

## 定速運動と変速運動における酸素摂取量の比較

### Comparison the amount of oxygen uptake between constant speed exercise and inconstant speed exercise

木村 真優子\*, 竹中 敏文\*\*, 渡辺 剛\*\*

Mayuko KIMURA\*, Toshihumi TAKENAKA\*\*, Tuyoshi WATANABE\*\*

推薦評議員：渡辺 剛

#### Abstract

The purpose of this study was to clarify the work efficiency within a certain distance and time. We have set the optimal speed, which is the aerobic exercise speed that requires the least amount of oxygen uptake ( $VO_2$ ), as a protocol, and compared the amount of oxygen uptake between constant speed exercise and inconstant speed exercise without a complete rest.

The total amount of oxygen uptake was significantly higher for constant speed running exercise compared to inconstant speed exercise ( $p < 0.05$ ). Amount of VE was significantly higher for constant speed running exercise compared to constant speed walking exercise through out the exercise time. The median speed derived from optimal walking and running speed was slower than the metabolic intersection speed, the which indicates that it was an in efficient speed as a running exercise. Although there are speed changes in inconstant speed exercise, it showed high working efficiency as walking and running was done at the optimal speed, and lead to a lower amount of total oxygen intake compared to constant exercise done at the median speed.

The results shown that constant running exercise is the least efficient, and inconstant walking and running exercise is the most efficient within a certain distance and time.

本研究は同距離、同時間内の運動での作業効率を明らかにするために、有酸素運動における酸素摂取量の最も少ない速度を「経済速度」としてプロトコルを設定し、歩行および走行の経済速度を基準とした一定速度での定速運動と、完全休息をとまわらない変速運動との酸素摂取量について比較検討した。

\* 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate school of sport system, Kokushikan University)

\*\* 国士舘大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

その結果、運動時の総酸素摂取量は、定速走行運動と比較し変速運動が有意に高い値を示した。また分時換気量では定速歩行運動と比較し、定速走行運動が30分間の運動時間を通して有意に高い値を示した。これは、歩行および走行の経済速度から求められた中間速度は、走行運動での効率を低めたためと考えられる。変速運動は速度変化があるものの、歩行運動および走行運動を経済速度で行っていることにより作業効率が高く、そのため中間速度での定速運動と比較し、総酸素摂取量が低い値を示したと考えられる。

以上の結果より、同距離、同時間内での有酸素運動においては、一定速度での走行運動の効率が最も低く、歩行および走行の変速運動の効率が高いことが示唆された。

## I. 緒言

競技スポーツにおける身体能力を評価するために、これまでに様々な研究が行われている。それらの多くは身体諸機能の最大能力を指標として評価を行っており<sup>1)</sup>、その最大能力を向上させることが、競技力の向上に反映されるとされてきた。

しかし球技系スポーツにおいては、その競技時間内に要求される身体能力は、試合の展開やポジションにより絶えず変化し、競技時間内において個人の最大能力が常に要求されることは少ない。例えばサッカーの試合中の動きにおいては、無酸素性エネルギー機構の動員の割合は、試合時間の約10%であることが報告されている<sup>5)</sup>。

これまでの間欠的運動に関する研究は、不完全休息をはさんだ無酸素性運動についての研究がほとんどであり、有酸素性運動中での間欠的運動に着目した研究はみられない。また、実際の間欠的運動場面を想定した場合、日常生活において最も基本的な移動様式である「歩行」と「走行」での身体機能を検討することは重要であると考えられる。

競技スポーツにおける身体能力を評価した研究では、最大心拍数(HRmax)など身体機能の最大能力を指標として、個人に適した運動プロトコルを作成しているものが多い。しかし有酸素運動においては、エネルギー消費量と速度との間に二次式が成り立ち、前進単位距離当りのエネルギー消費量が最小となる速度「optimal speed」が存在しており<sup>6)</sup>、これを用いることで最大能力を

測定することなくプロトコルを作成することが出来る。

本研究では、有酸素運動における酸素摂取量の最も少ない速度を「経済速度」とし、プロトコルを設定した。歩行および走行の経済速度を基準として、トレッドミルを使用した一定速度での運動(以下「定速運動」と、完全休息をとまなわないう運動(以下「変速運動」との酸素摂取量について比較検討することにより、同距離、同時間内の運動での作業効率について明らかにしていく。

## II. 方法

### 2-1 被験者

被験者は健康な成人男性8名(年齢 $22.0 \pm 0.9$ 歳、身長 $172.3 \pm 7.6$ cm、体重 $68.2 \pm 4.3$ kg)であった。

### 2-2 経済速度の算出

経済速度の算出にあたり、トレッドミル(ミナト医科学社製AR-100AUTO RUNNER)を使用した歩行および歩行運動を行わせた。歩行の速度は3 km/h~7 km/h、走行の速度は8 km/h~11 km/hとした。それぞれの速度における歩行および走行による移動距離は同一とした。運動中の呼気ガスはミナト医科学社製AE-300sにより測定した。ウォーミングアップはそれぞれの速度で行い、酸素摂取量の定常状態を確認してから測定を開始した。各速度で求められた酸素摂取量から歩行および走行の二次回帰式を求め、酸素摂取量が

最小になる速度を経済速度として算出した。また、歩行および走行の二次回帰式の交叉する速度を、歩行と走行との境界速度 (metabolic intersection speed) とした<sup>3)</sup>。

### 2-3 運動負荷

10分間の安静座位 (安静期) の後、定速または変速運動を30分間行い、その後再び10分間の安静座位を保った (回復期)。

定速運動は、2-2で算出された各被験者の経済速度から歩行と走行の経済速度の中間値となる速度 (中間速度) を求め、その速度で運動を行わせた。定速運動は、歩行による運動 (定速歩行運動) と、走行による運動 (定速走行運動) の2種類の運動を行わせた (図-1)。変速運動では、歩行および走行の経済速度での運動を、それぞれ3分ごとに繰り返す運動 (変速3分運動) と、1分ごとに繰り返す運動 (変速1分運動) の2種類について行わせた (図-2)。定速運動および変速運動での移動距離は同一となるようにした。

### 2-4 測定項目

測定項目は、心拍数 (HR)、酸素摂取量 (VO<sub>2</sub>)、分時換気量 (VE)、血中乳酸濃度とした。呼気ガスの測定は2-2と同様の方法により行い、安静期から回復期までの50分間測定した。血中乳酸濃度の測定にはラクテートプロ (ARKREY社製) を使用し、安静期開始1分後、回復期開始1分後、3分後、5分後、10分後の計5回測定を行った。

### 2-5 統計処理

統計量はすべて平均値±標準偏差で表した。4種類の運動条件における測定値の変化についてはANOVAを用い、有意差が認められた場合にはFisherの最小有意差法による多重比較検定を行った。また、平均値の差の比較にはStudentのt-testを用いた。いずれも有意水準は5%未満とした。

## Ⅲ. 結果および考察

本研究では仕事に要したエネルギー消費量を酸素摂取量、なされた機械的仕事を同距離、同時間内の運動とした。機械的仕事量は全ての運動条件で同じであることから、酸素摂取量により作業効率を評価した。

### 3-1 経済速度

各被験者における歩行および走行の経済速度と中間速度は、先行研究によって定義されてきた経済速度の範囲内であった。

また、被験者8名中7名において、中間速度は、歩行曲線と走行曲線とが交叉する速度 (境界速度) より遅い傾向にあった (図-3)。

### 3-2 酸素摂取量 (VO<sub>2</sub>)

運動時の総酸素摂取量では、定速走行運動が最も高い値を示した (図-4)。この要因としては、

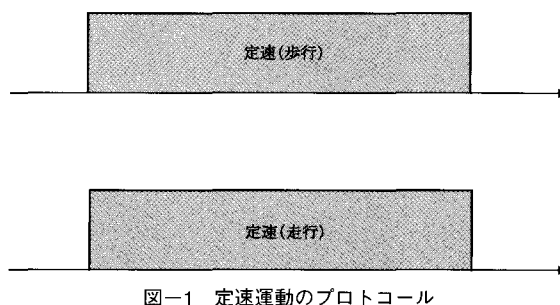


図-1 定速運動のプロトコール

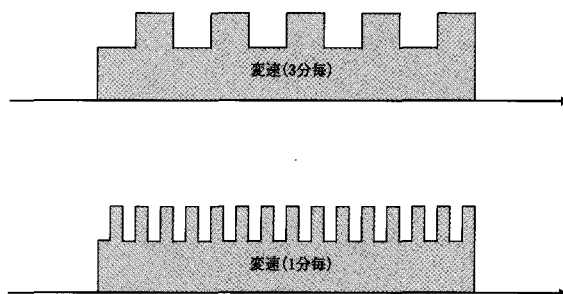


図-2 定速運動のプロトコール

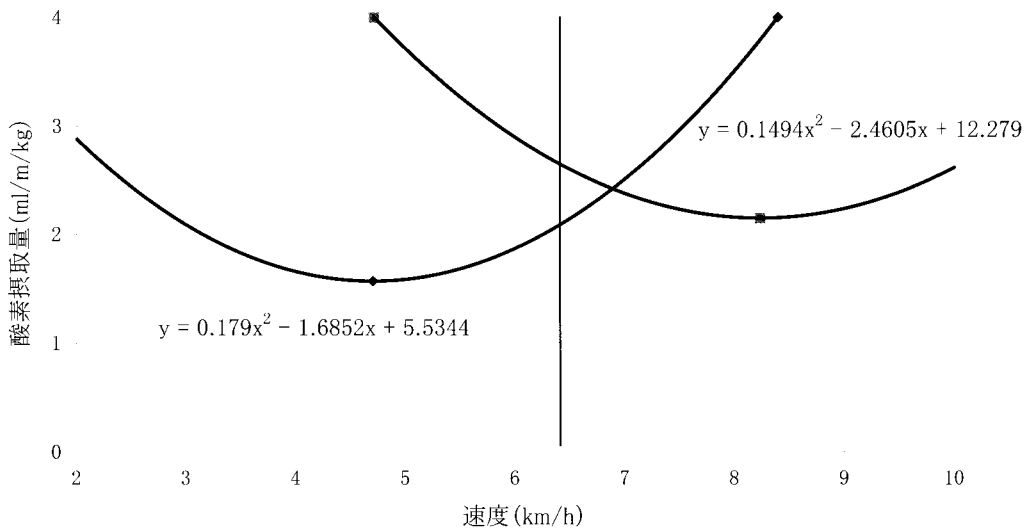


図-3 被験者Eの経済速度と中間速度

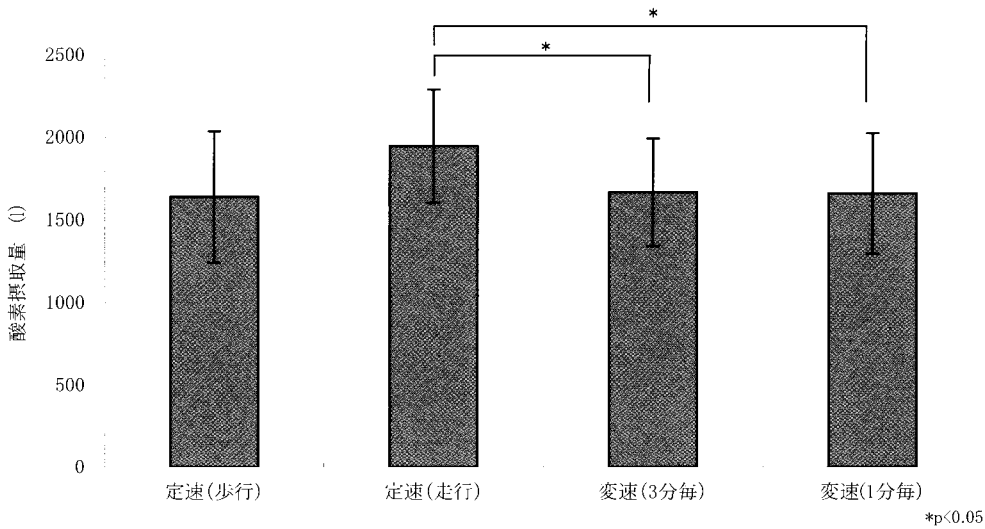


図-4 運動時の総酸素摂取量

\*p<0.05

各被験者における境界速度と中間速度との関係が考えられる。境界速度を境にして、これよりも遅い速度では歩行の酸素摂取量が走行の酸素摂取量よりも高い値を示し、速い速度では走行の酸素摂取量がまさることになる。

被験者8名中7名の中間速度は、境界速度よりも遅く歩行の経済速度寄りにある。この速度での運動時における総酸素摂取量を推定すると、走行

運動よりも歩行運動の総酸素摂取量が少なくなる。境界速度より遅い速度では歩行の効率が走行よりも高いと報告されていることから、中間速度が境界速度よりも遅い場合は、走行の効率は低くなり、そのために総酸素摂取量が高い値を示したと考えられる。

また、遅い速度で走行運動を行わなければならないときは、筋放電時間が延長され、筋収縮によ

り多くのエネルギー消費を必要とすると報告されていることから<sup>2)</sup>、走動作での筋収縮が運動の作業効率を低下させ、そのため総酸素摂取量が高値を示したと考えられる。

本研究では、定速走行運動と変速運動の総酸素摂取量に有意な差が認められたが、定速走行運動と定速歩行運動には有意な差は認められなかった。変速運動は速度変化があるものの、歩行運動および走行運動を経済速度で行っていることにより作業効率が高く、そのため定速歩行運動よりも総酸素摂取量が低い値を示したと考えられる。

### 3-3 分時換気量 (VE)

最大下運動（あるいはAT以下の運動）では、運動開始と同時に換気量は急増し、その後指数関数的に増加して定常状態に達する。

本研究での運動では、定速運動、変速運動ともに運動10分後から運動終了にかけてVEの定常状態がみられており、AT以下の有酸素運動であったと考えられる。

本研究での分時換気量は、定速歩行運動および変速1分運動と比較し、定速走行運動が30分間の運動時間を通して有意に高い値を示した。定速走行運動の分時換気量の値が高い要因としては、総酸素摂取量 (VO<sub>2</sub>) と同様に、中間速度が、走行運動の作業効率が低い速度であったために分時換気量が増加したと考えられる。

### 3-4 心拍数 (HR)

運動中の心拍数の変化を6分ごとにみると、定速走行運動での心拍数の値は、他の運動条件と比較して高い傾向にあった。また運動時の時間経過の変動をみると、酸素摂取量、分時換気量、心拍数ともに、定速走行運動が他の運動条件と比較し高い値を示す傾向にあることから、作業効率は低いと考えられた。

### 3-5 血中乳酸濃度

運動が有酸素的に行われているならば、連続的

運動も間欠的運動も身体にかかる負荷が相対的に低い場合には、血中乳酸濃度は運動後上昇せず、安静時とほぼ同等のレベルにとどまると報告されている<sup>7)</sup>。

本研究では運動後の血中乳酸濃度測定時における分時炭酸ガス排泄量の比較では、全ての測定において定速走行運動が定速歩行運動より有意に高かった ( $p < 0.05$ )。しかし運動終了10分後には、全ての運動条件での血中乳酸濃度は安静時とほぼ同じレベルまで復していた。このことから、定速運動においても変速運動においても、主として有酸素性機構によってエネルギー供給が行われた運動であったと考えられる。

以上の結果より、同距離、同時間内の有酸素運動においては、一定速度での走行運動の効率が最も低く、歩行および走行の変速運動の効率が高いことが示唆された。

### 引用・参考文献

- 01) 秋間広・久野譜也・西嶋尚彦・丸山剛生・松本光弘・板井悠二・下条仁士・勝田茂：NMRによる国内一流サッカー選手の筋エネルギー代謝および筋横断面積の検討：体力科学41 (3)：368-375 (1992)
- 02) 池上晴夫編：身体機能の調節性－運動に対する応答を中心に－：朝倉書店：1.5走法と走効率：25 (1997)
- 03) Kagaya.H：Cardiorespiratory responses to optimal speed of walking and running：International Congress Physical Activity Sciences：Quebec. CISAP：108 (1976)
- 04) 小笠原道生：同速度の歩行と走行における酸素需要量について：体育研究 (3)：215-230 (1934)
- 05) 大橋二郎・兵頭圭介・長浜尚史・磯川正教：サッカー選手の試合中における移動スピードとAnaerobic Threshold. 競技者の体力に関する生理科学的研究. トレーニングに関する生理科学的研究：体力科学37 (6)：656 (1988)
- 06) Ralston.H.J.：Energy-speed relation and optimal speed during level walking. Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol. 17：277-283 (1958)
- 07) 山本正壽・金久博昭：間欠的運動の乳酸閾値－運動強度、休息インターバル、運動インターバルとの関連から－：日本体育学会大会号41 (A)：284 (1990)