

日本人中高年者の運動能と運動処方 のための基礎的研究

東京医科大学 岩根久夫
(共同研究者) 同 藤波襄二
順天堂大学 南谷利和
東京学芸大学 渡辺雅之

Study on the Exercise Tolerance in Healthy Japanese Adults and Its Application to Exercise Prescriptions

by

Hisao Iwane and Joji Fujinami

Tokyo Medical College

Toshikazu Minamidani

Juntendo University

Masayuki Watanabe

Tokyo University of Arts and Sciences

ABSTRACT

The object of this study should be to establish the basis of the exercise prescription for the middle aged person through the exercise tolerance and the regression equation of the maximal heart rate with aging in healthy Japanese adults.

142 carefully selected healthy adults underwent symptome-limited maximal exercise test by means of bicycle ergometer and maximal heart rate and endurance time were investigated. ECG, blood pressure and heart rate were observed during exercise and recovery. In our study healthy adults were carefully selected and the endpoint of maximal exercise test were also carefully determined. Because both the selection of the subjects and determination of the endpoint were very important factors to obtain standard data

of the exercise tolerance in healthy Japanese adults.

Results are as follows.

1. Maximal heart rate is inversely correlated to age.

The regression equation in male:

$$y=203.4-0.71 \times \text{age min.}$$

The regression equation in female:

$$y=203.3-0.83 \times \text{age min.}$$

The constants in these regression equations are slightly lower than those reported by Bruce, Lester and Sheffiled in U.S.A.

2. Endurance time is inversely correlated to age. The regression equation is obtained as follows.

Male: $y=18.83-0.15 \times \text{age min.}$

Female: $y=16.24-0.10 \times \text{age min.}$

The gradual shortening of endurance time depending on age may result from the reducing of max. $\dot{V}O_2$ with aging. With the real observed endurance time, regression equation may be applicable reversely to calculating the estimated age—"Standard Aerobic Age"—as an index for endurance.

3. In 108 healthy men, their heart rates were almost equal, responding to the equal work loads at the submaximal level without distinction of age except the 60s. Accordingly, % MHR (percent of maximal heart rate) gradually increased with aging for the equal work loads. It means the decrease of reserve of aerobic capacity with aging.

In Japan, there has been a few reports on the regression equation of the maximal heart rate and endurance time in healthy Japanese adults; especially there are very few reports on maximal exercise test in which subjects as healthy adults are carefully selected. Therefore results of this study have a great value of the practical application for the exercise examination and prescription for Japanese adults, and also have a great deal of social significance now in Japan.

要 旨

日本人健常者の加齢による運動能の変化を検討することにより、中高年者の運動訓練のための運動処方基準設定を行うことを目的とする。

自転車エルゴメータによる最高運動負荷試験を行い、健常者の運動能を検討するとともに、運動強度による心電図、血圧、心拍数の反応を各年代にわたって検討し、日本人健常者の年齢別最高心拍数の回帰式を作成し、各年齢の予測最高心拍数表を作った。

また、われわれのプロトコールによる各年齢層の運動持続時間（運動耐容能）の回帰式を作り、年齢別の運動持続時間表を作成し、運動能評価の基準とした。

この研究を行うに当たって、“健常者”の条件を出来得る限り厳重にし、かつ亦“最高”運動負荷の判断も厳格にし、健常日本人の運動能の基準となるべく心掛けた。

これにより、従来外国人の基礎データや、プロトコールにたよっていた運動能の評価や運動処方の基準を、日本人を対象とした基礎データにより評価することが出来るようになると思われる。この点に、本研究の独創性と社会性があるものと考えられる。

緒 言

近年のジョギング・ブームは止むところを知らず、ジョギング人口は増す一方である。

また、更にフルマラソンに挑戦する一般中高年者も急増し、特に秋から冬にかけては、日本中毎日何処かでマラソン大会が行われているといっても過言ではない程である。この傾向は更に過熱し、遂には100キロマラソンあるいはトライアスロンなど過激な長距離競技にまで発展し、体力の限界に挑戦する人々が多くなって来た。

しかし、本来、ジョギングが盛んとなったの

は、特に中高年者の健康増進あるいは疾病予防が目的とされる場合が多いと思う。しかるに、一方では運動による急死などの報告もあり、この問題は大きな社会問題でもあり、井関、黒田、宇佐見らの先のデサントスポーツ科学財団の委託研究のテーマでもあった。

いずれにしても、安全かつ健康増進や疾病予防に効果的な運動とは如何なるものか？の問題が提起され、正しい運動処方とは如何なるものかが今日問われているのである。これに答えるためには、まず、健常日本人の運動能についての正しい基礎データが心要となると考えられる。

一方、我国においても、近年脳卒中が減少するとともに心疾患患者の増加が目立つようになり、これらの心疾患患者の重症度判定と社会復帰に至る心臓リハビリテーションならびに二次予防の観点からも心臓病患者の運動療法の要求が高まり、運動負荷心臓病学 (Exercise Cardiology) としての一分野が確立された。

このように、健康人の疾病予防と心疾患患者の心リハビリテーションにおける適切な運動処方が要求されるようになって来た。

従来、既にこの要求が切実であった欧米諸国においては、我国より一足早くこの問題に手をつけ、運動処方を実践に移しているのは、健常人の多段階運動負荷プロトコールによる心拍、血圧、Rate Pressure Product (RPP)、運動持続時間 (Endurance Time)、最大酸素消費量 ($\dot{V}O_2 \max$) などの基準が確立されており、これを基準に、健康人の健康増進および疾病予防のための運動処方ならびに心疾患患者の運動処方が可能となったのである。

しかるに我国においては、まだ健康中高年者の最高運動負荷テストにおけるこれらパラメータの加齢による変動ならびに基準値に関するまとまった報告を見ていない。したがって、従来欧米人の

プロトコールならびにこれによるパラメータの値を利用している。

しかし、Bruce などは、Seattle の米国人と台湾の中国人の運動負荷試験の結果を比較し、人種間に差があることを述べ、米国人の基準をそのまま他の人種に適用出来るか疑問視している。

このような点から、我々は、健康日本人、厳密に心血管系異常を除外した健康人を対象として最高負荷試験 (Symptome-limited maximal exercise test) を行い、運動持続時間 (運動耐容能) ならびに運動強度と各種パラメータの変化を各年齢別に検討し、健康日本人の年齢別予測最高心拍数の回帰直線を作成し、健康日本人の年齢別予測最高心拍数表を作成するとともに、年齢別運動持続時間の回帰直線と、その年齢別の運動持続時間表を作成し、運動耐容能判定の基準とした。

これらのデータに基づいて、合理的な運動能の判定、運動訓練、運動処方が始めて可能となるものと考えられる。また、心疾患患者においては、健康者のデータとの対比において、その重症度の判定、心リハビリテーションの運動処方基礎となり得るものと思う。

研究 方法

1. 対 象

対象は、都内某スポーツクラブの20歳から69歳までの会員である。

我々は過去9年間に、ジョギングによる亜最大負荷時の検査約1,000名、自転車エルゴメータによる最高負荷試験500名の検査を行ったが、今回は最高負荷試験の被検者を対象とした。

また、我々は、健康人用のプロトコール“H”と心疾患患者用プロトコール“P”の2種類のプロトコールを用いているが、今回は、健康人用プロトコール“H”を行ったものだけを選んだ。

これらの被検者は、積極的に運動トレーニングを行う前に検査を行うことを原則とし、トレーニ

ング効果の影響を防止した。

被検者は、運動負荷試験を行う前に、全員必ず我々の研究グループの心臓専門医の診察を受け、更に問診、検尿、採血 (生液生化学的検査)、胸部レントゲン写真、肺機能検査、眼底検査を受け、更に安静時心電図検査を行い、心疾患その他の身体的異常をあらかじめチェックした。

その結果、(1) 現在心疾患を有する者、(2) 心疾患の既往を有する者、(3) 安静時の血圧が収縮期160mmHg、拡張期95mmHgのいずれかを越える者、(4) 胸部 X 線写真で心拡大を認める (心胸廓比50%以上) 者、(5) 安静時心電図に異常を認める者たちを対象から除外し、厳密に健康者を選んだ。

また、被検者の身体的活動レベルを一定にするため、現役の運動選手、長期間トレーニングを行っている者、および入会後長期間を経過した後に検査を行った者たちは、運動耐容能の検討に際し訓練による影響が入るので除外した。

以上の条件を満たす健康人は合計242名であった。しかしこのうち、運動負荷プロトコールを一部変更したり、最高負荷が十分かかったと判断出来ない者などを更に除外すると、189名が健康対象者として厳選された。すなわち、男性135名、女性54名である。

更に、これらの健康者のうち、最高運動負荷試験で、虚血性 ST 下降と考えられる horizontal ST depression が認められた者18名、境界的变化としての upsloping ST depression を示す者29名であった。これら最高負荷試験で、多少なりとも ST の変化が生じた者を更に除外すると、男性108名、女性34名の計142名が残った。これらの例は、あらゆる点から厳密に健康者といえる者であり、各種パラメータの基準値設定のために用いた。

なお、自転車エルゴメータ試験においては、外的運動量は一定の $\dot{V}O_2$ を ml/min にて与えるこ

とが可能であるが、体重の違いによって 1kg の $\dot{V}O_2$ すなわち ml/kg/min は異なる。したがって、各年代別の運動能の変化を確かめる場合に、この体重差の点を考慮しなければならない。よっ

て、これらの対象の各年代間で体重差がないか否かを調べたところ、男性、女性ともにそれぞれ年代間に有意の差は認められなかった (表 1)。

表 1 Body weight of study population by decade

Age (years)	20 ~ 29	30 ~ 39	40 ~ 49	50 ~ 59	60 ~ 69
Male mean \pm S.D. (kg)	65.3 \pm 11.3	67.8 \pm 9.2	63.6 \pm 8.9	66.8 \pm 12.1	65.8 \pm 13.3●
Female mean \pm S.D. (kg)	51.3 \pm 4.8	50.5 \pm 5.5	55.2 \pm 5.9	61.0 \pm 4.2	59.2 \pm 4.8●

● No statistical significance between each decade

※ Statistical significance between male and female $p < 0.001$

以上、慎重に選ばれた健常者の年齢分布は、男性では図 1 のように平均年齢 42.5 ± 10.2 歳であり、40歳を中心とする正規分布を示す。

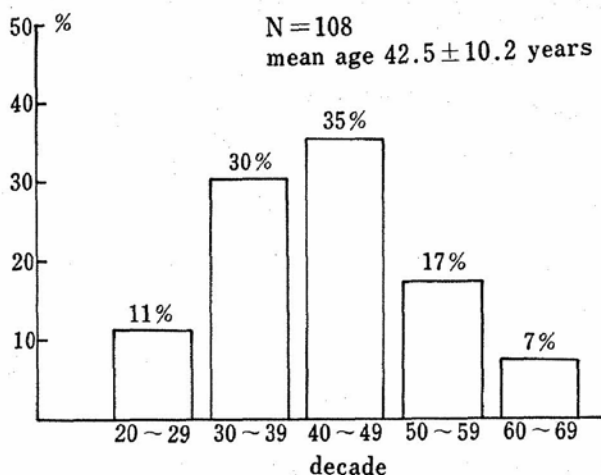


図 1 Age distribution of normal ST responders in male subjects

2. 方 法

全例、前述の医学的諸検査を受けた後、マスター二重負荷試験、ジョギングによる亜最大負荷試験、更に自転車エルゴメータによる最高負荷試験の 3 種類の運動負荷試験を行い、比較検討したが、今回は、自転車エルゴメータによる最高負荷試験についてだけ報告する。

(i) 運動負荷プロトコール

今回の対象者のプロトコールは、我々の用いているプロトコール H であり、男性は 50watt (300 kpm/min) 4 分間から始まり、次いで 100watt 6 分間、その後は 6 分間隔で 50watt ずつ負荷量を上げる多段階負荷試験を用いた。

女性の場合は 30watt (180kpm/min) 4 分間から始まり、その後 50watt 6 分間、その後は 6 分間隔に 50watt ずつ負荷量を上げる (図 2)。

(ii) 負荷終了点

Symptome-limited maximal exercise の方法に従い、被検者の負荷終了の要求により、運動負荷を終了した。

ただし、たとえ無症状でも、客観的に収縮期血圧が 250mmHg 以上の場合、運動負荷を持続するにもかかわらず心拍数および収縮期血圧が連続的に低下する場合、心室性期外収縮が頻発する場合には、これを限界と考えて負荷を終了した。

(iii) 心 電 図

心電図は、C・C_s 誘導 (V_s-V_{sR} 双極誘導) を用い、テレメータにより、運動前、運動中および運動終了後、最低 10 分間から時には 20 分間連続監

Method

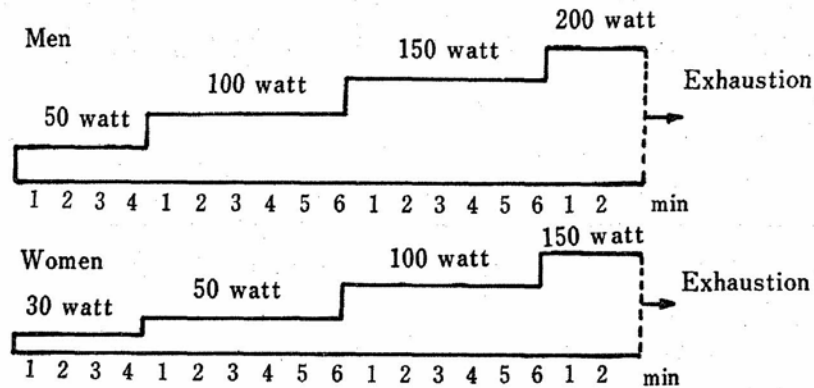


図2 Symptom-limited maximal bicycle ergometer test

ECG

telemetering monitoring (CC₃ lead)
recorded every 1 minute

BP

recorded every 1 minute

視し、かつ1分ごとに記録を行った。

心電図のSTの判定は、J点より0.08秒で、ST下降が1mm以上、その型が水平または下向きの場合を、虚血性ST下降(ST₁dep)とした。また、同じ点で1mm以上のupsloping depressionを示すもの(ST_Udep)は、borderline caseとした。

(iv) 心拍数・血圧

心拍数は、心電図のRR間隔から求めた。また、血圧は、水銀血圧計を用い、全経過を通じ、心電図記録と同時に1分ごとに測定した。

(v) RPP

心筋酸素消費量の指標としてのRate Pressure Product (RPP)は、心拍数と収縮期血圧の積として求めた。

(vi) 自転車エルゴメータ

Siemens Elema, Schönander 380A 電動式自転車エルゴメータを用いた。

研究結果

1. 年齢別最高心拍数

運動負荷においてもSTの変化を示さなかつ

た健常人男性108名の最高心拍数(1分間)は、20代で184.2±9.3, 30代で176.7±9.2, 40代で174.1±3.9, 50代で164.8±15.2, 60代で156.9±11.9であり、年齢が高くなると、最高心拍数の減少する傾向が明らかである。

図3は、最高心拍数を縦軸に、年齢を横軸にとり、年齢と最高心拍数の相関関係をみたものであるが、 $r = -0.52$, $p < 0.001$ で有意な逆相関を示し、 $y = 203.4 - 0.71 \times \text{年齢} \pm 14/\text{min}$ の回帰式が得られた。

一方、女性の場合、各年代の平均最高心拍数は、20代で178.3±13.7, 30代で176.1±9.4, 40代で165.3±12.3, 50代で173.0±24.0, 60代では137.5±10.6と、50代を除き、男性と同様年齢が高くなると最高心拍数の減少する傾向がみられた。

図4は、女性における最高心拍数と年齢との相関を求めたものである。

これは、 $r = -0.57$, $p < 0.001$ で年齢と最高心拍数は逆相関を示し、各年齢における予測最高心拍数の回帰式 $y = 203.3 - 0.83 \times \text{年齢} \pm 15/\text{min}$ が得られた。

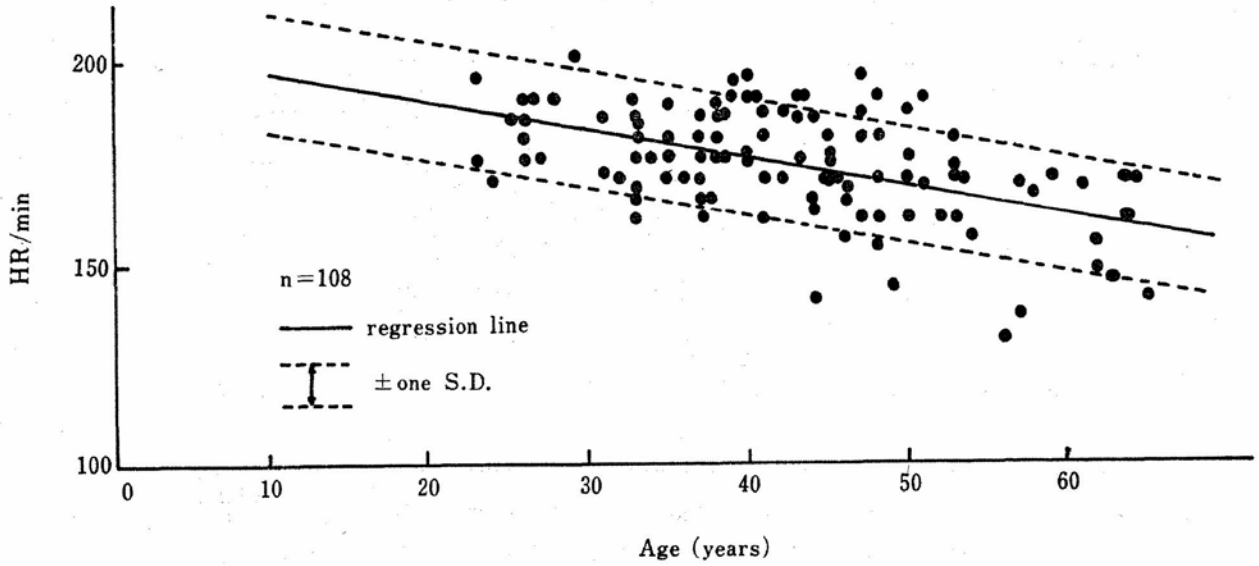


図3 Maximal heart rate of healthy Japanese men on bicycle exercise test
 regression equation : $y = 203.4 - 0.71 \cdot \text{age}$ $r = -0.52$
 d.f. = 106 $p < 0.001$ one S.D. = $\pm 14/\text{min}$

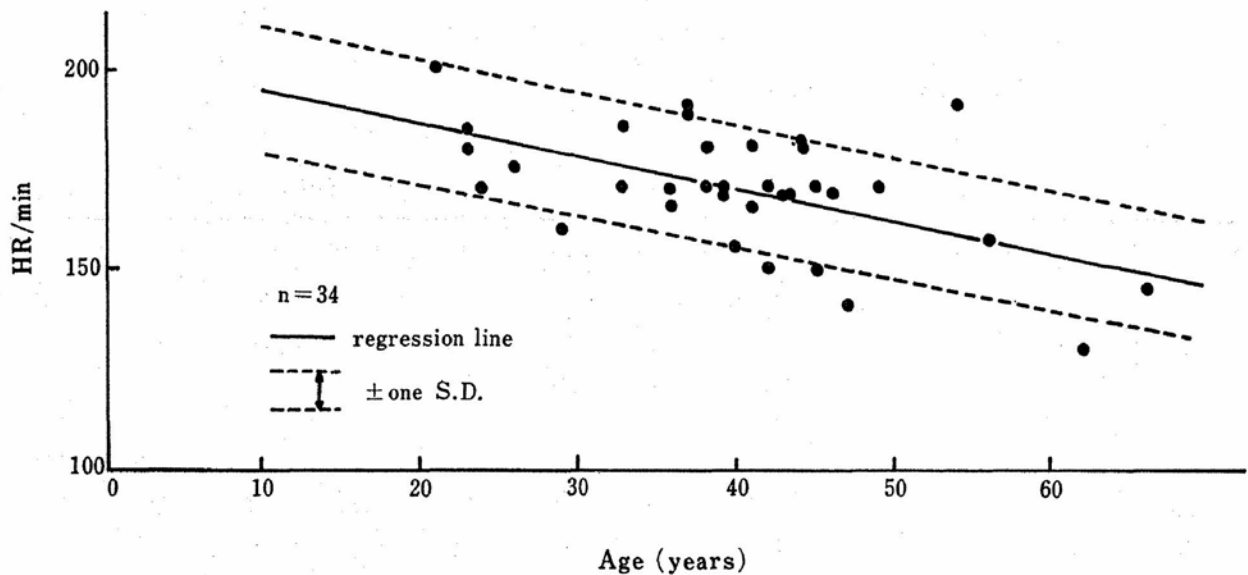


図4 Maximal heart rate of healthy Japanese Women on bicycle exercise test
 regression equation : $y = 203.3 - 0.83 \cdot \text{age}$ $r = -0.57$
 d.f. = 32 $p < 0.001$ one S.D. = $\pm 15/\text{min}$

これを男性の回帰式 $y = 203.4 - 0.71 \pm 14/\text{min}$ と比べてみると、女性の最高心拍数は男性に比べてやや低値を示す。

男性、女性ともに、各年代の実測値の平均最高心拍数と回帰式から求められた値とを比べてみると、対象の少なかった女性の50代、60代（それぞれ2名だけ）を除き、計算値はほぼ実測値と近い値を示し、この回帰直線式は、實際上使用に耐え

られるものと思う（表2）。

これらの回帰式により、各年齢別の予測最高心拍数表を作成し、実際の運動訓練ならびに運動処方の方の基準として応用することが出来る と考える（表3）。

2. 亜最高負荷段階での同一負荷量に対する各年代の心拍の反応

男性健常人において、最高負荷に至るまでの途

表2 Observed mean max. HR and calculated max. HR

Male

decade	number	mean. age.	mean. max. HR	calculated max. HR
20 ~ 29	12	25.8±1.9	184.2± 9.3	185±14
30 ~ 39	32	35.5±2.3	176.7± 9.2	178±14
40 ~ 49	38	44.3±2.7	174.1±13.9	172±14
50 ~ 59	18	53.3±2.9	164.8±15.2	166±14
60 ~ 69	8	63.1±1.3	156.9±11.9	159±14

calculated max. HR=203.4-0.71×age±14

Female

decade	number	mean. age.	mean. max. HR	calculated max. HR
20 ~ 29	6	24.3±2.8	178.3±13.7	183±15
30 ~ 39	10	36.6±2.2	176.1± 9.4	173±15
40 ~ 49	14	43.7±2.5	165.3±12.3	167±15
50 ~ 59	2	55.0±1.4	173.0±24.0	158±15
60 ~ 69	2	65.0±1.4	137.5±10.6	149±15

calculated max. HR=203.3-0.83×age±15

表3 Maximal heart rate calculated from regression equation

age	male	female	age	male	female	age	male	female	age	male	female
20	189	186	33	180	176	46	170	165	59	161	154
21	188	186	34	179	175	47	170	164	60	160	153
22	187	185	35	178	174	48	169	163	61	160	152
23	187	184	36	177	173	49	168	162	62	159	152
24	186	183	37	177	172	50	168	162	63	158	151
25	185	182	38	176	171	51	167	161	64	158	150
26	185	181	39	175	171	52	166	160	65	157	149
27	184	181	40	175	170	53	165	159	66	156	148
28	183	180	41	174	169	54	165	158	67	155	147
29	182	179	42	173	168	55	164	158	68	155	147
30	182	178	43	172	167	56	163	157	69	154	146
31	181	177	44	172	166	57	163	156	70	153	145
32	180	176	45	171	166	58	162	155			

Male $y = 203.4 - 0.71 \times \text{age} \pm 14 / \text{min}$

Female $y = 203.3 - 0.83 \times \text{age} \pm 15 / \text{min}$

中段階での各ステージの平均心拍数は、60代を除き、年齢によって全く変化せず、最高負荷以外の途中段階では、同一負荷に対しては年齢に関係なく心拍数はほぼ同じ値を示す、という興味深い結

果が得られた(表4)。

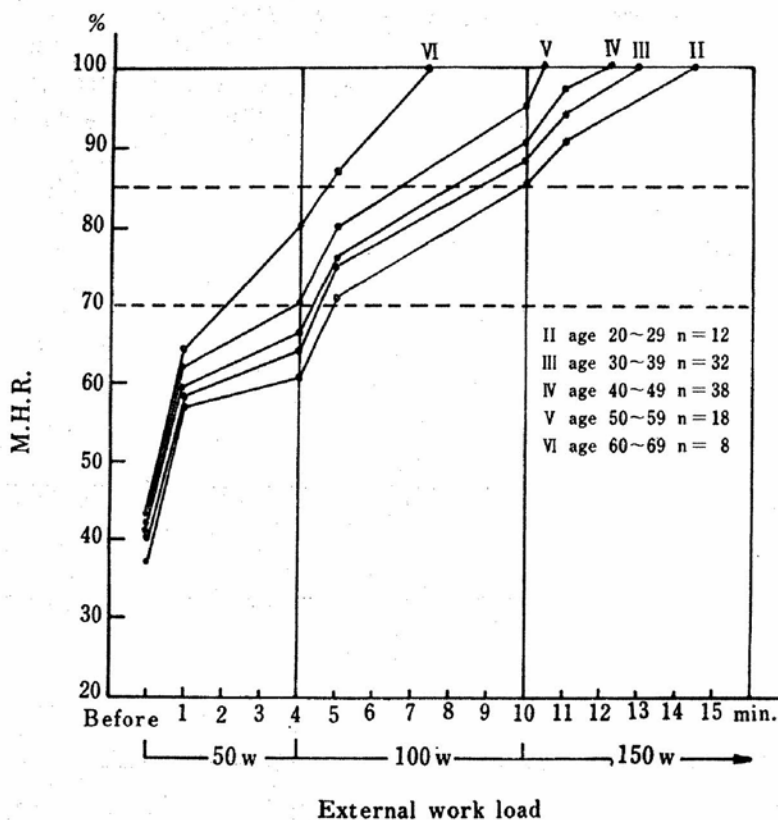
一方、最高心拍数は、年齢が高くなる程低下するため、それぞれの年代の最高心拍数の何%に当たるかを示す% MHR (% Maximal Heart

表4 Heart rate response of healthy men on bicycle exercise test
(Data were taken from those with normal ST response)

stage decade	before * exercise	50W* 1'	50W* 4'	100W* 1'	100W* 6'	150W* 1'	endurance time	at endu- rance (max. HR)
20 ~ 29 n=12	68±10 min	104± 8	113±13	133±14	156±14	167±10	14.4±1.9 min	184± 9
30 ~ 39 n=32	73±10	103± 9	115±10	134±11	156±13	166±11	13.0±2.0	177± 9
40 ~ 49 n=38	72±10	104± 7	115±10	132± 8	156±14	168±10	12.2±2.2	174±14
50 ~ 59 n=18	71±11	103± 7	115±13	132±15	156±16	—	10.4±1.6	165±15
60 ~ 60 n=8	66± 7	101±15	125±19	142±18	—	—	7.4±3.1	157±12

↑
P < 0.05
↑
N.S.
↑
P < 0.05
↑
N.S.

* no significant H.R. difference between each age group at same submax. work load



work load decade	before	50w ₁	50w ₄	100w ₁	100w ₆	150w ₁	at endurance	endurance (min)
20 ~ 29	37%	57	61	72	85	91	100	14.4±1.9
30 ~ 39	41	58	64	75	88	94	100	13.0±2.0
40 ~ 49	41	59	66	76	90	97	100	12.2±2.2
50 ~ 59	43	62	70	81	95	—	100	10.4±1.6
60 ~ 69	42	64	80	87	—	—	100	7.4±3.1

图5 % age predicted max. HR of each decade to external work load
(Data were taken from those with normal ST response.)

Rate) は亜最大負荷領域での同一負荷に対して年齢の高い程高くなる傾向にある (図5).

3. 運動持続時間 (Endurance time)

健康人男性 108 名における我々のプロトコール H での運動持続時間 (分) は, 20代で 14.4 ± 1.9 , 30代で 13.0 ± 2.0 , 40代で 12.2 ± 2.2 , 50代で 10.4

± 1.6 , 60代で 7.4 ± 3.1 と, 年齢が高くなるにつれてその持続時間は短縮する.

各人の運動持続時間を縦軸に, 年齢を横軸にとり, 両者の相関関係を見ると, 図6のように, 運動持続時間と年齢は逆相関を示した.

$r = -0.60$, $p < 0.001$ で有意差を示す.

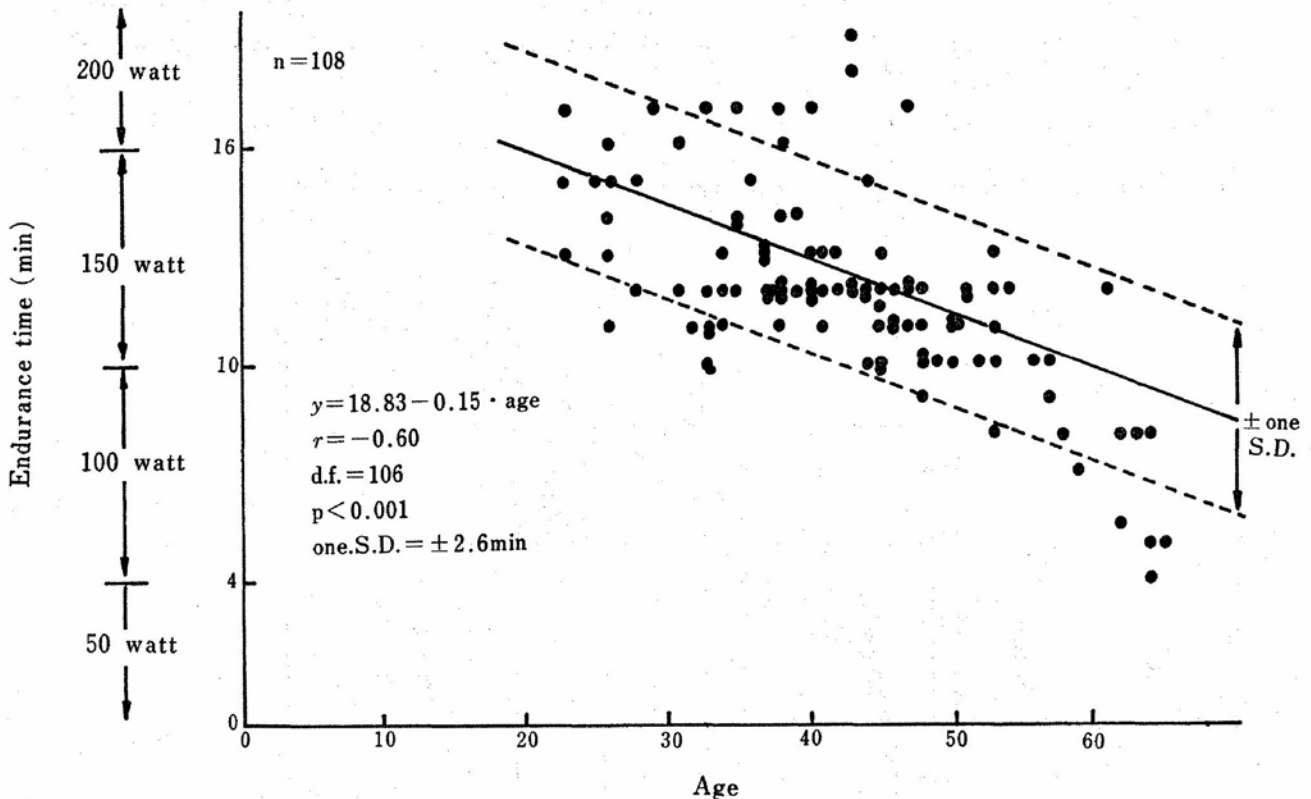


図6 Endurance time of healthy Japanese men on bicycle exercise test.

これから, 各年齢の運動持続時間の回帰式 $y = 18.83 - 0.15 \times \text{年齢} \pm 2.6\text{min}$ が得られた.

一方, 女性においては, 平均運動持続時間は, 20代 13.6 ± 2.4 , 30代 12.4 ± 1.0 , 40代 11.3 ± 1.3 , 50代 12.0 ± 5.7 , 60代 8.0 ± 1.4 であった. 50代を除き, 年齢が高くなる程運動持続時間も減少した.

女性における年齢と運動持続時間との相関を求めると, 図7のように, $r = -0.51$, $p < 0.005$ で, 年齢と運動持続時間とは逆相関を示し, 各年齢の運動持続時間は, 回帰式 $y = 16.24 - 0.10 \times$

年齢 $\pm 2.1\text{min}$ から得られる.

男性, 女性ともに, 各年代の実測値の平均と計算値を比較してみると, 対象の少ない男性60代と女性の50代ならびに60代を除けば, ほぼ一致した値を示す (表5).

よって, 我々のプロトコールHを用いた場合には, この回帰式による計算値は, 運動能の評価に実際上役立つものと考える. この計算式に基づいて運動能を評価するため, 各年齢別の運動持続時間表を作成し, 実際に応用している. この運動持続時間からみた年齢を我々は Standard Aerobic

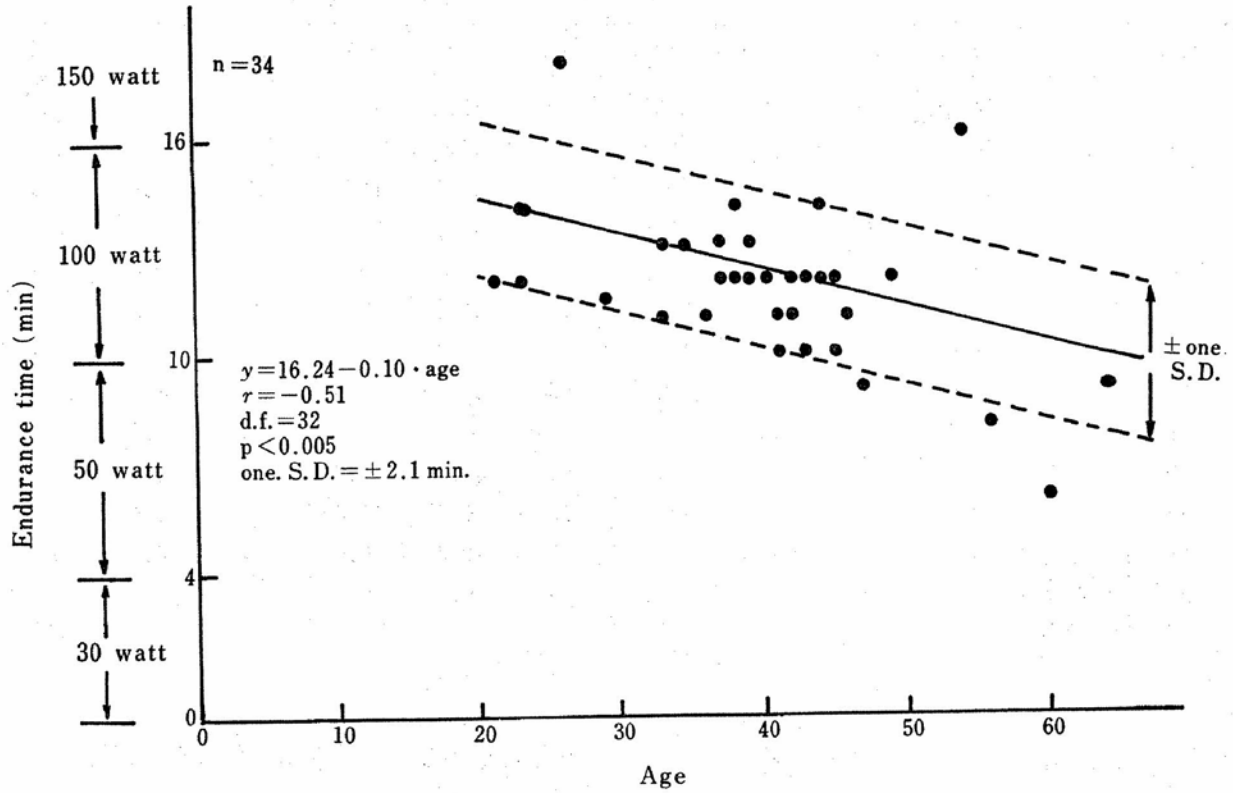


図7 Endurance time of healthy Japanese women on bicycle exercise test.

表5 Observed mean endurance time and calculated endurance time.

Male

decade	number	mean. age	observed endurance	calculated endurance
20 ~ 29	12	25.8±1.9	14.4±1.9	14.9±2.6
30 ~ 39	32	35.5±2.3	13.0±2.0	13.5±2.6
40 ~ 49	38	44.3±2.7	12.2±2.2	12.2±2.6
50 ~ 59	18	53.3±2.9	10.4±1.6	10.9±2.6
60 ~ 69	8	63.1±1.3	7.4±3.1	9.4±2.6

calculated endurance=18.83-0.15×age±2.6

Female

decade	number	mean. age	observed endurance	calculated endurance
20 ~ 29	6	24.3±2.8	13.6±2.4	13.8±2.1
30 ~ 39	10	36.6±2.2	12.4±1.0	12.5±2.1
40 ~ 49	14	43.7±2.5	11.3±1.3	11.8±2.1
50 ~ 59	2	55.0±1.4	12.0±5.7	10.7±2.1
60 ~ 69	2	65.0±1.4	8.0±1.4	9.7±2.1

calculated endurance=16.24-0.10×age±2.1

表6 Endurance time calculated from regression equation

age	male	female	age	male	female	age	male	female	age	male	female
20	15.8	14.2	33	13.9	12.9	46	11.9	11.6	59	10.0	10.3
21	15.7	14.1	34	13.7	12.8	47	11.8	11.5	60	9.9	10.2
22	15.5	14.0	35	13.6	12.7	48	11.6	11.4	61	9.7	10.1
23	15.4	13.9	36	13.4	12.6	49	11.5	11.3	62	9.5	10.0
24	15.2	13.8	37	13.3	12.5	50	11.3	11.2	63	9.4	9.9
25	15.1	13.7	38	13.1	12.4	51	11.2	11.1	64	9.2	9.8
26	14.9	13.6	39	13.0	12.3	52	11.0	11.0	65	9.1	9.7
27	14.8	13.5	40	12.8	12.2	53	10.9	10.9	66	8.9	9.6
28	14.6	13.4	41	12.7	12.1	54	10.7	10.8	67	8.8	9.5
29	14.5	13.3	42	12.5	12.0	55	10.6	10.7	68	8.6	9.4
30	14.3	13.2	43	12.4	11.9	56	10.4	10.6	69	8.5	9.3
31	14.2	13.1	44	12.2	11.8	57	10.3	10.5	70	8.3	9.2
32	14.0	13.0	45	12.1	11.7	58	10.1	10.4			

Age として運動能の指標としている (表6)。

考 察

1. 研究方法について

1) 対 象

本研究のような場合には、対象の性質というのがデータに大きな影響を与えるものである。

まず、スタンダードなデータを出そうとするならば、第一に真の(?) 健常人であることである。健常人であるとするには、特に心肺機能に関する専門医の診察と、注意深い問診、その他最低限我々が行っている前述の医学的検査が必要であろう。

このようにして選ばれた健常人でも、最高運動負荷テストを行ってみると、ST の水平下降はもちろん、upsloping depression の例でも、ST の変化の出現しない健常人に比べると、運動能が悪いことが我々のデータからも確かめられている。

このように、健常人の中でも、出来るだけ多くの方法を用いて、ふるいにかけ、念には念を入れて対象を選ぶことが第一である。

次に、対象の身体活動状況もデータ上に大きな

影響を与える。運動選手はもちろんのこと、特別に運動訓練を行っている者たちを除外することが大切であり、トレーニングの面でも、対象をなるべく均一なものとするべきである。

次に、この種の研究では必ず性別に対象を取り扱うことであり、性差による運動能、心拍血圧の反応が異なることから、男女を一緒にしてデータを出すことは避けなければならない。更に人種の差も問題となるであろう。

次に、同じプロトコールで正確に最高負荷試験が行われたかが重要な要素となる。更には、特に Symptom-limited maximal exercise test では、完全に最高負荷がかかっていたか否かが問題となる。この点に細心の注意が払われなければならない。したがって、被検者が本試験の意味とその意義をよく理解しているかも重要な要素の一つとなることがある。

我々の研究でも、安静時心電図をはじめとする医学的検査と心臓専門医によって健常人と判断された 242 名も、最終的に健常人としての対象として選ばれた者は 142 名であった。

2) 方 法

現在、米国をはじめ我国においても、トレッドミルによる多段階運動負荷試験が多く行われている。

その理由の一つは、自転車エルゴメータが下肢の筋肉のみを使用するので、下肢の筋肉疲労のために十分な負荷量に達しないことが多い。そのため、自転車エルゴメータに比べると、トレッドミルは、より高い $\dot{V}O_2 \text{ max}$ および最高心拍数を得ることが出来るなどの理由により、この方法が多く用いられている。

しかし、自転車エルゴメータによる方法も、実際上次のような利点もある。

(1) Watt により決定された仕事量と被検者の体重により、ほぼ正確な $\dot{V}O_2 \text{ ml/kg/min}$ を予測することが可能である。

(2) 体動が少なく心電図記録がし易い。

(3) 同じ理由で、血圧の聴診が容易なこと。

(4) 機械が小さく、広いスペースを取らず、またどこへでも移動出来る。

(5) モータで他動的に動くトレッドミルに比べ自分でサドルを動かす自転車エルゴメータは、不安感が少なく、安心して運動を行える。

また、最大負荷とは、生理学的には運動強度を増しても、 $\dot{V}O_2$ が増さずプラトーになった場合で、実際は $\dot{V}O_2$ を測定する必要があるわけであるが、測定器具を装着して運動することは、被検者には相当精神的にも負担になる。

また、臨床上あるいは一般健常人の運動負荷にすべて $\dot{V}O_2$ 測定を行うことは実際的ではない。

したがって、Symptome-limited maximal exercise test の方が实际的であり、これを採用した。しかし、この方法は、主観に陥り易く、しばしば最高負荷に達する前に運動負荷を中止してしまう場合が多いので、この点に注意し、運動負荷が十分と考えられなかったものは除外した。

我々の終了時点での限界症状の70%は、脚の疲労および疼痛であり、これは、Bruce らの1,275

名の研究における71%とほぼ同じ値であった。また、その他の症状の頻度に大差はなかった。

よって、我々の Symptome-limited maximal exercise test は、ほぼ十分な条件を満足させているものと考えられる。

2. 心拍の反応について

1) 最高心拍数の回帰直線について

最高心拍数の回帰直線を米国人を対象とした研究と比較してみると、図9のようである。

Bruce の回帰式は、 $y=210-0.662 \times \text{年齢}$ ($r=-0.439$, $p<0.001$)、また Lester の式は、 $y=205-0.14 \times \text{年齢}$ ($r=-0.58$, $p<0.001$) であるが、いずれも我々の回帰式 ($y=203-0.71 \times \text{年齢}$) に比べてその値は大きい。この差は、トレッドミルと自転車エルゴメータという負荷方法の差によると考えられるが、必ずしもそれのみともいえないところもある。

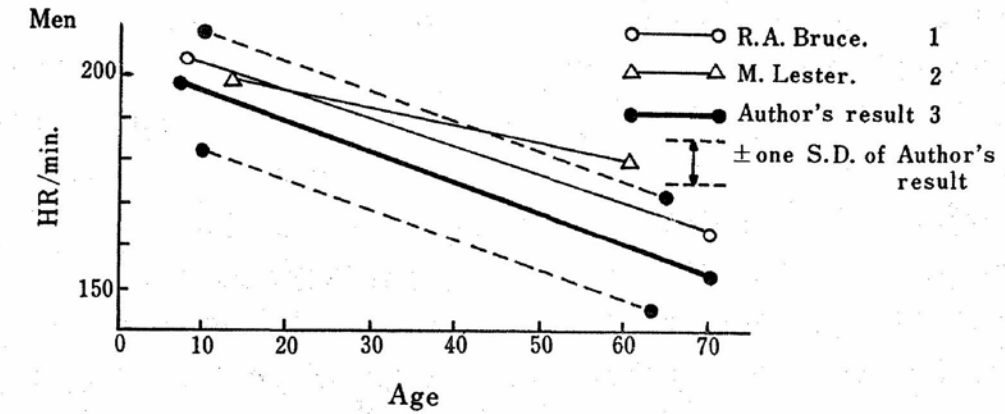
Åstrand の自転車エルゴメータによる最高心拍は、20代から50代までは、我々のデータより高く、米国人のそれより低い。また、Anderson の Norway の30代男性を対象とした研究と比べても我々の値は少ない。

このことは、単に運動負荷方法の差のみでなく、人種的な差も考慮さるべきであると思われる。しかし、前述したように対象を如何に選ぶかによっても容易に変わり得るので、その判断は慎重にしなければならない。

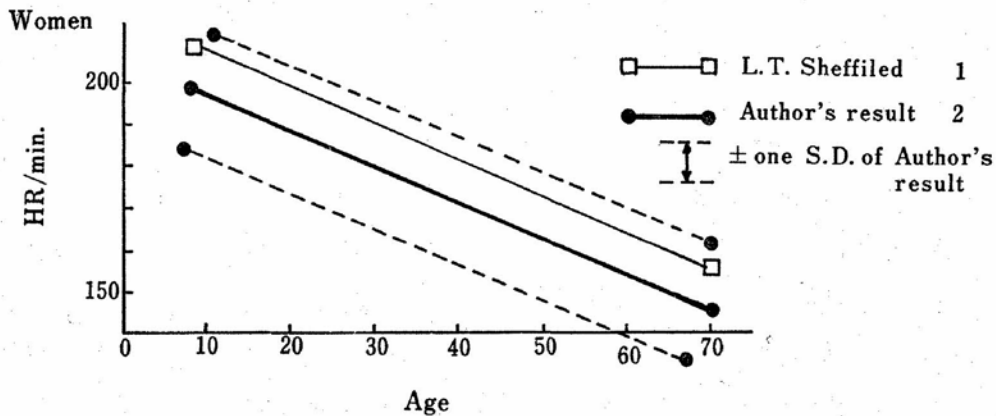
2) 最高心拍数と % MHR

先に示したように、亜最大負荷のレベルでは、同一負荷量では年齢に関係なくほぼ同じ心拍数を示し、それぞれの最高負荷の時点でのみ年齢による心拍数の減少がみられる(表4)。

したがって、同一外的負荷量に対する %MHR は、当然加齢に伴って高値を示すこととなる。これは、同一負荷量における心拍数を一定にするために、高齢者ほど % MHR を高くして外的負荷に対応することを示しており、年齢の増加に伴う



	regression equation	r	n	p	one S.D.	Method
1	$y=210-0.662 \times \text{age}$	-0.439	2074	<0.001	?	treadmill
2	$y=205-0.41 \times \text{age}$	-0.58	148	<0.001	± 8.7	"
3	$y=203-0.71 \times \text{age}$	-0.52	108	<0.001	±13.9	bicycle



	regression equation	r	n	p	one S.D.	Method
1	$y=216-0.88 \times \text{age}$	-0.76	95	<0.001	±10.0	treadmill
2	$y=203-0.83 \times \text{age}$	-0.57	34	<0.001	±15.1	bicycle

図8 Regression equations of maximal heart rate reported in the literature and author's result

予備力の低下を示すものと思われる。

3) 至適運動訓練と % MHR

通常、運動訓練の至適運動強度は、70~85% MHR が適当であるとされているが、これを我々のプロトコールHに当てはめた場合、図5で示すように、20代から40代の健常人では 100watt、50代では 50watt から 100watt の間、60代では 50watt が至適強度に当たる。

健常者で最高心拍数が確かめられていない人の

自転車エルゴメータ・トレーニングでは、この値は非常に役に立つと思われる。

3. 運動持続時間と Standard Aerobic Age

運動持続時間は、年齢が増すに従って短縮する。VO₂ max は、加齢によって減少することは、既に Bruce, Åstrand, Robinson ら数多くの研究の結果明らかとなっている。また、VO₂ max と運動持続時間が正の相関を示すこともよく知られているところであり、運動持続時間の長短は、

$\dot{V}O_2 \max$ の増減を間接的に表現するものといえよう。

運動訓練によって持久力が増し、運動持続時間が延びて来るが、運動持続時間から回帰直線上の年齢を求め、これを、持久力年齢ともいふべき“Standard Aerobic Age”として運動効果の指標とすることが出来る。

結 語

我々は20歳から69歳までの厳密に検討された非鍛練者である健常日本人成人142名に関し、各年代別の最高心拍数ならびに最高運動負荷時の運動持続時間を検討した結果、次のような結果を得た。

1) 最高心拍数は年齢と逆相関を示した。

男性の回帰直線式は

$$y=203.4-0.71 \times \text{年齢}$$

$$r=-0.52, p<0.001$$

女性の回帰直線式は

$$y=203.3-0.83 \times \text{年齢}$$

$$r=-0.57, p<0.001$$

これらの回帰式は、米国における Bruce, Lester, Sheffield らの値に比し、やや低値を示した。

2) 健常男性108名においては、亜最大負荷のレベルでの同一負荷量に対する心拍数は、年齢にかかわらず同じ値を示した。したがって、同じ時点での %MHR は、年齢が高くなる程高い値を示し、加齢による予備力の低下を示した。

3) 運動持続時間は、年齢と逆相関を示した。

これは、加齢に伴う最大酸素摂取量の低下が、運動持続時間の減少を生ぜしめるものと考えられる。

男性の回帰直線式は、

$$y=18.83-0.15 \times \text{年齢 (min)}$$

$$r=-0.06, p<0.001$$

女性の回帰直線式は、

$$y=16.24-0.10 \times \text{年齢 (min)}$$

$$r=-0.51, p<0.001$$

以上の結果は、我国においてその発表をみることは少なく、かつ、対象を厳重に選んで最高負荷試験を行った例も少なく、本研究の結果は、今後日本人を対象とする場合、十分実用に供される価値を有すると思われるので、その社会的意義も少なからぬものとする次第である。

我々は更に本研究を続け、今後更に、

- (1) 各負荷強度と心電図の ST 下降との関係およびその回復過程とその意義、
- (2) 最高負荷に対する血圧変動の様相、
- (3) 本研究の応用による運動効果の判定
- (4) 心疾患患者用のプロトコール P の検討、
- (5) 心疾患患者の運動能と運動効果の判定、
- (6) 心疾患患者の心リハビリテーションの適否の判定、
- (7) 鍛練者と非鍛練者の運動能の比較、
- (8) 運動による血液生化学的変化、
- (9) 運動と不整脈、
- (10) 運動過多 (over training) の問題などの、現在我々の取り組んでいる問題について検討を加え、発表したいと思っている。

本研究のために特別のご援助をいただいたデサントスポーツ科学振興財団に深甚なる謝意を表するとともに、本研究にご助力を賜った小野三嗣教授はじめ体力医学会の諸先生方に心から感謝申し上げます。