

# 歩行動作と酸素摂取量に関する研究

## —腕振り動作が酸素摂取量に影響を与える背景—

土谷 卓司<sup>1)</sup>・小松原達也<sup>1)</sup>・藤岡 亮一<sup>1)</sup>・山野 力<sup>2)</sup>  
 枝松 千尋<sup>2)</sup>・椎葉 大輔<sup>2)</sup>・飯田 智行<sup>2)</sup>・川上 雅之<sup>1)</sup>

1) 倉敷芸術科学大学大学院人間文化研究科

2) 倉敷芸術科学大学生命科学部健康科学科

(2011年10月1日 受理)

### I. 緒言

エアロビクスエクササイズ (Aerobics Exercise) は、1960年代米国のクーパー博士 (Dr. K. Cooper) によって提唱され、世界的な運動革命を引き起こした<sup>21)</sup>。とくに有酸素運動 (以下 Aero. と称す) は、糖尿病、心臓疾患などの成人病対策として注目を集めた運動である<sup>1,7,19,20,21,23,26,27)</sup>。また Aero. は、今日まで多くの研究者によって各種の運動方法が検討されてきた<sup>4,6,7,11,18,19)</sup>。中でも歩行運動は、ジョギング、ダンス、スイミング及びバイクなどととも代表的な Aero. として活用されている<sup>6,9-15,19-22,24-26)</sup>。歩行運動は、人間の生活と密着した身近な健康運動であり、どこでも、誰でも、簡単にできる、という最大のメリットを持っている<sup>16,18,25)</sup>。健康運動の基本は、身近で、簡単に、手軽にできるということ、また継続性を維持できるということが重要な条件である<sup>1,5,22,24-26)</sup>。そのような意味において、歩行運動は格好の Aero. であり、我々の身近な健康運動といえる。歩行運動の特徴は、歩行の速度 (walking speed) 及び形態 (walking form) を変化させることによって、運動強度が調節できるという点である<sup>7-15,17,24-26)</sup>。歩行速度とは、速歩を意味しているが、ゆっくりとした生活歩行から中間的な速度など、各種各様の速度を設定することが可能である。これは、体力及び年齢に応じて運動強度が調整できる、最大のメリットといえる。歩行形態は、大きな腕振り歩行、また腿上げ歩行など、大きな動作を併用することを意味している。歩数と歩幅は、ケースバイケースによって調節すれば運動強度も調整できる<sup>12-15)</sup>。また運動環境を変えることによって、運動強度の調節が可能になる。運動環境とは、坂道及び階段の上り下りなどを利用した歩行を意味している。このように歩行運動は、運動の方法及び環境を工夫することによって、運動強度が調節できる健康運動といえる<sup>2,4,11,12,24,26)</sup>。

我々は、過去の研究で歩数と酸素摂取量 (以下  $VO_2$  と称す)、また歩行速度と  $VO_2$  の関係について検討した<sup>12-15)</sup>。とくにストライド歩行は、ピッチ歩行に比較して  $VO_2$  を増加させる<sup>12-14)</sup>。これは、ストライド歩行が大きな筋肉群を活用するため、より多くの酸素を必要とする。またピッチ歩行は、ストライド歩行に比較して糖質及び脂質などの運動

代謝を促進させる<sup>12-15)</sup>。これは、ピッチ歩行がストライド歩行に比較して早い筋収縮の反復運動であるため、より多くの運動エネルギーが必要になる。これらの背景には、歩行形態と筋収縮形態の相違という構図が成立する。つまりエネルギー代謝は、運動形態を変化させることによって調節することができるということである<sup>8,9,13)</sup>。運動形態とは、速い筋収縮、大筋群の活動、複雑な運動、単純運動、という運動の組み合わせを意味している<sup>8-14)</sup>。これは、運動形態を変えることによって同一種類の運動であっても運動代謝を変化させることができるということである<sup>15,26)</sup>。

今回は、とくに腕振り動作という上肢の動きに着目した。先行研究では、大きな腕振り歩行が $VO_2$ を増加させると報告している<sup>1,2,11-14,24,26)</sup>。これは、大きな腕振り動作によって、多くの筋繊維が動員され、筋肉の収縮活動領域が拡大されるためである<sup>8,12,20)</sup>。

本研究は、歩行時における体幹起立筋及び広背筋の収縮状況と運動代謝の関係を検証する目的で実験した。実験結果は、大きな腕振り歩行によって、 $VO_2$ が増加することを確認した。それは、大きな腕振り動作によって歩幅が拡大したこと、また体幹起立筋及び広背筋における筋収縮の活動領域と収縮速度の促進が考えられる。

## II. 実験

### 1. 被験者

被験者は、年齢が $20.4 \pm 0.9$ 歳の健康な男子大学生 20 名である。身体的特性は、身長が $170.7 \pm 5.6$ cm、体重が $60.4 \pm 6.6$ kgの被験者である。また被験者には、事前にインフォームドコンセントを行い、実験に参加する意志を確認した。

### 2. 実験方法

実験は、歩行運動時における呼気ガス代謝と筋収縮状況について測定した。

呼気ガス代謝は、ドイツ Cortex 社のメタソフト 3 (CPX テスト) によって呼気ガス分析をした。筋収縮活動は、Toshiba の超音波画像診断装置 (Aplio・SSA-700A・以下 Echo と称す) によって、広背筋の収縮速度を測定した。また筋肉の活動電位は、日本光

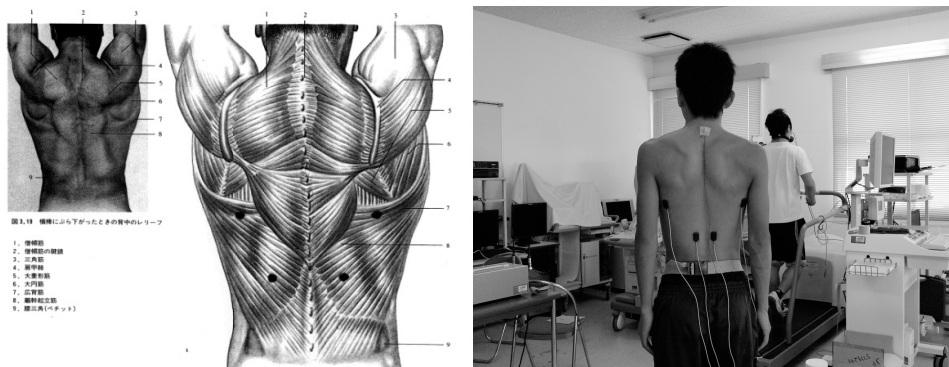


Fig. 1 The pasting position of EMG

電社のマルチテレメータシステム (WEB-5000) によって筋電図 (以下 EMG と称す) を測定した。EMG は、体幹起立筋及び広背筋の左右 2 か所、計 4 か所に電極を貼付して活動電位を測定した。Fig.1 は、EMG の貼付位置である。

歩行運動は、座位の 3 分間とウォーキング 2 分間の計 5 分間をウォームアップ (以下 W-up と称す)、その後分速 100m に設定したトレッドミルを 20 分間歩行するエクササイズテスト (以下テストと称す)、テスト後 2 分間のクールダウンと座位 3 分間の計 5 分間を回復期 (以下 Rec. と称す) とした。

テストは、同一被験者が大きな腕振り歩行 (以下 T1 と称す)、通常歩行 (以下 T2 と称す) 及び意識的に腕振りをしない歩行 (以下 T3 と称す) の 3 種類を実施した。歩数は、身長が  $170.7 \pm 5.6$  cm の被験者集団であり、身長差が大きいため自由な任意歩行とした。それは、身長差と歩幅差の関係を考慮したためである。しかしテスト中の歩数は、被験者の同意を得て平均歩数を記録した。

### 3. 実験の検証

実験の検証は、体重あたりの酸素摂取量 (以下  $VO_2/kg/min.$  と称す)、二酸化炭素産出量 (以下  $VCO_2$  と称す)、呼吸商 (以下 RQ と称す)、分時換気量 (以下と VE 称す)、1 回換気量 (以下 VT と称す)、呼吸数 (以下 RR と称す)、心拍数 (以下 HR と称す)、作業強度 (以下 Mets と称す)、換気速度 (以下  $V'max$  と称す)、炭水化物 (以下 Pro. と称す) 及び脂肪 (以下 Fat と称す) などのエネルギー代謝と筋収縮速度及び活動電位について検証した。また、相互の相関関係についても検証した。

統計処理は、テスト間の相関関係、またデータの有意性を t 検定によって検証した。有意差は、すべて 5% 水準とした。

## Ⅲ. 実験結果

### 1. 呼吸代謝の分析

#### 1) 呼気ガス代謝について

呼気ガス代謝は、 $VO_2/kg/min.$ 、 $VCO_2$  及び RQ についてである。

$VO_2/kg/min.$  は、Table.1 に示すとおりである。T1 は、T2 及び T3 に比較して高い値を示した ( $p < 0.05$ )。これは、T2 に比較して T1 が 1.08 倍、T3 が 1.01 倍に相当するものである。しかし T2 と T3 の間には、統計的な有意差は確認できなかった ( $p < 0.01$ )。W-up からの増加は、T1 が 256%、T2 が 187%、T3 が 210% を示した。

Table. 1 Relation between Walking and Oxygen uptake for each weight

N=20

|          | T1 (ml/kg/min.) | T2 (ml/kg/min.)  | T3 (ml/kg/min.)  |
|----------|-----------------|------------------|------------------|
| Warm up  | $5.54 \pm 0.46$ | $6.41 \pm 1.60$  | $5.99 \pm 1.36$  |
| Exercise | $19.7 \pm 3.55$ | $18.37 \pm 2.66$ | $18.58 \pm 2.67$ |
| Recovery | $6.44 \pm 1.65$ | $6.65 \pm 1.67$  | $6.50 \pm 1.64$  |

M  $\pm$  SD

Table.2 Relation between Walking and Production of Carbon dioxide

N=20

|          | T1 (l/min.) | T2 (l/min.) | T3 (l/min.) |
|----------|-------------|-------------|-------------|
| Warm up  | 0.31 ± 0.07 | 0.31 ± 0.08 | 0.31 ± 0.07 |
| Exercise | 1.02 ± 0.17 | 0.93 ± 0.14 | 0.97 ± 0.15 |
| Recovery | 0.35 ± 0.09 | 0.35 ± 0.08 | 0.35 ± 0.09 |

M ± SD

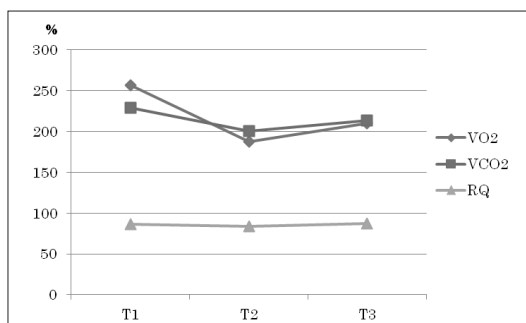


Fig.2 The respiratory quotient between tests and the rate of increase of oxygen uptake and amount of carbon dioxide production

VCO<sub>2</sub> は、Table.2 に示すとおりである。T1 は、T2 及び T3 に比較して、高い値を示した ( $p < 0.05$ )。これは、T2 に比較して T1 が 1.10 倍、T3 が 1.04 倍に相当するものである。しかし T2 と T3 の間には、統計的な有意差は確認できなかった ( $p < 0.01$ )。W-up からの増加は、T1 が 229%、T2 が 200%、T3 が 213% を示した。

RQ は、T1 が  $0.86 \pm 0.02$ 、T2 が  $0.84 \pm 0.03$ 、T3 が  $0.87 \pm 0.02$  であった。T1 及び T3 は、T2 に比較して、高い値を示した ( $p < 0.05$ )。しかし T1 と T3 の間には、統計的な有意差は確認できなかった ( $p < 0.01$ )。

Fig.2 は、運動時における RQ、VO<sub>2</sub>/kg/min. と VCO<sub>2</sub> の増加率について比較したものである。また運動時の VO<sub>2</sub>/kg/min. と VCO<sub>2</sub> の間には、深い相関関係 ( $r = 0.9$ ) のあることが確認された ( $p < 0.05$ )。

## 2) 呼吸機能について

呼吸機能は、VE、VT 及び RR についてである。

VE は、T1 が  $30.49 \pm 4.29$  L/min.、T2 が  $27.80 \pm 3.50$  L/min.、T3 が  $28.70 \pm 3.70$  L/min. であった。T1 は、T2 及び T3 に比較して高い値を示した ( $p < 0.05$ )。これは、T2 に比較して T1 が 1.10 倍、T3 が 1.03 倍に相当するものである。しかし、T2 と T3 間の有意差は確認できなかった ( $p < 0.01$ )。W-up からの増加は、T1 が 175%、T2 が 144%、T3 が 159% を示した。

VT は、T1 が  $1.13 \pm 0.10$  L/min.、T2 が  $1.13 \pm 0.10$  L/min.、T3 が  $1.16 \pm 0.12$  L/min. であった。テスト間の相違は、確認できなかった ( $p < 0.01$ )。

RRは、T1が $28.3 \pm 1.7$  s/min、T2が $26.1 \pm 1.5$  s/min、T3が $25.8 \pm 1.5$  s/minであった。T1は、T2及びT3に比較して、高い値を示した ( $p < 0.05$ )。しかしT2とT3間には、統計的な有意差はなかった ( $p < 0.01$ )。

運動時のVEと $VO_2$ /kg/min.の増加には、深い相関関係 ( $r = 0.9$ ) のあることが確認された ( $p < 0.05$ )。しかしRR及びVTの増加は、 $VO_2$ /kg/min.との間に相関関係は確認されなかった ( $p < 0.01$ )。RR、VE及びVTは、相互に相関関係のあることが確認された ( $p < 0.05$ )。

### 3) 運動強度について

運動強度は、HR、Mets及び $V'_{max}$ についてである。

HRは、T1が $101.1 \pm 7.0$  beats/min、T2が $99.4 \pm 6.9$  beats/min、T3が $98.7 \pm 5.4$  beats/minであった。T1は、T2及びT3に比較して高い値を示した。しかし、テスト間の有意差は確認できなかった ( $p < 0.01$ )。W-upからの増加は、テスト間に大きな相違は確認できなかった。

Metsは、T1が $5.70 \pm 0.92$  Mets、T2が $5.20 \pm 0.70$  Mets、T3が $5.30 \pm 0.80$  Metsであった。T1は、T2及びT3に比較して高い値を示した ( $p < 0.05$ )。これは、T2に比較してT1が1.10倍、T3が1.02倍に相当するものである。しかし、T2とT3の有意差は、確認できなかった ( $p < 0.01$ )。W-upからの増加は、T1が210%、T2が174%、T3が194%を示した。

$V'_{max}$ は、T1が $1.48 \pm 0.22$ 、T2が $1.30 \pm 0.17$ 、T3が $1.33 \pm 0.18$ であった。T1は、T2及びT3に比較して高い値を示した ( $p < 0.05$ )。これは、T2に比較してT1が1.14倍、T3が1.02倍に相当するものである。しかし、T2とT3の有意差は確認できなかった ( $p < 0.01$ )。W-upからの増加は、T1が190%、T2が141%、T3が171%を示した。

運動時のMets及び $V'_{max}$ と $VO_2$ /kg/min.の増加には、深い相関関係 ( $r = 0.9$ ) のあることが確認された ( $p < 0.05$ )。しかしHRの増加は、 $VO_2$ /kg/min.との間に相関関係は確認されなかった ( $p < 0.01$ )。HR、Mets及び $V'_{max}$ は、相互に相関関係のあることが確認された ( $p < 0.05$ )。

### 4) エネルギー代謝について

エネルギー代謝は、Pro.とFatについてである。

Pro.は、T1が $39.2 \pm 9.1$  g/h、T2が $33.6 \pm 8.6$  g/h、T3が $38.5 \pm 9.2$  g/hであった。T1及びT3は、T2に比較して高い値を示した ( $p < 0.05$ )。これは、T2に比較してT1が1.16倍、T3が1.14倍に相当する。しかし、T1とT3の有意差はなかった ( $p < 0.01$ )。W-upからの増加は、T1が273%、T2が260%、T3が247%を示した。

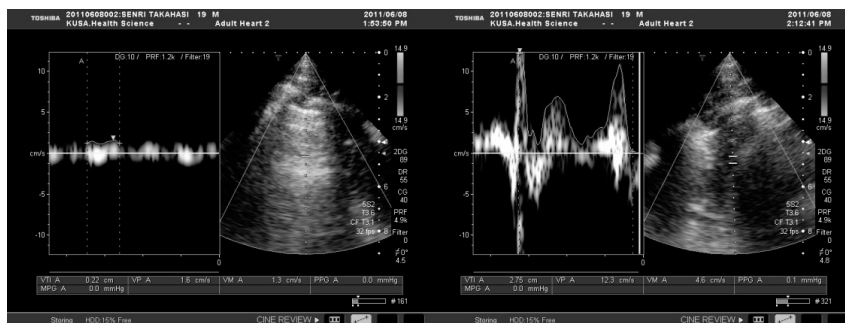
Fatは、T1が $14.8 \pm 3.2$  g/h、T2が $14.3 \pm 3.5$  g/h、T3が $12.3 \pm 2.9$  g/hであった。T1及びT2は、T3に比較して高い値を示した ( $p < 0.05$ )。これは、T2に比較してT1が1.03倍、T3が0.86倍に相当するものである。しかし、T1とT2の有意差はなかった

( $p < 0.01$ )。W-up からの増加は、T1 が 179%、T2 が 113%、T3 が 137% を示した。

Pro. と  $VO_2/kg/min.$  の間には、深い相関関係 ( $r=0.9$ ) のあることが確認された ( $p < 0.05$ )。しかし Fat と  $VO_2/kg/min.$  の間には、相関関係を確認することはできなかった ( $p < 0.01$ )。また Pro. 及び Fat の間には、相互に相関関係のあることが確認された ( $p < 0.05$ )。

## 2. 筋肉の収縮速度

筋収縮速度は、Echo によって広背筋の動きを測定した。Fig.3 は、安静時の立位姿勢と運動時における筋収縮速度を比較したものである。筋収縮速度は、心筋の収縮速度測定プログラム (Adult heart system) を活用して Echo で測定した。Echo は、被験者が運動中ということもあり、からだの動きが非常に不安定なため、データの個体差が大きいものであった。したがってデータは、安定性のある被験者のデータを採用した。収縮速度は、T1 が  $5.75 \pm 1.26 cm/s$ 、T2 が  $5.23 \pm 1.76 cm/s$ 、T3 が  $3.95 \pm 0.78 cm/s$  である。収縮速度は、T2 及び T3 に比較して T1 が高い増加を示した。



Standing position posture      Contraction at the time of exercise  
 Fig.3 Muscle contraction speed at the time of movement by an echo

## 3. 筋肉の活動電位

筋肉の活動電位は、体幹起立筋及び広背筋の EMG を測定した。電極は、広背筋の左側 (以下 LD1 と称す) と右側 (以下 LD2 と称す)、また体幹起立筋の左側 (以下 TS3 と称す) と右側 (以下 TS4 と称す) に貼付した。運動時における EMG は、T1 の LD1 が  $0.180 \pm 0.07$ 、LD2 が  $0.300 \pm 0.23$ 、TS3 が  $0.109 \pm 0.07$ 、TS4 が  $0.202 \pm 0.15$  であった。T2 は、LD1 が  $0.147 \pm 0.11$ 、LD2 が  $0.182 \pm 0.19$ 、

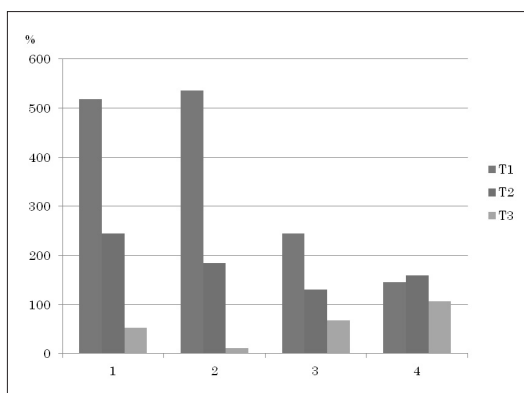


Fig.4 Increasing rate of contractile rate in muscle by EMG

TS3が $0.116 \pm 0.05$ 、TS4が $0.135 \pm 0.05$ であった。またT3は、LD1が $0.077 \pm 0.05$ 、LD2が $0.060 \pm 0.03$ 、TS3が $0.084 \pm 0.01$ 、TS4が $0.062 \pm 0.003$ であった。Fig.4は、運動時におけるEMGの増加率を比較したものである。活動電位は、T2及びT3に比較してT1が高い増加を示した。とくに広背筋は、体幹起立筋に比較して高い増加を示している。また体幹起立筋は、T2及びT3に比較してT1が高い活動電位を示した。

#### IV. 考 察

多くの先行研究は、大きな腕振り歩行が $VO_2/kg/min.$ を増加させると報告している<sup>1,6,9-15</sup>)。それは、大きな腕振り動作によって多くの筋肉が動員され、筋繊維の速い収縮がおこるためである<sup>7,8</sup>)。しかし $VO_2/kg/min.$ の増加には、どこの筋肉が、どの程度活動しているのか、という具体的なメカニズムに関する報告がみられない。

本研究は、大きな腕振り歩行が $VO_2/kg/min.$ を増加させる背景について検証した。運動時の $VO_2/kg/min.$ は、T1、T2及びT3のすべてにおいて増加した。とくにT1は、T2及びT3に比較して大きな増加を示した。これは、大きな腕振り動作によって歩幅の拡大が原因と考えられる<sup>7,8,24,26</sup>)。本実験の歩数は、T1が $122.0 \pm 3.9$ 歩、T2が $133.5 \pm 5.4$ 歩、T3が $130.2 \pm 4.8$ 歩であった(Fig.5)。とくにT1は、T2及びT3に比較して少ない歩数を示した( $p < 0.05$ )。これは、大きな腕振り動作をすることによって、同一速度の歩行でありながら、歩幅が拡大したことを意味している<sup>6,9,12</sup>)。我々は、

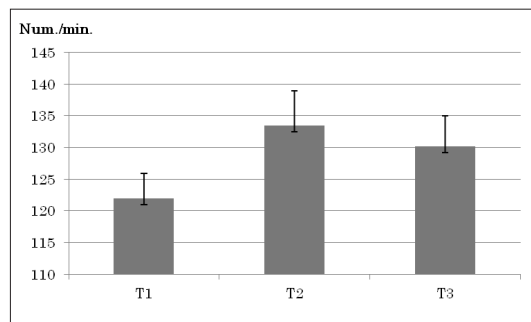


Fig.5 The number of steps between tests

過去にストライド歩行がピッチ歩行及び通常歩行に比較して、 $VO_2/kg/min.$ を増加させることを報告した<sup>12,13,15</sup>)。これは、今回のT1がT2及びT3に比較して高い $VO_2/kg/min.$ の増加を示していることをみても、前回と同様の関係を伺うことができる<sup>4,8,9,15,16</sup>)。同時に、歩幅の大きさが $VO_2/kg/min.$ に影響を与えることを意味する<sup>5</sup>)。つまり運動形態の変化は、筋肉の収縮形態を変化させるものであり、同時に $VO_2/kg/min.$ を増加させるといえる。また大きな腕振り動作は、体幹起立筋と広背筋の筋収縮活動の拡大を意味する<sup>7,8,11-13,12-15, 21,26</sup>)。本実験の広背筋は、T1がT2及びT3に比較して高い活動電位を示した。これは、大きな腕振り動作による広背筋の筋収縮活動が拡大していることを意味する<sup>8,17</sup>)。また体幹起立筋は、T1がT2及びT3に比較して高い活動電位を示した。これは、大きな腕振り動作によって歩幅が拡大し、体幹起立筋への筋肉負担が増加している<sup>8</sup>)。筋収縮活動の拡大は、筋繊維の収縮速度にも影響を与える<sup>8</sup>)。筋収縮速度は、T2及びT3に比較してT1が速い収縮を示した。これは、大きな腕振り動作による広背筋の収縮活動

領域の拡大が筋繊維の収縮速度を促進していると考えられる。つまり筋収縮活動領域の拡大は、多くの筋繊維を動員するため必然的に筋肉の収縮速度も高まるといえる。したがって筋収縮速度の促進は、筋肉の活動領域を拡大するため、より多くの酸素を消費する。このことは、筋肉の収縮形態を変えることによって、同一種類の運動であっても  $VO_2/kg/min.$  が増加する<sup>6,9,11-15)</sup>。 $VO_2/kg/min.$  の増加は、運動時の  $VCO_2$  も増加させる<sup>4,5,9-15,19,22,24-26)</sup>。 $VCO_2$  は、運動強度が高くなるに伴って増加する<sup>8)</sup>。本実験の  $VCO_2$  は、T2 及び T3 に比較して T1 が大きく増加した。これは、T1 が T2 及び T3 に比較して運動強度が高くなっていることを意味する。運動強度は、HR、Mets 及び  $V'max$  の動向によって検討した。HR、Mets 及び  $V'max$  は、運動時の  $VO_2/kg/min.$  と深い相関関係にあることが確認されている。このことは、運動強度が高くなれば  $VO_2/kg/min.$  も増加するというものであり、T1 の運動強度が T2 及び T3 に比較して高いことを意味している<sup>8,12,24,26)</sup>。運動強度の増加は、呼吸機能にも影響を与える<sup>4,8,18,26)</sup>。呼吸機能は、VE、VT 及び RR の動向によって検討した。運動時の VE は、 $VO_2/kg/min.$  と深い相関関係のあることが確認された。T1 は、T2 及び T3 に比較して高い増加を示した。これは、大きな腕振り動作によって、VE が大きくなり  $VO_2/kg/min.$  を増加させた結果といえる。しかし VT 及び RR の増加は、 $VO_2/kg/min.$  との間に相関関係は確認できなかった。これは、今回の運動が VT 及び RR が  $VO_2/kg/min.$  に影響を与える運動強度ではないことを意味している。つまり今回の歩行運動は、比較的軽い運動強度であり VT 及び RR によって呼吸量を確保する範囲のものではないといえる。したがって VE の増加は、他の要因があると考えられる。それは、 $V'max$  の関係と考えられる<sup>8)</sup>。 $V'max$  は、運動強度の増加に伴って促進されるため、運動強度が高い T1 が T2 及び T3 に比較して大きくなる<sup>8,17,21,23,27)</sup>。これは、VE と  $V'max$  の相関性から考えても両者の関係が成立する<sup>8)</sup>。一般的に VE は、VT 及び RR によって確保される<sup>8,3,4,23,27)</sup>。しかし今回の歩行運動は、比較的低い運動強度であるため、VT 及び RR に影響を与える要因はないといえる。それは、 $V'max$  と VE、また  $V'max$  と  $VO_2/kg/min.$  の関係から両者の関連性が考えられる。運動エネルギーは、基本的に Pro. と Fat 及び  $VO_2$  によって運営される<sup>8)</sup>。今回の Pro. は、 $VO_2/kg/min.$  と高い相関関係にあることが確認された。とくに Pro. は、T2 及び T3 に比較して T1 が高い増加を示している。これは、T1 の運動エネルギーが T2 及び T3 に比較して大きいことを意味している。すなわち Pro. の増加は、大きな腕振り動作による速い筋収縮が背景にあり、多くの運動エネルギーが要求された結果といえる<sup>4,12-15,26)</sup>。しかし Fat は、 $VO_2/kg/min.$  との間に相関関係が確認されなかった。これは、今回の歩行が比較的軽い運動強度であり、時間的に短い運動を意味する<sup>8)</sup>。

以上の結果、大きな腕振り歩行は  $VO_2/kg/min.$  を増加させる。それは、大きく 3 つの要因が背景として考えられる。第 1 は、大きな腕振り動作によって歩幅が拡大されるということである<sup>9,12,14,26)</sup>。歩幅の拡大は、下肢筋肉及び体幹起立筋に対して大きな筋力負



担を要求する。大きな筋力負担は、より多くの酸素を必要とするということである<sup>8,9-15)</sup>。第2は、大きな腕振り動作によって広背筋の活動領域が拡大するということである<sup>9-15)</sup>。筋活動領域の拡大は、筋収縮活動を維持するために多くの酸素と運動エネルギーを必要とすることになる。第3は、筋収縮活動領域の拡大に伴い動きが速くなるため筋収縮速度が促進されるということである<sup>8)</sup>。筋収縮速度の促進は、より多くの運動エネルギーを必要とする。

以上、大きな腕振り歩行は、上記3点の要因を背景として  $VO_2/kg/min.$  が増加する。

今後の課題は、運動時における筋活動電位と  $VO_2/kg/min.$  の関係、また筋収縮速度と  $VO_2/kg/min.$  の関係を明確にすることである。それは、運動動作を変化させることによって、単位当たりの代謝量を推定することが可能になる。運動代謝の推定が可能になることは、運動の目的によって、運動をプログラミングすることが可能になることを意味する<sup>3,19-22)</sup>。

## V. 要 約

本研究は、大きな腕振り歩行が  $VO_2/kg/min.$  を増加させる背景について検証する目的で実験した。実験は、歩行時における呼気ガス代謝と筋収縮状況について検討した。呼気ガス代謝は、 $VO_2/kg/min.$  及び  $VCO_2$  などのエネルギー代謝を測定した。また筋収縮は、EMG による活動電位と Echo による筋収縮速度を測定した。

実験結果は、以下に示すとおりである。

1. 呼気ガス代謝は、 $VO_2/kg/min.$ 、 $VCO_2$  及び RQ について測定した。 $VO_2/kg/min.$  及び  $VCO_2$  は、T2 及び T3 に比較して T1 が高い増加を示した ( $p<0.05$ )。RQ は、テスト間に増加の相違は確認できなかった ( $P<0.01$ )。また運動時の RQ、 $VO_2/kg/min.$  及び  $VCO_2$  は、相互に相関関係のあることが確認された ( $r=0.9 \cdot p<0.05$ )。
2. 呼吸機能は、VE、VT 及び RR について測定した。VE は、T1 が T2 及び T3 に比較して高い増加を示した ( $p<0.05$ )。VT 及び RR は、テスト間に増加の相違は確認できなかった ( $P<0.01$ )。また VE、VT 及び RR は、 $VO_2/kg/min.$  と深い相関関係のあることが確認された ( $r=0.9 \cdot p<0.05$ )。また運動時の VE、VT 及び RR は、相互に相関関係のあることが確認された ( $r=0.9 \cdot p<0.05$ )。
3. 運動強度は、HR、Mets と  $V'max$  について測定した。HR、Mets と  $V'max$  は、T2 及び T3 に比較して T1 が高い増加を示した ( $p<0.05$ )。HR、Mets と  $V'max$  は、 $VO_2/kg/min.$  と深い相関関係のあることが確認された ( $r=0.9 \cdot p<0.05$ )。また運動時の HR、Mets と  $V'max$  は、相互に相関関係のあることが確認された ( $r=0.9 \cdot p<0.05$ )。
4. エネルギー代謝は、Pro. 及び Fat について測定した。Pro. 及び Fat は、T1 が T2 及び T3 に比較して高い増加を示した ( $p<0.05$ )。Pro. は、 $VO_2/kg/min.$  と相関関係のあ

ることが確認された ( $r=0.9 \cdot p<0.05$ )。しかし Fat は、 $VO_2/kg/min.$  との相関関係は確認できなかった ( $P<0.01$ )。また運動時の Pro. 及び Fat は、相互に相関のあることが確認された ( $r=0.9 \cdot p<0.05$ )。

5. 筋収縮速度は、Echo によって広背筋の動きを測定した。収縮速度は、T2 及び T3 に比較して T1 が速い値を示した ( $p<0.05$ )。収縮速度の増加は、T2 及び T3 に比較して T1 が高い値を示した ( $p<0.05$ )。
6. 筋肉の活動電位は、EMG によって活動電位を測定した。活動電位は、T2 及び T3 に比較して T1 が高い値を示した ( $p<0.05$ )。活動電位の増加は、T2 及び T3 に比較して T1 が高い値を示した ( $p<0.05$ )。
7. 以上の結果、大きな腕振り歩行は  $VO_2/kg/min.$  を増加させる。それは、大きな腕振り動作をすることによって歩幅が拡大すること、また広背筋及び体幹起立筋などの筋収縮活動が拡大されることが原因と考えられる。また筋収縮活動の拡大は、筋収縮速度を促進するためエネルギー代謝を増加させる。これは、同一種類の運動であっても、大きな動作を併用することによって、エネルギー代謝を促進させることが可能といえる。

#### 参考文献

1. 青木高他：21世紀の健康・体力づくり。pp71-73. pp125-140. 大修館。1990
2. 朝比奈一男他：作業強度の生理的水準について。体力科学20. pp190-197. 1971
3. 鯉坂隆一：高齢者における運動の心血管系安全基準および対策。体力科学52. pp55-64. 2003
4. 石川利寛：スポーツとからだ。pp100-130. 岩波書店。1991
5. 石沢他：後期高齢者の生活満足度に影響を及ぼす運動。体育学研究49-4. pp306-318. 2004
6. 石橋健司：グラウンドで行うウォーキングとジョギングの運動強度。大分大学教育福祉学部紀要21. pp39-47. 1999
7. Williams & Wilkins : Guidelines for Exercise Testing and Prescription. America College of Sports Medicine, Philadelphia. pp114-160. 2000
8. Astrand P-O. et. al : Textbook of Work Physiology. McGraw-hill. pp295-518. 1970
9. 大下和茂・川上雅之他：歩行能力を評価するための下肢機能指標について。ウォーキング研究10. pp147-151. 2006
10. 奥野他：中・高齢者の歩数計使用の主観的有効感と歩数増加・運動継続との関連。体力科学53-3. pp302-308. 2004
11. 小澤春浩他：歩行時の腕振りの有無と内容物が異なる荷物運搬歩行間での身体反応の違い。理学療法学会26-2. pp231-234. 2011
12. 川上雅之他：歩行動作が酸素摂取量に与える影響。倉敷芸術科学大学8. pp103-113. 2003
13. 川上雅之他：歩行と生体反応に関する研究。倉敷芸術科学大学紀要2. pp87-98. 1997
14. 川上雅之他：歩行速度とエネルギー代謝の関係。倉敷芸術科学大学紀要9. pp99-109. 2004
15. 川上雅之他：エネルギー代謝による健康歩行運動の検討。岡山体育学研究13. pp1-7. 2006
16. 川上雅之他：ヘルスサイエンス。pp25-65. 不昧堂出版。1994
17. 川上雅之他：トレーニングサイエンス。pp85-105. 不昧堂出版。1996
18. 川上雅之他：ヒューマンサイエンス。pp45-85. 不昧堂出版。1998
19. 川久保浩他：生活習慣病に対するウォーキングの効果。スポーツ医学19-4. pp361-365. 2002
20. Karvone. M. et. al : The effects of training on heart rate. Ann. Med. Exper. Fenn35. PP307-315. 1957

21. Cooper, K. H. : The new aerobics exercise M. Evans and Company. pp25-180. 1970
22. 佐藤祐造他：運動不足に必要な1日歩行量. スポーツ医学19-4. pp375-381. 2002
23. 高松薫他：持久走における心拍数と酸素摂取水準との関係に及ぼす運動経過時間の影響. 体育科学研究 28-2. pp153-161. 1983
24. 平野清孝他：下肢筋力からみたウォーキングの適応. スポーツ医学19-14. pp367-373. 2002
25. 水野真由美：運動習慣動機付けとしてのウォーキングの応用. スポーツ医学19-14. pp383-389. 2002
26. 藤原健固：歩きの科学pp10-61. pp70-105. 講談社. 1999
27. 山地啓司：持久性トレーニングの最大酸素摂取量への影響. 体育科学研究32-3. pp160-180. 1987

## Research on walk operation and oxygen uptake —The background to which arm for the first time in operation affects oxygen uptake—

Takushi TSUCHIYA<sup>1)</sup> · Tatsuya KOMATSUBARA<sup>1)</sup> · Ryouichi FUJIOKA<sup>1)</sup>  
Chikara YAMANO<sup>2)</sup> · Chihiro EDAMATSU<sup>2)</sup> · Daisuke SHIIBA<sup>2)</sup>  
Tomoyuki IIDA<sup>2)</sup> · Masayuki KAWAKAMI<sup>1)</sup>

*1) Graduate Scholl of Humanities Studies, Kurashiki University  
of Science and the Arts*

*2) College of Life Science, Kurashiki University of Science and the Arts  
2640 Nishinoura, Tsurajima-cho, Kurashiki-shi, Okayama 712-8505, Japan*

(Received October 1, 2011)

This research analyzed about the relation between arm for the first time in operation and oxygen uptake. Experiments are the respiratory metabolism at the time of a walk, and a relation of muscle contraction.

The following results obtained:

1. Oxygen uptake and carbon dioxide quantity of output increased by arm for the first time in walk. However, the respiratory exchange ratio did not change.
2. The amount of ventilation increased by arm for the first time in walk at the time of a part. However, the amount of ventilation and the breathing rate did not increase 1 time.
3. Exercise intensity and the ventilation speed at the time of breathing increased by arm for the first time in walk. However, heart rate did not increase.
4. Carbohydrate increased by arm for the first time in walk. However, fat did not increase.
5. Muscle contraction speed increased by arm for the first time in walk.
6. Muscular action potential increased by arm for the first time in walk.
7. The arm for the first time in walk of the above result promotes energy metabolism.

It can be called expansion of contraction activities of a step and muscles.