

図9 血液乳酸値と酸素摂取量および酸素負債量との関係

Margaria, R., et al. : The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Am. J. Physiol.* 106 : 689-715, 1933.

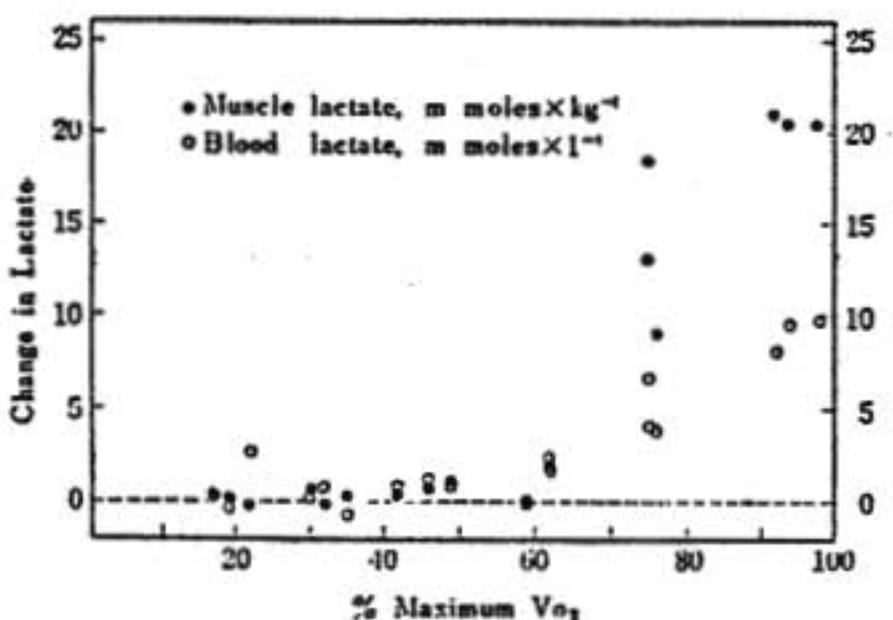


図10 最大酸素摂取量に対する%で表わした運動強度と筋および血液の乳酸濃度との関係

Knuttgen, H. G. and B. Saltin : Muscle metabolites and oxygen uptake in short-term submaximal exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 32 : 690-694, 1972.

酸素摂取量は計れるかという問題が、すぐ起こるわけですが、そこは私どもと違うところで、私どもの対象は若い元気な人間ですから、最大酸素摂取量を maximal のテストで計ることは、むしろ容易です。

図11はまた別の問題で、筋肉の負荷の場合に関するドイツのドルトムントの Hettinger と Müller のデータですけれども、これは最大の筋収縮力を100%として、最大筋力30%以上の負荷がないと、トレーニング効果がないという図です。

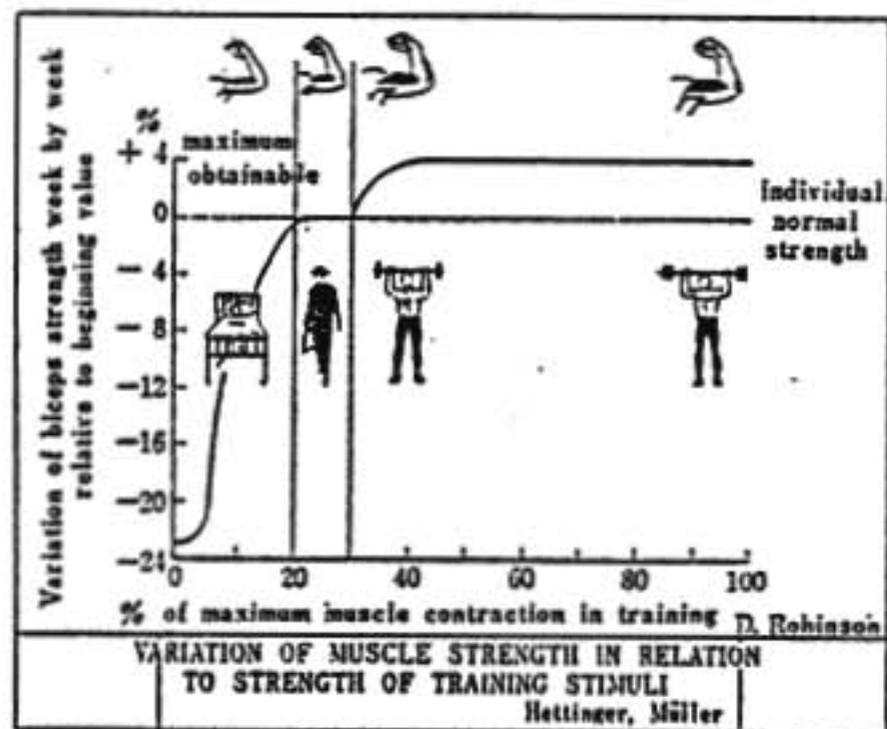


図11 最大筋力に対する割合と筋のトレーニング効果
Hettinger, T. : *Physiology of strength*, 1st ed. 18-74, C. C Thomas : Illinois 1961.

最大筋力の20~30%のトレーニングでは効果がなく、それ以下ですと、かえって筋力が落ちてしまうという図です。これもやはり、自分のもっている最大筋力のパーセントで表わすといういき方は、ちょうど、最大酸素摂取量をパーセントで表わすことと同じようです。負荷を最大筋力のパーセントで表わすというのは非常に容易です。

それに対して、最大酸素摂取量のパーセントで表わすことのほうが、はるかにめんどくさくはありますが、生理学者は、もしそのことが有意義となれば、そういう表わし方をします。

図12も Hettinger のデータですけれども、これは

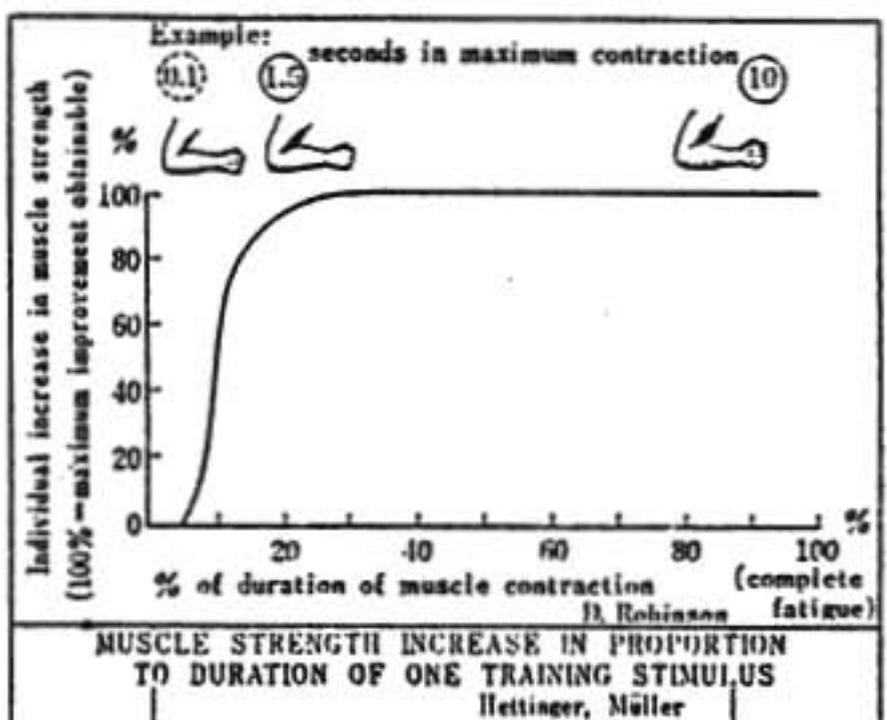


図12 最大筋収縮時間に対する割合と筋のトレーニング効果

出典図11と同じ。

最大力発揮の収縮時間の何%ぐらいからトレーニング効果があるかを示したものです。筋肉の収縮が最大限何秒間続くかということを書いておいて、そのパーセントで調べるという表わし方になっています。

図13はまた別で、Rohmert のものですが、これは最終の値を100として、そこに筋力のトレーニングによって、どういうカーブで到達するかということを表わしています。約5週間で、力の増え方がだんだん減少していくということでもあります。

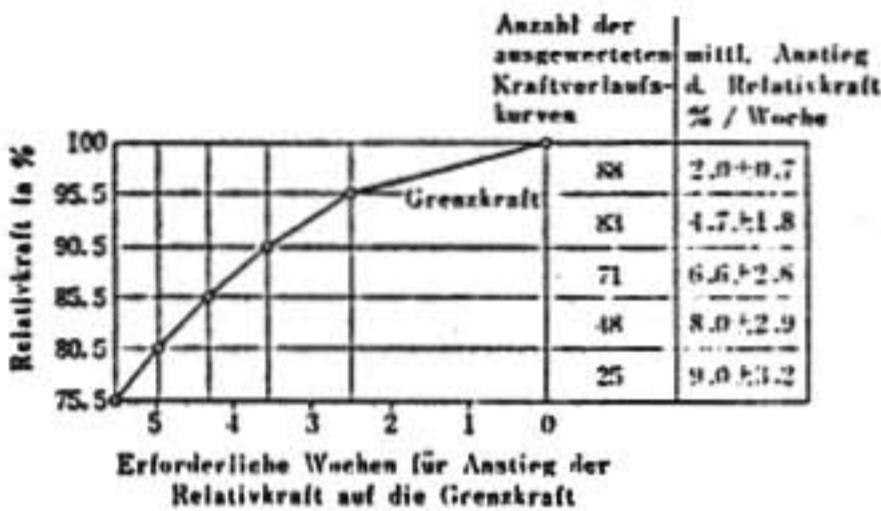


図13 筋力の増加の割合の時間的経過

Rohmert, W. : Isometrisches Muskeltraining im Kindes- und Jugendalter. *Öff. Gesundh. - Wes.* 33 : 226-231, 1971.

指標の相互関係

図14は Klissouras のデータですが、maximal test と submaximal test と、かなり response が違うということです。

上は submax の test で、下は maximal の test です。縦軸は一卵性双生児の片方をトレーニングして、片方をトレーニングしなかった場合の trained と untrained の差であります。そうしますと、training 効果はどういうところに及ぶかということを探ったわけです。上の図と下の図を比較してみると、トレーニング効果を見る場合に、submaximal では、あまりうまくいかないのではないか、やはり maximal のテストのほうがいいのではないかということが生理学的な立場から申し上げます。

図15は $\dot{V}O_2$ と heart rate の関係ですが、当然 heart rate は $\dot{V}O_2$ と比例関係がありまして、従って、 $\dot{V}O_2$ を測れない場合には、heart rate でいろいろ代用しようということは、運動生理学上でも実際に用い

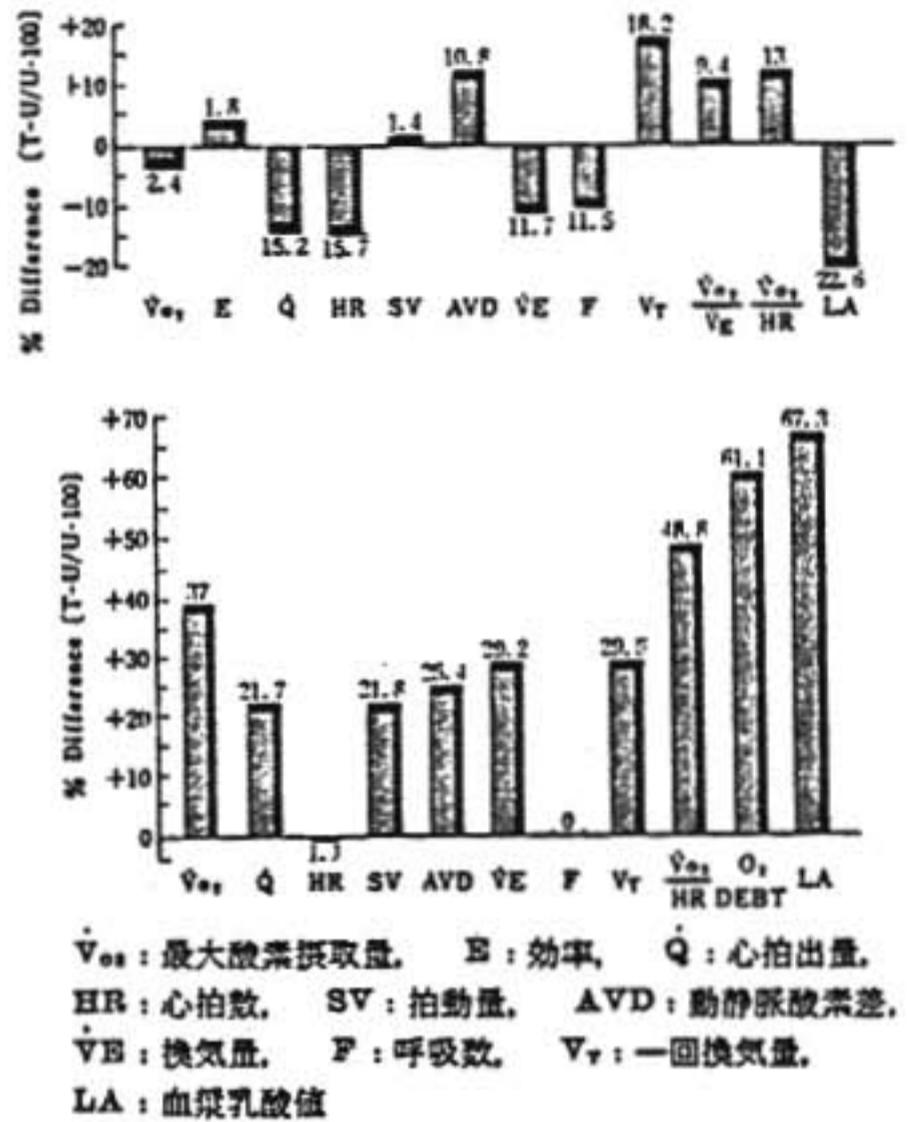


図14 双生児の一方をトレーニングし、他方をトレーニングしなかった場合の submaximal test と maximal test の比較

Klissouras, V. : Genetic limit of functional adaptability. *Int. Z. angew. Physiol.* 30 : 85-94, 1972.

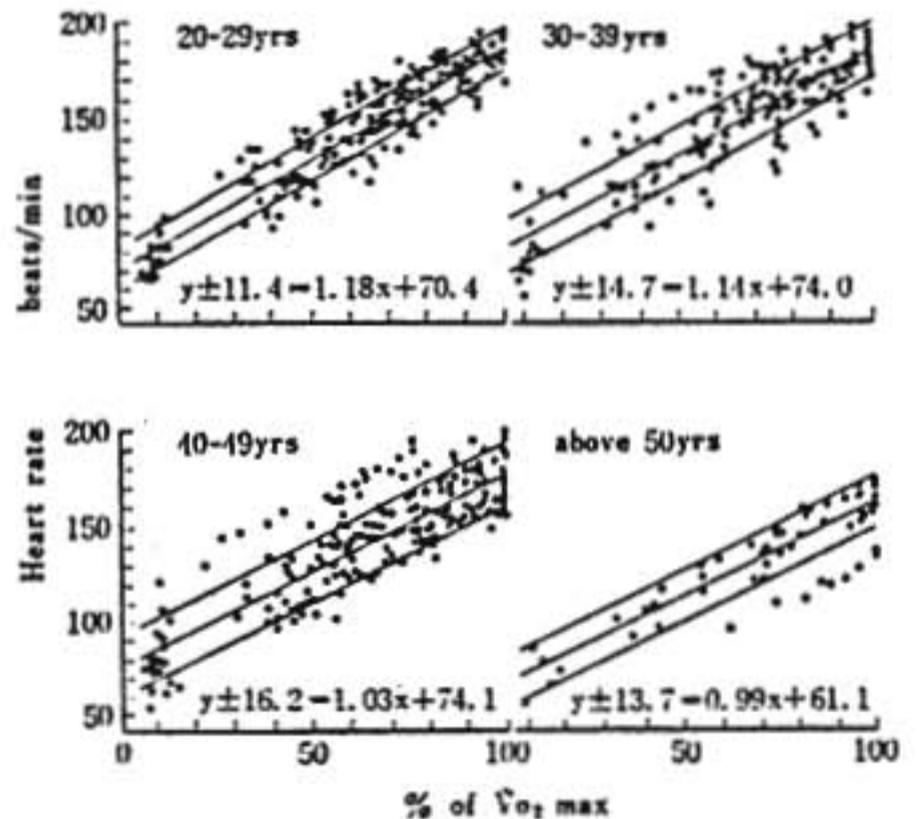


図15 年齢(10歳区分)別の酸素摂取量と心拍数との関係

青木純一郎、石河利寛、栗本関夫：最大および最大下運動に対する中高年者の呼吸器循環応答の特徴。第28回日本体力医学会総会報告書 67-68, 1974.

られております。

たとえばバレーボール中の heart rate をテレメーターで測っておいて、それから $\dot{V}O_2$ を算定しようと

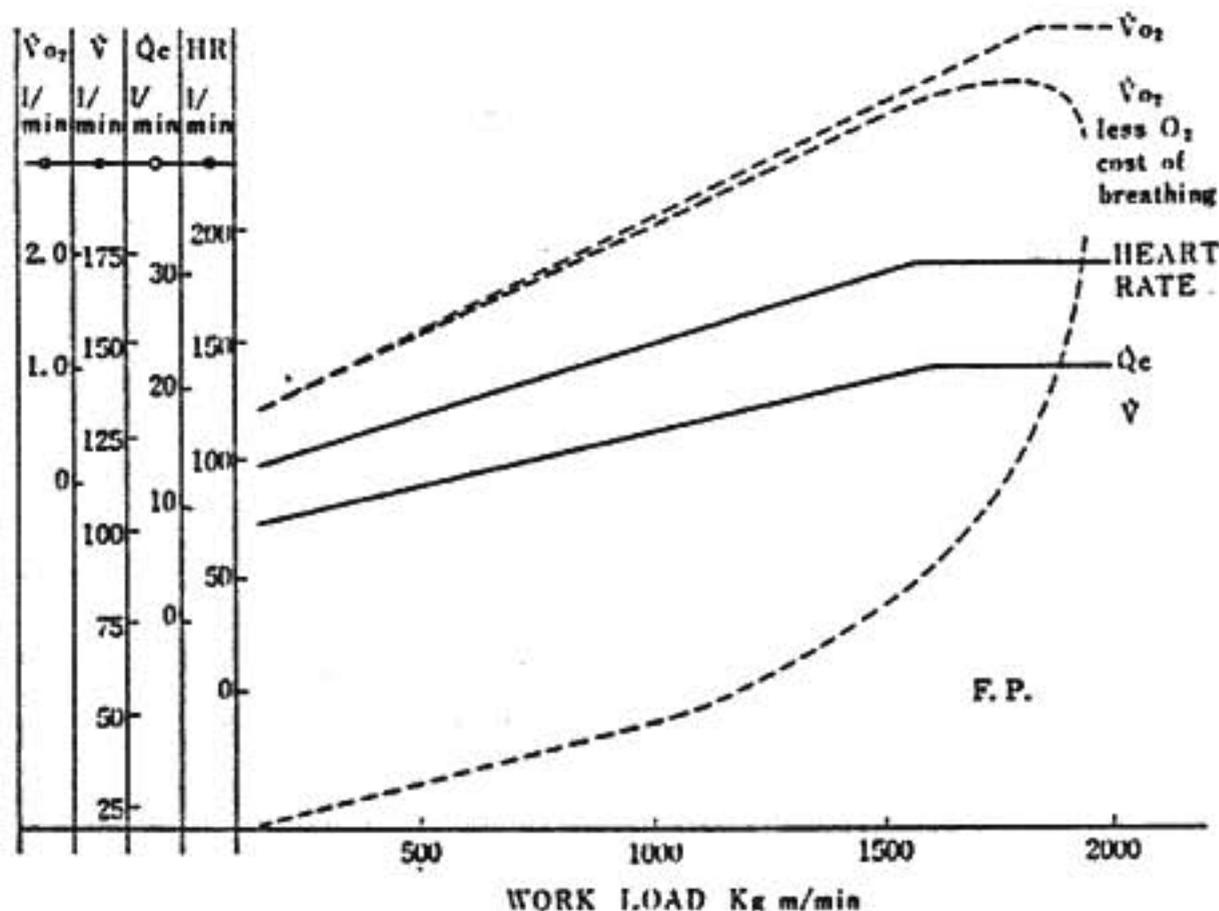


図16 負荷の強さと呼吸循環系の種々のパラメーター

Ouellet, Y., et al. : Circulatory factors limiting maximal aerobic exercise capacity. *J. Appl. Physiol.* 27 : 874-880, 1969.

いうことを、われわれは行っております。

$\dot{V}O_2$ と heart rate の間には確かに直線関係がありますが、皆さんもご承知のとおり、年をとりますと heart rate の maximal 値が下がってまいりますから、このカーブが横に寝てまいります。のみならず、図からわかるようになりに個人差がありまして、全体的には比例関係がありますけれども、1つのまとまった直線にはなりません。従って個人の直線関係はその個人には適用できますけれども、ほかの人に適用できません。それから、平均的直線をつくりまして、それを個人のデータに当てはめることは、かなりむずかしい

感じがするわけです。

図16は work load を Kgm/min で出しました。そうしますと、いまのように、heart rate はほぼ比例して上がりますが最後に飽和します。 $\dot{V}O_2$ も飽和して、いわゆる leveling off をして、逆にいえば、leveling off があるから、 $\dot{V}O_2$ が maximal であるという証明に使っているわけです。 \dot{Q} の leveling off も heart rate と同じあたりだろうということです。

呼吸の換気量は、急に増えるものですから、負荷とあまり直線関係がないから、work load のかわりに指標にとるのは、少し無理だろうということになります。

$\dot{V}O_2$ は負荷と直線的ですが、呼吸の仕事が加わっているものですから、それを差し引きますと、少し下がるかもしれないというデータです。

そういうわけで、負荷と完全に直線関係をなすものは、なかなかないということで、response を対象にとろうとしますと、負荷と必ずしも平行しません。といて、物理的の負荷をとりますと、個人差によって、体力の強い人と弱い人で同じ response を示さないものですから、そのへんが負荷のかけ方のむずかしいところだと思います。

図17は Faulkner の1971年のデータですけれど

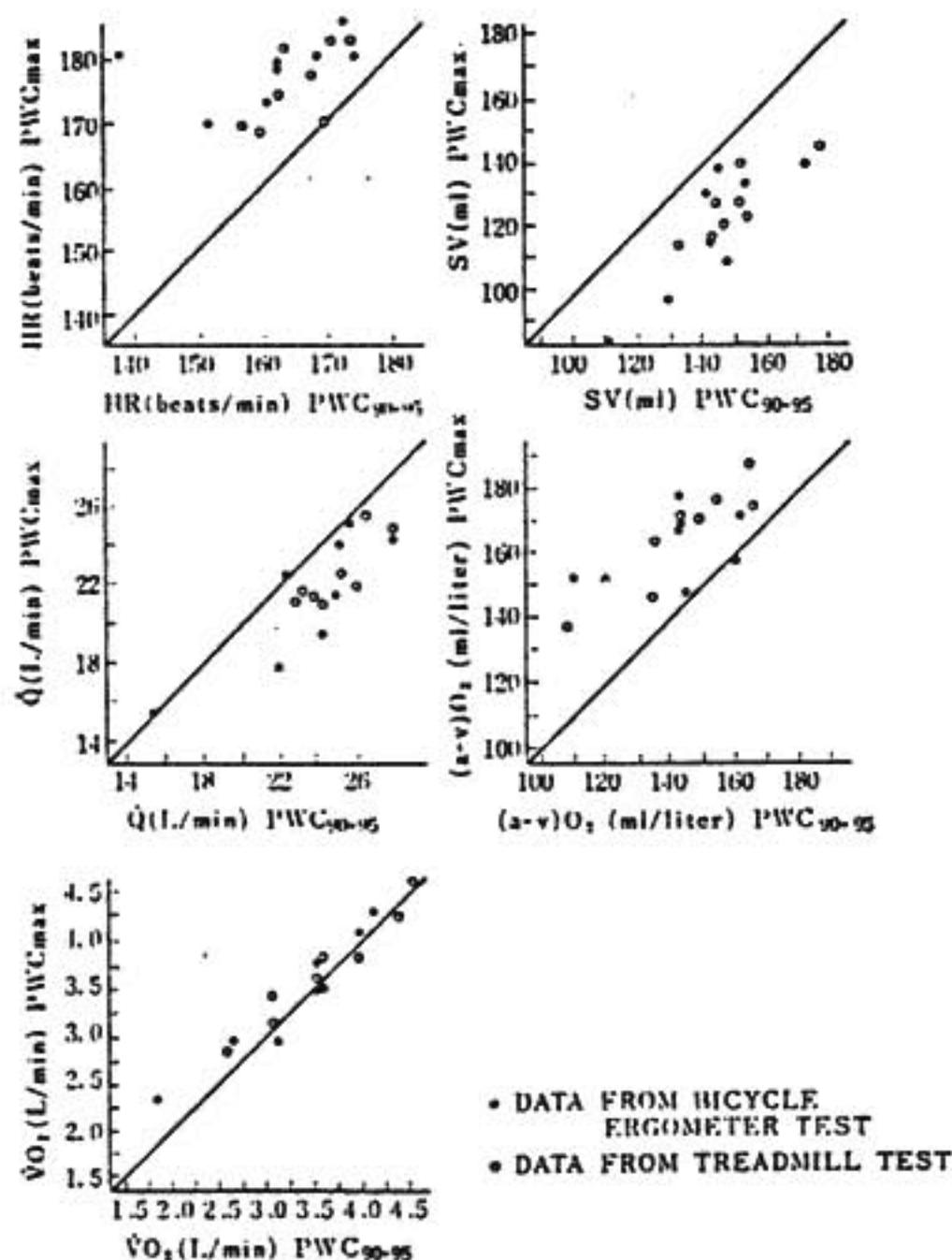


図17 PWC_{max} と PWC₉₀₋₉₅ の比較

Faulkner, J. A., et al. : Cardiovascular responses to sub-maximum and maximum effort cycling and running. *J. Appl. Physiol.* 30 : 457-461, 1971.

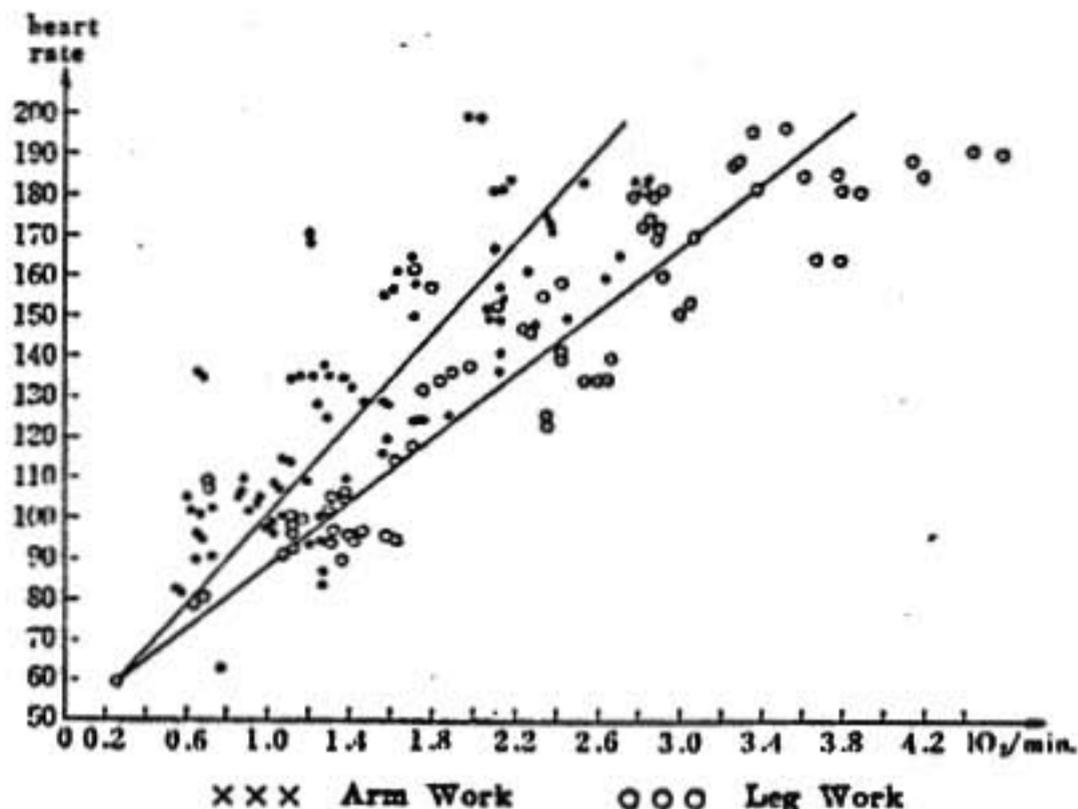


図18 腕作業と脚作業における心拍数と酸素摂取量の関係

Asmussen, E., and L. Hemmingsen : Determination of maximum working capacity at different ages in work with the legs or with the arms. *Scandinav. J. Clin. & Lab. Investigation*, 19 : 67-71, 1958.

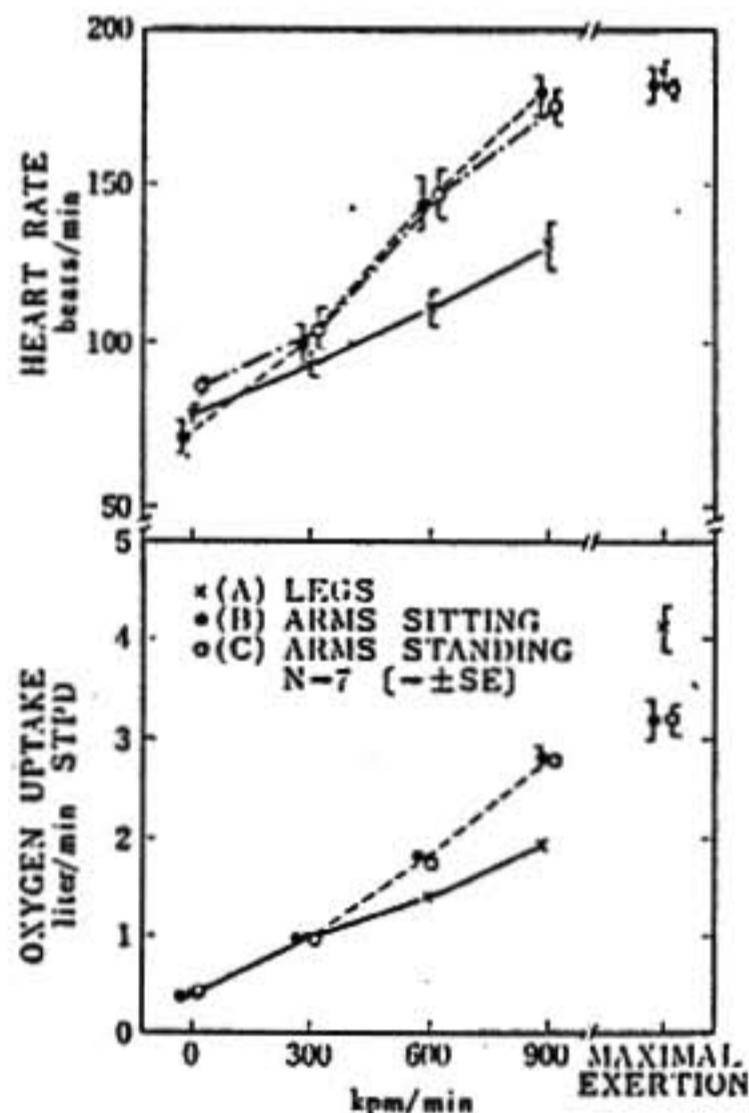


図19 腕作業と脚作業における運動強度と心拍数、酸素摂取量との関係

Vokac, Z., et al. : Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *J. Appl. Physiol.* 39 : 54-59, 1975.

も、最大の working capacity と90~95%のものを比較したデータであります。

そうしますと、 $\dot{V}O_2$ は maximal のちょっと下で

も飽和してしまいますから、ほぼ直線の上になります。

\dot{Q} は、このデータでは maximal になりますと、少し下がる傾向があって、90~95%の値のほうが、100%の値よりも大きくなってしまっているということです。それに反して、heart rate と A-V O_2 差は最大負荷の方が値が大きいことを示しています。

エルゴメトリーの specificity

エルゴメータで負荷を加えましたときに、heart rate で response を見ますけれども、等しい酸素摂取量の負荷を加えたとき、エルゴメータの種類によって heart rate が違うということが知られております。

図18は Asmussen の1958年のデータです。腕のエルゴメータと脚のエルゴメータと

は同じ酸素摂取量のときに、heart rate が変わってまいります。腕のエルゴメータのほうが同一酸素摂取量に対して、heart rate が大きいということになります。

従って、heart rate は非常に便利な指標でありますけれども、それを酸素摂取量のかわりに使おうとい

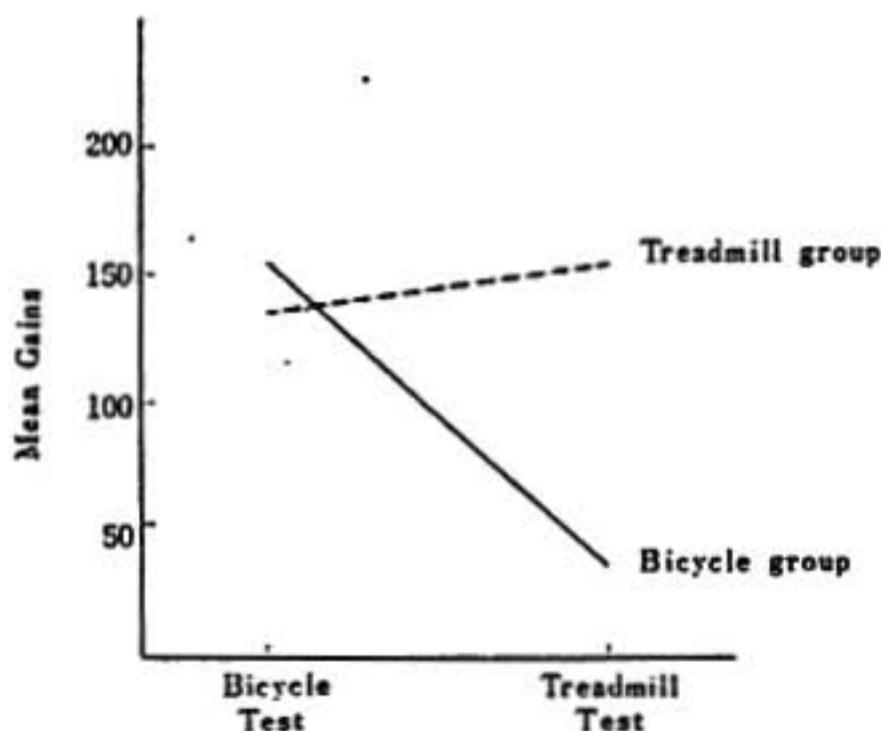
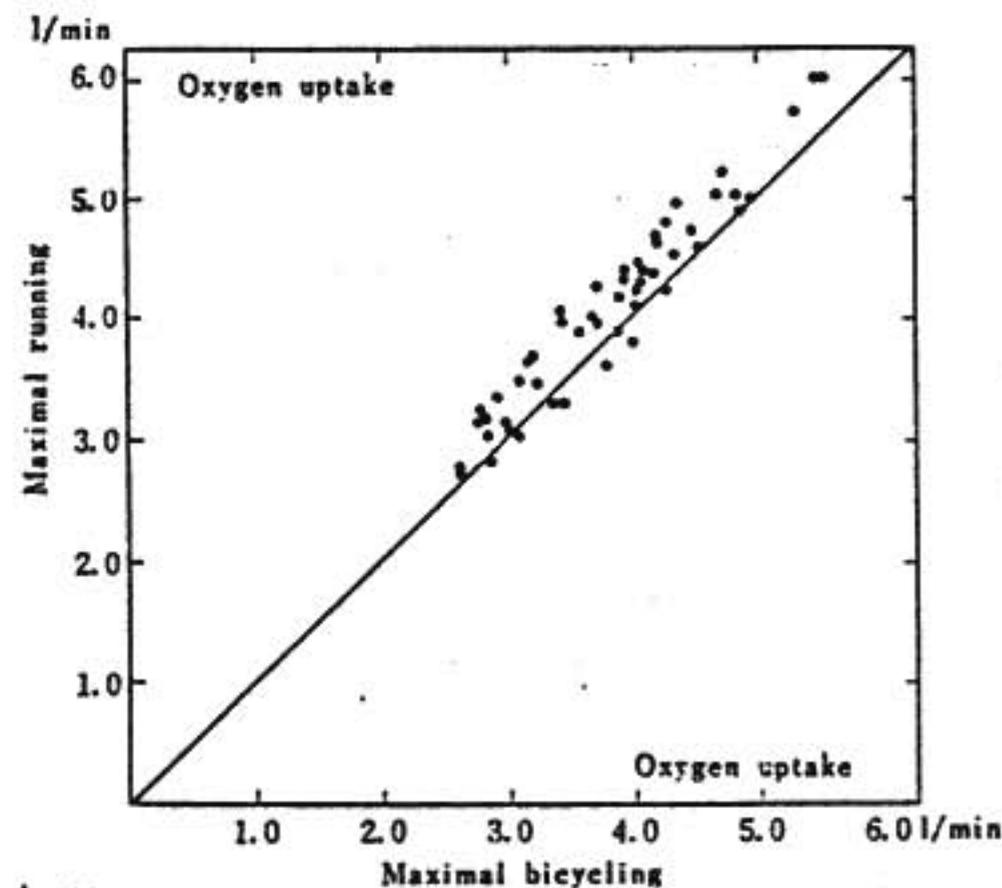


図20 トレッドミルでトレーニングしたグループと自転車エルゴメータでトレーニングしたグループに対するトレッドミルテスト、自転車エルゴメータテストの成績

Roberts, J. A. and J. W. Alspaugh : Specificity of training effects resulting from programs of treadmill running and bicycle ergometer riding. *Med. Sci. in Sports*, 4 : 6-10, 1972.

うときには、エルゴメーターが違えば、そのまま適用できません。さっき申し上げましたように、個人が違えば適用できないし、エルゴメーターが違えば適用できないというわけでありまして、heart rate を指標に使うということは、大変便利な方法ですけれども、かなりの制約があるということです。

図19は同じようなデータで、負荷が強くなりますと、腕のほうが、脚のバイシクル・エルゴメーターよりも O_2 uptake も増えるし、heart rate も増えることを示しています。



このようにエルゴメーターによって同じ物理量であっても response は変わってしまいます。

図20は心搏数が150になるまでの仕事量という、ちょっと半端な値を示しておりますけれども、自転車エルゴメーターでトレーニングしたグループはトレッドミル・テストでは、あまりトレーニング効果は出ません。自転車エルゴメーターのテストですと効果が出ます。

逆に、トレッドミルでトレーニングしたグループは自転車エルゴメーターでテストしてもトレッドミルで

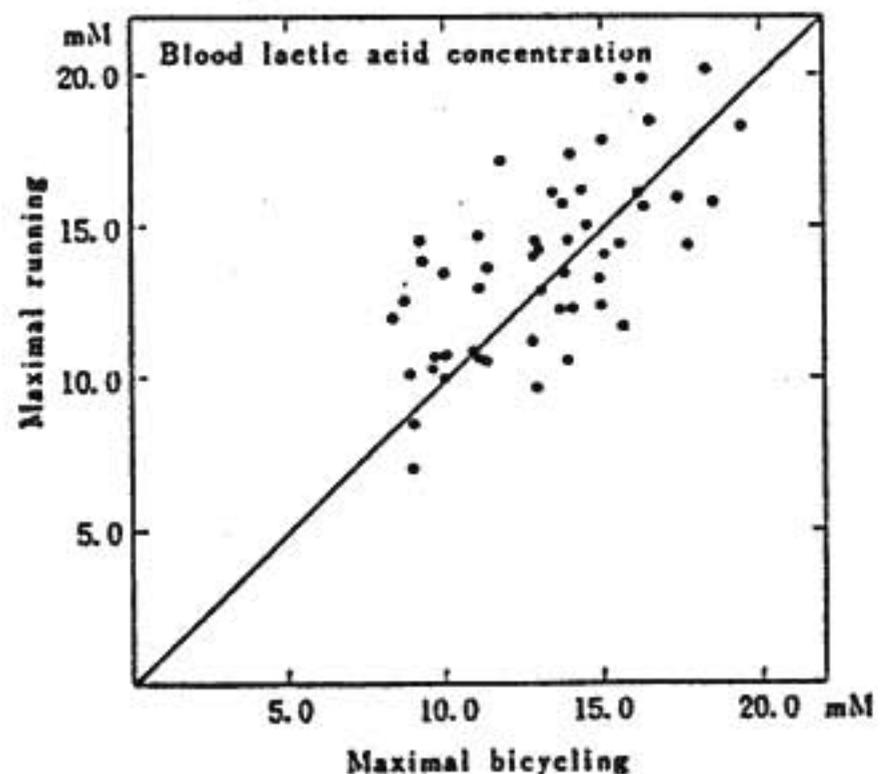
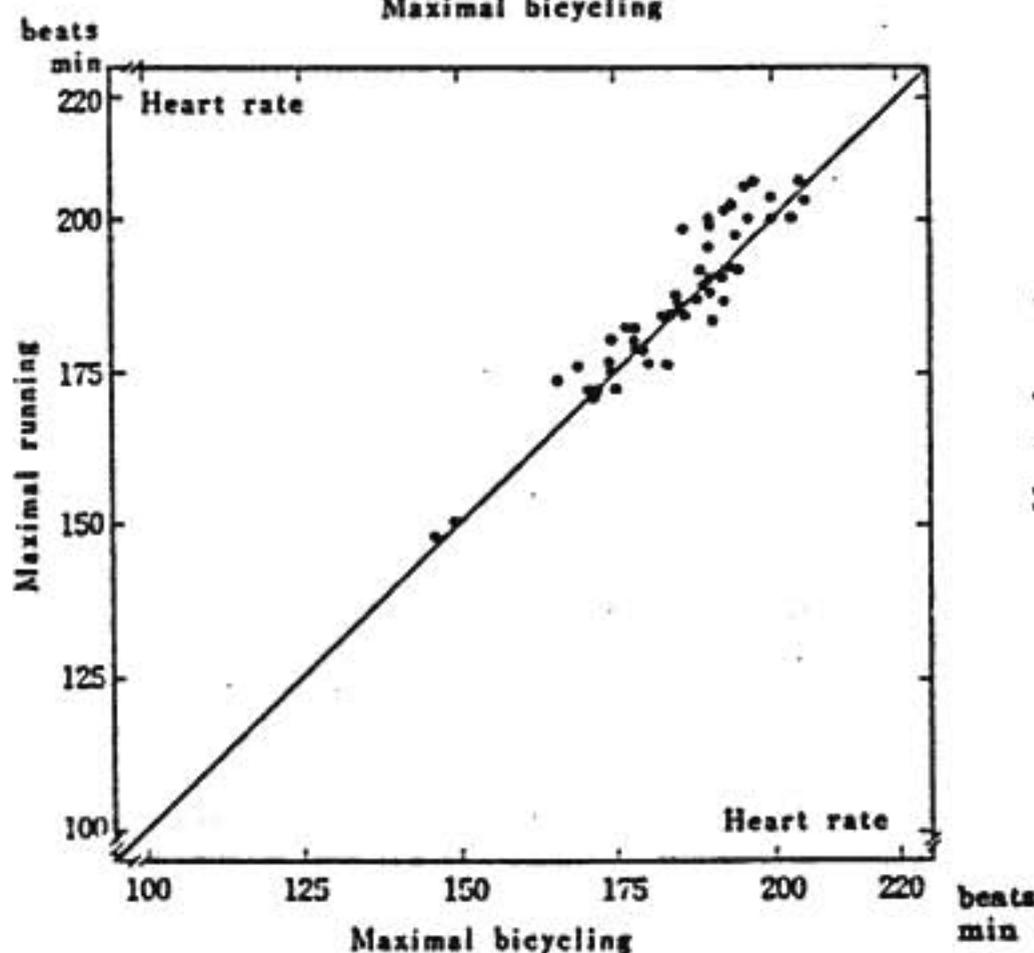
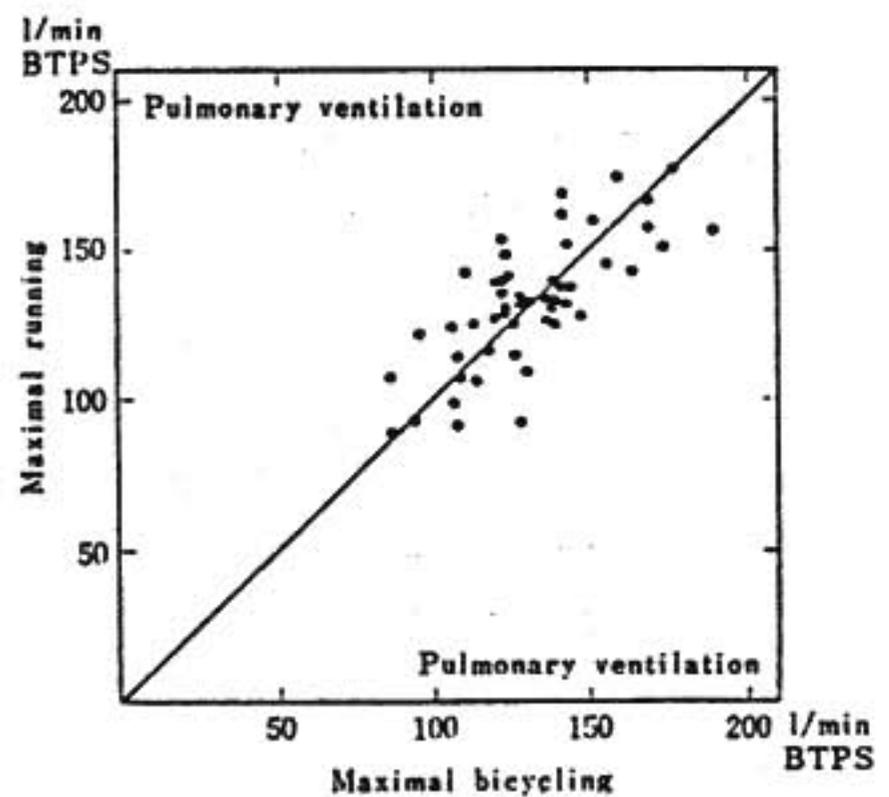


図21 最大トレッドミル走と最大自転車こぎの酸素摂取量、肺換気量、心拍数、血液乳酸値の比較

Hermansen, L. and B. Saltin: Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 26: 31-37, 1969.

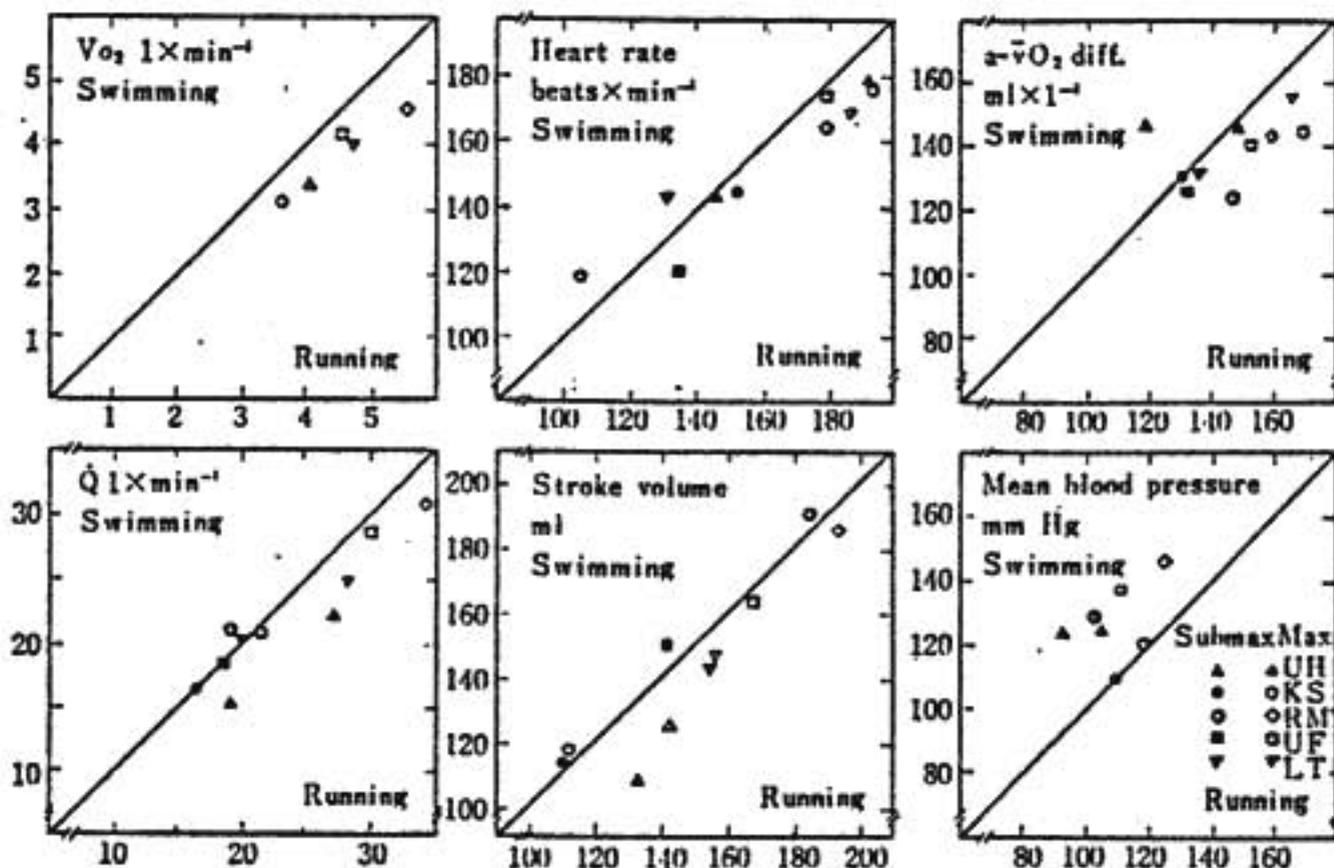


図22 水泳とランニング中の呼吸循環系の種々のパラメーターの比較

Holmér, I.: Physiology of swimming man. Acta physiol. scand. Suppl. 407: 1-55, 1974.

を申し上げます。私のところは、自転車エルゴメーターを使う場合には、submaximalのloadを、4分、4分、4分で、3回かけることにしています(図23)。対象はわりあい若い人間なものですから、4分になりますと、大体そのloadに相当した $\dot{V}O_2$ やheart rateになるという観点で、4分という時間をかけています。

その場合、heart rateを見ながら最初の負荷を、心拍数が120になるぐらい、2番目は140になるぐらい、

テストしても効果が変わらないということです。すなわち何でトレーニングしたかということが、何でテストしたかということに影響を及ぼすという、はなはだめんどくさい問題です。トレーニングの特殊性ということで、最近問題になっている事柄です。

図21は、Hermansenの1969年のデータですが、最大の自転車こぎとトレッドミル・ランニングの比較です。トレッドミル・ランニングと自転車こぎの間には、heart rateは、45°の非常にきれいな関係があります。oxygen uptakeは点がちょっと上がります。乳酸はかなりばらつきがあります。ventilationのほうも、45°の線にはのっていますけれども、かなりばらつきがあります。このようにmaximal oxygen uptakeは、どちらを使うかによって値が少し変わってくるということでテスト方法によっても、responseが変わることが問題になっています。

図22ではランニングとしてトレッドミルを用いたもので、スイミングはスイミルを用いたものです。スイミルというのは、流れるプールをつくりまして、その場で泳ぐ装置で、そういうテストのデータです。

これも、両者の数値が平行なら非常にけっこうですが、 \dot{Q} だとか、 $\dot{V}O_2$ は水泳が少し低いです。

最後に、私のところではどうしているかということ

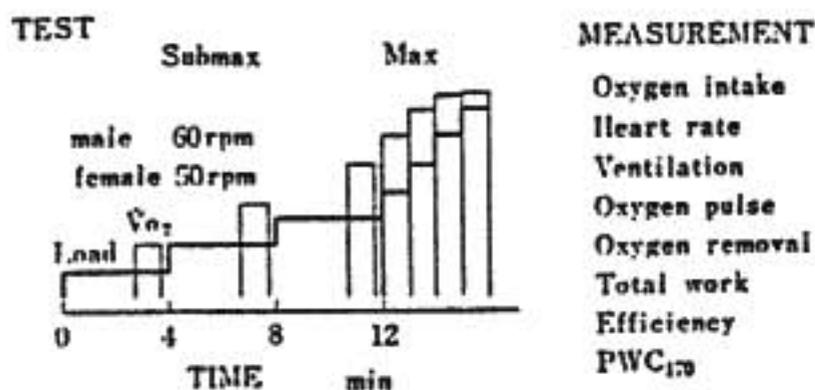


図23 自転車エルゴメーターの負荷方法とその際えられる種々の測定値(順天堂大学、運動生理学研究室)

3番目は160になるぐらいのsubmaximalの負荷を、3段に選んでやっております。あとは1分毎に負荷をどんどん上げていきます。75 kgm/minから、場合によっては150 kgm/minぐらいずつ毎分上げていって、それでexhaustionにまでもっていくという形です。測定内容は図23に示してあります。

生理学者の立場からいいますと、どうも循環機能というのは、maximalの負荷でないとわからない、submaximalのテストというのは、かなりいろいろな制約があります。そこでふつう、われわれのほうでは、submaxから負荷を漸増してなるべくmaximalのテストをやります。どうもご静聴ありがとうございました(拍手)。

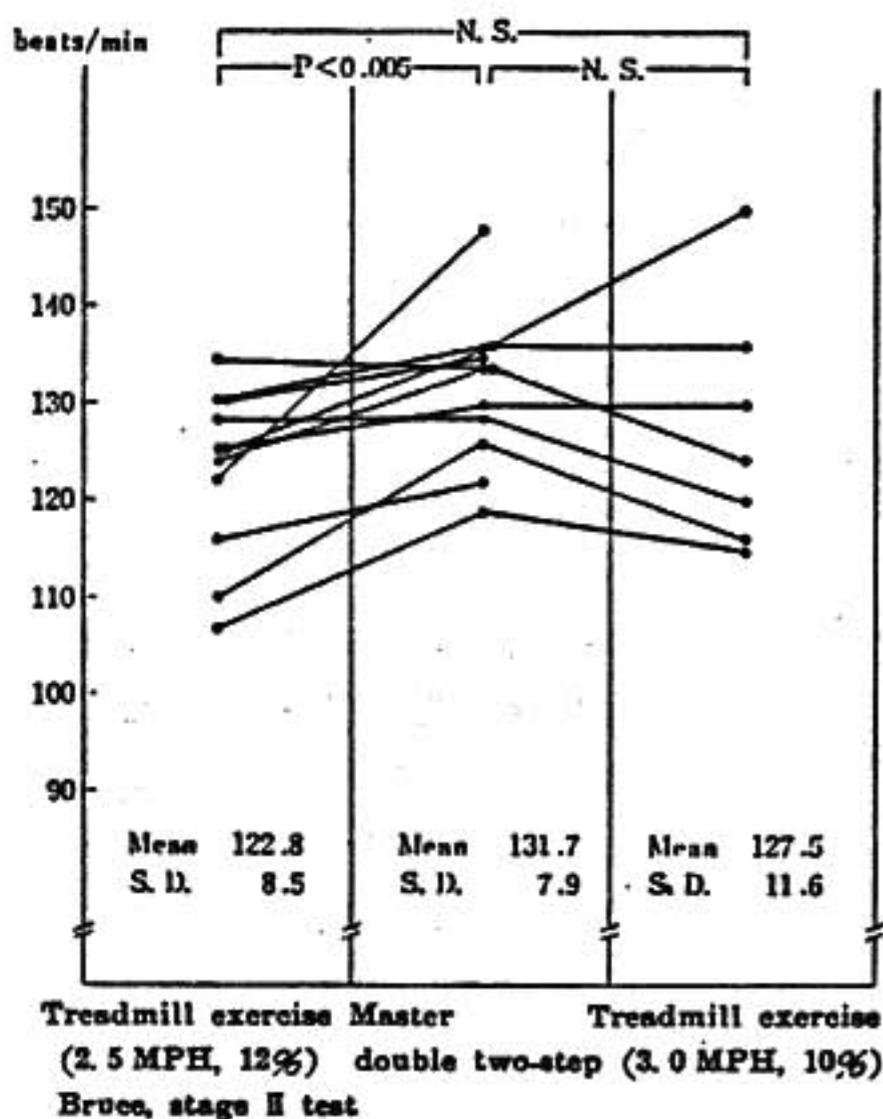


図6 Master double two-step test, Bruce stage II および Blomqvist 法の最大心拍数
各 single-stage 負荷法 (3分間) とともに運動終了直前の心拍数を plot した。有意差検定には paired t test を用いた。

式4'を用い Master test と等価運動強度 (27.4 cc/kg/min) の treadmill 歩行の条件を計算した。速度を Blomqvist 法の 3 mph と設定すると傾斜は Blomqvist 法の値よりわずかに強い11%となった。また速度を Bruce stage II の 2.5 mph とすると傾斜は14%と計算された。

結 語

1) Bruce らの multistage treadmill exercise test は日本人では stage III から IVにかけて酸素消費量の急上昇を示した。原法の stage III と IVとの間にその中間的運動強度の stage III' を挿入した変法では酸素消費量は運動時間とともにほぼ直線的に増加した。

2) 独立変数として体重、速度および傾斜を用いた treadmill 傾斜歩行時の酸素消費量推定式を算出した。重相関係数は0.98で、推定能は良好と考えられた。

3) Master double two-step test と等価運動強度の treadmill 傾斜歩行の速度および傾斜はそれぞれ 3 mph, 11%または 2.5 mph, 14%と考えられた。

Frank 誘導運動負荷心電図の意義

村 山 正 博*

私どもが昭和38年以来用いている Frank 誘導運動負荷心電図法につき臨床的意義、実際の応用法、標準誘導との比較などについて述べる。

1) Frank 誘導変法¹⁾

運動中の記録上、X、Z誘導は問題が少ない。Y誘導に関し振幅、位相差、波形、皮膚インピーダンス、筋電図の混入などを考慮してH電極を右鎖骨下、L E電極を右下腹部におき、原法に近い誘導を得た。また R F電極は左鎖骨下においた。

2) T変化の考え方²⁻⁴⁾

低速度 100/sec にて記録した心電図上、QRS の初めから 100 msec 部位より 20 msec 毎に T波の高さを

X、Y、Z各誘導上測定し、前額面、水平面上T環を合成した。図1に正常者、各疾患における運動による合成T環の変化を示した。いずれも Master two-step test によるものであるが、正常例、高血圧例ではT環の方向、形の変化が乏しいが、虚血性心疾患例ではT環変形が生ずる。図2、3、4に正常、高血圧、狭心症例の Ventricular Gradient (G) 変化を示した。正常例、高血圧例では運動によるG変化は方向の変化が少なく、大きさは前者では減少、後者では増加を示した。狭心症例ではGの方向の変化が著明であった。すなわち正常者のT変化は、Gの方向が不変で大きさの減少する方向に向かい、高血圧例ではやはりGの方向

* 東京大学 第二内科

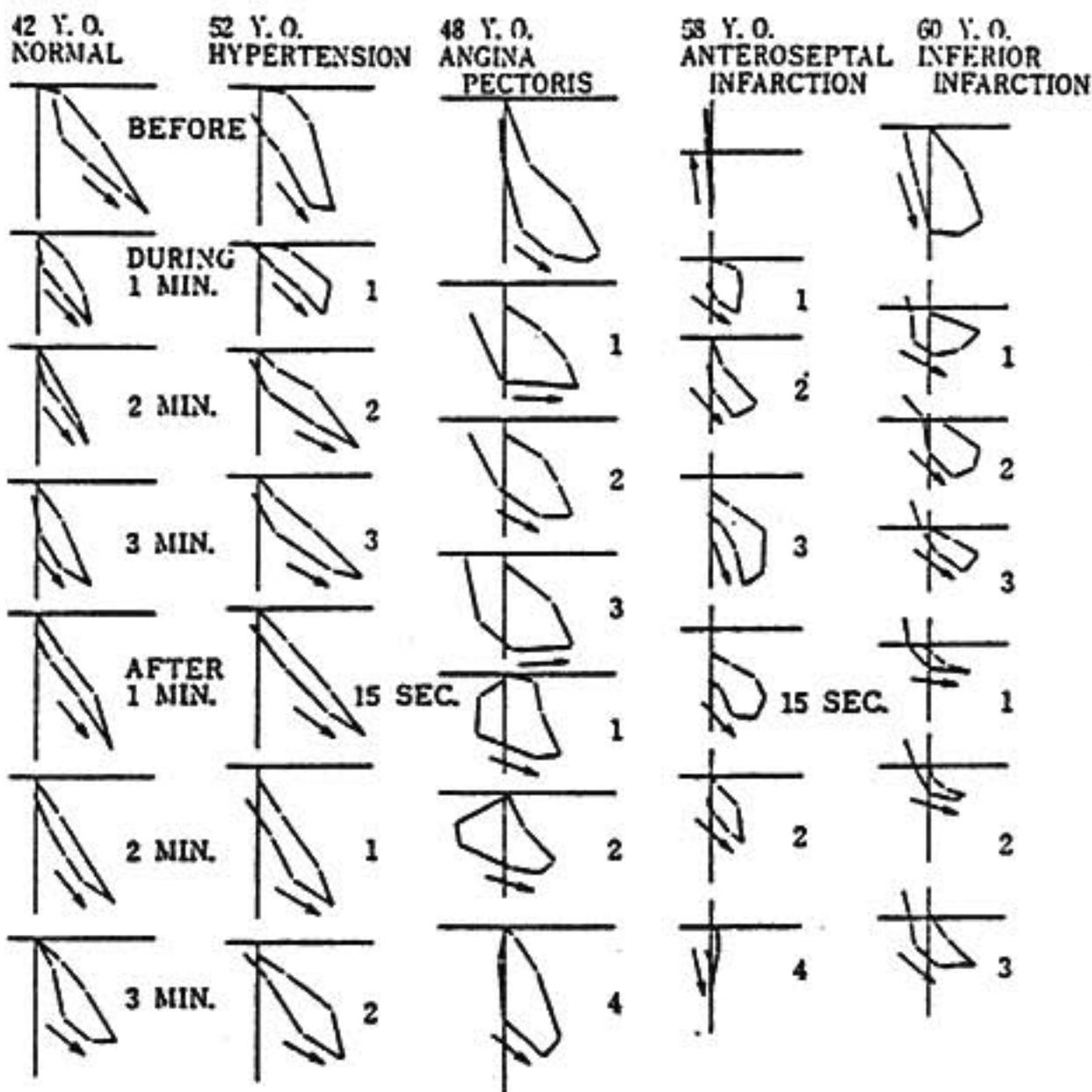


図1 Master two-step test によるT変化

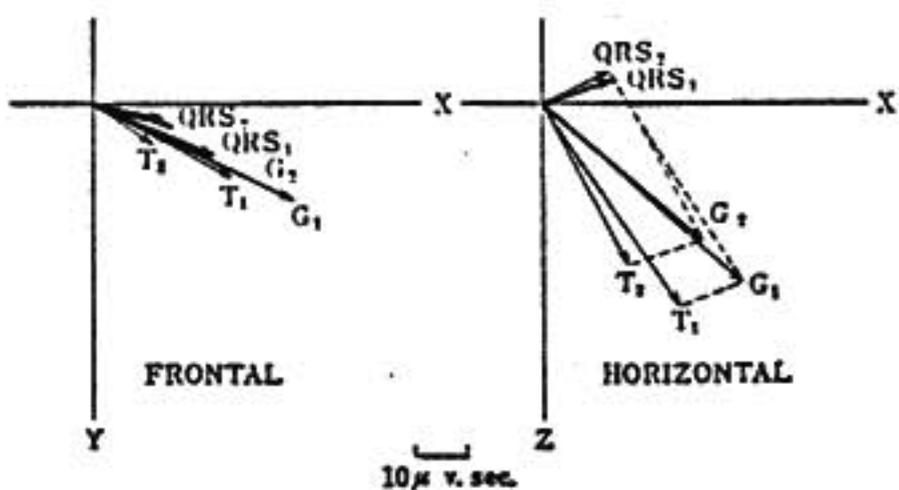


図2 56才, 男性, 正常例
(QRS₁, T₁, G₁: 運動前, QRS₂, T₂, G₂: 運動後)

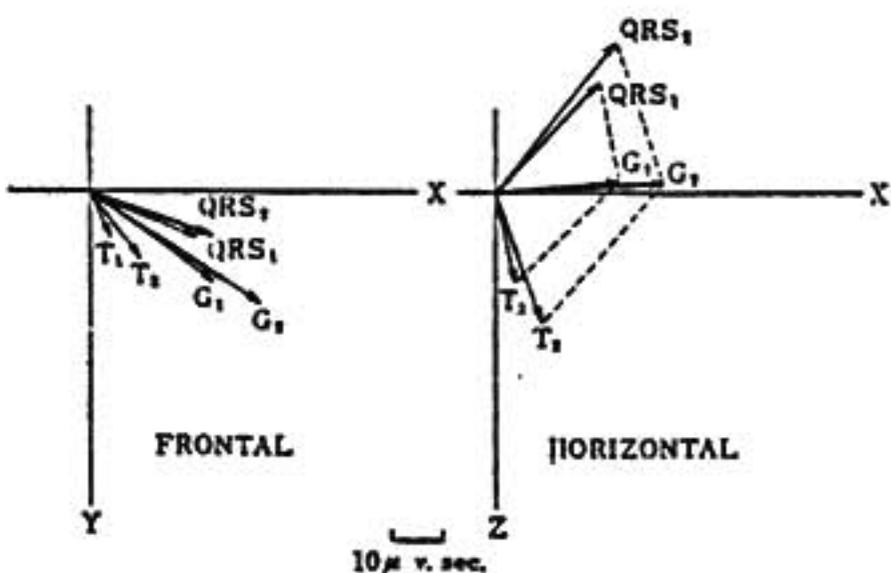


図3 27才, 男性, 高血圧例
(QRS₁, T₁, G₁: 運動前, QRS₂, T₂, G₂: 運動後)

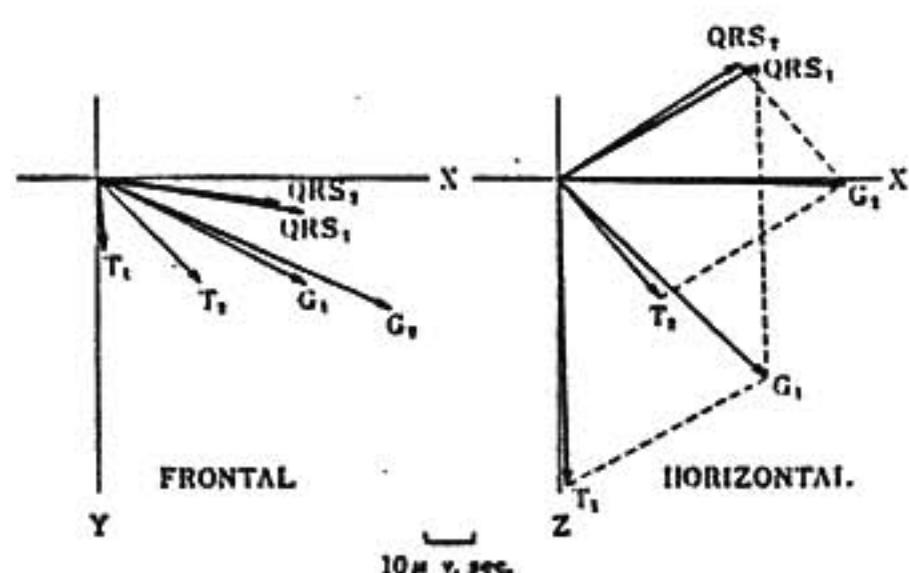


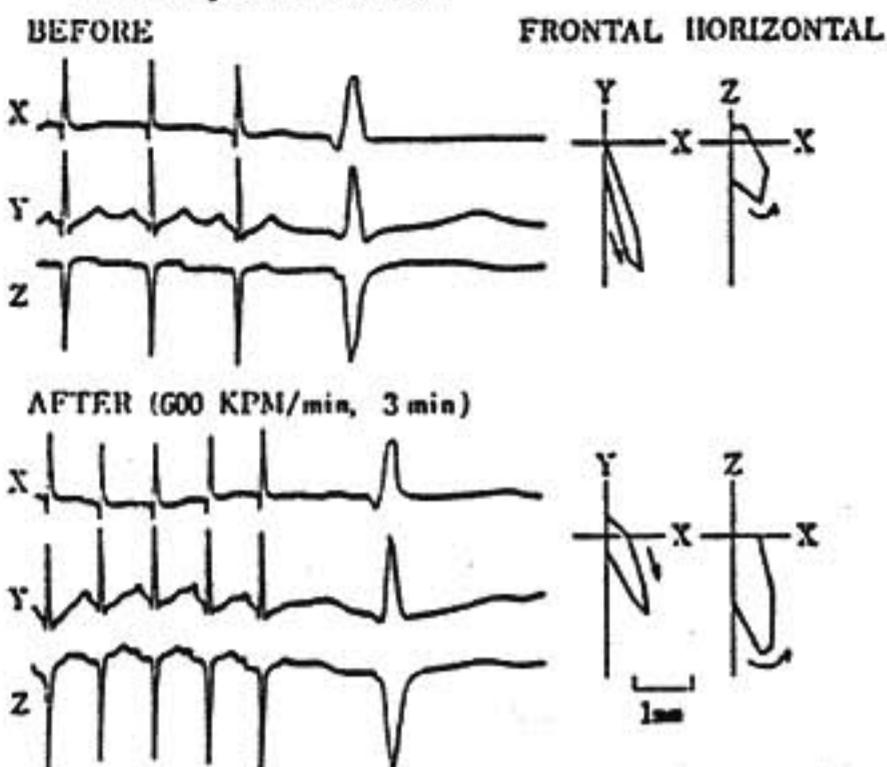
図4 72才, 男性, 狭心症例
(QRS₁, T₁, G₁: 運動前, QRS₂, T₂, G₂: 運動後)

が不変で大きさの増加する方向に向かうと考えられる。G減少には頻脈効果が発与すると考えられるが、純粹な頻脈効果(アトロピン投与)よりも、運動という交感神経の関与する頻脈効果はG減少の程度が大であった。高血圧例におけるG増大傾向には、心拍数以外の血行動態や体液性因子が左室全体に影響を及ぼしていることが考えられる。因みに正常例でも強い運動を行ったり、また正常と考えられる高年者では、しばしば運動後、T波の増高、すなわちGの増加がみとめられる。したがって運動によるT変化の考え方は、軽い負荷条件では、頻脈効果によるG減少によりT波は減少し、強い負荷条件では頻脈以外の血行動態(拍出量、血圧増加等)、体液性因子(カテコールアミン等)によるG増加により

T波は増大すると考えられる。高血圧例では、軽い負荷条件でも血行動態、体液性因子の関与によりG増加が早く現われるものと考えられる。

一方、虚血性心疾患では前述の心拍数、血行動態、体液性因子といった全体的な影響の他に、局所虚血という Local Gradient が運動により生じ、Gの方向を変化させるものと思われる。局所虚血はT環としては変形として表われる。すなわち運動負荷心電図上、T波変化の判定には、G変化の考え方から、T環の変形

K. S. 39 years old, Male.
Anteroseptal infarction.



LAD: a long segment of narrowing (more than 70%)
before the origin of the large first diagonal branch.

図5

S. F. 68 years old, Male.
Inferoposterior infarction.

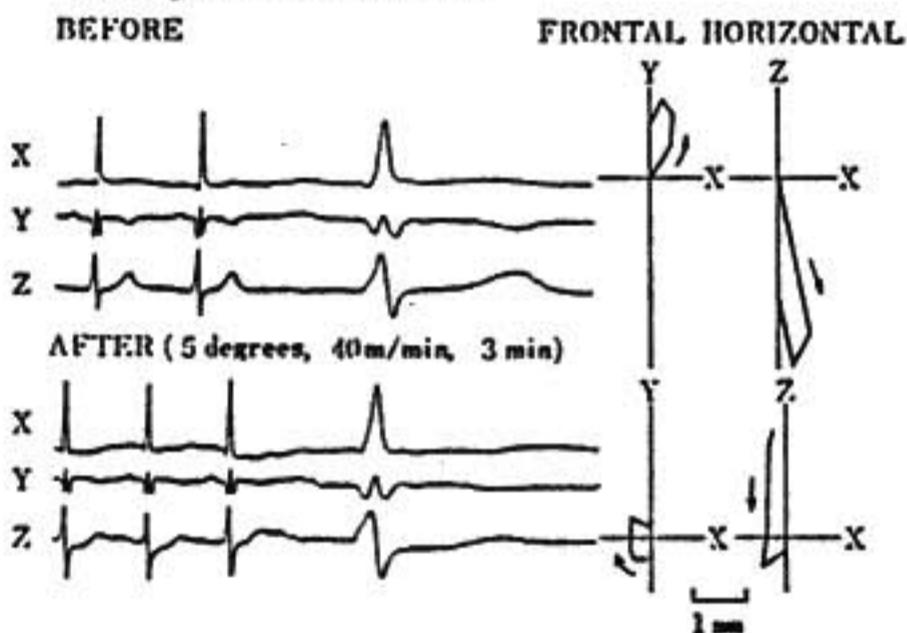


図6

の著明なものには局所因子の関与を推定することができる。この考え方から、例えばNCAのような運動によるST低下例と、虚血によるST低下例との鑑別もある程度可能であると考えられる。すなわち前者ではT環の変形が著明でなく、ST変化のみのことが多い。

次に局所因子の部位とT変化との関連を検討した。図5は前壁硬塞例で、冠動脈造影法により左前下行枝の狭窄がみとめられる例で運動後T環は前方に変化している。図6は後下壁硬塞例であるが運動によるT変化の方向は右後下方である。図7例の運動によるT変化の方向は後上方であるが本例は後に後下壁硬塞を発生している。このように運動によるT変化の方向は局所虚血が推定される部位とある程度の関連があり、主に虚血部位の方向への変化が強いものと考えられる。これはST変化の方向に局所活動電位の短縮を想定してT環を構成することによりよくsimulateされる⁹⁾。局所虚血はその程度により活動電位の延長または短縮が生ずるとされているが、これらを考慮しながら運動負荷心電図のT環の変化を検討することにより虚血局所診断に新しい情報がえられることが期待される。従来、運動負荷心電図法によるST変化から推定される虚血部位と冠動脈造影法から推定される虚血部位との相関は必ずしも良くないという報告も多いが、その意味でもT環変化の検討が冠動脈造影法との対比においてなされることが今後の課題であろう。

3) 予後判定上の意義⁹⁾

昭和38~48年間の運動負荷例のうちST変化1mm以上のものの予後調査を行い、心臓性の急死例の特徴を検討した。急死例(13例)にはST変化の大きさ、方向に関する特徴はなかった。T環変化を最大の長さ(L)と最大の幅(W)との比(L/W)の変化で表わした。図8例は運動によりT環の形の変化の乏しいもので運動前後のL/Wの比は小さい。図9例は運動によるT環の変形が著しく、運動前後のL/Wの比は大きい。このようにT環変形の程度と予後との関連を検討すると前顔面、水

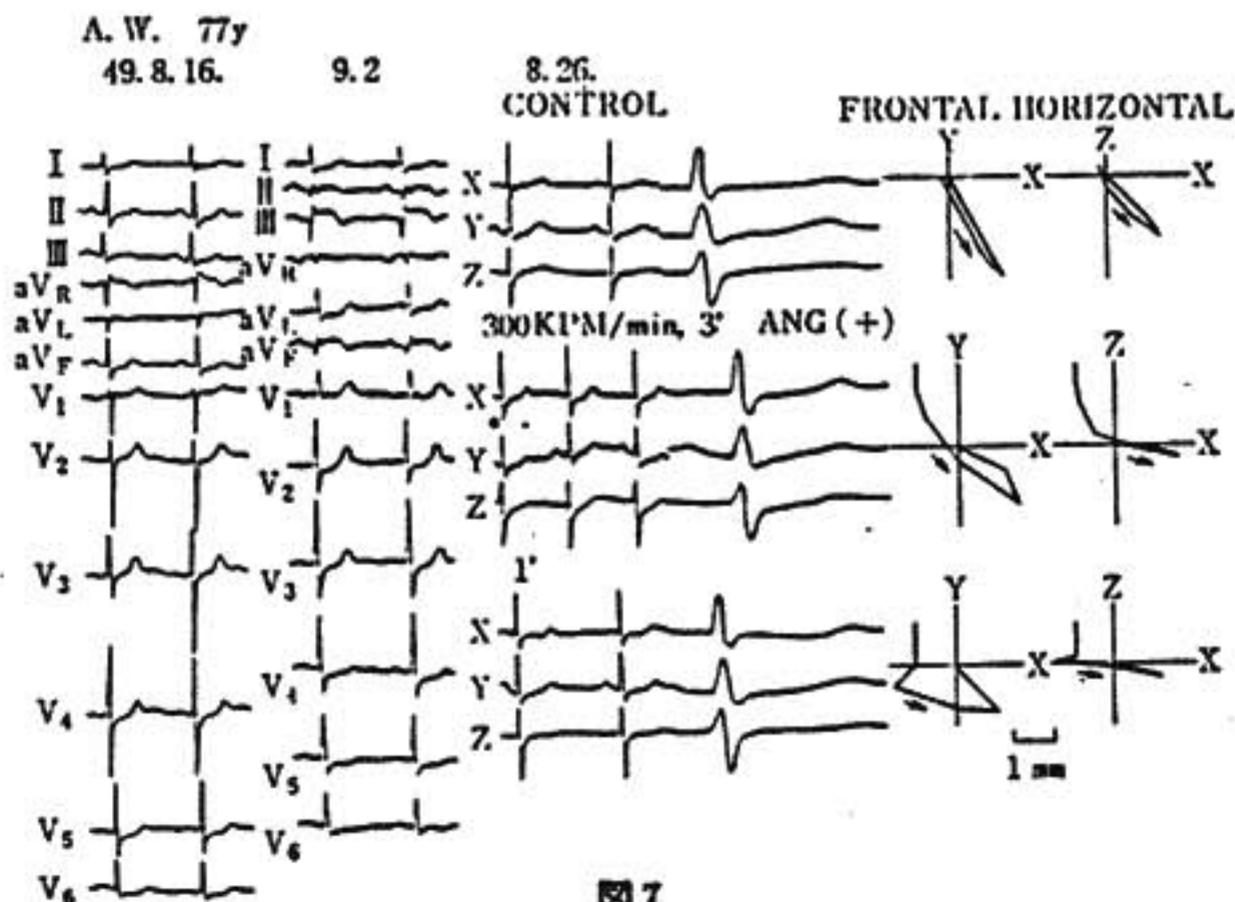


図7

54 years old, Male, Angina pectoris.

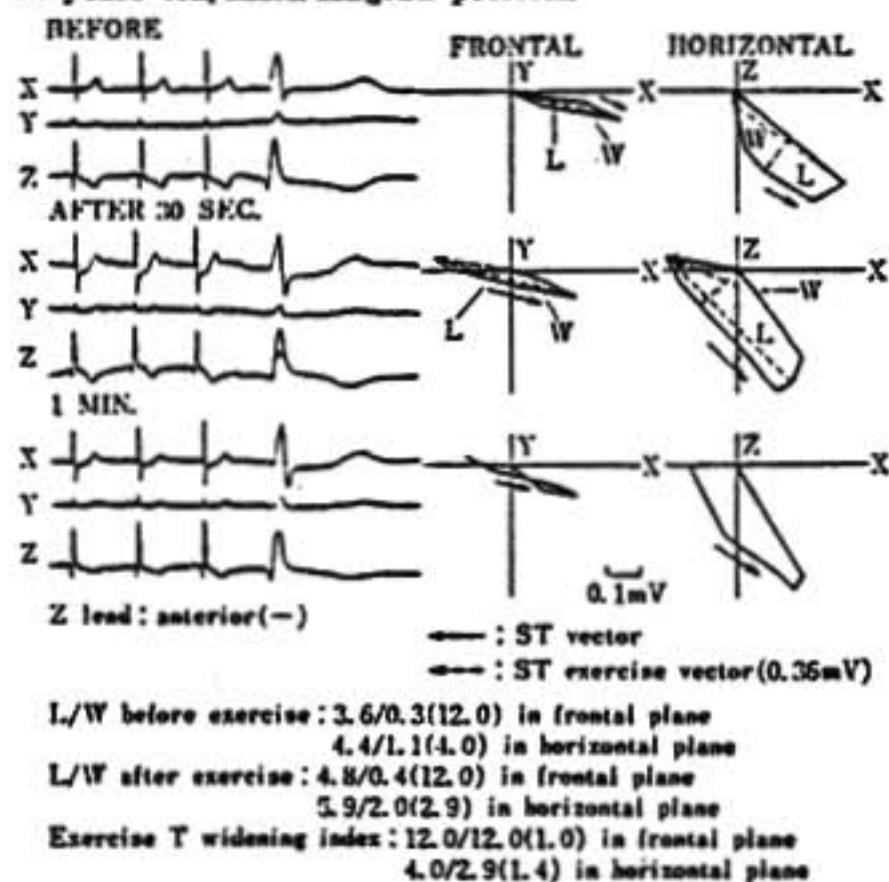


図 8

66 years old, Male, Angina pectoris.

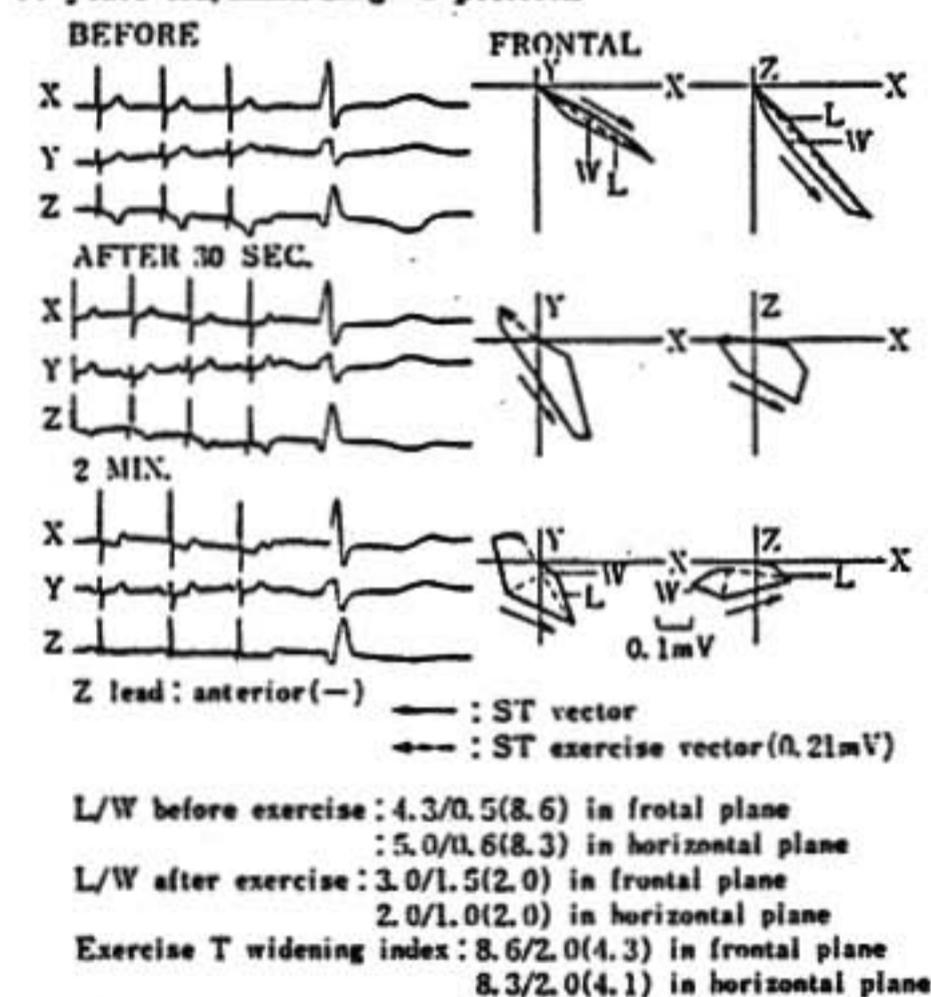


図 9

平面とも、T環変形の著明なものがもっとも予後が悪く、次いでいずれか一面でのみ変形するものの予後が悪く、いずれの面も変形の乏しいものの予後がもっとも良かった。このように運動によるT環変形の程度が予後を推定するのにある程度役立つことが予後調査から証明された。しかし、T環の変形が予後との関連に

においてどのような病態生理学的意義を有するかはなお将来の問題である。

4) X, Y, Z各誘導の診断率

X, Y, Z 3誘導のいずれに ST 変化 (1mm 以上) が反映されるかを91例につき検討した。3誘導とも変化があるのは6%, X, Y 24%, X, Z 14%, Y, Z 3.3%, Xのみ44%, Yのみ3%, Zのみ4%であった。STに関する限り、X誘導の貢献が大きい。Y, Zの意義の大きい例も少なくなく、X, Y, Zの中、最大変化したもののみをとるとX72%, Y14%, Z13%であり、約10%においてYまたはZ誘導の診断的意義がみとめられた。

5) 標準誘導との比較

Frank 誘導と標準12誘導とを同時に記録した10例につき ST 変化の大きさを比較した。X, Y, Z誘導のうち、もっとも変化の大きいものの ST 変化の平均値 (±1SD) は 1.2(±0.2)mm で、3誘導から合成した空間的 ST ベクトルの大きさは 1.6(±0.3)mm で、また標準誘導のうち肢誘導のもっとも大きい変化は 1.1(±0.2)mm、胸部誘導では 2.0(±0.4)mm であり、ST 変化の大きさのみからみれば Frank 誘導 3軸のうち1つをとれば、肢誘導と同じ、胸部誘導の1/2の感度であった。

文 献

- 1) Murayama, M., et al. : Jap. Heart J. 5 : 312, 1964.
- 2) 村山正博 : 東京医学誌 72 : 276, 1964.
- 3) 村山正博, 他 : 心臓 2 : 925, 1970.
- 4) Ueda, H., et al. : Jap. Heart J. 8 : 83, 1967.
- 5) 村山正博, 他 : 日本臨牀 30 : 1640, 1972.
- 6) Murayama, M., et al. : Jap. Heart J. 17 : 139, 1976.

質 疑 討 論

岡本 (愛知県総合保健センター) Y誘導に関するトルソーモデルの実験では H 電極を胸骨の一番上、LF 電極を仙骨上におくのが良い。

戸山 (大阪成人病センター) 運動による T 環変化の方向は、虚血部位に向かうというより反対方向に変化すると考えた方が良い。

Master 負荷試験による薬剤の効果判定

戸山靖一*・鈴木恵子*

薬の判定には、2重盲検が中心になっているが、狭心症では主として狭心痛発作に重点がおかれている。一方、心電図変化は負荷試験による判定を行うべきであり、外国では treadmill がよく用いられている。しかし、わが国では心電図による薬剤の効果判定は、それ程重視されていない。

ところが、βブロック剤が多数開発され、特徴がいろいろといわれているが、臨床家としてどういうメリットがあるのか、どういう点でほかのものに比べてよいのかということがこれまでのところ区別しにくかった。われわれは Master の負荷試験を routine に行っているのです、それにより、いろいろな薬剤を検討してみたのが今回の成績である。

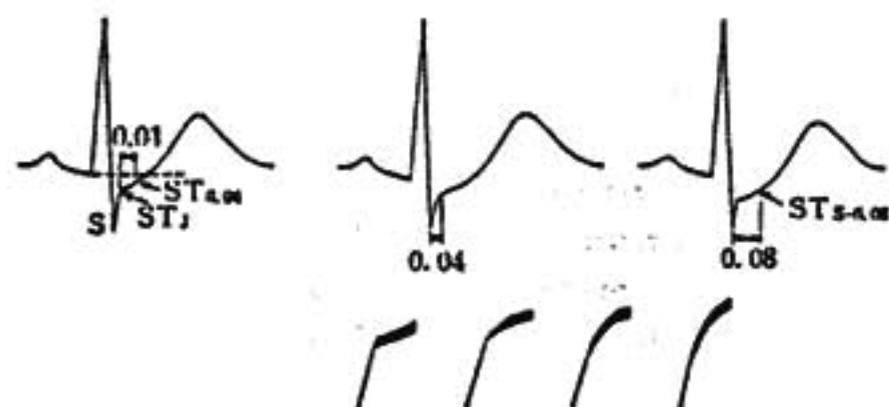
この方法でまず問題になるのは ST 降下を測定する点である。ふつう ST は J 点で測る。

この STJ 点は S 波から ST 部分に移る点がシャープになっているときは測りやすいが、よくみると2段になっていて、どちらをとるか問題がでてくるし、またそこが円くなっている、どこをとっていいのかわからないことの方がむしろ多い。薬剤の効果を見るとき、投薬前後の ST 点を2回測らなければならないが、測る場所が違つとよくない。また ST 降下は虚血型の方に意味があるとされているので、STJ 点よりむしろあとの点、例えば STJ 点から0.04秒後の $ST_{0.04}$ 点で測る方法が用いられていたり、Dimond のように0.10秒後の点をとっている人もある。しかし STJ 点がきまらなければ、これらの点も決められないわけである。

そこでわれわれは S の谷から0.08秒後の $ST_{0.08}$ 点をとることにした¹⁾。大体 $ST_{0.04}$ 点に近い(図1)。投薬期間は原則として2~4週間である。

I) Control 群(表1, 2)

冠疾患治療薬剤を投与していない時に2回負荷試験を行っている狭心症患者20例を集めた。いずれも狭心症症状があり、負荷試験で ST が降下する症例である。

図1 $ST_{0.08}$ の測り方

Master 負荷試験の負荷前、負荷直後、3分後の心拍数を II 誘導で測る。つぎに負荷後、II、 V_4 、 V_5 、 V_6 誘導のうち一番 ST の下がった誘導の、 $ST_{0.08}$ 点で負荷前、負荷直後、3分後の ST 降下度を測定する。そして20例の平均値と標準偏差を算出した。

1回目の測定値と2回目の測定値の平均値を比べると、心拍数も ST 降下度もともに差が認められない。個々の症例についてみると、変動がみられるが、平均値をとると、両者はほとんど一致する。Friedberg²⁾ が Master の負荷試験は多数例を統計的にみるときはよいといっている通りである。また個々の症例でも、のちにのべる ST 改善例の判定基準を充たすものは1例もなかった。

II) 亜硝酸剤(表1, 2)

I. D. (isosorbide dinitrate) は11例にすぎないが、1日3回1錠宛舌下に使用させた。ただ I. D. は舌下に使用してから時間が問題になるが、心拍数はやや減少するように見える。しかし統計的には投薬前後で有意差を認めていない。ST 降下度は改善されているように見えるが、標準偏差が大きいので、負荷直後では有意差はみられず、3分後で5%以下の危険率で有意差を認めている程度である。

III) カルシウム拮抗剤(表1, 2)

Nifedipine は症状がよく改善され、異型狭心症には著効を示すとされている。しかし、1日30mg を内服させた15例の成績では、負荷による心拍数増加に対し、ほとんど抑制作用がみられず、ST 降下の改善

* 大阪府立成人病センター

表1 心拍数の変動(平均値/分)

	投 薬 前			投 薬 後		
	負 荷 前	直 後	3 分 後	負 荷 前	直 後	3 分 後
Control	68.6	96.7	75.0	65.8	97.7	72.1
L.D.	68.0	99.6	73.9	60.0	85.1	66.5
Nifedipine	68.7	97.9	74.3	65.9	95.6	72.7
Diltiazem	68.0	97.5	72.5	68.1	95.4	72.2
Pindolol	68.6	96.4	74.0	66.1	88.7	73.9
Carteolol	68.5	102.0	75.8	67.7	92.3	75.3
Alprenolol	66.7	96.0	72.9	63.9	85.2	67.2
Acebutolol	67.3	97.9	72.1	60.5	81.8*	65.5
Metopronolol	72.2	103.1	78.4	61.9 Δ	88.7 Δ	66.8 Δ
Indenolol	71.3	100.2	78.1	63.2	88.9	66.9 Δ
" (90 mg)	73.4	102.0	80.4	60.8 Δ	79.7*	65.0 Δ
Propranolol	66.3	93.6	72.9	59.2 Δ	78.2*	62.3 Δ
Timolol	72.8	102.7	80.4	57.1*	78.9*	62.9*
Dipyridamole	72.2	103.7	79.6	68.1	106.9	78.9
Prenylamine	67.8	97.3	72.4	65.6	97.9	73.3
Verapamil	68.1	98.8	76.0	65.7	95.7	71.5

 Δ P<0.05 * P<0.01表2 ST_{s-008} 降下度の変動(平均値-mm)

	投 薬 前			投 薬 後		
	負 荷 前	直 後	3 分 後	負 荷 前	直 後	3 分 後
Control	-0.02	-0.76	-0.76	-0.04	-0.83	-0.70
L.D.	+0.23	-1.12	-0.85	+0.45	-0.70	-0.34
Nifedipine	+0.12	-0.91	-0.67	+0.19	-0.72	-0.56
Diltiazem	-0.08	-0.71	-0.61	+0.10	-0.50	-0.36
Pindolol	+0.00	-0.47	-0.60	+0.20	-0.08 Δ	-0.13*
Carteolol	-0.00	-0.86	-0.64	+0.19	-0.23*	-0.23*
Alprenolol	-0.07	-0.96	-0.74	+0.11	-0.43*	-0.32*
Acebutolol	-0.01	-0.73	-0.67	+0.23	-0.19*	-0.17*
Metopronolol	+0.06	-0.56	-0.58	+0.27	-0.19*	-0.11*
Indenolol	-0.01	-0.81	-0.58	+0.24	-0.29 Δ	-0.14*
" (90 mg)	-0.05	-0.91	-0.59	+0.31	-0.21*	-0.13 Δ
Propranolol	+0.04	-0.86	-0.71	+0.19	-0.31*	-0.23*
Timolol	-0.05	-0.85	-0.67	+0.32 Δ	-0.23 Δ	-0.08*
Dipyridamole	-0.20	-0.56	-0.61	+0.15	-0.31	-0.38
Prenylamine	+0.00	-1.05	-1.03	-0.03	-0.67	-0.78
Verapamil	-0.05	-0.51	-0.48	+0.00	-0.32	-0.39

 Δ P<0.05 * P<0.01

度もわずかで有意差はみられない。

Diltiazem も1日 90 mg 内服させた12例では、心拍数抑制作用もなく、ST 降下改善もあまりはっきりしていない。

IV) β ブロック剤 (表1, 2)

β ブロック剤の種類は多いが、今回の主な目的はその違いを検討することにある。

Pindolol (1日 15 mg-14例) は心拍数抑制作用は

弱く、投薬前後で有意差を認めない。ST 降下度は、投薬前にその程度の少ないものが多い傾向があるが、負荷直後は5%以下、3分後は1%以下の危険率で有意差が認められた。

Carteolol (1日 15 mg-15例) も心拍数を少し減ずる程度で有意差はなく、ST 降下度は負荷直後、3分後ともに1%以下の危険率で有意差を認めている。

Alprenolol (1日 150 mg-22例) は心拍数をやや抑制し、片側検定では負荷直後のみ5%以下の危険率で有意差がみられる。ST 降下度は負荷直後、3分後で有意差を認めている ($P < 0.01$)。

Acebutolol (1日 600 mg-17例) は心拍数は負荷直後のみ1%以下の危険率で有意差をみ、ST 降下度は負荷直後、3分後ともに有意差をみている ($P < 0.01$)。

Metopronolol (1日 60 mg-18例) は心拍数抑制作用は負荷前、直後、3分後ともにみられ ($P < 0.05$)、ST 降下度も負荷直後、3分後で有意差をみている ($P < 0.01$)。

Indenolol は1日 30 mg 投薬群と1日 90 mg 投薬群とを検討した。1日 30 mg 投薬群 (16例) では心拍数はやや抑制され、3分後では5%以下の危険率で有意差をみ、一方 ST 降下度の改善は直後で5%以下、3分後で1%以下の危険率で有意差を認めている。1日 90 mg 投薬群 (12例) では心拍数の抑制作用は強く、負荷前、3分後は5%以下、直後は1%以下の危険率で、また ST 降下度の方は直後が1%以下、3分後は5%以下の危険率で有意差をみている。

β ブロック剤の基準となっている Propranolol (1日 60 mg-18例) も心拍数抑制作用は強く、負荷前 ($P < 0.05$)、直後 ($P < 0.01$)、3分後 ($P < 0.05$) とも

投薬前に比べ平均値では有意差を、また ST 降下度も直後、3分後 ($P < 0.01$) ともに有意差を認めている。

Timolol (1日 15 mg-15例) はこれらの β ブロック剤のなかで、心拍数抑制作用はもっとも強力であり、心拍数減少率は、負荷前、直後、3分後でそれぞれ 19.98%、22.19%、19.43%と20%前後も心拍数を減少させる。この点 Propranolol は9.25%、14.96%、12.66%にすぎない。もちろん投薬前後での心拍数の平均値は、負荷前、直後、3分後ともに1%以下の危険率で有意差をみている。ST 降下度の方は、負荷前、直後は5%以下、3分後は1%以下の危険率で有意差を認めている。

こうしてみると、 β ブロック剤によって心拍数に対する影響がそれぞれ違うことがわかると思う。

V) いわゆる冠拡張剤 (表 1, 2)

Dipyridamole (1日 75 mg-15例)、Prenylamine (1日 90 mg-12例) は他の薬剤と異なり、2~4カ月の長期投薬例について検討した。心拍数には両剤とも影響を与えず、ST 降下度も投薬前に比べて、平均値としてみると少し改善されたように思われるが、有意差を認めていない。Verapamil (1日 240 mg-15例) は2~8週後の成績でみているが、心拍数には影響を与えず、ST 降下度もほとんど改善されない。

以上の成績をもとに、心拍数の減少率によって (1) 心拍数不変、(2) やや減少させる、(3) 減少させる、(4) 著しく減少させるの4段階にわけ、ST 降下度に対し、(1) 不変、(2) やや改善、(3) 改善の3段階にわけると、各薬剤は表3のように分類される。

次に個々の症例についてみると、投薬前に比べて、投薬後に、① ST 降下度が、直後、3分後ともに 0.5 mm 以上改善したもの、② T 陰性、T 二相性が上向き

表 3

心拍数 ST _T →ST	不 変	やや減少	減 少	著しく減少
不 変	Control			
やや改善	Nifedipine Diltiazem Dipyridamole Prenylamine Verapamil			
改 善	Pindolol Carteolol	Alprenolol Indenolol(30 mg) Acebutolol I. D.	Metopronolol Indenolol(90 mg) Propranolol	Timolol

のT波になったもの、③陰性U波の消失をもって改善例とすると、Control群は1例もなく、Nifedipineは15例中1例、Diltiazemやいわゆる冠拡張剤はせいぜい10%までの改善率にすぎず、βブロック剤でもTimololの66.7%を最高に30%台から40%程度であった。Timololは%が一番高いが、服薬して調子がよく、負荷試験でかえってST降下が強くなった例もある。これは負荷時のスピードが速くなったためと考えられる。したがって個々の症例についてみると、負荷試験でもなお問題がのこるが、15ないし20例程度の平均値でみると、大体の傾向が出ると考えられる。

またβブロック剤でも、心拍数に対する影響は薬剤によって異なっていることはすでに述べたが、個々の症例についてみると、βブロック剤に対して心拍数が影響されやすい症例と、受けにくいと思われる症例がある。例えば負荷直後の心拍数減少率をみると、どのβブロック剤を与えても、ほとんど心拍数が減少しない症例もあれば一般にβブロック剤に敏感といってよいのか、どのβブロック剤を与えても心拍数が抑制されている症例もある。

さらに同一症例でみると、縦軸に負荷直後の心拍数を、横軸に負荷直後のST降下度をとる。すると心拍数の減少とST降下度の減少とがよく相関するものもあれば、相関のほとんどみられないものもある。

またPindolol投薬例では、心拍数の減少とST降下度の改善とが平行しないものが多いのに、Timololになると、心拍数とST降下度とがかなりよく相関している。

このように、βブロック剤でも、心拍数に対して影響の強いもの、弱いものがあり、また個体によって敏感なもの、そうでないもの、心拍数とST降下度との間に相関をみるものとそうでないものがあることが、今回の成績からわかり、これをもとにして、どのβブロック剤をどういうときに使えばよいかといったことが考えられるのではないかと思う。

文 献

- 1) 戸山靖一、鈴木恵子：冠動脈硬化症における薬剤選択。肺と心 22：116, 1975.
- 2) Friedberg, C. K.: Some comments and reflections on changing interests and new developments in angina pectoris. Circulation 46：1037, 1972.
- 3) 鈴木恵子、戸山靖一：狭心症治療薬の選び方。

臨床成人病 5：1163, 1975.

- 4) 戸山靖一、鈴木恵子：負荷心電図。診断と治療 63：1444, 1975.

質 疑 討 論

高橋（心臓血管研）同じβブロック剤を使っているが、時期によって有効であったり、無効であったりすることがあるが。

戸山（大阪成人病センター）時期によって生活条件、自律神経の状態が異なることが考えられるので効いたり効かなかったりすることがあると思う。したがってある程度の数の症例についてみる必要がある。

杉本（金沢大）運動負荷前すでにSTが低下している場合、負荷後の絶対量でみるべきか、差をとるべきか。

戸山 その点については問題がある。しかし、戸嶋先生らはリハビリテーションのとき差をとっているし、差をとる方がよいと思う。

高橋 負荷後STが上昇した誘導もあれば、STが下がった誘導もあるときはどちらをとるか。

戸山 今回はST上昇した例すなわち心筋硬塞例は含まれていない。

宮原（札幌医大）STをJから0.04秒後で測ったのと比較しているか。

戸山 STJ点をきめにくいので、ST_{a,0.04}も測定しにくいが一応測って、ST_{s-a,0.04}と比べている。

宮原 βブロック剤の量は幅があり、異なるβブロック剤で同一のpotencyを持つ量というものはなかなか決めにくい。もしpotencyが異なると、成績の出方も違ってくると思うが。

戸山 Propranololについても60mgと120mgという量で検討すべきであろう。しかし一々量を変えてするまでに到っていない。一応各薬剤での基準量によった。Propranololは1日60mg、Alprenololは150mgで比べてみると、心拍数に対する影響に差がみられた。Pindololも1日15mgでは心拍数にほとんど影響しない。しかしこれを30mgにしたらどうかといったことはこれから検討する必要がある。Indenololでは1日30mgと90mgとで比べているが、心拍数に対し差をみている。

関（阪医大）STが水平型に下がっているのとJunc-

tion 型のとくとベクトル心電図で差があるか。

戸山 ST の水平型降下ときはT環がはっきりと変形してくる。

新谷 (昭大) 負荷量は double か single か。

戸山 原則として double である。

新谷 平均値でみて ST 降下が少ないグループがあったと思うし、負荷後の心拍数が少ないものもあるが。

戸山 いわゆる冠拡張薬ではあまり ST 降下のはっきりした症例には与えにくいので平均値は他より小さい。心拍数は負荷直後は大体平均100/分程度である。

なお ST 降下値の分布はある程度下がった症例を集めたため正規分布としてよいようである。

戸嶋 (久留米大) 運動負荷試験の判定にも関係するが、0.5 mm 以上下がった症例をとっているのか。

戸山 0.5 mm 以上の症例と、T波が陰性化した症

例を集めている。

新谷 虚血性の変化は 0.5 mm をとるが、1 mm ぐらいをとる方がよい。

北村 (順天堂大) ニトロールでの反応と、βブロッカーでの反応と意味が違うのではないか。また心拍数、ST 降下の改善ということ運動耐容能の増加とみていいか。負荷試験は1つの反応をみていることは確かであるが、冠循環の具合をみているのか、負荷に対する反応だけをとらえているのかといったことが問題だと思う。

戸山 たしかに何をみているかは問題がある。ただふつう症状を中心にしてみていると客観性、あるいは正確性に問題があり、より客観性のあるものとして心電図の負荷試験をとった。

運動負荷試験の負荷量の定量化に関する研究

宮川 政久*・近藤 美智子*

羽里 信種*・南谷 和利*・北村 和夫*

最近わが国においても心疾患患者に対する運動負荷試験、運動負荷療法及びリハビリテーションについて関心がもたれて来ている。しかし、運動負荷による心機能の評価は種々の方法により行われているが、定量化の点などで多くの問題が含まれ、未だ充分検討されていないのが実情である。一方体力医学の分野における健康者を対象とする心機能の評価の研究は多くみられるが、臨床医学的見地からみると若干無理な点があるように考える。そこでわれわれは年齢、性別、疾患の程度を考慮に入れ、より適確なる負荷量を決定することを試みた。これらの方法により種々の症例に対する至適負荷量が決定されるなら、今後臨床診断、リハビリテーション、予防医学の面に大いに有用であると思われる。

1. a) 健康者及び高血圧症患者の運動負荷による心血管系の反応

運動負荷の方法にはその様式により種々のものがあるが、負荷量の問題を解決するには、負荷の定量化が必要であり、マスターの2段階試験などでは負荷量の点で問題があると考え、トレッドミルを使用し、同時にガス代謝の検討を行った。

【対象及び方法】

20才から69才までの本学教職員及び学生の健康者で、男子50名、女子24名、合計74名である。負荷の方法は強、弱2種の運動負荷法に分類した。すなわち、弱負荷は速度毎時2.5マイル、傾斜10%、強負荷は速度毎時3.5マイル、傾斜15%、運動時間はともに5分間とした。まず弱負荷を行い、終了後30分間の休息の後に

味では、Master の step 法の運動の強さは、7.6 cal/min とするべきであろう。また従来行って来た non-SS の $\dot{V}O_2$ 計算の際の O_2 deficit = O_2 debt なる理解は成立せず、 O_2 debt の算出の臨床的意味は、負荷に対する身体の適合度、fitness の評価に重点が置かれるべきである。

HR を目安にした SS は、特に比較的短時間の負荷の場合、体内での酸素利用、供給のメカニズムに至る完全な SS が得難く、運動による体温上昇の影響などもあり、純生理学的レベルでの検討には耐え得ない質のものといわざるを得ない。

結 論

1. Double Master's Step Test と心拍数等価負荷の $\dot{V}O_2$ は steady state にて Step 法 27.4, Bicycle Ergometer 法 24.3, Treadmill 法 24.7 ml/kg/min であり、Step 法と後二者の間に有意の差を認めた ($P < 0.05$)。

2. Hand Grip 法は $\dot{V}O_2$ 、心拍数に安静時と比べ有意の増大をみないが、 BP_s は dynamic 群と同レベルの増大反応を示し、 BP_D の上昇反応がみられる点でも dynamic 負荷と異質である。

3. PRP と $\dot{V}O_2$ の増加反応の相対的な関係は、dynamic 負荷群の中では Bicycle Ergometer 法が

Hand Grip 法にもっとも近い。

4. Treadmill 法は $\dot{V}O_2$ の増加量に比し、PRP 特に BP_s の反応が低値で、強い筋緊張を伴わない平穩な負荷法であることを示唆した。

5. O_2 debt は O_2 deficit と必ずしも等しくなく、 $\dot{V}O_2$ による労作強度の比較は steady state で行うのが合理的。その意味では Master 法の強さは 7.6 cal/min である。

6. non-steady state 労作の $\dot{V}O_2$ の評価は、負荷条件を充分考慮すべきである。

文 献

- 1) WHO tech. rep. ser. No. 388 : Exercise Tests in Relation to Cardiovascular Function. Geneva, 1968.
- 2) Master, A. M., Oppenheimer, E. T. : A Simple Exercise Tolerance Test for Circulatory Efficiency with Standard Tables for Normal Individuals. Am. J. Med. Sci. 170 : 223, 1929.
- 3) Master, A. M., Oppenheimer, E. T. : Simple Exercise Tolerance Test for Coronary Insufficiency. Ann. Intern. Med. 32 : 842, 1950.
- 4) 芝山秀太郎, 江橋 博 : フィールドワークにおける呼気ガス分析装置の検討. 体力研究 27 : 33, 1974.
- 5) Passmore, R., Durnin, J. V. G. A. : Human Energy Expenditure. Physiol. Rev. 35 : 801, 1955.
- 6) 沼尻, 他 : 労働衛生ハンドブック. 労働科学研究所, 東京, 417, 1962.
- 7) Ford, A. B., Hellerstein, H. K. : Energy Cost of the Master Two-step Test. JAMA. 164 : 1868, 1957.

従来、体育学の理論的な基礎は、少なくとも第2次世界大戦中ぐらまでは、生理学の立場から、殆んどやられていなかったと思います。体育学部は、戦争中までは大学のコースになかったわけです。戦後、大学になりまして、当然体育学の学問的な裏づけが必要になり、私などがそれをやるようになったと思います。

私がやっております対象は、従いまして、正常な人間の運動ということで、ここに参加の皆さんのように、病人とはだいぶ立場が違います。のみならず、正常な運動といっても、若い学生を対象に研究する場合が非常に多いものですから、皆さんとは立場が違ひまして、あるいは話が食い違ふかもしれないと思っております。

しかしながら、運動選手と、正常人と、少し弱い者とは、ある意味では一線に並ぶべきものであって、その違いは質的な違いではなくて、量的な違いであろうと私は思っております。

1人の研究者がそれらを一線に並べられれば非常に仕合わせですけれども、それぞれの人間にはそれぞれの仕事があるものですから、なかなか、病人と、正常人と、運動選手という3つのことを、1人の人では研究できないというのが現状です。

私が内科におりました僅かな時期には、正常な人間がなかなかつかまらないという悩みを持っておりました。東大の生理学教室におりましたときは、運動選手がつかまらないわけで、現在のように運動選手がつかまりやすくなりますと、こんどは病人がつかまらないということになって、これも仕方がないこととあきらめております。従って、いろいろな立場の人が寄り集まって、こういうところでいろいろな知識を持ち寄って、その欠けているところを埋め合わせることは、非常に大事なことだろうと思って伺ったわけです。

きょうお話ししますことは、私のところの研究室の研究をご紹介しようというわけではありません。この研究会がまだ第2回ですから、ごく総論的なお話をいたします。

総論的な話は、ごくあたりまえの知識になりまして、皆さんのように専門の方ですから、私がお話することは特別なことではありませんが、ごくあたりまえのことをもう一べん、運動負荷という限られたテーマについてお話をしてみたいと思うわけです。

私は、運動負荷を専門に研究しているわけではあり

ませんので、むしろ皆さんのほうが専門的にやられているのです。ということは、事実上、皆さんのほうがはるかにニードが高くて、研究をされているのではないかと思うわけです。

運動負荷の重要性ということは、言うまでもないことでありまして、これは、こと人間に関することから個人差がありますし、どういう負荷をかけるかということで、いろいろな組み合わせがありまして、大変むずかしいことです。

ただ、ある目的があれば、その目的に合った負荷がかけられればよろしいということに尽きるわけです。けれども、その目的に合った負荷は何かということは、非常にむずかしい問題です。一長一短があるものですから、それをどういうふうにするかということになります。

負 荷 の 種 類

負荷というものを一般論として考えてみますと、いろいろな立場から分けることができます。1つは、皆さんが主としてやっていらっしゃるような実験室内のテストとフィールド・テストに分けられるわけです。

皆さんのような立場ですと、実験室内のテストのほうが非常にやりやすくて、フィールド・テストは非常にやりにくいということになります。しかしながら、実験室内のテストはかえってやりにくくて、フィールド・テストならやりやすいということもあります。たとえば、実験室内で1時間走らせるということは、かなりむずかしいことですが、フィールドで、グラウンドを1時間走らせることは、それほど困難ではありません。ということで、内容によって実施上の難易がいろいろ違うわけです。

私は体育学部におりますから、グラウンドと体育館がありまして、フィールド・テストをやるのも非常に容易です。しかし、同時に研究室もありますから、ラボラトリー・テストをやるのも非常に容易でありまして、もし、私の現在勤めているところに何らかの特徴があるとすれば、両方が、どちらも比較的容易にできる立場にあることだろうと思っております。それだから、私が現在のところで教えているのだということにも、なるかもしれません。

私は体育学部におりますが、一般の体育の関係者に

としては、むしろフィールド・テストのほうがずっとやりやすく、研究者にとっては、ラボラトリー・テストのほうがやりやすいということで、当然それによって、負荷のかけ方が違ってくるのではないかと思います。

第2番に、ここでは循環器の負荷が研究の対象でありますけれども、負荷一般を考えますと、必ずしも循環器の負荷ばかりではなく、ほかのいろいろな意味の負荷があるだろうということになります。

大まかにいえば、cardio-respiratory の負荷とそれに対するものは、neuro-muscular の負荷であろうということになります。

たとえば歩かせて staxi を調べるのは、歩くという負荷を加えて、cardio-respiratory でなくて、neuromuscular の現象を調べることになるわけですから、必ずしも負荷というときには、cardio-respiratory のものばかりではないだろうと思います。

performance と response

負荷をかけるということは、その結果、人間の反応を調べるということになるわけです。その反応を調べる場合に、生理学的な立場からいいますと、2つのものがあります。1つは response であります。1つは performance であります。

たとえば 100 m を 10.2 秒で走るというのは、performance、すなわち作業の成績であります。多くのフィールド・テストは、たとえば跳ぶとか、かけるとか、走るとかというのは、実は performance を見ておきまして、performance test に属するものです。

実験室内でも、performance test をすることもあります。たとえば、トレッドミルを何分走れるかというのは1つの performance ですが、そればかりでなくて、同時に体の response を見るということも必要で、できれば、performance と response と両方見ておいて、両方間の関係を分析できれば、非常にいいのではないかと思います。

正常人では、performance と response と両方見ることが、われわれの生理学的手段としては、むしろふつうの方法でありまして、両方見ないと本当のことがなかなかわからないのですが、臨床の場合、それがうまくいくかどうかということは、また別な問題です。

しかし生理学的な立場からいいますと、両方見たほうが望ましいということが、一般論として言えると思います。

ただし、performance というのは、精神的な要素がからみやすい。たとえば motivation によって変わるというのが欠点ですから、この欠点を考えないといけないのではないかと思います。

ちょっと余談ですが、運動選手の血液をとりまして、何日か蓄えておきます。そして同じ血液を同じ人に注射したら、performance が高まるかという問題があります。自分の血液ですから、必ずしも doping とは言いきれないし、また、これをチェックできないし、自分の血液だったら、それほど問題にはならないということです。そういうことをやってみますと、motivation が非常に関係しまして、ふつうのテストをしますと、血液を入れた人のほうが記録がよくなってしまいます。ところが、double blind test でやってみますと、どうも差が出ないということになります。

この実験を私の研究室でやってみたのですが、運動選手ですと、500 cc ぐらいの血液をとるのは何でもないことで、そのあとで血圧が少しも下がりません。double blind でやりますと、血液がとられたか、とられないかもわからない。被験者は、両方ともとられたと思ってますが、あるグループでは、針だけ刺してとらないし、あるグループは 500 cc とってしまいます。

Double blind でなければ performance に明らかに差が出ます。とられれば悪くなるし、入れればよくなる。しかし一般に double blind で performance を調べるのはなかなかなかなかむずかしい。従って performance テストの信頼性を高めることは大変むずかしいと思いますけれども、しかし、performance を調べておくことは、1つの指標として、重要なことだろうと思っています。

それでは response を調べれば正確かといいますと、必ずしもそうでもない場合もあります。たとえば、heart rate は日によって変わりますし、環境の温度によっても変わりますから、motivation には関係しないけれども、そのときの状態によって変わりますから、それが信頼できる指標であるというわけにもいかないわけで、私は performance と response の両方をとっておくのが一番いいのではないかと考えています。

エルゴメーターとダイナモメーター

機械の装置の立場からいいますと、よくいわれることは、エルゴメーターとダイナモメーターという2つの装置があります。ダイナモメーターは、筋力を計る装置で、循環器の場合にはお使いにならないと思いますが、エルゴメーターは、これも皆さんよくやっていますように、自転車エルゴメーターが代表的なものです。

トレッドミルはエルゴメーターであるかどうかということは、多少問題があります。といえますのは、エルゴメーターというのは、仕事量が計れるということが、1つの重要なことになるわけです。トレッドミルでは物理的な仕事量が計れないという議論があるわけです。

しかしながら、もしこれを、傾斜をつけて走らせれば、高まりとして仕事量を計れるということもあるので、やはりエルゴメーターに入れてもいいのではないかと思います。

バイシクル・エルゴメーターは、多少神経質な人になりますと、それは車輪が2つないではないかということからサイクル・エルゴメーターという人もあります。また自転車エルゴメーターに取手を付けまして、アーム・エルゴメーターに使っている人もいます。

自転車エルゴメーターの車輪は、inertia fly wheelであることが必要条件でありまして、そういう簡単な装置が、日本ではかなり最近までつくられていなかったようです。従って日本には、自転車エルゴメーターのいいものは殆んどありません。

エルゴメーターにはエレクトロ・マグネティックのもの、電気的なもの、もしくはメカニカルなもの、いろいろありますけれども、生理学の立場からいいますと、なるべく calibration が正確にできることが望ましいものですから、私のところでは、電気的なものよりもメカニカルなものを使っています。

トレッドミルは、私のほうは若い人で運動選手が多いものですから、リハビリテーションのトレッドミルに比べて、かなり大型化せざるを得ないわけです。のみならず、ランニングのスピードがはやくなります。毎分 200 m 以上のかなりはやいスピードが必要です。そののみならず、いくらはやくしてもバテない、バテ

ないうちに、はやすぎて走れなくなるものですから、長距離選手をテストする場合には、傾斜をつけざるを得ないので、傾斜とスピードが変えられるようにしております。ただし、そういうはやいランニングを走らせると、慣れない被験者では非常にやりにくいものですから、中高年を調べるときには、私のほうでは、歩行で角度をだんだん上げていくようなテストをしております。

それから、あとでまた重複するかもしれませんが、競輪の選手は、自転車エルゴメーターはいくらもこぐのですけれども、トレッドミルはなかなか走ってくれないということがあります。同じことで、ランニングの選手は、トレッドミルはいくらでも走ってくれるけれども、自転車はすぐいやになってやめてしまうということがありまして、そういう慣れというものが、非常に重要だと思えます。従って、中高年を対象とする場合には、慣れという意味からいっても、歩かすほうがよろしいのではないかと思います。

それから、踏台を上がり下がりするというのも、1つのエルゴメーター、すなわちステッピング・エルゴメーターです。いろいろなものがありまして、高さを変えられるものもあります。

maximal load と submaximal load

負荷を考える場合に問題になりますのは、maximal の負荷と submaximal の負荷のことです。

実は、この maximal の負荷というときには、必ずしも定義がはっきりしないところがありまして、たとえば最大酸素摂取量に相当する負荷が maximal の負荷で、それ以上は super maximal の負荷だという表現が、なきにしもあらずです。

そうではなくて、最大酸素摂取量を標準にしないで、exhaustion に陥るような負荷が maximal、そうでない負荷、別のことばでいえば、steady state が成立するような負荷は、submaximal であるという言い方もあると思いますが、そのへんのところは、どうもはっきりしないところがあります。というのは、最大酸素摂取量のレベルで、実際 steady に運動ができるかということ、そうではありません。

たとえば、マラソンを2時間走るといえるときに、もし理論的にいえば、最大酸素摂取量のレベルで2時間

走るのが一番いいのですが, そんなことは実際にはできません. ちょっとオーバー・ペースになれば, 引っくり返ってしまいます.

従って, 最大酸素摂取量の80%であるとか, 85%のレベルで続けて走るということが, 実際の場合の maximal の負荷であるという考え方も確かに成り立ちまして, そのへんの maximal, submaximal という考え方が, はっきりしないところがあります.

しかし, steady state が成立するような状態といえますのは, 少なくとも酸素摂取量が一定の状態, 無限に近く続くような状態ということを考えざるを得ないので, そのへんのところが, 1つの限界になることは間違いないことです. そんなことを考えながら, 負荷をかける場合の, いろいろ具体的な問題がありますので, 少しデータを見てみます.

負荷における種々の指標

図1は最大酸素摂取量ですけれども, Saltin の運動種目別の最大酸素摂取量を示したものです.

循環系の負荷の場合, 生理学的に見まして, 最も信用のおけるメジャーは最大酸素摂取量であるというの

が, 生理学者の一致した考え方です.

その最大酸素摂取量は, 当然, 運動種目別に違っております. しかしながら, 国の特徴がありまして, 図1を見ますと, 最大酸素摂取量が多いのは, スキーのクロスカントリーであります. これはスウェーデンですから, スウェーデンの特徴が出ております. 日本ですと, おそらくマラソン選手が一番大きい値が出るわけです. 毎分 5 l~6 l ぐらいというのは, かなり大きな値です.

体重当りにしますと, 80 ml ぐらいが, まずトップ・レベルです. 少なくとも, 体重当り 100 ml/kg/min という値は報告されておられませんから, もしそういう値が出れば, こんどは計算がおかしいのではないかということを考えざるを得ないわけです.

また図1からスピード・スケートの最大酸素摂取量が多いが, 日本のクロスカントリーのスキーやスピード・スケートはこんなに多くありません. untrained が, トレッドミルで計りますと, 40~50 ml/kg/min ぐらいで, 確かに, 持久性の運動種目の選手は, 最大酸素摂取量が大きいことがわかります.

このことは, 逆にいうと最大酸素摂取量が, 持久性の指標としてかなり重要な意味をもっているという, 一つの間接的な証明にもなります.

図2は Saltin の女子の例です. 女子の場合も, クロスカントリーのスキーの選手が最大酸素摂取量が多いということです. 女子の場合には, 体重当り30~40 ml ぐらいの値がふつうです. 体重当りに直しますと, 日本人も欧米人も, 大体同じよう数値になります.

図3は, 私の研究室の例ですが, 最大酸素摂取量を横軸にとりまして, 体重当りの最大酸素摂取量を縦軸にとります. そういたしますと, 最大酸素摂取量が多いのは, ランニングの選手ではなくて投擲の選手です.

体重当りにしますと, 順天堂の長距離選手は 70 ml ぐらいで断然大きくなりまして, 投擲の選手は 50 ml で, あまり大きくないわけです.

そういうこともありまして, 現在では, 絶対値を見ないで, 体重当りで最大酸素摂取量を評価するというのが, 生理学的な常識です. もし絶対値を見ますと, 子供より大人のほうが必ず大きな値が出ます.

図4は, bed rest の実験を持ってきました. やは

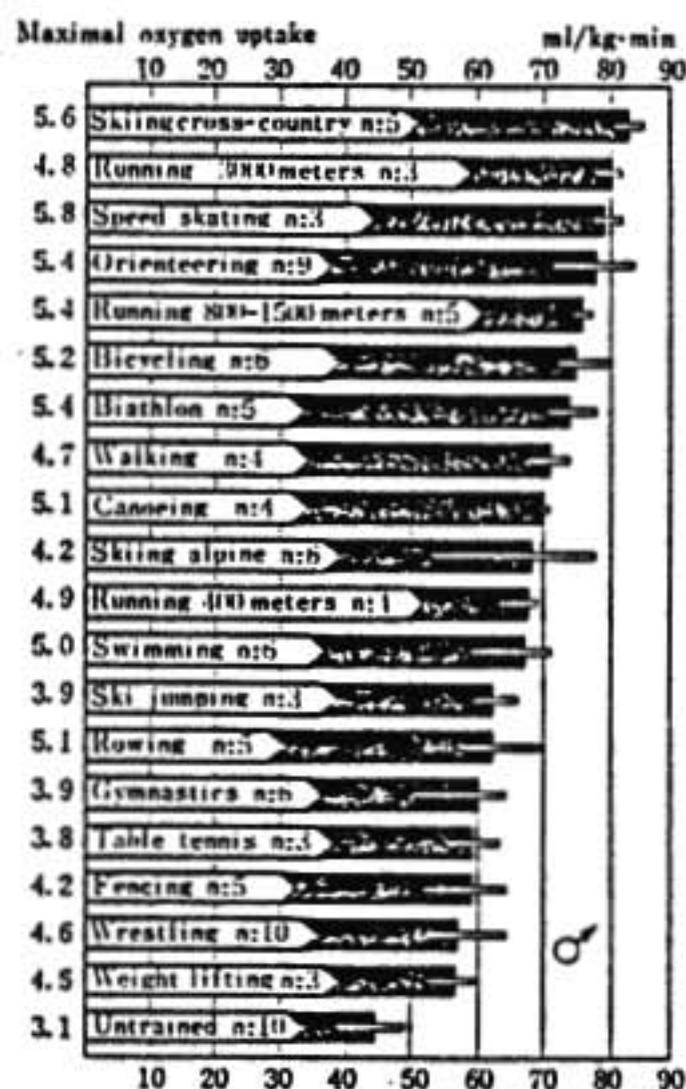


図1 スポーツ種目別競技者の最大酸素摂取量(男子)

Saltin, B. and Åstrand, P. -O. : Maximal oxygen uptake in athletes. J. Appl. Physiol. 23, 353-358, 1967.

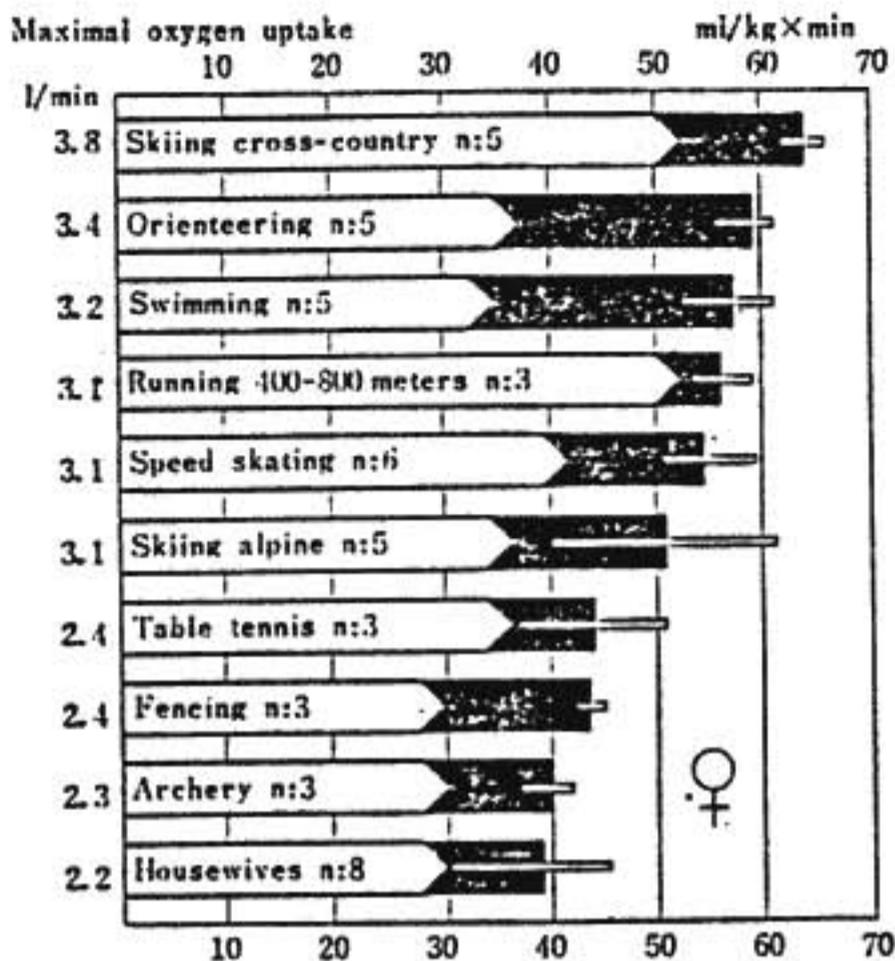


図2 スポーツ種目別競技者の最大酸素摂取量(女子)
出典図1と同じ

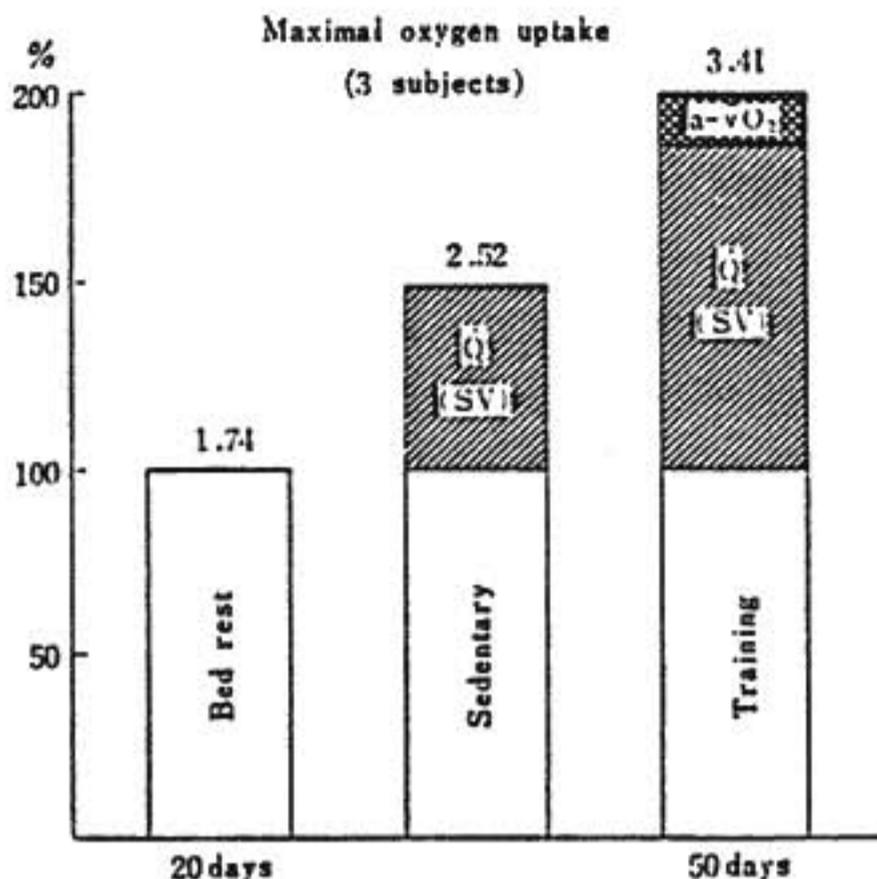


図4 Bed rest 後の最大酸素摂取量を100とした場合の sedentary の生活およびトレーニング後の最大酸素摂取量とその増加の因子

Saltin, B. et al. : Response to exercise after bed rest and after training. *Circulation* 38, Suppl. 7, 1968. より作成

最大酸素摂取量が、具体活動に意味をもっているというデータです。トレーニングによって大きくなっているのは何かといいますと、cardiac output のみならず、A-V O₂ 差も関係があることを示しているわけです。

最大酸素摂取量には当然 \dot{Q}_{max} が問題になりますが、安静状態の \dot{Q} はあまり問題になりません。 \dot{Q} の測定にカテーテルを使うわけにはいきませんので、ふつうわれわれのほうは、CO₂ の再呼吸法を使っております。

図5はステップ・テストです。マスターのステップテストはよく臨床では使いますが、ここに示したのはハーバード・ステップ・テストです。

ハーバード・ステップ・テストといいますが、20インチの踏台に1分間に30回のテンポで5分間上がり下がりしまして、そのあとの脈の回復を、fitness index として、指数化したものであります。

このテストの特徴は heart rate response をメジャーとして用いているということです。スポーツ種目別のスコアを見ますと、ハーバード・ステップ・テストというのは、かなり意味があることがわかります。陸上競技が160点という値が出ます。

ボクシングの軽量級はやはり160点ぐらいで、こういう選手は、cardio-respiratory fitness があるに違い

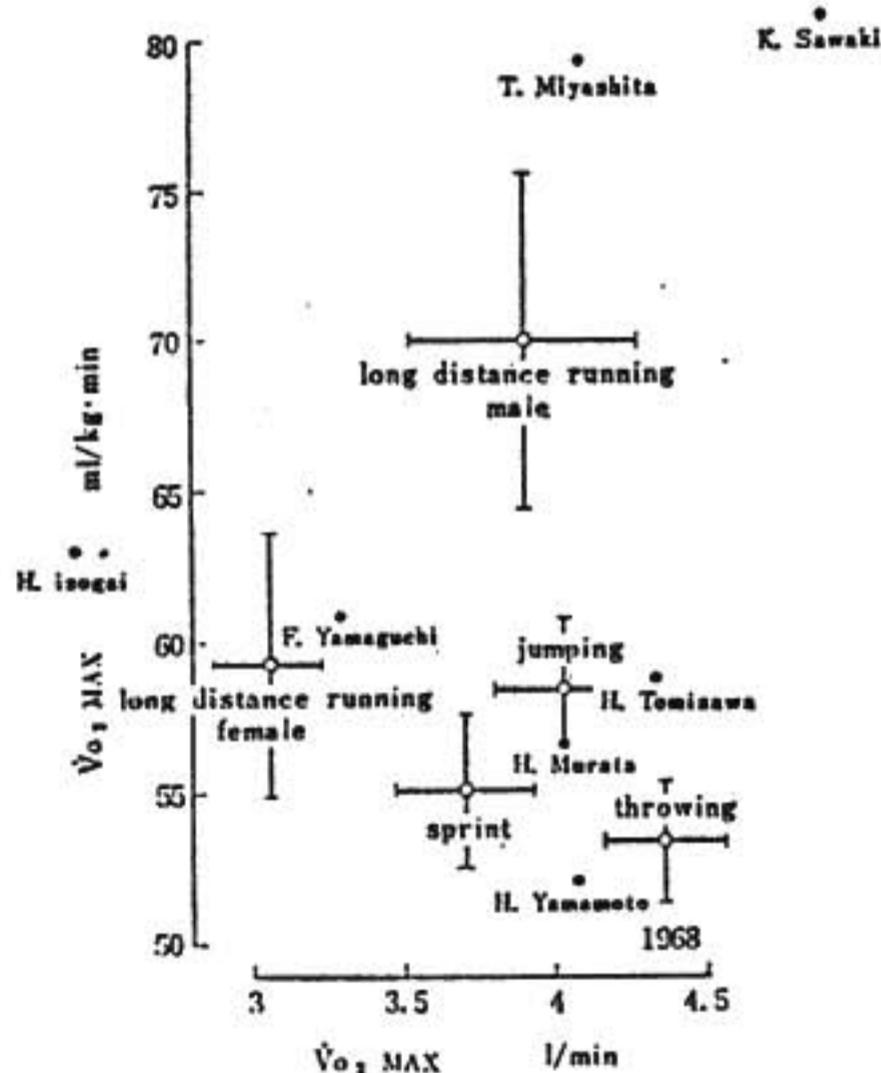


図3 陸上競技選手の種目別最大酸素摂取量と体重当たり最大酸素摂取量(順天堂大学運動生理学研究室)

り Saltin のデータですけれども、健康な人間を長い間ベッドに寝かしておくとうどうなるかということとして、最大酸素摂取量が 1.74 l/min に減ってしまうということを示しています。あとで50日間トレーニングしますと、3.41 l/min まで大きくなるということです。

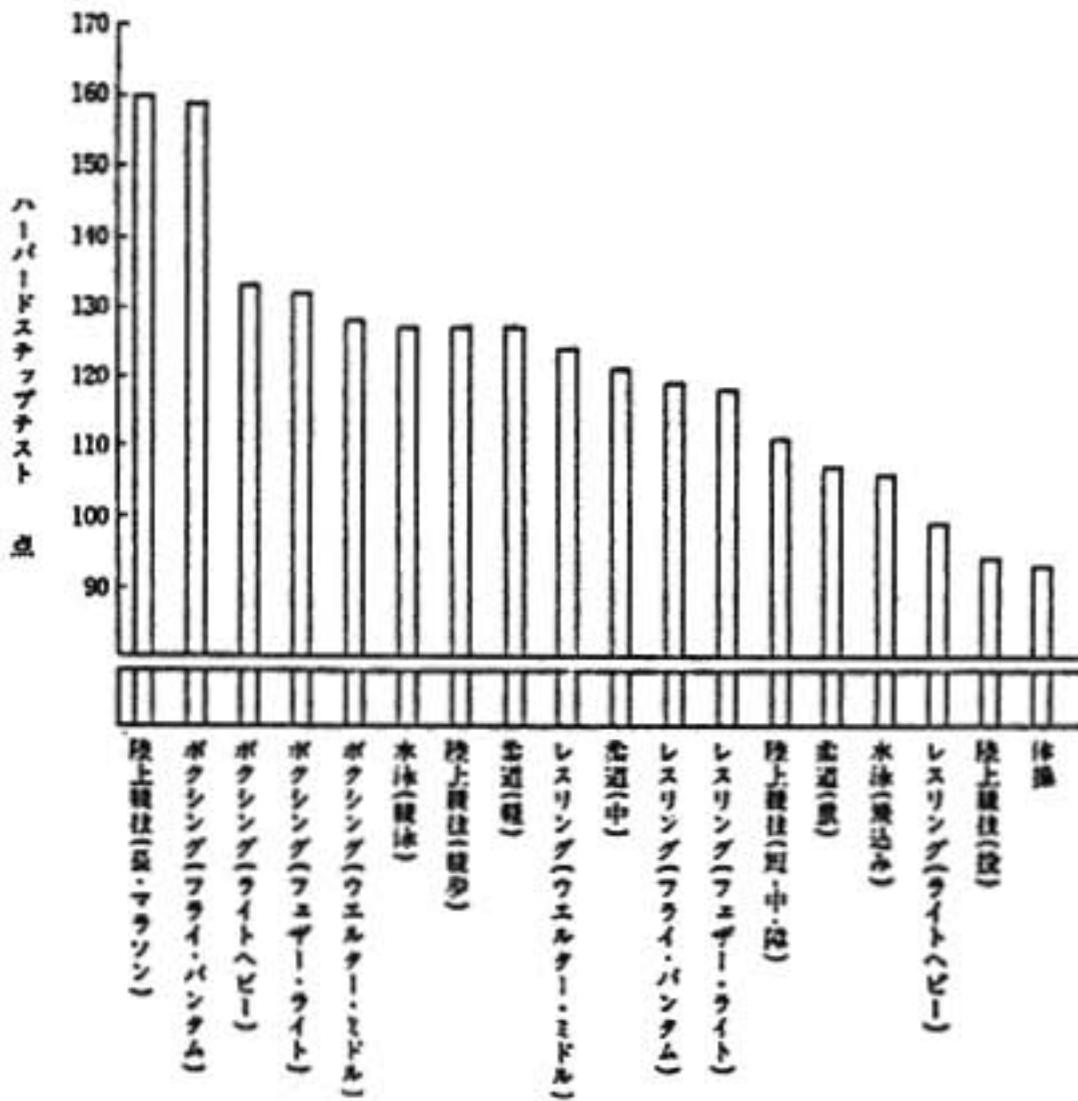


図5 スポーツ種目別競技者のハーバードテスト得点
日本体育協会：東京オリンピックスポーツ科学研究報告，1965，
より作成。

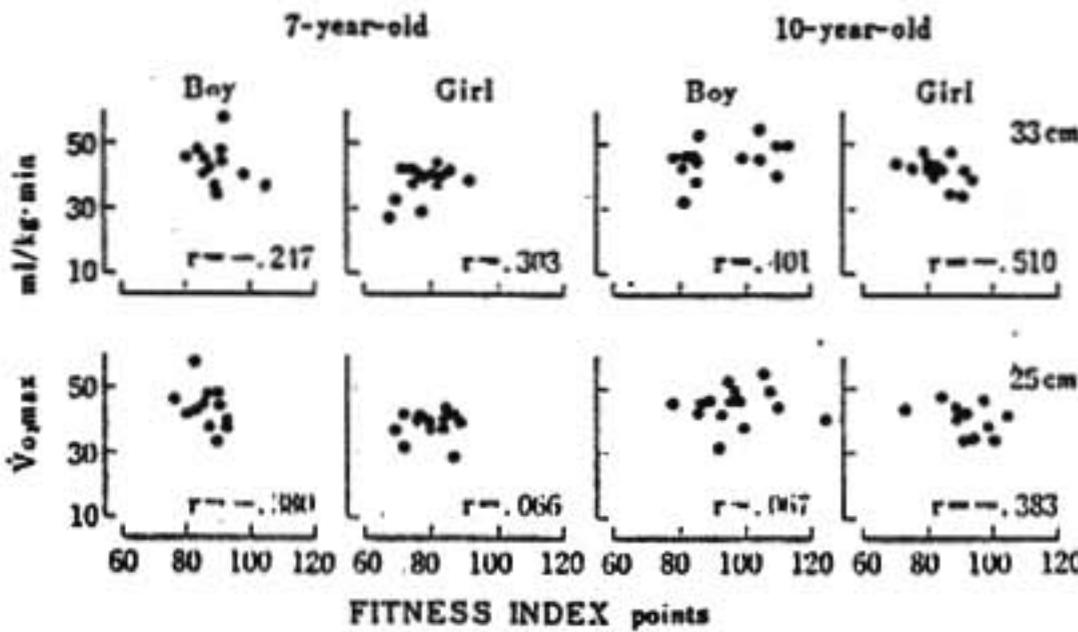


図6 7歳および10歳の児童のステップテストの得点と最大酸素
摂取量および体重当たり最大酸素摂取との関係
石河利寛, 形本静夫, 吉田敬義：ステップテスト時の心拍応答に
よる若年者の持久性評価の可能性について, 体育科学 2: 42-51,
1974.

ないということになります。

それに対して体操が、あまりスコアが高くないということは、そういうものが必要ではないということになります。

さらにスコアが小さいのは、ここに示してありませんけれども、射撃、ヨット、乗馬の騎手です。乗馬は、馬の endurance fitness が非常に重要なんですけ

れども、騎手のほうは、あまり重要ではありません (笑声)。

そういうわけで、いまのように一定の踏台を上がり下がりして、fitness index を出すということは、競技選手に対して非常に重要です。図6は子供のデータです。対象は7才と10才で、高さを少し低くしまして、25 cm と 33 cm の踏台の高さにして、実施しました。しかし、どうも最大酸素摂取量と踏台テストの記録の関係について有意の相関係数が得られないわけです。従って、こういうテストを子供にやっても意味がないのです。ステップ・テストを、少なくとも脈の反応で見る限りにおいて、正常人もしくは強い人間にやる分にはいいのですが、子供にやっても意味がないということです。

老人に実施してみますと、やっぱりだめです。老人は、ご存じのとおり最大心拍数が低いということ、それから、心拍数の response が遅いものですから、3分や5分間テストをやっても、heart rate は上がらないわけです。上がらないから、結果的に、老人は持久力がないにもかかわらず、非常によい値が出てしまって、老人には適用できないわけです。

図7はマラソンの成績です。2時間10分～40分のマラソンの成績と、環境の温度の関係ですけれども、環境の温度と performance の成績は、かなり関係があることを示しています。

この程度の温度変化でも、マラソンという performance に影響しますから、少なくとも、競技者について performance を見るということは、かなり信頼性が高いということ

にもなるだろうと思います。と同時に、ある温度以上では、performance が影響を受けるということも、このような図からよくわかります。

図8は heart volume ですが、heart volume が、cardio-respiratory の function の指標になるかどうかという問題があります。運動選手が、種目によってかなり heart volume に差がありますが、同時に同じ

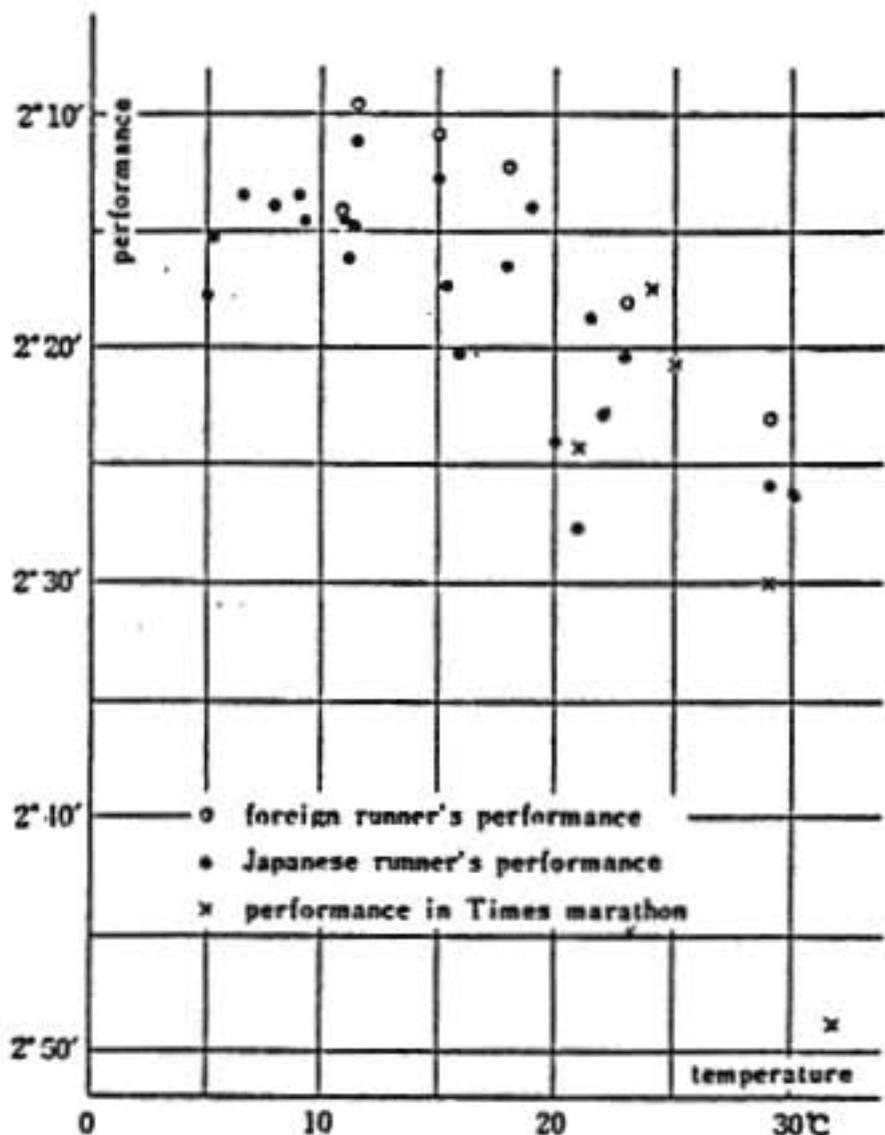


図7 気温とマラソンの記録との関係

猪飼道夫, 加賀谷照彦: 気温とマラソン記録との関係. 体育の科学 19: 540-544, 1969.

種目でも個人差が大きいという事実があります。自転車選手は、非常に heart volume が大きく、一般の人間のほうが小さいといわれておりますけれども、一般の人間の中でも、heart volume の大きいものは、プロの自転車選手と同じくらいのものであります。こういう形態学的なものは、あまりいい指標ではないだ

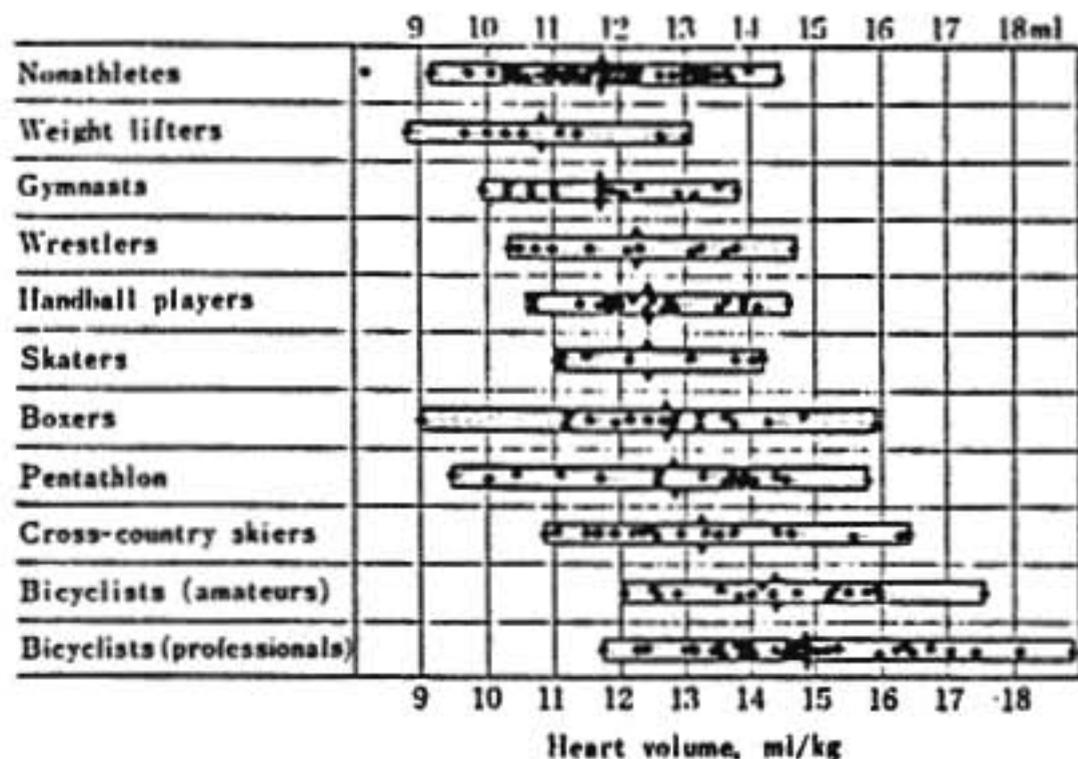


図8 スポーツ種目別競技者の体重当たりの心容積

Roskamm, H.: Optimum patterns of exercise for healthy adult. Canad. Med. Ass. J. 96: 895-899, 1967.

ろうと思います。

フライブルグの Reindell が、レントゲン学者だったものですから、こういうものを盛んに勧めたわけですが、生理学者は、あまりいい指標だと必ずしも考えていないわけです。

負荷の表わし方 (絶対値と相対値)

負荷の表わし方をどうするかというときに、絶対値で表わすという方法がまず考えられます。図9は Margaria の1933年の古い論文から引用したものです。負荷の強さを oxygen debt または oxygen intake で横軸に表わしています。乳酸は、負荷の低いところでは、血中に増えてまいりません。oxygen debt が、5l 以下では、血中の乳酸が増えてこない。それを超えますと、直線的に増えてくる。別のことばでいいますと、intake が 3l を超えるまで血中乳酸が増えないという成績が、Margaria の論文にあります。

しかしながら、すぐわかりますとおり、oxygen debt の最大の値が 5l の人もありますし、15l の人もありますから、絶対値で表わすことは、必ずしもいい表わし方とは言えないわけです。

また intake が 3l で maximum の人もあります。あるいは人によっては、3l が super maximum の人もありますから、こういう表わし方が、必ずしも一義的な関係になるかという、かなり問題であります。ある1人のデータならば、これでよろしいけれども、

一般論としては、こういう表わし方は、成り立たないものですから、だんだんこういう絶対的な表わし方をする研究論文が、減ってきたように思います。

図10は Knuttgen が、負荷の強さを最大酸素摂取量のパーセントで示したものです。血液の乳酸は、大体、最大酸素摂取量の50~60%を超えてから増えます。それまでは増えないという表わし方になってまいりました。この論文は1972年で、前の Margaria は1933年ですから、40年ぐらゐの間が変わって来ました。最近では、生理学の仲間は、大体、負荷の強さを表わすのに、最大酸素摂取量何%であるかという表わし方をするわけです。

そう言いますと、臨床の方は、一体、最大

循環器負荷研究会 記録

第2回：昭和51年1月31日 於：エーザイホール

7. Frank 誘導運動負荷心電図の意義 東京大学 村山正博 (2035)
8. Master 負荷試験による薬剤の効果判定 大阪成人病
センター 戸山靖一 (2039)
ほか
9. 運動負荷試験の負荷量の定量化に関する研究... 順天堂大学 宮川政久 (2043)
ほか
10. 運動負荷法の比較—体酸素消費量と
循環系負荷量 東京大学 紅露恒男 (2047)
ほか