

# 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 (Ⅱ)

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 南谷和利  
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 (Ⅱ)

by

Hisao Iwane and Jōji Fujinami

*Tokyo Medical College*

Kazutoshi Minamidani

*Juntendō University*

Masayuki Watanabe

*Tokyo Gakugei University*

### ABSTRACT

Our previous report was on the study of maximal heart rate and endurance time in relation to aging and proposed the regression equations for maximal heart rate and endurance time on maximal exercise test in healthy Japanese adults.

This time, 242 apparently healthy Japanese adults underwent symptom-limited maximal exercise test by means of bicycle ergometer. Heart rate, blood pressure and electrocardiogram were observed continuously during exercise and recovery. And blood pressure, rate pressure product (RPP), electrocardiographic changes and endurance time were investigated in relation to aging.

Results are as follows:

1. There is no correlation between maximal systolic blood pressure and aging.
2. Unlike maximal heart rate response, basic systolic blood pressure at rest may not be neglectable factor to investigate maximal systolic blood pressure.
3.  $\Delta$ SBP/watt increases as aging.
4. There is no correlation between RPP and aging. Basic systolic blood pressure at rest is not neglectable factor to investigate maximal RPP that is much influenced by systolic blood pressure.
5.  $\Delta$ RPP/watt increases as aging.
6. Prevalences of ST<sub>i</sub> depression on maximal exercise test are 8.1% in male, 13.0% in female and 9.5% in total and increase as aging. The prevalence in female is greater than that in male.
7. Prevalences of ST<sub>j</sub> depression are 14.5% in male, 23.8% in female and 16.7% in total and increase as aging. Prevalence in female is greater than in male.
8. Endurance time decreases as severity of ST depression of ECG. This results is suggestive that exercise induced ST depression is indicative of some decrease of cardiac function even in the apparently healthy adults.

In Japan, there are very few reports giving a full detail of maximal exercise response in healthy middle-aged Japanese adults who are closely selected as healthy subjects. Therefore the results of this study have a great value of the practical application for the prescription in Japanese adults and also have a great deal of social significance now in Japan.

## 要 旨

日本人健常者を対象とし、各年代ごとの運動に対する反応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、運動強度による心拍、血圧、Rate Pressure Product (RPP)、心電図変化および持久力について検討を行った。

年齢別平均最高心拍数とその回帰式ならびに年

齢別運動耐容能（運動持続時間）とその回帰式については、すでに前年度に報告したとおりであるが<sup>1)</sup>、今回は各年代別の血圧の反応、RPPの変化ならびに心電図変化について検討を加えたので報告する。

本邦においては、健常者の最高運動負荷試験における基礎データが少なく、欧米のものを参考とすることが多かったが、本研究により、日本人を対象とする基礎データが明らかとなれば、日本人を対象とした実際の運動処方作成に有用であると考える。

## 緒 言

従来スポーツ医学の分野では、スポーツ選手や若年者における運動能や運動生理学的検討が行われることが多く、一般の非鍛練者や中高年者の研究は少なく、近年ようやくその必要性が叫ばれ、この方面の研究が行われるようになったが、特に我国においてはまだまだまった研究が少なく、その基礎的研究が要請されている。

特に健康維持ならびに疾病予防のための運動が推奨され、ジョギングをはじめ各種の競技が盛んとなった今日、一般中高年者に対し、本当に運動効果はあるのか？ 運動は健康維持や疾病予防に本当に役立っているのか？ の問題に科学的な根拠を与える研究はあまりにも少ない。これは最も基本的な中高年者の運動に対する種々の生体反応についての検討がまだ十分とはいえず、運動処方への根拠となる基礎研究の不足もその一因であると考えられる。

一方、適切な運動処方や指導が行われなければ、最近社会問題となりつつある運動中の突然死や運動による危険も増すこととなる。

したがって、中高年者においては、健康増進や疾病予防の効果をあげ、かつ安全な運動が要求されるが、このためには科学的根拠を有する適切な運動処方が必要となる。

欧米においては、早くからこの問題について研究が行われ、その基礎的研究を基に適切な運動処方が行われている。すなわち、健常人の多段階運動負荷プロトコールによる心拍、血圧、RPP、運動耐容能、最大酸素摂取量などの年齢別の基礎データが集められ、これを基準に実際の運動処方を実用化している。

しかし我国においては、日本人を対象としたデータに乏しく、従来欧米人のプロトコールやパラメータの値を利用していることが多い。しかしながら Bruce<sup>2)</sup> は、Seattle の健常米人と台湾の健

常中国人の最高運動負荷試験の結果の比較を行い、人種間の違いのあることを指適し、米国人の基準をそのまま他の人種に適用することは困難であるとしている。

したがって我々は健常日本人を対象とし最高運動負荷試験を行い、各年代別に運動強度との関連において、(1)血圧の変動、(2)RPP (Rate Pressure Product) の変動、(3)心電図変化について検討を行った。

## 研究 方 法

### 1. 対 象

対象は都内某スポーツ・クラブの40代を中心とする20歳から69歳までの男女242名である。

我々は、自転車エルゴメータによる最高運動負荷試験には2種類のプロトコールを用いているが、今回の対象者はすべて健常者を対象とするプロトコール“H”による者のみである。

被検者は全員必ず心臓専門医の診察を受け、更に問診、検尿、採血（血液生化学的検査）、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12誘導心電図検査を行い、心疾患その他の身体的異常の有無をあらかじめ検討した。

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)安静時血圧が収縮期 160 mmHg、拡張期 95mmHg のいずれかを超える者、(4)胸部レントゲン写真で心拡大（心胸比50%以上）を認める者、(5)安静時心電図で異常を認める者などは対象から除外し、嚴重に健常者を選んだ。

また、被検者の身体活動レベルを一定にするために、現役の運動選手、長期間トレーニングを行っている者、また入会後長期間を経過した後に検査を行った者は訓練による影響が入るので、これらを除外した。

以上の条件を満たす健常者に最高負荷試験を行ったものは500名を越えるが、そのうち今回の対象となった者は我々の用いているプロトコールH

によるものであり242名である。これらに対して、潜在的虚血性変化の有無につき心電図学的検討を加えた。

更にこれらのうち、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され難い者を除外すると、男性135名、女性54名の計189名となる。これらに対しては、心電図のST下降と運動能との関係を検討した。

また、これらのうちから、最高負荷試験でST下降を示す者すなわち虚血性変化と考えられる horizontal ST depression (ST<sub>i</sub>) 18名、境界領域と考えられる junctional (up-sloping) ST depression (ST<sub>j</sub>) を示す者29名を除外すると、男性108名、女性34名の計142名となる。これらの対象は、最高負荷試験においても全く心電図変化を示さなかった者であり、あらゆる点から厳密に健常者といえるものであり、これらについて血圧、RPP を検討した。

なお、これらの慎重に選ばれた健常者の年齢構成についてみると、平均年齢は42.5±10.2歳であり、40歳代を中心とする正規分布を示す。また、男性の平均体重は65.9±11.0kg (平均±SD) であり、女性の平均体重は55.4±5.0kg であり、それぞれ各年代間に有意の差はなかった。

## 2. 方 法

全例心臓専門医による問診、診察を受け、更に、血圧測定、検尿、血液生化学的検査、肺活量・一秒率測定、眼底検査、胸部X線写真および安静時心電図検査を行った後に、次の3種類の運動負荷試験を行う。

運動負荷は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を用いた最高負荷試験を行い比較検討したが、今回は最高負荷試験についての成績に関して報告する。

### 1) 最高運動負荷試験プロトコール

今回の対象者は、我々が一般健常者用として用いているプロトコール“H”により運動負荷を行った。図1のとおり、男性は最初50watt (300 kpm/min) の負荷を4分間、次いで100watt を6分間、その後は6分ごとに50watt ずつ負荷量を漸増する多段階負荷試験法を用いた。

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

### 2) 運動負荷終了点 (End-point)

Symptome limited maximal exercise test の方

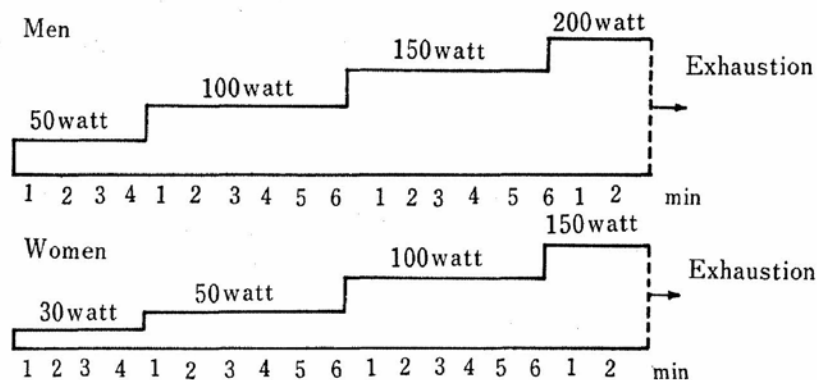


図1 Symptome-limited maximal bicycle ergometer test  
ECG telemetering monitoring (CC<sub>5</sub> lead) recorded every 1 minute  
BP recorded every 1 minute

法をとり<sup>3,4)</sup>, 被検者の負荷終了の要請により運動負荷を終了した<sup>3,5)</sup>. すなわち, 下肢の倦怠感や疼痛, 呼吸困難, 全身倦怠感, 動悸, 胸痛などの自覚症のため負荷続行不能の時点である.

ただし, 無症状であっても, 客観的に収縮期血圧が 250mmHg 以上となった場合, 運動を持続するにもかかわらず心拍数ならびに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, これを限界と考え中止した.

3) 心電図記録ならびに判定

心電計は三栄測器社製スーパーベース 164-A 型二素子テレメータ改良型を用い, 誘導は主に C<sub>1</sub>C<sub>5</sub> (V<sub>5</sub>-V<sub>5R</sub> の双極誘導) により<sup>6)</sup>, テレメータ発信し, 受信した心電図波型を, 運動前, 運動中, 更に運動後12ないし20分間モニター上で連続監視し, かつ1分ごとに記録紙に記録した.

心電図の ST 変化の判定は, J 点より0.08秒の

時点で ST が 1mm 以上下降し, かつその形が水平のもの—horizontal ST depression—または下向きのもの—down-sloping ST depression—を虚血性 ST 下降—ischemic ST depression (ST<sub>i</sub>) とし, 病的 ST 下降と判別し, 陽性とした. また同じ時点で 1mm 以上の上向きのもの—up-sloping ST depression (ST<sub>j</sub>) を境界領域とし<sup>7)</sup>, これより更に小さい変化を示すものおよび全く変化を来さないものを陰性とした.

4) 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, 運動前・運動中・運動後の全経過を通じて心電図記録と同時に1分ごとに測定した.

5) RPP

心筋酸素消費量の指標としての Rate Pressure Product<sup>7,8)</sup> は, 心拍数と収縮期血圧の積として求

表1 Systolic blood pressure 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'	Enduran- ce time	at endu- rance (Max.S.B.P.)
20~29 n=12	121±12 mmHg	140±19	154±12	165±16	181±19	185±18	14.4±1.9 min	192±21
30~39 n=32	117±11	134±14	153±13	165±15	183±18	190±16	13.0±2.0	195±18
40~49 n=38	130±18	145±20	169±23	183±18	203±22	202±20	12.2±2.2	213±20
50~59 n=18	137±17	150±18	176±22	185±20	211±21	/	10.4±1.6	218±18
60~69 n=8	114±7	131±4	162±12	163±8			7.4±3.1	186±13
		t. test						
II decade		↑	↑	↑	↑	↑		↑
III decade		↑***	↑**	↑***	↑◎	↑***	↑**	↑◎
IV decade		↑	↑	↑	↑	↑		↑
V decade		↑*	↑*	↑	↑*			↑***
VI decade								

†N.S. \*p<0.05 \*\*p<0.025 \*\*\*p<0.005 ◎p<0.001

めた。

### 研究結果

#### 1. 収縮期血圧

##### 1) 年齢ならびに運動強度との関係

最高運動負荷試験を行い、何ら心電図変化を認めなかった正常 ST 反応を示す男性 108 名を対象に、各年齢層別に運動負荷量の変化に伴う収縮期血圧の平均値と標準偏差を示したものが表 1 である。

20代と30代の間では、その値はほぼ等しく、40代と50代の値もほぼ同じであり、60代は50代に比べ低値を示す。

表 1 に示すように、30代と40代の間には、各時期ならびに最終段階での血圧に有意の差を認めるが、既に負荷前の基礎血圧が30代 117mmHg に対し、40代 130mmHg と明らかな差を認める。また50代の基礎血圧（運動前の血圧）134mmHg に対し、60代は 114mmHg と低い値を示している。

最高負荷時の血圧は、20代より50代までは加齢に伴い増大するが、60代では低値を示す。

図 2 は表 1 をグラフにしたものであるが、図に示すとおり、加齢に伴い運動持続時間が短くなるために、加齢と共に外的負荷量は減少する。しかしながら、収縮期血圧の最高値は、60代を除い

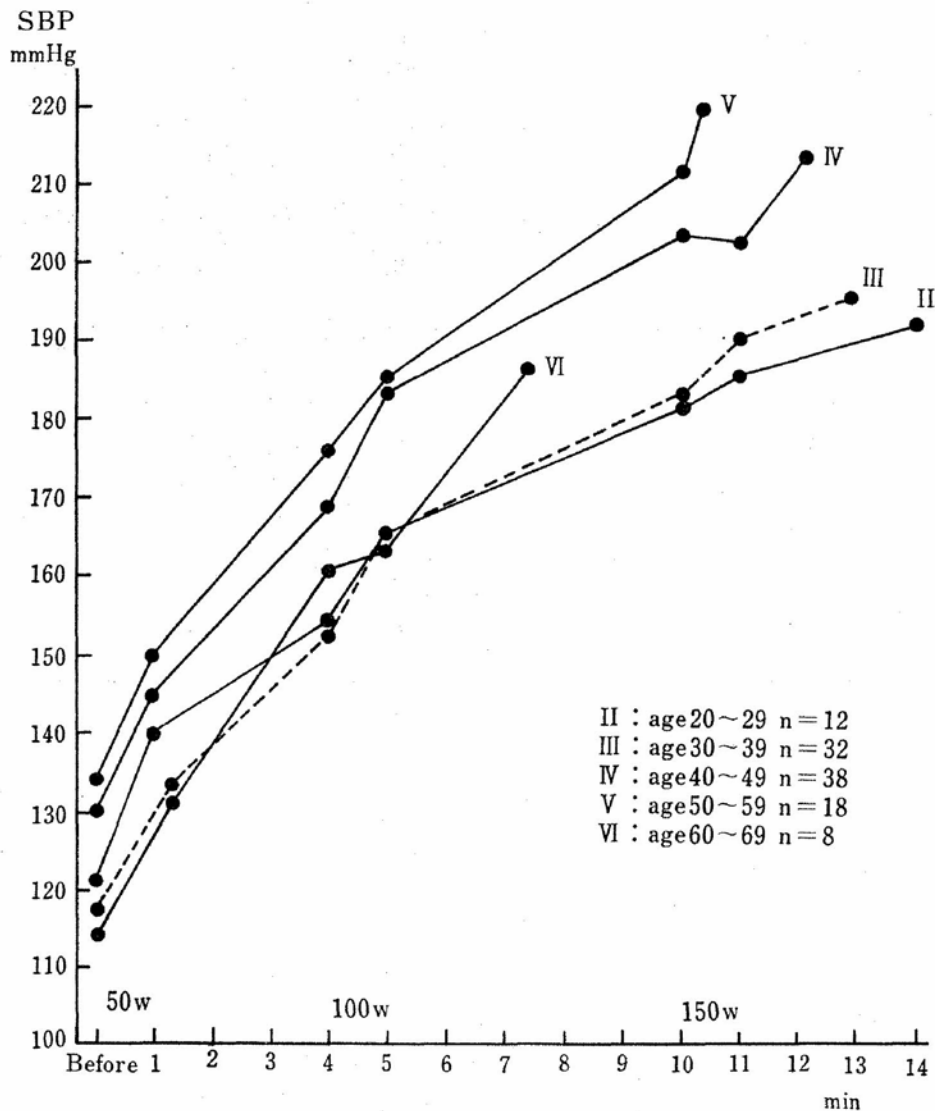


図 2 Systolic blood pressure response of healthy men on bicycle exercise test

て、加齢に伴い上昇する。したがって、加齢により、血圧上昇率は増すことと思われる。

2) 加齢と血圧上昇率との関係

加齢により血圧上昇率が増加するか否か、すなわち加齢により運動負荷での血圧が上昇し易くな

るか否かを検討するため、単位仕事量当りの収縮期血圧上昇率 ( $\Delta$ SBP/watt とす) と加齢との関係を調べた。

まず単位仕事量を求めるために、各年代の submaximal level の各時期および最高負荷時で

表2 Table of total work load  
total work load  $\rightarrow$  watt

Decade	Before	50W 1'	50W 4'	100W 1'	100W 6'	150W 1'	at endurance time
20~29	0	60	200	300	800	950	1,460
30~39	"	"	"	"	"	"	1,250
40~49	"	"	"	"	"	"	1,130
50~59	"	"	"	"	"	—	860
60~69	"	"	"	"	—	—	540

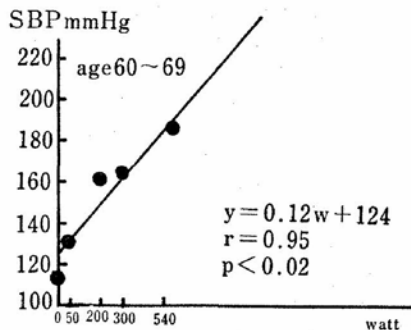
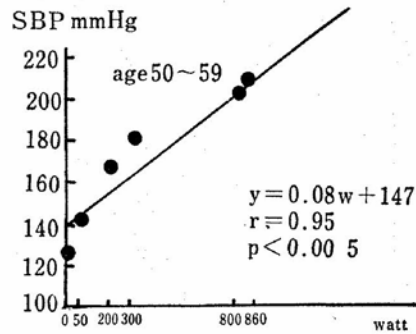
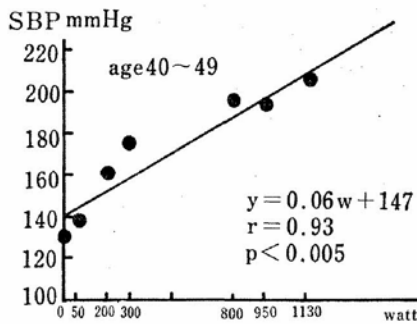
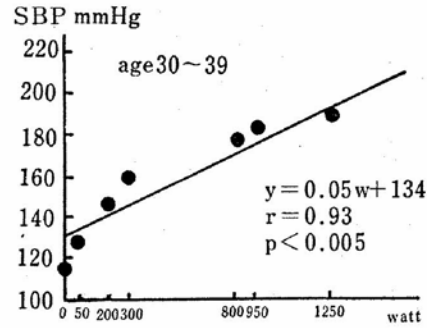
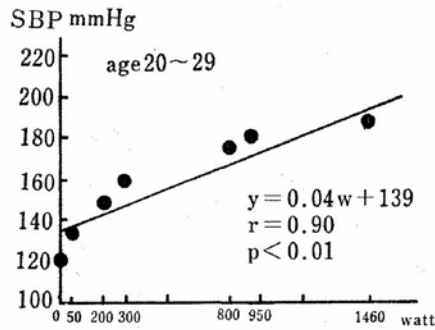


図3 Regression equation of  $\Delta$ SBP/watt of each decade  
(Data were taken from those with normal ST response)

の total work load を求める必要がある。

たとえば、20代の最高負荷時の total work load (総仕事量) は  $50\text{watt} \times 4(\text{min}) + 100\text{watt} \times 6(\text{min}) + 150\text{watt} \times 4.4(\text{min}) = 1460\text{watt}$  となる。また、60代で 100watt 1分の場合は、 $50\text{watt} \times 4 + 100\text{watt} \times 1 = 300\text{watt}$  となる。

このような方法で総仕事量を求めると、表2のようになる。

次いで各年代ごとに、この総仕事量を横軸 (X

軸) に、それぞれの収縮期血圧を縦軸 (Y軸) にとり、両者の相関関係を求める。(図3)

図3に示すように、収縮期血圧と総仕事量は  $r=0.90$  ないし  $0.95$ ,  $p<0.02$  ないし  $p<0.005$  の危険率で正の相関を示す。

図3で示した各年代の回帰式  $y=ax+b$  の  $a$  は  $\Delta\text{SBP}/\text{watt}$  を示すが、この  $a$  は加齢とともに増大する。(表3:左)

次に、各年代の平均年齢を  $x$ ,  $\Delta\text{SBP}/\text{watt}$  を

表3 Regression equation of  $\Delta\text{SBP}/\text{watt}$   
(Data were taken from those with normal ST response)

Decade	r	d.f.	P	regression equation	a
20~29	0.90	5	$p<0.01$	$y=0.04 \cdot w + 139$	0.04
30~39	0.93	5	$p<0.005$	$y=0.05 \cdot w + 134$	0.05
40~49	0.93	5	$p<0.005$	$y=0.06 \cdot w + 147$	0.06
50~59	0.95	4	$p<0.005$	$y=0.08 \cdot w + 147$	0.08
60~69	0.95	3	$p<0.02$	$y=0.12 \cdot w + 124$	0.12

x	y
25.8	0.04
35.5	0.05
44.3	0.06
53.3	0.08
63.1	0.12

x: age    y:  $\Delta\text{SBP}/\text{watt}$

$r: 0.95$     d.f. = 3     $t = 5.270$

$p < 0.025$      $(t = \frac{r \cdot \sqrt{df}}{1 - r^2})$

表4 RPP  $\times 10^{-2}$  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'	Enduran- ce time	at endu- rance (Max.R.P.P.)
20~29 n=12	81.9 $\pm$ 3.2 mmHg	144.1 $\pm$ 5.8	173.4 $\pm$ 6.9	220.1 $\pm$ 10.0	282.8 $\pm$ 10.9	301.0 $\pm$ 8.1	14.4 $\pm$ 1.9 min	352.1 $\pm$ 13.9
30~39 n=32	86.0 $\pm$ 3.3	138.0 $\pm$ 4.1	176.5 $\pm$ 4.6	220.9 $\pm$ 5.8	284.2 $\pm$ 7.9	317.2 $\pm$ 7.6	13.0 $\pm$ 2.0	347.6 $\pm$ 7.4
40~49 n=38	92.9 $\pm$ 2.9	150.9 $\pm$ 4.1	192.2 $\pm$ 5.6	241.1 $\pm$ 5.7	316.7 $\pm$ 7.9	339.2 $\pm$ 6.4	12.2 $\pm$ 2.2	367.6 $\pm$ 6.4
50~59 n=18	94.7 $\pm$ 5.3	155.2 $\pm$ 5.3	203.7 $\pm$ 9.2	247.9 $\pm$ 11.2	326.6 $\pm$ 14.3		10.4 $\pm$ 1.6	357.3 $\pm$ 8.2
60~69 n=8	75.7 $\pm$ 3.2	131.4 $\pm$ 6.7	203.3 $\pm$ 16.6	231.8 $\pm$ 14.1			7.4 $\pm$ 3.1	288.8 $\pm$ 6.5
			t. test					
II decade	†	†	†	†	†	†		†
III decade	†	*	*	**	***	*		*
IV decade	†	†	†	†	†			†
V decade	†	*	†	†				†
VI decade								⊙

† N.S.    \* $p<0.05$     \*\* $p<0.025$     \*\*\* $p<0.005$     ⊙ $p<0.001$



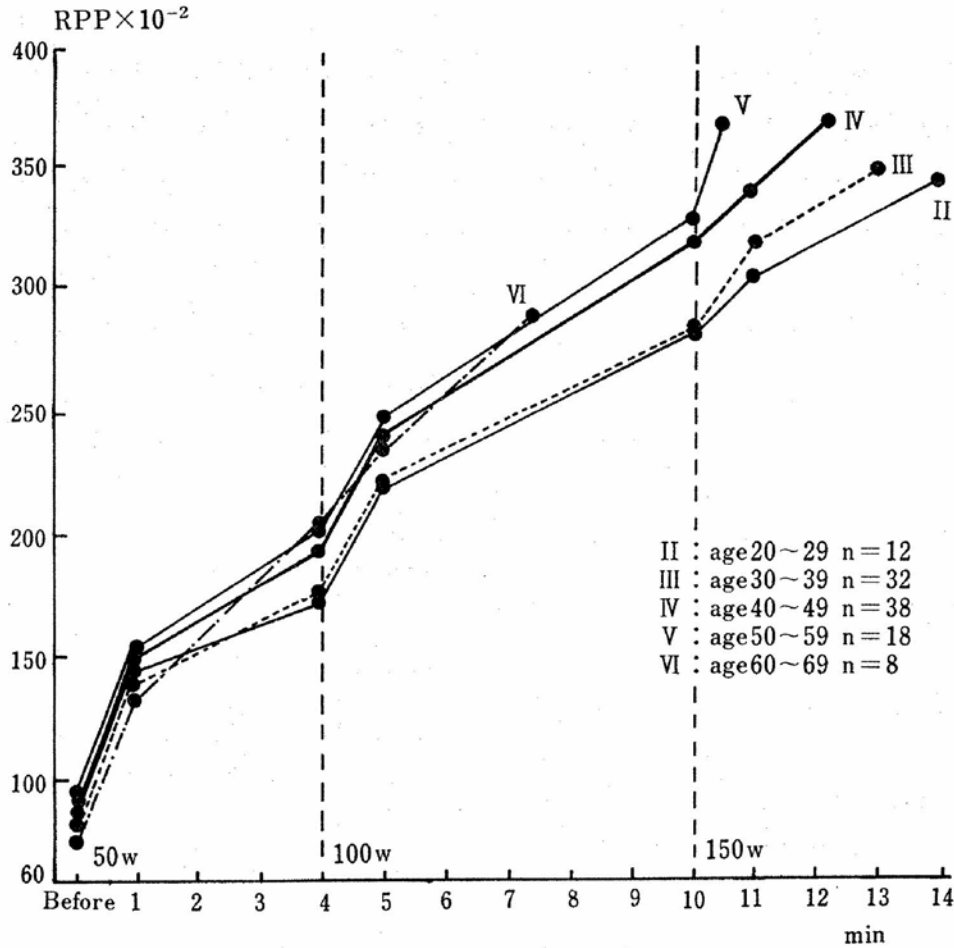


図4 RPP response of healthy men on bicycle exercise test  
(Data were taken from those with normal ST response)

ととして相関をみると、 $r=0.95$ ,  $p<0.025$  で正相関を示した。(表3:右)

以上により、単位仕事量当りの収縮期血圧上昇率は、加齢と共に増大することが証明された。

## 2. RPP

### 1) 年齢ならびに運動強度との関係

最高運動負荷試験を行い、心電図で正常 ST 反応を示した男性 108 名の運動負荷量の変化に伴う RPP の平均値および標準偏差を各年代別に示したものが表 4 である。

submaximal level での RPP は、収縮期血圧の場合と同じく、20代と30代はほぼ、同一傾向を示し、40代と50代が同一傾向を示した。60代は50代に比しやや低値を示している。

一方、最高負荷の段階では、RPP 値と加齢の

間には有意な相関は認められなかった。

図 4 は表 4 をグラフにしたものであるが、外的負荷量は加齢に伴い減少するにもかかわらず、RPP の値は、60代を除き、加齢に伴いやや高値を示す傾向にある。

### 2) 加齢と RPP 増加率の関係

図 4 で示されるように、同一負荷量での RPP の増加率は加齢に伴い増大する傾向がある。したがって、これを確認するために、収縮期血圧上昇率を調べた時と同様に、単位仕事量当りの RPP の増加率 ( $\Delta RPP/\text{watt}$ ) を各年代ごとに回帰直線式として求め、その直線式の加齢による影響を検討した。

表 2 に示す総仕事量 (total work load) を横軸 (X 軸) にとり、表 4 の RPP を縦軸 (Y 軸) にとり、総仕事量と RPP の相関関係を各年代ごと

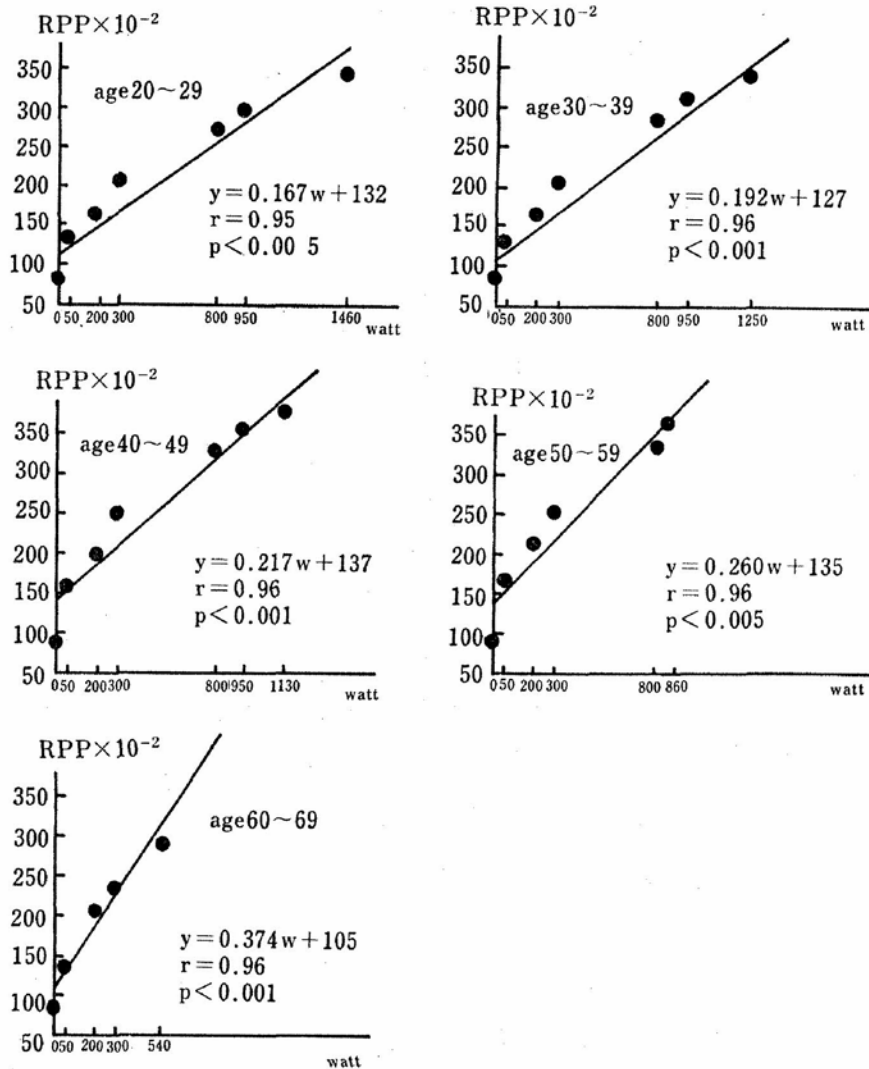


図5 Regression equation of  $\Delta RPP \times 10^{-2} / \text{watt}$  of each decade (Data were taken from those with normal ST response)

表5 Regression equation of  $\Delta RPP \times 10^{-2} / \text{watt}$  (Data were taken from those with normal ST response)

Decade	r	d.f.	P	regression equation	a
20~29	0.95	5	$p < 0.005$	$y = 0.167 \cdot w + 132$	0.167
30~39	0.96	5	$p < 0.001$	$y = 0.192 \cdot w + 127$	0.192
40~49	0.96	5	$p < 0.001$	$y = 0.217 \cdot w + 137$	0.217
50~59	0.96	4	$p < 0.005$	$y = 0.260 \cdot w + 135$	0.260
60~69	0.96	3	$p < 0.01$	$y = 0.374 \cdot w + 105$	0.374

x	y
25.8	0.167
35.5	0.192
44.3	0.217
53.3	0.250
63.1	0.374

x: age    y:  $\Delta RPP \times 10^{-2} / \text{watt}$

$r = 0.93$     d.f. = 3     $t = 4.382$   
 $p < 0.025$      $\left( t = \sqrt{\frac{r^2 \cdot \text{df}}{1 - r^2}} \right)$

に求めた。

その結果、図5に示すように、RPPと総仕事量は正の相関を示す。危険率は0.001ないし0.01で $r = 0.95$ ないし0.96とほぼ1に近い相関を示すため、実際のRPPの増加率を直線で代用する

ことが出来る。

図5で示した各年代の回帰式 $y = ax + b$ のaは $\Delta RPP / \text{watt}$ を示すが、このaは加齢に伴い増大する。(表5:左)

次いで、各年代の平均年齢をx、 $\Delta RPP / \text{watt}$

表6 Prevalence of ischemic ST depression on bicycle ergometer exercise test  
ischemic ST dep.: ST dep $\geq$ 1.0mm for 0.08 seconds and have a flat or  
downsloping configuration

	decade	number	ischemic ST dep	%
Male subjects	20~29	13	0	0
	30~39	34	0	0
	40~49	50	4	8
	50~59	24	3	12.5
	60~69	14	4	28.5
total		135	11	8.1←
Female subjects	20~29	6	0	0
	30~39	15	1	6.7
	40~49	24	3	12.5
	50~59	6	3	50.0
	60~69	3	0	0
total		54	7	13.0←
Whole subjects	20~29	19	0	0
	30~39	49	1	2.0
	40~49	74	7	9.5
	50~59	30	6	20.0
	60~69	17	4	23.5
total		189	18	9.5

$\chi^2=1.037$  N.S.

を  $\rho$  として相関をみると,  $r=0.93$ ,  $p<0.025$  で, 加齢と  $\Delta RPP/watt$  の相関が得られた。(表 5: 右)

以上により, 単位仕事量当りの RPP 増加率は加齢に伴い増大することが確かめられた。

### 3. 心電図変化

#### 1) 虚血性 ST 下降 ( $ST_i$ ) の出現頻度

胸部理学的所見, 胸部レントゲン写真, 安静時心電図その他に異常所見なくかつ十分な最高負荷がかかったと思われる, いわゆる健康人男子 189 名について, 最高負荷試験における ST 変化について検討した。

明らかな虚血性変化を示すと考えられる虚血性 ST 下降 ( $ST_i$ ) は, 表 6 のように, 男性では 40 代から出現し始め, 年齢と共にその出現頻度は増し, 20 代から 60 代までの平均出現頻度は 8.1% である。これを虚血収疾患が出現する 30 代から 60 代

まででみると, 9.0% となり大差はない。

一方, 女性では男性より早く 30 代で 1 名認められた。特に 40 ないし 50 代での出現頻度が多く, 平均 13.0% と男性の 8.1% に対して非常に多い。しかしながら, この男女の出現率の違いに, 明らかな統計的有意義はなかった。また女性の場合, 30 歳以上でみた場合 14.6% であった。なお男女の合計 189 例中, 18 名と 9.5% の  $ST_i$  の出現率を示した。

#### 2) $ST_j$ と $ST_i$ の出現率

胸部理学的所見, 胸部 X 線写真, 安静時心電図などに異常を認められなかった, いわゆる健康人とされる男子 179 名, 女子 63 名の計 242 名について,  $ST_j$  (ST up-sloping depression) と  $ST_i$  (ST ischemic depression) の出現頻度を比較検討した。(表 7)

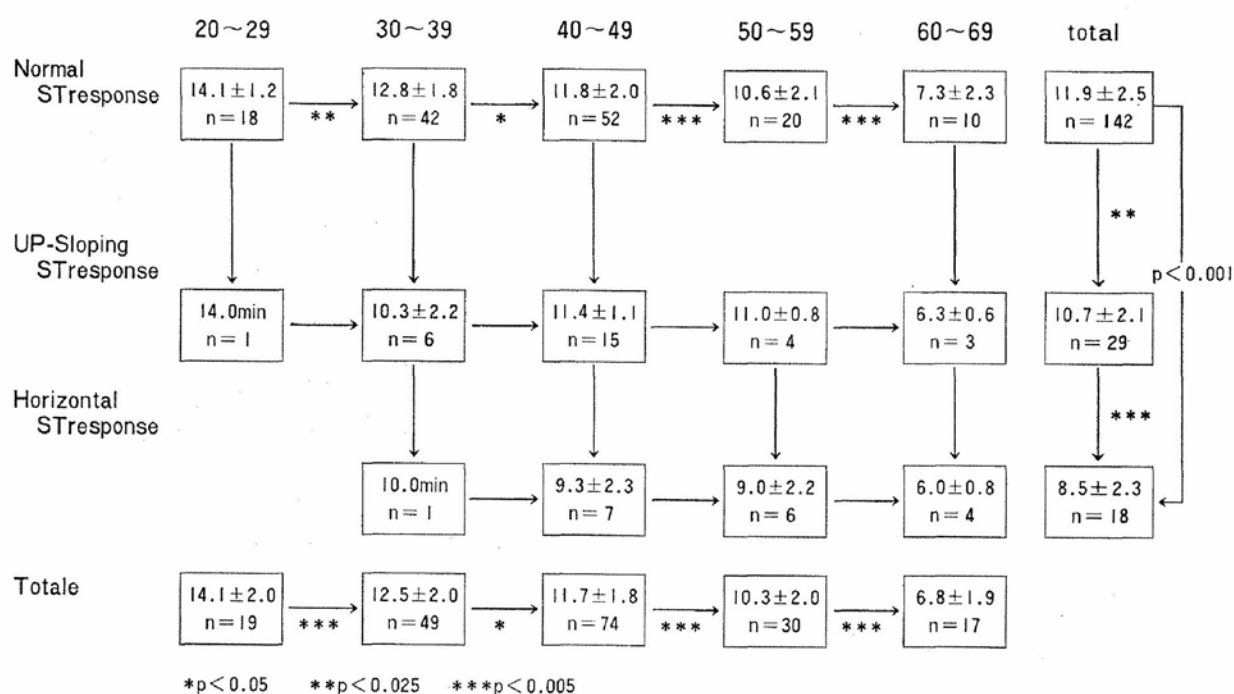
男性では,  $ST_i$  の出現率 8.9% に対して,  $ST_j$  は 2 倍近い 14.5% と非常に高率で出現する。一方

表7 Prevalence of ST depression on bicycle ergometer test

	decade	number	ST up-slope dep. ≥1.0mm	ST I <sub>≥</sub> 1.0mm	%
Male subjects	20~29	14	1	0	6
	30~39	35	2	1	9
	40~49	67	12	6	27
	50~59	43	7	5	28
	60~69	20	4	4	40
	total		179	26 (14.5%)	16 (8.9%)
Female subjects	20~29	6	1	0	16.7
	30~39	15	4	1	33.3
	40~49	31	8	4	38.7
	50~59	8	1	4	62.5
	60~69	3	1	0	33.3
	total		63	15 (23.8%)	9 (14.5%)
Whole subjects	20~29	20	2	0	10.0
	30~39	50	6	2	16.0
	40~49	98	20	10	30.6
	50~59	51	8	9	33.3
	60~69	23	5	4	40.9
	total		242	41 (16.9%)	25 (10.3%)

$\chi^2=2.894$  N.S.       $\chi^2=1.629$  N.S.       $\chi^2=4.343$  p<0.05

表8 Endurance time of decade according to ST responses



女性でも, ST<sub>i</sub> 14.5%に対し ST<sub>j</sub> は23.8%と著しく高い。

ここでも、その出現率に男女差が明らかであるが、ST<sub>i</sub>、ST<sub>j</sub>ともに男女間に統計学的に有意差は認められなかった。ただし、男性のST<sub>i</sub>およびST<sub>j</sub>の合計23%と女性のST<sub>i</sub>ならびにST<sub>j</sub>の合計38.1%との間には $p < 0.05$ で有意差が認められた。

なお、男女合わせた242例では、ST<sub>i</sub> 25例(10.3%)に対し、ST<sub>j</sub>は41例(16.9%)であり、両者を合すると、何らかのST変化の出現したものは27.2%であった。

### 3) ST 下降と運動耐容能との関係

十分に最高負荷のかかったと考えられる健常人189名を、全くST変化のみられなかった正常反応群(142例)、ST<sub>j</sub>群(29例)、ST<sub>i</sub>群(18例)の3群に分け、それぞれ年代別に運動可能時間を比較検討した。(表8)

各群ともに、加齢とともに運動可能時間は短縮しており(ただし、ST<sub>j</sub>群の30代と40代の間は例外)、その平均運動可能時間は、正常反応群で11.9分±2.5、ST<sub>j</sub>では10.7分±2.1、ST<sub>i</sub>群では8.5分±2.3と、心電図のST下降が強くなる程運動可能時間は短縮する。すなわち、ST下降の強くなる程運動耐容能は減弱する傾向にある。

一方、各年代別に検討すると、50代の正常反応群とST<sub>j</sub>群の間を除き、すべての年齢層で、正常反応群、ST<sub>j</sub>群、ST<sub>i</sub>群の順で運動可能時間が短縮している。すなわち、心電図ST下降の増す程運動耐容能の低下することが各年代でみられる。しかしながら、この変化には統計学的に有意の差は明らかでなかった。

## 考 察

### 1. 研究方法について

本研究の目的は、日本人健常者の運動に対する心拍、血圧および心電図などの反応ならびに運動能を検討することにより、正しい運動処方を行うための基準設定を行うことである。したがって、

(1)対象が厳密に正常人であること、(2)最高負荷が十分かかっていること、(3)その他の諸条件が一致した出来る限り均質の対象であることが要求される。

#### 1) 対 象

本研究においては特にこの点には十分留意し、出来る限り諸条件の一致を試み、以下の事項に検討を加えた。

##### (1) 明らかな心疾患の除外

すなわち、運動負荷前に心疾患を思わせる症状ならびに既往歴のないことを確認、更に全員心臓専門医の診察を受け、かつ検尿、末梢血一般検査、血液生化学的検査、胸部レントゲン写真、肺機能検査、眼底検査、血圧、安静時の心電図検査などに異常の認められない者を一応健常者とし、本人の申告や、単なる質問紙法のみによる方法はさけた。

##### (2) 同一プロトコールの実行

運動負荷は、同一のプロトコールを用いた者のみを対象とし、また途中で変更したり、あるいは正確にプロトコール通りに行われなかった場合は、これを対象から除外した。

##### (3) 最高負荷の実施

我々は、Symptome-limited maximal exercise testを行ったが、その条件下で確実に最高負荷がかかったか否かを判断し、最高のレベルまで達した者のみで選んだ。

##### (4) 運動効果の除外

検査結果に運動効果が影響することを排除するため、運動選手や、すでに十分に運動を行っている者も除外した<sup>4,9,10)</sup>。

##### (5) 潜在的 ST 変化

安静時の心電図において何ら変化を認めず、運動負荷で初めて心電図上ST下降を認めるものも運動能判定の対象からは除外する。たとえば表8に示したように、いわゆる健常者においても、運動負荷でST下降の認められたものは運動能の低

下がみられることは明らかであり，運動能に関する検討においてはこれも除外しなくてはならない。

#### (6) 性別，人種

運動能や心電図変化が，性別によって異なった反応を示すことは従来からよくいわれているところであるが<sup>5)</sup>，この点も厳密に分けて考えなければならぬ。また，人種による反応の差も当然考慮されるべきである<sup>2)</sup>。

#### (7) 年 齢

年齢により，運動に対する心拍，血圧，運動能ならびに心電図などの反応が大きく変わることは明らかであり，その対象を検討する場合の大きな要素となるので，年齢別に検討する必要がある<sup>9,10)</sup>。

本研究はその性質上上記の点に特に留意し，厳密に対象を“健常者”として選び，検討を行った。

#### 2) 方 法

今日，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が，自転車エルゴメータは下肢の筋肉のみを使用するため，下肢の筋肉の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，トレッドミルに比べると， $\dot{V}O_2 \max$  および最高心拍が低くなる可能性がある<sup>11,12)</sup>。

しかしながら，watt によって表現される仕事量と体重からほぼ正確な  $\dot{V}O_2 \text{ mL/kg/min}$  の予測が可能であることは<sup>10,13)</sup>， $\dot{V}O_2 \max$  を実測するための器具をつけることの精神的ストレスあるいはその煩雑さを考慮すれば，自転車エルゴメータによる多段階負荷試験の利点といえるであろう。

更に，Symptome-limited maximal exercise test<sup>3-5)</sup>を用いた理由は，この方法が一般健康人を対象とした場合には簡単であり，かつ実用的であるからである。すなわち， $\dot{V}O_2 \max$  を実測するためには，その測定器具を身につけて行わなくて

はならず，相当の心理的負担をかけることとなり，実用的ではない。

しかしながら，この方法は主観に陥りやすく，しばしば最高負荷以前にやめる可能性があるもので，この点に十分留意して試験を行う必要がある。

我々の行った試験での運動負荷終了時点（最高負荷時点）での限界症状の70%は下肢の疲労および疼痛であったが，Bruee ら<sup>2)</sup>の健常人を対象とした研究でも，その71%が下肢疲労であり，ほぼ我々と同様の結果である。

このことから，我々の Symptome-limited maximal exercise test は，ほぼ満足されるべき負荷がかかったものと考えられる。

## 2. 収縮期血圧について

### 1) 加齢と最高収縮期血圧の値

各年代の end-point での最高収縮期血圧の値を比べてみると，60代を除き，加齢とともに増大しているが，20代と30代および40代と50代では統計的有意差が認められず，30代と40代の間のみ  $p < 0.001$  で有意差を認める。しかしながら運動前の安静時血圧をみると，同様に30代と40代の間のみ  $p < 0.005$  で有意の差がある。このことは，安静時の基礎血圧が最高収縮期血圧の値に大きな影響を与えていることを示すものと思われる。

したがって，仮に各年代の安静時基礎血圧を20代の 121mmHg に合わせ補正した時の最高収縮期血圧の値をみると，20代 192mmHg，30代 199mmHg，40代 204mmHg，50代 205mmHg，60代 193mmHg となり，30代と40代の間にも有意差はなくなる。

最大心拍数は安静時心拍数と関係なく，加齢とともに減少するが<sup>1)</sup>，最大収縮期血圧に関しては，安静時の基礎血圧の影響を無視出来ない。

### 2) 加齢と血圧上昇率

加齢に伴い運動持続時間は短縮するため、total work load は減少するが、最大収縮期血圧の値はほとんど同じ傾向を示した。このことは、単位仕事当りの血圧上昇率は加齢とともに増大するものと考えられる。

実際、各年代別の運動中の単位仕事量当りの収縮期血圧上昇率 ( $\Delta$ SBP/watt) は、図3および表3で明らかなように、加齢とともに増大している。これは、加齢とともに心拍増加率の変わらなかった心拍の反応<sup>1)</sup>と異なる点である。

### 3. RPP について

#### 1) 加齢と RPP

Bruce<sup>14)</sup> は、最高負荷試験における RPP と加齢の関係について、 $r=0.1$  で、 $y=360-0.58 \times$  年齢という弱い逆相関があると報告しているが、我々の研究では有意な相関は認められなかった。我々の data では、40代および50代ではむしろ20代、30代より高い値を示しているが、その原因は収縮期血圧の値によるところが大であり、前述のように、安静時の基礎血圧の平均が高いことによると考えられる。

#### 2) 加齢と RPP 増加率

紅露ら<sup>15)</sup> は、平均年齢70歳の86名のトレッドミル運動負荷で、老人は外的運動量に比し、RPP は高値となり易いといっているが、我々の研究でも、単位仕事量当りの RPP 上昇率 ( $\Delta$ RPP/watt) は加齢とともに増大することを確認した。

前回報告<sup>1)</sup> のように、最高負荷以外の途中段階では、同一負荷に対して年齢に関係なく心拍数はほぼ同じ値を示したが、この点で心拍の反応とは異なり、その原因は収縮期血圧の反応の違いによるものと考えられる。

### 4. 心電図変化について

#### 1) ST<sub>i</sub> の出現頻度

ST<sub>i</sub> に関しては、20代、30代では全く認めら

れず、40歳以上で認められるようになる。また女性でも20代はなく、30代で15名中1名のみであった。この事實は、これが直ちに心筋虚血と結びつくか否かは別としても、加齢の影響は大であると考えられる。

また、ST<sub>i</sub> の出現頻度を虚血性心疾患の好発年齢である40代ならびに50代でみると、Bruce ら<sup>16)</sup> の報告によれば、Seattle の米国人を対象としたもので14.7%、台湾の中国人を対象とするもので7.0%とその差は大きく、我々の研究では、その中間よりやや中国人寄りの9.5%という結果を得た。

ST<sub>i</sub> の出現頻度は、男性に比し、女性において高いことはよく知られるところであるが、今回の研究でも明らかに、女性が高率に出現している。

#### (表6)

しかしながら、両者の間に統計的有意差を認めるには至らなかった。したがって、Åstrand<sup>17)</sup> や Cumming ら<sup>18)</sup> の報告に比べると低率であった。

#### 2) ST<sub>j</sub> の出現頻度

ST<sub>j</sub> に関しては、これを頻拍の結果増大した Ta (心房の再分極) の影響でみかけ上の ST 下降を来たしたものであり、その意義をあまり認めないことが多い。

一方、Ellestad らは、これを疫学的にとらえて、虚血性心疾患の予後に関係があるとしている。

ST<sub>j</sub> は ST<sub>i</sub> に比べて出現し易く、また、ST<sub>i</sub> と同様に女性に出現率が高い。しかしながら、統計的有意差を認めるまでには至らなかった (表7)。

更に、ST<sub>j</sub> ならびに ST<sub>i</sub> 両者を含めた ST 下降率を、Bruce ら<sup>2)</sup> の白人を対象とするものにおける28.3%、Pao<sup>19)</sup> らの台湾の中国人を対象とするものの9.7%に比べると、我々の研究では23%とほぼ中間に位置し、ST<sub>j</sub> に関しても人種的な差

異のあることが確かめられた。

### 3) ST 下降と運動能

ST<sub>j</sub> に関しては、これを心筋虚血の表現とはし難いとの見解が支配的であり、ST<sub>i</sub> についても、必ずしも心筋虚血の表現とはなり難い場合もあるとの報告がなされ、近年 RI 心筋シンチグラムなどによる心筋虚血との対比の研究が行われるようになった。

ST<sub>j</sub> は本当にみかけ上の ST 下降なのか？ また、健常者に認められる ST<sub>i</sub> の変化は何を意味するものなのか？ などの疑問が起こって来る。

我々はこの問題の解決の一助として、健常者の ST 無変化群、ST<sub>j</sub>、ST<sub>i</sub> 群の 3 群に分け、各年代別にそれぞれの運動耐容能を比較検討した。

表 8 で示すように、これら 3 群の平均運動持続時間をみると、ST 無変化群 11.9±2.5 分、ST<sub>j</sub> 群 10.7±2.1 分、ST<sub>i</sub> 群 8.5±2.3 分と、ST 下降が著明となる程運動能は低下し、ST 無変化群と ST<sub>j</sub> 群では  $p < 0.025$ 、ST<sub>j</sub> 群と ST<sub>i</sub> 群では  $p < 0.005$  と有意の差があった。なお、ST 無変化群と ST<sub>i</sub> とでは  $p < 0.001$  で明らかな有意差を得ている。

この事実は、ST 下降が虚血の有無は別として、何らかの電気生理学的変化を基盤とした、心機能の低下を示すものといえる。また、ST<sub>j</sub> に関しても同様何らかの心機能の低下を意味するものと考えられる。

一方、各年代ごとにこれら 3 群をみる時、ST 変化が増すにつれて運動持続時間が短縮する傾向を示すにもかかわらず、統計的有意差が認められなかったことは、ST<sub>j</sub> 群ならびに ST<sub>i</sub> 群の例数が ST 無変化群に比べて著しく少なかったことが考えられる。また、ST 無変化群が加齢とともに有意に運動可能時間が短縮したのに対し、ST<sub>j</sub> 群および ST<sub>i</sub> 群では各年代間にも有意差が認められなかったことは、これらがそれぞれ病的状態にあり、個人差が強いことを示すものと考えられ

る。

このように考えれば、各年代別の 3 群の間に有意差を見出すのが困難であったこと自体が、ST<sub>j</sub> および ST<sub>i</sub> の病的意義を支持する根拠ともなり得ると考えられる。

## 結 語

40代を中心とする20歳から69歳までの日本人健常成人 242 名を対象とし、自転車エルゴメータによる最高運動負荷試験における、血圧、RPP ならびに心電図変化を各年代ごとに検討した結果、以下のような結論を得た。

- 1) 最高収縮期血圧の値と加齢との間には、特に相関関係は見られなかった。
  - 2) 最高収縮期血圧の値は最高心拍数の場合と異なり、安静時の基礎血圧の値を無視することは出来ない。
  - 3) 単位仕事量当りの収縮期血圧上昇率は加齢とともに増大する。
  - 4) RPP と加齢との間に相関関係は認められなかった。RPP の値は血圧の影響を受けるため、安静時の基礎血圧を無視することは出来ない。
  - 5) 単位仕事量当りの RPP 増加率は加齢とともに増大する。
  - 6) ST<sub>i</sub> の出現頻度は男性で 8.1%，女性で 13.0%，計 9.5%であり、男性に比べて女性に出現率が高い。
  - 7) ST<sub>j</sub> に関しては、その出現率は男性 14.5%，女性 23.8%，合計 16.9%と、ST<sub>i</sub> に比べると著明に増加し、また ST<sub>i</sub> と同じく女性に多い。
  - 8) ST 下降と運動能との関係は、ST 無変化群、ST<sub>j</sub> 群、ST<sub>i</sub> 群の順に運動能の減少がみられた。この事実は、いわゆる健常人でも運動負荷で ST 変化の出現するものは、何らかの心機能の低下があると考えられる。かつまた、ST<sub>j</sub> の変化も無視出来ないものとする。
- 以上のように、対象を日本人健常人として嚴重



に選り、最高負荷試験を行い、血圧、RPP ならびに心電図変化と運動能についての詳細な検討の発表は本邦においては少なく、今後日本人を対象とする運動処方作成に当り、その基礎データとして実用的価値を有するとともに、今日社会的にも意義あるものと考えらる。

我々は、日本人中高年者の運動処方のための基礎研究として、更に以下の問題につき検討中であり、今後発表して行きたいと思う。

- (1) 運動による血液生化学的变化
- (2) 運動と神経・内分泌学的变化
- (3) 運動効果の判定
- (4) 鍛練者と非鍛練者の運動能の比較
- (5) 運動と不整脈
- (6) 運動と突然死
- (7) 運動過多の問題
- (8) 心疾患患者用のプロトコールPの検討
- (9) 心疾患患者の運動能と運動効果の判定
- (10) 心リハビリテーションの適否の判定

終りに、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、本研究に特にご助力を賜った小野三嗣教授をはじめ学術委員の諸先生に心より感謝申し上げます。また、本研究に終始ご協力いただいた東京医大内科の竹内徹博士、松原哲博士、西弘示助手、勝村俊仁助手、伊藤秀二助手に感謝致します。

## 文 献

- 1) 岩根久夫, 藤波襄二, 南谷和利, 渡辺雅之; 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, デサントスポーツ科学, **3**: 13—27 (1982)
- 2) Bruce, R.A. et al; Separation of effects of cardiovascular disease and age on ventricular function with maximal exercise. *Am. J. Cardiol.*, **33**: 459—464 (1974)

- 3) Bruce, R.A, Kusumi, F and Hasmer, D; Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am. H. J.*, **85**: 546—562 (1973)
- 4) Lester, M, Sheffield, L.T. and Trammell, P; The effect of age and athletic training on the maximal heart rate during muscular exercise. *Am. Heart J.*, **76**: 370—376 (1968)
- 5) Sheffield, L.T. et al; Maximal heart rate and treadmill performance of healthy women in relation to age. *Circulation* **57**: 79—84 (1978)
- 6) Blackburn, H; The exercise electrocardiogram technical, procedural, conceptual, developments. In: Measurement in exercise electrocardiography. ed. by Blackburn, H, C.C. Thomas, Springfield, (1969) pp. 220—258.
- 7) Kitamura, K et al; Hemodynamic correlates of myocardial oxygen consumption during upright exercise. *J. Appl. Physiol.*, **32**: 512—522 (1972)
- 8) Robinson, B.F.; Relation of heart rate and systolic blood pressure to the onset of pain in angina pectoris. *Circulation* **35**: 1073—1084 (1967)
- 9) Robinson, S, Dill, DB. and Tzankoff, S.P.; Longitudinal studies of aging in 37men. *J. Appl. Physiol.*, **38**: 263—267 (1975)
- 10) Åstrand, I; Aerobic capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol. Scand.*, **169**: (Suppl) 45—60 (1960)
- 11) Mason, R.E, Likar, I and Ross, R.S; Multiple-lead exercise electrocardiography experience in 107 normal subjects and 67 patients with angina pectoris, and comparison with coronary cineangiography in 84 patients. *Circulation* **36**: 517—522 (1967)
- 12) Wicks, R.J et al; Comparison of electrocardiographic changes induced by maximal exercise testing with treadmill and cycle ergometer. *Circulation* **57**: 1066—1078 (1978)
- 13) Ellestad, M.H; Stress testing protocol. In: Stress testing protocol. and practice. ed. by Ellestad, M.H, F.A. Davis, Philadelphia (1979) pp. 46—47.
- 14) Bruce, R.A et al; Separation of effects of car-

- diovascular disease and age on ventricular function with maximal exercise. *Am. J. Cardiol.*, **34** : 757—763 (1974)
- 15) Koro, T et al; The exercise test for the aged persons. *Jap. Circul. J.*, **44** : 585 (1980)
- 16) Bruce, R.A et al; Electrocardiographic responses to maximal exercise in American and Chinese population samples. In: Measurement exercise electrocardiography. ed. by Blackburn, H, Charles Tomas, Springfield (1969) pp. 413—444.
- 17) Åstrand, I et al; Exercise electrocardiograms recorded twice with on 8 year interval in a group of 204 women and men. *Acta. Med. Scand.*, **178** : 27—39 (1965)
- 18) Cumming, G.R., Dufrence, C. and Kich, L.: Eercise electrocardiogram patterns in normal womel women. *Br. Heart J.* **35** : 1051—1061 (1973)
- 19) Pao, Y.I. et al; Near maximal exercise response in health and disease in middle-aged chinese men. *Jap. Circul. J.*, **41** : 1251—1255 (1977)