

トライアスリートの最大酸素摂取量および Ventilatory Threshold の特性

三浦 哉・北川 薫・石河利寛・松井信夫

Characteristics of $\dot{V}O_{2max}$ and ventilatory threshold in triathletes

Hajime MIURA, Kaoru KITAGAWA, Toshihiro ISHIKO and Nobuo MATSUI

Abstract

Triathletes usually train in the three modes of exercise (swimming, cycling and running), each of which requires specific muscles in a specific movement pattern. This study investigated the characteristics of $\dot{V}O_{2max}$ and VT during flume-pool swimming (S), bicycle ergometer cycling (C) and treadmill running (R), and examined how $\dot{V}O_{2max}$ and VT contributed to triathlon performance. Fourteen male triathletes participated in this study. S- $\dot{V}O_{2max}$ of $53.5\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ was significantly lower than both C- $\dot{V}O_{2max}$ of $58.5\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ and R- $\dot{V}O_{2max}$ of $61.3\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. S- $\dot{V}O_{2max}$ was 87.8% of R- $\dot{V}O_{2max}$ while C- $\dot{V}O_{2max}$ was 95.5% of R-value. VT occurred at $38.0\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ or 70.2% of S- $\dot{V}O_{2max}$, $42.5\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ or 71.0% of C- $\dot{V}O_{2max}$ and $43.8\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ or 71.0% of R- $\dot{V}O_{2max}$. S- $\dot{V}O_2$ at VT was significantly lower than either C- or R-values. However, no significant differences were observed in $\dot{V}O_2$ at VT expressed as a percent of each $\dot{V}O_{2max}$. With the exception of absolute and relative S- $\dot{V}O_{2max}$ and S- $\dot{V}O_2$ at VT, total performance times were significantly correlated to both C- and R- $\dot{V}O_{2max}$ and C- and R- $\dot{V}O_2$ at VT when expressed in both absolute and relative values. These results suggest that adaptations of $\dot{V}O_{2max}$ and VT to triathlon training occurred, and that C- and R- $\dot{V}O_{2max}$ and C- and R- $\dot{V}O_2$ at VT were more useful in predicting the triathlon performance than S-values. (Jpn. J. Exercise Sports Physiol. 1 (1): 99~106, 1994)

Key words: triathletes, $\dot{V}O_{2max}$, ventilatory threshold, performance

I. 緒言

トライアスロン競技は水泳, 自転車およびランニングからなる複合耐久種目であり, 選手には当然, 全身持久性能力の優れていることが特徴となる。Kohrt¹⁷⁾およびO'Tooleら²²⁾は一流トライアスリートの水泳, 自転車こぎ運動およびランニング時の $\dot{V}O_{2max}$ が非常に大きく, しかも運動様式の違いによる差が小さいと報告している。

$\dot{V}O_{2max}$ と同様に全身持久性能力の指標の一つであるVentilatory Threshold (VT)についても, トライアスリートを対象にした研究が行われている^{29,30)}。しかし, これらは自転車こぎ運動およびランニング時のVTを比較したものであり, 水泳を含めた運動様式の違いがVTにどのように影響するかについては十分に研究されていない¹⁹⁾。しかし, トライアスリートは日頃, 水泳, 自転車およびラン

*中京大学運動生理学研究室 (〒470-03 愛知県豊田市貝津町床立101)

ニングからなるトレーニングを行っているために、 $\dot{V}O_{2max}$ と同様に運動様式の違いによるVTの差が小さいことが推測される。

一方、スイマー、サイクリストあるいはランナーの $\dot{V}O_{2max}$ あるいはVTと競技成績との間には高い相関関係が認められている^{2,5,14,24,25})。トライアスリートについてButtsら⁶⁾はショートタイプのトライアスロン競技の成績と $\dot{V}O_{2max}$ との相関関係が高いと報告している。しかし、これ以外には著者の知る限り、競技成績と水泳、自転車こぎ運動およびランニング時のVTとの関係について検討した例はない。

そこで本研究ではトライアスロンの水泳、自転車こぎ運動およびランニング時の $\dot{V}O_{2max}$ およびVTの運動様式の違いによる特性とショートタイプのトライアスロン競技の成績との関係を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

被検者はトライアスロン競技を専門とする男性14名であり、彼らには口頭および文書にて実験の主旨および内容を伝え、説明したうえで、彼らの自発的

意思で参加の承諾を得た後に測定を始めた。彼らの身体的特性、トレーニング期間およびトレーニング量については表1に、競技成績については表2に示す通りである。本研究で参考にした成績は、被検者全員が水泳1.5km、自転車40kmおよびランニング10kmからなるショートタイプの同一の試合に参加した際の成績である。なお、総合時間、水泳での時間、自転車での時間およびランニングでの時間をそれぞれT-Time, S-Time, C-TimeおよびR-Timeと表示した。

最大運動テスト

水泳、自転車こぎ運動およびランニングでの最大運動テストを、それぞれ1回ずつ、計3回行った。
水泳：流水プール（Aqua Gym：石川島播磨工業社製）を用いて、 $0.75\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ から始め、2分毎に $0.05\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ ずつ流速を増して疲労困憊に至らせた。

自転車こぎ運動：自転車エルゴメーター（Monark社製）を用いて、 1.0kp から始め、2分毎に 0.5kp ずつ負荷を増して疲労困憊に至らせた。なお、ペダルの回転速度は 72rpm とした。

ランニング：トレッドミル（西川鉄工所製）を用い

Table 1. Physical characteristics, training experience and training volume of the subjects.

| Subj. No. | Age (yr) | Weight (kg) | Height (cm) | Experience (yr) | Mean Training Volume | | |
|-----------|----------|-------------|-------------|-----------------|--------------------------|-------|------|
| | | | | | Swim | Bike | Run |
| | | | | | (km · wk ⁻¹) | | |
| 1 | 22 | 67.3 | 170.0 | 3 | 5 | 300 | 60 |
| 2 | 21 | 65.0 | 180.2 | 2 | 10 | 120 | 30 |
| 3 | 20 | 64.3 | 161.0 | 3 | 5 | 120 | 30 |
| 4 | 23 | 67.0 | 173.7 | 3 | 10 | 250 | 30 |
| 5 | 20 | 56.3 | 166.9 | 3 | 4 | 100 | 40 |
| 6 | 30 | 60.0 | 172.0 | 4 | 10 | 200 | 50 |
| 7 | 26 | 67.0 | 173.4 | 5 | 10 | 200 | 40 |
| 8 | 29 | 68.0 | 176.0 | 5 | 10 | 250 | 40 |
| 9 | 23 | 67.5 | 164.0 | 7 | 10 | 200 | 40 |
| 10 | 21 | 57.9 | 168.0 | 3 | 4 | 150 | 35 |
| 11 | 19 | 60.0 | 169.0 | 1 | 10 | 100 | 40 |
| 12 | 39 | 61.5 | 164.0 | 6 | 5 | 120 | 50 |
| 13 | 22 | 60.0 | 170.0 | 2 | 7 | 100 | 40 |
| 14 | 24 | 61.0 | 173.0 | 2 | 6 | 100 | 40 |
| Mean | 24.1 | 63.1 | 170.1 | 3.5 | 7.6 | 165.0 | 41.1 |
| S.D. | 5.3 | 3.8 | 5.0 | 1.6 | 2.5 | 65.2 | 7.6 |

Table 2. Performance times of the subjects.

| Subj. No. | S-Time (min · %) | C-Time (min · %) | R-Time (min · %) | T-Time (min) |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| 1 | 20.0 (15.2) | 72.1 (54.8) | 39.5 (30.0) | 131.6 |
| 2 | 26.3 (15.7) | 92.4 (55.0) | 49.2 (29.3) | 167.9 |
| 3 | 31.9 (18.1) | 92.4 (52.5) | 51.8 (29.4) | 176.1 |
| 4 | 30.7 (21.5) | 70.2 (49.1) | 42.0 (29.4) | 142.9 |
| 5 | 29.9 (17.6) | 91.6 (54.0) | 48.2 (28.4) | 169.7 |
| 6 | 33.0 (21.3) | 69.1 (44.6) | 51.0 (32.9) | 155.1 |
| 7 | 25.1 (16.0) | 92.1 (58.6) | 42.0 (26.7) | 157.1 |
| 8 | 25.3 (21.0) | 60.0 (49.9) | 35.0 (29.1) | 120.3 |
| 9 | 26.7 (19.3) | 69.3 (50.2) | 42.0 (30.4) | 138.0 |
| 10 | 29.9 (19.5) | 83.6 (54.5) | 41.8 (27.3) | 153.3 |
| 11 | 24.2 (14.3) | 93.5 (55.1) | 52.0 (30.6) | 169.7 |
| 12 | 30.0 (20.9) | 70.2 (48.9) | 43.3 (30.2) | 143.5 |
| 13 | 31.5 (23.3) | 68.4 (50.6) | 35.4 (26.2) | 135.3 |
| 14 | 30.0 (21.8) | 71.5 (51.4) | 37.6 (27.0) | 139.1 |
| Mean | 28.2 (18.9) | 78.3 (52.1) | 43.6 (29.1) | 150.0 |
| S.D. | 3.5 (2.7) | 11.5 (3.4) | 5.7 (1.8) | 16.2 |

S : Swimming for 1.5 km, C : Cycling for 40 km, R : Running for 10 km,
T-Time : total time, () : relative value to total time

て、傾斜4%で120m・min⁻¹からはじめ、2分毎に20m・min⁻¹ずつ速度を増し、220m・min⁻¹以降は速度を一定にし、2分毎に傾斜を4%ずつ増して疲労困憊に至らせた。

測定の際には呼気を運動中30秒毎に連続的に採取し、熱線式流量計(RM-300:ミナト医科学社製)によって換気量を計量した後、O₂およびCO₂濃度については、それぞれジルコニア素子方式および赤外線方式によるガス分析器(MG-360:ミナト医科学社製)を用いて分析した。心拍数は、胸部双極誘導による心電図をデータレコーダー(DS-502:フクダ電子社製)に記録し、そのR棘を数えることによって求めた。

$\dot{V}O_{2max}$ の判定基準としては、1) 酸素摂取量のleveling off⁹⁾、2) 心拍数が180beats・min⁻¹以上³⁶⁾が認められた場合を $\dot{V}O_{2max}$ とした。

VTの判定基準としては、Wassermanら³³⁾の判定方法に従い、1) $\dot{V}E$ および $\dot{V}CO_2$ の急激な上昇、2) $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ の変化を伴わない、 $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ の上昇が観測された運動強度($\dot{V}O_2$)をVTとした。なお、文中ではVTに相当する $\dot{V}O_2$ を $\dot{V}O_2@VT$ と表した。

測定項目

酸素摂取量($\dot{V}O_2$)、炭酸ガス排出量($\dot{V}CO_2$)、毎分換気量($\dot{V}E$)、呼吸交換比(RER: $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$)および心拍数(HR)を測定、算出した。

統計処理

運動様式の違いによる測定項目の比較を二元配置分散分析により分析し、競技成績との相関関係についてはピアソンの相関関係を用いて、どちらも危険率5%未満を有意水準として採用した。

Ⅲ. 結果

最大運動テスト時の呼吸循環応答の結果は表3に示す通りである。 $\dot{V}O_{2max}$ および HR_{max} についてはすべての運動様式の間には有意な差が認められた。 $\dot{V}E_{max}$ およびRERについては水泳と自転車こぎ運動および水泳とランニングの間に有意な差が認められた。

水泳、自転車こぎ運動およびランニングにおけるVT出現時の呼吸循環応答の結果は表4に示す通りである。 $\dot{V}E@VT$ および $HR@VT$ についてはすべての運動様式の間には有意な差が認められた。 $\dot{V}O_2@VT$ については水泳と自転車こぎ運動および水泳

Table 3. Maximal cardiorespiratory responses obtained from maximal swimming, cycling and running exercise tests.

| Variable | Swimming | Cycling | Running |
|--|-----------------------|----------------------------|------------------|
| $\dot{V}O_{2max}$ ($l \cdot min^{-1}$) | 3.42 ± 0.37^{SS} | $3.70 \pm 0.54^{\dagger}$ | 3.88 ± 0.56 |
| ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) | 53.5 ± 4.5^{SS} | $58.5 \pm 6.8^{\dagger}$ | 61.3 ± 6.6 |
| vs R- $\dot{V}O_{2max}$ (%) | 87.8 ± 12.9 | 95.5 ± 7.1 | |
| $\dot{V}E_{2max}$ ($l \cdot min^{-1}$) | 113.7 ± 19.1^{SS} | 139.2 ± 19.3 | 134.3 ± 15.4 |
| RER | 1.03 ± 0.05^{SS} | 1.16 ± 0.10 | 1.16 ± 0.08 |
| HR_{max} ($beats \cdot min^{-1}$) | 177.4 ± 15.6^{SS} | $187.3 \pm 11.1^{\dagger}$ | 192.3 ± 13.3 |

Values are means \pm S.D.

^{SS}: S < C and R ($p < 0.01$), [†]: C < R ($p < 0.05$)

Table 4. Cardiorespiratory responses at the ventilatory threshold obtained from maximal swimming, cycling and running exercise tests.

| Variable | Swimming | Cycling | Running |
|--|-----------------------|----------------------------|------------------|
| $\dot{V}O_2@VT$ ($l \cdot min^{-1}$) | 2.41 ± 0.35^{SS} | 2.70 ± 0.45 | 2.77 ± 0.49 |
| ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) | 38.0 ± 4.28^{SS} | 42.5 ± 6.1 | 43.8 ± 1.0 |
| % $\dot{V}O_{2max}@VT$ (%) | 70.2 ± 2.5 | 71.0 ± 3.5 | 71.0 ± 2.4 |
| $\dot{V}E@VT$ ($l \cdot min^{-1}$) | 63.6 ± 15.3^S | $69.3 \pm 14.7^{\dagger}$ | 72.8 ± 15.9 |
| RER@VT | 0.89 ± 0.12 | 0.97 ± 0.08 | 0.95 ± 0.07 |
| $HR@VT$ ($beats \cdot min^{-1}$) | 150.7 ± 18.0^{SS} | $160.6 \pm 12.2^{\dagger}$ | 165.5 ± 11.4 |

Values are means \pm S.D.

^S, ^{SS}: S < C and R ($p < 0.05$, $p < 0.01$), [†]: C < R ($p < 0.05$)

とランニングの間に有意な差が認められた。また、% $\dot{V}O_{2max}@VT$ および RER@VT については有意な差が認められなかった。

競技成績と水泳（以下、S）、自転車こぎ運動（以下、C）およびランニング（以下、R）における $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_2@VT$ との相関関係については表5に示す通りである。T-Timeと絶対値および体重あたりのC- $\dot{V}O_{2max}$ およびR- $\dot{V}O_{2max}$ との間に有意な相関関係が認められた。また、S-Timeと絶対値でのS- $\dot{V}O_{2max}$ 、C-Time、R-Timeと絶対値および体重あたりのC- $\dot{V}O_{2max}$ 、R- $\dot{V}O_{2max}$ との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた。

T-Timeと絶対値および体重あたりのC- およびR- $\dot{V}O_2@VT$ との間に有意な相関関係が認められた。また、S-Time、C-Time およびR-Timeと絶対値および体重あたりのS- $\dot{V}O_2@VT$ 、C- $\dot{V}O_2@VT$ およびR- $\dot{V}O_2@VT$ との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた。

IV. 考 察

S-, C- およびR- $\dot{V}O_{2max}$ の結果は表3に示したようになった。また、R- $\dot{V}O_{2max}$ に対するS- $\dot{V}O_{2max}$ は87.8%、C- $\dot{V}O_{2max}$ では95.5%であった。

一般成人を対象とした場合、水泳時の $\dot{V}O_{2max}$ はランニング時の80%前後であり^{8,21)}、自転車こぎ運動時では90%前後といわれている^{1,11,20,23)}。一方、競技選手についてみるとスイマーの水泳運動時の $\dot{V}O_{2max}$ はランニング時の95~100%であり^{12,13,14,15)}、サイクリストの自転車こぎ運動時の値はランニング時の値と同じかそれ以上になるといわれている^{3,10,27)}。したがって、本研究で対象としたトライアスリートではランニング時と水泳時およびランニング時と自転車こぎ運動時の $\dot{V}O_{2max}$ の差が一般人と比べると小さいが、スイマーおよびサイクリストと比べるとその差は大きいことが明らかになった。

$\dot{V}O_{2max}$ の差をもたらす大きな要因に測定時の運

Table 5. Correlation matrix for selected variables.

| Variable | S-Time | C-Time | R-Time | T-Time |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| S- $\dot{V}O_{2max}$ (absol) | -0.778** | | | -0.295 |
| (relat) | -0.377 | | | -0.067 |
| C- $\dot{V}O_{2max}$ (absol) | | -0.746** | | -0.846** |
| (relat) | | -0.827** | | -0.872** |
| R- $\dot{V}O_{2max}$ (absol) | | | -0.622* | -0.800** |
| (relat) | | | -0.666** | -0.848** |
| S- $\dot{V}O_2@VT$ (absol) | -0.749** | | | -0.394 |
| (relat) | -0.560* | | | -0.271 |
| C- $\dot{V}O_2@VT$ (absol) | | -0.733** | | -0.800** |
| (relat) | | -0.806** | | -0.817** |
| R- $\dot{V}O_2@VT$ (absol) | | | -0.662** | -0.829** |
| (relat) | | | -0.719** | -0.886** |

S : swimming, C : cycling, R : running, T-Time : total time
 absol : absolute value, relat : relative value to body weight
 *, ** : $p < 0.05$, $p < 0.01$

動様式がある。その背景には、運動に係わる筋の関与度の違いがあり、この違いがランニング時と比べて水泳時では動脈血酸素分圧の低下を、自転車こぎ運動時では心拍出量および一回拍出量の低下をもたらす^{8,11,20,23)}。本研究のようにトライアスリートでは一般人に比べてランニングに対する水泳および自転車こぎ運動時の $\dot{V}O_{2max}$ の差が小さいのは、3つの運動様式からなるトレーニングを行っていることにより、それぞれの運動に必要な筋肉を合目的に発達させ、酸素消費能が高まったことが影響していると考えられる。

自転車こぎ運動およびランニング時のVTについては運動選手から非運動選手まで幅広い対象で測定が行われている^{4,7,18,24,25,26,33,34,35)}。水泳時のVTに関する研究は、実験室内で水泳時の $\dot{V}O_2$ を測定するうえでの設備上の問題、マスク等の採気方法では実際の水泳中の呼吸法と異なることなどが理由であり行われていない³¹⁾。このような問題点が指摘されているものの、設備については流水プールを用いることで陸上でのトレッドミル走と同様の条件であること、マスクを用いての呼吸法の問題点については現状のところ如何ともしがたいことと考え、水泳時のVTを求めた。

その結果、S-, C- および R- % $\dot{V}O_{2max}@VT$ は表4に示したようになり、運動様式の違いによる差は認められなかった。その原因として考えられるのは

各運動様式でのトレーニング量である。競技の特性である三つの運動様式でのトレーニング量とそれらの試合に占める割合を検討してみたところ、本研究で対象にしたトライアスリートの一週間あたりの平均トレーニング量(距離)は、水泳7.6km、自転車165.0km、ランニング41.1kmであった。これらの距離は今回参考にしたショートタイプの試合の水泳、自転車およびランニングの各距離の約4~5倍となり、この点で三つの運動様式は、試合に即して均等にトレーニングがなされていたと考えられる。しかし、このトレーニング量は各運動様式の $\dot{V}O_{2max}$ およびVTを向上させるには不十分のようである。これまでの研究報告から一流選手の $\dot{V}O_{2max}$ および% $\dot{V}O_{2max}@VT$ をみると、男子スイマーの水泳時の値は、60~70ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹^{12,13,14,15)}と65~90% $\dot{V}O_{2max}$ ³¹⁾、サイクリストの自転車こぎ運動の値は65~75ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹^{4,5,10,32)}と70~80% $\dot{V}O_{2max}$ ^{4,35)}、ランナーのランニング時の値は70~80ml \cdot kg⁻¹ \cdot min⁻¹^{4,21,28)}と70~90% $\dot{V}O_{2max}$ ^{4,24,26,35)}である。このように本研究で対象にしたトライアスリートよりも大きな値であった。したがって、% $\dot{V}O_{2max}@VT$ が三つの運動様式で差がなかったとしても、必ずしも全てのトライアスリートに共通する事象ではないかもしれない。また、トレーニングを重ねることで各種目の一流選手の $\dot{V}O_{2max}$ および% $\dot{V}O_{2max}@VT$ の値にまで改善する

可能性が考えられる。

トライアスロン競技は水泳、自転車およびランニングの順番で連続に運動することで成績が決定される。この成績と全身持久性能力の指標である $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_2@VT$ との関係については表5に示したようになり、T-TimeとS- $\dot{V}O_{2max}$ およびS- $\dot{V}O_2@VT$ の相関関係が低いが、C- $\dot{V}O_{2max}$ およびC- $\dot{V}O_2@VT$ 、R- $\dot{V}O_{2max}$ およびR- $\dot{V}O_2@VT$ との間の相関関係は高かった。したがって、C- $\dot{V}O_2@VT$ およびR- $\dot{V}O_2@VT$ が、 $\dot{V}O_{2max}$ と同様にショートタイプのトライアスロン競技の成績に大きく反映することが明らかになった。S- $\dot{V}O_{2max}$ およびS- $\dot{V}O_2@VT$ がT-Timeに反映しない理由に競技の合計時間に対する水泳での競技時間の占める割合が平均18.9%と少ないこと、水泳動作は他の2種目に比べて技術的要素が成績に影響する割合が大きいことが考えられる。

ところで、これまでの報告をみるとトライアスロンの競技成績と $\dot{V}O_{2max}$ についての結果は必ずしも一致してはいない。例えば本研究と同様にショートタイプの競技成績では $\dot{V}O_{2max}$ は有効な指標であるというButtsら⁶⁾の報告がある一方、ロングタイプのトライアスロン競技の成績には $\dot{V}O_{2max}$ との相関関係が低いというO'Tooleら²²⁾の報告とがある。このような違いの原因として、第一に被検者の競技レベルが考えられる。O'Tooleら²²⁾の研究で対象にした被検者はランニング時の $\dot{V}O_{2max}$ が平均 $68.8\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ と大きく、しかも本研究およびButtsら⁶⁾の研究の被検者に比べて競技成績も優れていた。このように $\dot{V}O_{2max}$ が大きく、しかも競技成績が優れた被検者を対象にした場合には競技成績と $\dot{V}O_{2max}$ との相関関係が低くなる¹⁶⁾ようである。第二には、参考にした試合の水泳、自転車およびランニングの距離の違いの影響が考えられる。トライアスロン競技は大きく分けてO'Tooleら²²⁾の研究で参考になっている水泳3.5km、自転車180kmおよびランニング42.195kmで構成されるロングタイプの試合と、それよりも各距離が約4分の1短い本研究で参考にしたショートタイプの試合とがある。ロングタイプの試合はショートタイプに比べて競技時間が十数時間にも及ぶため、生体へ与える負担が大きい。したがって $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_2@VT$ の競技成績への関与の割合が競技の種類によって異なることが推察される。

以上のことから、トライアスリートは水泳、自転車およびランニングからなるトレーニングを行っていることで、各運動様式での $\dot{V}O_{2max}$ の差が一般人と比べて小さいこと、 $\% \dot{V}O_2@VT$ については運動様式の違いによる差がないこと、およびショートタイプのトライアスロン競技の成績には自転車こぎ運動時、ランニング時の $\dot{V}O_{2max}$ および $\dot{V}O_2@VT$ の貢献が特に強く、これらの値は競技成績を決定する上で重要な因子となることが明らかになった。

謝 辞

本研究にあたり、被検者として協力を頂いたトライアスリートの皆様に深謝致します。また、測定の協力を頂いた中京大学運動生理学研究室のスタッフの皆様に感謝申し上げます。

文献

- 1) 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.
- 2) Åstrand P-O, Engstrom L, Eriksson B O, Karlberg P, Nylander I, Saltin B, and Thoren C (1963) Girl swimmers with special reference to respiratory and circulatory adaptation and gynaecological and psychiatric aspects. *Acta Paedutrica (Suppl)* : 147.
- 3) Bouckaert J, Vrijens J, and Pannier J L (1990) Effect of specific test procedures on plasma lactate concentration and peak oxygen uptake in endurance athletes. *J Sports Med Physical Fitness* 30 : 13-18.
- 4) Bunc V, Heller J, Sprynarova S, and Zdanowicz R (1980) Ventilatory threshold in various groups of highly trained athletes. *Int J Sports Med* 8 : 275-280.
- 5) Burke E R (1980) Physiological characteristics of competitive cyclists. *Physician Sportsmed* 8 : 79-84.
- 6) Butts N K, Henry B A, and Mclean D (1991) Correlations between $\dot{V}O_{2max}$ and performance times of recreational triathletes. *J Sports Med Phys Fitness* 31 : 339-344.
- 7) Davis J A, Vodak P, Wilmore J H, Vodak J, and Kurtz P (1976) Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J Appl*

- Physiol 41 : 544-550.
- 8) Dixon P W Jr and Faulkner J A (1971) Cardiac output during maximal effort running and swimming. *J Appl Physiol* 30 : 653-656.
 - 9) Ekblom B (1956) Effect of physical training on oxygen transport system in man. *Acta Physiol Scand Suppl* 328 : 1-45.
 - 10) Hagberg J M, Giese M D, and Schneider R B (1978) Comparison of the three procedures for measuring $\dot{V}O_{2max}$ in competitive cyclists. *Eur J Appl Physiol* 39 : 47-52.
 - 11) Hermansen L and Saltin B (1969) Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol* 26 : 31-37.
 - 12) Holmér I (1972) Oxygen uptake during swimming in man. *J Appl Physiol* 33 : 502-509.
 - 13) Holmér I and Åstrand P-O (1972) Swimming training and maximal oxygen uptake. *J Appl Physiol* 33 : 510-513.
 - 14) Holmér I, Lundin A and Eriksson B O (1974) Maximum oxygen uptake during swimming and running by elite swimmers. *J Appl Physiol* 36 : 711-714.
 - 15) Holmér I, Stein E M, Saltin B, Ekblom B, and Åstrand P-O (1974) Hemodynamic and respiratory responses compared in swimming and running. *J Appl Physiol* 37 : 49-54.
 - 16) Kenney W L and Hodgson J L (1985) Variables predictive of performance in elite middle-distance runners. *Brit J Sports Med* 19 : 207-209.
 - 17) Kohrt W M, Morgan D W, Bates B, and Skinner J S (1987) Physiological responses of triathletes to maximal swimming, cycling, and running. *Med Sci Sports Exerc* 19 : 51-55.
 - 18) Koyal S N, Whipp B J, Huntsman D, Bray G A, and Wasserman K (1976) Ventilatory responses to the metabolic acidosis of treadmill and cycle ergometry. *J Appl Physiol* 40 : 864-867.
 - 19) Kreider R B (1988) Ventilatory threshold in swimming, cycling and running in triathletes. *Int J Sports Med* 9 : 147-148.
 - 20) McArdle W D and Magel J R (1970) Physical work capacity and maximum oxygen uptake in treadmill and bicycle exercise. *Med Sci Sports* 2 : 118-123.
 - 21) McArdle W D, Magel J R, Delio D J, Toner M, and Chase J M (1978) Specificity of run training on $\dot{V}O_{2max}$ and heart rate changes during running and swimming. *Med Sci Sports Exerc* 10 : 16-20.
 - 22) O'Toole M L, Hiller W D B, Crosby L O, and Douglas P S (1987) The ultraendurance triathlete : a physiological profile. *Med Sci Sports Exerc* 19 : 45-50.
 - 23) Pechar G S, McArdle W D, Katch F I, Magel J R, and DeLuca J (1974) Specificity of cardiorespiratory adaptation to bicycle and treadmill training. *J Appl Physiol* 36 : 753-756.
 - 24) Péronnet F, Thibault G, Rhodes E C, and McKenzie D C (1978) Correlation between ventilatory threshold and endurance capability in marathon runners. *Med Sci Sports Exerc* 19 : 610-615.
 - 25) Pirce E F, Weltman A, Seip R L, and Snead D (1990) Effects of training specificity on the lactate threshold and $\dot{V}O_2$ peak. *Int J Sports Med* 11 : 267-277.
 - 26) Powers S K, Dodds S, Deason R, Byrd R, and Mcknight T (1983) Ventilatory threshold, running economy and distance running performance of trained athletes. *Res Q Exerc Sport* 54 : 179-182.
 - 27) Ricci J and Leger L A (1983) $\dot{V}O_{2max}$ of cyclists from treadmill, bicycle ergometer, and velodrome tests. *Eur J Appl Physiol* 50 : 283-289.
 - 28) Rusko H, Havu M, and Karvonen E (1978) Aerobic performance capacity in athletes. *Eur J Appl Physiol* 38 : 151-159.
 - 29) Schnider D A and Pollack J (1991) Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in female triathletes. *Int J Sports Med* 12 : 379-383.
 - 30) Schnider D A, Lacroix K A, Atkinson G R, Troped P J, and Pollack J (1990) Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in triathletes. *Med Sci Sports Exerc* 22 : 257-264.
 - 31) Smith B W, McMurray R G, and Symanski J D (1984) A comparison of the anaerobic threshold of sprint and endurance trained swimmers. *J Sports Med Phys Fitness* 24 : 94-99.
 - 32) Vrijens J, Pannier I L, and Bouchaert J (1982) Physiological profile of competitive road cyclists. *J*

- Sport Med Phys Fitness 22 : 207-216.
- 33) Wasserman K, Whipp B J, Koyal S N, and Beaver W L (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J Appl Physiol 35 : 236-243.
- 34) Wiswell R A, Girandola R N, and De Bries H A (1979) Comparison of anaerobic threshold on bicycle and treadmill. Med Sci Sport Exerc 11 : 88.
- 35) Withers R T, Sherman W M, Miller J M, and Costill D L (1981) Specificity of the anaerobic threshold in endurance trained cyclists and runners. Eur J Appl Physiol 47 : 93-104.
- 36) Wyndham C H, Strydom N B, Maritz J S, Morrison J F, Peter J, and Potgieter Z U (1959) Maximum oxygen intake and maximum heart rate during strenuous work. J Appl Physiol 14 : 927-936.