

短 報

最大運動時における自転車エルゴメータ運動の心拍数, 酸素摂取量とハンドエルゴメータ運動の心拍数, 酸素摂取量の比較

荒金圭太*1 齋藤辰哉*1 高木祐介*2 高原皓全*2 野瀬由佳*2 吉岡 哲*3 小野寺昇*4

要 約

酸素摂取量は、有酸素能力の客観的な指標として用いられている。酸素摂取量の評価には、下肢の運動が一般的な方法として採用されている。一方、上肢を使った有酸素運動の評価方法としてハンドエルゴメータ運動が挙げられる。そこで、自転車エルゴメータ運動とハンドエルゴメータ運動が心拍数および酸素摂取量に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。被験者は、健康な若年男性6名であった。運動条件は、自転車エルゴメータ運動およびハンドエルゴメータ運動とした。測定項目は心拍数、酸素摂取量、血圧、主観的運動強度、握力、上腕および前腕周径とした。本研究において心拍数および酸素摂取量は、自転車エルゴメータ運動と比較しハンドエルゴメータで低値を示した ($p<0.05$)。以上より、健康な若年男性については、ハンドエルゴメータ運動の心拍数および酸素摂取量は、自転車エルゴメータ運動より小さいことが明らかとなった。

1. はじめに

酸素摂取量は、有酸素能力の客観的な指標として、運動処方運動強度の設定やアスリートの体力測定で用いられている。今日では、老若男女の体力や健康の重要な指標として意味を持つようになってきた。特に、エクササイズガイド2006¹⁾は、酸素摂取量を健康に関連した重要な体力指標として位置づけている。すなわち、日常生活の中で疲労を感じないで高い水準で仕事に集中したり、各種のスポーツを行うためには、それなりの酸素摂取量を持つことが、余裕を持って運動できることを保証することになる。

また、国民の健康志向や大衆スポーツの隆盛によって、より身近な言葉として普及している。特に、歩行やジョギングなどの有酸素運動が酸素摂取量を高め、また生活習慣病の予防や治療に有効であることが明らかになるにつれ、酸素摂取量は体力評価、スポーツや運動処方、あるいは労働基準のそれぞれの指標として広範囲に利用されるようになってきた。最近では、最大酸素摂取量が25ml/kg/min以下

下に低下すると生活習慣病を患う確率が一段と高まってくることが明らかにされている。

酸素摂取量の評価には、自転車エルゴメータ運動やトレッドミル歩・走運動など、下肢の運動を中心とする運動形態が一般的な方法として採用されている。それらは、先行研究の成果に基づくものである^{2,4)}。

一方、上肢を使った有酸素運動の評価方法としてハンドエルゴメータ運動が挙げられる。Vokacら⁵⁾は、ハンドエルゴメータ運動と自転車エルゴメータ運動時の最高心拍数が、ほぼ同じ数値を示すことを報告した。最大ハンドエルゴメータ運動時の心拍数は、最大自転車エルゴメータ運動時と比較し、低値を示すことがほとんどである^{6,7)}。ハンドエルゴメータ運動は上肢が主な運動肢であるため、上肢の強化目的などの運動に用いられることが多い。しかしながら、ハンドエルゴメータ自体が特殊な機器であるため、普及率が低いのが現状である。そのため、ハンドエルゴメータ運動を用いた運動指針も明確なものが作成されていない。ハンドエルゴメー

*1 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究科 健康体育学専攻 *2 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究科 健康科学専攻

*3 香川大学医学部 公衆衛生学 *4 川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科

(連絡先) 荒金圭太 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学
E-Mail : w6310002@kwmw.jp

タ運動の特性を明らかにすれば、選択的な上肢運動の適応の機会も増加するものと考えられる。

そこで本研究は、ハンドエルゴメータ運動の特性を明らかにするために、自転車エルゴメータ運動とハンドエルゴメータ運動が心拍数および酸素摂取量に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は、健康な若年男性6名であった。身体的特性は、年齢 21.0 ± 2.1 歳、身長 170.0 ± 4.0 cm、体重 64.5 ± 11.1 kg、BMI 22.4 ± 1.7 kg/m²であった。被験者には、ヘルシンキ宣言の趣旨に沿って、研究の目的、方法、期待される効果、不利益がないこと、危険を排除した環境とすることについて説明を行い、研究参加の同意を得た。

2.2 実験手順

運動条件は、自転車エルゴメータ（828E型；MONARK）運動およびハンドエルゴメータ（881E型；MONARK）運動とした。自転車エルゴメータ運動のクランクの回転数は60回転/分とし、サドルの高さはペダルが下に来たときに、被験者の膝が少し曲がる程度に調節した。ハンドエルゴメータ運動のクランクの回転数も自転車エルゴメータ運動と同様に60回転/分とし、回転軸の中心は、肩峰と水平の位置とした。多段階漸増運動負荷試験を用いて、個人の主観的限界まで運動を実施した。実験のプロトコルを図1、2に示した。一般に、自転車エルゴメータ運動で使われている方法を用いた。0～3分は1.5kp、3～6分は2kp、6～9分は2.5kpとし、9分以降は1分経過につき0.25kpずつ負荷を上げていっ

た。ハンドエルゴメータ運動においても、自転車エルゴメータ運動と同様の負荷の上げ方に設定した。実験は、クロスオーバー法に則り、異なる日に実施し、順序はランダムに行った。室温は 25.3 ± 1.2 ℃であった。測定項目は心拍数、酸素摂取量、血圧、主観的運動強度（RPE：Rating of Perceived Exertion）、握力、上腕周径囲および前腕周径囲とした。心拍数は心拍計（S610i；POLAR）を用いて測定した。酸素摂取量は、ダグラスバック法を用いて測定した。測定した呼気ガスの酸素および二酸化炭素濃度の分析は、呼気ガスの偏りを取り除いた後に質量分析器（WASR-1400；ウェストロン）を用いて測定した。ガス量およびガス温は、乾式ガスメーター（DC-5；品川製作所）で測定した。血圧は、SPHYGMOMANOMETER（Q9917号；YAMASU）を用いて、運動前と運動直後に測定した。RPEはBorg scaleを用いて、運動負荷中に測定を行った。握力は、デジタル握力計（T.K.K.5401；竹井機器工業）を使用した。握力、上腕周径囲および前腕周径囲は運動前に測定を行った。なお、握力、上腕周径囲および前腕周径囲の測定は、「新・日本人の体力標準値Ⅱ」⁸⁾に記されている方法に則し、握力は以下のように行った。右左交互に2回ずつ測定し、それぞれの最高値を採用した。上腕周径囲は、伸展位を測定した。前腕周径囲は、被験者の上肢を自然に下垂させ、肘関節よりやや遠位の膨隆部で前腕部の最も太い部位に前腕の長軸に対して直角に巻尺を回して測定した。

2.3 統計処理

各測定における経時的変化および条件間の比較には繰り返しのない二元配置分散分析を用いた。また、握力値と心拍数の相関関係はPearsonの積率相

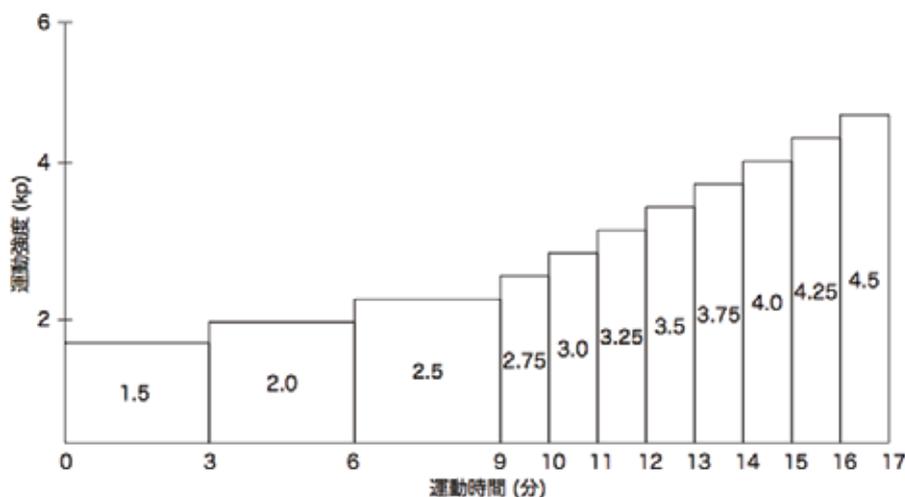


図1 実験プロトコル（自転車エルゴメータ運動）

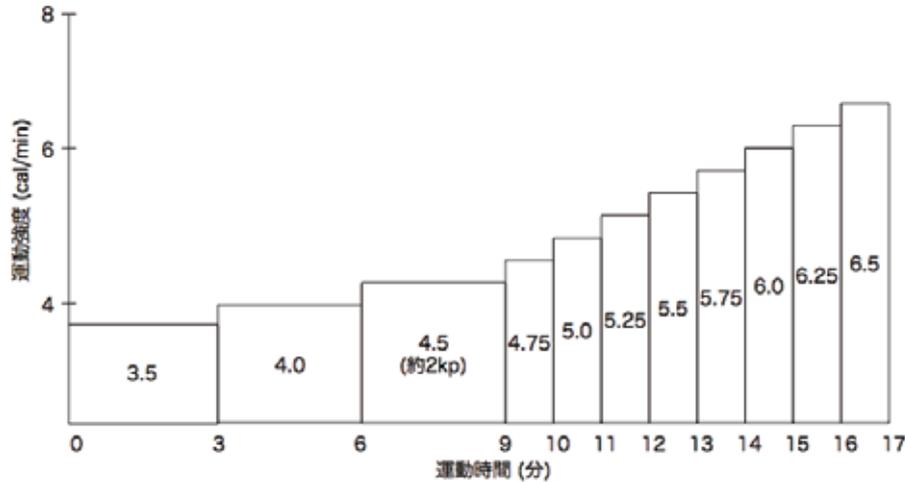


図2 実験プロトコール (ハンドエルゴメータ運動)

関係数から求めた。これらの有意水準は5%未満とした。統計解析にはStatView5.0Jを用いた。

3. 結果

個人別の運動負荷試験結果を表1に示した。疲労困憊までの心拍数変化を図3に示した。主観的限界時点を終点として、その1分前、2分前、3分前、4分前を表示した。自転車エルゴメータ運動、ハンドエルゴメータ運動ともに4分前から1分ごと漸次、有意に増加した(すべて $p<0.05$)。また、いずれの時間帯も自転車エルゴメータ運動はハンドエルゴメータ運動と比較して、有意に高値を示した($p<0.05$)。なお、困憊時の心拍数は、自転車エルゴメータ運動は 193 ± 7 bpm、ハンドエルゴメータ運動は 167 ± 4 bpmであった。

疲労困憊までの酸素摂取量変化を図4に示した。主観的限界時点を終点として、その1分前、2分前、3分前、4分前を表示した。自転車エルゴメータ運動、ハンドエルゴメータ運動ともに4分前から1分ごと漸次、有意に増加した(すべて $p<0.05$)。また、

いずれの時間帯も自転車エルゴメータ運動はハンドエルゴメータ運動と比較して、有意に高値を示した(すべて $p<0.05$)。なお、困憊時の酸素摂取量は、自転車エルゴメータ運動は 48.2 ± 3.1 ml/kg/min、ハンドエルゴメータ運動は 26.4 ± 1.4 ml/kg/minであった。

運動前後の血圧変化を図5に示した。自転車エルゴメータの収縮期血圧は、運動前 114 ± 11 mmHg、運動後は 168 ± 14 mmHg、拡張期血圧は、運動前 65 ± 3 mmHg、運動後 54 ± 21 mmHgであった。運動後の収縮期血圧は、運動前と比較して有意に上昇した($p<0.05$)。拡張期血圧は、運動前と運動後で有意な差は観察されなかった。ハンドエルゴメータ運動の収縮期血圧は、運動前 115 ± 9 mmHg、運動後 161 ± 23 mmHgであった。拡張期血圧は、運動前 67 ± 4 mmHg、運動後 69 ± 11 mmHgであった。運動後の収縮期血圧は、運動前と比較して有意に上昇した($p<0.05$)。拡張期血圧については、運動前と運動後で有意な差は観察されなかった。また、自転車エルゴメータ運動とハンドエルゴメータ運動の運動条

表1 各被験者の最大運動時における運動強度、心拍数および酸素摂取量

被験者	自転車エルゴメータ運動				ハンドエルゴメータ運動			
	運動時間 (分)	最終運動強度 (kp)	心拍数 (bpm)	最高酸素摂取量 (ml/kg/min)	運動時間 (分)	最終運動強度 (cal/min)	心拍数 (bpm)	最高酸素摂取量 (ml/kg/min)
A	16	4.75	190	49.8	14	7.00	168	27.5
B	14	4.50	186	49.7	16	7.25	172	28.4
C	13	3.75	186	51.9	16	6.50	163	26.2
D	14	4.00	201	48.8	15	6.25	165	26.9
E	12	3.50	202	44.1	15	6.25	164	24.9
F	14	4.00	191	44.7	16	6.50	169	26.9
平均	13.8	4.08	193	48.2	15.3	6.63	167	26.8

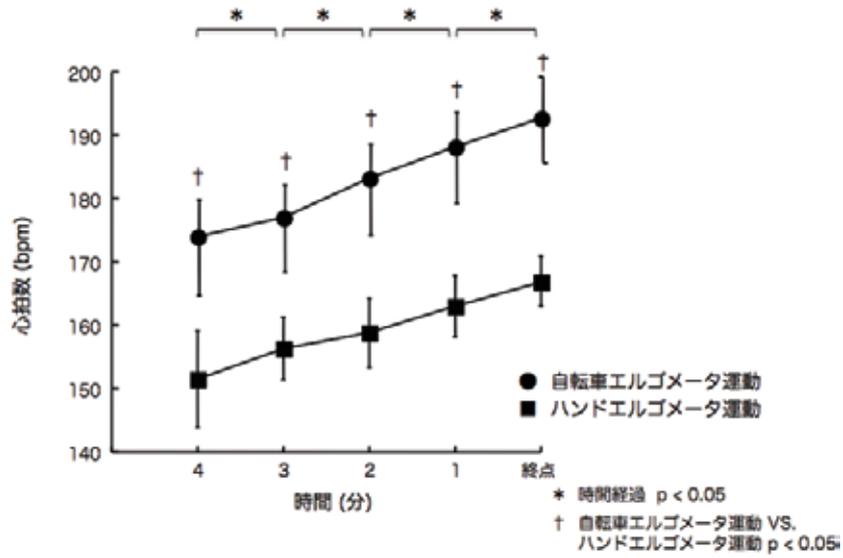


図3 疲労困憊までの心拍数の変化

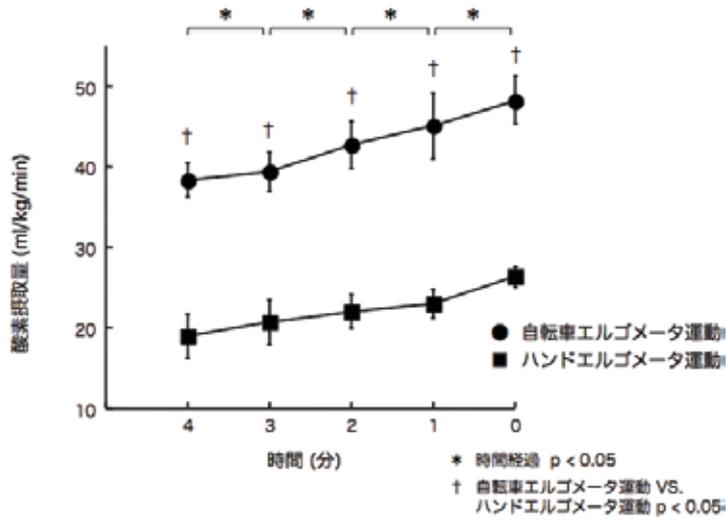


図4 疲労困憊までの酸素摂取量の変化

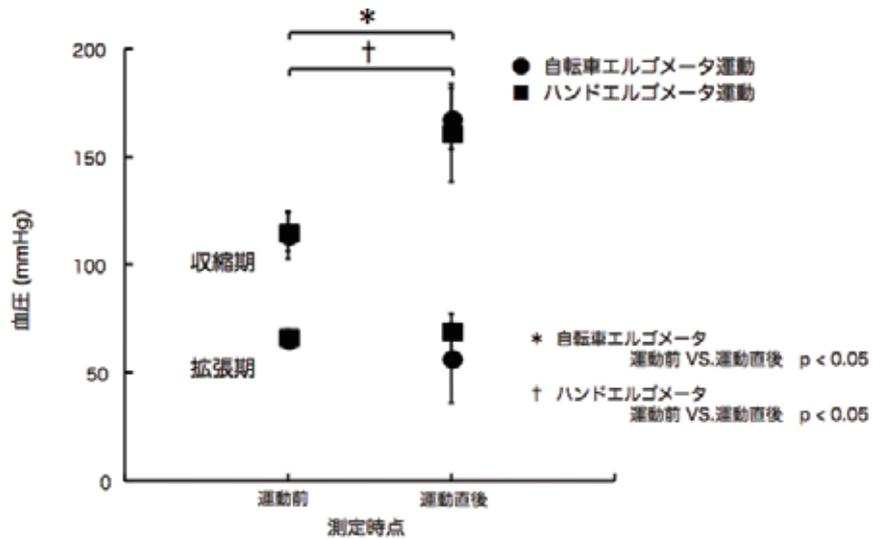


図5 運動前後の血圧変化

件の間にも有意な差は観察されなかった。

RPEは、疲労困憊時の自転車エルゴメータ運動およびハンドエルゴメータ運動において全ての被験者が20を示した。

握力は、右 48.3 ± 11.3 kg、左 43.3 ± 9.8 kgであった。上腕周径は、右 28.8 ± 1.9 cm、左 27.6 ± 2.1 cmであった。前腕周径は、右 26.5 ± 1.7 cm、左 25.4 ± 1.6 cmであった。握力とハンドエルゴメータ運動時最高心拍数の関係を図6に示した。握力の右左合計値とハンドエルゴメータ運動時の最高心拍数の間に有意な相関関係 ($r=0.892$, $p<0.05$) が認められた。上腕周径および前腕周径においては、他の測定値と相関関係は認められなかった。

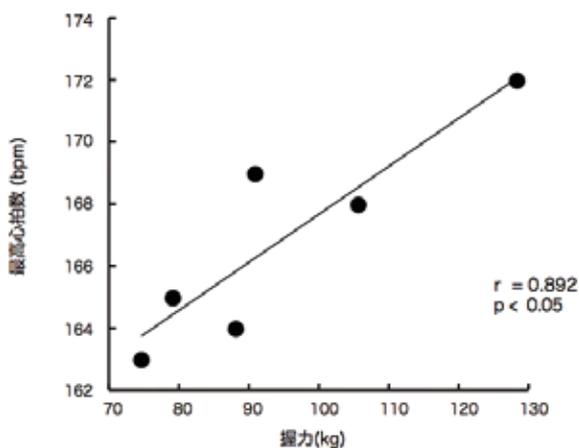


図6 握力とハンドエルゴメータ運動時最高心拍数の関係

4. 考察

Berghら⁹⁾は、健康成人男性10名を対象に、トレッドミル歩・走運動と自転車エルゴメータ運動での運動負荷試験を行い、酸素摂取量の相違の一要因に活動筋量が影響することを挙げている。本研究の酸素摂取量は、自転車エルゴメータ運動と比較し、ハンドエルゴメータ運動で有意に低値を示した。下肢の容積に対する上肢の割合は、一般成人では29.5%とする報告がある¹⁰⁾。上肢の活動筋量が下肢に比べて少ないことが、ハンドエルゴメータ運動時の酸素摂取量低値の要因であると考えられた。高い酸素摂取量を測定するためには、中枢系の疲労と末

梢系の疲労がほぼ同時に疲労困憊に達することが理想であるとの報告もある¹¹⁾。本研究において疲労困憊時の心拍数は、自転車エルゴメータ運動と比較しハンドエルゴメータ運動で低値を示した。これらは、ハンドエルゴメータ運動時の上肢活動筋量が少ないため、自転車エルゴメータ運動と比較し、中枢系の限界より末梢系の限界が早期に生じることを示唆する。

本研究において、握力と最高心拍数に有意な正の相関関係が認められたことを踏まえると、海外の先行研究⁵⁾において自転車エルゴメータ運動とハンドエルゴメータ運動の最高心拍数がほぼ同等だったことは、上肢の筋力が大きい被験者を対象にしたものと考えられる。

血圧は、心拍数の影響を大きく受ける。本研究においても運動条件に関わらず、心拍数の上昇に伴い、血圧が上昇した。最大運動時の心拍数は、自転車エルゴメータ運動と比較して、ハンドエルゴメータ運動で低値を示した。しかしながら、血圧では有意な差は観察されなかった。ハンドエルゴメータ運動では、血圧の測定部位と近い上肢で運動を行ったため、自転車エルゴメータ運動と比較し、心拍数が低値であっても、血圧は高値を示す可能性が考えられる。

ハンドエルゴメータの酸素摂取量が最高値 (28.4 ml/kg/min) を示した被験者Bと最低値 (24.9 ml/kg/min) を示した被験者Eの上腕1RM (バーベルカール) を追加項目として測定した。その結果、酸素摂取量が高値であった被験者Bの方が1RMは高かった (被験者B: 42.5 kg, 被験者E: 32.5 kg)。さらに、握力と最大運動時の心拍数に正の相関関係がみられた。これらのことから、上肢の筋力が大きいほど、ハンドエルゴメータ運動の酸素摂取量は大きいことが示唆された。

5. まとめ

これらのことから、健康な若年男性については、ハンドエルゴメータ運動の心拍数および酸素摂取量は、自転車エルゴメータ運動より小さいことが明らかとなった。また、握力はハンドエルゴメータ運動の心拍数に影響を与えることが明らかとなった。

文 献

- 1) 厚生労働省：健康づくりのための運動指針2006（エクササイズガイド 2006）. 2006.
- 2) 山地啓司：最高有酸素的ランニング速度（ $\dot{V}O_{2max}$ ）の意義と評価. 日本運動生理学雑誌, **5**, 88-99, 1998.
- 3) 山地啓司, 横山泰行：持久性トレーニング（強度, 時間, 頻度, 期間）の最大酸素摂取量への影響. 体育学研究, **32**, 167-179, 1987.
- 4) 山地啓司, 橋本一隆, 橋爪和夫：トレッドミル走における持続時間と生理学的応答の変動. 体育学研究, **45**, 15-23, 2000.
- 5) Vokac Z, Bell H, Bautz-holter E and Rodahl K : Oxygen uptake/heart rate relationship in leg and arm exercise, sitting and standing. *Journal of Applied Physiology*, **39**, 54-59, 1975.
- 6) 関和俊, 山口英峰, 西村一樹, 小野寺昇：ハンドエルゴメーター運動がH波の潜時に及ぼす影響. 体力科学, **54**, 423, 2005.
- 7) 天岡寛, 石本恭子, 白優寛, 小坂多恵子, 西村正広, 小野寺昇：陸上と水中で比較したハンドエルゴメーター運動時の心拍数と酸素摂取量. 体力科学, **52**, 654, 2003.
- 8) 首都大学東京体力標準値研究会編：新・日本人の体力標準値Ⅱ. 不昧堂出版, 東京, 2007.
- 9) Bergh U, Kanstrup IL and Ekblom B : Maximal oxygen up-take during exercise with various combinations of arm and leg work. *Journal of Applied Physiology*, **41**, 191-196, 1976.
- 10) Cerretelli P, Shindel D, Pendergast DP, Prampero PE and Rennie DW : Oxygen uptake transients at the onset and offset of arm and leg work. *Respiratory Physiology*, **30**, 81-97, 1977.
- 11) Faulkner JA, Roberts DE, Fik RL and Conway J : Cardiovascular responses to submaximum and maximum effort cycling and running. *Journal of Applied Physiology*, **30**, 457-461, 1971.

(平成23年6月20日受理)

Comparison of Heart Rate and Oxygen Uptake on Bicycle Ergometer and Arm Ergometer in Maximal Exercise Testing

Keita ARAKANE, Tatsuya SAITO, Yusuke TAKAGI, Terumasa TAKAHARA, Yuko FUJIWARA,
Akira YOSHIOKA and Sho ONODERA

(Accepted Jun. 20, 2011)

Key words : bicycle ergometer, arm ergometer, heart rate, oxygen uptake, grip strength

Abstract

The purpose of this research was to find out the effects of maximum oxygen uptake for different locomotory appendages. Subjects were six healthy men (age ; 21 ± 2 years). Subjects performed maximal exercise stress tests on a bicycle ergometer and an arm ergometer. Oxygen uptake, heart rate (HR), blood pressure, ratings of perceived exertion (RPE) and grip strength were measured. Measurements for HRmax and $\dot{V}O_{2peak}$ during bicycle ergometer testing were significantly higher than those recorded using the arm ergometer. These results suggest that activity muscle mass during the bicycle ergometer exercise was greater than during arm ergometer exercise. Changes in HR and oxygen uptake from exercise for different locomotory appendages were observed.

Correspondence to : Keita ARAKANE

Master's Program in Health and Sports Science
Graduate School of Health Science and Technology
Kawasaki University of Medical Welfare
Kurasiki, 701-0193, Japan
E-Mail : w6310002@kwmw.jp

(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.21, No.1, 2011 151-156)