

# コウレイシャオヨビチュウネンシャノサイダイカウ ンドウニタイスルジュンカンオウトウトサイダイサ ンソセッシュリョウ

堀田, 昇  
九州大学健康科学センター

<https://doi.org/10.15017/554>

---

出版情報 : 健康科学. 13, pp.41-47, 1991-02-08. Institute of Health Science, Kyushu University  
バージョン :  
権利関係 :



# 高齢者および中年者の最大下運動に 対する循環応答と最大酸素摂取量

堀 田 昇

## Cardiovascular Responses to Submaximal Exercise and Maximal Aerobic Capacity in Old Aged and Middle Aged Men and Women

Noboru HOTTA

### Summary

The purpose of the present study was to evaluate maximal aerobic capacity and age associated difference in responses to submaximal exercise in normal middle and old aged men and women. Subjects were four groups : "old aged men" ( n=10; age,70.6 years ; stature,162.2±6.9cm ; weight 59.29±6.49 kg ) , "old aged women" ( n=6; age,70.4 years ; stature,150.5±3.0cm ; weight 47.15± 6.37kg ) , "middle aged men" ( n=10; age,35.1 years ; stature,168.9 ±6.0cm ; weight,64.05 ±10.90kg ) , and "middle aged women" ( n=10; age,34.0 years ; stature,156.8±3.8cm ; weight,51.90±5.65kg).

Exercise test were performed using bicycle ergometer with a stepwise(3steps) increase of work load. Each period of exercise was 4 minutes. Maximal aerobic capacity in old aged and middle aged men were 27.5 ±6.0 and 39.4±9.1 ml/kg/ min, respectively. However, maximal aerobic capacity in both women's groups were almost same values (old aged ;37.6 ±7.3, middle aged ;39.5±8.8 ml/kg/min ).

Ergometer exercises increased heart rate almost in linear in old aged and middle aged groups in both sex. Exercise induced a greater increase in systolic pressure both old aged men and women than both middle aged groups. However, ergometer exercise increased a very small amount in old aged and middle aged men and women.

Rate pressure product in old aged men at the same work load was always higher than in middle aged men. We found that increase in rate pressure product were by the similar amount in middle and old women at the same work load.

So, it would be suggested that sex different in old aged men and women in rate pressure product to submaximal exercise was caused by different level of maximal aerobic capacity.

(Jounal of Health Science, Kyushu University. 12 : 41-47, 1991)

### 緒 言

心臓血管系の機能的能力は加齢とともに低下するの

で、その結果最大酸素摂取量が低下することが知られている<sup>3),7),8),11)</sup>。その低下率は一般男性の場合、25歳以降10年で10%程度である<sup>4),6),9)</sup>。また、Heath<sup>10)</sup> は成人

Table 1. Physical characteristics of subjects

	Group	Age		Stature cm	Body weight kg	% Fat %
		n	yr			
male	Old	10	70.6	162.2 ±6.9	59.29 ±6.49	17.75 ±6.22
	Middle	10	35.1	168.9 ±6.0	64.05 ±10.90	16.90 ±4.50
female	Old	6	70.4	150.4 ±3.0	47.15 ±6.37	26.05 ±9.33
	Middle	10	34.0	156.8 ±3.8	51.90 5.65	25.40 ±7.40

と高齢者の持久的競技者を横断的に比較し、一定レベルで定期的に運動を行っていると最大酸素摂取量の低下率は10年で5%まで低下することを示した。明らかに加齢に伴う最大酸素摂取量の低下のひとつは加齢過程そのものの結果である。

また、加齢に伴い運動に対する心拍応答が鈍化し、一方収縮期血圧が著しく上昇することが知られている<sup>2)</sup>。

本研究は、平均年齢70歳代の男女高齢者の最大下運動に対する循環系応答を30歳代の中年者のそれと比較するために行なった。

## 研究 方法

### 1. 被験者

高齢の被験者は平成1年度春日市“生き生き老人”健康外来に参加した者の中で、医学的疾患をもたず、12分間の自転車エルゴメータによる運動負荷テストを完遂した男性10名および女性6名であった。彼らの平均年齢は、男性70.6歳(範囲:66~78歳)、女性70.4歳(範囲:67~73歳)であった。また、平成1年および2年度に九州大学健康科学センター健康外来を受診した人の中で、最も最近受診した30歳代の男性および女性それぞれ10名を高齢者群の対照群とした。彼らの平均年齢は男性35.1歳(範囲:30~39歳)、女性34.0歳(範囲:30~38歳)であった。

高齢者群と対照群の中年者の身長、体重および体脂肪率を表1に示した。身長および体重は男性および女性とも高齢者群にくらべ中年者群がいずれもすぐれていたが、両群間で統計的に有意な差は認められなかった。

### 2. 運動負荷テスト

自転車エルゴメータ上での3~5分間の安静時にCM5誘導の心電図と血圧の測定の後、1段階4分間で3段階の負荷漸増テストを実施した。各段階の最後の15秒間の心電図と血圧を測定した。血圧は聴診法で測定を行なった。各負荷段階時の心電図のR棘の数を数え、心拍数を求めた。

運動時のペダリング頻度は、毎分50回転とし高齢男性者群は1.0, 1.5, 2.0kp, 中年者群は1.5, 2.0, 2.5kpを、女性高齢者群は0.75, 1.25, 1.75kp 中年者群は1.0, 1.5および2.0kpを目安とし12分間完遂できるように選択した。各3段階の心拍数と運動強度(仕事量)の関係から各被験者の最大酸素摂取量を推定した。

## 研究 結果

### 1. 安静時の心拍数、血圧および運動中の最大酸素摂取量

安静時の心拍数、血圧およびRate Pressure Productの値を表2に示した。男性高齢者群の心拍数は71.4±7.8拍/分であり、中年者群は70.6±13.0拍/分と有意な差は認められなかった。また、女性については、中年者群の73.6±10.0拍/分にくらべ高齢者群が68.3±9.7拍と約5拍/分低かったが、有意な差ではなかった。

安静時の収縮期血圧は男性高齢者は141.4±11.1mm Hgであり、中年者群の120.0±5.9mm Hgとくらべ0.1%水準で有意に高い値であった。同様に、女性においても高齢者群の132.0±21.2mm Hgは中年者群の112.9±8.7mm Hgにくらべ5%水準で統計的に高い値であった。高齢者群と中年者群を比較するといずれも女性

Table 2. Cardiovascular parameters at rest and estimation of  $\dot{V}O_{2max}$  during submaximal exercise

	Group	$f_H$ beats/min	Syst. BP mmHg	Diast. BP mmHg	Rate $\times$ Pressure $\times 100$	Maximal aerobic power ml/kg/min	power ml/min
male	Old	71.4	141.4	82.6	101	27.5	1605
		$\pm 7.8$	$\pm 11.1$	$\pm 7.5$	$\pm 15$	$\pm 6.0$	$\pm 286$
	Middle	70.6	120.0***	78.2	85	39.4**	2437***
		$\pm 13.0$	$\pm 5.9$	$\pm 5.8$	$\pm 18$	$\pm 9.1$	$\pm 322$
female	Old	68.3	132.0	79.0	90	37.6	1753
		$\pm 9.7$	$\pm 21.2$	$\pm 13.1$	$\pm 9$	$\pm 7.3$	$\pm 329$
	Middle	73.6	112.9*	67.5	83	39.5	2031
		$\pm 10.6$	$\pm 8.7$	$\pm 7.6$	$\pm 13$	$\pm 8.8$	$\pm 427$

Old vs. Middle : \* p < 0.01, \*\* p < 0.05, \*\*\* p < 0.001

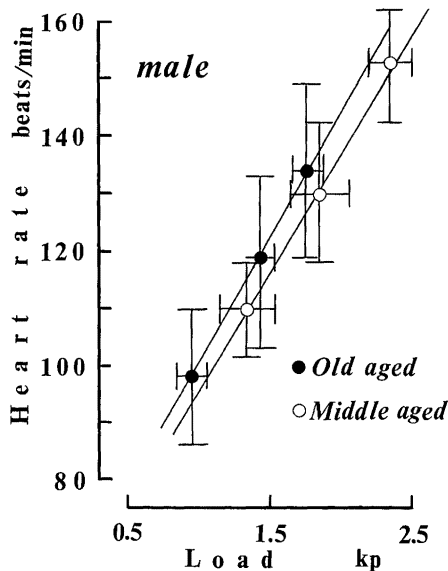


Fig. 1 Relationship between heart rate and work load in submaximal exercise in men.

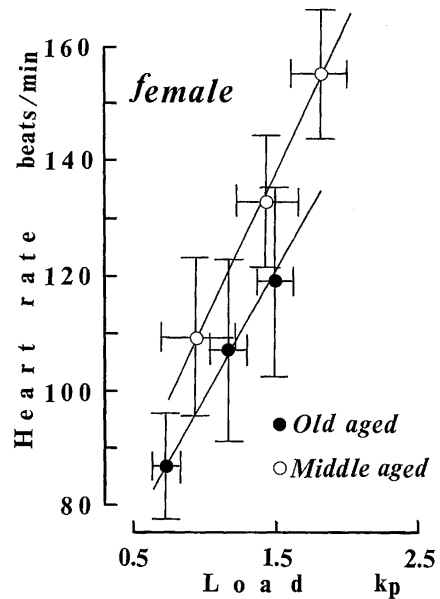


Fig. 2 Relationship between heart rate and work load in submaximal exercise in women.

よりも男性の方が収縮期血圧は高い傾向にあった。安静時の拡張期血圧は、男女とも中年者群に比べ高齢者群で高い傾向にあったが統計的に有意な差は認められなかった。

循環系の負担の大きさは、心臓の仕事量で代表されるが、この仕事量を支えるのは心筋で発生される収縮エネルギーであり、心筋の酸素消費量である。この値は、心拍数と収縮期血圧との積 (Rate pressure Prod-

uct) によく相関する。男性および女性の Rate Pressure Product の値を表 2 に示したが、いずれも中年者群に比べ高齢者群の方が高い値であり、さらに高齢者および中年者群とも女性より男性の方が大きい値であった。

3 段階の運動負荷テスト時の心拍数と仕事量から推定した最大酸素摂取量を表 2 に示した。男性高齢者の体重 1 kg 当たりの最大酸素摂取量は 27.5 ml/kg/min であり、この値は中年者群の 39.4 ml/kg/min とくらべて統計的に

1%水準で有意な差であった。1分間当たりの絶対値で比較しても高齢者群は中年者群にくらべ0.1%水準で有意に低い値であった。

一方、女性については体重1kg当たりの最大酸素摂取量は、高齢者群37.6ml、中年者群39.5ml/分と高齢者群の方がやや低い値であったが、統計的に有意な差ではなかった。これは絶対値の最大酸素摂取量についても同様であり、高齢者群と中年者群で統計的に有意な差は認められなかった。

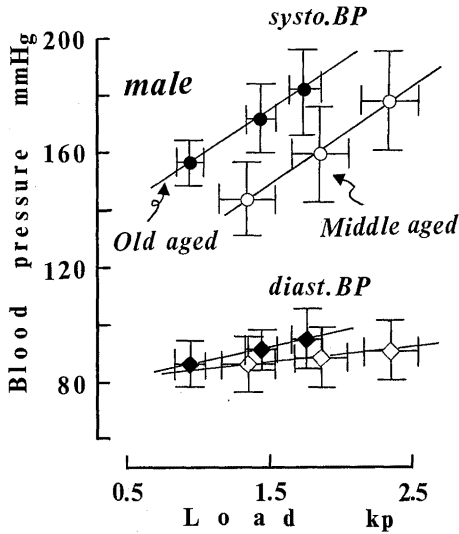


Fig. 3 Blood pressure responses to several work load in submaximal exercise in men.

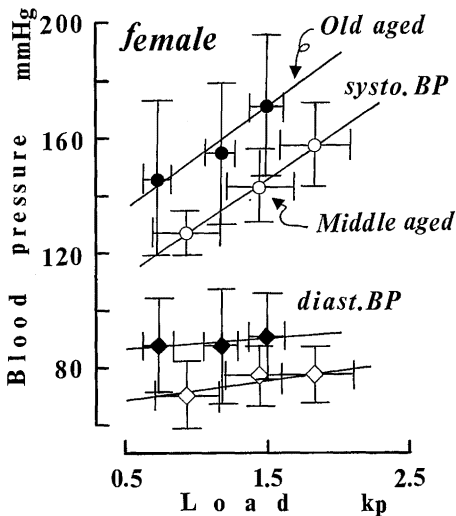


Fig. 4 Blood pressure responses to several work load in submaximal exercise in women.

## 2. 運動中の循環応答

男性および女性の運動負荷（負荷重量）と心拍数の関係を図1および2に示した。男性高齢者の両者の関係式は $y = 56.04x + 44.3$  ( $r = 0.9976$ )、中年者群が $y = 55.2x + 41.2$  ( $r = 0.9896$ )であった（ただし、 $y$ ：心拍数；拍/分、 $x$ ：負荷；kp）。心拍数と負荷との関係は高齢者群および中年者群ともいずれも直線的な関係にあった。同一負荷に対して、中年者群より高齢者群の方が心拍数は高い値であった。

一方、女性の高齢者群の両者の関係式は $y = 57.5x + 41.4$  ( $r = 0.9996$ )、中年者群が $y = 61.0x + 50.$

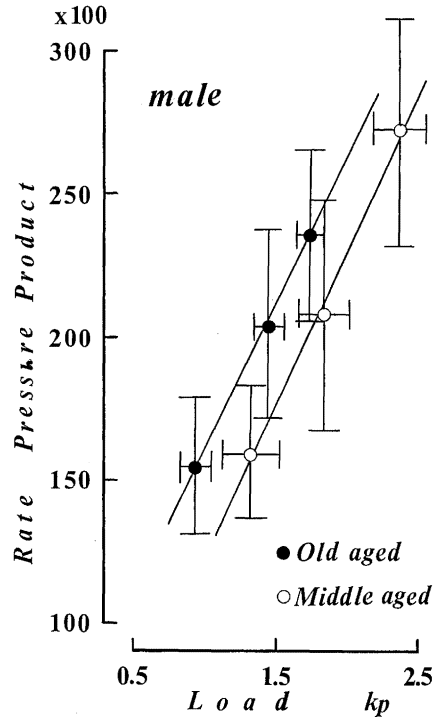


Fig. 5 Rate pressure product to several work load in men.

3 ( $r = 0.9988$ )であり、男性にくらべ両群間でやや切片が大きいが、いずれの群とも直線的な関係が認められた。

3段階の運動中の収縮期血圧および拡張期血圧と負荷との関係を図3および4に示した。男性高齢者の収縮期血圧は、 $y = 101.9x + 55.9$  ( $r = 0.9995$ )（ただし、 $y$ ：収縮期血圧；mm Hg、 $x$ ：負荷；kp）、中年者群は $y = 100.3 + 32.7$ ととも直線的な関係にあった。両群とも直線の傾きはほぼ等しかったが、切片が約30 mm Hg異なっていた。しかし、拡張期血圧については両

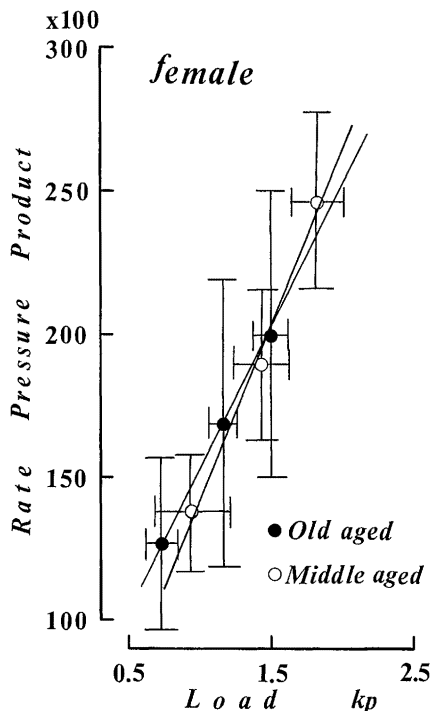


Fig. 6 Rate pressure product to several work load in women.

群ともほぼ同様の直線式であり、運動強度の増加に伴う上昇はみられなかった。

一方、女性についても収縮期血圧と負荷との関係は高齢者群で  $y = 101.7x + 45.1$  ( $r = 0.9974$ ), 中年者群で  $y = 100.0x + 25.1$  ( $r = 0.9990$ ) と男性同様直線的な関係であったが、切片が高齢者群の方が約20mm Hg高かった。拡張期血圧と運動強度との関係は男性の傾向とほぼ等しく、高齢者群および中年者群とも運動強度の増加に関係なくほぼ一定の値であった。

心拍数と収縮期血圧との積である Rate Pressure Product と負荷との関係を図5および6に示した。図5より、男性については高齢者群、中年者群とも両者の関係は、運動強度の増加にともない直線的に上昇した。その上昇の程度は両群間でほぼ等しかったが、直線の切片、すなわち上昇値はつねに高齢者群の方が30000~40000高い値であった。

一方、女性については Rate Pressure Product と運動負荷との関係は、高齢者群と中年者群とで作業強度が1.5kpのところで交叉する直線式が得られた。両群の直線の傾きおよび切片は今回の負荷強度の範囲内ではほぼ等しいとみなすことができる。

## 考 察

### 1. 安静時の循環応答

男性および女性とも高齢者群と中年者群とで拡張期血圧はほぼ等しい値であったが、男女とも収縮期血圧は加齢に伴い有意な上昇を示した。そのため、中年者群は脈圧が男性41.8mm Hg, 女性45.3mm Hg に対して、高齢者群はそれぞれ58.8mm Hg および53.0mm Hg といずれも50mm Hg を越える値となった。このように加齢に伴い収縮期血圧が上昇し、脈圧が増大する傾向は従来からの報告<sup>2)</sup>とほぼ一致する。一方、安静時心拍数は男女とも加齢の影響は受けず、30歳代と70歳代とでほぼ等しい値であり、正常範囲内であった。

また、安静時の Rate Pressure Product の値も正常範囲内にあり加齢に伴い収縮期血圧が上昇したため、この値も中年者群にくらべ高齢者群で高い値となった。

### 2. 最大酸素摂取量

3段階の負荷漸増テストにより求めた最大酸素摂取量は、男性中年者群が39.4ml/kg/分であり、高齢者群と0.1%水準で有意な差であった。本研究の中年者(平均年齢35.1歳)の最大酸素摂取量はこれまでほぼ同年齢の被験者で求められている値<sup>2),5)</sup>と等しい値であった。最大酸素摂取量は加齢に伴い低下することはこれまで数多く報告されている<sup>3),6),9),11)</sup>。アメリカ合衆国の健康な一般成人では10年間に約10%低下するといわれている<sup>4),6),9)</sup>。Dehn と Bruce<sup>9)</sup>によると定期的に運動を行っていない人の場合、最大酸素摂取量は1年間に体重1kg当たり0.5~0.6ml 低下する。それらの報告を考慮すると、本研究の男性高齢者の27.5ml/kg/分という最大酸素摂取量は中年者群と高齢者群の年齢差から考えられる値であった。

一方、女性の最大酸素摂取量は中年者群39.5±8.8ml/kg/分に対して、高齢者群は37.6±7.3ml/kg/分であり、約35歳という年齢差にもかかわらずわずか2mlの差しかなく、ほとんど等しい値であった。

平成元年度に厚生省から出された「運動所要量」によると、虚血性心疾患の予防のためには60歳以上の男性では体重1kg当たり37ml, 女性では31mlの最大酸素摂取量を維持するよう推奨している。この観点からすると、本研究の男性高齢者群はこの域に達しておらず、「運動不足」が指摘される。一方、高齢女性群はこの値を十分満たしており同年齢の男性にくらべ呼吸循環系体力が優れていると思われる。これらのことは男性および女性の運動負荷と心拍数の関係からも明らかである。すなわち、同一運動負荷に対して男性では中年

者群より高齢者群の方が心拍数がつねに高いのに対して、女性では中年者群より高齢者群の方が低かった。

このように本研究では、最大酸素摂取量および中年者群および高齢者群の運動負荷と心拍数の関係から、平成1年度の春日市“生き生き老人”は、男性にくらべ女性の方が全身持久力は優れていたと思われる。

### 3. 運動中の循環応答

運動負荷の増加に伴う高齢者の心拍応答は男女とも等しく、これまで報告されている成人<sup>1)</sup>および高齢者<sup>12)</sup>と同様直線的に増加していった。このことは年齢に伴う最高心拍数の減少さへ考慮すれば、本研究の被験者のように70歳以上の高齢者でも心拍数を運動強度の手掛かりとして運動処方を行なうことができることを示している。

運動強度の増加に伴い男女高齢者および中年者群ともに収縮期血圧が直線的に上昇し、一方拡張期血圧はほぼ一定のままであった。一般的に、同一物理的負荷に対して体力水準の高い者あるいは年齢の若い者の方が心拍数および収縮期血圧とも安静時からの変化が少ないといわれている<sup>2)</sup>。特に、加齢が進むにつれて同一負荷に対して若い時よりも収縮期血圧の上昇が著しい。本研究においても上昇の程度は高齢者と中年者としてほぼ同程度であったが、男女ともほぼ同一物理的負荷である高齢者群の第3段階と中年者群の第2段階の負荷のところの収縮期血圧は男女とも約20~30mm Hgの差がみられた。

本研究の第3段階の負荷は男女高齢者群および中年者群とも約71~80%  $\dot{V}O_2\max$  に相当すると考えられるが、これが最大運動に近づくにつれ、さらに収縮期血圧は上昇し、高齢者の場合には運動強度の増加に対して脈圧を増加して応じると考えられる。ちなみに脈圧はおおざっぱではあるが心拍出量の1つの指標と考えられている。したがって、運動に対して中年者群では心拍数を増加させて、一方高齢者群では収縮期血圧を増加させてそれぞれ必要な心拍出量を供給していると考えることができる。

男性被験者において、一定作業負荷に対して高齢者群は中年者群にくらべて心拍数および収縮期血圧とも高いため、その積であるRate Pressure Productもいずれの負荷時においても高い値であり、運動強度とともに直線的に増加していった。高齢者の第2および第3負荷時の20434±3360および23515±2980という値は、Rogers<sup>13)</sup>らの平均年齢61.4歳の被験者にBruceのプロトコルでstage 2および3の負荷を課した時に得られた値とほぼ一致している。また、高齢者群が一定運動

に対して中年者群よりRate Pressure Productが大きいう結果は、23歳と72歳の若年群と老人群に同一負荷での自転車エルゴメータ運動をさせたKuramotoら<sup>12)</sup>の結果と一致していた。Rate Pressure Productは一般に心筋の酸素消費量を表わしているため同一作業負荷に対して男性高齢者群はより多くの酸素消費量で対応していることになる。

一方、女性被験者では男性高齢者群とは異なり、本研究の運動負荷範囲内では中年者群と高齢者群とで等しいRate Pressure Product値であった。本被験者の年齢から推定した最高心拍数および安静時心拍数と第3段階時の心拍数から、最後の運動強度は高齢者群で約71%  $\dot{V}O_2\max$ 、中年者群では約76%  $\dot{V}O_2\max$  と推測され、ほぼ等しいと判断できる。したがって、同一相対強度の運動強度に対してほぼ等しい心筋酸素消費量で運動を行なっていると思われる。さらに、高齢者群の第3段階と中年者群の第2段階の作業負荷はほぼ等しいが、この同一絶対作業負荷時のRate Pressure Productもほぼ等しい値であった。

本研究では男性高齢者群と女性高齢者群とで、それぞれ中年者群とくらべてRate Pressure Productの応答に性差が認められた。すなわち、女性高齢者群は中年者群とほぼ等しい心筋酸素消費量で運動を行なっていた。この性差の原因については種々考えられるが、その原因の1つに体力レベルの違いがあげられる。すなわち、男性高齢者の最大酸素摂取量は体育科学センターの分類<sup>14)</sup>では“やや低い”値であるが、女性のそれは“高い”と判断される。

トレーニングを積み体力レベルが向上すると心拍数、血圧の運動時増大反応は小さくなるため、Rate Pressure Productの値は小さくなる。すなわち、同一運動負荷量に対してより小さいRate Pressure Productで対応可能になる。このことは同一運動量をより少ない心筋酸素消費量で遂行可能となるので循環系の運動耐性の増大、ゆとりの増大と評価できる。

したがって、本研究の女性高齢者のように有酸素能力が高い場合には高齢になっても運動時のRate Pressure Product値は上昇せず、30歳代の人と同様に応じることができると思われる。

## 要 約

1. 加齢に伴う最大下の循環応答と最大酸素摂取量を求めるために、男性高齢者 (n=10, 年齢70.6歳, 身長162.2±6.9cm, 体重59.29±6.49kg), 女性高齢者 (n=6, 年齢70.4歳, 身長150.4±3.0cm, 体重47.15±

6.37kg)と中年男性(n=10, 年齢35.1, 身長168.9±6.0cm, 体重64.05±10.90kg)および中年女性(n=10, 年齢34.0歳, 身長156.8±3.8cm, 体重51.90±5.65kg)を対象に3段階の自転車エルゴメータ運動を行なわせた。

2. 男性の最大酸素摂取量は, 高齢者群27.5±6.0ml/kg・分, 中年者群39.4±9.1ml/kg・分と有意な差がみられた(P<0.01)。一方, 女性では高齢者群37.6±7.3ml/kg・分, 中年者群39.5±8.8ml/kg・分とほぼ等しい値であった。

3. 男女とも高齢者群は運動負荷の増加に対して, 心拍数も直線的に増加し, 心拍数と負荷との関係は中年男女群の応答と類似していた。

4. 運動負荷の増加に対する収縮期血圧の上昇は, 男女とも高齢者群が顕著であったが, 拡張期血圧は中年者群と同様ほとんど変化しなかった。

5. 運動に対する男性高齢者の Rate Pressure Product 値はつねに中年者群より高い値であった。一方, 女性高齢者の運動に対する Rate Pressure Product の値は中年者群の値とほぼ等しかった。

この男女高齢者の負荷漸増運動に対する Rate Pressure Product の違いは, 主として両群間にみられた有酸素的体力レベルの差によると結論される。

なお, 小論は平成1年度および2年度に健康科学センターの教官および職員の全員によって行なわれた研究を著者がまとめたものである。

## 引用文献

- 1) 青木純一郎: 心拍数—運動強度の指標としての意義と限界. 新体育, **46**: 660—665, 1976.
- 2) 青木純一郎: 健康マラソン愛好者の最大運動時の生理学的特性—2年間の追跡データから—. 中高年者の有酸素作業能力(伊藤稔 編) 一条書店: 東京, pp.44—59, 1979.
- 3) Åstrand, I.: Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. Acta Physical. Scand. Suppl. **69**: 1-92, 1960.
- 4) Buskirk, E.R., and J.L. Hodgson: Age and aerobic power: the rate of change in men and women. Federation Proc. **46**: 1824-1829, 1987.
- 5) Dehn, M.E., and R.A. Bruce: Longitudinal variation in maximal oxygen intake with age and activity. J. Appl. Physiol., **33**: 805-807, 1972.
- 6) Dill, D.B., S. Robinson, and J.C. Ross: A longitudinal study of 16 champion runners. J. Sports Med. Phys. Fitness, **7**: 4-27, 1967.
- 7) Gerstenblith, G., E.G. Lakatta, and M.L. Weisfeldt: Age changes in myocardial function and exercise response. Prog. Cardiovasc. Dis. **19**: 1-21, 1960.
- 8) Grimby, G., and B. Saltin: Physiological analysis of physically well trained middle-aged and old athletes. Acta. Med. Scand. **179**: 513-526, 1966.
- 9) Hagberg, J.M.: Effect of training on the decline of  $\dot{V}O_2\text{max}$  with aging. Federation Proc. **46**: 1830-1833, 1987.
- 10) Heath, G.W., J.M. Hagberg, A.A. Ehsani, and J.O. Holloszy: A physiological comparison of young and older athletes. J. Appl. Physiol., **51**: 634-640, 1981.
- 11) Kasch, F., and J.P. Wallace: Physiological variables during 10 years of endurance exercise. Med. Sci. Sports **8**: 5-8, 1976.
- 12) Kuramoto, K., S. Matsusita, I. Kuwajima, T. Iwasaki, and M. Murakami: Comparison of hemodynamic effect of exercise and isoproterenol infusion in normal young and old men. Japanese Circulation Journal, **43**: 71-76, 1978.
- 13) Rogers, M.A., J.M. Hagberg, W.H. Martin III, A.A. Ehsani, and J.D. Holloszy: Decline in  $\dot{V}O_2\text{max}$  with aging in master athletes and sedentary men. J. Appl. Physiol., **68**: 2195-2199, 1990.
- 14) 体育科学センター: 健康づくり運動カルテ. 講談社: 東京, 1976.