

挨拶

木村 栄 一*

発起人の代表として、ごあいさついたします。

循環器にかんするテストとして、運動試験、その他いろいろの負荷試験が盛んに行われていますが、そのやり方は必ずしも一定しておらず、同じ基準で行われていないため、お互いのデータを比べることができなかつたり、いろいろの問題が生じております。学会でもそのことがいままでにもしばしば問題にされ、私の記憶では、昨年（昭和49年）の臨床薬理研究会における狭心症治療薬のシンポジウムのさい、司会の村尾教授から、負荷試験のやり方を比較検討する機会をもつ必要があるといういみのお話があったとのことであり、ます。

ところで、今年（昭和50年）の始めでしたか、名古屋大学の外畑さんが、これじゃいかんから、みんなで集まって運動負荷のことを話し合う機会を作りたいという希望を、水野康教授のところへ持ち出され、その話が水野教授から私のところへ回ってまいりました。

ご承知のように、私、いろいろな仕事を担当しておりますので、東大の村尾教授、あるいは村尾内科の方々のご協力、お世話をいただければ引き受けてもよろしい、とお答えしましたところ、それでもよろしいと

いうことで、それから話がすすみ、村尾教授のほか、新谷、水野、戸山、戸嶋の諸先生を加えた6人が発起人となり、皆様によびかけることになりました。

ところが、今ではどこでも運動試験をやっているのですから、そういうところ全部に呼びかけますと、普通の学会と同じような多数の人たちが集まってしまい、ゆっくりディスカッションするという雰囲気ではなくなる恐れがあります。そういう意味で、運動試験ないし負荷試験そのものについて研究を行い、あるいはこの問題につき高い識見をもっているような施設だけによびかけることにいたし、また話題提供は最近この問題について発表を行った6施設にお願いすることにしました。

また座長をどうしようかということについても、これからきめて行かなければなりません。本日の世話役である私一人で全部の座長をやったらくたびれてしまいそうなので、発起人のうちで一番早くあらわれた方に、最初の座長をお願いしようということにしておりましたら（笑い）、村尾教授がお見えになりましたので、第1席と第2席のところを村尾教授にお願いしたいと存じます。それではよろしく。（拍手）

仰臥位用自転車エルゴメータを用いる狭心症運動負荷試験

金沢正邦*・多島信彦*・岸田浩*

狭心症の発生機序や発作中の左心機能, それに及ぼす狭心症治療薬の影響などを調べるには, 左心カテテル法を行いながら, 仰臥中に発作を誘発させる必要がある。

この目的で仰臥位用自転車エルゴメータを用いたわれわれの成績を以下に述べる。

対 象

典型的な労作時狭心症発作を有し, Master の二階段試験 (double) あるいはトレッドミル試験で虚血性 ST 降下と胸痛発作を示した労作性狭心症 11 例を対象とした (表 1)。

方法および結果

1) 運動負荷法

左心カテテル法を行いながら狭心症を誘発しようとするのであるから, 単なる診断目的のために二階段試験を行うような簡単なものではない。どの程度の負荷をかけたとき狭心症がおこるかをあらかじめ知っておき, 左心カテテル施行時にはそれだけの負荷をかけるのが安全でもあり, 能率的でもある。

そのためわれわれは, 左心カテテル法を施行する

2~3 日前に, 仰臥位自転車エルゴメータによる仰臥位運動試験を 2~3 回くりかえして, 狭心症を誘発する運動負荷量, いいかえると狭心症発生閾値をしらべ, これを左心カテテル施行時に負荷する方式を採用した。

使用したエルゴメータは, 斎藤・小川らによって開発された電気制動式定量負荷型仰臥位用自転車エルゴメータである。負荷のレベルを 50 watt もしくは 1 watt/kg にセットし, 虚血性 ST 降下もしくは狭心症が誘発されるまで, このレベルで運動を行わせた。なお虚血性 ST 降下出現のみで運動を中止した場合もあるから, 狭心症誘発試験というより冠不全誘発試験というのが妥当である。よって以下“冠不全誘発”という表現を用いることにする。

表 1 においてそれぞれの例に用いられた運動レベルと冠不全誘発までの時間および誘発時の心拍数を示す。これらの値はいわば冠不全発生閾値に相当する。

2) 自転車エルゴメータ試験とトレッドミル試験の比較

図 1 は自転車エルゴメータによる冠不全誘発時の心拍数, および平均動脈血圧を, トレッドミル試験時のそれと比較した成績である。

表 1 対象症例と運動負荷成績

No.	症 例	年 令	性	診 断	血 圧 (mmHg)	心 胸 比 (%)	冠不全誘発に要 した運動負荷量	冠不全誘発 時の心拍数	心電図変化	胸痛
1	M. O	57	♂	労作性 狭心症	118/74	51	70W, 3'00"	88	ST ↓, VPC	
2	F. F.	56	♂	"	128/70	45	50W, 4'00"	120	ST ↓	
3	T. O.	52	♂	"	120/70	46	50W, 1'20"	118	ST ↓ ↑	
4	M. S.	37	♂	"	140/70	42	50W, 3'30"	115	ST ↓	
5	Y. M.	52	♂	"	136/60	48	50W, 4'00"	120	ST ↓	
6	T. I	57	♀	"	112/64	51	40W, 20"	138	ST ↓, VPC	
7	Y. S.	51	♀	"	140/90	52	50W, 2'05"	100	ST ↓	(+)
8	T. T.	64	♂	"	140/70	50	50W, 4'45"	100	ST ↓	(+)
9	K. I.	37	♂	"	124/80	46	50W, 4'10"	145	ST ↓, VPC	(+)
10	S. N.	63	♂	"	128/74	49	50W, 3'55"	100	ST ↓	(+)
11	S. Y.	59	♂	"	106/66	52	50W, 3'20"	114	ST ↓	(+)

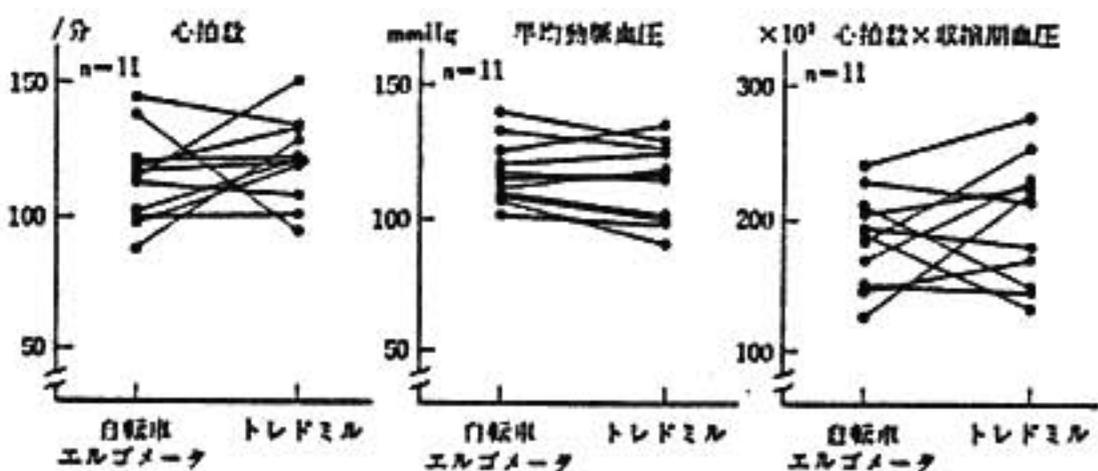


図1 冠不全誘発時における自転車エルゴメータとトレドミルの比較

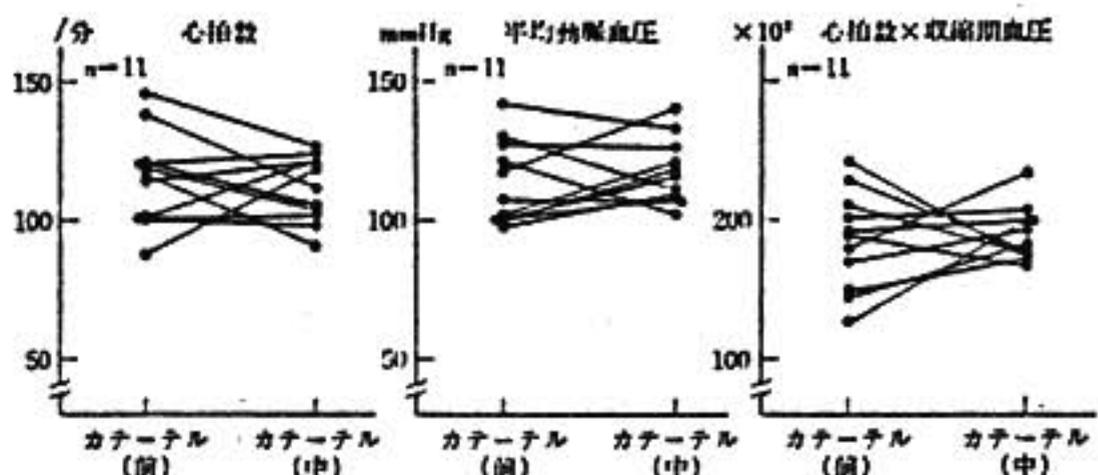


図2 冠不全発生閾値に対するカテーテルの影響 (左心カテーテル法施行前と施行中の比較)

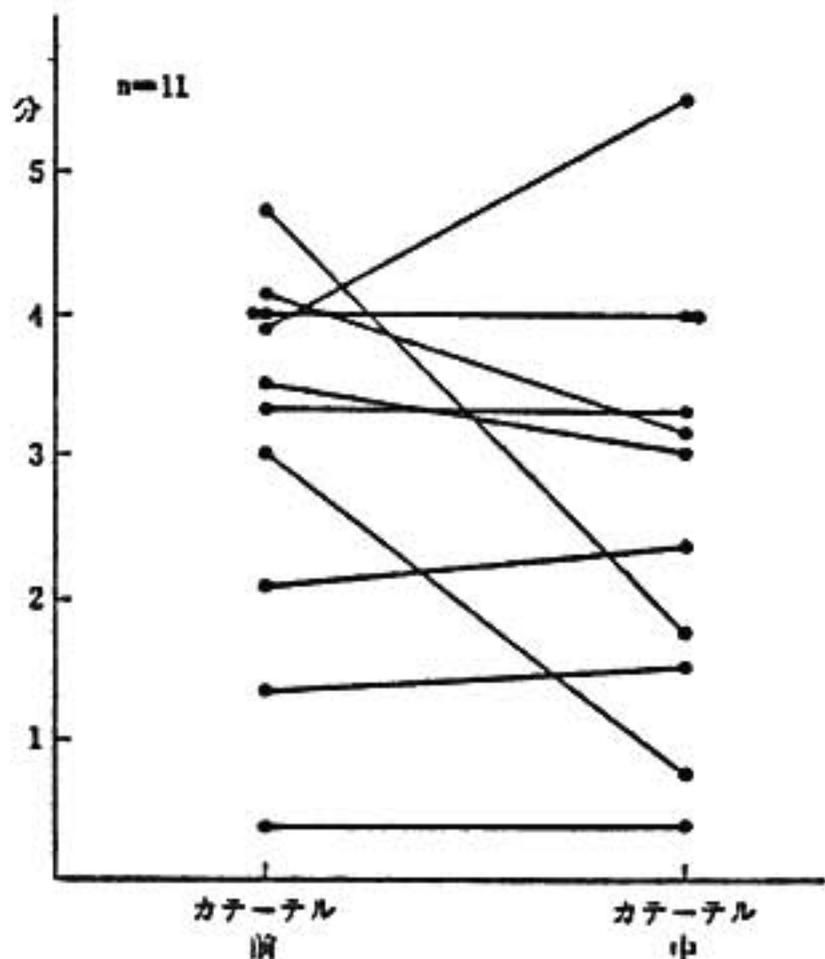


図3 冠不全誘発に要した時間

心拍数については症例によりいろいろであったが、平均動脈血圧はトレドミル試験の方が一般にやや低かった。すなわち、両負荷試験のあいだで狭心症誘発時の各パラメータにある程度の違いがみられた。

その理由としてまず考えられるのは、体位の差、す

なわち仰臥位と起立位の違いであるが、この点を明らかにするには、なおいろいろの検索が必要であり、必ずしも容易ではなさそうである。

3) 冠不全発生閾値に対するカテーテルの影響

図2はカテーテル施行前における冠不全誘発時の心拍数、平均動脈血と、カテーテル施行中に冠不全を誘発したときのそれらの値を比較した成績である。全体としてみるとカテーテル施行中の方がより低い心拍数で狭心症ないし冠不全を誘発している傾向があった。

しかしおそらく症例が少ないため、推計学的に有意の差はえられなかった。

また図3はカテーテル施行前において冠不全を誘発するのに要した時間と、カテーテル施行中のそれとの比較であって、多くの症例では大差がなかったが、カテーテル施行中の方がきわめて短い症例が2例あった。

その1例は激しい呼吸困難をおこし運動を中止せざるを得なくなったものであり、冠不全というよりは心不全がおこったのではないかと思われた。運動中止直後の左室拡張末期圧は25 mmHgであった。他の1例は、運動負荷前の心拍数がすでに105/分であり、運動開始後すぐ冠不全発生閾値に達してしまったものと思われた。

反対に冠不全誘発までの時間がのびた例があったが、運動負荷試験を勝手に怠けたのではなかろうかと思われる。

いずれにしても左心カテーテル法施行前と施行中で、全体としてある程度の差がみられた。その理由としては、精神的な緊張不安やオピスタンの鎮痛剤の影響が関係していると思われる。

われわれの研究では、このあと薬剤を投与してもう一度運動負荷を行い、左心機能に及ぼす薬剤の影響について調べた。その結果はすでに発表されているのでここではその要約を示すにとどめる¹³⁾。

表2がそのデータの要約であって、propranololは心拍数、左室収縮期圧、tension-time index (TTI), LV max dp/dt 及び V max の各パラメータの運動

表2 抗狭心症薬の左心機能に及ぼす影響

	投薬前の 運動試験	投薬後の運動試験	
		propranolol	nifedipine
心拍数	↑	↓	→
末梢動脈圧	↑	→	→
左室収縮期圧	↑	↓	→
LVEDP	↑	→	↓
心係数	↑	→	→
LV max dp/dt	↑	↓	→
左室仕事量	↑	→	→
TTI	↑	↓	→
Vmax	↑	↓	↓

↑上昇, ↓抑制, →不変

による上昇を, 有意の差をもって抑制した. すなわち propranolol はこれらのパラメータを抑制することにより, 運動による心筋酸素消費量の増加をおさえ, これが狭心症に有効に働くという定説を支持する所見がえられた.

これに対し nifedipine については, 左室拡張末期圧と V max の運動による上昇を有意の差をもって抑制するという成績がえられた.

考 案

1) 狭心症誘発法について

われわれの教室では, 以前には低酸素吸入や, isoproterenol 点滴静注により狭心症を誘発する方法も行い, 最近では人工ペースメーカーによる狭心症誘発も実施している. しかしこれらの方法によって誘発された狭心症の左心機能は, 自然発生の狭心症のそれと同じであるとはいえない. 自然発生の狭心症の左心機能の変化を調べるには, それに近いところの運動負荷によって誘発された狭心症を対象とするのがもっとも適当であると思われる.

現在もっとも広く行われている運動負荷法は, Master の2段階試験であるが, この方法では, 発作をおこすのに必要なだけの心拍数の増加が得られにくい欠点がある. そのいみからいうとトレッドミル試験が適当であるが, 仰臥位で行うトレッドミル装置はまだ開発されていない.

それ故われわれは自転車エルゴメータを用いているが, やはりテストの途中で患者がさぼると, 狭心症発生に必要な心拍数がえられないという弱点は避けられ

ない.

2) 運動負荷試験の再現性

上記のごとくわれわれは, 冠不全発症閾値をあらかじめしらべておき, 左心機能検査時にはその量の運動を負荷させたが, ここで問題になるのは運動負荷試験の再現性である.

この点について, Robinson²⁾ は, 狭心痛出現時間, 心拍数及び血圧の変化を再度にわたり比較し, 各パラメータで有意の差はみられなかったと報告している. また MacAlpin ら³⁾ は, 負荷試験の1回目と2回目では, 心拍数以外のパラメータは有意の差をもって2回目で運動耐容量が増すが, 2回目と3回目では, パラメータのすべてに有意の差がみられず, 再現性が高いことを指摘している. その理由は, 彼らによれば, 1回目にはおそらく患者の不安が関係するからであろう.

Ross ら⁴⁾ も狭心症誘発に要する負荷時間の長さについてしらべたが, 著明な差はなかったと述べている.

したがって負荷量をあらかじめ定めておくことは充分根拠のあるところであるが, われわれが実際に施行した症例につきしらべてみたところ, 冠不全誘発までに要した時間についても, 誘発時の心拍数についても, 予備試験時とカテーテル実施中ではかなりの差があった.

これは左心カテーテル法といういわばかなり侵襲の大きな検査をうけることに対する心理的不安などの影響によるものであろう.

しかしその影響度はそれほど大きくはなく, データの判読を不可能にするほどのものでは, もちろんなかった.

なお Parker ら⁵⁾のごとく, 負荷時間を7分間に一定して運動を行わせている研究方法もあるが, 狭心症発症閾値は症例ごとに当然異なると考えられるから, 適当ではないと思う.

3) 運動負荷試験の end point (終了目標)

多くの研究者は, 虚血性 ST 降下と胸痛の両方を end point の目標としている. MacAlpin らは胸痛にはいろいろの程度があり, 単に胸痛が出現するまでの時期を目標にするだけでは客観性に乏しく, 再現性が低かったと述べている.

われわれの経験では, 狭心症患者において ST 降下

が現われた時には、胸痛がまだおこっていないとも、左心機能に変化がみられた。それ故われわれは運動負荷の終了目標として胸痛出現に必ずしもこだわらず、ST 降下出現を目標としてもさしつかえないと考え、以上の研究を行った。

ま と め

労作性狭心症11例を対象として、仰臥位用自転車エルゴメータにより運動を負荷して狭心症を誘発させ、その時の循環動態の変化につき調べた成績を述べた。

文 献

- 1) 木村栄一, 金沢正邦, 岸田 浩: 内科 35: 1022, 1975.
- 2) 栗田 明: 日医大誌 45: 158, 1974.
- 3) Robinson, B. F.: Br. Heart J. 30: 295, 1968.
- 4) Smokler, P. E., MacAlpin, R. N., Alvaro, A., Kattus, A. A.: Circulation 68: 346, 1973.
- 5) Dagerais, G. R., Mason, R. E., Friesinger, G. C., Wender, C., Ross, R. S.: Hopkins Med. J. 125: 301, 1969.
- 6) Parker, J. O., West, R. O., Giorgi, S.: Am. J. Cardiol. 21: 11, 1968.

質 疑 討 論

座長(村尾) この方法のみそは、ペダルの回転数に関係なく負荷をかけられるということか。

金沢(日本医大) 一定の回転数が得られるように努力させている。その際回転数がある程度変動しても、

電気制動型だから抵抗が変わるということで一定の負荷量が得られるわけです。

宇佐美(住友病院) 日本医大のは、ダイナモの磁力でコントロール出来るタイプだと思う。

福田(大阪医大) この研究は、pulse regulated な負荷試験か。初めて運動負荷試験を行う人とそうでない人との間の差についてどのように考えるか。

金沢 負荷量を一定にして行ったが、その結果心拍数がほぼ一定になった時に狭心症がおこった。

木村(日本医大) われわれのこの研究は、何回も運動試験をすでにやってあるわけで、むしろなれている症例だ。心拍数の問題は、確かに Sheffield や Bruce らのように、心拍数を目標として運動負荷を行う方法があるが、演者は、そうではなしに外的な仕事を一定にしてやったわけで、その場合の心拍数はどうなるのかを気にしたのだが、わりに一定した心拍数であった。

小関(東京医歯大) 狭心症の運動負荷試験を行う場合、胸痛がおきた時の心機能ということで、胸痛出現を一番の指標にした方がよいのではないか。

岸田(日本医大) その通りだと思う。しかし実際にカテを行っている時、胸痛を来たすまで運動をさせることが困難な場合が多いことと、それから今までに何回も行っているので、ST 降下が確実にきて、心拍数が一定になった時ということで運動負荷を行った。広く言えば、冠不全の状態を作るということで判断してよろしいのではないかと思う。

負荷心電図検査法の病態生理学的基盤について

関 一 郎*・秋 岡 寿**・森 勝 純**
 寺 内 陽**・佐 野 郁 生**・今 岡 昭 夫**
 貴 島 範 彦**・近 藤 邦 彦**・宮 城 建 雄**

1. 循環経路と負荷心電図検査法

負荷心電図検査は主として負荷時の心電図変化から冠不全の有無を判定する方法である。負荷には低酸素気吸入・運動・薬剤負荷等があるが、最生理的な stress として運動が広く用いられている。循環機能

は元来限られた血液を身体各部の必要に応じて循環経路の法則にしたがって調節送血することにある。したがってその機能検査は、①全身循環、②心臓のポンプ作用、③臓器ないしは局所循環の評価に大別され、その目的に応じて方法は選ばねばならぬ。

負荷心電図検査は冠動脈疾患に対する負荷試験として狭心症の鑑別に用いられ、本質的には③に属し、心電図変化と狭心症・冠循環・心筋エネルギー需給バランスの関連の解析が前提となる。しかし心筋の血液需要や冠血流抵抗に関しては心筋の収縮状況・cardiac force、左室仕事(LVW)、心筋張力(MT)との関係、全身血流配分の観点からは中枢神経や内分泌との関連など広範な説明を必要とする¹⁾。

2. 負荷心電図検査法と中枢の関与

低酸素負荷試験²⁾は O₂ 濃度の低い空気を吸入し、動脈血の O₂ 含量を低下せしめ、冠動脈血 O₂ 較差を減少させ、これに対する冠血流の反応性増加の良否を狭心痛や冠不全心電図発現により知ろうとするテストである。正常心電図反応の limit は10% O₂ であることが知られているが、脳の hypoxia には7% O₂ を必要とする。ところが、Malmström³⁾ は低酸素気吸入が、過換気・CO₂ 過剰排泄のため血液 pH の上昇を招き、血圧、肺胞、動脈血 PO₂、PCO₂ などのばらつきが大でかつ shock が起こり易く、65% O₂、4.5% CO₂、89% N₂ の混合気吸入を推奨している。大谷ら⁴⁾ の成績では10% O₂ 吸入により健常人でも脳から乳酸排泄を見る。Acidosis における心臓の Starling curve の変移にも交感神経の関与が証明されており⁵⁾、負荷試験における中枢関与の重要性を物語っている。

3. Master の double two step test の population study

Master の double two step test には種々の批判もあるが、一応運動後の脈拍数の回復を目安にした多数例の data から、年齢・性別・体重に応じた負荷規定があり、かつその簡便さの故に世界中で用いられている⁶⁾。そこで、岐阜県和良村の40才以上の循環器検

表1 岐阜県和良村の集団検診における Master double two step test の陽性率(%)

ECG at rest	Age Sex	40	50	60	70~	Total	
						%	n
Normal	m	9.9	7.5	16.3	15.4	10.8	27/250
	f	15.2	19.7	31.3	28.5	20.1	56/278
Disorder in Minnesota's code No. 2, 3, 6, 7, 8, 9	m	7.7	28.0	20.0	27.3	17.9	42/234
	f	39.1	28.6	44.8	38.5	37.9	44/116

診に用い、その population study を行ったところ表1のごとく、男女とも年代順にその陽性率は上昇し、安静時のいわゆる、ischemic change の%と平行する。その back ground としては男女ともに高血圧及びこれに基づく末梢脈波・眼底の Scheie、心愁訴、蛋白尿の項目が関連し、大動脈硬化や cholesterol とは有意な相関が見られなかった。

なお40~50才の女性に多発する S-T, T change は安静時、負荷時ともに高血圧とは直接関係せず、その成因は注目される。

4. Bicycle ergometry 時の冠循環・心筋代謝

臨床例における運動時の冠循環・心筋代謝はすでに数多く発表されているが⁷⁻¹¹⁾、冠疾患における冠血流反応障害との関係はまだ明らかにされていない。そこでわれわれは ①心電図変化を本にして、冠不全例を正常例と判別するに足る強度と、運動による steady state の達成、N₂O 法での冠血流計測に要する時間を考慮して、bicycle ergometry 50 watt, 15分負荷を採用し、②対照には心愁訴以外に所見のない NCA を選び、③高血圧例は ECG 所見のない HT 群と冠不全所見を呈する HTC 群に分け、④冠疾患 CHD には正常血圧の狭心症・冠不全・軽症心筋硬塞を選び、⑤その他の心疾患 HD には右心カテーテルで左室仕事、心筋張力計測可能な僧帽弁狭窄(MS)、特発性心筋症(PMD)、脚気心を選んだ。⑥代謝物質としては energy 産生系のみならず、貯蔵系にも目を向け、無機燐(Pi)クレアチンを、また細胞膜の様相をも知る目的で K, Na イオンをも同時に測定した。

その結果は他誌に公表してあるので結論¹²⁻¹⁶⁾のみを要約すると、①負荷の強さは1分間 4.4 Cal, 15分間 66 Cal で Master double two step test に比し、1分間では約1/2、全経過では逆に2倍強となるが、その ECG 所見を別に施行した Master の double two step test と比較すると、1~2例の例外を除けばまったく一致する。したがって本 test は Master の負荷試験なみの選別能力を有することが判る。②運動時の全身 O₂ 消費、心拍数は上記各群で有意差なく、運動強度は各群で斉一である。③しかるに LVW は高血圧群で高く、安静時最低の CHD 群では運動による増加率は逆に最大であった。④冠血流(CBF)は冠血管抵抗(CVR)と平行し、NCA, HT, HD の非冠障害群で

は有意に変化するが, HTC, CHD の冠障害群では有意な変化はない. ⑤心筋酸素消費量 (MOC) は CBF と安静時, 運動時ともに 0.92, 0.98 と直線に近い正相関を示す. MOC は NCA, HT では CBF とともに有意に増加するが, 他の疾患群では有意の増加は見られない. また MOC/LVW, MOC/MT の心筋酸素バランスは NCA でのみ保たれ, 他の疾患では低下する. ⑥心筋の乳酸摂取率は CHD, HD で有意に低下しかつ心筋からの遊出例も多い. ⑦クレアチンは乳酸, 脂肪酸, keton などと同様, 安静時には動脈濃度に正比例して摂取されるが, 運動中にはその相関は崩れ, ECG 変化例では心筋からの遊出を見る. クレアチンと Pi の心筋摂取は, 安静時には相関せぬが, 運動中ではかえって正相関し, 負荷陽性群は陰性群に比し, 心筋摂取が有意に低い. この動きは心筋 creatin phosphate からの energy の動員と関係のある変化と考えられ, したがって貯蔵 energy の動態の推測が可能となる. ⑧K も ECG (+) 群にのみ心筋からの遊出例を認め, (+) (-) 両群間に心筋摂取の有意差を認める. ⑨心電図所見から全例を (-) 群 (+) 群及び改善群の三群に分けると図 1 のごとく, (-) 群では CVR の有意な低下, CBF, MOC の有意な増加, MOC/LVW 心筋乳酸摂取の維持が見られるが, (+) 群では CVR, CBF, MOC の有意な変化なく, MOC/LVW, 乳酸摂取の有意な低下が認められた. これに対し, 負荷前の冠不全性 ECG 変化が, 運動により軽減する群では, CBF, CVR, MOC/LVW 乳酸摂取はいずれも (-) 群と同様に変化し, 今回の症例に関する限り, 運動時の逆転 T の陽性化, S-T 下降の軽減は運動による冠循環・心筋代謝の好転の結果と見做さねばならない. ⑩最後に各疾患群の運動中の冠循環・心筋代謝の特徴を LVW, ECG (S-T_{I, II, V4}) 変化とともに模型的に示すと図 2 のごとくなる. すなわち HT 群では嫌気代謝を呈することなく高い左心仕事を遂行し得るのに対して, HTC では creatin phosphate からの強い energy 遊離が, 糖質の嫌気代謝より優先して見られる. CHD では強い冠血流反応の制限と冠不全 ECG が, 貯蔵 energy の動員と糖質の嫌気代謝とともに典型的に認められる. これに対して HD では冠血流はほぼ NCA と変わらぬにもかかわらず, ECG, 心筋代謝は CHD と酷似する.

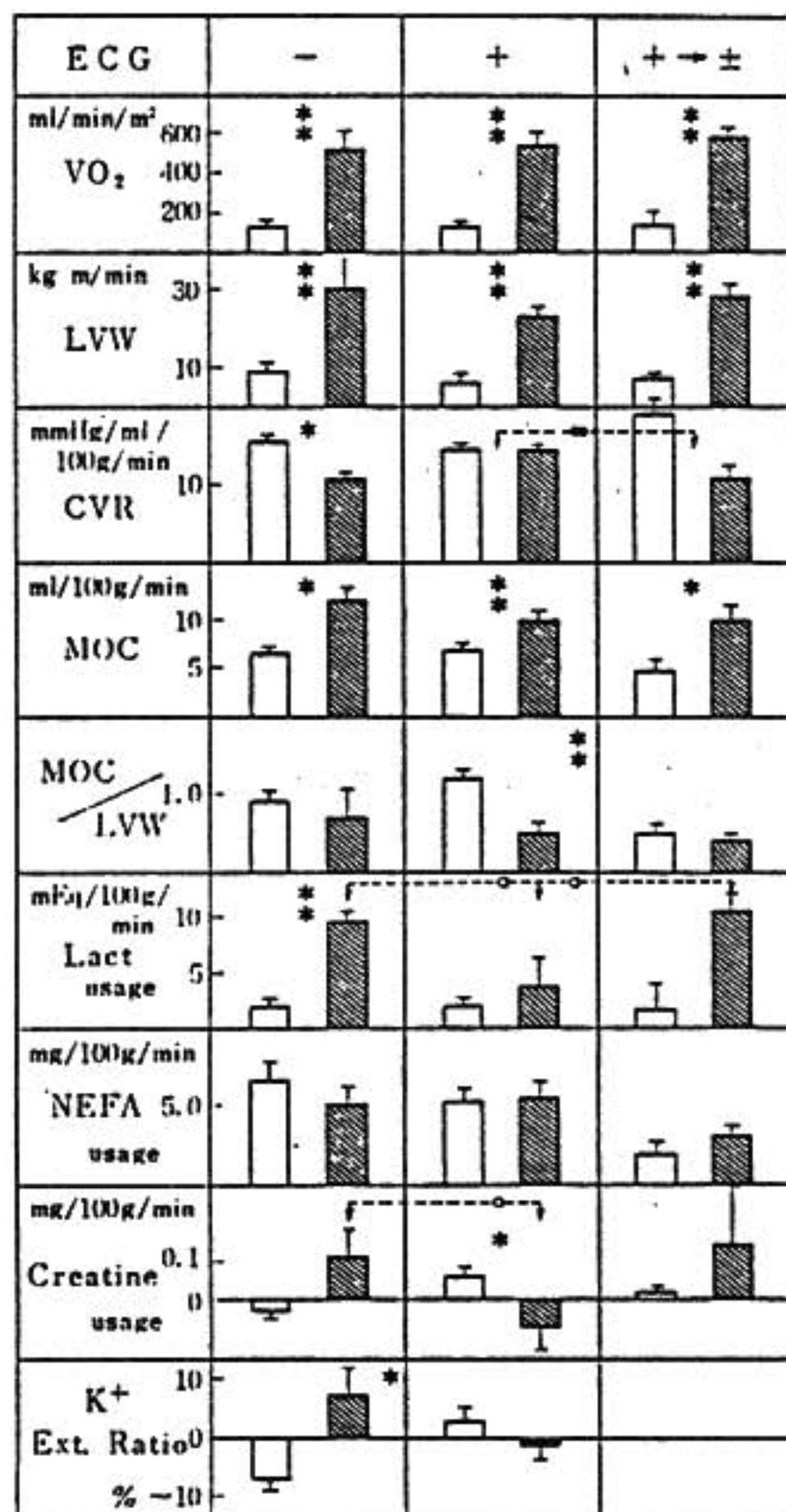


図 1 ECG change and myocardial energy metabolism at rest □ and during exercise ▨

5. 冠動脈疾患の冠血流反応の限界と特発性心筋症の冠循環・心筋代謝の discrepancy

以上の臨床実験から, 冠動脈疾患では冠血流反応の障害が原因であり, 逆に PMD や脚気心, ロイマチ性 MS 等では冠血流障害なしに心筋代謝障害が, 冠不全型心電図とともに現われることが実証されたと思う. そこで教室における種々の冠拡張因子に対する冠血流反応を 146 例についてまとめると図 3 A のように正常血圧の冠疾患では約 100 cc/l/min 付近に冠血流反応の上限があることが判る. これに反して図 3 B のように PMD の症例と coronary cine angiography で証明された冠疾患例とを比較すると, CBF のみが冠疾患

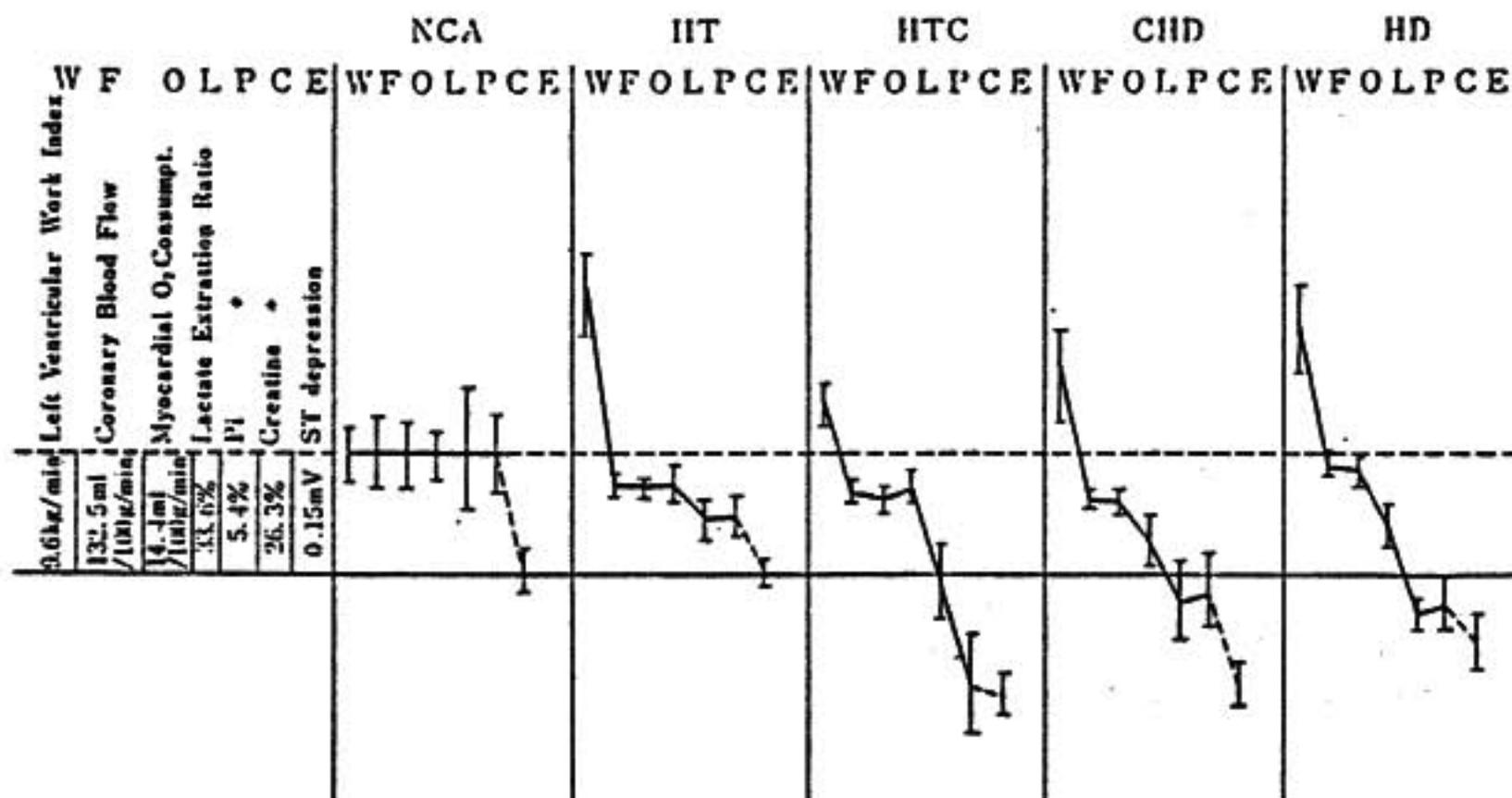
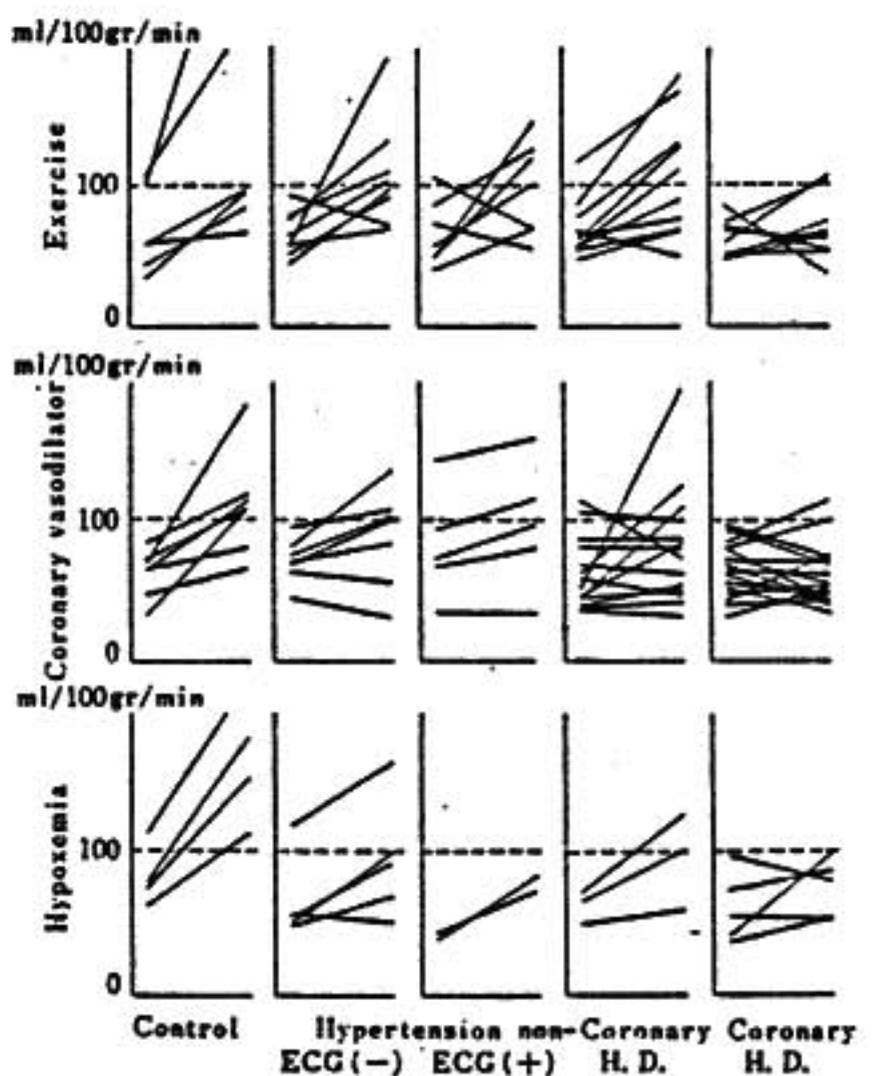
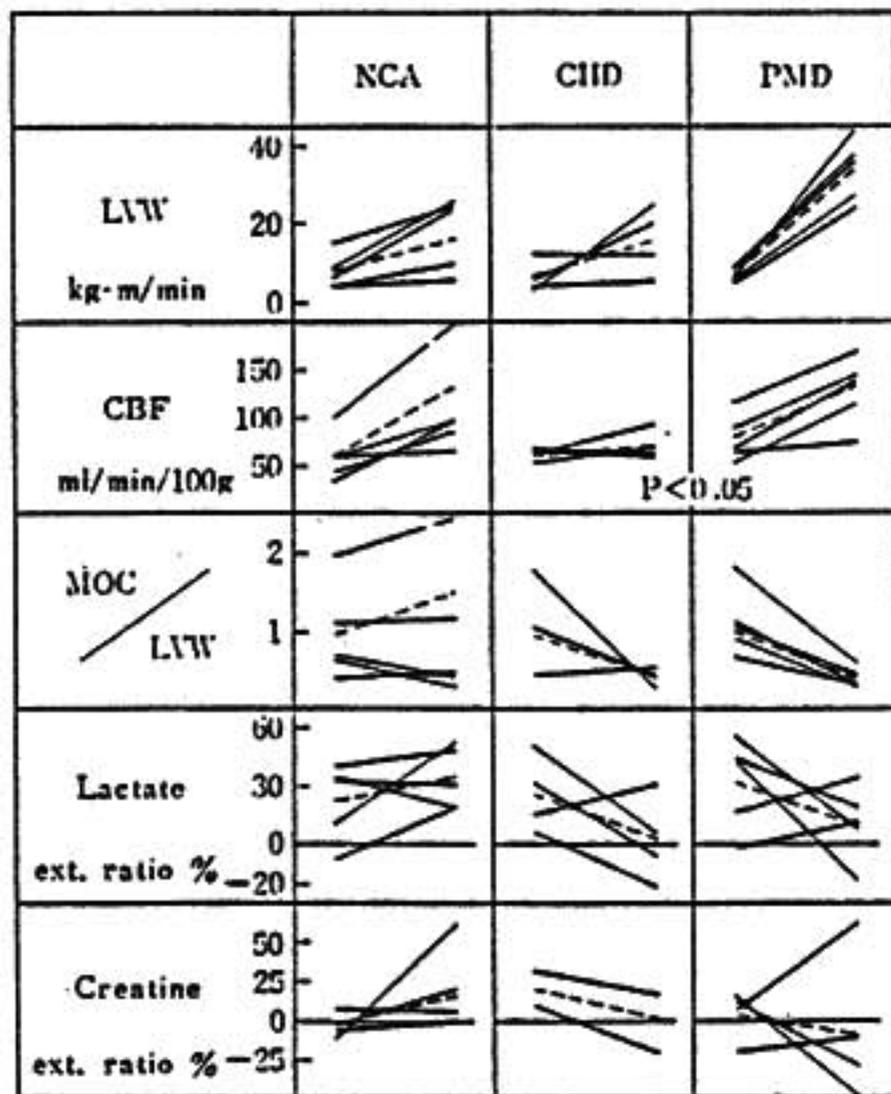


図2 Feature of myocardial energy balance during exercise in various circulatory disease



(A) Limitation of coronary blood flow reaction



(B) Hemodynamics and myocardial metabolism during exercise

図3

例で制限されていることが判る。この事実は負荷心電図検査法の診断の限界を示すが、逆に本法は心筋障害の負荷テストとしては有用であることを示し、cineangiographyの結果と比較しても予後判定にはかえって有利で、Masterのように予防医学的に重視する必要がある。

6. 負荷心電図検査法の criteria と冠血流・心筋乳酸摂取率の関係

負荷心電図検査法の criteria は従来、臨床症状や臨床検査所見または予後成績、最近では coronary cineangiography¹⁷⁾ との対比によって定められて来た。われわれは上述の冠循環反応や心筋乳酸摂取率を基に

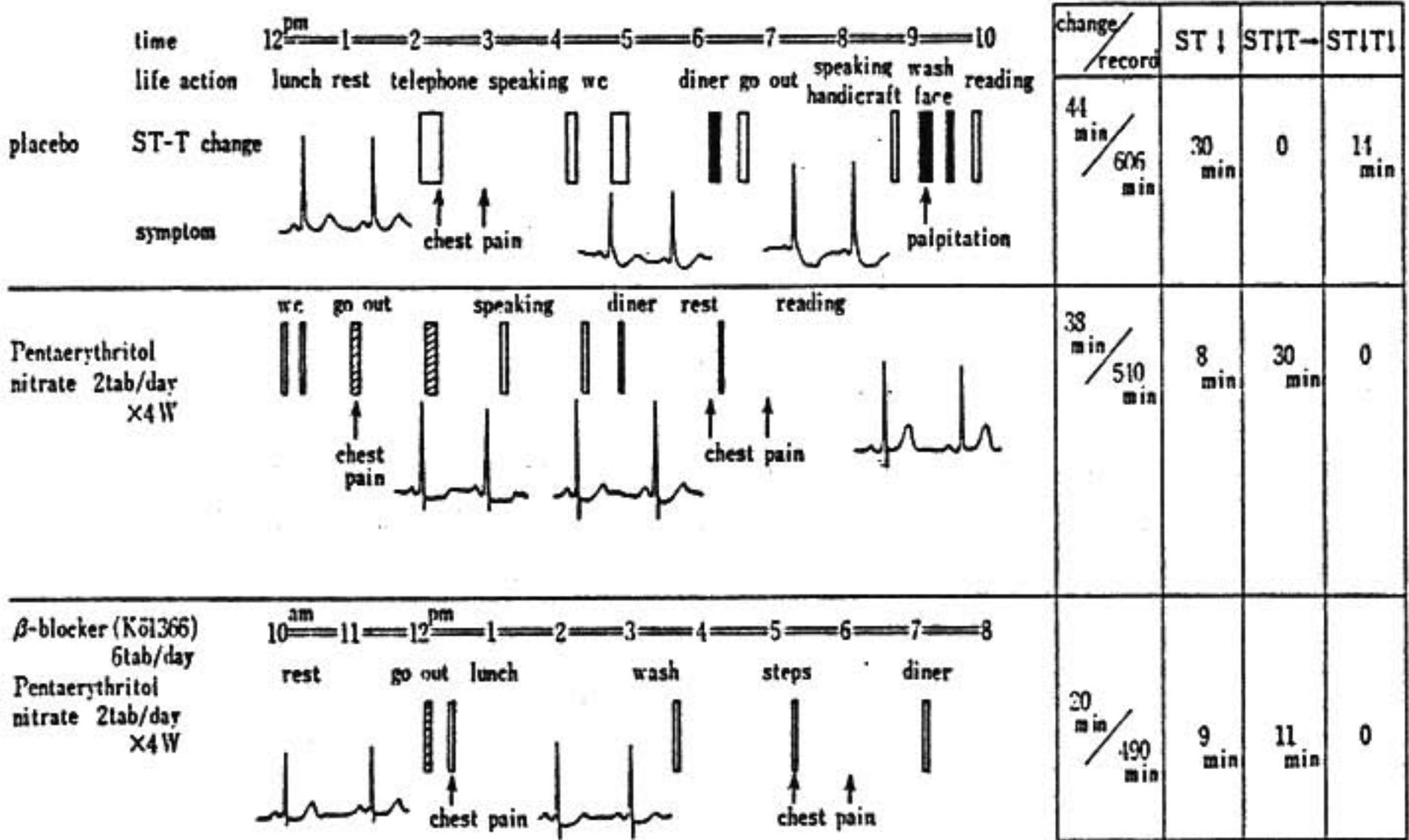


図4 ECG change by AVSEP-system and anti-anginal drugs (H.S. 40 female)

してその criteria をチェックして見た。その結果 Levy の criteria²⁾ を用いても Master の criteria¹⁾ を使っても冠血流とは有意の相関を得ぬのに反し、心筋乳酸摂取率の低下とはともに70~80%の相関を得た。その理由は、非冠疾患性心筋障害の存在に基づくが、一方 Cohen や Gorlin らの成績¹¹⁾に見られるごとく、two~three vessel disease では副行板が循環と代謝の不一致を助長する傾向が強いことにも基因する。今後 cineangiography とも対比して、本テストの精度を高める必要があると思う。

7. 狭心症と心電図変化との関係

携帯型心電計の発達は日常生活時の心電図変化を追跡し、狭心症との関連を追求出来るようになった。図4は冠動脈写で証明された狭心症の一例で、最典型的な狭心痛時には先ず S-T が低下、ついで T が減高し、やがて T が逆転し、この時には持続時間が長い。自覚症状を伴わぬ軽微な変化は種々の stress によりたびたび起こっており、洗面、電話などの自律神経の関与の強い場合には T のみの逆転が目立つ。そこで薬剤の影響を調べるとほぼ同程度の生活にもかかわらず、ECG 変化は漸次軽減して行く。興味深いことには、ショッピングに夢中になっている間では、たとえ S-T 下降

を生じても自覚症のないことで、Hernandez-Péon の猫の脳波実験で注意集中時に他の刺激が意識に上がらぬことを証明した事実と一致し、この場合にも ECG 変化を証明することは臨床重要である。

結 語

以上負荷心電図検査法において、冠動脈疾患の冠不全発現には冠血流反応障害が関与し、狭心症の診断に有用ではあるが、冠不全心電図そのものは本質的には心筋の代謝障害を反映し、したがって冠障害の直接的証明とはならない。しかしその反面、臨床的応用としては冠疾患に限らず、広く心筋障害の発見や予後判定にも役立つことが結論できる。

文 献

- 1) Simonson, E. : Physiology of work capacity and fatigue. Charles C. Thomas, Springfield, 1971.
- 2) Patterson, J. E., T. W. Clark and R. L. Levy : A comparison of the electrocardiographic changes, observed during the "Anoxemia Test" on normal persons and patients with coronary sclerosis. Am. Heart J. 23 : 837, 1942.
- 3) 原 亨, 関 一郎, 三戸 榮, 谷口成之, 小川 悟, 林 泰三, 佐治 玄, 水野 逸之, 松島輝幸, 森 繁男, 友田典則, 星屋 重夫, 木村新次郎 : 誘発低酸素血症に於ける冠循環・心筋代謝並びに之等と心電図の関係について

- の臨床的研究. 総合臨牀 5 : 1670, 1956.
- 4) Malmström, G. : The cardiologic anoxemia test with special reference to its standardization. A clinical and physiological study. Acta med. Scand. Suppl., 195, 1947.
 - 5) 大谷晴彦 : 高血圧並びに脳動脈硬化症の脳糖質代謝に関する病態生理学的研究. Jap. Circ. J. 27 : 534, 1963.
 - 6) Downing, S. E. : Autonomic influences on cardiac function in systemic hypoxia. International Symposium on the cardiovascular and respiratory effects of hypoxia, Karger Basel and New York, 1968.
 - 7) Master, A. M. and I. Rosenfeld : Exercise electrocardiography as an estimation of cardiac function. Dis. Chest 51 : 347, 1967.
 - 8) Messer, J. V., R. J. Wagman, H. J. Levine, W. A. Neill, N. Krasnow and R. Gorlin : Patterns of human myocardial oxygen extraction during rest and exercise. J. Clin. Invest. 41 : 125, 1962.
 - 9) Parker, J. O., R. O. West, R. B. Case and M. A. Chiong : Temporal relationships of myocardial lactate metabolism, left ventricular function and S-T segment depression during angina precipitated by exercise. Circulation 40 : 97, 1969.
 - 10) Rowe, G. G., S. Afonso, J. E. Lugo, C. A. Castillo, W. C. Boaks and C. W. Crumpton : Coronary blood flow and myocardial oxydative metabolism at rest and during exercise in subjects with severe aortic valve disease. Circulation 32 : 251, 1965.
 - 11) Cohen, L. S., W. C. Elliot, M. D. Klein and R. Gorlin : Coronary heart disease, clinical, cineangiographic and metabolic correlations. Am. J. Cardiol. 17 : 153, 1966.
 - 12) 樋口久人 : 循環器疾患における運動負荷時の冠循環心筋酸素代謝と全身血行動態及び心電図変化との関係について. Jap. Circ. J. 36 : 875, 1972.
 - 13) 東原康雄 : 運動負荷時のヒト心筋糖質代謝 (特に冠動脈疾患について). Jap. Circ. J. 37 : 672, 1973.
 - 14) 藤原喜代子 : 循環器疾患における運動時の心筋糖質代謝と心筋エネルギー代謝. Jap. Circ. J. 39 : 623, 1975.
 - 15) 森 勝純 : 循環器疾患における心筋無機燐とクレアチン代謝に及ぼす運動の影響. Jap. Circ. J. 36 : 1123, 1972.
 - 16) 関 一郎, 森 勝純, 藤原喜代子, 東原康雄, 樋口久人, 寺内 陽, 佐野郁生, 今岡昭夫, 貴島裕彦, 宮城建雄, 近藤邦彦, 上出秀夫, 宮沢 健, 後藤紀夫, 秋岡 寿 : 心疾患における運動時の無機燐, クレアチン出納と心筋エネルギー代謝. 心臓 6 : 423, 1974.
 - 17) Kassebaum, D. G., K. I. Sutherland and M. D. Judkins : A comparison of hypoxemia and exercise electrocardiography in coronary artery disease. Am. Heart J. 75 : 759, 1968.

運動負荷後の ST, T 変化についての検討

—主として血行動態面から—

戸 嶋 裕 徳*

きようお話しすることは, 4~5年前に教室でやられたことで必ずしも目新しいことではないが, この研究会の発足にあたって, 話題提供という意味で紹介させていただいた。

そもそも, 運動負荷試験というのは, いわゆる潜在的冠不全, ないし狭心症を診断するために行われるものであったし, したがって, 安静時の心電図で, 明らかな虚血性の変化があるものに対しては, 運動負荷試験は禁忌といわれていたのは, そう古いことではない。したがって, 心筋硬塞に負荷をかけるなんていうことは, もってのほかというのが常識だったと思われるが, 木村登教授は回復期の心筋硬塞患者にあえて負

荷をかけることを提唱した。初めは, おっかなびっくりやっていたが, やってみると案外大したことはないということで, だんだんエスカレートして心筋硬塞以外の患者で, 安静時の心電図に明らかな ST, T の変化, 虚血性の変化があると思われる例についても, 運動負荷をやってみると, single の負荷でドカンと下がるものもあれば, double をかけてもほとんど変化しないものもある。

ST が負荷後に明らかに下がって狭心症が出れば, それは虚血性の変化として評価できるが, 意外とこういった変化があっても, 本人はまったく無自覚であるものが少なくない。そこで, 一体これはどういうこと

* 久留米大学 木村内科

だろうというわけで負荷に伴う ST, T の変化と血行動態という面から検討してみようということがこの研究の発端である。初めは簡単な方法ということで色素希釈法を使用した。どうももうひとつデータがすっきりしないということで、Fick 法を採用することにし、カテーテルを突っ込んで検討を進めてみた。

方法および対象

心カテを行う関係上、カテ台にモナーク製の自転車エルゴメータを取り付けて、それを踏ませたが、この検査をする前の日に、実際に患者に練習をさせて、同時に心電図をとって期待する変化がくる量を予めきめた。その負荷量は、その症例の、予め病棟で行った Master の負荷試験を参考にして、最低 0.25 kp・20 km/h の回転速度から、最高は 1.25 kp・30 km/h の負荷である。

検査当日は絶食にして、ジアゼパムを投与した。通常のカテーテル法にしたがい、クールナンドの No. 8 のカテーテルを肺動脈に入れて留置し、上腕動脈から経皮的にポリエチレン・カテーターを大動脈に挿入し、それぞれ圧測定と酸素濃度の測定に供した。

酸素消費量は、フクダのエレクトロメタボラ 600 BMS を用い、mouth-piece を通じて、呼気量および呼気ガス濃度を連続的に記録測定した。心拍出量は Fick 法によって測定した。

そういった準備をして、できるだけ自転車の回転速度を一定にするようにコントロールしながら強い胸痛とか、呼吸困難、ST などの異常な変化がない限り、原則として14分～16分間の運動を行わせ、運動開始後は2分おきに採血を行って検索した。

成績および考按

図1は安静時心電図および負荷試験でも心電図に異常のない、臨床的には高血圧とか糖尿病などの症例 (group I) における成績をまとめたものである。

Bicycle ergometer の負荷量は、必ずしも一定していないが、この8例の平均では図に示すように heart rate は増加し、 $\dot{V}O_2$ および cardiac index も増加するが cardiac index は、大体8分あたりから steady な状態になる。

一方、安静時の心電図で、明らかに虚血性の変化が

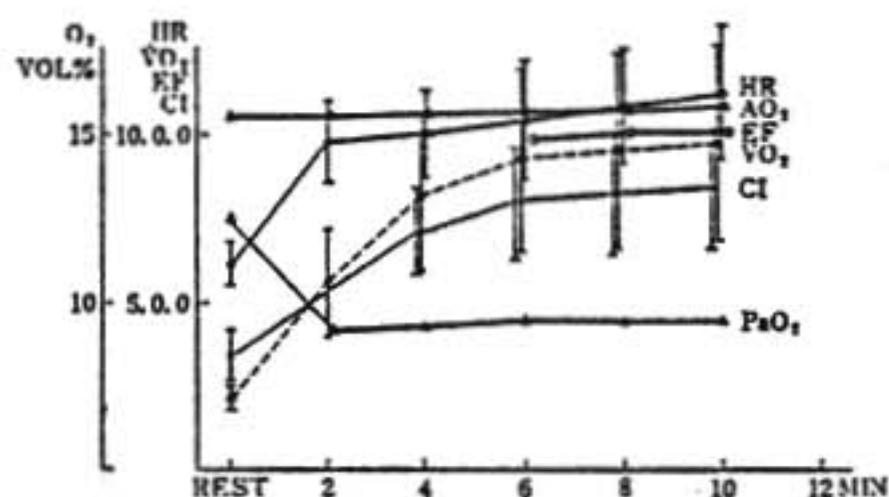


図1 Hemodynamic changes during exercise in (group I)

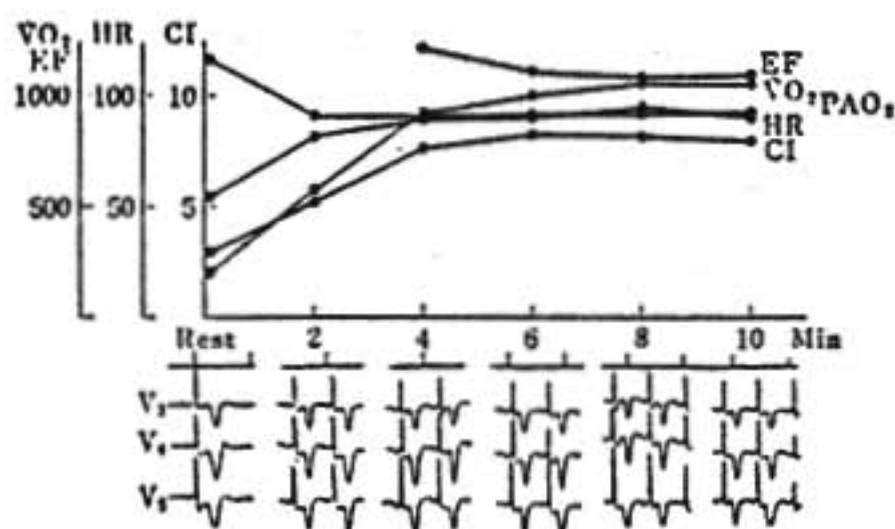


図2 ECG and hemodynamic changes after exercise T.T. 55 yrs Male IHD

あると思われる例に負荷をかけてみると、図2はその1例であるが酸素消費量、heart rate も増えるが、cardiac index もそれに比例してふえる。その時の心電図変化は、若干Tが浅くなるという傾向はあるが、ST 部分はほとんど変動してない。この例のような ST, T 変化は、最近、非対称性中隔肥厚があるものに多いということを経験しているが、本例もそうであったのかもしれない。

とにかく、安静時心電図は異常だけれども、負荷に対する response はまったく正常で、ポンプ機能の面から言えば、正常であるということが言えよう。

負荷前の心電図は冠性Tと呼んでもいいような陰性Tを見る時でも、負荷をかけるとTが上振りになるとか、その深さが浅くなると言った変化が見られるが、ST 部分について言えば、負荷を通してまったく変化のないものがある。Tだけが少し上振りの方向に変化しているという例である。

このような例で血行動態を見ると、heart rate、酸素消費量ともにふえ同時に cardiac index は、 $\dot{V}O_2$ の増加に対応して steady な状態が保たれている。

図3は心筋硬塞の症例で105病日前後のものであるが、負荷後陰性だったTが完全に陽性化しているが、STは変動していない。この時、血行動態的に調べたポンプ機能はまったく正常である。

図4の8例は、安静時心電図で明らかにST、Tに変化があるが、ポンプ機能の面から見るとあまり変化がないという症例 (group II) をまとめたものである。

Cardiac index の増加というのは、KPM、つまり負荷量に大体比例しているが、必ずしも一定ではない。しかし、安静時心電図は異常でも、心拍出量つまり心臓のポンプ機能は正常に保たれていると思われるものは、 $\dot{V}O_2$ の増加に比例し exercise factor は一定の値をとるという経過をとることになる。

心係数のカーブに多少凹凸があるが、これは途中で自転車を踏むのを少し怠けているということがありうる。

一方、安静時心電図で異常があるが、負荷をするとさらにその異常が強まる。つまり、STがより deviate してしまうという症例 (group III) がある。

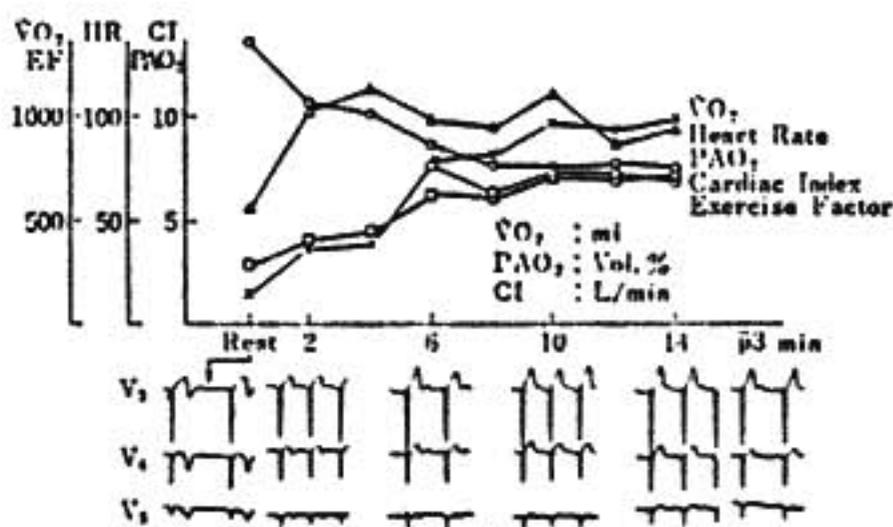


図3 ECG and hemodynamic changes after exercise
H. M. 57 y. o. Male Anterior Infarction

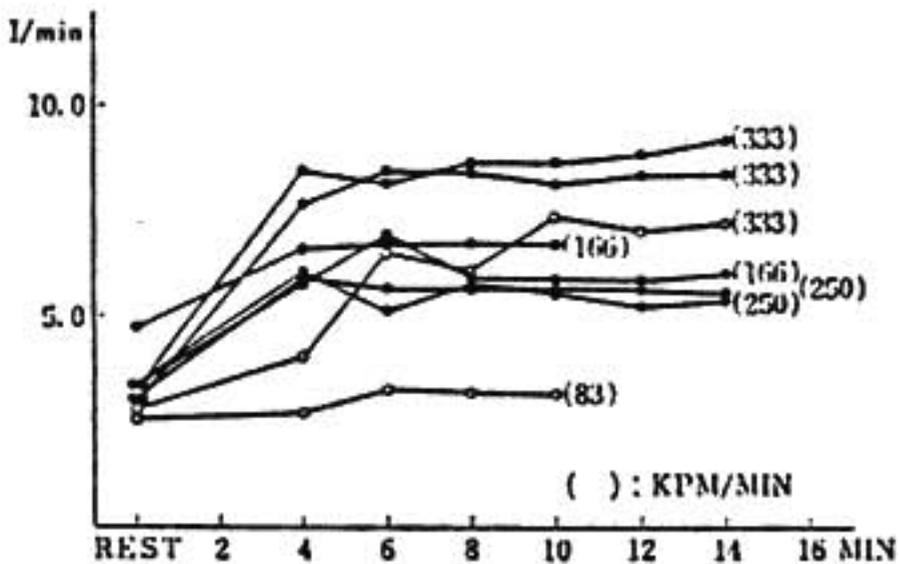


図4 Change of cardiac index during exercise (group II)

そういう例では、血行動態、ポンプ機能はどうなっているのかが問題になるが、図5の例は陳旧性の心筋硬塞で負荷前にも V_1 で非特異的なSTの低下があるが、負荷2分後から更に下降して、6分あたりでは更に著明になっている。

T波の増高は非常に強くなるが、同時に、STが低下している。この例では負荷量が軽いこともあるが、心係数の増加がきわめて少なく、4分以後はむしろ低下してくる。酸素消費量の割合から見てもその低下が強いということで、exercise factor は明らかに落ちる傾向をとっている。

狭心症を途中で起こした例では、図6▲印 (166 Kpm) の例であるが4分あるいは6分あたりから、STの低下が強くなりその後 pain が出たが、辛抱してもらって、さらに、もうちょっとそのまま踏ませるとSTの低下はさらに強くなった。

その際の血行動態は6分をピークとして、cardiac index は anginal pain のあとは下がってくるということが証明された。

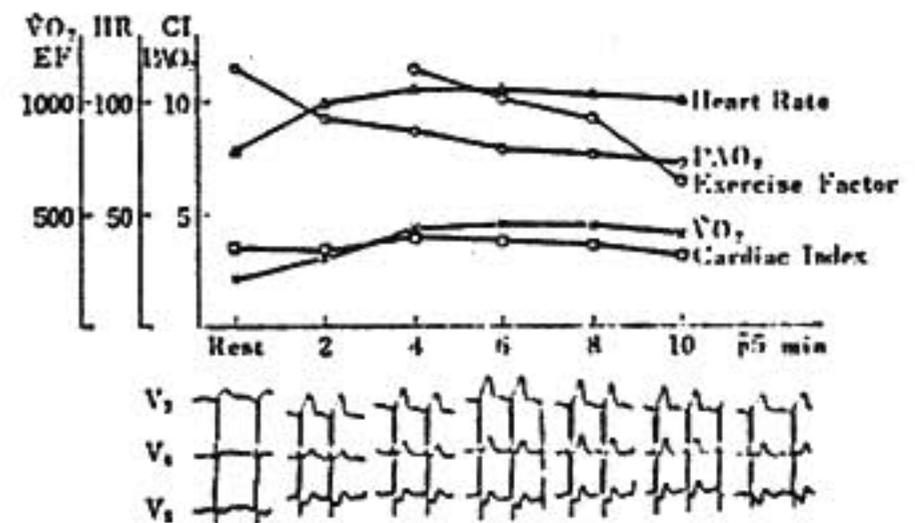


図5 ECG and hemodynamic changes after exercise
M. K. 58 y. o. Male Anterior Infarction

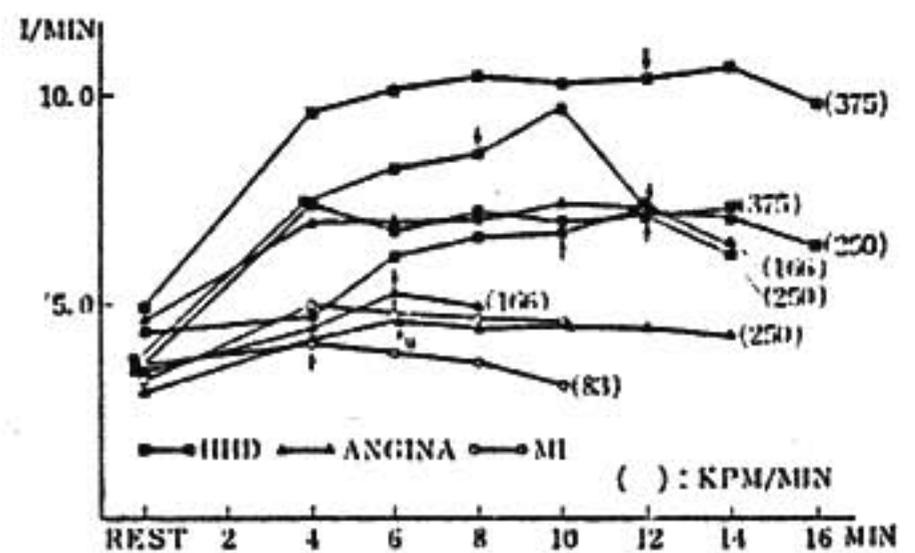


図6 Change of cardiac index during exercise (group III)

一方、高血圧性心臓病で左室肥大と、いわゆる strain pattern がはっきりした症例では、若干狭心症の患者とは負荷に対する反応が違うニュアンスがあり、heart rate の増加は著明であるがT波の増高の傾向は出てこない。むしろ次第にTが flat になってくる、あるいは陰性度がST部分も明らかにより低下してくる傾向が見られる。

図6の■印(375 Kpm)例はその1例であるが、血行動態を見ると負荷後10分あたりからSTが低下すると同時に cardiac index も低下しているようである。

以上のべてきたように安静時心電図に異常があつて cardiac response に異常があつた例をまとめてみると、図6中の「■」印は高血圧性心臓病の4例、「▲」が狭心症、「○」印が心筋硬塞である。この心筋硬塞の1例は83 Kpm という非常に軽い負荷で4分を境にして尻下がりに心拍出量が減少している。

矢印を入れているのは、安静時の心電図に比べてSTの deviation がより強くなったと思われる時点である。

「U」と書いたものは、U波の inversion が出てきたということでSTの偏位はまだなかった例である。このU波の inversion は診断基準として問題になると思われるが、これは必ずしもポンプ機能の低下を伴わない。しかし、ポンプ機能の異常の前兆としての所見とは言えるかも知れない。

高血圧性心臓病は、若干こういった例と違った反応を示すようで矢印で示したようにSTが下がっても心係数のほうはさらに一時的に増加傾向を示すが、その後やはりバテてくる形をとっており、高血圧心は虚血性心臓病とは若干違うニュアンスをもっているような印象をもっている。

ま と め

安静時心電図の有無にかかわらずSTの有窓の変動というのは、心筋のポンプ機能の低下を意味しているといえるように思われる。

陰性Tが浅くなったり、あるいは陽性化するということに関してはいろいろ議論のあるところであるが、私どものこういったポンプ機能という面から見ると、これは正常範囲の変化であると考えてよいように思われる。

高血圧性心臓病では、陰性Tの増大を伴うSTの低下が見られ、cardiac output の低下つまりポンプ機能の低下はそれよりやや遅れて出現し、虚血性心臓病と異なる態度を示した。

質 疑 討 論

木村(日本医大) 一番簡単な質問を、いまの話だと運動をさせてSTが下がる例では、output が減っているというわけか。

戸嶋(久留米大) その時期はともかくとして、いずれ相対的には低下する。

木村 だからSTが下がるのは、簡単に考えるとoutput が減ってそのために coronary へ行くのが減ってSTが下がる、そう考えてしまってよろしいか。

戸嶋 いや、狭心症の患者では、冠不全が強くなったために収縮性が悪くなってポンプ機能が低下したためと考える。

村尾(東大) いまの質問にも関係があると思うが、ischemic というのではなくてたとえばNCAということがかなりはっきりしているような症例でSTが下がる例があるか。

戸嶋 junctional なものであるが、ポンプ機能は正常である。ただし2mm以上超したのはやはり問題があるように思う。

富原(札幌医大) 心係数の誤差範囲が大体±10%、あるいは15%ぐらいあると思うが、先生のデータは特に運動中にはかかっておられるから、誤差範囲がもう少し大きくなる可能性があるのではないか。その誤差範囲を超えて有意に低下しているのかどうかということが一つと、それから心係数が落ちることが収縮力が低下というようにすぐ言ってしまうのかどうか。この二点を教えていただきたい。

戸嶋 実はその辺が一番デリケートなところで、私ももう少し掘り下げて知りたいところで、これ以上に確認する方法として何がいいかなといま考えておるところです。したがって最近導入されたエコーを使えばその辺がもうひとつクリアーに出るのではないかと、も思っている。先生からご指摘いただいたところは、私自身が反省しながら考えており、その辺をもう少し今後追求してみたいと思っている。

Multiple Load Test による心疾患患者の心機能判定

—Treadmill と Bicycle ergometer—

藤田良範*・新村与平*・内島弘*
林正博*・長谷川武志*・新谷博一*

心疾患患者の rehabilitation の立場から, 患者の心機能, すなわち運動能力や, 心予備力を客観的に正確に判定することは重要なことである. 自覚症状による New York Heart Association 分類の I 度または III 度は問題ないにしても, II 度群はかなり幅があり, 心機能判定上からも問題がある.

1) Treadmill を使用した Multistage exercise test¹⁾

対象は正常 8 例 (平均 35 才), 高血圧症 15 例 (48 才), 冠疾患 25 例 (58 才), 弁膜症 16 例 (45 才). NYHA 分類では I 度 18 例, II 度 25 例, III 度 13 例の計 64 例. 方法は treadmill を使用し, 各負荷時間は 10 分間, 傾斜 5°・毎分 30 m の負荷を行い 10 分間出来た例には 30 分以上の安静後, 10°・毎分 50 m の負荷を, 5°・30 m 負荷中止例には 2.5°・毎分 20 m の負荷を行った. 中止基準は自覚症状で胸痛, 高度の呼吸困難・動悸・下肢倦怠感が出現した場合, または表 1 のような心電図上

の重度変化が出現した場合とした.

表 2 は, かようにして得られた成績と Hellerstein²⁾らが述べている estimated work capacity (e. w. c.) とを組み合わせたものである. 5°・30 m 負荷の RMR は 2.3~2.8, 10°・50 m RMR は 4.1~4.3, 2.5°・20 m の RMR は 1.2~1.7 であり, NYHA I 度の e. w. c. は 2.2~4.3 で, われわれの 5°・30 m 負荷は下限の値であり, I 度群は全例 10 分間出来た. II 度の e. w. c. は 1.2~2.2 であり, 5°・30 m 負荷では 25 例中 15 例が 10 分間可能であった. III 度の e. w. c. は 0.2~1.2 であり, 13 例全例が 10 分間遂行出来なかった. 10°・50 m の負荷では RMR 4.1~4.3 となり, I 度例の 15 例中 11 例しか 10 分間出来なかった. また, II 度例は 13 例中 1 例しか 10 分間出来なかった. 2.5°・20 m と負荷を減じると, III 度の 13 例中 7 例に 10 分間負荷が出来るようになった. Physical Fitness Index (P. F. I.)³⁾ の値をみると, 正常では負荷量が変化しても値はあまり変化しないが, 患者, とくに心機能の悪い例では負荷に耐え

表 1 Electrocardiographic criteria in determining whether to stop exercise or not

Stop Exercise			
Necessary	Severe Change	ST	ST Junctional Depression $2.0 \text{ mm} \leq$ ST Ischemic Depression $2.0 \leq$ ST Elevation $2.0 \leq$
		Paroxysmal Tachycardia or Frequent Premature Beats	
Not Necessary	Slight Change	ST	ST Junctional Depression $1.5 \leq \sim < 2.0$ ST Ischemic Depression $0.5 \leq \sim < 2.0$ ST Elevation $1.0 \leq \sim < 2.0$
		T	{+} → {-} {+} → isoelectric
	No Change	ST	ST Junctional Depression < 1.5 ST Ischemic Depression < 0.5

表2 Relationship between functional capacity (NYHA), PFI and estimated work capacity by multiple load test

NYHA	Estimated Work Capacity	P F I	5°·30 m/Min.			10°·50 m/Min.			2.5°·20 m/Min.		
			R M R	P F I	Comp.	R M R	P F I	Comp.	R M R	P F I	Comp.
N			2.3	20.5	8/8	4.3	18.5	9/9	1.2	18.7	7/7
I	2.2~4.3	17	2.3	16.8	18/18	4.1	12.1	11/15			
II	1.2~2.2	15	2.3	13.2	15/25	4.3	5.5	1/13	1.6	15.4	10/10
III	0.2~1.2	9	2.8	4.3	0/13				1.7	12.6	7/13

N=Normal Comp.=Completed

られないようになると PFI 値が低下している。

2) Treadmill Test と Ergometer Test の比較⁵⁾

対象は正常10例(平均26.6才), 冠動脈疾患17例, 弁膜疾患16例, 高血圧症6例, NYHA 分類I度10例(45.1才), II度22例(54.2才), III度7例(45.7才)の計49例。Ergometer(座位, 各負荷時間は5分間)を使用して50 w/sec 負荷をし, 5分間出来た例には30分以上の安静後75 w/sec 負荷を, 50 w/sec 負荷を途中中止例は25 w/sec の負荷を行い, 数日後同一症例に treadmill(各負荷時間5分間)を使用して5°·30 m/負荷を行い, 5分間出来た例は10°·50 m/負荷

を, 5°·30 m/負荷中止例は2.5°·20 m/負荷を行い, 両者を比較した。

各負荷の RMR は ergometer の 25 W で 1.7~1.9, 50 W で 2.6~2.9, 75 W で 3.7~4.0, treadmill 2.5°·20 m で 1.4~1.6, 5°·30 m で 2.0~2.5, 10°·50 m で 4.2~4.6, 5°·30 m と 50 W はほぼ同じ負荷量で, 2.5°·20 m と 25 W は 25 W がやや強く, 10°·50 m と 75 W では 10°·50 m が強い負荷量となった。Ergometer 50 W の心拍数経過をみると, II度は1

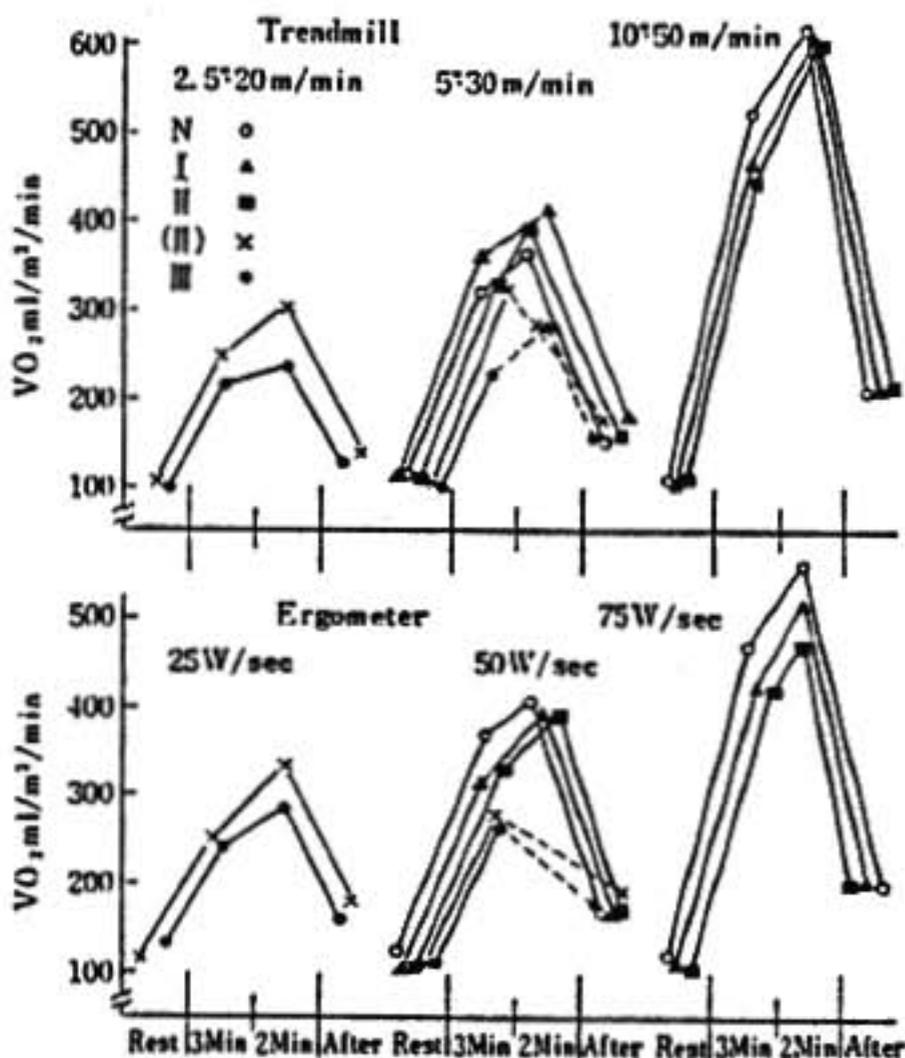


図1 Changes in volume of O₂-consumption during and after exercise

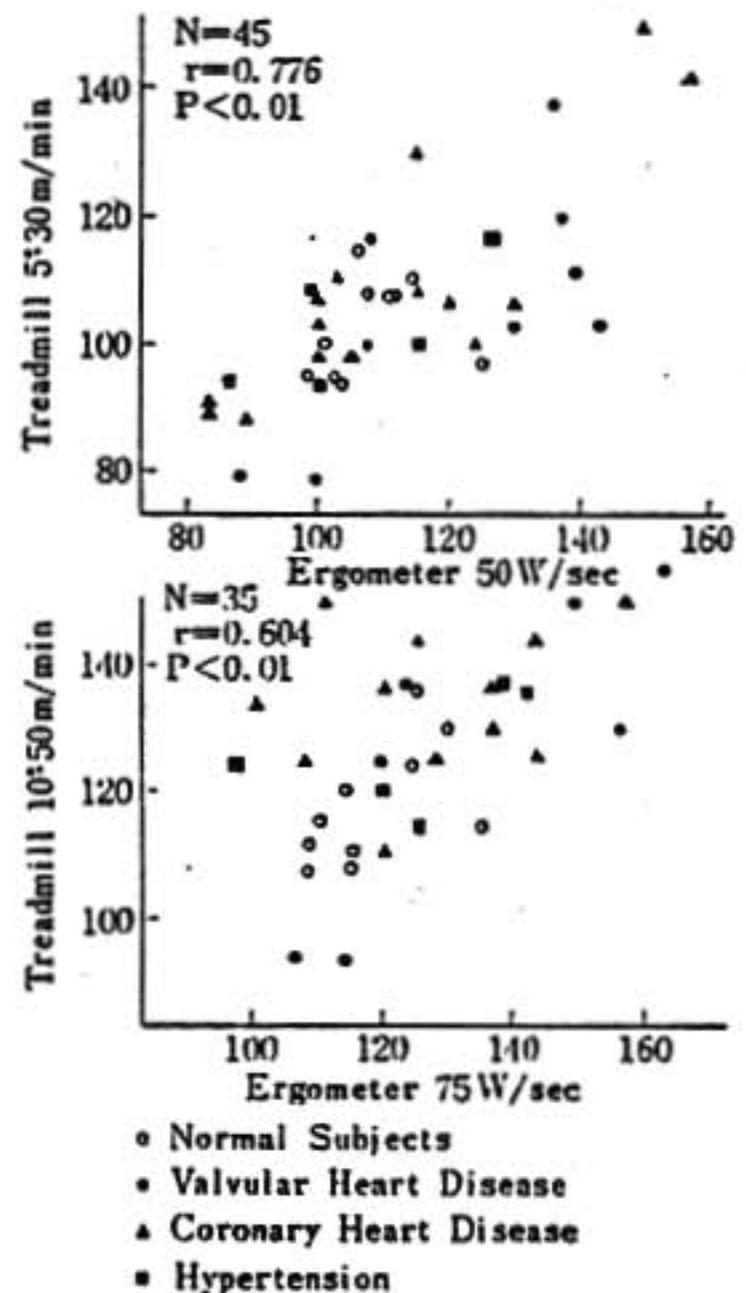


図2 Correlation between maximum heart rates in treadmill test and ergometer test

分ぐらいで steady state になり、II 度のうちでも心機能の悪い例（中止例）と III 度では steady state にならず、途中で負荷を中止している。Treadmill 5°・30 m 負荷でも ergometer 50 W と同じような経過を示した。Robinson⁶⁾ の年齢別最大心拍数に対する割合は ergometer 50 W では正常 56.6%，I 度 61.3%，II 度（施行例）67.0%，II 度（中止例）72.6%，III 度 88.7%，treadmill 5°・30 m では正常 53.4%，I 度 56.8%，II 度（施行例）61.8%，II 度（中止例）77.7%，III 度 80.1% で、50 W の方がやや高い傾向を示した。75 W では正常は 2 分で、I 度も 2.5 分でほぼ steady state になり、II 度は steady state となり得なかった。Robinson の最大心拍数に対する割合は 75 W で正常 62.4%，I 度 69.8%，II 度 77.1%，10°・50 m で正常 62.4%，I 度 71.0%，II 度 80.0% であった。

負荷中酸素摂取量（図 1）は 50 W 負荷と 5°・30 m 負荷では差がなく、25 W と 2.5°・20 m でも差はないが、75 W と 10°・50 m では 10°・50 m の方が大きかった。

同一症例について ergometer 50 W と treadmill 5°・30 m 負荷の最大心拍数の相関をみると、高い相関 ($r=0.776$) を示した（図 2）。75 W と 10°・50 m 負荷では treadmill の負荷の方で最大心拍数が多い傾向を示したが、かなりの相関 ($r=0.604$) を認めた。25 W と 2.5°・20 m でも良い相関 ($r=0.828$) を示した。同様に回復期 3 分間の合計心拍数についても、50 W と 5°・30 m との相関 ($r=0.79$) は良かったが、75 W と 10°・50 m では相関 ($r=0.53$) が前者より低かった。

PFI を NYHA 分類別に比較してみても、50 W と 5°・30 m 負荷では両負荷ともに I 度、II 度（施行例）と II 度（中止例）・III 度の間には明らかに差を認めた。75 W、10°・50 m と負荷量を増加すると、I 度と II 度との間にも PFI の差が認められた。

Ergometer と treadmill 負荷による自覚症状を比較してみると、図 3 のように心機能の悪い例では両法の間に出現率の差はあまりないが、比較的心機能の良い群では ergometer の方が自覚症状の出現が多く、

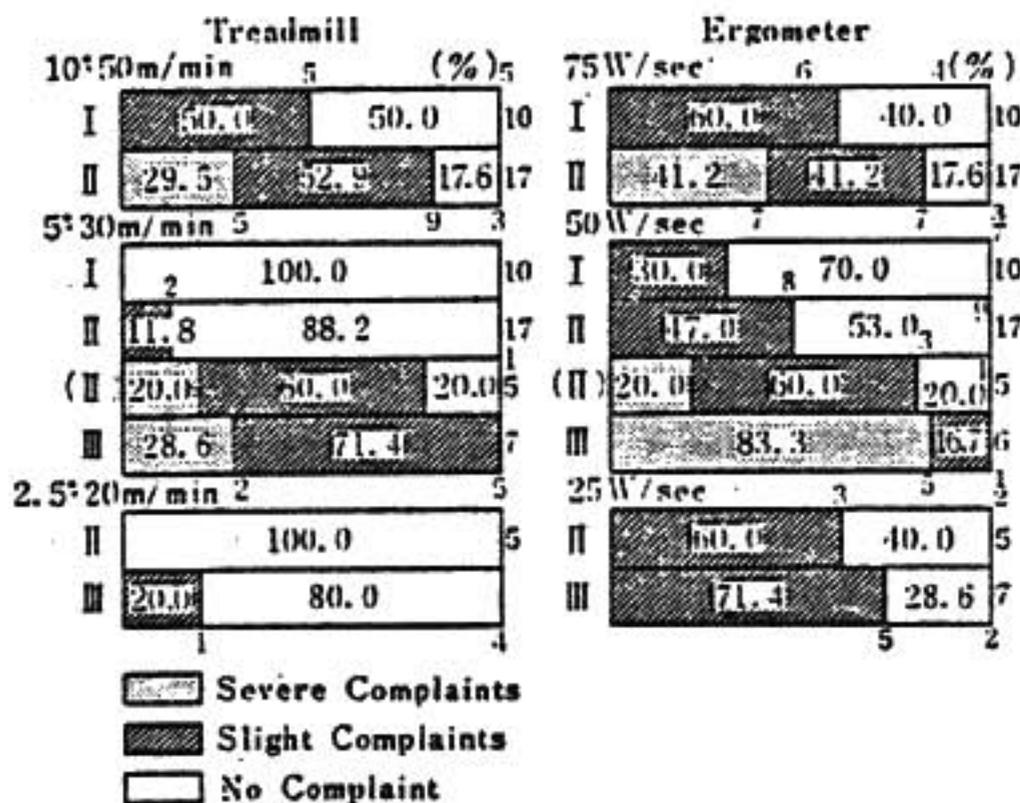


図 3 Subjective complaints during and after exercise (NYHA)

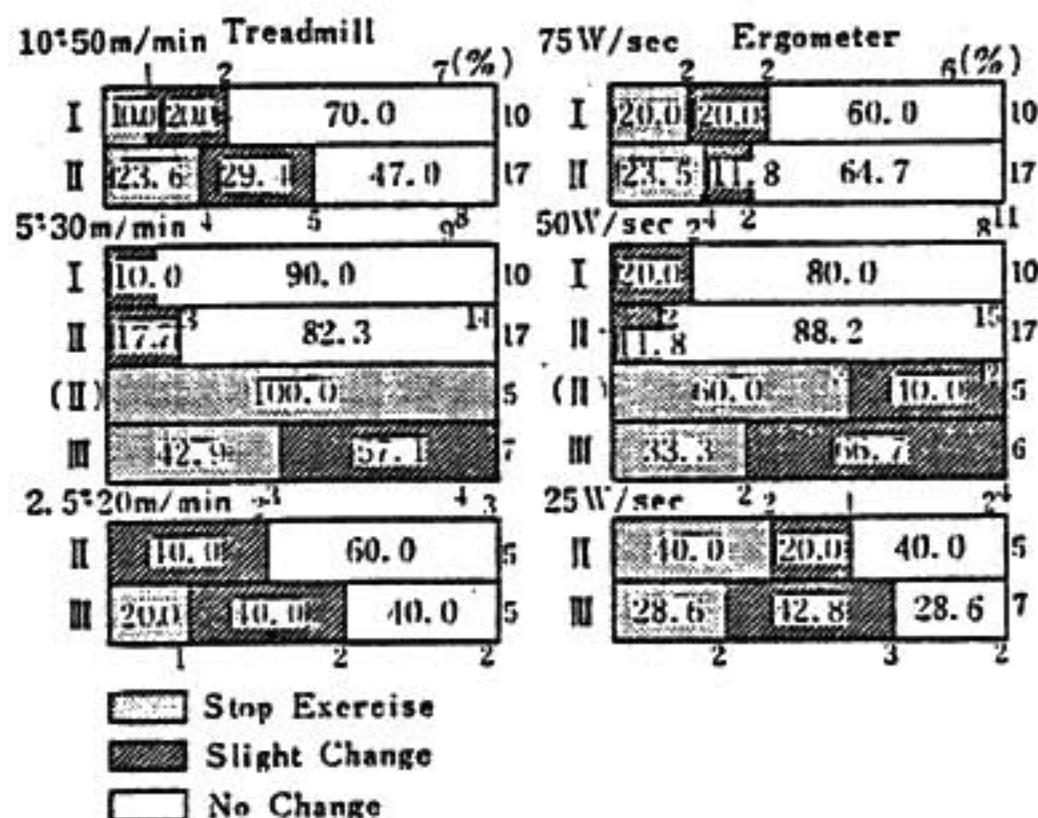


図 4 ECG changes during and after exercise (NYHA)

特に下肢倦怠感が多い。

心電図（図 4）を変化なし、軽度変化、高度変化と分類して両負荷を比較して見ても ergometer と treadmill の間に出現率に差はない。

以上のように負荷量がほぼ等しい treadmill 5°・30 m 負荷と ergometer 50 W 負荷とを比べてみても、心拍数、自覚症状、心電図変化等に対する反応は多少異なる症例もあるが、両負荷ともに心機能判定上あまり差がなかった。しかし ergometer 負荷は高年女子など負荷不能例もあり、全例に負荷をかけるには treadmill の方がより自然で、適当であるように思われた。

文 献

- 1) 藤田良範: 心疾患患者の心機能判定に関する研究 (第2報) —Treadmill による Multiple Load Test について, Jap. Circ. J. 37: 838, 1973.
- 2) Hellerstein, H. K. & Ford, A. B.: Rehabilitation of the cardiac patients. JAMA. 163: 225, 1957.
- 3) Rusk, H. A. & Gertler, M. M.: Rehabilitation in congestive heart failure. Circulation 21: 444, 1960.
- 4) Bruce, R. A.: Evaluation of functional capacity and exercise tolerance of cardiac patients. Mod. Concepts Cardiovasc. Dis. 25: 321, 1956.
- 5) 宇城信吾: Multiple Load Tests による心疾患患者の心機能判定—Biosycle ergometer と Treadmill の比較—リハビリテーション医学 11: 109, 1974.
- 6) Robinson, S.: Experimental studies of physical fitness in relation to age. Arbeitsphysiologie 10: 251, 1938.

質 疑 討 論

福田 (阪医大) Multistage changeable exercise test という表示をされたが、適切でないと思う。むしろ single level load ではないか。男性と女性でどちらに陽性率が高いか。

藤田 (昭大) 女性では回転数が上がらないなど、定量的に負荷し難い。女性例は少なく、両者の比較はしていない。

宇佐美 (住友病院) 生活指導をする場合、RMR を出して日常生活の指導を行うか。

藤田 RMR は後で計算するので、その場では心電図、自覚症状により、これ以上運動をしてはいけないという程度とする。

新谷 (昭大) 実地上すぐには指示出来ないが、考え方としては RMR から実際の日常生活を指導するという考えです。

木村 (日医大) Treadmill の3つの階段はどのようにしてきめたのか。

藤田 最初に種々の速度・角度で行ってみて、年寄や足の弱い人では負荷が強いついてゆけないなどで、結局あのようなになった。

木村 例えば同じ患者に何回か行うとか、似たような人をたくさんやってみて……。

藤田 そうです。

木村 Ergometer とよく一致してますね。

藤田 5°・30 m と 50 W は近い値がでると予想し、

大体うまくいった。強い方の負荷も同程度と予想していたが、実際には treadmill の方が強くなり過ぎた。

木村 不思議に思うのは、Master が表をどうやって作ったか、書いてない (笑)。

竹内 (東大) 2つの負荷法で心拍数が同じ場合の酸素消費量はどうか。

藤田 それはみていない。

竹内 方法を比較する場合に、それをみるのは重要なことである。

新谷 木村先生の質問について、小林太刀夫先生のところで 5°・30 m の負荷を採用し発表されていたので、まず 5°・30 m を始めたと思う。その後3段階に変え、また ergometer と比較する場合一番近そうなのはどのくらいかなど相談して決めたと思う。

福田 私のところでは 5°・6 km/時 12分の single level を行い、30~40才の健常者で最大心拍数の85%ぐらいになる。藤田さんの data では68.8%ぐらいで、submaximal より少ないように思う。NYHA 分類での患者の平均年齢は50才ぐらいで、正常は28才ぐらいである。Submaximal test の level をきめる場合、Robinson の心拍数できめるが、年齢により最大酸素摂取量は違う。そういう別の面から考察してみても、Pulse rate regulated exercise としての考えなら、それでいいと思うが、心筋の酸素の取り方から考えると意味が少し違うように思う。私もやってみてうまくいかない。心拍数で85%の submax. の値が得られながら、実際の酸素摂取量は10~15%少な目に出る。外国の例を見ても大体10~15%低い。20~30才代では決して低くない。つまり若い人の基準値と中年層のと比較するのはむずかしいのではないか。女性の最大酸素摂取量は約20%ぐらい少ないと思う。5°という角度は、不安感もなく、不安心電図を除去するにはいい方法だと思う。

新谷 福田先生より、負荷法の名称が適切でないというお話があったが、名前は忘れたが、外国のある著者が、どんどん連続的に負荷を増すのと、間歇的に増減させる2種類を合わせて multiple load test と書いてあった。

福田 1971年の WHO の "Fundamentals of exercise testing" の中で、そういうのは single level load の中に入れてあった。

谷口（東京医歯大）宇佐美先生の連続的に増加するのと、新谷先生の間歇的に負荷量を変えるのと、両方

法ともに multistage と解釈している。

モナルク形エルゴメーターによる多段階負荷法について

宇佐美 暢 久*・栗原 正*
成田 充 啓*・瓦谷 仁 志*

I. はし が き

普遍性、再現性のある定量的な運動負荷テストとして、階段試験、バイシクルエルゴメーター、あるいはトレッドミルを用いた試験が循環器病の分野でも行われるようになった。マスターステップで代表される階段試験は、もっとも簡単かつ安価な装置で行うが、物理的仕事量の表示が不可能であること、各個体における運動効率の差があること、運動中の各種測定の違いであることなどの欠点がある。ステップテストを除いて、もっとも低価格である装置は各種の機械的な制動方法を用いたバイシクルエルゴメーターである。1883年 Speck¹⁾ が労働生理学の分野で用いて以来、いくつかの、このタイプのエルゴメーターが作られているが、Dr. Döbeln²⁾ の考案による Monark 社のエルゴメーターが、現在このタイプの原形として広く用いられている。われわれはこのエルゴメーターを用いる運動負荷テストの基礎と臨床応用につき、若干の検討を行ったので報告する。

II. Monark 社製エルゴメーターの構造および校正

エルゴメーターはリム周囲のベルトにより機械的に制動がかけられ、この制動量は目盛に $kp = \text{Kilo pond}$ で表示される。Pond は力の単位で、1 pond は981ダインである。このエルゴメーターのペダルを1回転させると、リム上の1点は6m移動する。もし1分間50回転でペダルをふむと、1分間に300m移動するこ

とになり、制動量を1kpとすると仕事量は300kpm、仕事率は300kpm/分=50kpm/秒となる。1mkp/秒の仕事率は9.81ワットであるからこれは49.05ワットとなるが、チェーンによる伝達の損失が9%とされているのでペダルのクランク軸における仕事は53.46ワットとなる。表1Aは、このエルゴメーターを輸入している旭光物産KKの依頼により東京都工業技術センター小川が行った校正試験の成績である。この校正試験はペダルのクランク軸の1端をモーターでドライブし、他端に接続したストレインゲージにより行ったものであるが、低負荷では前述の計算値とよく一致する。高負荷ではクランク軸入力力が計算より大きい値を示している。これは高負荷時に伝達の損失がさらに大きい

表1A モナルク社製エルゴメーター校正試験の成績
(小川繁以知による)

設定値 (Kp)	クランク軸回転速度 (rpm)	クランク軸入力 (W)
1	40	42
	50	53
	60	64
	70	74
2	40	84
	50	105
	60	126
	70	147
3	40	132
	50	164
	60	197
	70	230
4	40	183
	50	229
	60	275
	70	321

ためであると思われる。当然のことながら、ペダルの回転数が変わると仕事量は変化するので、これを正確に保つ必要がある。kp 表示目盛板の校正は、制動ベルトの附着部に標準錘を下げたて行うよう指示されている。

Ⅲ. 本エルゴメーターによる多段階負荷法の1例

Physical working capacity を知るには、数段階の負荷レベルの試験を行うことが望ましい。理想的には各負荷レベルは、ほぼ steady state の得られる持続時間を持ち、かつ、十分な休息時間で隔たれることが好ましいが、簡素化のため、許される程度の短い時間の負荷レベルを連続的に行う方法が行われている。次に本エルゴメーターによる連続的な多段階負荷法の1例について述べる。被検者の状態に応じて制動量は0.5 kp, 1.0 kp, または 1.5 kp, ペダル回転数を50/分、すなわち負荷度150, 300, または 450 kpm/分を開始レベルとし、3分毎に150 kpm/分ずつ漸増した。負荷の終了は年齢別最大心拍数の85%といわれる target heart rate に達したとき、あるいはWHOのレポート²⁾などに記されている中止の基準の出現した時である。縮期血圧は250, 弛期血圧は130をこえる時、また負荷量を増すにつれて縮期血圧の低下する時や脈圧の小となる時にも中断した。ペダルの回転数はメトロノームにより50回転/分を守らせたが、これを保ちえない時は他覚的な疲労の徴候として中止した。表1Bはこのような基準で終了した時の各中断基準項目の出現頻度である。尋常16例では、ほとんどが心拍数のリミットで中止、1部がペダル回転数を保ちえずに中止している。虚血性心疾患および高血圧性心疾患を主とした心疾患28例では約半数が心拍数のリミットで中断

表1B 各々の負荷中断基準の出現頻度

	Normal n = 16	Cardiac Pat. n = 28
Target heart rate	14 (87.5%)	13 (46.4%)
ST-depr. ≥ 0.2 mV	0	6 (21.4%)
Pedall. < 50 rpm	2 (12.5%)	3 (10.7%)
Arrythmia	0	1 (3.6%)
Chest pain	0	4 (14.3%)
Dyspnea	0	2 (7.2%)
Syst. BP ≥ 250	0	2 (7.2%)

表2A 各負荷度における血圧と心拍数の平均と標準偏差 (20~50才の男性)

	Heart Rate	Systol B. P.	Diast B. P.
Resting n : 16	77 \pm 12	123 \pm 9	78 \pm 8
300 kpm/m n : 10	112 \pm 14	155 \pm 12	80 \pm 7
450 kpm/m n : 16	127 \pm 16	173 \pm 17	83 \pm 10
600 kpm/m n : 12	143 \pm 20	193 \pm 21	85 \pm 15
750 kpm/m n : 7	151 \pm 11	193 \pm 19	78 \pm 9

している。

表2Aは20~50才の尋常男子16例における各負荷レベルの心拍数、縮期血圧、および弛期血圧の平均と標準偏差を示す。なお後に述べるMETと心拍増加度の関係をみると1METあたり10.6拍/分となり、これはFoxらりの1METあたり8~10/分という記載にほぼ一致する。

Ⅳ. Master's Step Test との比較

現在臨床の実際で、もっとも繁用されているMasterステップテストと、本多段階負荷法との比較を述べる。

Ⅳ-1 酸素摂取量

両運動負荷テスト時の酸素摂取量を比較した。Max Plank呼吸計により呼気量を測定するとともに呼気ガスサンプルを採取し、直ちにTeledyne社製オキシメーター (Model 330 B) によって呼気酸素濃度を求めた。坐位安静時に3分間、運動中ではマスターダブル負荷最終1分間、エルゴメーター負荷の各レベルの最終1分間に呼気ガスサンプルを採取した。表2Bにマ

表2B マスターステップとバイシクルエルゴメーターの運動強度の比較

	マスターステップ	450 kpm/分	600 kpm/分
酸素摂取量 ml/kg	18.0 \pm 2.6	16.8 \pm 3.1	20.7 \pm 2.5
MET	6.3 \pm 1.0	5.7 \pm 0.8	7.2 \pm 0.9

スターステップ 450 kpm/分および 600 kpm/分の体重1kgあたりの酸素摂取量とMETを示す。マスターステップでは18.0 \pm 2.6, 450 kpm/分では16.8 \pm 3.1, 600 kpm/分では20.7 \pm 2.5であった。これを安静時の酸素摂取量でわり、MET (Metabolic Rate)

として表現すると, マスターステップでは 6.3 ± 1.0 MET, 450 kpm/分では 5.7 ± 0.8 , 600 kpm/分では 7.2 ± 0.9 MET であって, マスターステップの運動強度は, エルゴメーター負荷の 450 kpm/分と 600 kpm/分の中間に位するようである。

IV-2 Ecg ST 変化の出現率

尋常15例, 虚血性心疾患28例について Ecg ST 低下の出現頻度を両負荷法で比較した。マスターダブルの場合には運動後の Ecg 12誘導により, 虚血性 ST 低下 0.5 mm 以上を (++) とし, 戸山ら⁴⁾の言う near ischemic (15%以内の勾配を示す低下) で 0.5 mm 以上の低下, および, STj 2 mm 以上低下し QX/QT 50%以上を (+) とした。エルゴメーターの場合では負荷中の C_s, C_{sr} 誘導と運動後の 12誘導 Ecg より測定し, 虚血性 ST 低下 1.0 mm 以上を (++) とした場合 (Criteria A) と 1.5 mm 以上低下を (++) とした結果 (Criteria B) に分けて検討した。なお, 虚血性 ST 低下 0.5 mm 以上で上記の (++) の判定に入らないもの, および near ischemic 0.5 mm 以上低下, ならびに STj 2 mm 低下 QX/QT 50%以上を (+) とした。表 3 A に示す尋常15例において, マスター

表 3A Ecg ST 変化の出現率 (尋常15例)

Double Master Two Step	Bicycle		
	(-)	(+) ST ↓ isch. } ≥ 0.5 near isch. } STj ↓ 2 mm QX/QT ≥ 50%	(++) ST ↓ isch. } ≥ 1.0 mm
(-)	12 (80.0)	2 (13.3)	0
(+) ST ↓ near isch. } ≥ 0.5 mm STj ↓ ≥ 2 mm QX/QT ≥ 50%	0	1 (6.7)	0
(++) ST ↓ isch. } ≥ 0.5 mm	0	0	0

(+), エルゴメーター (+) が 8.7%, マスター (-) でエルゴメーター (+) が 13.3% にみられた。すなわち尋常者においてエルゴメーターによる (+) の者が 20% あったが, (++) の者はなかった。表 3 B に示す虚血性心疾患28例では, エルゴメーター (-) でマスター (+) 以上のものは 1 例もなかった。マスター (-) でエルゴメーター (+) ~ (++) は 32.1% であった。マスター (+) のうち 1 例が Criteria (A) で (++)

表 3B Ecg ST 変化の出現率 (虚血性心疾患28例)

A			
Doub. Master	Bicycle		# ST ↓ isch. } ≥ 1 mm
	-	+	
-	8 (28.6)	3 (10.7)	6 (21.4)
+	0	2 (7.1)	1 (3.6)
++	0	2 (7.1)	6 (21.4)
B			
Doub. Master	Bicycle		# ST ↓ isch. } ≥ 1.5 mm
	-	+	
-	8 (28.6)	6 (21.4)	3 (10.7)
+	0	3 (10.7)	0
++	0	5 (17.8)	3 (10.7)

であったが, Criteria (B) では 3 例ともに (+) であった。逆にマスター (++) の 8 例中, Criteria (A) で 2 例が (+), Criteria (B) で 5 例が (+) であった。

V. 考案およびまとめ

心臓病の臨床において虚血性心疾患のしめる比率が大きくなり, その診断, 治療に運動負荷試験が大きい役割をはたしつつある。運動負荷量は定量的であり正確であることが望ましいが, トレッドミルや電気的な制動を用いるエルゴメーターは高価格である。制動量の微調整が困難であり, 回転数の変化により仕事量が変わるという欠点があるが, ここにあげた Monark 形エルゴメーターは價格的に妥協しうる。小川の成績によると, このエルゴメーターは高負荷度よりも, 病態における検査のような低負荷度で精度が良いことは, 臨床医学的に有利である。22 ± 4% とされているペダル運動の機械効率を考えれば, ペダル回転数を正確にしておけば他は誤差範囲として許容されうると思われる。

文 献

- 1) Fox, S. M., III and Naughton, J. P.: Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Prev. Med.* 1: 92, 1972.
- 2) Lang-Andersen, K., et al.: Fundamentals of

Exercise Testing, Geneva, WHO, 1971.

- 3) Speck, M.: Dtsch. Arch. Klin. Med. 45: 461, 1889.
 4) 戸山靖一, ほか: 心電図負荷試験. 日本臨床 28: 2577, 1970.
 5) Von Döbeln, W.: J. Appl. Physiol. 7: 22, 1954.

質疑討論

村山 (東大) われわれもモナーク形を用いている。実用的に診断的に 300 kpm/分でスタートし, 3分後 600 kpm/分。女性では 450 kpm/分とし, さらに3分間負荷している。心拍数を目安として, マスターシングルは 300 kpm/分に相当するが, ダブルは 600 kpm/分よりやや少なく, 450 kpm/分と 600 kpm/分の間位と考えている。

関 (阪医大) われわれもバイシクルエルゴメーターを用いているが, バイシクルでは足の筋運動が強く要求され, テッドミルのように全身運動を要求されるものの方が, 肉体的な capacity を分けるのに良いのではないか?

宇佐美 (住友病院) 運動生理の分野でテッドミルが, もっとも大きい最大酸素摂取量を出すことが知られている。バイシクルでは大腿四頭筋に強く負荷がかかって足の疲労を訴えることが多い。また, dynamic +static な運動の性格を持っていると思う。

新谷 (昭大) ペダル回転数を 50/分に保ちえないことを中止基準としているが, 病人では何%がこれで中

断しているか?

宇佐美 約10%位である。

新谷 われわれはゴダルト社製のものを用いているが, 女性とくに老人では回転数の上がらない人が多い。

宇佐美 マスターステップでは ST 低下陽性の基準として 0.5 mm の虚血性低下が広く用いられているが, target heart rate までの多段階テストでは 1 mm 低下を陽性としている研究者が多い。負荷量の多い時は ST 低下も大きいものをとるべきであろうか?

新谷 負荷中の Ecg では 0.5 mm では不確実で 1.0 mm 位でないと判定し難い。Post exercise については困難な問題である。

前島 (東京女医大) 胸部双極誘導 Ecg でも ST 低下を Wilson 単極誘導と同様に判定しているか?

宇佐美 一応同様に判定している。

竹内 (東大) 双極誘導と単極誘導とでは当然差があると思う。

村山 われわれは XYZ フランク誘導を用いている。これは ST-T 変化の方向性を見るのに利点がある。5~10%ぐらいでは Z 軸だけに変化が出る。

岡本 (愛知県総合保健センター) われわれもフランク 3 誘導の変法を用いてマスターテストをテレメーターでみている。1 番変化のよく出る誘導は Y 誘導である。Y 方向の成分の入る CM₅ の誘導が ST 変化を敏感に示すように思う。

Treadmill exercise test の酸素消費量

外畑 巖*・志野 友義**・石川 征雄**

Treadmill は日常労作の中心ともいうべき歩行運動を定量的に漸増負荷することができ, しかも運動中の心電図記録, 血圧測定等が比較的容易なため, 本邦でもこれを用いて運動負荷する施設が漸次増加している。

この報告の要点は, 1) 現在われわれが日常診療に

用いている Bruce らの multistage treadmill exercise test の変法についての記述, 2) treadmill 歩行時の酸素消費推定式の誘導, 3) Master double two-step test と等価運動強度の treadmill 負荷法の探索である。

方法および対象

対象は日本人健康成人男子11名 (23~41才, 平均28才) である。検査前飲食は2時間以上, 喫煙は1時間以上禁止した。運動負荷直前に3分間座位, 続いて3分間立位をとらせ, 運動終了後も6分間座位をとらせた。Treadmill 歩行前, 中, 後を通じ, 30秒から1分間隔に心電図 (主としてCM₅誘導), 血圧を記録した。血圧は sphygmomanometer を用い, cuff を上腕に巻き, コロトコフ音を聴診測定した。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。

〔I〕 Bruce らの multistage treadmill exercise test の変法

日本人健康成人男子10名を対象として米国でもっとも広く用いられている Bruce らの multistage treadmill exercise test の日本人への適応性を検討した。Bruce らの方式は図1上段に示すように3分毎に treadmill 速度および傾斜を漸増する負荷法である。Treadmill 歩行は心拍数が Robinson の最大予測心拍数の90%以上になるまで継続し, それ以後は被検者の自覚症状により運動終了時点を決した。

図1上段は Bruce 原法での酸素消費量の経時的変化を示す。本研究で得られた成績 (対象10例の平均値) は Bruce らが米国人で得た値と比べ stage I~III ではやや低値となっているが, stage IV に入ると急激に増加している。本研究の対象の多くは stage IV に入ると下肢筋の高度の疲労のため直ちに all out になった。図1にみられるような stage IV における日本人と欧米人の酸素消費量の差は恐らく下肢長の差, 単位時間あたりの歩数の差によるものと考えられる。したがって stage III より IV にかけての急激な酸素消費量増加に伴う危険を防止するため, stage III と IV との間にそれらの中間の運動強度の stage III' (速度 3.8 mph, 傾斜 14%, 3分間) を有する変法を考案した。Bruce 原法と同じ被検者に1週から数カ月後 Bruce 変法を負荷して得られた成績を図1下段に示す。変法の酸素消費量は原法でみられたような急激な増加を示さず, 運動時間とともにほぼ直線的に増加した。心拍数の時間経過も酸素消費量とほぼ同じであった。

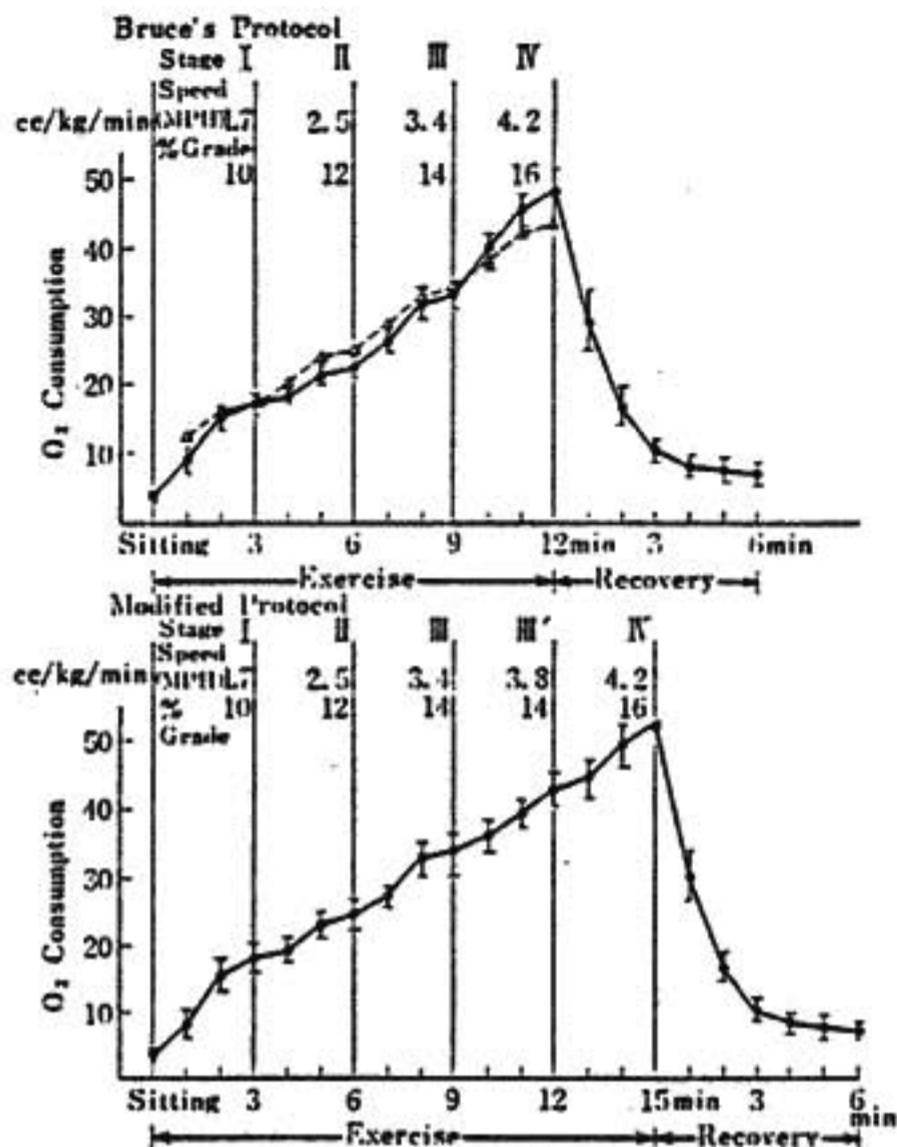


図1 Bruce らの multistage treadmill exercise test およびその修正法の酸素消費量

図上段および下段はそれぞれ Bruce 原法およびその変法での成績を示す。運動負荷前, 中, 後にわたり1分間毎の酸素消費量の平均値および標準偏差を図中に示した。黒丸は我々が日本人正常成人男子で得た成績, 三角は Bruce らが米国人で得た成績を示す。

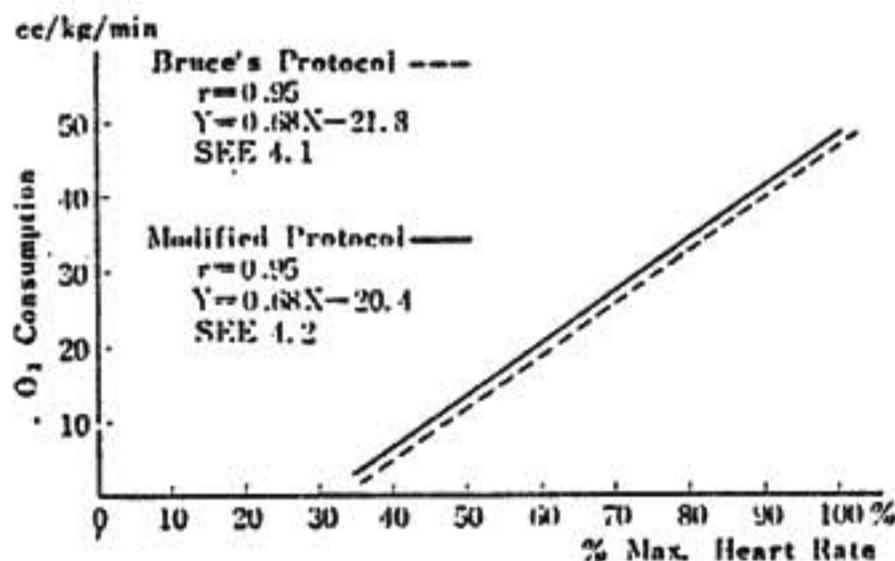


図2 心拍数と酸素消費量との相関

心拍数は Robinson の最大予測心拍数の百分率で表現した。

図2は心拍数と酸素消費量との相関を示す。原法 (破線), 変法 (実線) とともに両者間には高度に有意な正相関関係 ($r=0.95$) が存在し, 健康人では心拍数より酸素消費量を推定しうると考えられた。

図3上段は1例における原法 (X軸) と変法 (Y軸) の stage III までの酸素消費量の相関を示す。対象10

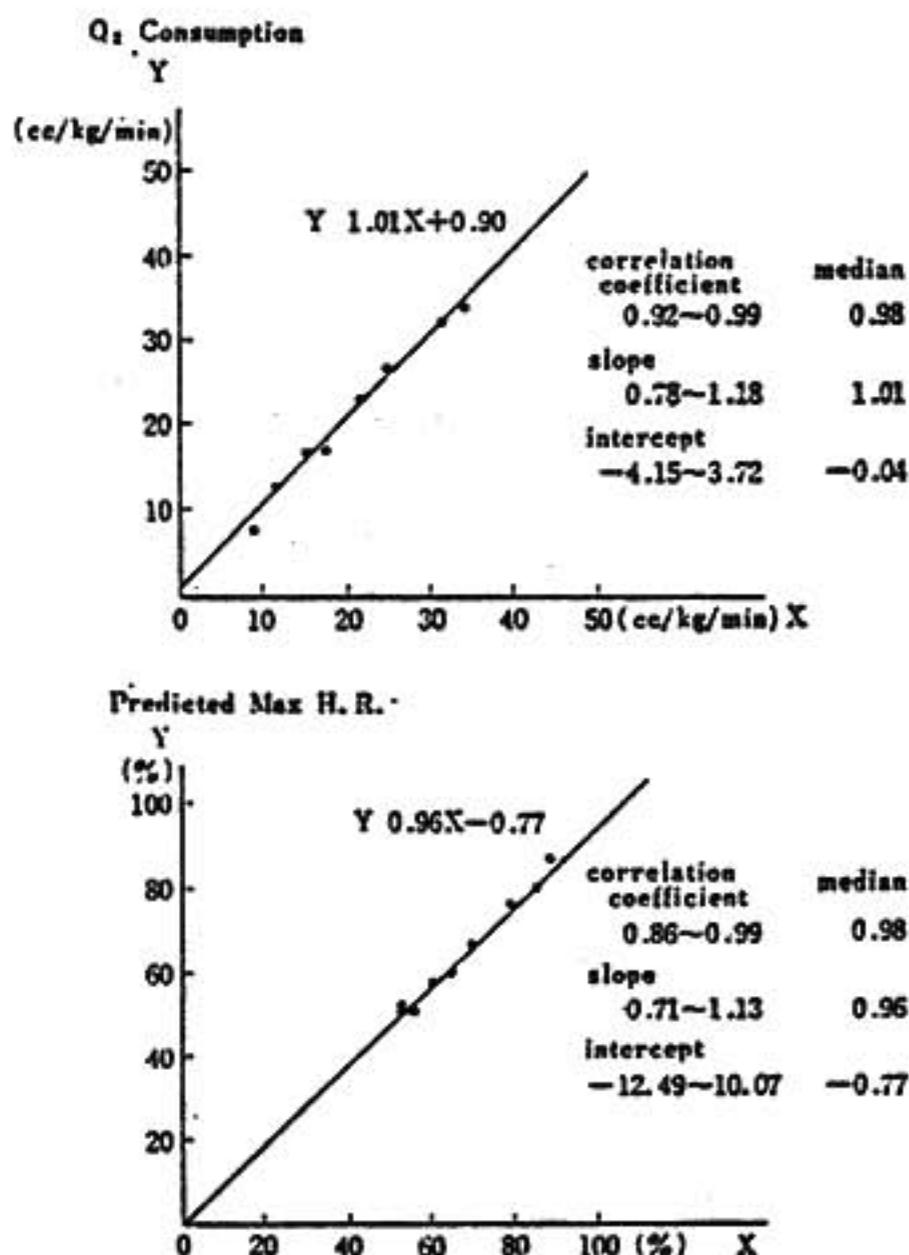


図3 Multistage treadmill exercise test の再現性

図上段および下段はそれぞれ1被検者の酸素消費量および心拍数の再現性を示す。図上下とも横軸には Bruce 原法負荷時の成績を、縦軸に後日負荷した変法の成績を plot した。図右の値は被検者10名の成績を示す。

例での相関係数は0.92から0.99に分布し、その中央値は0.98であった。得られた回帰直線の傾斜の中央値はほぼ1.0、Y切片の中央値はほぼ0であった。心拍数についてもほぼ同様の成績が得られた(図3下段)。酸素消費量、心拍数その他の循環呼吸系諸量は被検者の体調、気温、湿度等により左右されるが、上述の成績は注意深く施行した treadmill 歩行負荷試験の再現性が良好なことを示す。

〔II〕 Treadmill 歩行の酸素消費量推定式

Van der Walt らは平地歩行におけるエネルギー消費は体重 (m) と速度 (v) に相関し、下肢長や歩幅によりあまり影響されないと述べ、酸素消費量推定式として

$$\dot{V}O_2(\text{cc/min}) = a_0 + a_1 m + a_2 m v^2 \dots\dots\dots 1)$$

を提案し、高度に有意な重相関係数を得た。

Treadmill 傾斜歩行では式1に位置のエネルギーに

関する項を加える必要がある。理論的にはベルト速度 v, 傾斜G%の treadmill 歩行を Δt 時間負荷すれば、位置エネルギー増加分 ΔU は体重を m, 重力加速度を g とすると

$$\Delta U = m \cdot v \cdot g \cdot G \sqrt{1/(G^2 + 100^2)} \cdot \Delta t$$

で表わされる。したがって treadmill 傾斜歩行時の酸素消費量推定式は

$$\dot{V}O_2(\text{cc/min}) = b_0 + b_1 m + b_2 m v^2 + b_3 m v G \sqrt{1/(G^2 + 100^2)} \dots\dots\dots 2)$$

となる。式2の両辺をmで除すれば単位体重あたりの酸素消費量推定式

$$\dot{V}O_2(\text{cc/kg/min}) = b_0/m + b_1 + b_2 v^2 + b_3 v G \sqrt{1/(G^2 + 100^2)} \dots\dots\dots 3)$$

が得られる。対象の体重変動域が狭ければ b₀/m は近似的に定数とみなすことができる。さらに傾斜Gの範囲も通常10~16%狭く、しかも G² < 100² であるため √1/(G² + 100²) もほぼ定数とみなすことができる。

故に式3は簡略化され

$$\dot{V}O_2(\text{cc/kg/min}) = c_0 + c_1 v^2 + c_2 v G \dots\dots\dots 4)$$

が得られる。

正常男子10名(体重~kg)に Bruce 法変法を負荷して得られた酸素消費量成績を式2および式4に適用し、重回帰分析により treadmill 傾斜歩行時の酸素消費量推定式を求めた。式2では回帰式

$$\dot{V}O_2(\text{cc/min}) = 334.85 + 0.81 m + 0.36 m v^2 + 55.29 m v G \sqrt{1/(G^2 + 100^2)} \dots\dots\dots 2')$$

が得られた。重相関係数 (R) は0.979, 標準誤差は 211.1 cc/min で、高度に有意な回帰性が存在した (F_{1,4}² = 410.2, P < 0.001)。簡略式4では回帰式

$$\dot{V}O_2(\text{cc/min/kg}) = 5.90 + 0.37 v^2 + 0.55 v G \dots\dots\dots 4')$$

が得られた。重相関係数 (R) は0.977, 標準誤差は 3.2, 回帰性検定は高度な有意性を示した。式4'は簡略化にもかかわらず原式2'と同等の推定能を有すると結論しうる。

〔III〕 Master double two-step test と 等価運動強度の treadmill 傾斜歩行

Single-stage 負荷法の代表ともいふべき Master two-step test は、i) 複雑、高価な装置を必要とせず、どこでも手軽に実施しうる、ii) 大量の臨床病理相関資料、長期間の追跡調査資料の蓄積がある、等

の利点を有し、現在なお日常臨床でもっとも繁用されている運動負荷試験である。したがって Master double two-step test (以下 Master test) と等価運動強度の treadmill 負荷法を知ることは treadmill 負荷試験の成績評価に際し有用な情報を提供すると考えられる。

正常欧米人を対象とした研究成績では Master test と等価運動強度の treadmill 負荷法は Bruce らによると速度 2.5 mph, 傾斜 12% (彼らの multistage 法の stage II), Blomqvist によると速度 3 mph, 傾斜 10% という。われわれは日本人正常成人男子 11 名 (平均年齢 27 才) に Master test と Bruce の stage II をおのおの 3 分間負荷し、両者の成績を比較検討した。両負荷試験は 30 分間の安静臥床をへだてて実施され、その順序は無作為割付けにしたがった。さらに対象 11 名中 7 名では後日 Blomqvist 法を 3 分間負荷し、3 者の成績を比較した。

図 4 は運動中ならびに回復期における 1 分間の酸素

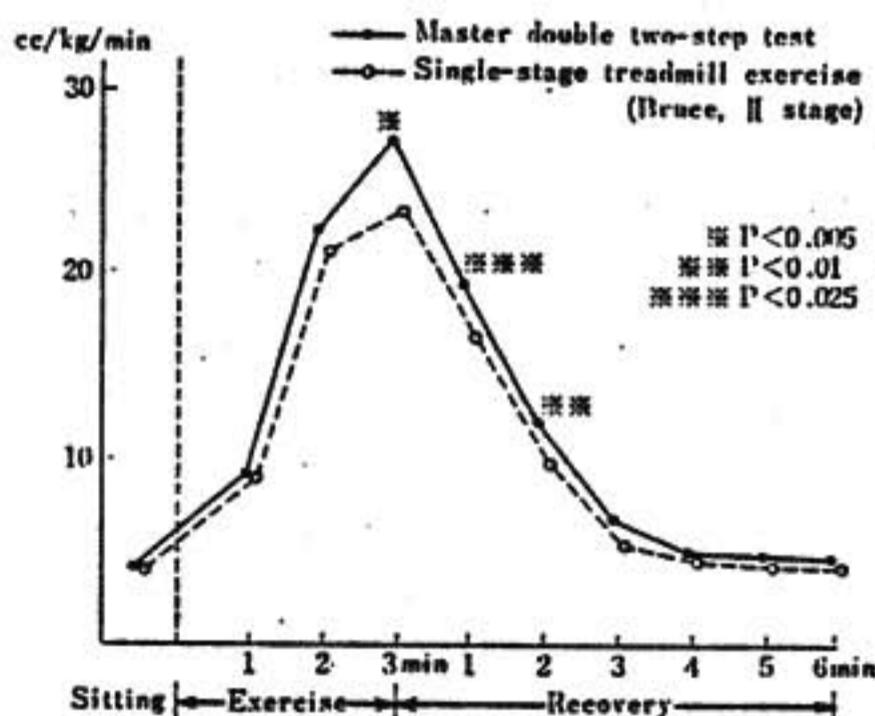


図 4 Master double two-step test と Bruce stage II の酸素消費量

両 single-stage 負荷の 1 分毎の酸素消費量の平均値を plot した。

消費量の平均値を示す。Master test (実線) では運動開始後 2~3 分にかけてなお酸素消費量の比較的急上昇がみられるが、Bruce stage II ではその上昇は緩やかである。運動開始後 3 分および運動終了後 1 分、2 分では Master test は Bruce stage II に比し有意に高い酸素消費量を示した。心拍数反応も酸素消費量とよく似た成績を示した。これらの成績より日本人では Master test は Bruce stage II に比し有意に高い

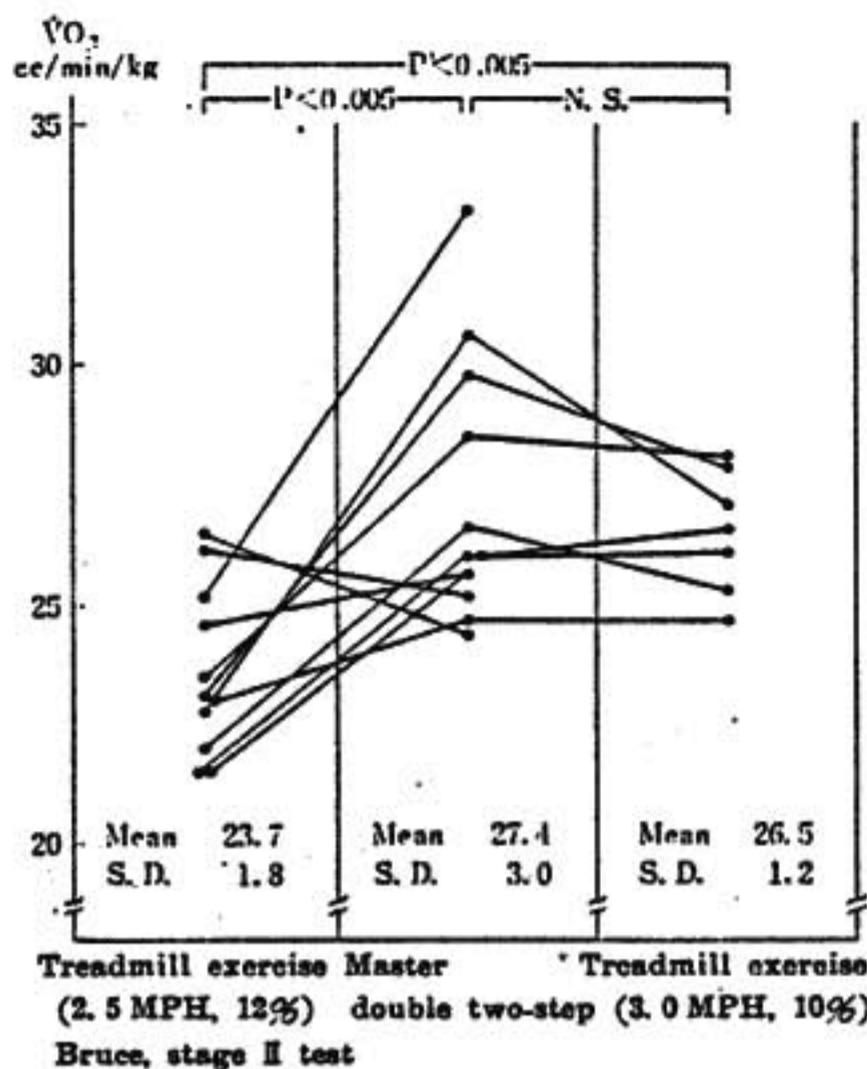


図 5 Master double two-step test, Bruce stage II および Blomqvist 法の酸素消費量

各 single-stage 負荷法 (3 分間) とともに第 3 分目の酸素消費量を plot した。有意差検定には paired t test を用いた。

運動強度を有すると結論される。

図 5 は Master test, Bruce stage II, Blomqvist 法の運動 3 分目の酸素消費量を示す。対象 11 名での Master test と Bruce stage II の平均値および標準偏差はそれぞれ 27.4 ± 3.0 および 23.7 ± 1.8 (cc/kg/min) で、paired t test の結果前者の酸素消費量は後者の値に比し 0.5% 以下の危険率で有意に大であった。7 名の Blomqvist 法の平均値および標準偏差は 26.5 ± 1.2 (cc/kg/min) で、paired t test により Master test との間には有意差を示さなかったが、Bruce stage II との間には有意差 ($p < 0.005$) を示した。欧米人での Master test の酸素消費量は Blackburn によると 23.0 cc/kg/min, Blomqvist によると 20 cc/kg/min で、われわれが日本人で得た 27.4 cc/kg/min に比し低値である。体重の軽い日本人では体重補正のため欧米人に比し単位時間あたりの two-step 昇降回数が多くなること、下肢の短い日本人にとって two-step 台が高すぎることも等が原因であろうか。

図 6 は 3 つの single-stage 負荷法での運動終了直前の心拍数を示す。3 者の心拍数の間には酸素消費量と同様の関係が認められた。

循環器負荷研究会 記録

第1回：昭和50年8月9日 於：経団連会館

〔1〕 挨拶.....日本医大 木村 栄一 (2011)

〔2〕 研究発表

- 1 仰臥位用自転車エルゴメータを用いる.....日本医大 金沢 正邦 (2012)
狭心症運動負荷試験 ほか
- 2 負荷心電図検査法の病態生理学的基盤.....大阪医大 関 一郎 (2015)
について ほか
- 3 運動負荷後の ST, T 変化についての検討久留米大学 戸嶋 裕徳 (2020)
—主として血行動態面から
- 4 Multiple Load Test による心疾患患者の
心機能判定昭和大学 藤田 良範 (2024)
—Treadmill と Bicycle ergometer— ほか
- 5 モナルク形エルゴメーターによる.....住友病院 宇佐美 暢久 (2028)
多段階負荷法について ほか
- 6 Treadmill exercise test の酸素消費量.....名古屋大学 外畑 巖 (2031)
ほか