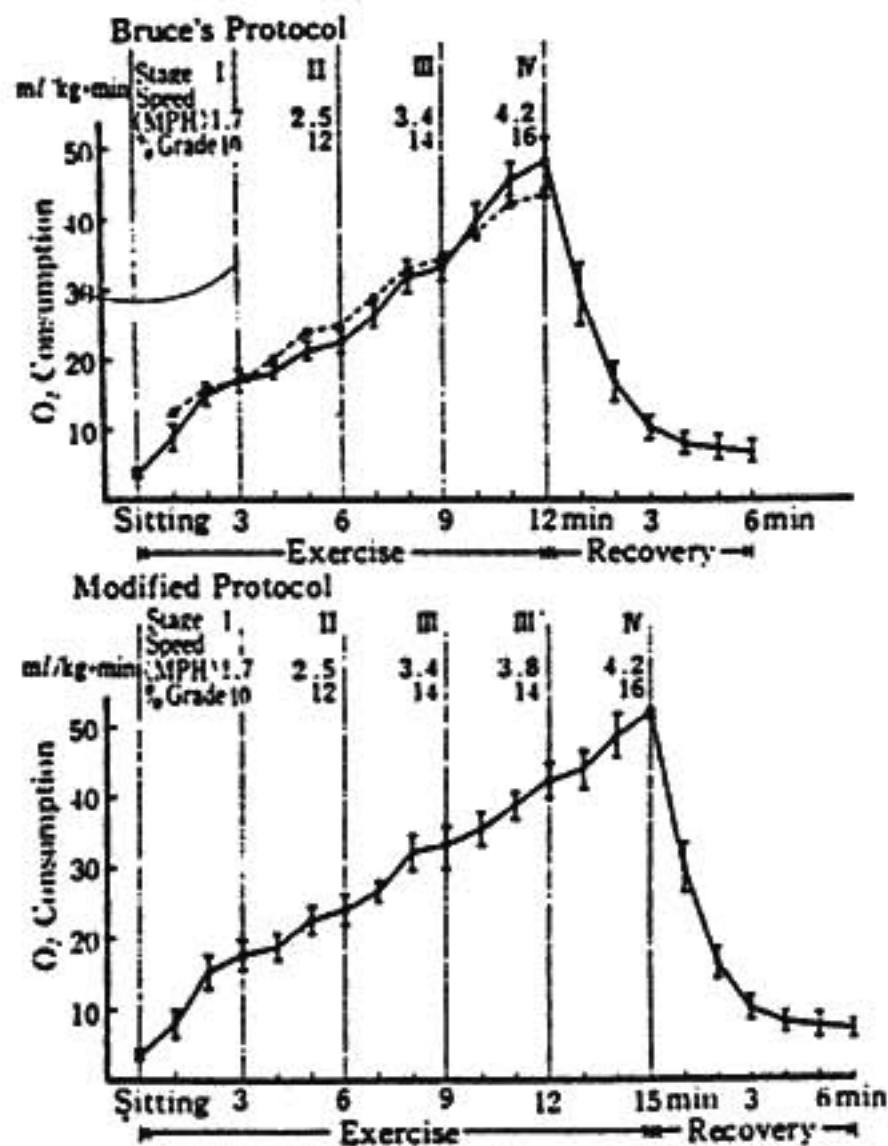


図1 Bruce 原法及び修正法 version I 多段階 treadmill 運動負荷試験の酸素消費量

る。そこで我々は Bruce 法第Ⅲ段階と第Ⅳ段階との間に両段階の中間的な運動強度の第Ⅲ'段階 (3.8 mph 14%, 3 分間) を挿入した修正法を考案し、既に第1回の本研究会¹⁾で報告した。第Ⅲ'段階の速度は第Ⅲと第Ⅳ段階の間であるが、傾斜は第Ⅲ段階と同じ14%である。同一被検者に1週間から数週間後に上記の修正 Bruce 法運動負荷試験を施行したときの $\dot{V}O_2$ は、図1下段に示すように運動時間とともにほぼ直線的に増加した。第Ⅲと第Ⅲ'段階および第Ⅲ'段階と第Ⅳ段階との間の $\dot{V}O_2$ 増分はともにほぼ 2 METs であった。

表1は、これまでに施行した1355回の修正 Bruce 法 treadmill 運動負荷試験の運動終了点を示す。Bruce らは症状制約 (symptom-limited) の最大運動を負荷しているが、我々は心拍数制約 (heart rate-limited) の亜最大 (near-maximal) 運動負荷しており、目標心拍数 (target heart rate) として年齢別最大予測心拍数の85%を用いている。1355回の運動負荷試験の運動終了点は44%で目標心拍数、24%で中等度以上の胸痛、20%は下肢または全身疲労であった。運動負荷試験に直接関連すると考えられる死亡、心室細動、

表1 修正 Bruce 法多段階 treadmill 運動負荷試験の運動終了点

他覚的徴候	
ST上昇>0.2 mV	3 (0.2%)
虚血性ST低下>0.3 mV	25 (1.9%)
心室期外収縮の頻度増大、多源性、R-on-T または3つ以上連発する心室期外収縮の出現	20 (1.6%)
心房細動	4 (0.3%)
心室頻拍	6 (0.4%)
目標心拍数	598 (44.1%)
収縮期血圧 \geq 260 mmHg	3 (0.2%)
収縮期血圧低下 (peak 値に比し) \geq 10 mmHg	11 (0.6%)
血圧測定困難	3 (0.2%)
自覚症状	
胸痛	328 (24.2%)
息切れまたは呼吸困難	98 (7.2%)
眩暈	18 (1.3%)
下肢または全身疲労	235 (20.1%)
計	1355例

昭和55年2月6日現在

cardioversion を必要とする心室頻拍、急性心筋梗塞、その他入院を必要とするような病態の出現は1例も経験していない。多段階運動負荷試験は被検者の能力限界またはその近くまで運動を負荷するので、これを危険視する人もあるが、上記の成績は、注意深く施行された修正 Bruce 法運動負荷試験は極めて安全であることを示すと考えている。

急性心筋梗塞回復期における運動療法の重要性については今ここで強調するまでもないが、安全且つ効果的な運動療法には運動負荷試験による運動能力の評価、これを基礎にして決定された運動処方が必須であると考える。合併症のない急性心筋梗塞患者の回復期における許容運動強度は、病期により異なるが 2~4 METs といわれている。Bruce 法第I段階 (1.7 mph 10%) の運動強度は約 5 METs (表2) であり、Bruce 法はこのような患者の運動能力の評価には不適切である。

労作性狭心症患者の運動能力は個体差が大きく、3 METs 以下の運動で胸痛を生じる重症例から 10 METs 以上の運動でようやく胸痛をきたす軽症例までである。図2は労作性狭心症患者89名に修正 Bruce 法 treadmill 運動負荷試験を施行したときの運動持続時間の累積度数分布を示す。運動終了点はすべて中等度の胸痛であった。11%の症例は第Ⅱ段階に入る前に運動を中止した。なかには運動開始1分で運動をや

表2 修正 Bruce 法 version II 多段階 treadmill 運動負荷試験及び正常成人男子における $\dot{V}O_2$ 循環系反応

	I	II	III (I)	IV (II)	V (III)	VI	VII (IV)
速度および傾斜	1.0 mph 0%	1.0 mph 10%	1.7 mph 10%	2.5 mph 12%	3.4 mph 14%	3.8 mph 14%	4.2 mph 16%
酸素消費量 ($ml/Kg \cdot min$)	9.7 ± 1.6 (2.77 METs**)	12.4 ± 1.0 (3.54)	17.6 ± 2.0 (5.03)	24.0 ± 2.3 (6.86)	32.5 ± 3.7 (9.29)	39.5 ± 4.2 (11.29)	46.2 ± 5.3 (13.2)
心拍数 (min^{-1})	82.1 ± 7.9	87.0 ± 7.3	109.8 ± 9.4	129.1 ± 9.6	159.6 ± 11.9	176.0 ± 10.4	186.3 ± 8.5
収縮期血圧 ($mmHg$)	114.6 ± 10.8	115.2 ± 10.3	148.8 ± 19.2	162.9 ± 20.5	180.3 ± 22.3	182.2 ± 17.4	183.2 ± 6.1
P R P ($10^3 mmHg/min$)	94.3 ± 13.9	100.6 ± 13.5	163.5 ± 24.4	211.1 ± 36.5	285.9 ± 50.3	315.1 ± 37.8	330.6 ± 20.4
n	10	10	44	44	42	21	9
立位自転車エル ゴメータ*	21W	31W	47W	77W	118W	—	—

患者の運動能力に合わせて、I、II、III、IV段階のうちどれか1つから運動を開始する各段階とも3分間である。Bruce 原法 (括弧内のローマ数字) の I、II、III、IV 段階は、それぞれ上記の修正法の III、IV、V 段階に相当する。

* $\dot{V}O_2$ に関して各段階と等価の自転車エルゴメータ運動、収縮期血圧、PRP に関しては表中のワット数よりやや小さい値となる。

** 1 MET = $5.5 ml/Kg \cdot min$ の O_2 の消費量。

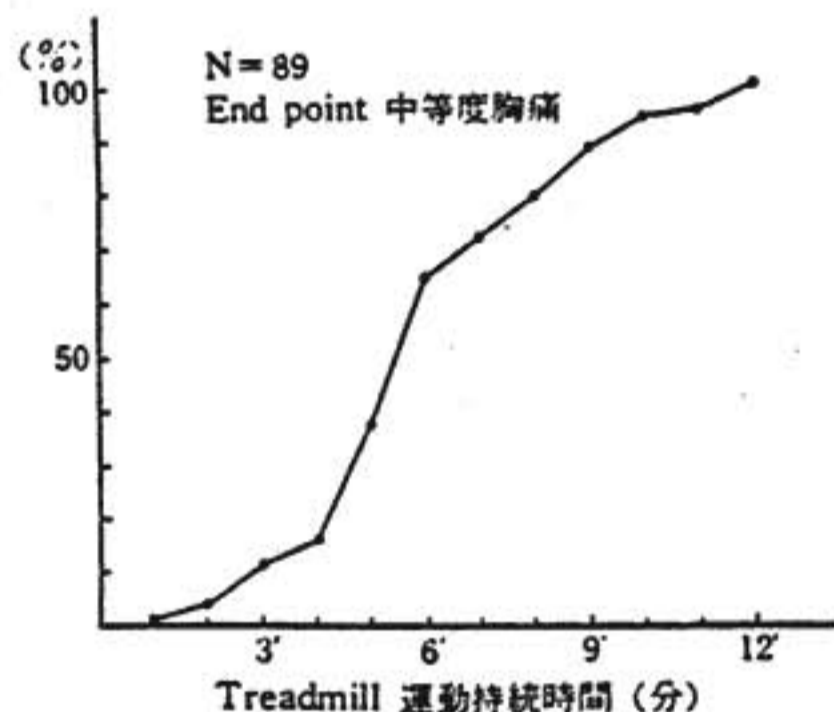


図2 労作性狭心症患者の修正 Bruce 法 version I 運動負荷試験の運動持続時間

めたものもあった。Bruce 法はこのような重症の労作性狭心症患者にとっては初段からすでに過負荷であり、また重症患者では抗狭心症薬の薬効評価にも不適切である。

そこで、我々は運動能力の低い患者にも安全に運動負荷試験を施行するため前述の修正 Bruce 法 (以下これを修正 Bruce 法 version I と呼ぶ) の第 I 段階の下に低運動強度の 2 段階を追加した再修正 Bruce 法 (修正 Bruce 法 version II) を考案した (表 2)。再修正のための基礎的データを得るため 10 名の正常成人男子 (25~31 才, 平均 28.5 ± 2.1 才) に低強度の運動

から開始する間歇的 6 段階運動負荷試験を施行した。各段の運動時間は 3 分間、各段間の休息時間は 6~8 分とした。 $\dot{V}O_2$ は第 1 段階 (1.0 mph 0%) では $9.7 \pm 1.6 (ml/kg \cdot min)$ (2.8 METs), 第 2 段階 (1.0 mph 5%) では $10.9 \pm 1.6 (3.1 METs)$, 第 3 段階 (1.0 mph 10%) では $12.4 \pm 1.0 (3.5 METs)$, 第 4 段階 (1.3 mph 10%) では $14.4 \pm 1.7 (4.1 METs)$, 第 5 段階 (1.7 mph 10%) では $17.0 \pm 2.4 (4.9 METs)$, 第 6 段階 (2.5 mph 12%) では $24.7 \pm 2.9 (7.1 METs)$ であった。この第 5 および第 6 段階の $\dot{V}O_2$ は、以前に別の正常成人男子 44 名に修正 Bruce 法 version I を施行して得られた第 I および第 II 段階の $\dot{V}O_2$ (表 2) にそれぞれよく一致する。以上の成績を参考にして修正 Bruce 法 version II の第 1 段階は 1.0 mph 0%, 第 2 段階は 1.0 mph 10%, 第 III 段階以降は version I と同じとした (表 2)。

表 2 は修正 Bruce 法 version II 運動負荷試験における正常成人男子の $\dot{V}O_2$, 循環系反応を示す。 $\dot{V}O_2$ は各段とも最後の 1 分間の値、心拍数、収縮期血圧、PRP は各段の最終値 (3 分目) の値である。第 I、第 II 段階の数値は上述の 10 名の成績より、第 III 段階以降の数値は第 43 回日本循環器病学会総会で報告した正常成人男子 44 名の成績²⁾ より引用した。修正 Bruce 法 version II の臨床使用に際し、我々は被検者の病態、運動能力に合わせて運動開始段階を第 I、第 II、第

Ⅲ段階のなかから選択している。高い運動能力を有する被検者では低強度の段階から運動を開始すれば診断に必要な徴候を誘発するのに十分な stress を心臓に負荷する前に疲労のため運動を中止する可能性が大きく、またたとえ診断に必要な徴候を誘発しえたとしても検査所要時間が長くなり、時間経済上損失が大となる。したがって外来患者での運動開始段階は、通常、第Ⅲ段階 (Bruce 法第Ⅰ段階) であり、時に第Ⅱ段階、極めてまれに第Ⅰ段階である。

このシンポジウムのテーマは「運動負荷試験法の統一」である。この実現は理想であるが、各研究施設、各研究グループ毎にすでにそれぞれの運動負荷試験プロトコルによる data の蓄積があり、大幅なプロトコルの変更には大きな抵抗を伴うと考えられる。表3

表3 運動負荷試験における推奨初段METレベル及び段階MET増分³⁾

	初段MET レベル	段階MET 増分
活動的な若年健常人	6-7	3
非活動的または老年健常人	4-5	2
健康に疑いのあるもの または冠動脈疾患患者	2-3	1

は被検者の運動能力別に Franks³⁾ が推奨している多段階運動負荷試験の初段の運動強度および各段階の運動強度の増分を示す。冠動脈疾患患者では初段は2~3 METs, 段階増分は1 MET が提案されている。Naughton 法⁴⁾はこの提案に合致するが、初段の速度が急性心筋梗塞回復早期の患者、高年齢者にとってはやや速いように思われる。Bruce 原法はもちろんのこと、我々の修正 Bruce 法 version II もこの規格に合致

しない。Franks の提案を受け入れ、しかも運動能力の差が著しく大きい被検者集団の検査にも適応するためには、第1段階 2 METs, 増分 1 MET の多段階プロトコルを作成し、患者の能力に応じて初段およびその後の運動強度の増分を選択することになるであろう。多段階 treadmill 運動負荷試験のプロトコルを速度、傾斜で統一規定するのではなくて、このように MET 単位で統一規定すれば、各研究グループで使用中的プロトコルを大きく変更しなくてもよいように考える。Bruce 法の場合には少なくとも第Ⅰ段階 (約 5 METs), 第Ⅱ段階 (約 7 METs) はそのまま新プロトコルに組み入れることができる。今後さらに対象数を増し MET 単位の多段階 treadmill 運動負荷試験方式を考案したいと考えている。

文 献

- 1) 外畑 巖, 志野友義, 石川征雄: Treadmill exercise test の酸素消費量. 最新医学 31: 2031-2035, 1976.
- 2) Sotobata, I., Shino, T., Kondo, T., Tsuzuki, J.: Work intensities of different modes of exercise testings in clinical use. Jpn. Circul. J. 43: 161-169, 1979.
- 3) Franks, B. D.: Methodology of the exercise ECG test: technical aspects. In, Exercise Electrocardiography. Practical Approach. edited by Chung EK, Williams & Wilkins, Baltimore, pp. 46-61, 1979.
- 4) Naughton, J.: Stress electrocardiography in clinical electrocardiographic correlations. In, Cardiovascular Clinics, edited by Rios JC, Vol 8, Davis, Philadelphia, pp. 127-139, 1977.

Treadmill, Ergometer の負荷法の統一化

高齢者の treadmill 負荷方式について

久保田 功*・渡辺 佳彦*・安井 昭二*

はじめに

運動負荷試験は、冠動脈疾患の診断を始めとし、様々な目的のために汎用されている。なかでも、treadmill 負荷試験は、日常生活に密着した歩行運動を用い、運動能力に応じた負荷を被検者の意志とは無関係に定量負荷できる利点を有し、高齢者に対する負荷方法としては優れた方法であるといえる。一方、treadmill 負荷のプロトコールは、特に米国において数多く考案されているが¹⁻³⁾、これらのプロトコールをそのまま日本人、特に高齢者に適用することは、体格の違いなどから考えると無理があるのが当然である。したがって、日本人高齢者に対し treadmill 負荷を行うにあたっては、そのプロトコールの選択が問題となる。今回、我々の教室で用いている modified Sheffield 法にしたがって、実際に高齢者に対し treadmill 負荷試験を施行した結果について報告する。

I 対象ならびに方法

冠動脈疾患ならびにその疑いのある患者で我々のプロトコールにしたがって treadmill 負荷試験を施行した全患者群から、60才以上の高齢者34名、男性21名、女性13名を対象とした。年齢は、60歳から78歳まで、平均66.9歳である。なお、同様に50歳代の患者39名、男性25名、女性14名を対照として選んだ。

我々の使用している Modified Sheffield 法を表1に示す。このプロトコールは、Sheffield 法³⁾の stage 1 の下に stage 0 (1.0 mph, 0%, 3分間) を加えたものである。負荷は stage 0 から stage 3 のいずれかから開始するが、負荷前に日常の運動能力を問診し、患者の運動耐容能の範囲内と考えられる stage から開始する。目標心拍数は Scandinavia 委員会⁴⁾にしたがい、50歳代は140/分、60歳代は130/分とし、70歳代は120/分とした。運動は目標心拍数に達さなくとも、モニター ECG 上の ST 偏位、不整脈、血圧反

表1 Treadmill exercise protocol

Stage	Speed (mph)	Grade (%)	Duration (min)
0	1.0	0	3
1	1.7	0	3
2	1.7	5	3
3	1.7	10	3
4	2.5	12	3
5	3.4	14	3

応および患者の自覚症状を参考にして中止した。負荷試験の結果を、目標心拍数に達したものを complete test, 達さなかったものを incomplete test と区別した。負荷試験の判定は Chung⁵⁾ を参考にして以下の基準にしたがい、positive, equivocal, negative に分類した。positive とは (1) 1 mm 以上の horizontal あるいは downsloping な ST 低下、及び、(2) 1 mm 以上の horizontal あるいは upsloping な ST 上昇を示すもの。equivocal とは、(1) 1 mm 以下の horizontal あるいは downsloping な ST 低下、(2) J点より0.08秒後の ST 部が 2 mm 以上低下している upsloping な ST 低下、(3) 低血圧、(4) 陰性 U波、(5) 重篤な心室性不整脈の出現したものとし、いずれにも相当しない場合を negative とした。

II 結果ならびに考案

目標心拍数に注目すると、complete test は14例 (41%)、incomplete test は20例 (59%) であった。負荷試験の判定は、positive 12例 (35%)、equivocal 6例 (18%)、negative 16例 (47%) であり、うち complete test はそれぞれ、6、1、7例であった。負荷試験の結果をまず complete, incomplete に、次いで positive, equivocal, negative の計6群に分類した。各群の分布は、対照とした50歳代の患者群に比較し有意の差はなかった。

全症例から incomplete negative test を除いた、

* 山形大学医学部 第一内科

positive test 12例, equivocal test 6例, 及び complete negative test 7例は診断的価値が認められるもので, その比率は34例中25例, 74%であり, 一応満足すべきものであると思われた. 一方, 診断的価値のない incomplete negative 9例の運動中止の理由を調べると, 無気力3例, 下肢疲労3例, 血圧過度上昇 (>220 mmHg), めまい, 視力障害各1例であった. 無気力で中止した3名以外は, 運動中止の理由として適当であると考えられた. 冠動脈造影を施行し得た7例のうち, 51%以上の冠狭窄を有意とすると, 2枝病変を有するもの3例, 1枝病変を有するもの3例, 有意の狭窄を有さないもの1例であった. 2枝病変例は3例とも incomplete test であり, positive 2, equivocal 1例であった. 1枝病変例3例では, incomplete equivocal, complete positive が各1例で, 他の1例は incomplete negative test であった. 有意の病変のなかった1例は, complete negative test であった.

負荷を開始した stage をみると, stage 0 (1 mph, 0%) から stage 3 (1.7 mph, 10%) まで, それぞれ6例 (18%), 18例 (52%), 6例 (18%), 4例 (12%) であった. Stage 3 は Bruce 法¹⁾の第1段階に相当するが, stage 3 から開始したものはわずか12%で, 88%はそれ以下の stage から開始している. 一方,

負荷を終了した stage は, stage 0 (1 mph, 0%) から stage 5 (3.4 mph, 14%) にわたり, それぞれ5, 4, 4, 14, 5, 2名であり, stage 5 を越えた症例はなかった. Bruce 法の第1段階, すなわち stage 3 に達しなかった症例が13例, 38%も存在したことは注目に値する. さらに, stage 4 (2.5 mph, 12%) 以上まで負荷を行った症例は7例, 21%に過ぎないのに対し, 対照とした50歳代の患者群では, 39例中30名, 77%が stage 4 以上に達している. この事実は高齢者の運動耐容能の低下を反映し, より程度の軽い負荷の必要性を示すものである.

運動持続時間は, incomplete positive test の平均5.4分から complete negative test の平均7.2分までの範囲にあり, 全症例の平均は6.1分であった. 実際, ほとんどの症例が9分以内に負荷を終了しており, 9分以上4つの stage に及んだものは34例中4例 (12%) のみである, 12分を超えるものはなかった.

症例1 (図1) は, 73歳女性で狭心症の疑いで treadmill 負荷を施行していた. Stage 0 から負荷を開始し, 3分後, 心拍数が130/分と目標心拍数の120/分を越えたので負荷を中止した. 負荷中止後5分で, V_4 を中心に horizontal な ST 低下が認められ, complete positive test に分類された. 本症例においては, stage 0 が運動耐容能の限界と考えられた.

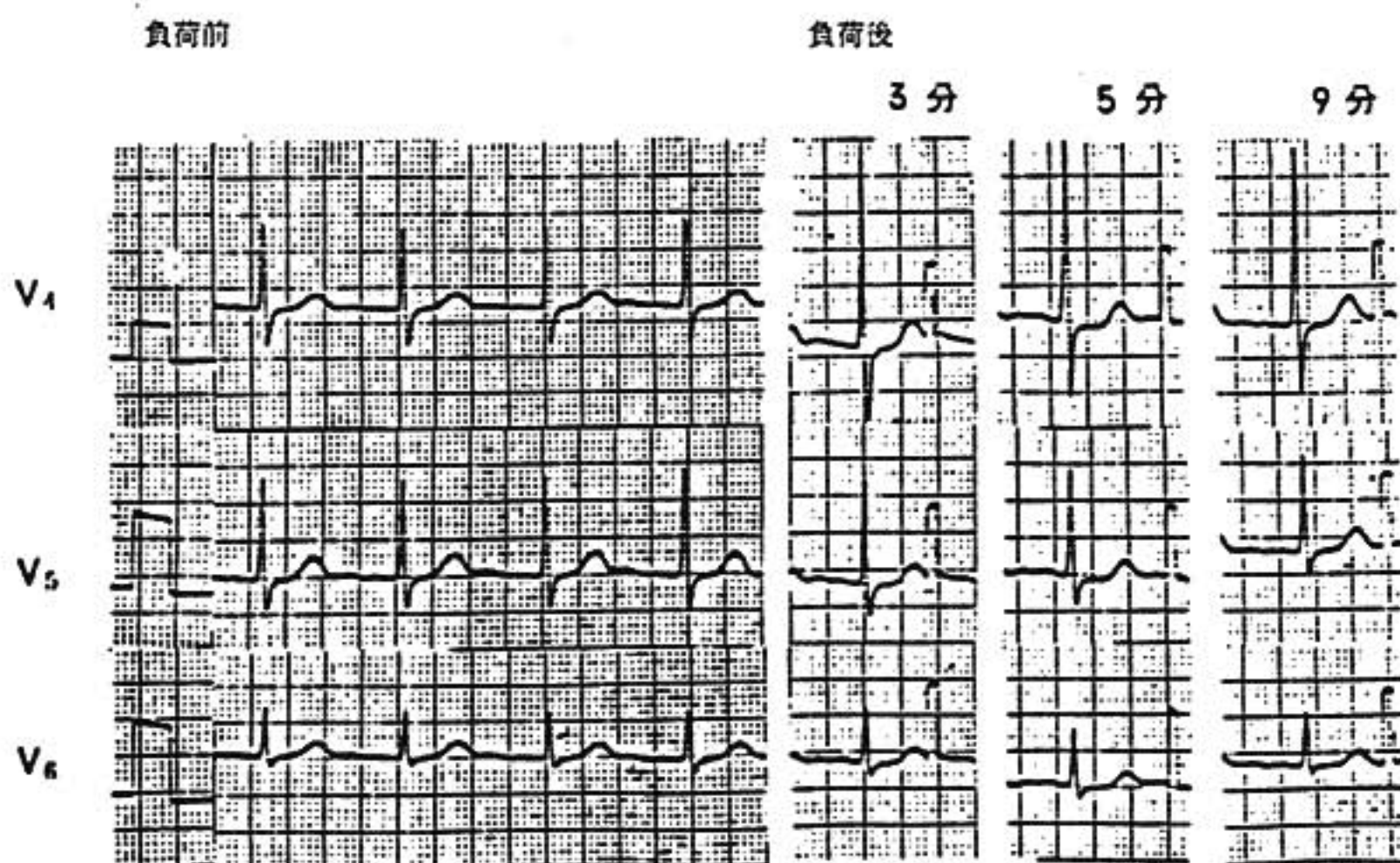


図1 Stage 0. 3分の負荷で complete positive test と判定された73才女性例

Sheffield 法は, Bruce 法の第1段階の下に2段階の軽い負荷段階 (stage 1 及び stage 2) を加え, 運動能力の低い患者に対しても安全な負荷が行える配慮がなされているが, 日本人高齢者に対して負荷を施行する際には, さらに下の stage が必要なことが明らかである。

症例2 (図2) は, 狭心症が疑われた68歳女性の例

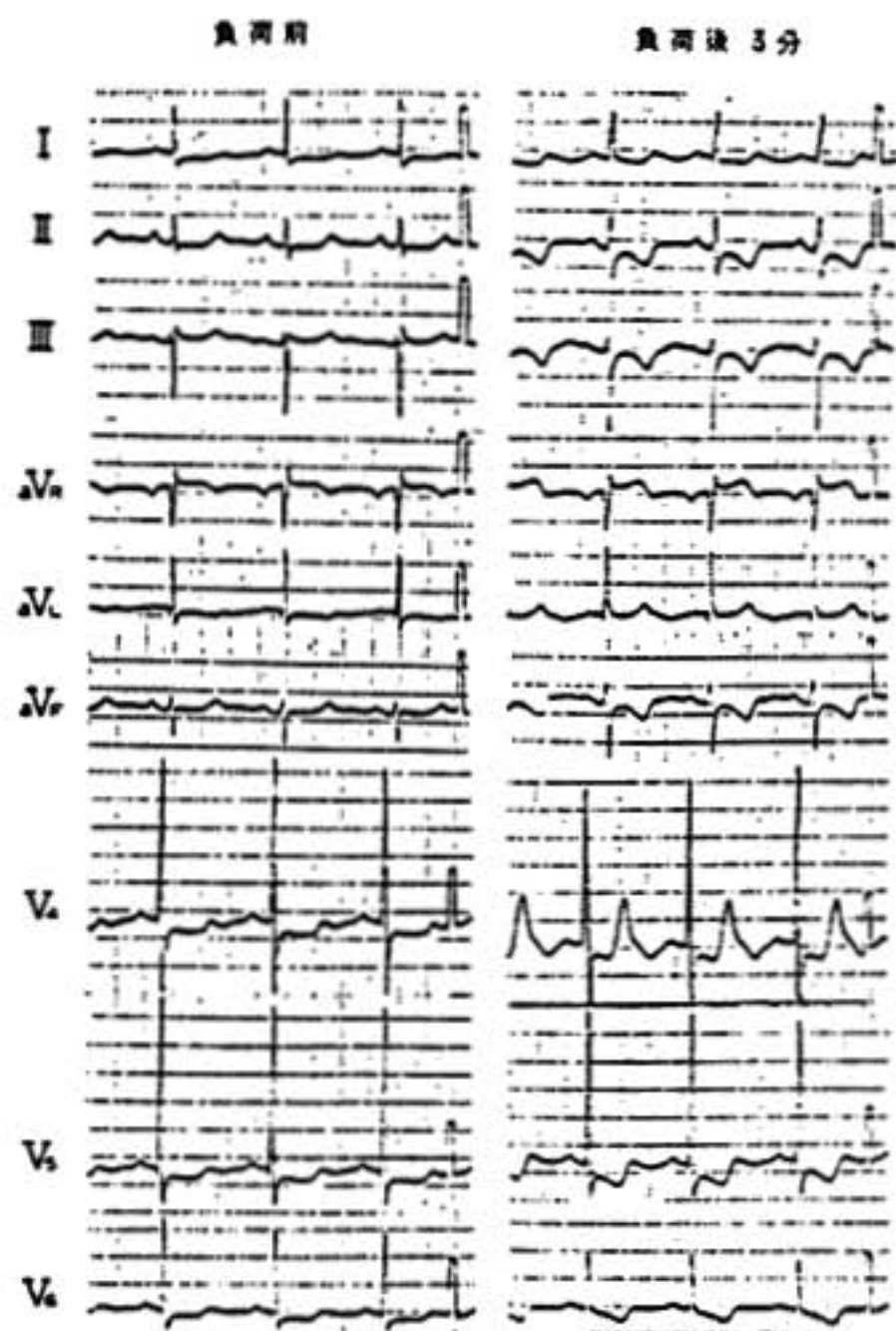


図2 Stage 1. 3分の負荷で complete positive test と判定された68歳女性例

である。Stage 1 より負荷を開始し, 3分経過後に心拍数が141/分と目標心拍数の130/分を越え, かつモニター ECG で ST 低下が認められたので負荷を中止した。負荷終了後3分では, horizontal および down-sloping な ST 低下が認められ, さらに V_4 を中心に著明な陰性 U 波の出現をみた。本例も complete positive test であり, 負荷量として stage 1 で十分と考えられた。

症例3 (図3) は, 狭心症の疑いのある60歳男性の例である。Aが負荷前の CM-5 誘導心電図である。

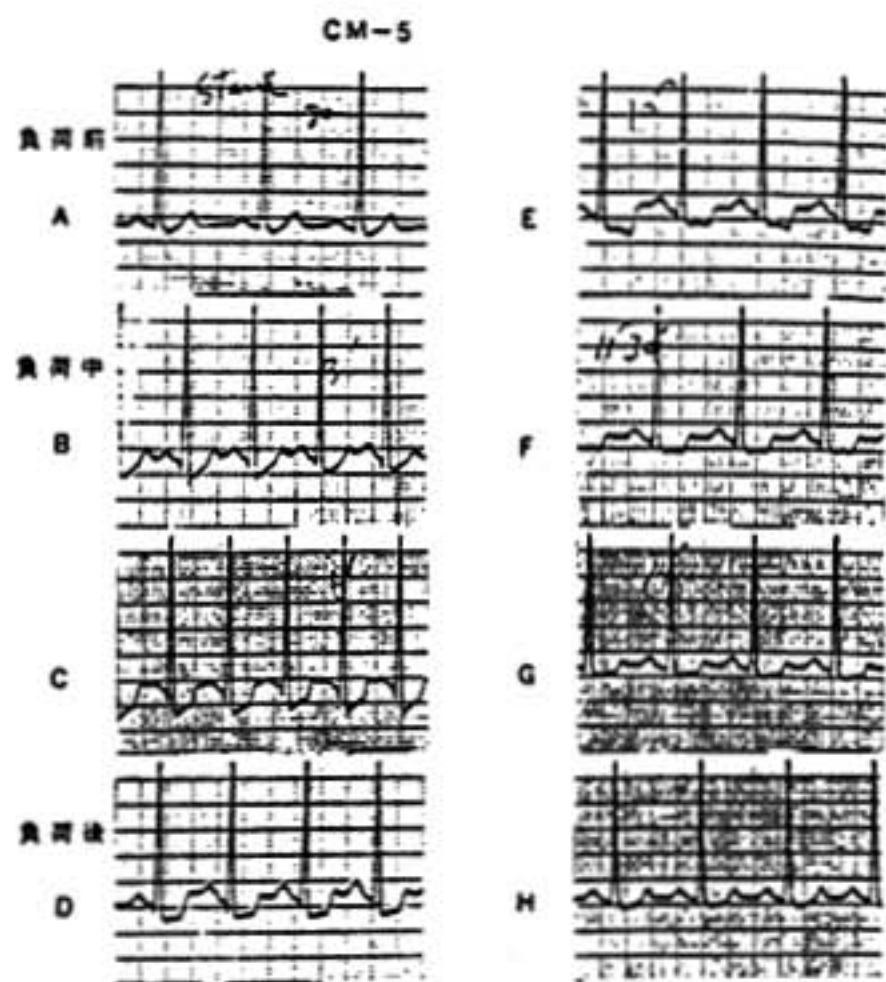


図3 Stage 2 および stage 3 の計6分の負荷で complete positive test と判定された60歳男性例 (本文参照)

運動能力は比較的良好と考えられたので, stage 2 より負荷を開始した。Stage 2 の終了時の心電図がBである。Stage 3 の負荷終了時 (C) に心拍数が138/分と目標心拍数の130/分を越えたので, 6分で負荷を中止した。DからHまでは負荷後の心電図変化で, それぞれ負荷後1, 4, 6, 8, 10分後のものである。ST 低下の形態は負荷終了時から upsloping (C), horizontal (D), down-sloping (E) と変化し, evolutionary pattern⁶⁾ を呈している。本例も complete positive test の1例であるが, 冠動脈造影で2枝病変が明らかとなった。

結 語

60歳以上の高齢者に対し, Sheffield 法の stage 1 の下に stage 0 (1 mph, 0%, 3分間) を加えた modified Sheffield 法にしたがい, treadmill 負荷を施行した。本法は患者の運動能力に応じて負荷開始の stage を決定することにより, 運動耐容能の低い患者に対しても安全に負荷が加えられ, 高齢者の treadmill 負荷プロトコールとして満足すべきものであると考えられた。

文 献

- 1) Bruce, R. A., et al. : Pediatrics 32 : 742, 1963.
- 2) Ellestad, M. H., et al. : Circulation 39 : 517, 1969.
- 3) Kattus, A. A., et al. : J. Occupa. Med. 10 : 627, 1968.
- 4) McHenry, P. L., et al. : Am. J. Cardiol. 30 : 747, 1972.
- 5) Sheffield, L. T. : A handbook for physician. American Heart Association. The Committee on Exercise, pp. 35-38, 1972.
- 6) Chahine, R. A., et al. : J. Electrocardiol. 12 : 235, 1979.
- 7) Chung, E. K. : Exercise electrocardiography. Practical approach. Williams & Wilkins Co. Baltimore, pp. 156-219, 1979.

Treadmill, Ergometer の負荷法の統一化

エルゴメーター負荷における体重の考慮

栗原 正*・成田 充啓*・宇佐美 暢久*

緒 言

自転車エルゴメーターによる運動負荷試験は、定量的な運動負荷試験として、トレッドミルと並び、広く利用されている。自転車エルゴメーターは、心カテテル、心機図、心エコー図、さらに按医学的検査に応用しうることが最大の特徴であり、心臓病学の分野で、今後とも広く利用されると考えられる。

本法とトレッドミルの大きな差異は、被検者の体重が、サドルあるいはベッドで支えられ、仕事量は、主に下肢の運動による外的仕事で定量化されることである。したがって、自転車エルゴメーターによる負荷試験の成績を、外的仕事量で表現し、これから直ちに、日常の体重移動を要する運動の生体反応を推定しうるか、との疑問が生じる。われわれは、自転車エルゴメーター負荷時の、体重の取り扱いにつき検討を加えたので報告する。

I 対象および方法

対象は、特に運動習慣のない、健康男子18名、年齢は24~48才、平均32才である。

エルゴメーター負荷には、シーメンス社製電気制動式自転車エルゴメーター (Model EM 369) を用いた。運動負荷は5分間の中断をはさんだ2段階負荷法によ

り行い、負荷量と心拍数より、 PWC_{170} ¹⁾ (心拍数170/分における physical work capacity) を求め、身体運動能とした。 PWC_{170} を求めるには、通常3段階の運動負荷を行い、特に、最高負荷度では、心拍数が150/分前後となることが要求されているが、今回は、ソビエトのカルプマン²⁾ が発表した方法を修正し用いた。第1段階では、負荷量を80 watt とし、5分間の運動を行い、その際の3, 4, 5分時の平均心拍数により、第2段階の負荷量を100~130 watt の間に処方した (図1)。

1st Exercise Load	2nd Exercise HR at 1st Ex	Load
80 Watt	90~109	130 Watt
	110~129	120
	130~149	110
	150~159	100

図1 PWC_{170} の推定に用いた2段階負荷試験のプロトコール

第1段階における心拍数にもとづき、第2段階の負荷量を決定した。

トレッドミル負荷には、建部青洲堂製トレッドミル (Model DC-203) を用い、4 mph の一定速度で、5分間の走行を行い、その時の心拍数を、3, 4, 5分時の平均より求めた。

PWC_{170} とトレッドミル走行時の心拍数の関係、お

* 住友病院 内科

よび、両値と体重との関係につき検討を行った。

II 結 果

エルゴメーター負荷、トレッドミル負荷、ともに、負荷中の心拍数は、3, 4, 5分時で、8/分以内の変動にとどまり、定常状態に達していると考えられた。また、エルゴメーター負荷時の心拍数は、第1段階 124 ± 13 /分、第2段階 154 ± 11 /分であった。

自転車エルゴメーター負荷より求めた PWC_{170} と、トレッドミル走行時心拍数との関係では、 PWC_{170} の高い者ほど、トレッドミル走行時心拍数が少ないであろうとの想定に反し、相関はみとめられなかった(図2)。

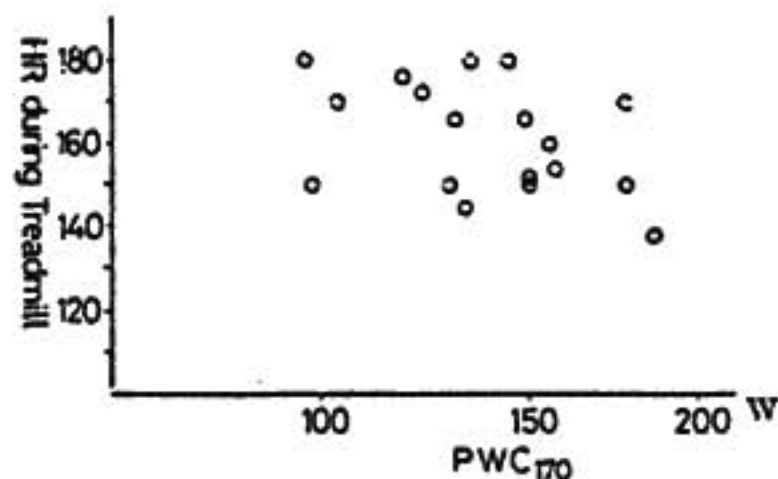


図2 PWC_{170} とトレッドミル走行時心拍数との対比
両者の間には一定の関係を認めず、両負荷試験成績の間に不一致を示した。

両負荷試験成績と体重の関係を見ると、 PWC_{170} と体重との間には、 $r = 0.62$ の相関をみとめたのに対し、トレッドミル走行時心拍数は、体重との間に相関を示さなかった(図3)。

エルゴメーター負荷では、体重の大きな者ほど PWC_{170} が高く算出される傾向があるため、体重の影響を考慮し、 PWC_{170} を体重で除した値 PWC_{170}/kg と、トレッドミル走行時心拍数の関係をみた。 $r = 0.47$ と、有意の相関を示さなかったものの、図2に比し、 PWC_{170}/kg の高い者は、トレッドミル走行時心拍数が少ない傾向があらわれていた(図4)。

III 考 案

運動負荷試験より、身体運動能を判定する場合、最大酸素摂取量を測定することが理想であるが、かなりの時間を要し、また、手技が繁雑であるため、至最大

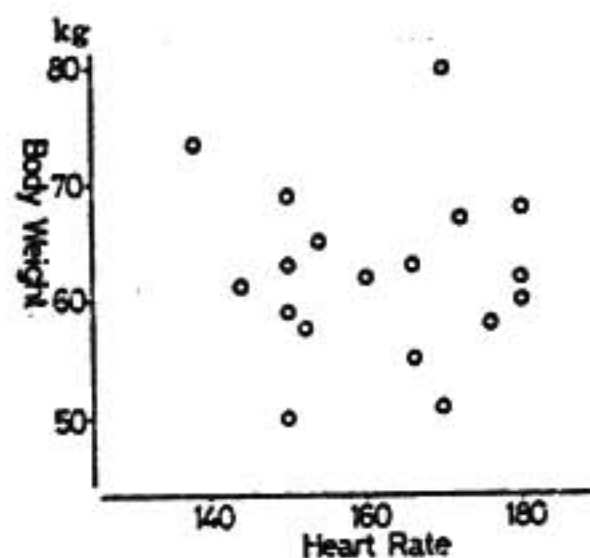
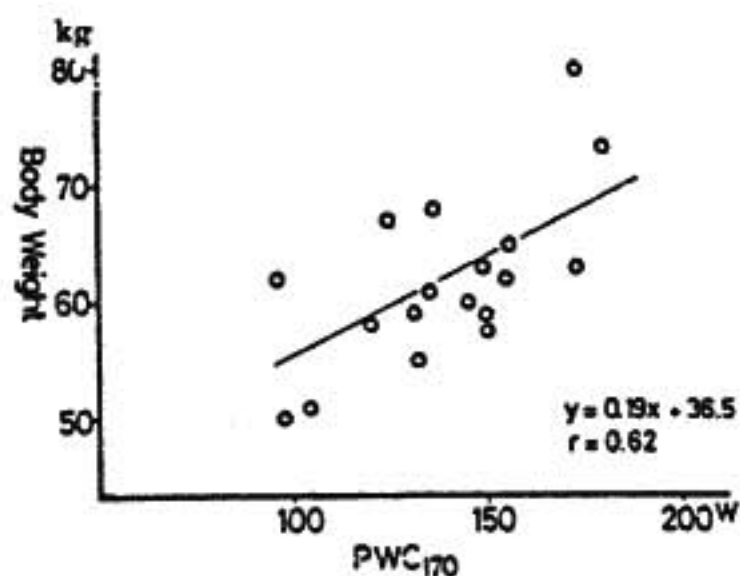


図3 PWC_{170} およびトレッドミル走行時心拍数と体重との関係

PWC_{170} は体重との間に相関を示したが、トレッドミル走行時心拍数は、体重と無関係であった。

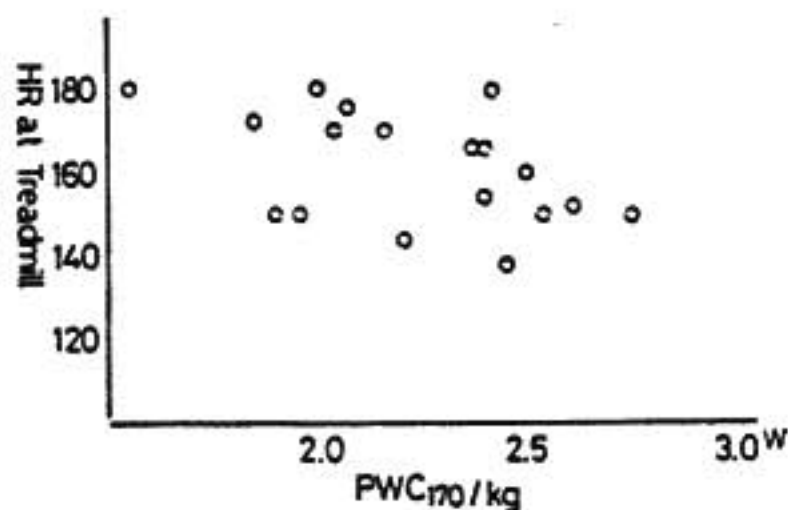


図4 PWC_{170}/BW とトレッドミル走行時心拍数との対比

PWC_{170} を体重で補正することにより、両負荷試験成績の不一致が、ある程度是正された。

負荷時の成績から推定する方法が考えられている³⁾。これは、酸素摂取量、あるいは作業強度と、心拍数が直線関係にあることに基づいている。本研究で身体運動能の評価に用いた PWC_{170} は、定常状態に達した運動負荷量と、その時の心拍数より、心拍数170/分における負荷量を外挿する方法で、通常は3段階の負荷を行い、最高負荷度では、心拍数が150/分前後となる

ことが要求されている。今回、われわれの用いた2段階負荷法では、第1段における心拍数は、平均124/分、第2段では154/分であり、 PWC_{170} の推定に、十分な負荷をかけられたものと考えられ、得られた値は、妥当なものと思われた。

このようにして求めた PWC_{170} は、トレッドミル走行時心拍数との間に相関を示さず、両負荷試験の成績に不一致がみとめられた。 PWC_{170} が体重の影響を受けるのに対し、トレッドミル走行時の心拍数を体重との間には、一定の関係がみとめられなかった。 PWC_{170} より、体重の影響を除いた PWC_{170}/BW とトレッドミル走行時心拍数との間には、有意の相関をみなかったものの、両試験成績の不一致が是正された。

以上の結果は、エルゴメーター負荷により、身体運動能を推定する際に、何らかの形で体重の考慮が必要であることを示すと考えられる。その1つは、加える負荷量に体重を考慮する方法で、Mellerowicz⁴⁾の提唱した体重当り負荷法がこれにあたる。1 watt/kg 負荷時の心拍数は、体重に関係なくほぼ一定の値をとり、また、かかる負荷時には、tension-time index がほぼ60%増になる⁵⁾ ことから、体重当り負荷では、体重に関係なく、一定の生体反応を生じるものと考えられる。小児領域の負荷試験では、体重当り負荷法を重視する研究者が多く、Graser⁶⁾ は、第1段負荷を

0.8~1.0 watt/kg, 第2負荷を、第1段の心拍数を考慮して、1.4~1.7 watt/kg とした2段階負荷試験を小児に用いている。

もう1つは、今回われわれの行ったように、得られた値を体重で補正する方法である。この場合、加える初回負荷量の選択が問題となる。今回、われわれの行った 80 watt は、軽量者には強すぎた感があり、運動習慣のない者には、初回負荷量を 1 watt/kg とし、その際の心拍数により、次段階の負荷量を決定するのが妥当であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) Wahlund, H. : Acta Med. Scand. Suppl. 215, 1968.
- 2) ベ・エル・カルプマン (太田順暢: 訳) : スポーツマンの体力測定, ベースボール・マガジン社, 東京, p. 31, 1976.
- 3) Astrand, P. O. und Ryhming, I. : J. Appl. Physiol. 7 : 218, 1959.
- 4) Dransfeld, B. und Mellerowicz, H. : Z. f. Kleislaufforsch. 48 : 901, 1959.
- 5) Strauer, B. E. : Z. f. Kardiologie 67 : 375, 1978.
- 6) Graser, F. : 2 Internationales Seminar fur Ergometrie. Ergon Verlag, Berlin, p. 233, 1967.

Treadmill, Ergometer の負荷法の統一化

運動負荷試験における終点の決定について

田 村 康 二*

運動負荷試験の目的の一つは虚血性心臓病の余備力の評価である。この目的のためには負荷法の統一化がなされるにこしたことはない。そのためには、まず、一体何を運動負荷の終点としたらよいかという問題を検討してみた。

図1は、まず心筋の酸素消費量を横軸に心筋酸素供給需要比を縦軸にとって、両者の関係についてこれまでに得た我々の成績から考えている私の仮説である。

心筋酸素供給需要比が1以下となる。すなわち心筋虚血が生じてくると予備能は低下してくる。すると心筋酸素消費量の増加に需要が追いつかず、心筋虚血を示す種々のパラメーターが異常となってくる。これらの異常のうち、臨床的にはまず心臓壁運動異常が一番早く敏感に検出でき、ついで心電図の異常、さらには心症状が出現してくると考えている¹⁾。すなわち、これらの各々の異常所見の出現には時間的差があると考

* 山梨医科大学 第二内科

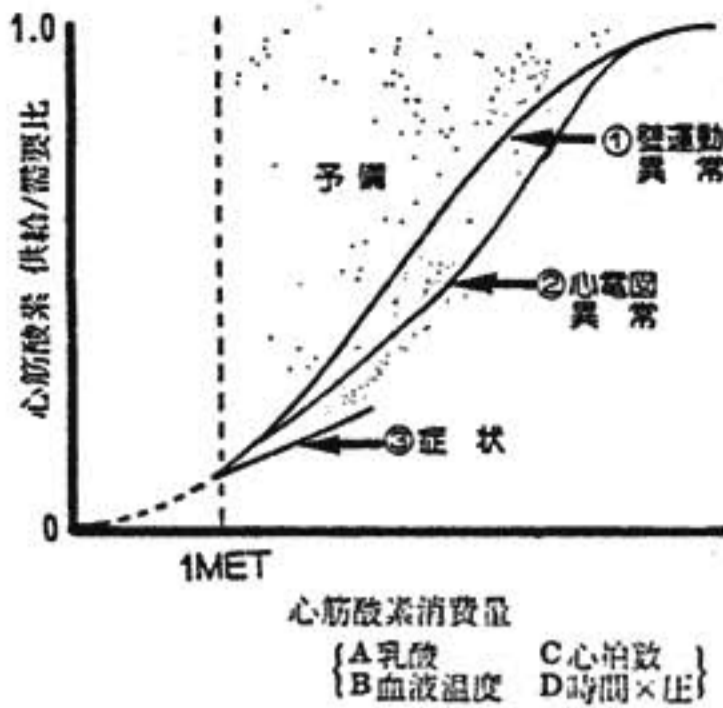


図1 心筋酸素消費量と心筋虚血の関係と心筋虚血の検出について

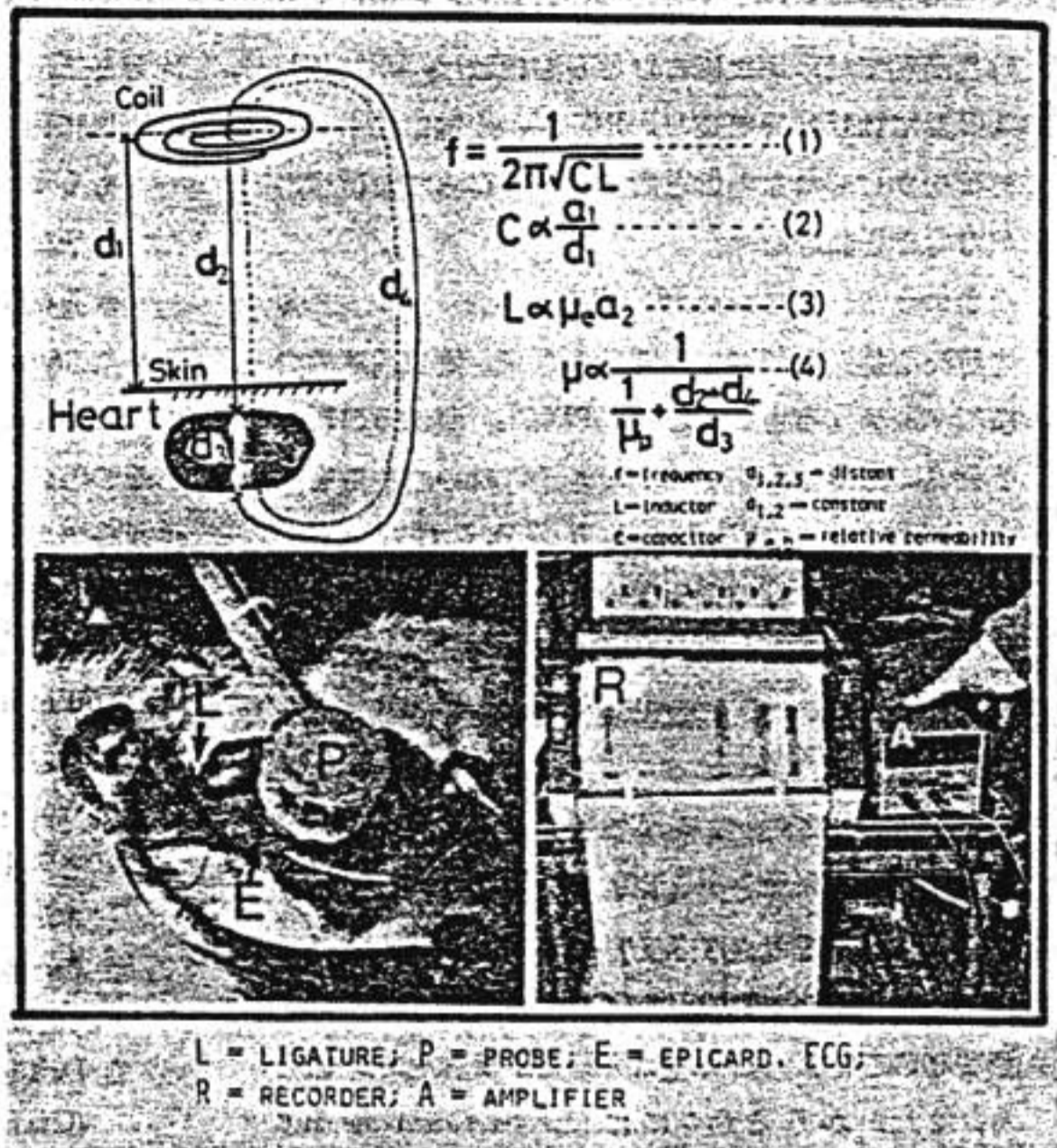


図2 上段に Cardiomevogram の原理を示し、下段にそれを用いた動物実験の実際図を示す

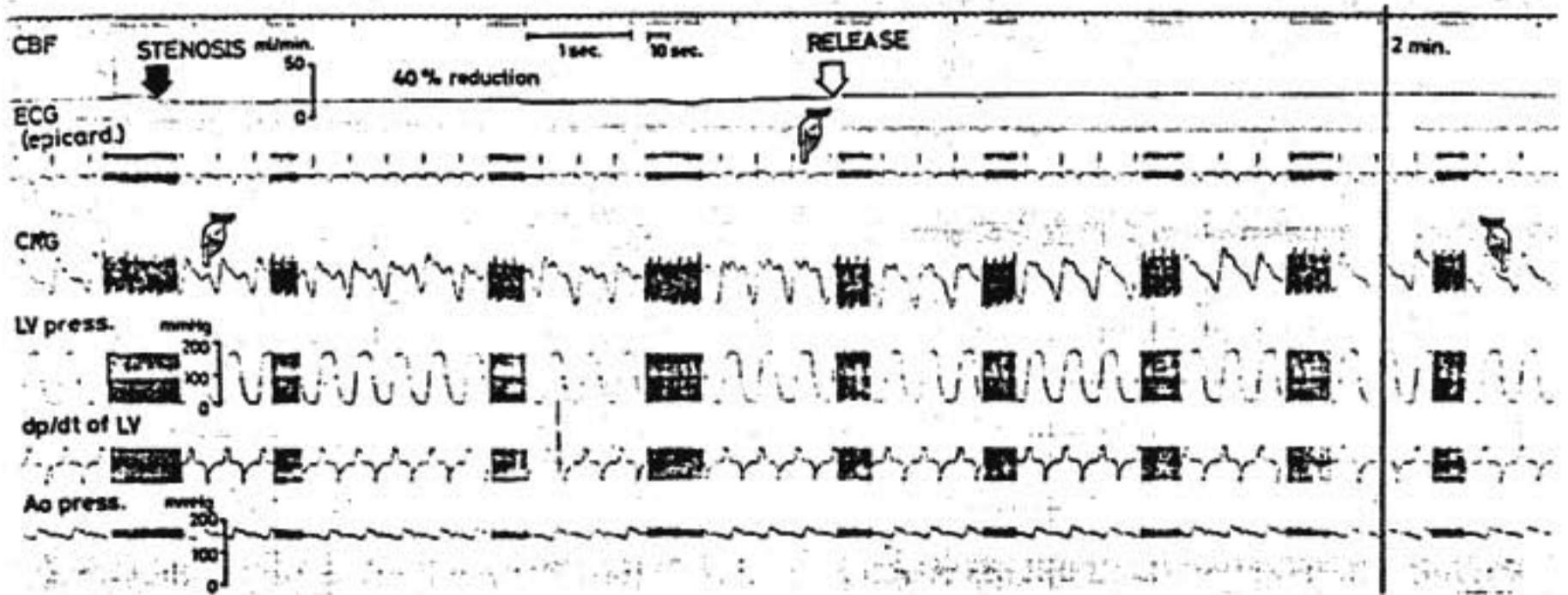


図3 犬の冠動脈狭窄後並びに解除後の特に心外膜 ECG と CMG の変化の時間的差異について

えている。また、ついでに言えば、一方の心筋酸素測定のために临床上では種々のパラメーターが用いられているので、その評価にも差異が生じてくる。このように虚血心評価の、この図の縦軸、横軸のパラメー

ターはいまでは一つでないと思う。

図2は、英国で Vas, R が1967年に報告した²⁾ Cardiokymogram の原理にしたがい、我々が独自に新しく作った Cardiomevogram の装置である。与えた

Myocardial infarction, YN, 57y.o., male

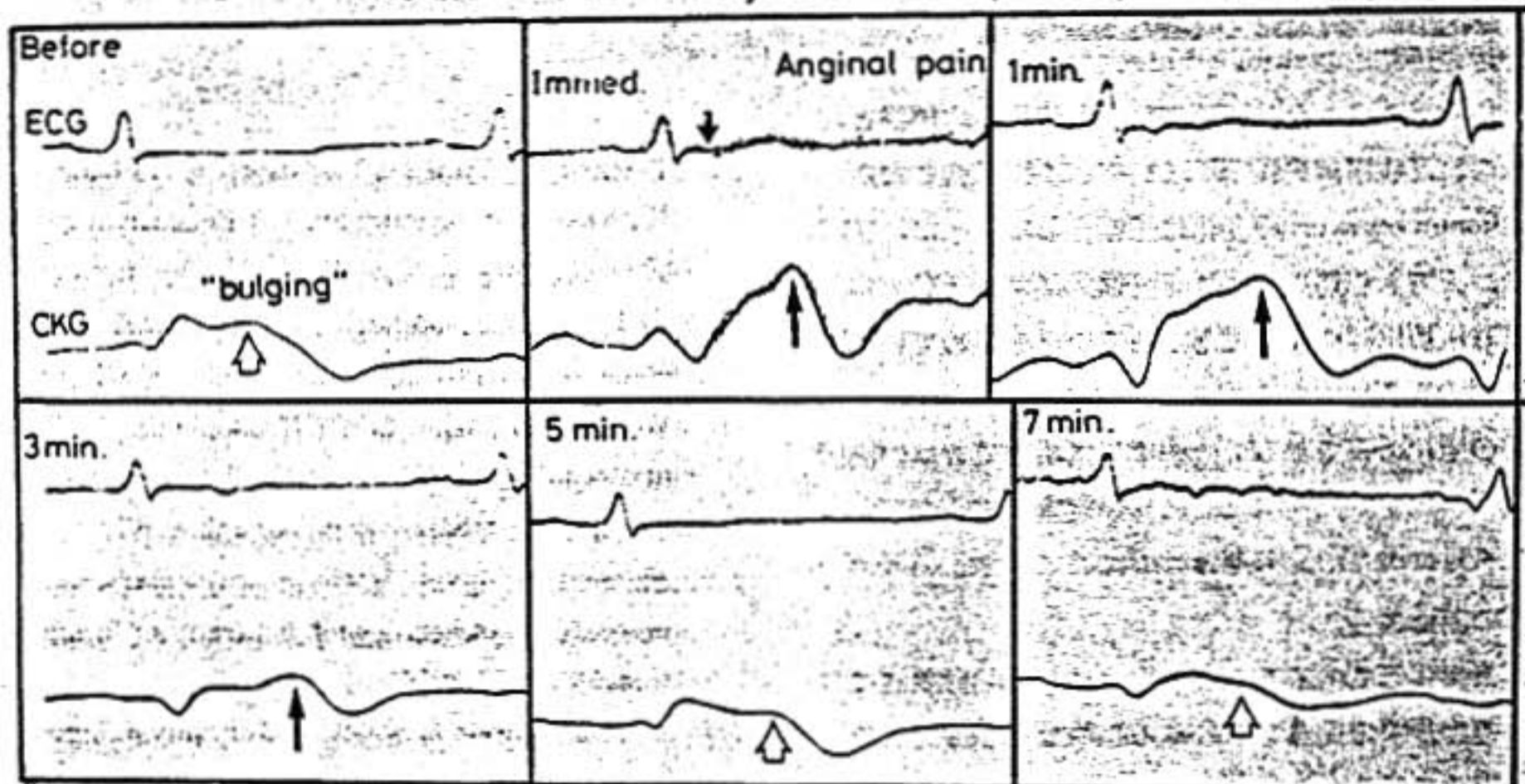


図4 心筋梗塞例に負荷後狭心痛を誘発してその時の ECG 並びに CMG の変化を検計した図

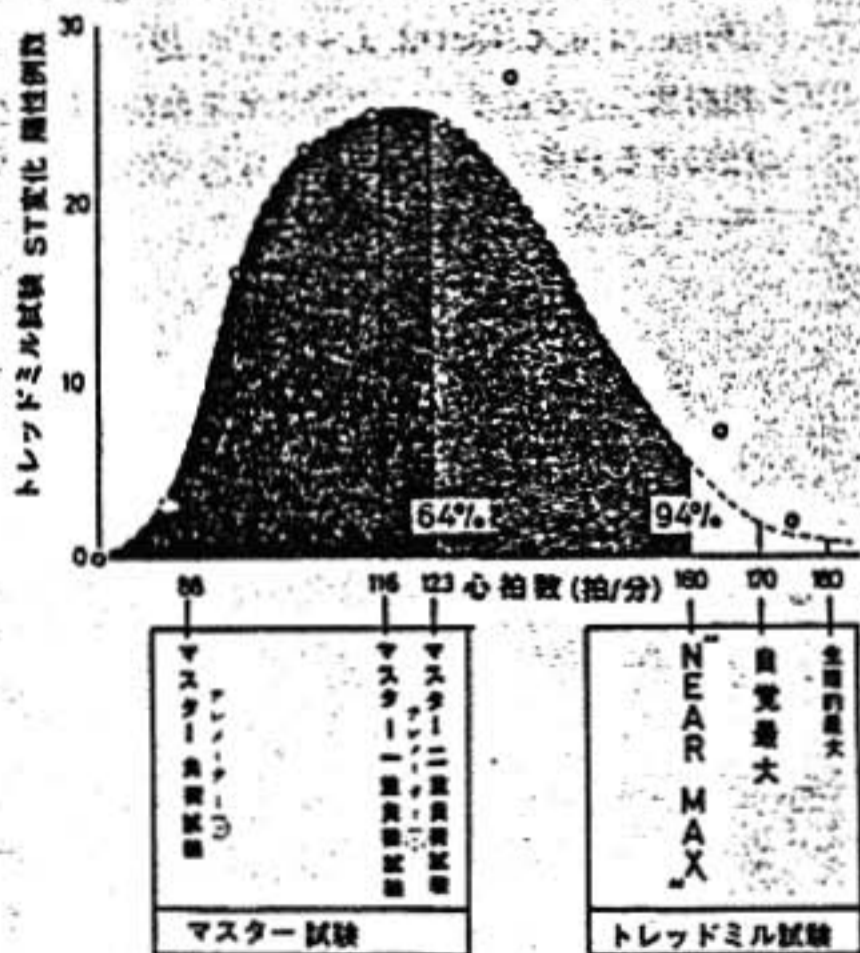


図5 運動負荷による心拍数と陽性のST変化を来した例数との関係について

電磁界内での心臓壁運動の動きを調べる方法の原理を上、下に装置を示す。図の左下のP、すなわち probe 内のコイルを持続発振させる。その発振周波数 f は、主にコイルと心臓壁の距離 d と血液の非透磁率 μ で決めるので、この f を電圧に変換し記録すれば心臓の動きになる。この図は心臓の動きと左下図のE、すなわち、心表面心電図とが、冠動脈に狭窄を起こした時にどのように変化するかということを検討したものである。

まず犬の左前下行枝の結紮後、図3の矢印で示したように、最初に Cardiomoveogram (CMG) の変化、すなわち収縮後期の奇異性運動が生じ、次に少し遅れて心電図の ST 部分の上昇が生じてきたことを認めた。さらに結紮解除後に心電図の ST 変化はすぐに正常化したのに対し、Cardiomoveogram の変化はなかなかもとに戻らなかった。このように心臓壁の異常をモニターする方が心電図をモニターするよりも心筋虚血の検出のためには感度がすぐれていることを認めた。

臨床的に心筋梗塞症に運動負荷を与えた時の

心電図を上, Cardiogram を下に示す(図4). まず左上の記録のように, この症例は心筋梗塞なので, すでに安静時に systolic bulge がある. 運動により狭心痛が誘発された時 ST 降下と bulge の増強とが認められ, 胸痛消失後 ST はすぐに正常化した, Cardiogram の変化は正常化しなかった. すなわち, 人でも心筋虚血に伴う壁運動異常が ECG の異常よりも検出しやすいことがあることを認めている.

心筋虚血を判定する基準は, すでに述べたように心電図の変化のみでなくて, 一律に規格化できない諸因子がある. また, さらにこれらの判定基準をきびしくすると患者の負担, 危険性が増加してくるというマイナスの面がある.

既に報告してあるこの成績⁹⁾のように, 自験例について運動負荷の終点をその時の心拍数と心電図とで, 陽性変化を示した例数をとって分けてみると図5のようになった. この図のような分散を示すところから, 負荷量を増やすと, 当然のことながら陽性例数は増す. しかし, たとえば心拍数を毎分150から170へと増加させたからとて実際に陽性になってくる症例の増加は少なく, 代わりに患者の負担が増加してくると思われる⁹⁾.

以上述べたことから, 私は現在では虚血性心臓病ならびにその評価のための運動負荷試験の終点は, 本試験による患者の反応全体をみることにあるので, たとえ一つのプロトコルを使っても, 現在のところでは,

熟練した医師の判断, すなわち臨床的終点により弾力的に決めるのがよからうと考えている.

文 献

- 1) Tamura, K., Yazawa, Y., Matsuda, H., Kamei, K., Kasahara, T. and Shu, T.: Echocardiographic evaluation of wall motion by myocardial ischemic comparing with electrical changes Proceeding of 2nd. Meeting of the World Federation for Ultrasonic in Medicine and Biology, 1979.
- 2) Ross, J. Jr.: Electrocardiographic ST segment analysis in the characterization of myocardial ischemia and infarction. *Circulation*. 53: I-73, 1976.
- 3) Vas, R.: Electronic device for physiological kinetic measurements and detection of extraneous bodies. *IEEE Transaction on Biomedical Engineering* MBE 14: 2, 1967.
- 4) 田村康二: 新しい電磁界内での生体運動の測定に関する研究—特に心・血管運動の測定について—, *エレクトロニクスの臨床* 10: 41, 1981.
- 5) Tamura, K.: "Near maximal" exercise test by treadmill for evaluation of cardiac function. *Jpn. Circul. J.* 43: 159, 1979.
- 6) 田村康二, 小沢武文, 室岡 寛: 運動負荷心電図法による負荷量の検討—その受益と代価について—, *心臓* 12: 3, 1980.

運動負荷試験における各種検査法の診断的意義

運動負荷心電図と冠動脈造影所見の面から

近藤照夫*・河合直樹*・外畑 巖*

はじめに

循環器領域における運動負荷試験は非観血的検査法として冠動脈疾患を中心に臨床で広く用いられている。臨床応用には冠動脈疾患の診断、心機能の評価、治療方針の決定と治療効果の判定がある。

運動負荷試験に treadmill 又は自転車 ergometer による多段階運動負荷方式が導入されて以来、負荷運動強度の範囲が拡大され、心電図連続監視のみならず運動中の血圧測定が容易となった。現在の運動負荷試験は負荷心電図の他に、運動に対する心拍数と血圧の反応の分析、運動耐容能の評価が可能となり、冠動脈疾患の診断と重症度評価の精度が向上したといわれている。

冠動脈疾患患者を対象とした多段階 treadmill 運動負荷試験における種々の心電図陽性基準の診断と運動時の心拍数、pressure-rate-product (PRP) および運動持続間による重症度評価を行った。

I 運動負荷心電図陽性基準

a) ST基準とu波の陰転

対象は心電図および既往歴で心筋梗塞を認めない30例の労作性狭心症患者で、男21名、女9名、平均年齢51才であった。対象全例に treadmill 運動負荷試験と選択的冠動脈造影を施行した。冠動脈造影上、主要冠動脈1枝以上に75%以上の狭窄(左主幹部は50%以上)を全員に認めた。対照正常人として冠動脈危険因子のない、比較的若い(平均年齢30才)健康成人男16名に treadmill 運動負荷試験を施行した。運動負荷試験の運動終了点は狭心痛、疲労または目標心拍数(年齢別予想最大心拍数の85%以上)であった。

労作性狭心症群の運動負荷時 peak 心拍数平均は115.7拍/分、peak 収縮期血圧平均は158.7 mmHgであった。1枝病変は15名に、2枝病変は5名に、3枝病変は6名に、左主幹部病変は4名にみられた。健

常人群の運動負荷時 peak 心拍数平均は172.6拍/分であった。

運動負荷試験は従来我々が用いている修正 Bruce 法 treadmill 運動負荷試験で、心電図誘導として修正 Frank 法を用いた。運動負荷試験時に収録した記録より紙送り速度 50 mm/秒、1 mV=20 mm で心電図を再生し、回復期に ST 変化が最も著しい記録について少なくとも連続3心拍以上の計測値の平均を求めた。

運動負荷試験により狭心痛が誘発された症例は狭心症群30名中26名(86.7%)、健常群16名中0名(0%)であった。狭心症患者の treadmill 運動負荷による狭心痛誘発は85~100%に認められたとの報告があり、我々の成績と類似した。

運動負荷心電図試験の ST 基準の診断能を検討すると、水平又は下降傾斜型 ST 低下の 0.1 mV 以上を陽性基準に用いた時、その感度は63.3%、特異度は100%で、ST 低下 0.05 mV 以上を陽性基準に用いた時、その感度は90%と改善された。slow upsloping ST 低下(J点より 80 msec で 0.2 mV 以上の ST 低下)を示した症例は両群とも1例も認められなかった。冠動脈造影により有意な冠動脈狭窄(70~75%以上の狭窄)が確認されている冠動脈疾患患者の treadmill 運動負荷心電図試験の診断能を文献的に考察すると、McHenryらは修正双極 V₅誘導心電図で陽性基準に ST index (ST 低下 ≥ 1.0 mm 以上で ST 低下(mm)と ST 傾斜(mV/sec)との合計 ≤ 0)を用いた時、その感度は83%、特異度は95%と報告し、KelemenらはCB₅誘導心電図で虚血型 ST 低下 0.1 mV 以上を陽性基準に用いた時、その感度は54%、特異度は96%と報告した。Chaitmanらは修正 V₅、CM₅、CC₅、CL および Mason らが提唱した修正12誘導による多誘導心電図で虚血型 ST 低下 ≥ 0.1 mV と slow upsloping ≥ 0.2 mV を陽性基準に用いた時、各誘導単独と組み合わせ誘導の診断能を比較した。感度

と特異度は全誘導で各々88%と82%, CM_3 , CC_3 , CL の組み合わせで79%と82%, 修正12誘導で76%と82%, CM_3 のみで68%と88%, 修正 V_3 で56%と94%と報告し, 心電図誘導法の違いによる冠動脈疾患診断能の差を指摘した。

運動負荷試験による冠動脈疾患診断能を考察する際, 対象母集団の特性, 運動負荷の方式および心電図誘導と心電図診断基準を検討する必要がある。本研究では特に対象母集団の特性と心電図誘導法を考慮しなければならない。我々の対象例は労作性狭心症患者としてかなり厳選されており, 診断能は当然良好となると考えられた。このような条件下にもかかわらず虚血型 ST 低下 0.1 mV 以上を診断基準に用いた時, その感度が他の報告ほど高くなく, また slow upsloping ST 低下例が1例もみられなかったことは, Frank 誘導心電図が胸部単極または双極誘導に比し心筋虚血による ST 偏位に鈍感であることを示唆する。Frank 法心電図を運動負荷試験に用いる場合, 陽性基準は虚血型 ST 低下 0.05 mV 以上とするのが妥当と考えられた。

運動負荷による U 波陰転は対象30例中2名で, 感度は6.7%, 特異度は100%, 陽性試験の予測値は100%であった。感度は低いが特異度, 陽性試験の予測値は高く, 運動負荷による U 波陰転は冠動脈疾患の存在を強く示唆すると考えられる。Gerson らは左室肥大と安静時陰性 U 波を認める症例を除く248例で運動負荷による U 波陰転を陽性基準とした時, その感度は21%, 特異度は99%, 陽性試験の予測値は97.2%であった。左主幹部又は左前下行枝の75%以上の狭窄病変の感度は30%, 特異度は96%, 陽性試験の予測値は94%であった。運動負荷による U 波陰転を診断基準に用いることは冠動脈疾患診断, 特に左冠動脈主幹部又は左前下行枝起始部病変診断に有用であると報告した。運動負荷により U 波が陰転した我々の2症例も左前下行枝起始部に90%以上の狭窄を認めた。

b) R波基準

対象は心電図および既往歴で心筋梗塞を認めない労作性狭心症患者21名 (AP), 男14名, 女7名, 平均年齢50.6才であった。全員に修正 Bruce 法 treadmill 運動負荷試験と選択的冠動脈造影を施行した。対象全員に少なくとも1枝以上の主要冠動脈に有意な狭窄を

認めた。正常対照に用いた健常男子を2群に分類し, 第1群は修正 Bruce 法 treadmill 運動負荷試験の心拍数が年齢別予想最大心拍数の90%以上に達した健常人10名 (H-NI), (平均年齢31.0才), 第2群は運動負荷時の心拍数が AP 群の運動負荷時 peak 心拍数平均 (116.6拍/分) にほぼ一致した時, 運動を終了した健常人10名 (L-NI), (平均年齢28.1才) であった。

運動負荷修正 Frank 誘導心電図は data recorder 収録後, off-line で小型 computer を用いて安静臥位と回復期30秒 (臥位) の各々について, 8心拍加算平均された QRS より最大空間 QRS magnitude, R_x , S_x , R_y , S_y , Q_z , R_z 等を求め, 運動負荷前後の各値について paired t test により推計学的に検討した。ST 基準と QRS voltage 診断基準との診断能を比較した。

AP 群の最大空間 QRS magnitude 平均は負荷前 1.80 mV より負荷後 1.74 mV へと減少傾向を示したが有意差を示さなかった。L-NI 群のそれは負荷前 1.53 mV より負荷後 1.59 mV へとやや増加したが有意差を示さなかった。H-NI 群のそれは負荷により 1.76 mV から 1.63 mV へと有意に減少した ($p < 0.02$)。H-NI 群の R_x は全員運動負荷後減少し, その平均は負荷前 1.27 mV より負荷後 0.93 mV へと有意に減少した ($p < 0.001$)。AP 群と L-NI 群のそれは有意な変化を示さなかった。 R_y 平均は健常人2群とも負荷後有意な変化を示さなかったが, AP 群では負荷により有意に減少した ($p < 0.01$)。AP 群, H-NI 群および L-NI 群の Q_z は負荷により有意な変化を示さなかった。その他の諸量では運動負荷による変化は各群間に差異を示さなかった。

QRS voltage 基準に最大空間 QRS magnitude と R_x の不変又は増高を用いた時, その特異度はいずれも80%, 100%と高かったが, 感度は各々33%, 19%と低かった。負荷後の Q_z 減少を基準に用いた時, その感度は57.1%, 特異度は80%とある程度満足する結果であったが, いずれの QRS voltage 基準の診断能は ST 基準の診断能に及ばないと考えられた。

運動負荷後の R 波増高を陽性基準に用いると冠動脈疾患の診断精度が向上すると提唱した Bonoris らは冠動脈疾患の運動による R 波増高の機序を Brody 効果に求めた。負荷により心筋虚血が誘発され, 左室容

量が増大し、R波が増高すると考察した。Battlerらは臥位自転 ergometer 運動負荷で V_5 , Frank 誘導の QRS voltage 基準診断能を検討し、その感度はいずれも50%以下で ST 基準診断能に及ばないと報告した。同時に施行した RI angiography により運動負荷前後の駆出率と左室拡張終期容量を求めたが、いずれもR波の増減とに有意な相関を示さなかった。Wolthuisらは正常人の運動負荷時のR波変化を検討し、 CM_5 , CC_5 , V_5 等で心拍数140拍/分前後まで各誘導のR波は漸増し、その後最大負荷時まで進行的にR波が減少すると報告した。我々の成績でも運動負荷によるQRS各棘波の変化はAP群とL-NI群との間に差異を示さず、前二者とH-NI群との間に差異を示した。QRS各棘波の変化の違いは心筋虚血誘発のためでなく、運動終了時の心拍数の差異によると考えられた。

Voltage 基準の診断能の有用性を検討する時、心電図誘導、運動負荷方式、負荷心電図記録時の体位の違いを考慮しなければならないが、Frank 誘導を用いた treadmill 運動負荷試験ではQRS基準による冠動脈疾患診断の有用性には疑問が持たれた。

II 冠動脈疾患重症度の評価

運動負荷試験諸量と冠動脈疾患重症度との関連が指摘されているが、我々は罹患冠動脈本数と運動負荷時循環系反応および運動持続時間との関連を検討した。

対象は冠動脈疾患患者76名、男68名、女8名、平均年齢51.4才であった。対象全員に修正 Bruce 法 treadmill 運動負荷試験と選択的冠動脈造影を施行した。運動負荷試験の運動終了点は狭心痛、疲労又は年齢別予想最大心拍数の85%到達であった。1枝病変患者(SVD)は34名、2枝病変患者(DVD)は15名、3枝病変患者(TVD)は20名、左冠動脈主幹部病変患者(LMTD)は7名であった。

a) 狭心痛を呈さない冠動脈疾患患者

運動により狭心痛が誘発されなかった心筋梗塞男子患者30名の運動時 peak 心拍数平均は SVD (17名)

が134.1拍/分、DVD (5名) が137.8拍/分、TVD (8名) が124.0拍/分で、TVD の peak 心拍数が低かったが、各群間に有意差はみられなかった。peak PRP 平均は SVD が 222.2×10^3 , DVD が 208.6×10^3 , TVD が 184.6×10^3 で、SVD と TVD の peak PRP 間に有意差がみられた ($p < 0.05$)。運動持続時間平均は SVD が 557.1秒、DVD が 552.2秒、TVD が 400.6秒で、TVD の運動持続時間平均は SVD のそれに比し有意に短かった ($p < 0.001$)。540秒以上の運動持続が可能な症例は TVD に認められなかった。

b) 狭心痛を呈す冠動脈疾患患者

運動により狭心痛が誘発された冠動脈疾患患者の運動時 peak 心拍数平均は SVD が122.1拍/分、DVD が109.9拍/分、TVD が106.7拍/分、LMTD が106.1拍/分で、SVD の peak 心拍数平均は多枝病変患者のそれより有意に低かった ($p < 0.05$)。運動持続時間平均は SVD が348.8秒、DVD が311.7秒、TVD が312.7秒、LMTD が241.0秒で、SVD と LMTD との運動持続時間平均間に有意差がみられた ($p < 0.05$)。Frank 誘導心電図の ST 低下平均は LMTD が 0.13 mV, SVD が 0.09 mV で、両者間に有意差がみられた ($p < 0.002$)。

Pain らは心筋梗塞後の運動負荷試験運動持続時間を検討し、罹患冠動脈本数が増加するにつれ、運動持続時間は減少したと報告した。我々の成績でも運動負荷試験 stage 1 (1.7 mph 10%) 内で運動を終了した症例は全員多枝病変患者であった。stage III (3.4 mph 14%) の運動負荷を完了しうる患者が多枝病変患者である可能性は少ないと考えられた。

ま と め

冠動脈疾患診断における Frank 誘導を用いた treadmill 運動負荷心電図試験の基準に ST 偏位と U 波陰転の採用は有用だが、R波基準の採用は問題が多いと考えられた。treadmill 運動負荷試験諸量より冠動脈疾患重症度評価が可能と考えられた。

運動負荷試験における各種検査法の診断的意義

血行動態の面から

西 島 宏 隆

与えられたテーマは運動負荷における各種検査法の診断的意義, 血行動態の面からであるが最初に運動中の循環生理についての review を行いたい。

まず運動中のエネルギーはすべて ATP の分解によってもたらされるが, 一定の負荷量の運動を始めた時, まず運動筋肉中に既存の ATP が使われ, 同時にフォスフォ・クレアチン由来の ATP が使われる。ついで嫌氣的解糖過程による ATP の産生がおき, その間に好氣的解糖過程が徐々に増加し, 2~3分で定常状態に達し, それ以後, その運動に必要なエネルギーはほとんど好氣的解糖によってまかなわれる(図1)。このうち嫌氣的解糖のレベルは血中乳酸値に

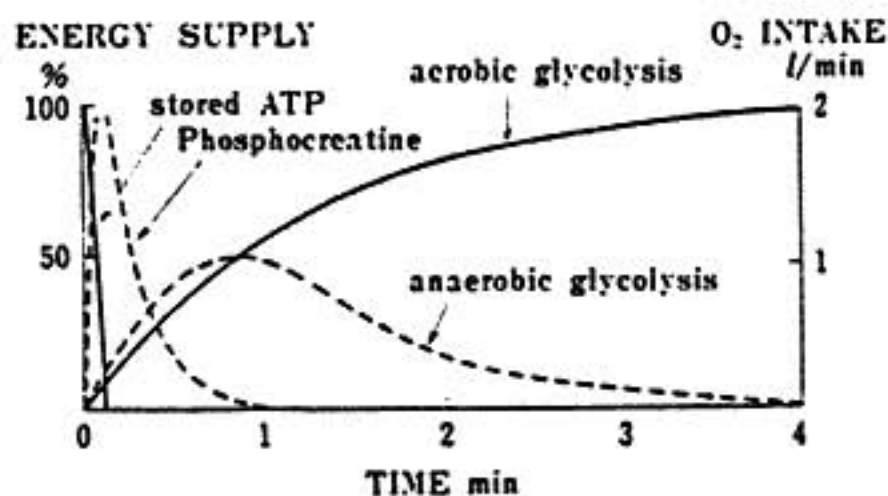


図1 運動中のエネルギー

よって推定, 好氣的解糖のエネルギーは酸素消費量 ($\dot{V}O_2$) によってはかれる。

このように運動負荷量と酸素消費量は比例しているが, 酸素消費量 ($\dot{V}O_2$) は $\dot{V}O_2 = \text{心拍出量 (CO)} \times \text{動静脈酸素較差 (AVD)}$ とあらわされ, さらに $\text{CO} = \text{心拍数 (HR)} \times \text{1回心拍出量 (SV)}$ であるから, $\dot{V}O_2 = \text{HR} \times \text{SV} \times \text{AVD}$ と最終的にあらわされる。したがってこの3つの要素が aerobic capacity を規定することとなる。Åstrand¹⁾ による最大運動負荷時における男女の比較では, HR は差がなく, AVD は女性の血中ヘモグロビンの低下を反映して少し低下, 主なる差は女性における SV の低下である(図2, 左)。またスポーツマン (top athlete) と特に運動を

していない健康人 (sedentary) との比較ではやはり SV の差が一番大きなものである(図2, 右)。このように健康人で SV がより大きなものは, 左室容量が大であることが知られているのは興味深い。

次にこれらの要素は最大負荷時, 心疾患患者ではどうなっているであろうか。Franciosa²⁾ らのデータによれば, NYHA 心機能分類による臨床的心疾患重症度の増加につれ, 達しうる最大運動量は低下, したがってその時の $\dot{V}O_2$ 低下, CO 低下はもちろんであるが, HR, SV も低下し, AVD は大きな差をみとめない。またこれらの患者群ではこのような時, 左室拡張終期圧, 肺毛細管圧が上昇するが, これらが運動耐容能に当然大きな影響を及ぼすと思われるがその定量的な関係については結論がでていない。これらの心疾患群では, 健康人とは逆に左室容量は大である。

このように最大運動負荷時の循環動態の指標を測定することは意義あることであるが, 問題は, 最大運動量の決定である。その個人の最大運動量をはっきりと決める規準はないが一般的には酸素のとりこみの最大量, 最大酸素消費量 ($\text{max, } \dot{V}O_2$) をもってあらわされる。すなわち通常, 運動量の増加とともに $\dot{V}O_2$ も直線的に増加するが, やがて運動量を増加しても $\dot{V}O_2$ がそれ以上増加せず plateau 化する点に達する, この時の $\dot{V}O_2$ を $\text{max, } \dot{V}O_2$ と定義している。しかし, この点までの運動は健康人でも常に可能とは限らず, まして心疾患患者では實際上無理である。心疾患患者で, このようにして $\text{max, } \dot{V}O_2$ を決定した報告は現在まで数える程しかない。したがってほとんどの $\text{max, } \dot{V}O_2$ または最大運動量は症状を終点とした最大, ということになり (symptom limited max), あいまい性が生ずることになり, その時の循環動態のパラメーターにも限度がでてくる。

しかし運動時の心機能に限ってみれば, いわゆる Starling の心機能曲線を用いた方法が最もよく知られている。これは右心カテーテル法により心拍出量

* 北海道大学医学部 循環器内科

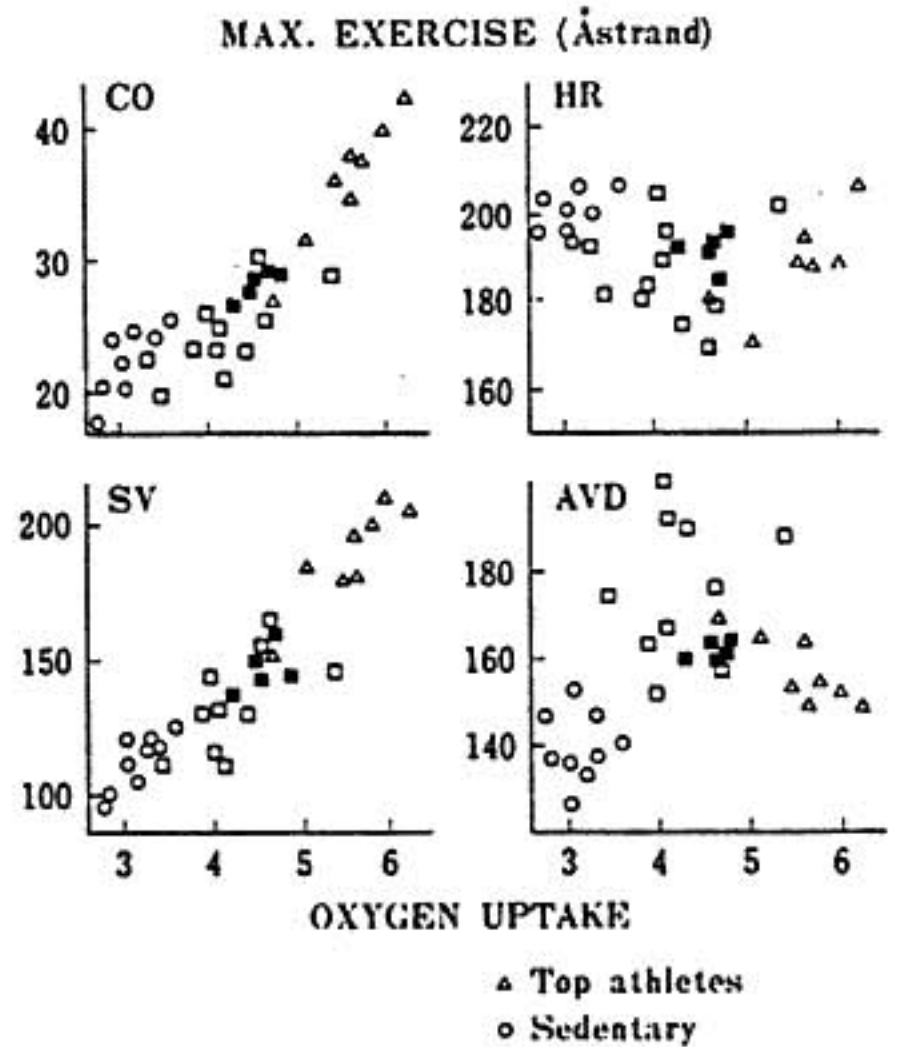
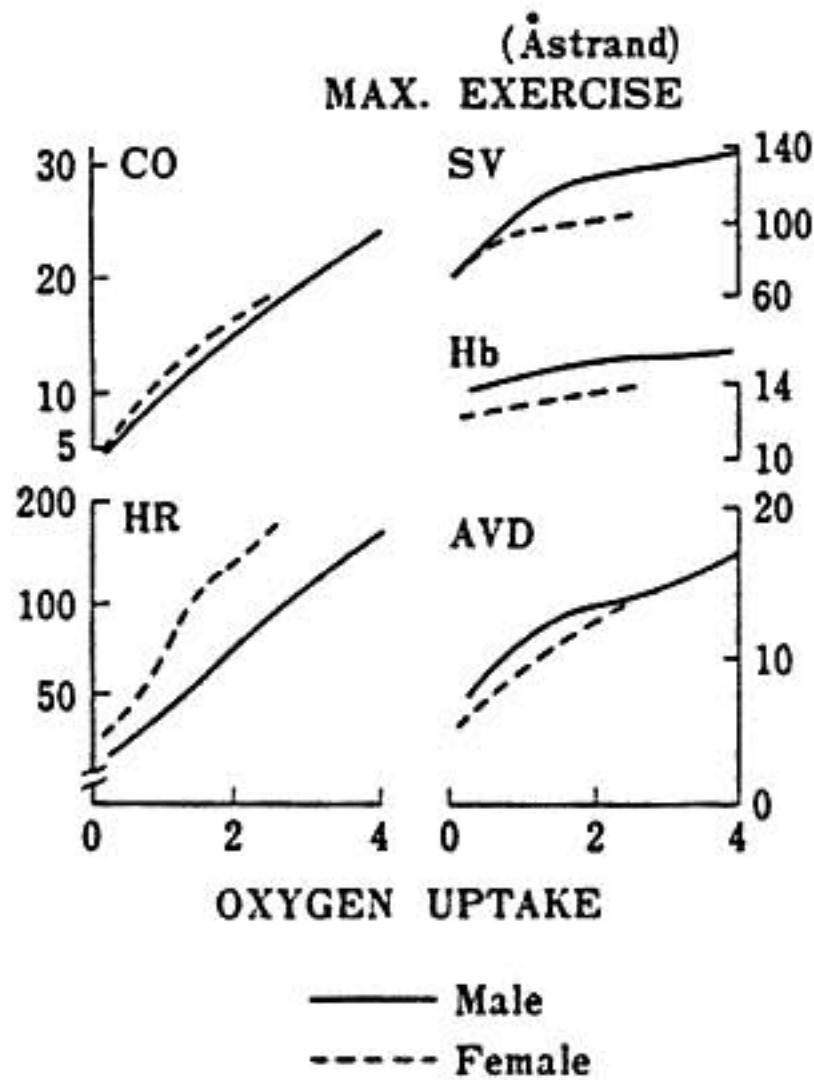


図2 (左) 男女の最大運動時の比較 (右) スポーツマンとあまり運動をしない健常人との比較

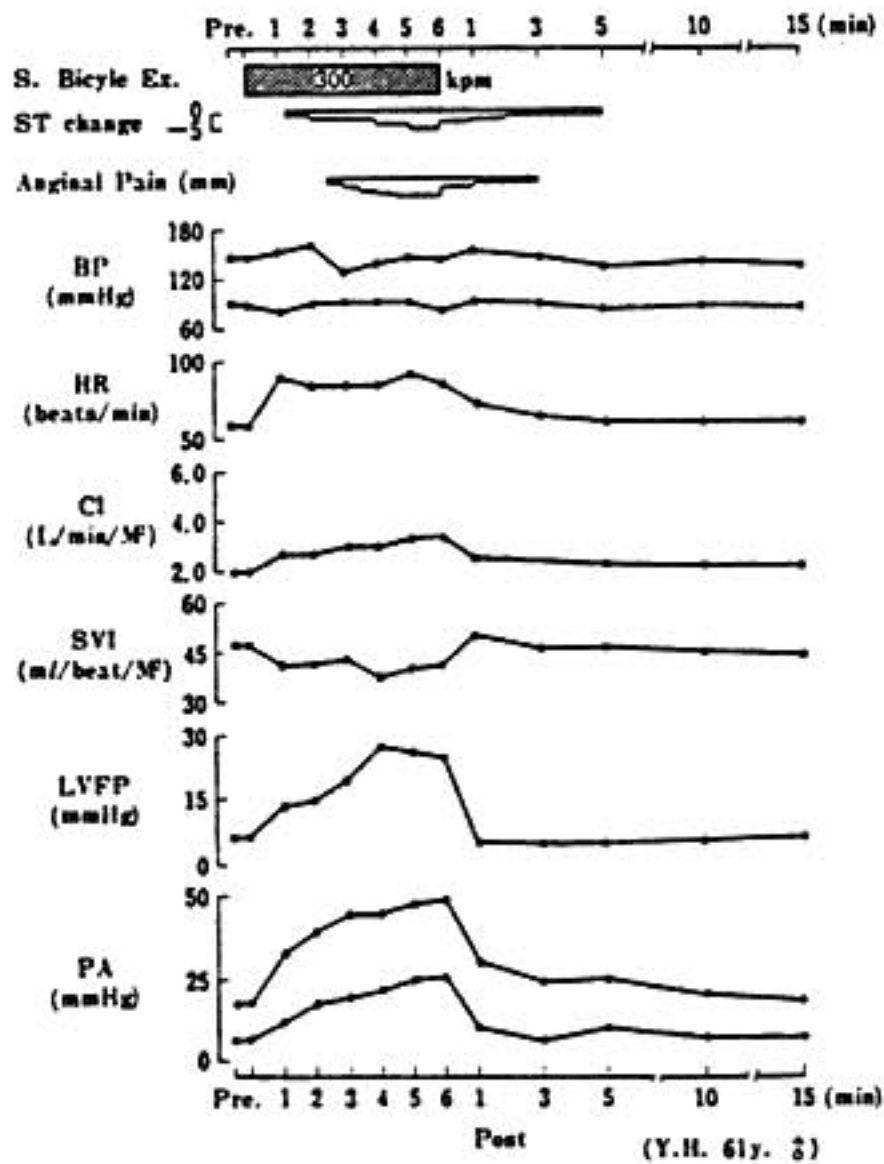


図3 狭心症の Hemodynamic study の1例

(CO) 又は SV を測定, それを縦軸にとり, 横軸には左室拡張終期容量の代用として肺楔入圧をとることにより心機能をあらわすものである. すなわち病心は

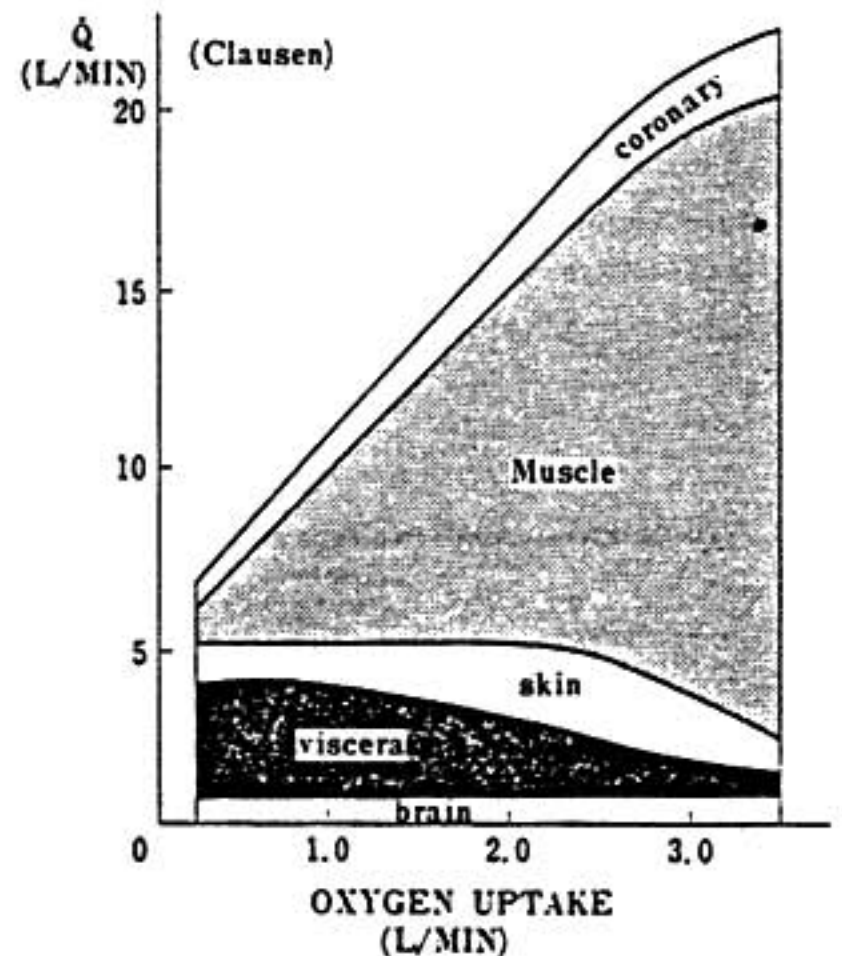


図4 運動中の血流 (Q) 分布

ど運動によって横軸が増加し, 縦軸の増加が少ないことを利用したものである. 図3は狭心症の一例である. 狭心痛のはじまりとともに LVFP (左室充満圧→肺楔入圧) の著明な増加がみられる. 同様に運動中の左心壁の動き, 左室容量, 駆出率 (EF) などを, RI 超音波などで検討する方法も用いられている.

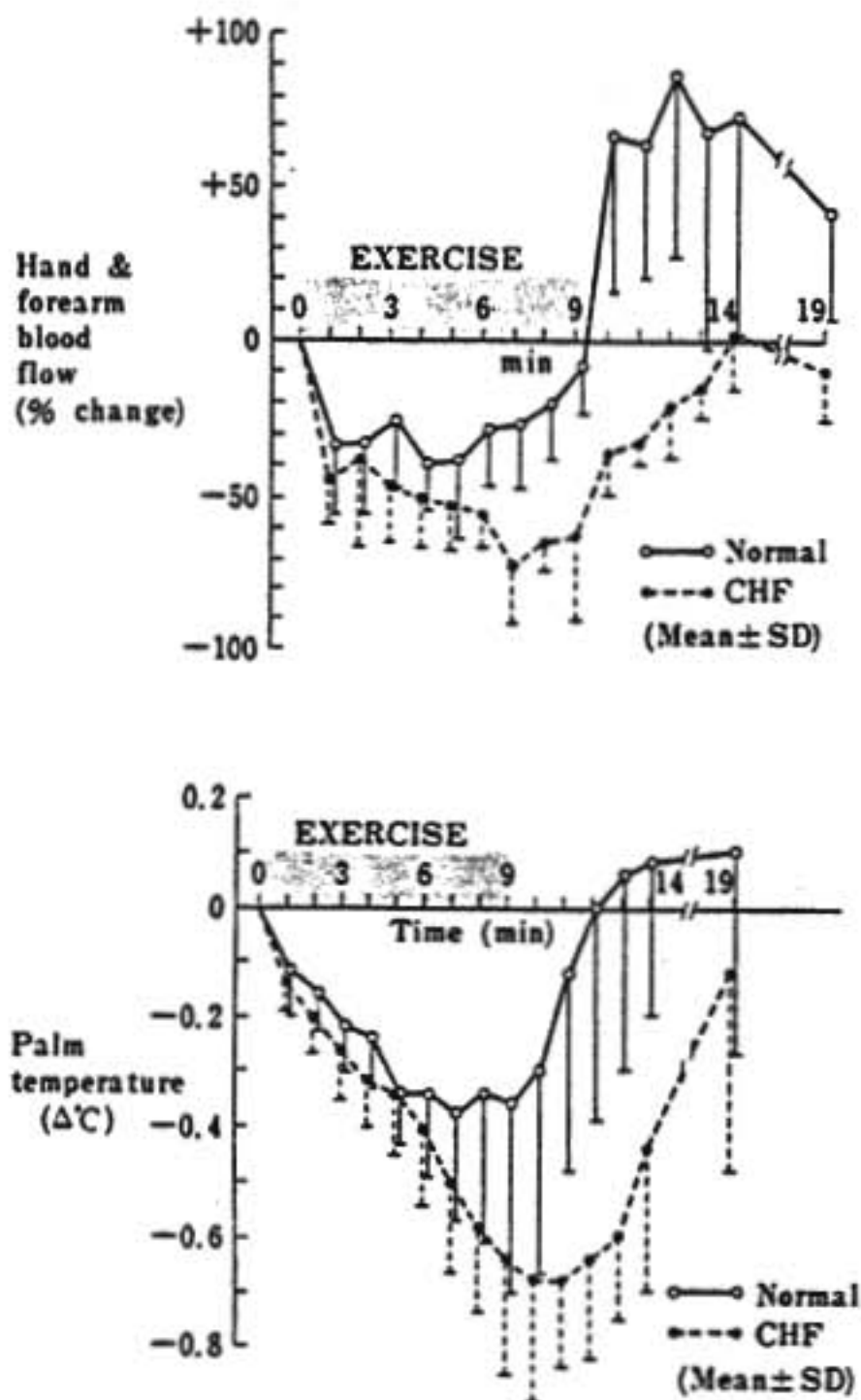


図5 Supine ergometer 運動中の前腕および手の血流量 (plethysmography による) と手掌温の変化

次に運動中の身体各部位における血流分布をみると、図4のように運動部位の筋肉では著明に増加、逆に内臓への血流は運動強度の増大につれ減少していることがわかる。また同様に非運動部上肢への血流も減少することが予想される。strain-gauge plethysmography を前腕に装着、手への流量をしゃ断せずにはかった流量は手および前腕の筋肉、皮膚血流の合計を反映するものと思われるが、図5で示されるようにこの血流量は、3分毎運動量増加方式による合計9分の supine ergometer exercise で減少を示し、しかも心疾患患者ではそれが著明である。健常人では運動中に血流量の回復がみられ、これは、運動による熱産生、したがって熱放出の必要性から皮膚血管が拡張したと考えられる。一方、心疾患では、同量の運動でも心臓に対する負荷としては大になるので交感神経活性の増大がより著明となり、したがって血管収縮の方が優勢になると考えられる。このような現象は手掌部に装着したサーミスターの温度変化によって容易につかむことができる。図6では左の手掌部サーミスターの運動中の温度変化は、運動直後の血中ノルエピネフリンの増加とよく一致し、また、これは Rowell¹³⁾ らの運動中における健常心疾患患者の内臓血流の減少とにた動きをしているのが示されている。

ま と め

このように運動中の心臓の機能を評価する場合、心臓そのものに焦点を絞るだけでなく、その機能低下によっておきてくるとされる非運動部位における末梢循環動態の異常をチェックすることによっても心疾患患者の運動耐容能の変化をより大きく把握することができると考えられる。

文 献

- 1) Åstrand, P. : Textbook of Work Physiology, 1977.
- 2) Franciosa, J. A. : Am. J. Med. 67 : 460, 1979.
- 3) Rowell, L. B. : Physiol. Rev. 54 : 75, 1974.

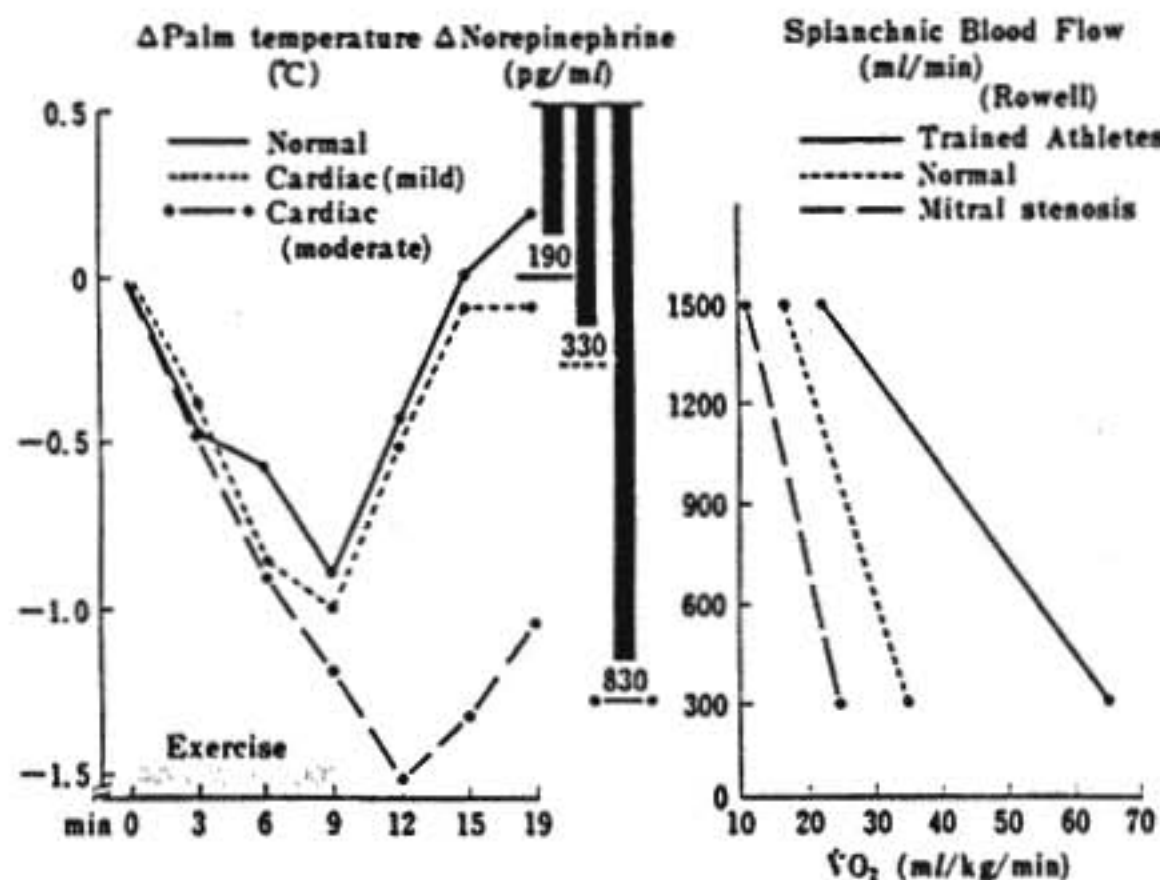


図6 運動中の手掌温変化、運動直後の血中ノルエピネフリン濃度と Rowell らによる運動時の内臓血流変化との対比

運動負荷試験における各種検査法の診断的意義

運動負荷試験における諸パラメーター

—心機図の面から—

多島信彦*・福田純*・大津文雄*
 本多雄一郎*・鈴木謙吾*・針谷吉人*
 久保田一輝*・岸田浩*・早川弘一*

はじめに

心機図を用いて得られる systolic time intervals (STI) から左心機能を評価する方法は非観血的であり、しかも反復して調べられるという利点がある。本研究では健常者および狭心症の運動負荷時の STI の変化について調べた。

I 対象および方法

(1) 健常者の運動負荷

年齢30才から62才までの健常男子10例、女子2例、計12例を対象とした。

起立位と仰臥位の運動負荷の間にはいかなる差が存在するか調べるためトレッドミルと仰臥位用自転車エルゴメータを用い、両法を比較した。トレッドミル試験は Ellestad ら¹⁾の方法に準じて行った。仰臥位運動は、斎藤、小川ら²⁾により開発された仰臥位自転車エルゴメータを用い、負荷量は 1 watt/kg とした。

運動負荷試験の目標として起立位、仰臥位のいずれの場合も心拍数150/分に達するまでとしたが、150/分に達する前に心拍数が恒常状態に達し、それ以上の増加がみられない場合はそこで中止した。

STI の測定は心電図、心音図、頸動脈波を運動前、運動直後、3分、5分、7分、10分後に同時記録し、Q-IIa, Left ventricular ejection time (LVET), Pre-ejection period (PEP), PEP/LVET を算出した。なお分析に用いた計測値は10心拍の平均値である。

心拍数の影響を除外するため LVET は $LVETc = LVET / \sqrt{R-R}$ の式³⁾を用いて補正した。

なお健常者10例に対しては新しいβブロッカー penbutolol の影響も調べた。

(2) 狭心症の運動負荷

労作性狭心症20例 (男子15例、女子5例、38才から70才) を対象とした。運動負荷試験は先述した健常者のときと同じ方法を用いた。運動終了点はいずれの姿勢でも虚血性 ST 偏位が出現するとともに狭心痛が発生するまでとした。

II 結果

(1) 健常者の STI

健常者における運動前後の各パラメータの変化を図1左側に示す。起立位、仰臥位とも運動直後に心拍数、収縮期血圧が有意に上昇し、PEP, PEP/LVET の有意の減少が観察された。一方 LVETc は、起立位では運動直後に有意に短縮したが、仰臥位では運動直後にほとんど不変で、かつ3分以後にはむしろ延長する傾向がみられた。

(2) 狭心症の STI

図1右側は狭心症における各パラメータの変化を示す。すなわち、起立位でも仰臥位でも運動により狭心症が誘発された際には心拍数および収縮期血圧が有意に上昇し、LVETc も有意に延長した。PEP および PEP/LVET は有意に減少するのがみられた。

(3) 健常者と狭心症の比較

図2は STI の各パラメータの運動直後の値について健常者と狭心症とで比較したものである。LVETc と PEP/LVET については両体位ともに健常者と狭心症との間に差をみとめなかった。一方 PEP は仰臥位運動で狭心症が健常者より有意に延長するのがみられた。

LVETc については前述のごとく、狭心症では両体位ともに運動後に延長したのに対し、健常者では起立

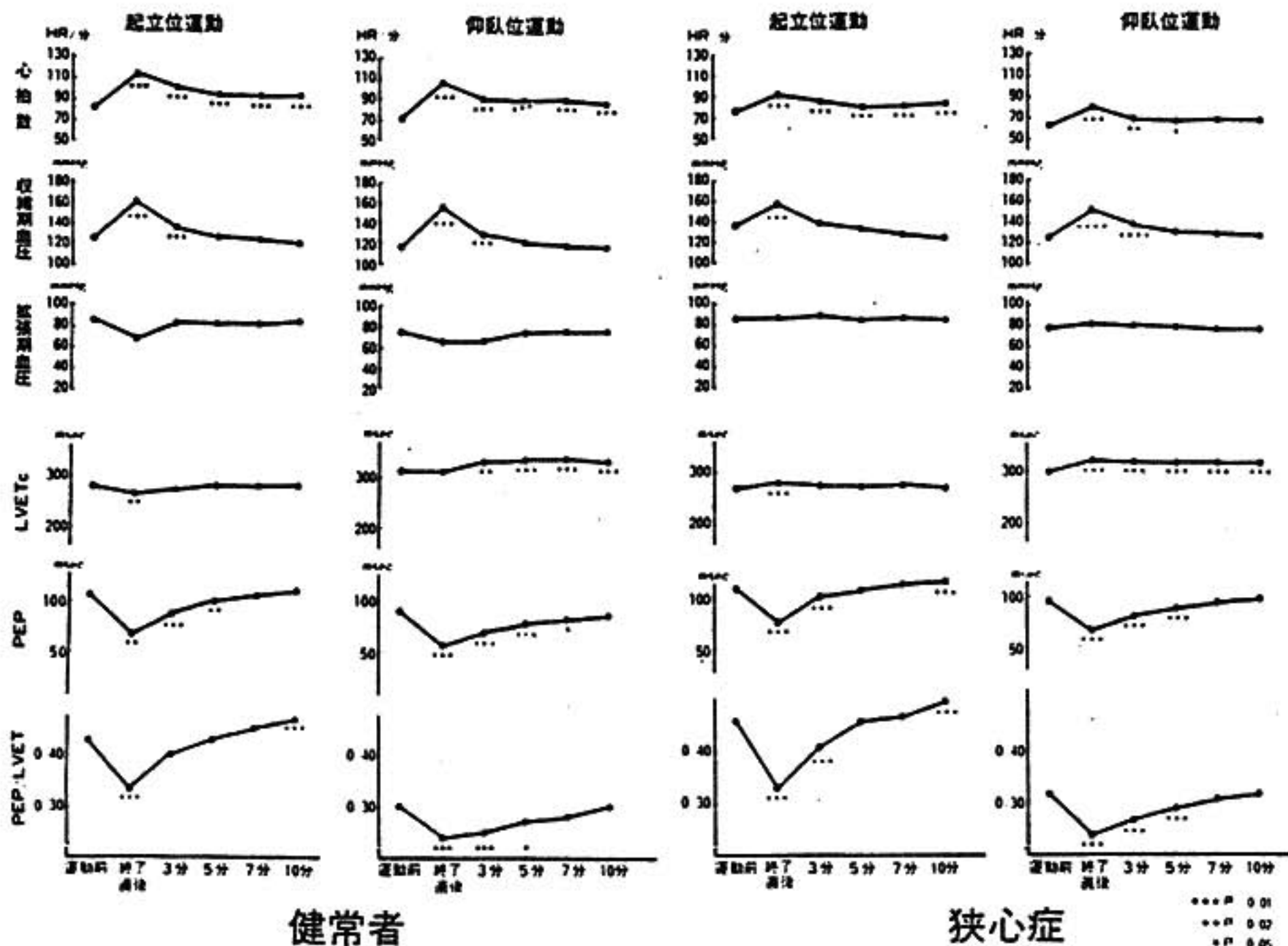


図1 諸パラメータの運動前後の変化

位運動で短縮，仰臥位運動で不変という関係がみられたので，狭心症と健常者に関し運動前後の差を比較した（図3）。その結果，狭心症では起立位でも仰臥位でも運動前後の差は健常者に比べ有意に大であった。

Ⅲ 考 案

運動負荷試験の成績を STI を用いて評価する際に考慮しなければならない点がいくつかあげられる。まず記録に関する再現性であるが，仰臥位運動のみならず起立位運動の場合でも記録法を習得することにより測定するに十分な波形を得ることができるというのがわれわれの経験であった。

つぎに STI 殊に LVET は心拍数の影響を強く受けることが多くの研究者により指摘されており⁴⁾，それに関する補正式もいくつか作成されている。しかし，これらは主に安静時の STI についてなされたものであり，本研究のごとく心拍数がかなり増加する運動負荷時には従来の補正式をそのまま採用してよいかは今後さらに検討を要するものと思われる。

つぎに運動体位により STI の反応に差が生じることも必要と思われる。すなわち健常者においても運動前すでに起立位と仰臥位との間には STI の値が異っているし，運動後の反応も LVETc のごとく少し差がみられた。この点についてはすでに Spodick ら⁵⁾ の報告があるが，LVETc について坐位運動で短縮，仰臥位運動で延長と我々と異なった成績を示している。この差異はおそらく運動強度の違いによるものとみられる。

つぎに健常者と狭心症とを比較した成績の中で最も異なる所見は LVETc の変化，すなわち健常者ではその値は運動直後に短縮ないし不変であったのに対し，狭心症では延長した点であった。Peugot ら⁶⁾ は Master 試験前後の STI を比較した結果，我々の成績と同様の報告を行っている。ところで LVET は stroke volume (SV) と相関するとみなされており，Peugot らの成績でも健常者では運動により SV が増加し，狭心症ではむしろ減少し，狭心症における LVETc の延長は SV では説明できず，後負荷や心収縮能の

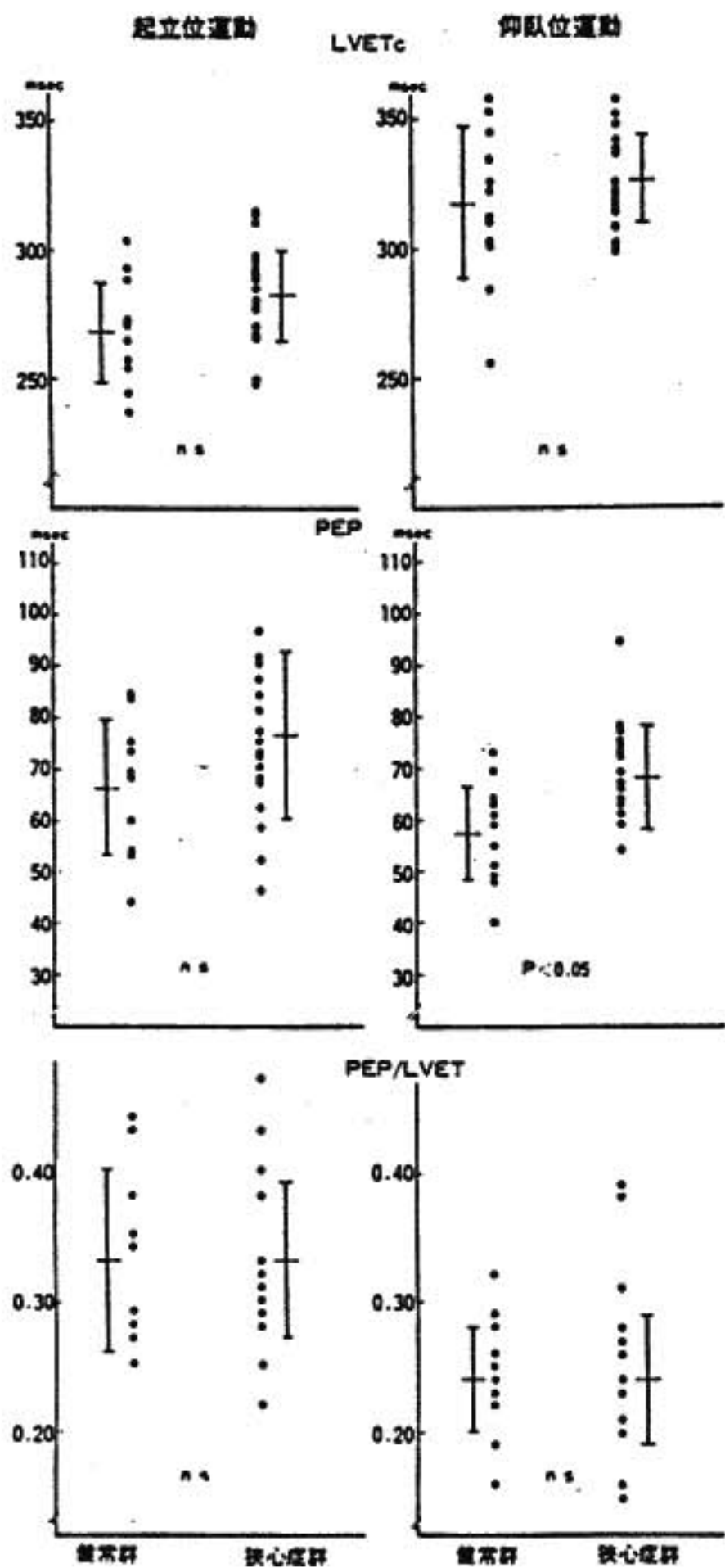


図2 健常者と狭心症における STI の比較 (運動直後の比較)

関与している可能性があるとしている。

一方我々の成績では、狭心症における LVETc の延長ならびに仰臥位運動における PEP が健常者に比べ有意に延長するのがみられた。この事実は心筋の収縮力が低下すると PEP や LVETc が延長したとするこれまでの報告⁷⁾と一致し、さらに Parber⁸⁾らの報告にみるごとく、狭心症の発作誘発時には左室拡張末期圧の上昇がみられたこと、すなわち、心不全が起っていることと対応する成績とも考えられる。

さて STI は各種薬剤の心機能に対する効果を評価

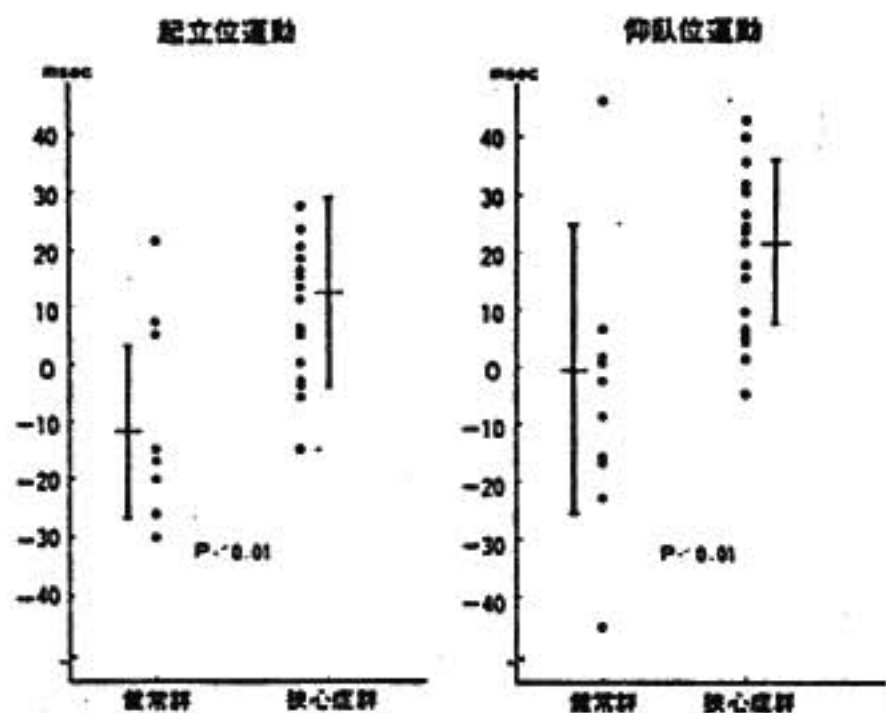


図3 LVETc の運動前後の差の比較

する非観血的方法として有用とみなされる。紙数の関係から詳細はふれなかったが、本研究でも Penbutolol 服薬後 PEP, PEP/LVET が有意に増大し、服薬後の運動負荷後には LVETc が延長するのが認められ、この薬剤には心収縮力を抑制する作用があることが示された。

おわりに

運動時の左心機能を評価するために非観血的にえられる STI は繰り返し計測できる点で有用と考えられた。さらに運動時の STI を調べることは狭心症などの重症度、あるいは薬剤の効果などを判定する際に重要な情報を提供するものと期待される。

文献

- 1) Ellestad, M. H., Allen, W. and Kemp, G. L.: Maximal treadmill stress testing for cardiovascular evaluation. *Circulation* 39: 517-522, 1969.
- 2) 齊藤十六, 稲垣義明, 小川潔以知: 定量運動負荷型エルゴメーターの試作と応用. *医用電子と生体工学* 4: 344-345, 1966.
- 3) Spodick, D. H. and Quorrey-pigott, V. M.: Effects of posture on exercise performance. Measurement by systolic time intervals. *Circulation* 48: 74-78, 1973.
- 4) Jones, W. B. and Foster, G. L.: Determinants of duration of left ventricular ejection in normal young men. *J. Appl. Physiol.* 19: 279-283, 1964.

- 5) 野原哲夫, 杉本恒明, 稲坂 暢: 左室駆出時間についてえ検討. 心臓 3: 1146-1154, 1971.
- 6) Weissler, A. M., Harris, W. S. and Schoenfeld, C. D.: Systolic time intervals in heart failure in man. Circulation 37: 149-159, 1968.
- 7) Pauget, J. M., Harris, W. S., Mayron, B. R. and Naughton, J. P.: Abnormal responses of the systolic time intervals to exercise in patients with angina pectoris. Circulation 43: 289-299, 1971.
- 8) Weissler, A. M., Harris, W. S. and Schoenfeld, C. D.: Bedside technics for the evaluation of ventricular function in man. Am. J. Cardiol. 23: 577-583, 1969.
- 9) Parker, J. O., Giorgi, S. and West, R. O.: A hemodynamic study of acute coronary insufficiency precipitated by exercise. Am. J. Cardiol 37: 470-483, 1966.

運動負荷試験における各種検査法の診断的意義

心筋シンチグラフィの面から

成 田 充 啓*

はじめに

タリウム (Tl) は、カリウムの同族体で、Kawanaら¹⁾により、心筋イメージ製剤として紹介された。これらカリウム同族体は、静注後、速やかに局所心筋血流量に応じ、生存機能心筋に分布し、心筋壊死部や恒久的な虚血部を cold spot として描出する。かつこれらのK同族体は、速やかに心筋に移行すると同時に、一度心筋細胞内に分布すると、その初期分布の状態がある程度の時間 (30分) 続くという特性を有するため、単に心筋梗塞の診断のみでなく、運動負荷等により誘発された一過性心筋虚血の診断も可能であり²⁾、非観血的虚血性心疾患の診断法として普及するに至った。カリウム同族体の内でも、²⁰¹Tl は、Anger カメラに適したエネルギーと、心臓への集積率の高いことより、最近では、心筋イメージング製剤として、²⁰¹Tl がもっぱら用いられている。この ²⁰¹Tl による運動負荷心筋イメージングの虚血性心疾患診断における精度や特異性の高さは、すでに定評がある³⁾。今回、虚血性心疾患を対象に、安静時、運動負荷時に、²⁰¹Tl 心筋イメージングを行い、本法の臨床的意義を検討した。

I 対象と方法

対象：対象は、冠動脈疾患 (冠動脈造影上、主冠動脈の1枝以上に、50%以上の狭窄を有する) 34例 (男30例、女4例、42~87才) と、冠動脈狭窄のない健常11例 (全例男、42~59才) である。冠動脈疾患の内訳は、労作性狭心症26例 (内9例で陳旧性心梗塞あり) と、狭心症のない陳旧性心梗塞8例である。冠動脈疾患数で分類すれば、1枝疾患18例、2枝疾患8例、3枝疾患8例である。

方法：心筋イメージは、15000 parallel hole collimator を装置した Pho/Gamma HP 型シンチカメラと、minicomputer を on line で接続し撮影した。運動負荷は、CM₂ で ECG モニターを行いつつ、自転車エルゴメーターで漸次負荷を行い、一定基準⁴⁾ に至った時 Tl 2 mCi を静注、標準12誘導心電図撮影後、臥位で正面、左前斜位、左側面の3方向より撮影した。安静時心筋イメージは、運動負荷と1週間の間隔で施行したが、方法の詳細⁵⁾⁶⁾は、本論文では省略する。

狭心症のない心梗塞8例中5例では、安静時および運動負荷時に、坐位左後斜位で、^{99m}Tc 20 mCi を bolus injection し、心電図同期で、心アングオを行

い, first pass data より左室駆出率 (EF), 左室壁運動の検討を行い, 心筋イメージとの対比を試みた。

心筋イメージ, ECG の判定: 心筋イメージは, 安静時, 負荷時のイメージを対比することで, positive, negative の2群に分類した。Negative は, 安静時, 負荷時とも, 正常の心筋イメージを呈するか, 安静時存在した defect が, 負荷で不変 (fixed defect) の群であり, positive は, 安静時存在せぬ defect が負荷により出現するか, 安静時存在した defect が負荷により著明に拡大する群である。心筋イメージでの心筋各部を, 3つの冠動脈域に区分し, 冠動脈狭窄の部位診断に用いた。負荷心電図の判定基準は表1に示すごとくである。

表1 負荷心電図診断基準

- 1) positive
both during exercise and post exercise
H or S-type ≥ 1 mm
or
j-type ≥ 2 mm & QX/QT $\geq 50\%$
- 2) equivocal
 - a) and/or b)
 - a) during exercise
H or S-type ≥ 1 mm
or
J-type ≥ 2 mm & QX/QT $\geq 50\%$
 - b) post exercise
H or S-type $0.5 \geq > 1.0$ mm

II 結 果

冠動脈疾患: 図1は, 冠動脈疾患34例での負荷心筋イメージ, 負荷心電図の結果を対比したものである。負荷心筋イメージの冠動脈の診断率は74%であったが, 負荷心電図の方は, positive 41%, equivocal を加えて50%と両者に有意差 ($p < 0.05$) が存在した。しかし陳旧性心梗塞の存在を示す, fixed defect, 病的Q波の存在を虚血性心疾患の存在を示すものと考えると, 虚血性心疾患の診断率は, 心筋イメージで82%, 心電図で76%と両者に有意差が存在しない。このことは, 心筋イメージが coronary perfusion reserve を負荷心電図より敏感に反映することを示唆した。冠動脈疾患を1枝疾患と多枝疾患に分け, 診断率を対比すると (図2), 心筋イメージの方は, 1枝疾患で67%, 多枝疾患で81%と, 狭窄冠動脈数が増すと,

Comparison of Tl Myocardial Imaging and ECG in 34 Patients with CAD

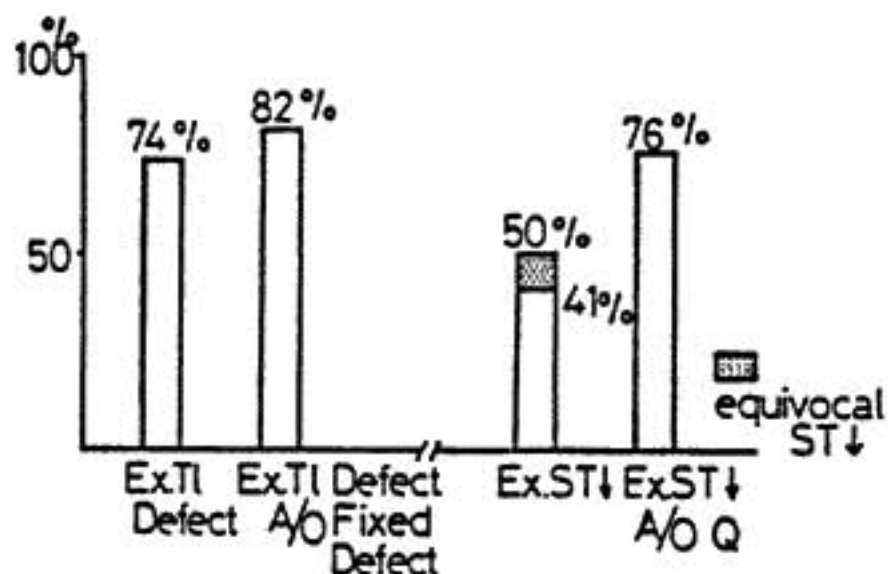


図1 冠動脈疾患における, 運動負荷 Tl 心筋イメージングと負荷心電図の対比

Comparison of Ex Stress Myocardial Imaging and Ex Stress ECG in CAD

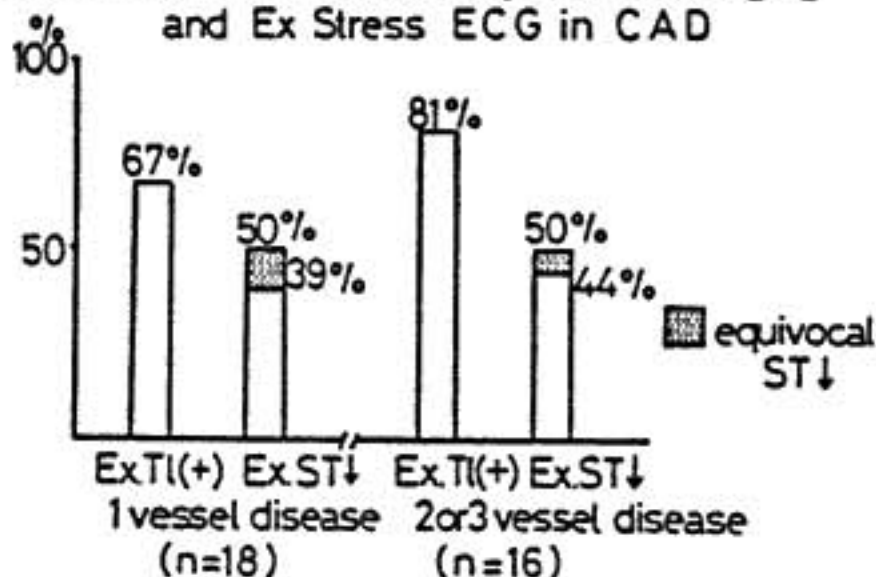


図2 1枝疾患, 多枝疾患別の運動負荷 Tl 心筋イメージング, 負荷心電図の冠動脈疾患の診断率

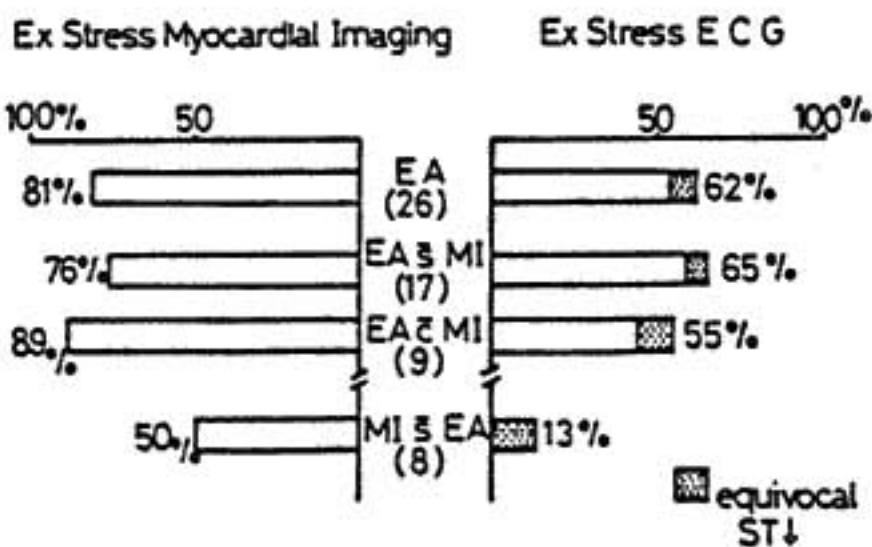


図3 労作性狭心症の有無, 心筋梗塞の有無でみた, 冠動脈疾患の診断率運動負荷 Tl イメージングと負荷心電図の対比

診断率が向上したが, 負荷心電図の方は equivocal を含めても, いずれの場合も50%であった。

次に労作性狭心症の有無により分類検討した(図3), 労作性狭心症26例中81%で負荷シンチ positive であ

ったが、心電図で ST 低下をきたしたのは、equivocal を含めても 42% であった。殊に陳旧性心梗塞を有する狭心症例では、負荷心筋イメージでの一過性心筋虚血出現の診断率が 89% であったのに反し、負荷心電図で ST 低下をきたしたのは equivocal をも含め 55% であった。また狭心症のない心梗塞 8 例中 4 例で、負荷による defect の出現をみている。この defect 出現の 2 例と、defect の出現しなかった 3 例の計 5 例において、運動負荷時心アングリオの結果と、運動負荷 Tl イメージングの結果を対比した (表 2)。負荷

表 2 狭心症を有さぬ心梗塞例での運動負荷心アングリオ、運動負荷心筋シンチ、運動負荷心電図の対比

症例	疾患冠動脈	運動負荷心アングリオ		運動負荷心筋シンチ	運動負荷心電図
		壁運動異常	EF		
MK	前下行枝	悪化	減少	positive	negative
YS	3 枝	悪化	減少	positive	negative
KS	3 枝	悪化	減少	negative	negative
OK	前下行枝	改善	増加	negative	negative
MS	右冠動脈 左主冠動脈	不変	不変	negative	negative

心筋イメージ positive の 2 例では、ともに負荷時心アングリオで EF の低下、左室壁運動の悪化をみ、負荷心筋イメージ negative の 3 例中 2 例では、運動負荷時心アングリオで EF の低下や、左室壁運動の悪化をみとめず、負荷心筋イメージングが、coronary perfusion reserve を、かなりの正確度で反映していることを示唆した。これに反し、負荷心電図と、負荷心アングリオの対比は良好といえなかった。

負荷心筋イメージの、狭窄冠動脈の部位診断の精度は、前下行枝で 67%、回旋枝で 67%、右冠状動脈で 91% (全体で 76%) と、右冠状動脈がすぐれているようを見えたが、これは、右冠状動脈領域の梗塞を有する 1 枝疾患が対象例の中に多かったためで有意の差とは考えにくかった。

健常例：健常 11 例中全例で安静、負荷心筋イメージとも正常であり、false positive は存在しなかった。これに反し、負荷心電図の方は、positive 3 例 (27%)、equivocal 2 例 (18%) と、ある程度の false positive が存在した。

III 考 案

運動負荷 Tl 心筋イメージングが、非観血的虚血性心疾患の診断法として、精度、特異性においてすぐれていることは、本論文にも示したごとくである。ことに atypical chest pain を有する症例での冠動脈狭窄の存否の診断に、不要な冠動脈造影をさける意味で有効である⁹⁾。また負荷心電図の判定が困難な、左脚ブロック、左室肥大例でも有効とされている⁹⁾。しかし本法の診断精度は 75~80% であり⁹⁾¹⁰⁾、必ずしも十分ではないが、本法は冠動脈造影という anatomical diagnosis ではえられない、心筋の酸素需要と供給のバランスを反映しうる特異な検査方法である。また診断率に関しては、現在普及しつつある断層法 (emission CT) の併用により、更に向上が期待される。

文 献

- 1) Kawana, M., et al. : J. Nucl. Med. 11 : 133, 1970.
- 2) Strauss, H. W., et al. : Circulation 35 : 133, 1970.
- 3) Ritchie, J. L., et al. : Am. J. Cardiol. 42 : 345, 1978.
- 4) Narita, M., et al. : Jpn. Circul. J. 43 : 191, 1979.
- 5) 成田充啓, 他 : 臨床成人病 8 : 627, 1978.
- 6) Narita, M., et al. : Jpn. J. Nucl. Med. 16 : 897, 1979.
- 7) 成田充啓, 他 : 心臓 13 : 384, 1981.
- 8) Hamilton, G. W., et al. : J. Nucl. Med. 20 : 1201, 1979.
- 9) Botovinick, E. H., et al. : Am. J. Cardiol. 41 : 43, 1978.
- 10) Bailey, I. K., et al. : Circulation 55 : 79, 1977.

循環器負荷研究会

第10回 昭和55年2月9日 ホテルオークラ

4. Treadmill, Ergometer の負荷法の統一化 (第10回)

1) 段階的漸増負荷法に関する基礎的検討 一負荷量と負荷の与え方一

東京医科歯科大学 第二内科, * 筑波大学 内科

丹羽 明博, 宮原 康弘, 谷口 興一, 小関 迪* (62)

2) 本邦人における主な protocol の対比

東邦大学 第三内科

石田 恵一, 平井 寛則, 鳥居 重夫, 岩寄 義彦
中村 豪, 井上 健, 矢吹 壮, 関 清..... (65)

3) Bruce 法多段階 treadmill 運動負荷試験法の修正案

名古屋大学 第一内科, * 大同病院 循環器内科

外畑 巖, 近藤 照夫, 都築 実紀* (68)

4) 高齢者の treadmill 負荷方式について

山形大学 第一内科

久保田 功, 渡辺 佳彦, 安井 昭二..... (72)

5) エルゴメーター負荷における体重の考慮

住友病院 内科

栗原 正, 成田 充啓, 宇佐美暢久..... (75)

6) 運動負荷試験における終点の決定について

山梨医科大学 第二内科

田村 康二..... (77)

5. 運動負荷試験における各種検査法の診断的意義 (第10回)

1) 運動負荷心電図と冠動脈造影所見の面から

名古屋大学 第一内科

近藤 照夫, 河合 直樹, 外畑 巖..... (81)

2) 血行動態の面から

北海道大学 循環器内科

西島 宏隆..... (84)

3) 心機図の面から

日本医科大学 第一内科

多島 信彦, 福田 純, 大津 文雄, 本多雄一郎
鈴木 謙吾, 針谷 吉人, 久保田一輝, 岸田 浩
早川 弘一..... (87)

4) 心筋シンチグラフィの面から

住友病院 内科

成田 充啓..... (90)