

# 持久性運動時の呼吸循環機能の応答に関する研究 (1)

## 一重量負荷条件における運動一

平 田 敏 彦

我々は生活様式において重い物を運ぶことやさらに登山やレクリエーション等の活動において、体重にちかい物を遠くに長時間運ぶ場合をよく経験する。また、身体トレーニングのために重量物をトレーニング手段として用いることもある。このような運動時において、生体は運動負荷に応じ、それにみあった酸素を体外からとり入れ、エネルギーを発生する。

登山や長距離走のような長時間の運動遂行においては心肺適性が大きな要因となり、心肺機能の持久性や生体内のエネルギー消費の効率等が大きな問題となる。しかし、このような身体及び身体以外に重量負荷をとまなう運動中の呼吸循環機能に関する研究<sup>2) 3) 4)</sup>はあまり多くなく、特にランニング運動中の研究報告はみられない。

そこで、本研究は重量負荷条件による長時間運動中の呼吸循環機能の応答を明らかにするとともに、重量負荷条件による長時間ランニング中の運動強度を求めることを目的とした。

### 実験方法

#### 1. 被 検 者

健康な成人男子4名を被検者とした。2名は体育学

部の大学院生であり、他2名は体育学部学生である。それぞれの被検者は常時毎日30分以上の体力トレーニングをしている者であった。各々の被検者の年齢、身長、体重、最大酸素摂取量、%fatを表1に示した。

#### 2. 運動負荷条件

被検者はトレッドミルのスピードを140 m/分と160 m/分に固定して30分間のランニング運動を3つの条件下でそれぞれ行なわせた。1) 被検者自身の普通体重(0 kg) 2) 5 kgの加重量負荷(5 kg) 3) 10 kgの加重量負荷(10 kg)。運動負荷のテストは週1回を原則として実施し、トレーニング効果の生じないようにした。それぞれの重量は5 kgの負荷の場合、被検者の腰部にウエイトベルトをベルト式にしめ、肩からつるしたベルトで保持するとともにベルトと身体の上にスポンジ等をはさみ、ランニング中動かないようにしっかりと固定した。さらに10 kgの場合は、肩から胸部と背部に同様の方法でウエイトベルトを固定した。また、ベルト装着によりランニング動作が困難になることはなかった。

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

Subj.	Age (years)	Body Heights (cm)	Body Weights (kg)	$\dot{V}O_2$ max ( $\ell/\text{min}\cdot\text{kg}$ )	H Rmax (beats/min)	Fat (%)
FUG	25.0	170.6	70.0	60.06	203.6	—
ASI	25.6	166.7	57.0	62.17	196.4	7.53
WAT	21.4	170.1	60.0	62.70	202.8	6.60
MAT	21.4	175.4	68.0	53.41	218.0	7.80
Mean	23.4	169.9	63.8	59.59	205.2	7.31
S.D.	2.0	3.2	5.4	3.70	7.9	0.51



Fig 1. Application of the douglas bag method for measuring aerobic energy output dur treadmill running for the added weight condition.

### 3. 測定方法

呼気量 ( $\dot{V}E$ ) および酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) の測定は、立位安静時 5 分間と 30 分間の運動中の 4 ~ 5 分, 9 ~ 10 分, 14 ~ 15 分, 19 ~ 20 分, 24 ~ 25 分, 29 ~ 30 分 (運

動終了時点) について、それぞれ Douglas bag 法によって呼気ガスを採気した。呼気ガスは、sholander 微量ガス分析器を用いて分析し運動中の酸素摂取量を求めた。心拍数 (HR) の測定は、胸部双極誘導法により心電図を記録して、その R-R 間隔から 1 分間値を求めた。呼吸数 (RR) は呼気ガス採気マスク内に装置したサーミスターにより求め、記録した。また、これにより 1 回換気量 (VT), 酸素摂取率 ( $O_2R$ ) 酸素脈 ( $O_2P$ ), 呼吸商 (RQ) などを算出し分析の資料とした。

最大心拍数 (HR max) と最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) は 5 分間の座位安静測定後に、トレッドミルのスピードを 160 m/分に固定させて、運動開始 3 分間はトレッドミルの斜度を 0 度に保ち、その後、毎分 2 度ずつ漸増させ、exhaustion に至るまでのランニング運動を行なわせその時の呼吸循環機能の変化の記録から各々の最大値を求めた (表 1)。

### 研究結果

被検者の体重以外に特別の重量負荷を加えない条件を 0 kg とし、さらに 5 kg, 10 kg のそれぞれの重量を意図的に装置させた身体条件でトレッドミルのスピードを 140 m/分と 160 m/分に固定して、30 分間のランニング運動を行なわせその時の呼吸循環機能の変化を 4 名の被検者の平均値で示したのが表 2 と図 2 である。

Table 2 Means  $\pm$  SD for physiological variables measured during treadmill running for the three added weight conditions (N=4).

Variables	140 m/min			160 m/min			
	Running speed	0 kg	5 kg	10 kg	0 kg	5 kg	10 kg
HR (beats/min)	Added weight	148.5 $\pm$ 14.5	143.6 $\pm$ 4.7	152.5 $\pm$ 14.2	163.2 $\pm$ 16.2	163.1 $\pm$ 7.4	167.1 $\pm$ 9.0
$\dot{V}O_2$ (l/min)		2.08 $\pm$ 0.31	2.18 $\pm$ 0.27	2.29* <sub>a,b</sub> $\pm$ 0.37	2.19 $\pm$ 0.41	2.39 $\pm$ 0.25	2.47* <sub>b</sub> $\pm$ 0.32
$\dot{V}O_2$ (ml/min·kg)		32.62 $\pm$ 2.15	33.92 $\pm$ 2.76	36.01* <sub>b</sub> $\pm$ 10.3	35.62 $\pm$ 2.12	37.02 $\pm$ 2.09	38.58* <sub>b</sub> $\pm$ 1.31
$\dot{V}E$ (l/min)		54.66 $\pm$ 9.17	62.47 $\pm$ 3.83	65.98* <sub>b</sub> $\pm$ 4.53	61.19 $\pm$ 9.75	68.39 $\pm$ 4.42	73.96* <sub>b,c</sub> $\pm$ 6.33
RR (f/min)		37.34 $\pm$ 8.66	39.31 $\pm$ 8.56	39.49* <sub>b</sub> $\pm$ 8.86	37.31 $\pm$ 8.72	40.34 $\pm$ 9.10	44.27* <sub>a,b</sub> $\pm$ 8.33
$V_T$ (l)		1.72 $\pm$ 0.57	1.71 $\pm$ 0.52	1.81 $\pm$ 0.61	1.83 $\pm$ 0.56	1.97 $\pm$ 0.26	1.75 $\pm$ 0.39
$O_2R$		43.3 $\pm$ 4.1	42.7 $\pm$ 3.2	42.3 $\pm$ 3.8	44.0 $\pm$ 3.6	43.3 $\pm$ 3.7	41.0 $\pm$ 3.8
$O_2P$ (ml/beat)		13.99 $\pm$ 0.84	15.1 $\pm$ 1.81	14.95 $\pm$ 1.21	14.23 $\pm$ 0.91	14.98 $\pm$ 1.24	15.23 $\pm$ 1.75
RQ		0.91 $\pm$ 0.02	0.92 $\pm$ 0.01	0.92 $\pm$ 0.04	0.91 $\pm$ 0.02	0.90 $\pm$ 0.02	0.93 $\pm$ 0.03

\* 0.05 a : (0 kg - 5 kg), b : (0 kg - 10 kg), c : (5 kg - 10 kg)

各種の生理的機能の変化は2つの異なる速度においてもほぼ共通の一定変動を示した。この時の走行距離は140 m/分の速度で4,200 mであり、160 m/分の速度では4,800 mであった。

酸素摂取量は2つの異なる速度においても0 kgより5 kg, 10 kgの重量負荷条件の場合が高い値の変動傾向を示した。140 m/分速度での0 kg負荷では、2.08 l/分 (S.D ± 0.31), 10 kg負荷では、2.29 l/分 (S.D ± 0.37) であった。160 m/分速度での0 kg負荷では、2.19 l/分 (S.D ± 0.41), 10 kg負荷では、2.47 l/分 (S.D ± 0.32) を示し、それぞれ5%水準で有意な差がみられた。

心拍数は、それぞれの重量負荷の間に差はみられなかった。運動中の最高心拍数は140 m/分の速度で152.5拍/分 (S.D ± 5.9) を、160 m/分の速度で167.1拍/分

(S.D ± 9.0)を示した。

呼吸数と毎分換気量は、それぞれ同じような変動傾向を示した。換気量においては、酸素摂取量と同様に重量負荷条件によって差がみられ、2つの異なる速度条件下の5 kgと10 kgとの間に5%水準で有意な差がみられた。1回換気量、酸素摂取率、呼吸商、酸素脈、それぞれ同じような変動傾向を示し、重量負荷の条件による差はみられなかった。

図3は、さらに最高心拍数に対する割合 (%HR max)、最大酸素摂取量に対する割合 (% $\dot{V}O_2$  max)、酸素摂取率、換気量について、140 m/分の速度における0 kg条件と10 kg重量負荷条件との比較をしたものである。プロットは被検者それぞれの値である。図にみられる % $\dot{V}O_2$  max と換気量は10 kg重量負荷条件の方に高くな

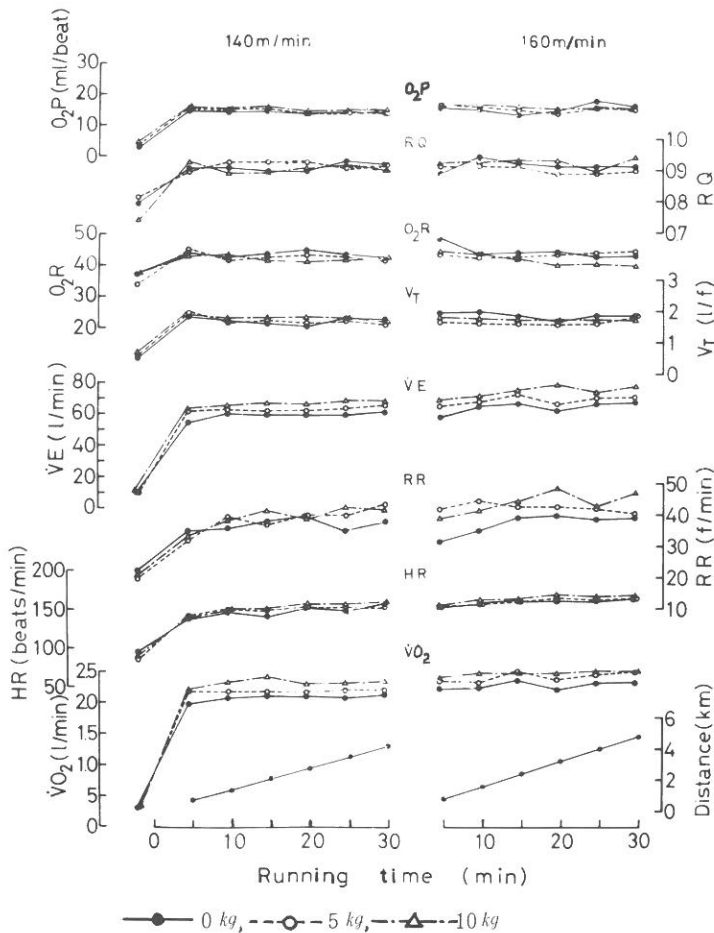


Fig 2. Cardiopulmonary responses during treadmill running for the three added weight conditions.

る傾向を示し、それぞれ5%で有意な差がみられたのに対して、%HRmaxと酸素摂取率は両条件の間に有意な差がみられなかった。

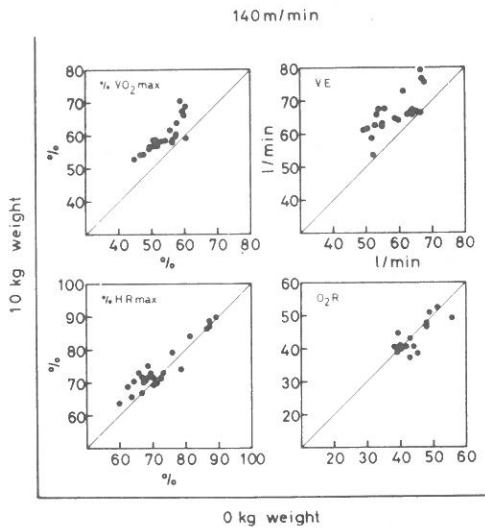


Fig 3. %HRmax, % $\dot{V}O_2$ max, Ventilation and oxygen removal during treadmill running for two added weight conditions.

同様に160 m/minの速度において両条件を比較したのが図4である。% $\dot{V}O_2$ max、換気量は有意に10 kg重量負荷条件が高い値を示した。また、%HRmax、酸素摂取率は有意な差がみられなかった。

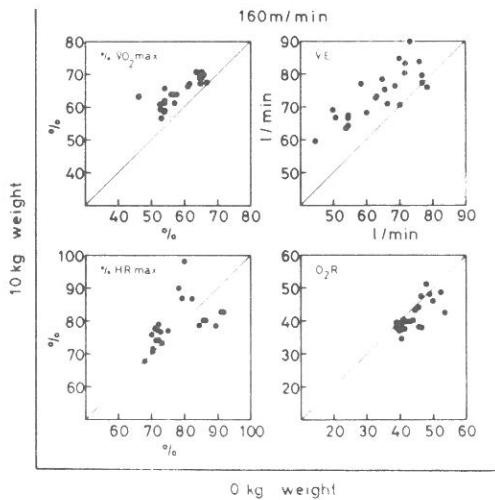


Fig 4. %HRmax, % $\dot{V}O_2$ max, ventilation and oxygen removal during treadmill running for two added weight conditions.

図5は酸素摂取量と心拍数および換気量との関係をトレッドミル速度の140 m/minと160 m/minについて示したものである。心拍数は酸素摂取量の増加にともなって増加する傾向がみられ、両者の間には140 m/minで  $r = 0.834$ 、160 m/minで  $r = 0.649$  の相関係数が得られ、いずれも0.1%水準で有意に高い相関を示した。それぞれの回帰直線は140 m/minで  $Y = 35.717x + 72.46$  を、160 m/minで  $Y = 26.258x + 97.61$  とほぼ同じような式を得た。

換気量は酸素摂取量の増加にともなって直線的に増加する傾向を示し、さらに140 m/minに比較して160 m/minの運動時が高い値を示す傾向が、また、酸素摂取量が2.5 l/min以上においては、換気量の増加がそれまでに比例してより増加する傾向がみられた。

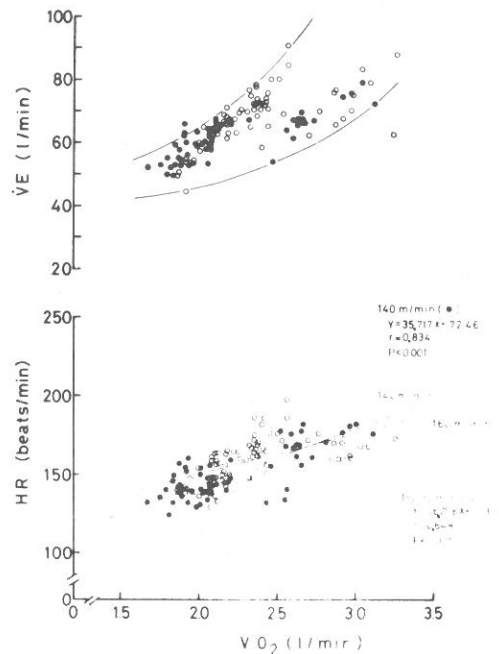


Fig 5. Heart rate and ventilation in relation to oxygen uptake during treadmill running for the three added weight conditions.

### 考 察

持久的運動は、生理学的に作業強度とそれに消費される酸素摂取量との関係から研究されることが多い。このような観点から、本研究の目的は、身体に重量負荷条件をつけて、長時間の運動中の生理学的応答を明

らかにしようとした。ランニング速度140 m/分と160 m/分の30分間の運動においては、酸素摂取量と呼吸数に重量負荷のちがいがあって、差がみられた。つまり、負荷が多くなる程それぞれの値が高くなる傾向を示し、0 kgと10 kgの重量負荷条件の間に有意な差を認めた。しかし、心拍数、1回換気量、酸素摂取率、酸素脈については、重量負荷条件による差がみられなかった。Cureton<sup>4)</sup>らは、過乗体重と最大酸素摂取量という観点から、身体に重量物をつけて、12分間走を行なわせ、同一酸素摂取量においては、作業量が増加することを報告している。

また、Borghols<sup>2)</sup>らは、重量負荷が安静時の条件で酸素摂取量、心拍数、換気量に影響を及ぼさないが、dynamicな運動中においては、酸素摂取量と換気量が直線的に増加することを報告している。これらのことから、体重以外に身体につけられた重量負荷は、運動中の酸素摂取量や換気量に影響を及ぼしていることが考えられる。

Hermansen<sup>7)</sup>らは、普通状態のトレッドミル走運動中の酸素摂取量と心拍数との間に有意な相関関係を認め報告している。本研究の身体に重量物をつけての運動様式において、重量負荷条件が異なったにもかかわらず、140 m/分と160 m/分のそれぞれのランニング速度においては、両者の間に高い相関関係を認めた。

Astrand<sup>1)</sup>らや、福永<sup>5)</sup>らは、酸素摂取量の増加にともなって、換気量が直線的に増加し、さらに、酸素摂取量の約3.0 l/分の状態から、換気量の急激な増加傾向を認めている。また、Astrand<sup>1)</sup>らは、最大酸素摂取量のおよそ50%において、換気量が指数的に増加する傾向を報告している。本研究の重量負荷条件運動中においても同様の結果を得た。しかし、本研究で得られた換気量の急激な増大値は、およそ2.5 l/分の酸素摂取量あたり、全被検者の最大酸素摂取量のおよそ65%近くで、Åstrandらの報告よりやや高い傾向がみられた。また、重量負荷条件が異なったにもかかわらず心拍数の増加がみられなかった。これらのことは、腰部や背部にベルトで重量物を装着したことにより、呼吸中枢が何らかの理由で刺激され換気量の増加傾向を速めたのではないと思われる。

ここでランニング速度と酸素摂取量との関係をそれぞれの重量負荷についてみた(図6)。

図にみられるように酸素摂取量は、重量負荷が大きくなるにつれて、高い値を示している。Hoghes<sup>8)</sup>らによれば、歩行条件下で有効に運搬できる重量は、30 kg以下であり、最大限体重の40~50%位が限度である

と報告している。本研究の運動であるランニングと比べて、やや運動様式が異なるけれども、仮に人が5 kgや10 kgの重量物を常時装着して運動することができるならば、重量物を利用することにより、一定速度の条件下で、運動強度を変えることができる。

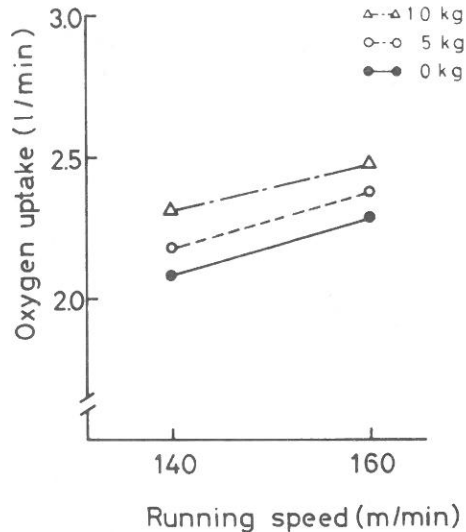


Fig 6.

Mean  $\dot{V}O_2$  (l/min) during submaximal treadmill running for the three added weight conditions.

一方、それぞれの重量負荷でのランニング運動中の運動強度を有酸素作業能力の生理学的運動強度の示標として用いられている最大酸素摂取量の割合(% of  $\dot{V}O_{2max}$ )でみたのが図7である。図にみられるように、それぞれの速度において、身体につけた重量負荷の大きい程% of  $\dot{V}O_{2max}$ の変動も高い。これらのことから今後運動強度の面や、ランニングフォーム、エネルギー効率の面から、体重に対してどのくらいの重量を生体に負荷するかは検討を要するが、体重以外に重量物を身につけての運動方法は、体力づくりのためのトレーニング方法として用いることが可能のように思われる。

## 要 約

重量負荷条件による長時間運動中の呼吸循環機能の応答を明らかにし、身体に与える影響を知るために、被検者の普通体重と5 kg、10 kgの外的に重量負荷を与えて、140 m/分と160 m/分の速度でトレッドミルランニング運動をそれぞれ30分間行なわせた結果、次の

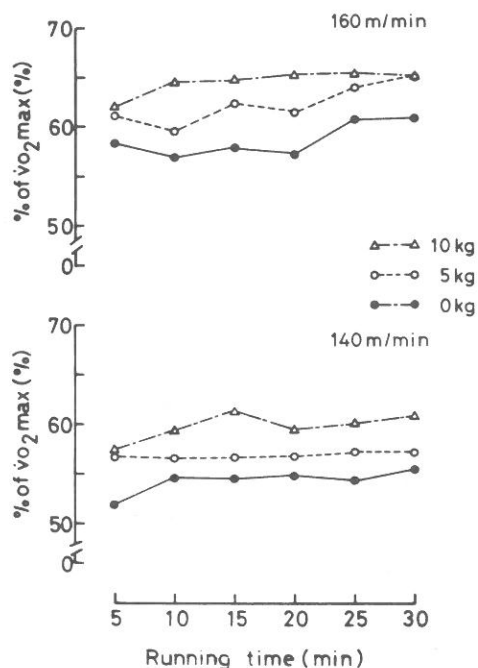


Fig 7.  
Changes in  $\% \dot{V}O_2 \max$  with respective exercise.

ようなことが明らかになった。

1. 酸素摂取量と心拍数との間には、3つの異なる重量負荷条件にもかかわらず、高い相関関係がみられた。相関係数は140 m/分の速度で  $r = 0.834$  ( $P < 0.001$ )、160 m/分の速度で  $r = 0.649$  ( $P < 0.001$ ) であった。

2. 酸素摂取量は140 m/分の速度の0 kgの条件で、2.08 l/分、10 kgの重量負荷で2.47 l/分であった。それぞれの間は5%の水準で有意な差を認めた。体重当りの酸素摂取量、換気量、呼吸数にも同様の結果が得られた。

3. 最大酸素摂取量に対する割合は、140 m/分、160 m/分それぞれの速度において、0 kg、5 kg、10 kgの順に高い値を示した。

本研究に御協力を頂いた中京大学運動生理学研究室の諸先生に深く感謝いたします。

なお本研究の一部は、昭和54年度岡山県立短期大学長期研修によって行なわれたものである。

#### 参 考 文 献

- 1) Åstrand, P.O. and Rodahl, K.: Textbook of work physiology, New York: Mc Graw-Hill, 1970.
- 2) Borghols, E.A.M, M.H.W. Dresen, and A.P. Hollander: Influence of heavy weight carrying on the cardiorespiratory system during exercise. *Europ. J. Appl. Physiol.*, 38:161-169, 1978.
- 3) Cureton, K.J. PB. sparing, B.W. Evans, S.M. Johnson, U.D. Kong, and J.W. Purvis.: Effect of experimental alterations in excess weight on aerobic capacity and distance running performance, *Med. Sci. Sports.* 10, (3): 194-199, 1978.
- 4) Cureton, K.J. and Phillip B. Sparling: Distance running performance and metabolic responses to running in and women with excess weight experimentally equated, *Med. Sci. Sports.* 12(4):288-294. 1980.
- 5) 福永哲夫, 湯浅景元, 朝比奈一男, 藤松博, 宮側敏明, 小林培男, 岩見恒典: 最大及び最大下作業中の呼吸循環機能におよぼす自転車エルゴメーターとトレッドミル歩行の影響, *中京体育学研究*, 16(2): 15-24, 1975.
- 6) Goldman, R.F., Iampietro, P.H.: Energy Cost of load carriage. *J. Appl. Physiol.* 17, 675-676. 1962.
- 7) Hermansen, L., and B. Saltin, Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 26:31-37, 1967.
- 8) Hughes, A.L., R.F.: Energy cost of "hard work". *J. Appl. Physiol.* 29, 570-572, 1970.

- 9) 猪飼道夫編, 身体運動の生理学, 杏林書院, 1973。
- 10) 猪飼道夫論文選集刊行会: 猪飼道夫論文選集Ⅲ, -運動処方への道, 杏林書院, 1973。
- 11) Lind, A.R., McNicol, G.W.: Cardiovascular to holding and carrying weights by hand and shoulder harness, J. Appl. physiol 25,;261-267, 1968.
- 12) Michael B. Maron, Steven M. Horvath, James. E. Wilkerson, and J.A. Gliner: Oxygen uptake measurments during competitive marathon running, J. Appl. Physiol, 40(5):836-838, 1976.

昭和56年3月31日受理

A study on the response of cardiopulmonary function during  
endurance exercise (I)  
- the effect of added weight in distance running -

To experimental investigate the effect of added weight carrying on the cardiorespiratory system during distance running. In all experiments oxygen uptake, heart rate and pulmonary ventilation were measured in four men during 140m/min and 160m/min treadmill running speed. Treadmill exercise were combined with weight carrying of normal body weight, 5Kg and 10kg added weight.

These results were summarized as follwes:

- 1) The significant high correlation cofficeient was found in all three different added weights between oxygen uptake and heart rate during 140m/min and 160m/min treadmill running speed.
- 2) Oxygen uptake, pulmonary ventilation and respiration rate were higher 10kg added weight than normal body weight during treadmill running ( $p < 0.05$ ).
- 3) Percent of maximal oxygen uptake, intensity of exercise, was increased with an increase of added weight.