最大下の腕, 脚, および「腕+脚」作業に対する酸素摂取量, 心拍数, 換気量応答

湯 浅 景 元*, 矢 田 秀 昭*, 朝比奈 一 男*

RESPONSE OF OXYGEN UPTAKE, HEART RATE, AND VENTILATION TO SUBMAXIMAL ARM, LEG, AND "ARM+LEG" EXERCISE

KAGEMOTO YUASA, HIDEAKI YATA AND KAZUO ASAHINA

The effect of submaximal arm, leg, and "arm+leg" exercise on oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), heart rate (HR), and pulmonary ventilation ($\dot{V}_E$) was studied in three male subjects. The "arm+leg" exercise was performed in ten different ways with different arm load ranging from 14 to 60% of the total work load. $\dot{V}O_2$ and $\dot{V}_E$ were found higher in the arm exercise than in the other types of exercise at submaximal work. At a given work load, the lowest HR was observed in the "arm+leg" exercise when the arm was loaded with 14 to 33% of the total work load. And the highest HR was obtained in the arm exercise. The higher HR during the arm exercise as compared to the leg or "arm + leg" exercise may be accounted for by the fact that an exercise with small muscle group appears to elicit lower stroke volume and more pronounced rise in sympathetic tone. In the "arm + leg" exercise, HR at a given work load or $\dot{V}O_2$ varied with the proportion of arm load. However $\dot{V}_E$, which might be affected by stroke volume, was unaffected by the rate of arm to the total work load at a given work load or $\dot{V}O_2$. This indicates that the sympathetic tone may be affected by the proportion of work load distribution on the active muscle groups in the "arm + leg" exercise.

(J. Physical Fitness Japan 1980, 29 : 5~10)

I. は じ め に

ヒトが作業を行なうとき, それに参加する筋量や筋群の数と最大酸素摂取量との関係を従来の報告でみると, 主に上肢筋群を使う作業(腕作業)は下肢筋群を使う作業(脚作業)に比べて20~30%低い値を示し³⁾⁵⁾¹¹⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾, 上肢と下肢筋群を同時に活動させる作業(「腕+脚」作業)では脚作業よりも最大酸素摂取量は6~19%高くなる⁶⁾⁹⁾¹¹⁾¹³⁾とされている。このことは, 作業に参加する筋量や筋群の数が増加するにつれて有酸素的作業能の発現が高くなることを示唆するものである¹⁰⁾¹⁶⁾。

一方, 作業に参加する筋量や筋群の数を変化させて行なった最大下作業に対する呼吸循環応答をみた研究は少ない⁴⁾¹⁵⁾。そこで, 本研究では最大下での腕, 脚, および「腕+脚」作業を行ない,

それぞれの作業に対する酸素摂取量, 心拍数, 換気量応答を比較することにより, 作業筋量や筋群の数が最大下作業時の呼吸循環応答におよぼす効果を検討した。

II. 方 法

本研究の被検者は3名の健康な男子である。被検者YUは体育学部教員であり, 他の2名は体育学専攻学生である。彼らの年齢, 身長, および体重は Table 1. に示した。

「腕+脚」作業は, 2台の自転車エルゴメーター(Monark社製)を特別製の作業台にとりつけて行なわせた(Fig. 1)。このとき, まず脚作業用自転車エルゴメーターのサドルの高さを被検者ごとに調節し, つぎに腕作業用自転車エルゴメーターのクランク軸が被検者の肩峰と同じ高さになるように調節して作業を行なわせた。腕作業で

* 中京大学体育学部運動生理学研究室 *Chukyo University (School of Physical Education, Department of Exercise Physiology)*

Table 1 Characteristics of the subjects

Subj.	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
YU	29	166.7	65.5
MU	18	170.0	55.0
FU	21	169.6	73.0

Fig. 1 Experimental setup for combined arm and leg, and arm exercises

は, 「腕+脚」作業と同一の作業姿勢をとらせるが, 両足をのせている自転車エルゴメーターの摩擦用ベルトは取り除き, できる限り腕だけで作業を行なわせるようにした。脚作業では, 両腕は体側において脚だけで作業を行なわせた (Fig. 2)。

「腕+脚」作業では, Table 2 のように10種類の腕と脚の作業強度の組み合わせを設定し, 各負荷条件で5分間の作業を行なわせた。被検者 YU と MU は腕の作業強度が360kpm/min で脚の作業強度が 1080kpm/min のとき, そして被検者 FU はそれぞれ 540kpm/min と 1080kpm/min のときに5分以内に exhaustion に達した。本研究では, このときに得られた酸素摂取量, 心拍数, 換気量を「腕+脚」作業の最大値とした。腕作業で

Fig. 2 Experimental setup for leg exercise

Table 2 Various proportions of arm and leg work load in combined arm and leg exercise

Arm work load (kpm/min)	Leg work load (kpm/min)	A/A+L* (%)
0	0	
180	360	33
180	720	20
180	1080	14
360	360	50
360	720	33
360	1080	25
540	360	60
540	720	43
540	1080	33

*The ratio arm to the sum of arm and leg work loads

は, 最初の4分間は 0kpm/min で作業を行ない, その後は exhaustion に至るまで4分ごとに作業強度を 90kpm/min ずつ漸増させた。脚作業では最初の4分間は 0kpm/min の強度で作業を開始し, その後は4分ごとに作業強度を 180kpm/min ずつ漸増して被検者を exhaustion に至らし

Table 3 Maximal oxygen uptake (l/min) during different types of exercise

Subj.	YU	MU	FU
Type of exercise			
Arm	2.04	2.32	2.69
Leg	2.57	3.06	3.86
Arm+Leg	3.26	3.38	4.17

Fig. 3 Oxygen uptake at submaximal work loads during various of exercise

めた。いずれの作業についてもペダルやクランの回転数は 60rpm に規定した。また, 各被検者とも 1 日に 1 種類の作業テストを実施し, 次の作業テストまでに少なくとも 1 日以上以上の休息をとるようにした。

酸素摂取量は Douglas bag 内に採集した呼気ガス量と, Scholander 微量ガス分析器で分析した CO_2 と O_2 濃度から算出した。心拍数は呼気ガス採集中に記録した ECG の R 波数より 1 分間値を求めた。

III. 結 果

最大の腕, 脚, および「腕+脚」作業で得られた結果を示したのが Table 3 である。「腕+脚」作業の最大酸素摂取量は, 腕作業と脚作業よりそれぞれ 46~65% および 8~27% 高い値を示した。「腕+脚」作業の最大換気量を 100% とすると腕作業では 59~86%, そして脚作業では 64~108% に相当した。最高心拍数はそれぞれの作業様式の間で差はみられなかった。

最大下の腕, 脚, および「腕+脚」作業中の酸素摂取量の変化を示したのが Fig. 3 である。同

Fig. 4 Ventilation at submaximal work loads during various types of exercise

Fig. 5 Heart rate at submaximal work loads during various types of exercise

一作業強度における酸素摂取量は腕作業でもっとも高くなった。「腕+脚」作業では, 腕と脚の作業強度の総和に対する腕作業強度の占める割合 (A/A+L) が変化しても同一作業強度における酸素摂取量に著しい差はみられなかった。

腕作業では他の作業様式に比較して, 作業強度の増加につれて急激な換気量の上昇がみられた (Fig. 4)。しかし, A/A+L が 14~33% のときと 43~60% のときの「腕+脚」作業と脚作業の間では同一作業強度における換気量には顕著な差をみることはできなかった。

同一の最大下作業強度に対する心拍数は, A/A+L が 14~33% の「腕+脚」作業でもっとも低く, 腕作業で最高となった (Fig. 5)。また, 心

Fig. 6 The relationship between oxygen uptake and heart rate in different types of exercise

拍数応答を酸素摂取量との関係でみると、 $A/A+L$ が14~33%の「腕+脚」作業は他の作業様式に比較して低い心拍数を示し、腕作業では急激な心拍数上昇を示した (Fig. 6)。脚作業は $A/A+L$ が43~60%の「腕+脚」作業よりわずかに高い心拍数となる傾向がみられた。

IV. 考 察

脚作業で得られた最大酸素摂取量は腕作業より20~30%高く、「腕+脚」作業では脚作業より8~27%高い値を示した。このことから、作業に参加する筋量や筋群の数は最大有酸素的作業能に影響をおよぼす因子であると考えられる¹⁰⁾¹⁶⁾。しかし、「腕+脚」作業と脚作業で得られた最大酸素摂取量は等しいという研究結果もみられる³⁾¹⁴⁾。このことは、多くの筋群が活動する作業では作業筋量や筋群の数のほかにも作業能に影響をおよぼす因子の存在することを示唆していると考えられる。Bergh, et al.⁴⁾ は、腕と脚の作業強度の総和に対する腕作業強度の占める割合 ($A/A+L$) を変化させて「腕+脚」作業を行なわせたところ、 $A/A+L$ が10~30%の「腕+脚」作業では脚作業よりも高い最大酸素摂取量を示したが、 $A/A+L$ が40%のときには両作業様式の最大酸素摂取量は等しいことを報告した。そして彼らは、「腕+脚」作業のように多数の筋群が作業に参加するときには、各作業筋群への作業強度の配分方式も作業能に影響をおよぼす重要な因子の1つであることを明らかにした。本研究における最大酸素摂取量測定時の $A/A+L$ は14~33%の範囲内にあり、この比率は Bergh, et al.⁴⁾ の報告では「腕+脚」

作業でもっとも高い最大酸素摂取量を得るための至適作業強度配分に相当している。

同一の最大下作業強度における酸素摂取量は腕作業でもっとも大きくなった。これはすでに報告されている研究結果¹⁾²⁾⁵⁾¹⁵⁾と一致しており、作業に参加する筋量や筋群の数が多くなると機械的効率も高くなることを示している。しかし、「腕+脚」作業では $A/A+L$ を変化させても同一作業強度で摂取される酸素量はほぼ同じ値を示した。すなわち、 $A/A+L$ が14~60%の範囲では $A/A+L$ に関係なく「腕+脚」作業中の機械的効率はほぼ一定であると考えられる。

同一酸素摂取量での心拍数は腕作業で著しい上昇を示した。Bevegård, et al.⁵⁾ は脚作業のときには作業中の1回拍出量は安静値よりも大きくなるが、立位腕作業では1回拍出量は安静値からほとんど変動しないことを報告している。彼らはこの原因として立位腕作業では重力の作用によって多くの血液が下肢へ移動するが、脚筋のポンプ作用がほとんどおこなわないために血液は下肢に貯留し、静脈還流が減少することをあげている。本研究における腕作業は座位で、しかも脚にはできる限り負荷が加わらないように配慮して実施させた。したがって、本実験での腕作業では他の作業様式に比較して静脈還流は少なく1回拍出量も低いために心拍数が著しく増加したと考えられる。一方、腕作業では脚作業より血圧や末梢血管抵抗などの増加も著しくなることから、交感神経性緊張が腕作業で高くなっているという報告がある²⁾。このことから、本実験でみられた腕作業での著しい心拍数増加の原因の1つとして交感神経性緊張の高いこともあげられる。

また、「腕+脚」作業では $A/A+L$ が43~60%のときよりも14~33%のときの方が同一酸素摂取量における心拍数は低かった。ここで換気量を作業強度や酸素摂取量との関係についてみると、各種の作業強度の組み合わせによる「腕+脚」作業および脚作業は同様の結果を示した。脱血によって血液量を減少させて1回拍出量を低下させたり⁸⁾、あるいは仰臥位から座位へ作業姿勢を変換して1回拍出量を低下させる⁹⁾と、1回拍出量や心室充満圧を維持するために換気量の補償的增加のおこることが知られている。また、Granath et al.⁷⁾

は1回拍出量を決定する重要な因子の1つである。心室充満圧と換気量の間には正の相関関係が成立することを明らかにしている。以上のような報告は換気量と1回拍出量の間には密接な関係のあることを示唆するものである。一方, 交感神経刺激のもっとも重要な効果は1回拍出量はごくわずしか増加させないが心拍数を著しく増加させることにあることが知られている¹²⁾。本研究では同一の作業強度や酸素摂取量における心拍数は $A/A+L$ が14~33%の「腕+脚」作業で最低となった。しかし, 1回拍出量の決定因子である心室充満圧と正の相関関係にある換気量はいずれのテストにおいてもほぼ同様であった。したがって $A/A+L$ が14~33%の「腕+脚」作業での心拍数をもっとも低くなった原因として, この作業における交感神経刺激が他の作業に比べて低かったことが考えられる。以上のことから, 「腕+脚」作業のように多数の筋群が活動に参加するときには, それぞれの作業筋群への負荷強度の配分方式が最大下作業時の交換神経性緊張の程度に影響をおよぼす可能性のあることを示唆していると考えられる。

V. 要 約

本研究では, 作業に参加する筋量や筋群の数が最大下作業中の呼吸循環応答におよぼす効果を明らかにするために, 3名の健康な男子被検者を対象として, 最大下の腕, 脚, および「腕+脚」作業中の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$), 心拍数 (HR), 換気量 ($\dot{V}_E$) 応答を比較検討した。「腕+脚」作業では, 腕と脚の作業強度の総和に対する腕作業強度の占める割合 ($A/A+L$) を変えて作業を行なわせた。本研究で得られた結果は次のようである。

1) 同一の作業強度における $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}_E$ は腕作業で急激な上昇がみられた。「腕+脚」作業では, $A/A+L$ に関係なく同様の結果となった。脚作業の結果は「腕+脚」作業と同様であった。

2) 同一の作業強度や $\dot{V}O_2$ における HR は腕作業でもっとも高く, $A/A+L$ が14~33%の「腕+脚」作業でもっとも低かった。脚作業では, $A/A+L$ が43~60%の「腕+脚」作業よりもわずかに高い HR を示す傾向がみられた。

3) 以上のように, 他の作業様式に比較して腕

作業では HR の上昇が著しいことから, 作業に参加する筋量や筋群の数が少ないほど1回拍出量は減少し, また精神的緊張状態に関連して交感神経性緊張が高くなることが考えられる。さらに, 「腕+脚」作業では同一の作業強度や $\dot{V}O_2$ における HR は $A/A+L$ の変化によって変動するが, 1回拍出量の決定因子である心室充満圧と正の相関関係にある $\dot{V}_E$ が変化しなかったことから, 多くの筋群が活動に参加するときには, 作業中の交感神経性緊張は各作業筋群への負荷強度の配分方式によって決定されると考えられる。

本研究の一部は1977年10月, 第32回日本体力医学会で発表した。

文 献

- 1) Åstrand, I. (1971) : Circulatory responses to arm exercise in different work positions. *Scand. J. clin Lab. Invest.*, **27** : 293-297
- 2) Åstrand, I., Guharay, A. and Wahren, J. (1968) : Circulatory responses to arm exercise with different arm positions. *J. Appl. Physiol.*, **25** : 528-532
- 3) Åstrand, P.-O. and Saltin, B. (1961) : Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J. Appl. Physiol.*, **16** : 977-981
- 4) Bergh, U., Knastrup, I.-L. and Ekblom, B. (1976) : Maximal oxygen uptake during exercise with various combinations of arm and leg work. *J. Appl. Physiol.*, **41** : 191-196
- 5) Bevegard, B.S., Freyschuss, U. and Strandell, T. (1966) : Circulatory adaptation to arm and leg exercise in supine and sitting position. *J. Appl. Physiol.*, **21** : 37-46
- 6) Gleser, M.A., Horstman, D.H. and Mello, R.P. (1974) : The effect on $\dot{V}O_2$ max of adding arm work to maximal leg work. *Med. Sci. Sports.*, **6** : 104-107
- 7) Granath, A. and Strandell, T. (1964) : Relationships between cardiac output, stroke volume and intracardiac pressures at rest and during exercise in supine position and some anthropometric data in healthy old men. *Acta Med. Scand.*, **176** : 447-467

- 8) Gullbring, B., Holmgren, A., Sjostrand, T. and Strandell, T. (1960) : The effect of blood volume variations on the pulse rate in supine and upright positions and during exercise. *Acta physiol. scand.*, **50** : 62-71
- 9) Hermansen, L. (1973) : Oxygen transport during exercise in human subjects. *Acta physiol. scand.*, Suppl. 399
- 10) 加賀谷淳子 (1978) : 局所持久力と全身持久力の接点——Circulatory systemにおけるcentral factor と peripheral factor の検討——. *体育の科学*, **28** : 634-639
- 11) Reybrouck, T., Heigenhauser, G.F. and Faulkner, J.A. (1975) : Limitations to maximum oxygen uptake in arm, leg, and combined arm-leg ergometry. *J. Appl. Physiol.*, **38** : 774-779
- 12) Rushmer, R.F. 著, 入沢 宏, 入沢彩 共訳 (1975) : 心・血管系の構造と機能, 初版, 医歯薬出版株式会社, 東京, 1976
- 13) Secher, N.H., Ruberg-Larsen, N., Binkhorst, R.A. and Bonde-Petersen, F. (1974) : Maximal oxygen uptake during arm cranking and combined arm plus leg exercise. *J. Appl. Physiol.*, **36** : 515-518
- 14) Stenberg, J., Åstrand, P.-O., Ekblom, B., Royce, J. and Saltin, B. (1967) : Hemodynamic response to work with different muscle groups, sitting and supine. *J. Appl. Physiol.*, **22** : 61-70
- 15) Vokac, Z., Bell, H., Bautz-Holter, E. and Rodahl, K. (1975) : Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *J. Appl. Physiol.*, **39** : 54-59
- 16) Vrijens, J., Hoekstra, P., Bouckart, J. and Uytvanck, P.V. (1975) : Effects of training on maximal working capacity and haemodynamic response during arm and leg-exercise in a group of paddlers. *Europ. J. Appl. Physiol.*, **34** : 113-119