

# 自転車エルゴメーター運動中のエネルギー消費と効率

平 田 敏 彦

一般に運動強度が増加するに従って、身体での酸素摂取量が増加して必要なエネルギー量が発生されて運動が持続される。また酸素摂取量は運動中の身体の移動速度、時間、作業姿勢等の作業条件によっても大きく変化する。生体が作業をより長く、しかも効果的に運動を行なうためには運動負荷とそれにみあったところのエネルギーの消費がなされなければならない。

トレッドミルでの歩行、走行や自転車エルゴメーター等の作業条件での生体の応答に関する研究と<sup>4) 16) 18)</sup>か、身体活動の効率の面からの研究は数多く報告されている。<sup>5) 11) 13) 14)</sup>しかし男子と女子とについて効率を比較した研究はあまりみられない。中でも女子に関する研究は身体組成の面からの報告が多い。例えば、Cureton<sup>6)</sup>達は女子の作業能が身体脂肪の関係から男子に比較して20～30%低いことを報告している。

一方、近年持久的運動は、身体運動の効率面から研究が行なわれる傾向にある。

本研究はそういった背景から一定作業条件下、つまり自転車エルゴメーターでの運動中の機械効率を求め男子と女子との比較を試みようとするものである。

## 研 究 方 法

本研究の被検者は健康な男子9名と女子5名である。被検者の平均年齢、身長、体重のそれぞれは表1に示したとおりである。最大酸素摂取量は体重当りで、男子の場合が $48.7 \pm 9.7 \text{ l/kg/min}$ であり、女子の場合が $43.6 \pm 11.2 \text{ l/kg/min}$ であった。男子、女子いずれの被検者も過去スポーツ選手としての経験をもっており現在もスポーツ活動に参加している者である。

呼気ガスはDouglas Bag 法によって採集し、呼気量は乾式ガスメーターで測定した。炭酸ガス及び酸素濃度はsholander 微量ガス分析器を用いて分析し、酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )を求めた。心拍数は胸部双極誘導法で記録した心電図のR-R間隔から算出し1分値を求めた。

機械的効率は次式より算出した。

$$\text{機械的効率} = \Delta \text{仕事量} \times 100 / \Delta \text{酸素摂取量} \times 5.0 \times 426.9$$

$\Delta$  仕事量 = 1 分間当りの仕事量 (kpm/min)

Table 1. Physical characteristics of subjects and means  $\pm$  SD for physiological variables measured during maximal bicycle exercise.

Variable	Males ( N = 9 )	Females ( N = 5 )
Age ( Yrs )	25.3 $\pm$ 4.7	19.7 $\pm$ 0.6
Hight ( cm )	171.3 $\pm$ 6.1	161.8 $\pm$ 7.3
Weight ( kg )	64.7 $\pm$ 5.6	55.0 $\pm$ 7.1
$\dot{V}O_{2\text{max}}$ ( l/min )	3.15 $\pm$ 0.68	2.05 $\pm$ 0.25
$\dot{V}O_{2\text{max}}$ ( l/kg/min )	48.7 $\pm$ 9.7	43.6 $\pm$ 11.2
HRmax ( beats/min )	187.6 $\pm$ 14.1	184.7 $\pm$ 9.4
VEmax ( l/min )	149.0 $\pm$ 18.6	72.5 $\pm$ 10.2

Values are means  $\pm$  S D

$$\Delta \text{酸素摂取量} = 1 \text{ 分間当りの酸素摂取量 } (\ell/\text{min}) - \text{安静時酸素摂取量}$$

## 実験手順

自転車エルゴメーター（Monark 製）での作業様式で最大（maximal）及び最大下（submaximal）のテストを実施した。

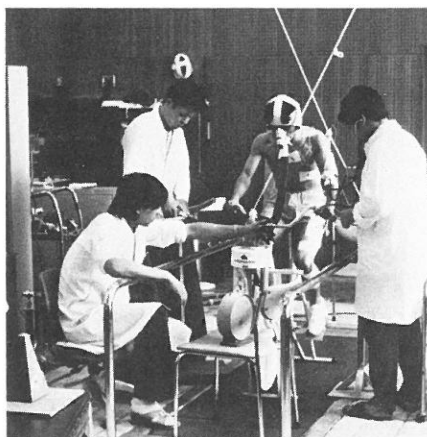


Fig 1. Application of the Douglas bag method for measuring aerobic energy output during exercise on bicycle ergometer.

男子の最大作業テストの場合是最初に 360kpm/min の強度から運動を開始し、規定された回転数（60 rpm）を維持できなくなるまで 2 分毎に負荷を 180 rpm/min ずつ増加させた。女子の場合は最初に 360 kpm/min の強度で 2 分間行ない、その後 1 分毎に 90 rpm/min ずつ負荷を増加させ、規定された回転数（50 rpm）を持続できなくなるまで行なわせた。

Table 2. Means  $\pm$  SD for physiological variables measured during submaximal exercise on bicycle ergometer.

Variable	Males (N = 9)			Females (N = 5)			
	360	720	1080	450	600	750	900
$\dot{V}E$ ( $\ell/\text{min}$ )	32.0 $\pm$ 3.0	62.9 $\pm$ 13.7	89.8 $\pm$ 12.8	33.3 $\pm$ 4.5	42.9 $\pm$ 3.1	56.1 $\pm$ 7.3	64.5 $\pm$ 9.1
$\dot{V}O_2$ ( $\ell/\text{min}$ )	1.04 $\pm$ 0.08	1.95 $\pm$ 0.14	2.88 $\pm$ 0.14	1.17 $\pm$ 0.17	1.42 $\pm$ 0.08	1.71 $\pm$ 0.09	1.85 $\pm$ 9.25
HR (beats/min)	106.0 $\pm$ 13.8	140.0 $\pm$ 18.3	167.4 $\pm$ 8.2	153.2 $\pm$ 8.7	178.6 $\pm$ 5.8	180.5 $\pm$ 10.6	186.9 $\pm$ 7.8
RR (f/min)	25.3 $\pm$ 5.7	34.5 $\pm$ 6.4	35.5 $\pm$ 9.6	27.9 $\pm$ 4.8	34.4 $\pm$ 4.4	39.9 $\pm$ 6.8	44.5 $\pm$ 17.2
Mechanical efficiency (%)	22.6 $\pm$ 3.0	21.6 $\pm$ 3.2	19.6 $\pm$ 1.0	22.3 $\pm$ 3.8	22.5 $\pm$ 2.0	23.0 $\pm$ 1.3	23.2 $\pm$ 2.1

Work load are rpm/min

自転車エルゴメーターの高さは、ペダルが最も低い位置にきたときにわずかに曲るように各被検者ごとに調整した。またエルゴメーターのペダルに木製の枠を取りつけて、被検者の母指球が、自転車での運動中たえずペタルの軸上にくるように配慮した。ペタルの運動はメトロノームに合わせておこなわせた（図 1）。最大作業テスト中の心拍数は毎分 30 秒から 15 秒間と exhaustion に達する前の 3 分間連続的に測定した。酸素摂取量は同様に exhaustion に達する 3 分前より呼気ガスを連続採気して求めた。

最大下作業テストでは、男子の場合 360kpm/min, 720kpm/min, 1080 kpm/min のそれぞれの強度で運動をおこなわせた。女子の場合は 450 kpm/min, 600 kpm/min, 750 kpm/min, 900 kpm/min のそれぞれの強度で運動をおこなわせた。それぞれの強度での運動は 5 分間おこない、運動と運動との間に 30 分以上の休息をはさんで疲労が生じないようにした。

男子の場合の測定は一日で行ない、女子の場合の測定は 2 日間に分けて実施した。

最大下作業テスト中の心拍数と酸素摂取量は、それぞれの運動中 5 分間の最後 2 分間に測定した。

## 研究結果

男子 9 名と女子 5 名の被検者について自転車エルゴメーターでの作業様式において、それぞれの強度で最大下作業を行なわせた時の結果を被検者の平均値で示したのが表 2 である。男子の機械的効率の値を除いてそれぞれの値は負荷の増加にともなって増加する傾向を示した。

図 2 は仕事量と作業中の酸素摂取量との関係について示したものである。男女被検者ともに、仕事量と酸

酸素摂取量との間に高い相関関係が得られた。女子は男子被検者に比較して、同一仕事量での酸素摂取量は低い傾向がみられたが有意な差ではなかった。

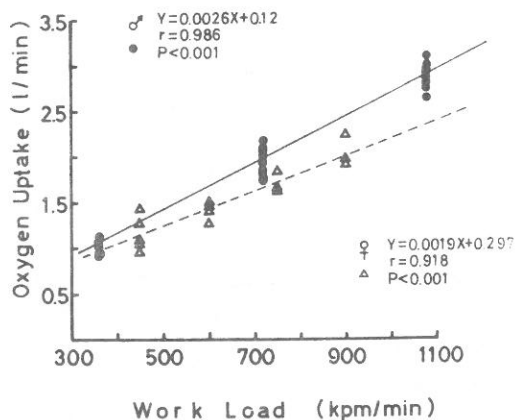


Fig 2. Relationship between work load and oxygen uptake for males and females.

図3は酸素摂取量と心拍数との関係を示したものである。男女被検者ともに両者の間に高い相関関係がみられた。女子被検者は男子被検者に比較して、同一酸素摂取量水準において高い心拍数を示す傾向がみられ酸素摂取量が増加してもその傾向は変らなかった。

さらにそれぞれの最大値に対する割合で比較したのが図4である。男子女子ともに両者の間に高い相関関係がみられた。しかし $\% \dot{V}O_2 \max$ が高くなるにともなう、 $\% HR \max$ は男女ともほぼ差がみられなくなる傾向を示した。

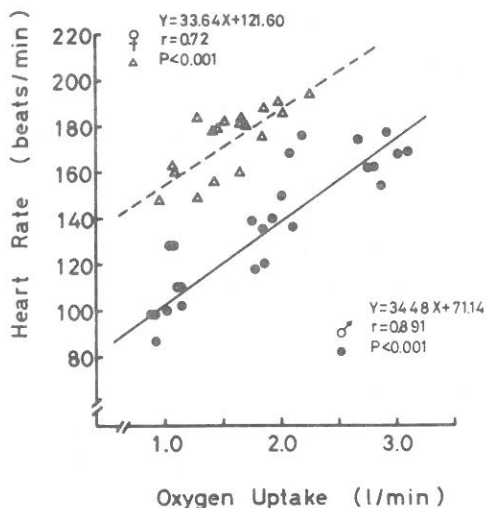


Fig 3. Relationship between oxygen uptake and heart rate for males and females.

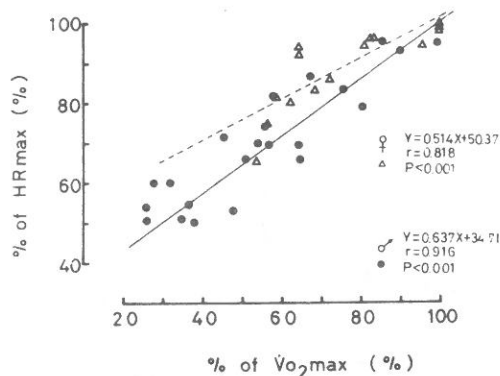


Fig 4. Relationship between percent of maximal oxygen uptake and percent of maximal heart rate for males and females.

図5はそれぞれの作業強度について、最大酸素摂取量に対する割合( $\% \dot{V}O_2 \max$ )で示したものである。

男女とも作業強度が増加するにともなう $\% \dot{V}O_2 \max$ も増加する傾向がみられ、女子は男子に比較して17.5%~22.0%高い値であった。

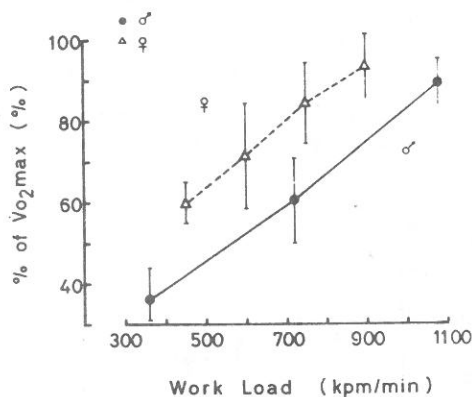


Fig 5. Mean percent of maximal oxygen uptake values during submaximal work load for males group and females group.

図6は運動中の酸素摂取量から被検者それぞれの体重当りの消費エネルギーを求めて、作業強度との関係をみたものである。男女とも作業強度が増加するのに対してエネルギー消費も増加する傾向がみられた。また作業強度とエネルギー消費との間に高い相関関係が得られた。しかし男女はほぼ同様の傾向を示した。

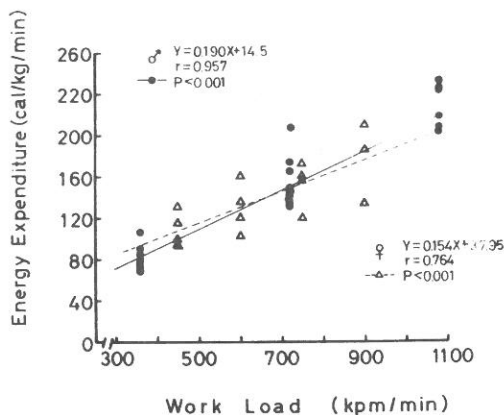


Fig 6. Relationship between work load and energy expenditure for males and females.

図7は作業強度と機械的効率との関係をみたものである。機械的効率は男子の場合に360kpm/minの強度で、22.6%を示し、作業強度が大きくなるともなつて、700kpm/minの強度で21.6%, 1080kpm/minの強度で19.6%と減少する傾向を示した。一方女子の場合は450kpm/minの強度で機械的効率は22.3%を示し、作業強度が600kpm/min, 750kpm/min, 900kpm/minと増加するのに対して、それぞれ22.5%, 23.0%, 23.2%であった。つまり作業強度が増加しても機械的効率はあまり変らない傾向がみられた。

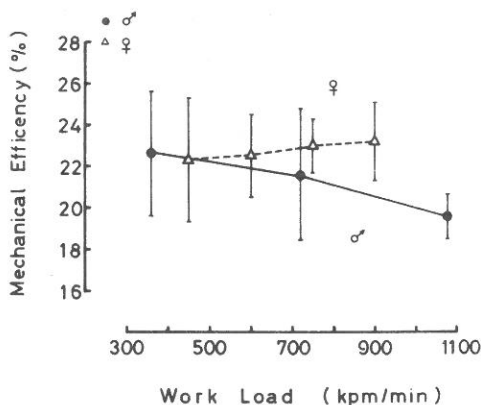


Fig 7. Mean of mechanical efficiency values during sumaximal work load for males group and females group.

## 考 察

作業強度の増加にもなつて、それに要する酸素摂取量は直線的に増加することはしばしば報告されてい

る。本研究の結果においても作業強度の増加にともなつて男女とも酸素摂取量が増加する傾向がみられた。

さらに両者に高い相関関係が得られたが、同一作業強度において、女子は男子に比較して低い酸素摂取量を示す傾向がみられた。猪飼はトレッドミル走において、男子は260m/分・女子は200m/分の運動強度から個体内の変動として酸素摂取量のばらつきが大きくなることを報告している。Åstrand達はこのような性差の変動のばらつきが6%の範囲であると報告している。本研究結果もこれらの理由によるものと考えられる。

酸素摂取量と心拍数との関係において、女子は男子に比較して同一酸素摂取量で高い心拍数を示した。

これは男女の最大作業能や最大拍出量の差によるものと思われる。

山地の報告によると最高心拍数について本質的に男女の差はあり得ないので、これらの関係を最大心拍数に対する割合(% of HRmax)で検討することがよいと説明しているが本研究での $\dot{V}O_2$  maxと%HRmaxとの関係においては男女の差がみられなかった。

% of  $\dot{V}O_2$  maxを生理学的運動強度という観点からとらえて作業強度との関係についてみると、女子は男子に比較して、作業強度が異なっても高い% of  $\dot{V}O_2$  maxを示した。つまりこれは生体に対する男女差の負担度を極端に示すものとして考えられる。

一方、作業強度と体重当りのエネルギー消費量との関係については作業強度の増加にともなつてエネルギー消費量も増加する傾向を示したが、男女の差がみられなかった。

さらにエネルギー消費という点から機械的効率を求めてみた。

Gaesser<sup>7)</sup>によると強度の増加にともなつて、効率は増加すると報告している。反対にHenry<sup>8)</sup>らは強度の増加に対して効率が減少することを報告している。また金子<sup>15)</sup>によると、自転車エルゴメーター運動における効率は外的仕事と脚自体を動かすところの内的仕事の両方を考慮して求めないと一般的に低く見積もってしまうことを示している。

本研究の効率は自転車エルゴメーターでの負荷から求めた外的仕事と運動中の酸素摂取量とから求めたgross efficiencyであるけれども、男子の場合の効率は作業強度が増加するにともなつて減少する傾向を示した。女子の場合は作業強度に関係なくほぼ同じ値を示した。

亀井<sup>12)</sup>の報告によると、ペタリング運動の効率はク

ランクの回転数とギヤー比の組み合わせによるが、最も良いパフォーマンスを得られるのは被検者が最も楽だと感ずるピタリングピッチが重要であるとしている。本研究の女子の被検者全員は毎日の生活で自転車を利用していることもあり、作業条件の回転数と毎日のペダリング動作とがうまく合って、脚動作運動におけるO<sub>2</sub>運動の改善がなされたのかもしれない。つまり一般的に言われている「なれ」が生じて効率が維持できたものと考えられる。

## 要 約

健康な男子9名と女子5名について自転車エルゴメーターの作業様式で最大下作業を行なさせた結果次の

ようなことが明らかになった。

1. 作業強度と酸素摂取量との間に男子( $r=0.986$ ,  $P<0.001$ ), 女子( $r=0.918$ ,  $P<0.001$ )ともに高い相関関係が得られた。

2. 最大酸素摂取量に対する割合は作業強度の増加にともなって増加する傾向を示した。女子は男子に比較して高い傾向がみられた。

3. 体重当りのエネルギー消費量は作業強度が増加するのにもともなって増加する傾向を示したが、男女間には差がみられなかった。

4. 女子の場合の機械的効率は仕事量の増加に対して22.3%~23.2%の範囲であったが男子の場合は減少する傾向を示した。

## 参 考 文 献

- 1) Åstrand, P. O., and B. Saltin. Maximal oxygen uptake and heart in various types of muscular activity. *J Appl. Physiol.* 16 : 977-981, 1961.
- 2) Åstrand, P. O.: Aerobic work capacity in men and women with special reference age. *Acta Physiol. Scand* 49 Suppl. 169 : 1-92, 1962.
- 3) Åstrand, P. O. and Fodahl, K. Textbook of work Physiology. 1970.
- 4) Bobbert, A. C. Physiology comparison of three types of ergometry. *J. Appl. Physiol.* 15 (6) : 1007-1014, 1960.
- 5) Casey M. Donovan and George A. Brooks. Muscular efficiency during steady-rate exercise. 11 Effect of walking speed and work rate. *J. Appl. Physiol.* : 43 (3) 431-439, 1977.
- 6) Cureton, K.J. L.D. Hensley, and A. Tiburzi, Bodyfatness and performance differences between men and women. *Res Quart.* 50 : 333-340, 1979.
- 7) Gaesser, G. A. and G. A. Brooks : Muscular efficiency during steady-rate exercise : Effects of speed and work rate. *J. Appl. Physiol.* 38 : 1132-1139, 1975.
- 8) Falls, H. B. and L. D. Humphrey. Energy cost running and waling in yung women. *Med. Sci. Sports* 8 : 9-13, 1976.
- 9) Hermansen, L., and B. Saltin. Oxygen uptake during maxima treadmill and bicycke exercise. *J. Appl. Physiol.* 26 : 31-37, 1969.
- 10) Henry, F. Mand J. De Moor : Mebabolic efficiency of exercise in relation to work load at constant speed, *J. Appl. Physiol.* 2 : 481-487.
- 11) 猪飼道夫編, 身体運動の生理学, 古林書院, 1953
- 12) 亀井貞次, ペダリング運動のエネルギー消費と効率 -Bicycling について- 体育の科学 30 : 321-326, 1980.

- 13) Katch, F. I., W. D. McArdle, R. Czula and G. S. Pechar. Maximal oxygen intake, endurance running performance, and body composition in college women. *Res. Quart.* 44 : 301-312, 1973.
- 14) Kelly M. Stuart, Edward T. Howley, L. Bruce Gladden, and Ronald H. Cox. Efficiency of trained subjects differing in maximal oxygen uptake and type of training. *J. Appl. Physiol.* 50 (2) : 444-449, 1981.
- 15) 金子公有, 山崎武, 豊岡示朗, 自転車作業における機械的効率の再評価, 体力科学, 28 : 88-94, 1979.
- 16) Macnab, R. B., P. R. Conger, and P. S. Taylor. Differences in maximal and submaximal work capacity in men and women. *J. Appl. Physiol.* 27 : 644-648, 1969.
- 17) Vokac, Z. H. Bell, E. Butz-holter, and K. Rodahl. Oxygen uptake / heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *J. Appl. Physiol.* 39 (1) : 54-59. 1975.
- 18) Whipp, B. J., and K. J. Wasserman. Efficiency of muscular work. *J. Appl. Physiol.* 26 : 644- 648, 1969.
- 19) 湯浅景元, 福永哲夫, 角田直也, 朝比奈一男, 藤松博, 平田敏彦, 作業姿勢が最大下と最大作業中の酸素摂取量と心拍数に及ぼす効果, 体育学研究, 25 (1) : 31-38, 1980.
- 20) 山地啓司, 心拍数の科学, 大修館書店, 1981.

昭和57年3月31日受理

# Efficiency of trained men and women in submaximal work load on a bicycle ergometer

This study was undertaken to examine the relationship between energy expenditure and work rate on the bicycle ergometer in nine males and five females. Male subjects was performed at work rates of 1.0 kp/min, 2.0kp/min and 3.0kp/min. Female subjects was performed at work rates of 1.5kp/min, 2.0kp/min, 2.5kp/min and 3.0kp/min. Pedal frequency was performed at 60rpm (male) and 50rpm (female) during sumaximal work.

The relationship between energy expenditure and work rate was obtained linear regression lines in male group ( $Y=0.00026X+0.122$ ,  $r=0.986$ ,  $P<0.001$ ) and female group ( $Y=0.0019X+0.297$ ,  $r=0.918$ ,  $P<0.001$ ).

Percent of maximal oxygen uptake was increased with an increased work load. However, it was showed that female subjects had high value than male subjects at each work load.

The relationship between energy expenditure and work rate for both groups was more closely approximated by a straight line.

Mechanical efficiency was decreased in the male subjects than the female subjects with an increased work load.