

中高年者の各種運動強度に対する 呼吸数，心拍数，血圧の反応

平 田 敏 彦

実 験 方 法

1. 被 検 者

被検者は44.8才～76.5才までの男性12名である。本研究では身体運動中の呼吸循環応答について，加齢との関係を検討するために，被検者を中年齢者群（Middle aged group：44.8才～55.0才）5名と高年齢者群（Old aged group：61.8才～76.5才）7名とに区別した。

中年齢者群（以下，中年者）は週にときどき軽スポーツをおこなっている大学に勤務の教職員である。高年齢者群（以下，高年者）は毎日30分以上の歩行運動を中心とした運動を生活習慣としている無職の者である。各被検者は内科的，外科的疾患をもたない健康人であった。各被検者群の身体的特性を表1に示した。

2. 実験手順

全被検者はMonark社製自転車エルゴメターを用いて運動をした。中年者は575kpm/min, 450kpm/min, 525kpm/min, 600kpm/minを高年者は300kpm/min

近年，生活様式が改善され我々をとりまく社会環境の機械化にともなう運動不足や高栄養化の食生活の習慣から中高年齢者の成人病の増加傾向が多く報告⁹⁾されている。

さらに，平均寿命の延長にともなう高齢化社会の現状から中高年齢者の健康や体力に関する関心が高まり，そのための運動処方や指導に関する研究が必要となっている。

効果的な運動処方は，その個人の能力に応じて，運動をどの程度の強度と時間と頻度の組み合わせで指導することができるかである。

一方，人の身体運動に対する生体反応の生理的機能の変化は年齢によって異なり，加齢にともなって個人差が著しいことが報告²¹⁾されているが，呼吸循環機能の低下傾向が大きいとされている高年齢者についての研究はまだ十分といえない。

そこで本研究は，有効で安全な運動処方の基礎資料を得るために中高年齢者の身体運動時の呼吸循環機能応答について加齢との関係から検討することを目的とした。

Tabl.1 physical characteristics of the subjects.

Subjects	Middle aged (n = 5)	Old aged (n = 7)
A g e (Y r s)	49.2 ± 3.4	67.6 ± 4.5
H i g h t (c m)	167.3 ± 2.8	160.9 ± 4.2
W e i g h t (k g)	61.8 ± 4.7	51.7 ± 5.6

min, 375kpm / min, 450kpm / min, 525kpm / min
のそれぞれ4種類の強度の運動を5分間おこなった。

自転車漕ぎのペダルの回転数は1分間50回として、
メトロノームのテンポに合わせた。(図1)



Fig.1 Application of the Douglas bag method for measuring oxygen uptake during exercise on bicycle ergometer.

実験は運動の疲労を考慮して2日間に分けて、運動の負荷はrandomとした。実験開始前にウォーミングアップとして300kpm / minの強度で3分間の自転車漕ぎをした。各種の強度での5分間の運動終了後、自転車で1分間と椅座位で9分間の安静を保持した。

運動時と回復時の心拍数は胸部双極誘導法による心電図を運動開始から回復終了までペン書きオシログラフで連続記録したものからR波を1分間隔で計測して算出した。

呼吸ガスはDouglas bag法によって安静時5分間とそれぞれの強度での運動中の3～4分と4～5分の間採気した。呼吸ガス量は乾式ガスメーターで測定した。同時に O_2 と CO_2 の濃度を求めるためにサンプリングをした。

O_2 と CO_2 の濃度はショランダー微量ガス分析器を

用いて分析し酸素摂取量を(VO_2)を求めた。

呼吸数(RR)はサーミスターを鼻孔下に固定し、呼吸および吸息にともなう温度変化曲線として安静時と運動開始から回復終了までをペン書きオシログラフに連続記録し、得られた呼吸曲線から1分間隔で計測し求めた。

血圧(BP)はRiva Rocci型水銀血圧計を用いて収縮期血圧は第1点を弛緩期血圧は第4点で測定した。測定は安静時の3～5分間と運動終了時から1分間毎に回復期終了までであった。主観的運動強度(RPE)は²⁰⁾それぞれの強度での運動終了前に日本語表示によるRPE度数表を示したものを被検者に指示させた。

結 果

図2は運動開始から回復期終了までの呼吸数の変化を、中年者と高齢者についてそれぞれの運動強度での運動中の平均値で示したものである。呼吸数は運動開始後中年者、高齢者ともに運動強度が高いほど高い増加傾向がみられた。高齢者は中年者に比較してその傾向は明らかであった。

運動終了後の呼吸数は両群ともにそれぞれの強度において減少する傾向がみられたが、高齢者は中年者に比較して低い減少傾向がみられた。

図3は呼吸数を同一運動強度について、それぞれの被検者の平均値で比較したものである。高齢者の呼吸数は中年者に比較して運動開始後高い増加傾向を示し、回復もゆるやかな傾向を示した。また、運動強度が高くなるにともなってその傾向は明らかになった。

また、運動中の中年者の呼吸数は運動強度が増加しても同様の値を示したのに対して、高齢者は運動強度増加にともなって高い傾向を示した。

図4はそれぞれの強度の運動における運動時と運動終了時から10分間の回復期の心拍数を被検者の平均値と標準偏差値とで示したものである。上段が中年者を下段が高齢者を示している。中年者、高齢者の運動中の心拍数は強い運動強度ほど高い傾向を示した。

低い運動強度における心拍数の増加は運動開始1～2分間でほぼ一定になる傾向がみられた。また、高齢者の心拍数の増加は中年者に比較して遅い傾向がみられた。

回復期の心拍数はそれぞれの強度の運動後はほぼ1分間内に安静時に近い減少を示したが、高い運動強度においては減少が遅い傾向を示した。

さらに、図5は猪飼たち¹⁵⁾の方法を用いて求めた運動開始から終了までを心拍数増加率、運動終了後を心

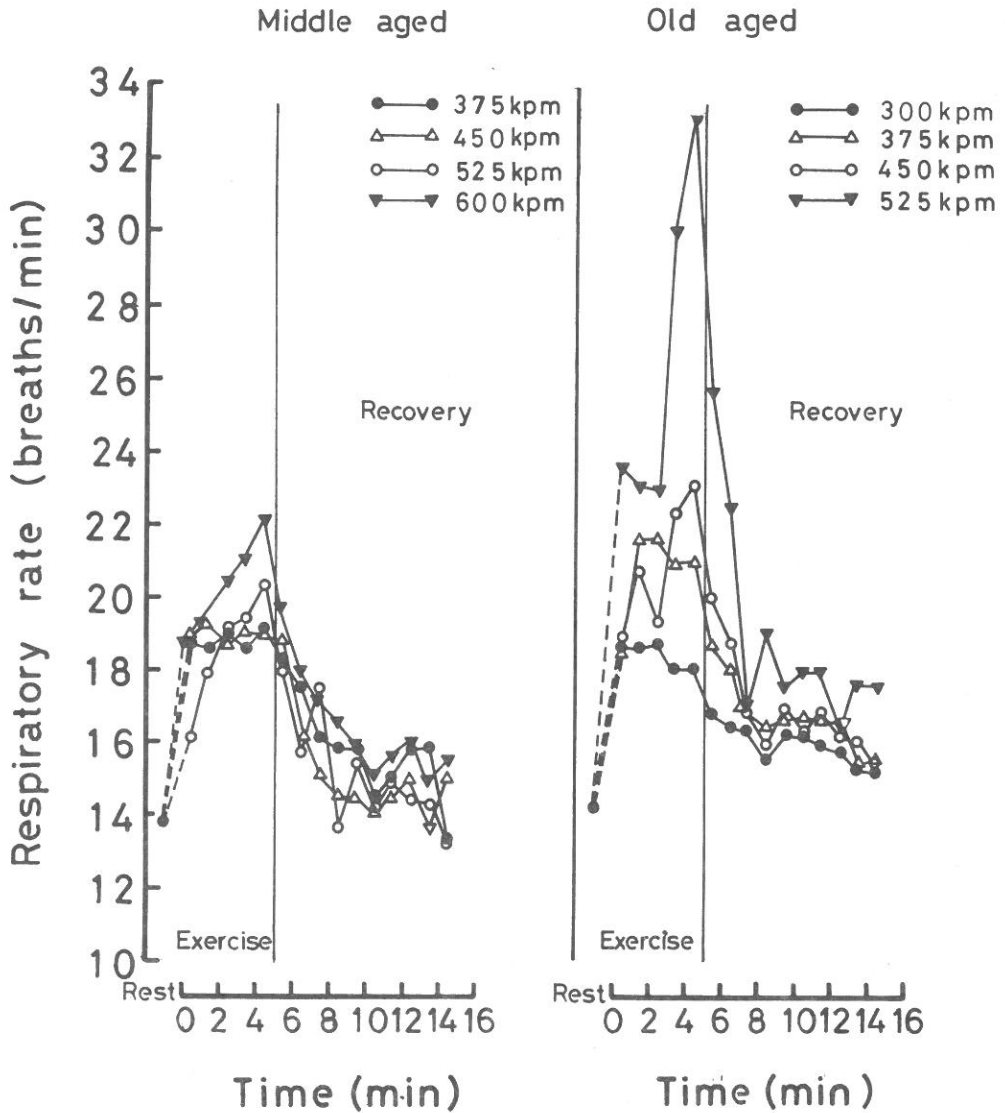


Fig.2 Respiratory response to 4 kinds of work load.

拍数回復率として示したものである。中年者の心拍数増加率は運動開始後すばやい増加傾向を示したのに対して、高年者の心拍数増加率は遅く、高い運動強度になるほどその傾向が明らかになった。

一方、心拍数回復率においては中年者が運動終了後すばやい回復を示す傾向みられたが、高年者回復は遅く高い運動強度になるにともなってその傾向が明らかであった。

図6は運動開始から回復期終了までの心拍数の増加率と回復率について同一運動強度について中年者と高

年者とを比較したものである。375kpm / min と 450 kpm / min の運動強度における中年者と高年者の心拍数の増加率と回復率は同様の傾向を示したが運動強度が525kpm / min において中年者に比較して高年者の増加率が遅く回復率はゆるやかな傾向がみられた。

図7は運動終了時から10分間の回復期の収縮期と弛緩期血圧の変化を中年者と高年者について、それぞれの運動強度での運動後の平均値で示したものである。収縮期の血圧は運動終了後、中年者、高年者において、すばやい減少傾向がみられたが、高い運動強度になるに

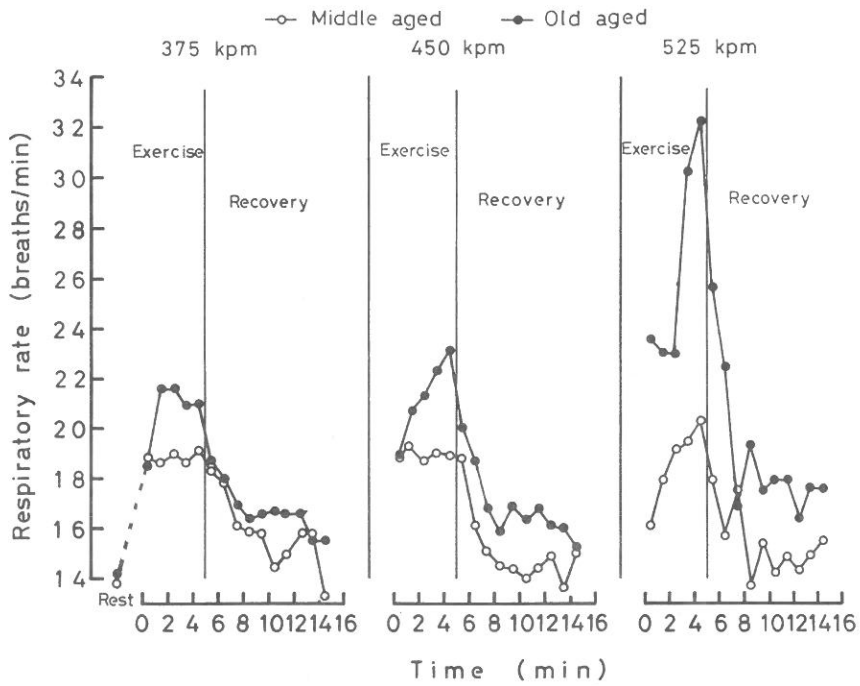


Fig.3 Respiratory rate to 3 kinds of work load.

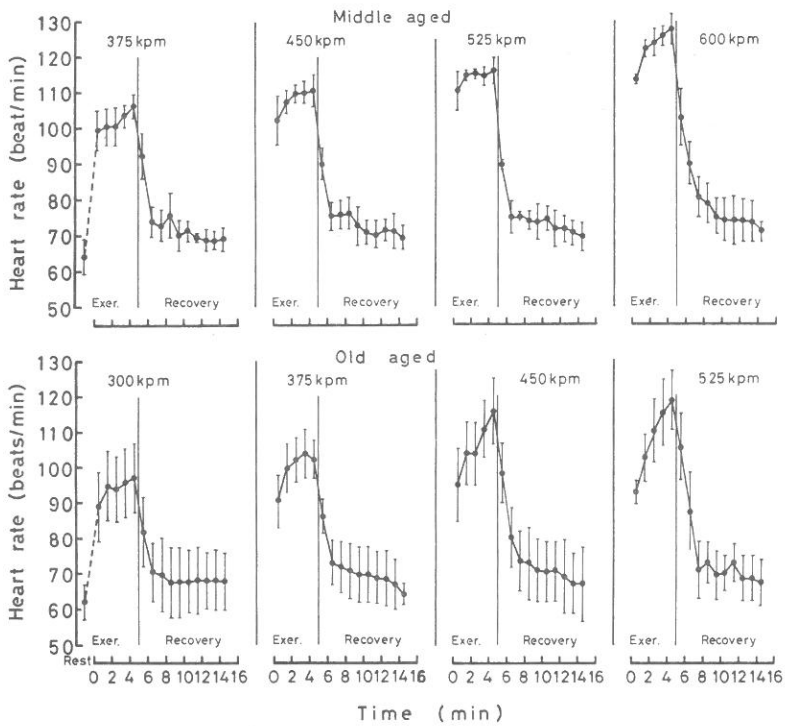


Fig.4 Heart rate response to 4 kinds of work load.

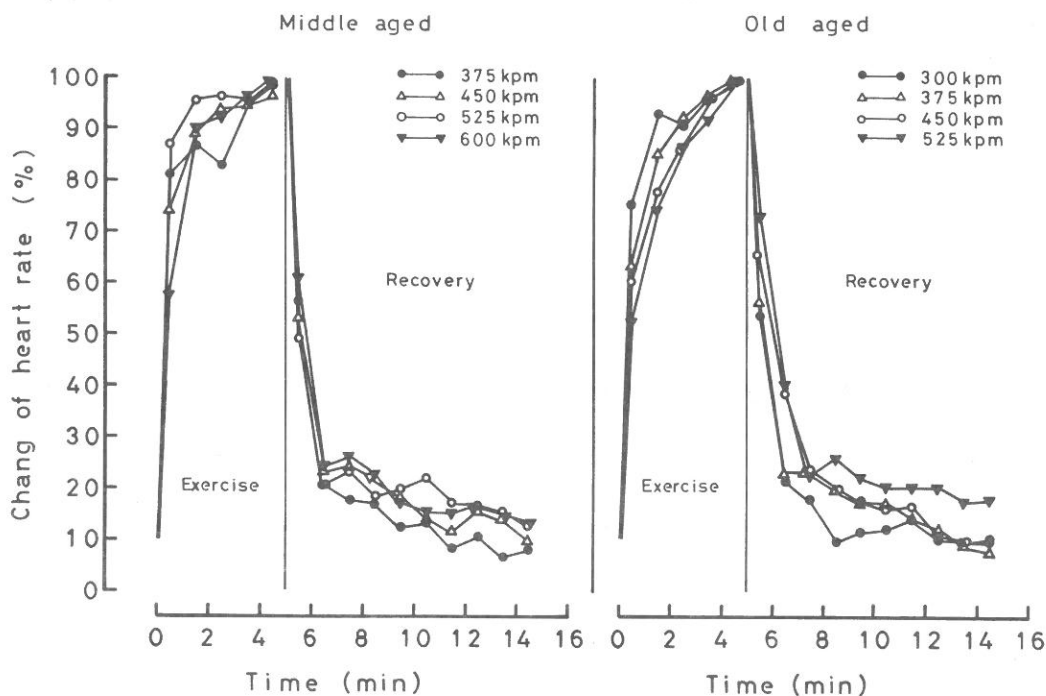


Fig.5 Time course of heart rate response to work load.

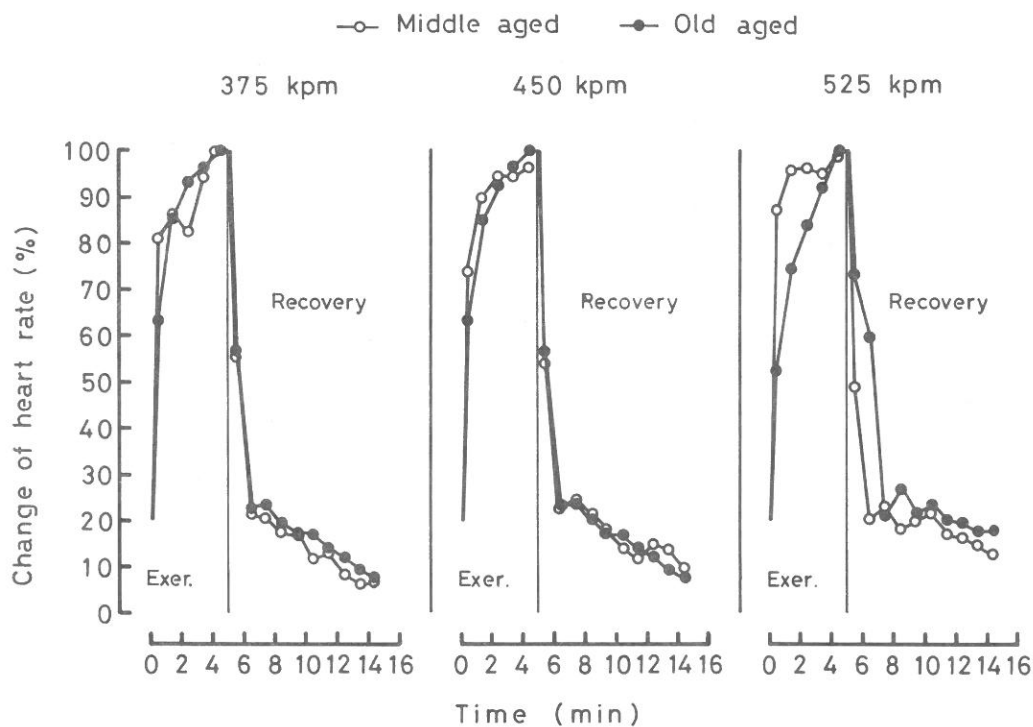


Fig.6 Time course of heart rate response to work load.

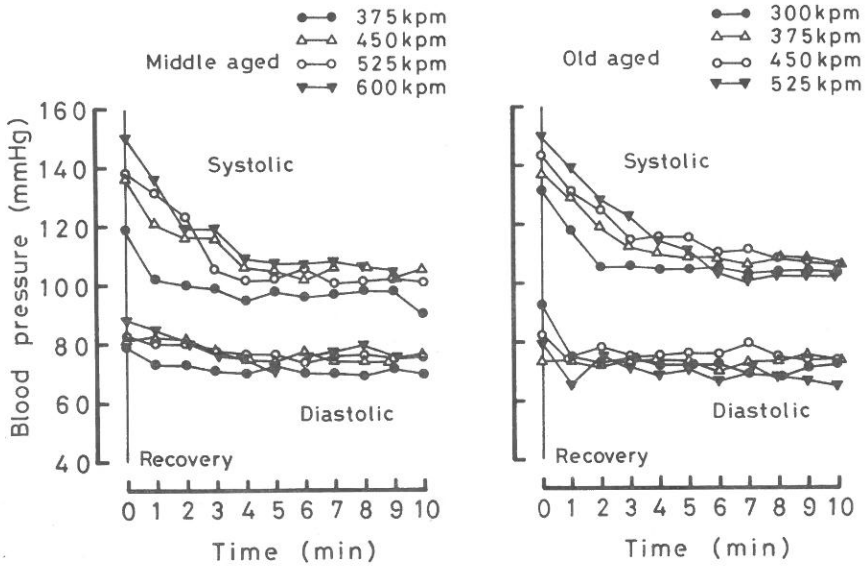


Fig.7 Blood pressure to 4 kinds of work load.

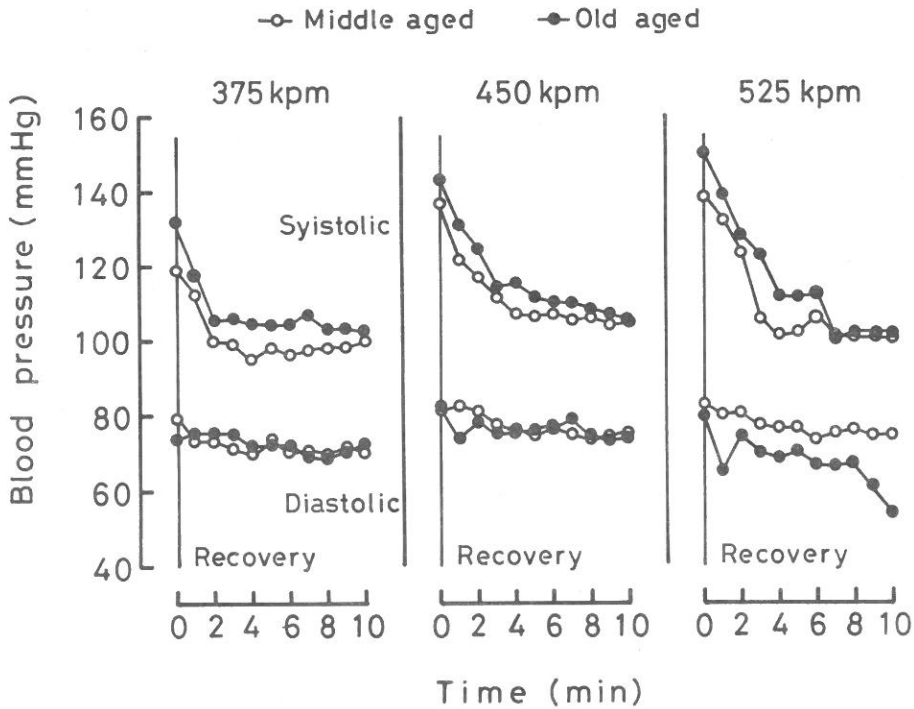


Fig.8 Blood pressure response to 3 kinds of work load.

つれて減少傾向はゆるやかであった。

弛緩期血圧の減少傾向は中年者、高年者ともにゆるやかにみられた。

図8は同一運動強度について運動終了から回復中の収縮期と弛緩期血圧を示したものである。高年者の収縮期血圧の減少は中年者に比較して遅い傾向がみられた。中年者、高年者の弛緩期血圧は運動終了後同様にゆるやかな減少がみられたが、525kpm/minの運動強度での高年者血圧は中年者に比較して遅い減少傾向であった。

表2は安静時と自転車エルゴメーターでの4種類の強度の運動時における結果を被検者の平均値と標準偏差値とで示したものである。

さらに、図9は心拍数、酸素摂取量、呼吸数、換気量と運動強度との関係を中年者と高年者について示したものである。心拍数、酸素摂取量、呼吸数、換気量は強い運動になるとともに両群で増加する傾向がみられた。また、中年者と高年者の心拍数と酸素摂取量に増加傾向の差がみられないのに対して、高年者の呼吸数と換気量は中年者に比較して高い増加傾向がみ

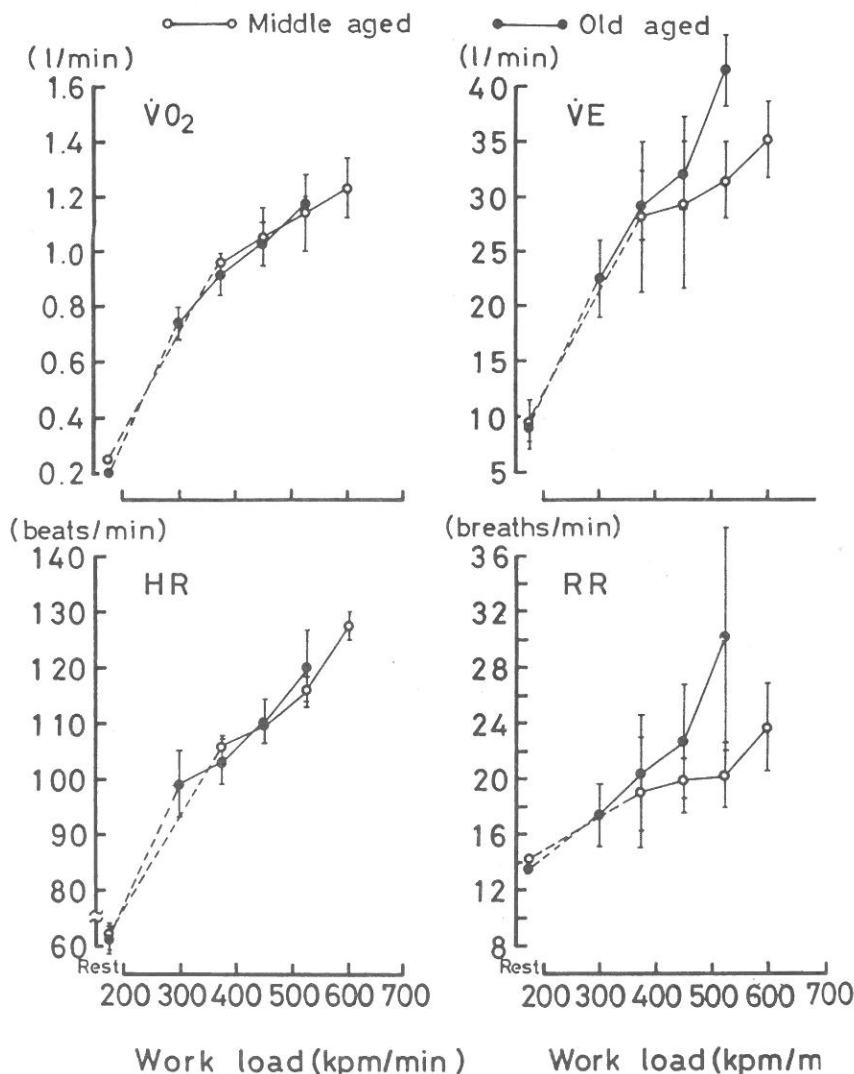


Fig.9 Relationship between work load and (HR) heart rate, (RR) respiratory rate, (VO₂) Oxygen uptake, (VE) Ventilation volume.

Table.2 Mean \pm SD for physiological variable measured during rest and submaximal exercise on bicycle ergometer.

Subjects	Work load (Kpm/min)	Heart rate (beats/min)	Ventilation (l/min)	Respiratory rate (breaths/min)	Oxygen uptake (l/min)	Blood pressure(mmHg) Systolic	Diastolic	Pulse pressure	RPE
Middle aged n = 5	Rest	64.3 \pm 5.0	9.5 \pm 1.0	14.2 \pm 3.4	0.25 \pm —	106.4 \pm 3.9	-72.4 \pm 4.3	34.0 \pm 5.2	—
	375	106.1 \pm 3.4	28.3 \pm 7.3	19.1 \pm 4.1	0.96 \pm 0.20	119.0 \pm 1.0	-79.0 \pm 1.0	40.0 \pm —	12.0 \pm 0
	450	110.5 \pm 4.6	29.4 \pm 8.5	18.9 \pm 3.2	1.05 \pm 0.11	136.6 \pm 7.7	-81.6 \pm 3.4	55.0 \pm 5.5	12.8 \pm 1.1
	525	116.4 \pm 3.7	31.6 \pm 4.5	20.3 \pm 2.2	1.14 \pm 0.14	138.7 \pm 5.0	-82.7 \pm 3.8	56.0 \pm 3.3	13.3 \pm 1.2
	600	127.7 \pm 4.6	34.6 \pm 4.8	22.1 \pm 3.0	1.23 \pm 0.11	155.2 \pm 10.0	-88.6 \pm 6.7	67.2 \pm 10.4	14.8 \pm 1.3
Old aged n = 7	Rest	62.9 \pm 5.3	9.1 \pm 2.0	13.8 \pm 2.4	0.20 \pm —	115.3 \pm 7.5	-75.3 \pm 6.6	40.0 \pm 5.7	—
	300	97.0 \pm 10.3	22.9 \pm 4.9	18.0 \pm 2.3	0.74 \pm 0.06	132.0 \pm 4.3	-93.3 \pm 12.5	58.7 \pm 9.0	12.0 \pm 0.8
	375	104.3 \pm 5.6	29.3 \pm 4.3	21.0 \pm 4.1	0.92 \pm 0.08	137.6 \pm 15.0	-73.6 \pm 11.8	64.8 \pm 10.4	11.8 \pm 0.7
	450	115.5 \pm 9.8	32.1 \pm 4.1	23.1 \pm 4.5	1.03 \pm 0.08	143.6 \pm 11.3	-82.0 \pm 11.5	62.0 \pm 10.8	12.6 \pm 1.0
	525	118.5 \pm 8.4	32.3 \pm 6.3	32.3 \pm 6.3	1.17 \pm 0.03	150.0 \pm 9.8	-79.3 \pm 17.2	70.7 \pm 0.5	11.5 \pm 0.5

られ、強い運動になるにともなって、その差が明らかになった。

図10は全強度での運動中の心指数と酸素摂取量との関係を全被検者について示したものである。中年者、高年者ともに運動中の心拍数は酸素摂取量の増加とともに増加する傾向がみられ、心拍数と酸素摂取量との間に正の相関関係 ($r=0.622$ $p<0.01$, $r=0.599$ $p<0.02$) が得られた。さらに、中年者と高年者には同様な回帰直線が得られた。

図11は運動終了時の血圧と運動強度との関係を中年者と高年者の平均値と標準偏差値とで示したものである。運動終了時の収縮期血圧は中年者、高年者ともに強い運動になるにともなって増加する傾向がみられ、高年者の増加傾向は中年者に比較して高い値を示した。

一方、弛緩期血圧は中年者、高年者ともに運動強度が増加しても高い値を示さなかった。

考 察

人が運動をする時運動強度の増加にともなって肺換気量の増加を生じる。この生理反応は一回換気量と呼吸数の増加によって筋組織に酸素を供給し、代謝産物である二酸化炭素を排出するためのものである。

低い運動強度時の呼吸数は一回の換気量が増大するために急激な増加がみられないが、高い運動強度では呼吸数を増加させることで呼吸量の増加の役目を果たしているとされている。

一方、人は自然に至適的効率すなわち呼吸筋のエネルギー消費を最小の状態、ある一定の換気をおこなうように呼吸の深さと呼吸の回数とでバランスをとっている²¹⁾といわれている。

本研究における高年者の呼吸数の変動が中年者に比較して高く、運動強度の増加によってもその傾向が明らかになった理由は加齢にともなう呼吸筋の適応がうまくいかなくなり、その結果として一回の換気量が減少したことから推察される。

人体は同一強度の運動を開始するとただちに心拍数を増加させて定常状態に達する。運動開始から定常状態までの時間は適応時間とよばれている。この適応時間は運動強度が高くなるにともなって長くなる。

本研究における中年者、高年者の運動時の心拍数は運動開始後急激な増加し、さらに中年者の心拍数が運動開始後3～4分間ではほぼ定常状態を示す傾向がみられたのに対して、高年者の心拍数は運動終了時まで増加する傾向がみられ高い運動強度になるほどその傾向

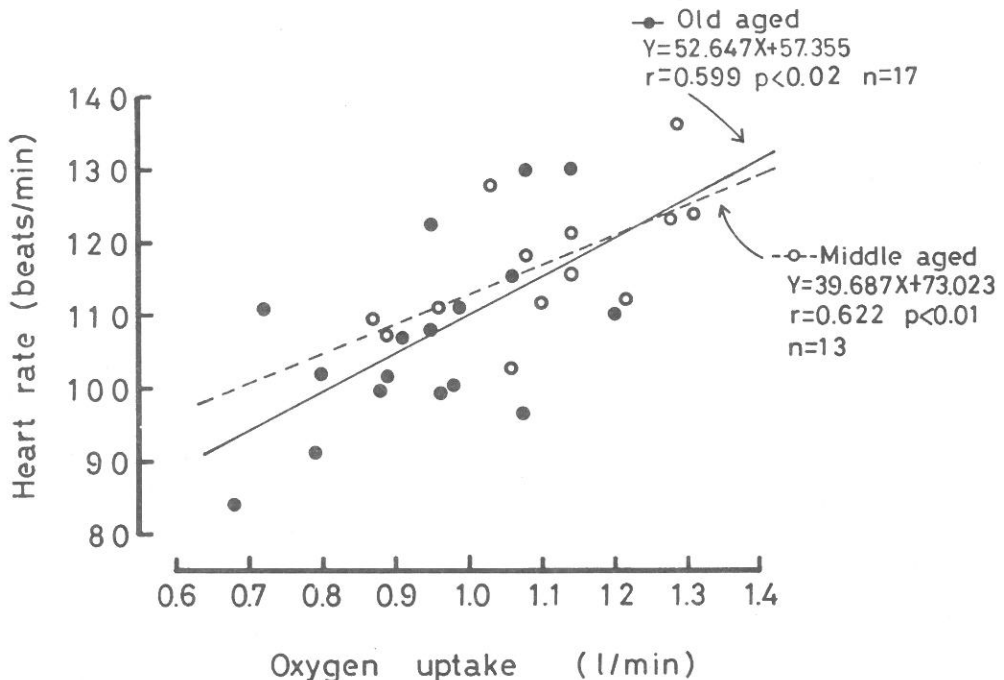


Fig.10 Relationship between heart rate and oxygen uptake in the middle and old-aged men.

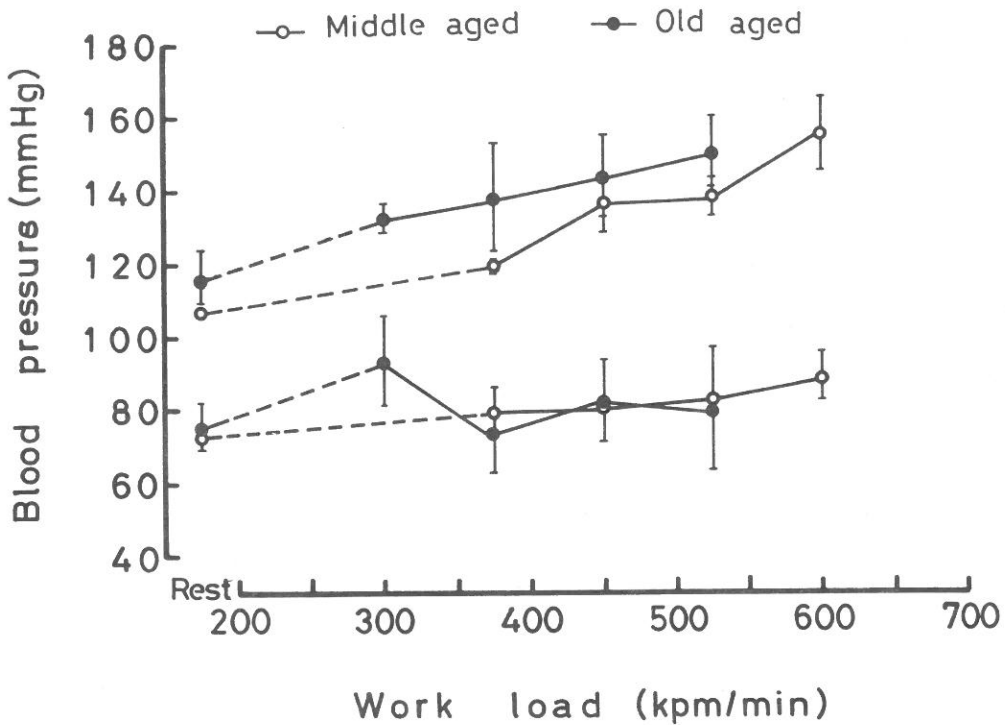


Fig.11 Relationship between blood pressure and work load in middle and old-aged men.

は明らかであった。

これらのことは加齢によって生じるところの呼吸循環系の適応能力の低下からくる運動開始時に対する生理的反応の遅延現象を示唆していると思われる。

一般的に運動時の血圧は主に収縮期の増大と拡張期のわずかな増大^{10, 21)}が知られている。その理由としては運動にともななって心拍出量が増加することが一つの原因として証明^{14, 16, 17)}されてきた。

本研究においても中年者、高年者の運動終了時の収縮期血圧は運動強度が高くなるにともなって増大する傾向がみられ、同一の運動強度における高年者の血圧は中年者に比較して高くなる傾向がみられた。また、運動終了時の血圧が高いほどその回復は遅くなる傾向がみられた。つまり本研究での高年者の収縮期血圧の増大は心拍出量の増大によるものと推察される。一方、中年者、高年者の拡張期血圧に明らかな増大がみられなかったのは末梢血管網の拡張によるものと思われる。

運動に対する酸素作業能力は運動強度と運動中の生理的応答の関係をみることで評価することができる。

Astrand 達³⁾は同一負荷に対する心拍数に年齢の差がみられないことを報告している。

本研究においても中年者、高年者の運動中の心拍数、酸素摂取量、呼吸数、換気量は運動強度の増加にともなって直線的に増加する傾向を示した。

しかし、高年者の呼吸数と換気量の急激な増加傾向は中年者に比較してほぼ400Kpm/min、およそ105拍/分の心拍数に相当する運動強度からであった。

これは高年齢者の安全な運動の生理的な上限を示しているのかもしれない。

一方、高年齢者の最大下作業における過呼吸の理由の一つに乳酸の蓄積が報告されていることから運動強度と運動中の乳酸との関係を検討することで高年者の安全な生理学的運動強度がより明らかになるものと思われる。

要 約

中高年齢者が日常生活において、健康や体力に関心を払い、そのための運動を実施することは大切でかつ重要なことである。

本研究では有効で安全な運動処方基礎資料を得るために中高年齢者の身体運動時の呼吸循環機能応答について加齢との関係を検討した結果、次のようなこと

が明らかになった。

1. 高年者の運動中の呼吸数は中年者に比較して高く、回復過程も遅い傾向がみられた。
2. 高年者の心拍数は低い運動強度において定常状態を示したが、高い運動強度では増加傾向を示した。
3. 同一運動強度における中年者、高年者の運動中、回復中の心拍数は差がみられないが、高い運動強度においては高年者に増加傾向がみられた。
4. 同一運動強度における高年者の収縮期血圧は中年者に比較して高い値を示し、弛緩期血圧には差がみられなかった。
5. 中年者、高年者の心拍数、酸素摂取量、呼吸数、換気量は運動強度の増加にともなって直線的に増加する傾向がみられた。しかし、高年者の呼吸数、換気量は中年者に比較して、400Kpm / min の運動強度から急激な増加傾向を示した。

本研究は昭和63年度岡山県立短期大学高齢者問題研究会（田路慧委員長）の研究費助成によっておこなわれたものである。

参 考 文 献

- 1) Åstrand, P - O. and Irma Ryhmingn : A nomogram for calculation of aerobic capacity from pulse rate during submaximal work. J. Appl. Physiol. 7, 218-221, 1954.
- 2) Åstrand, I. : Maximal heart rate during work in oldmen. J. Appl. Physiol. 14, 56-566, 1959.
- 3) Åstrand, I. : Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. Acta. Physiol. Scand. 49, 1960
- 4) Åstrand P. O., Cuddy, E., Saltin B. and Stenberg J. : Cardiac output during submaximal work. J. Appl. Physiol. 19, 268-274, 1964
- 5) Åstrand P. O., B., R. Messin B. Saltin and I. Stenberg. Intra - arterial blood pressure during exercise with different muscle groups. J. Appl. Physiol. 20 (2), 253-256, 1965.
- 6) Åstrand P. O. and Rodahl K. : Textbook of work physiology. McGraw - Hill, New York, 1970.
- 7) Åstrand I., Åstrand P. O., Hallback I. and Kilbom A. : Reduction in maximal oxygen uptake with age. J. Appl. Physiol. 5, 649-973.
- 8) Adams, William C. : Influence of age sex and body weight on the energy expenditure of bicycle riding. J. Appl. Physiol. 22 (3), 539-45, 1967.
- 9) 浅見俊雄：特集・体力科学からみた健康問題。現代社会が体力科学に要求するもの。体育の科学, 36, 600-605, 1986.
- 10) 朝比奈一男, 藤松博, 福永哲夫, 湯浅景元, 角田直也, 市川真澄：自転車エルゴメーターによる最大呼び最大下作業中における呼吸、循環機能の変化。中京体育学研究, 16(2), 1-8, 1975.
- 11) Eriksson, J. and K. Rodahl. Seasonal variation in work performance and heart rate response to exercise. A study of 1835 middle - aged men. Eur. J. Appl. Physiol. 42, 133-140, 1979.
- 12) Grimby G. and Saltin B. : Physiological of physically well - trained middle - aged and athletes. Acta. Med. Scand. 179 (5), 513-524, 1966.
- 13) Hagberg, J. M. Allen, W. K. Seals, D. R. Hurley, B. F., Ehasani, A. A. and Holloszy, J. O. : A hemodynamic comparison of young and older endurance athletes during exercise. J. Appl. Physiol. 58, 2041-2046, 1985.
- 14) 芳賀清光, 山本高司：運動中の心拍出量と血圧。体力科学, 22, 1773.
- 15) 猪飼道夫, 吉沢茂弘, 中川功哉：トレッドミル法による全身持久性の評価について。体力研究, 10, 227-238, 1962.
- 16) 猪飼道夫, 宮村実晴：最大心拍出量の性、年齢比較。体育学研究, 14, 175-183, 1970.
- 17) 北村和夫, 牧野毅：運動に対する循環系の反応。呼吸と循環, 16, 481-489, 1975.
- 18) 増田充, 成回天雄：中高年者の運動処方に対する呼吸機能よりの検索。体力研究, 8, 14-20, 1970.
- 19) 村上長雄, 川井浩, 大田節子, 高島慎助, 古木柁, 佐藤陽吉, 倉敷千稔, 岩野悦真, 水田勝博, 中田建次郎, 式部吉秀：身体運動の最高血圧に及ぼす影響。体力科学, 24, 11-24, 1975.
- 20) 小野寺孝一, 宮下充正：全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性。体育学研究, 21(4), 181-190, 1976.

- 21) 佐藤佑, 石河利寛, 青木純一郎, 清水達雄, 前嶋孝: 運動に対する心拍数, 血圧, 呼吸数の反応の年齢別特性に関する研究, 体力科学, 26(4) 165-181, 1977.
- 21) Shephard, R. J (原田政美, 山地啓司訳): シェファード老年学-身体活動と加齢-, 医学書院, 1979.
- 22) 柴山秀太郎, 江橋博: 中高年鍛錬者の呼吸機能の反応, 体力科学, 30, 27-37, 1974
- 23) Robimson S., Dill D. B., atzanffoffs. P. Wagner J. A. and Robinson R. D.: Longitudinal studyes of aging in 37 men. J. Appl. Physiol. 38 (2), 263-267, 1975.

平成 2 年 1 月 17 日受付

平成 2 年 1 月 18 日受理