

## 複合種目連続トレーニングが長時間運動時の 呼吸循環応答に及ぼす影響

三 浦 哉<sup>1</sup>, 梅 村 義 久<sup>2</sup>

### Influence of Continuous Training Consisted of Different Exercise on Cardiorespiratory Responses During Prolonged Exercise

Hajime MIURA<sup>1</sup> and Yoshihisa UMEMURA<sup>2</sup>

<sup>1)</sup> *Laboratory for Sports Science, Department of Human and Social Sciences, Faculty of Integrated Arts and Sciences, University of Tokushima*

<sup>2)</sup> *Laboratory for Exercise Physiology and Biomechanics, School of Physical Education, Chukyo University*

To identify the physiological effects on cardiorespiratory responses during prolonged exercise of continuous training, eight male and two female college students participated in the training study. The training intensity and period were 60%  $\dot{V}O_{2max}$  during cycling and running, and 3 days per week for 4 weeks. Subjects were divided into the continuous training group and separated training group according to their  $\dot{V}O_{2max}$ . The continuous training consisted of cycling for 30 min and running for 30 min as a continuous task. The separated training consisted of these exercises as a separated task. The maximal exercise tests, and the prolonged exercise tests were conducted at pre- and post-training. The latter test consisted of 45-min ergometer cycling and 45-min treadmill running at 60%  $\dot{V}O_{2max}$  as a continuous task. At post-training, the increments of  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}E$  and HR were tended to be small in both groups during the prolonged exercise test. But, there were some differences in these increment demands between continuous and separated groups : in the continuous training group, significant small increments were observed from earlier stage than those in the separated training group. At post-training, the change ratios of  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}E$  and HR at running stage in the continuous training group were significantly smaller than those in the separated training group. No significant increment of  $\dot{V}O_{2max}$  was observed in both groups. These results indicated that continuous training was more useful for improving the degree of cardiorespiratory drift such as progressive increments of  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}E$  or HR during the prolonged

---

<sup>1)</sup> 徳島大学総合科学部

<sup>2)</sup> 中京大学体育学部

exercis. Therefore, triathletes and/or duathletes were recommended to train themselves as a continuous task rather than as a separated task.

**Key Words:** continuous training, cardiorespiratory response, prolonged exercise

## I. 緒 言

トライアスロンあるいはデュアスロンといった異種目を連続に運動する複合競技では、 $\dot{V}O_{2max}$  あるいは anaerobic threshold といった有酸素性能力だけでなく、長時間運動時の後半に生じる呼吸循環系の drift ( $\dot{V}O_2$  の増加,  $\dot{V}E$  drift, cardiovascular drift など) の程度が小さいことも好成績につながる事が考えられている<sup>3,7,13)</sup>。したがって、競技成績を一層改善するためには、 $\dot{V}O_{2max}$  あるいは anaerobic threshold を改善するだけでなく、長時間運動時の呼吸循環系の drift の程度を小さくすることも必要である。

トライアスリートあるいはデュアスリートは日頃から水泳, 自転車, ランニングのトレーニングに何時間も費やすが, その内容は一般に, それぞれの種目を一日のうちに行うが, 運動の間には十分な休息をとっているか, あるいは一日に限られた種目をしており, すべての種目を連続に行うことは少ないようである。一般に異種目の運動を組み合わせるクロストレーニングでは, cross-transfer の影響によって, 自転車のためのトレーニングによっても自転車こぎ運動時と同様にランニング時の  $\dot{V}O_{2max}$  も改善することが報告されている<sup>14)</sup>。しかし, トライアスロンあるいはデュアスロンの場合, トレーニングの特異性の原則に従えば, 2 あるいは 3 種目を続けてトレーニングすることの方が十分な休息をおいて別々にトレーニングするよりも競技成績を改善する上で有効ではないかといわれている<sup>6,7,13)</sup>。実際, トライアスリートの中にはレースに近づくにつれて 2~3 種目を組み合わせて, 連続にトレーニングする競技者もいる。しかし, このように複合種目を連続に運動したトレーニングの呼吸循環応答に及ぼす影響については明らかにされていない。

そこで本節では自転車こぎ運動とランニングで構成される連続トレーニングが全身持久性能力および 2 種目を連続に運動する長時間運動時の呼吸循環応答に及ぼす影響を明らかにしようとした。

## II. 方 法

### A. 被検者

被検者は健康な男子大学生 8 名, 女子大学生 2 名であり,  $\dot{V}O_{2max}$  がほぼ均等になるように

Table 1 Physical characteristics of the subjects

Variable		Continuous Training	Separated Training
n		5	5
Age	(yrs)	22.2±2.8	20.6±1.3
Weight	(kg)	64.4±12.3	53.8±7.0
Height	(cm)	168.8±5.8	166.0±9.3

Values are mean ± S.D.

自転車こぎ運動とランニングを連続に運動する連続トレーニング群 (5名) とそれぞれの運動の間に休息をとって運動の間に休息をとって運動する分割トレーニング群 (5名) とに分けた。測定に先立ち、彼らには口頭および文書にて実験の主旨および内容を十分に説明し、彼らの自発的意志での承諾を得た後に測定を開始した。彼らの身体的特性については表1に示す通りである。

## B. プロトコール

トレーニングの運動強度およびトレーニング効果を判定する基準を設定するために、トレーニング前後で 1) 自転車こぎ運動およびランニングによる最大運動テスト、2) 自転車こぎ運動およびランニングの順序で構成される複合種目連続運動テストをそれぞれ1回ずつ行った。

**最大運動テスト：**自転車こぎ運動は自転車エルゴメーター (Monark 社製) を用いて、60 W から始めて1分毎に15 W ずつ漸増させて疲労困憊に至らせた。なお、その際のペダルの回転速度は60回転に規定した。ランニングはトレッドミル (西川鉄工所製) を用いて、傾斜0% で  $120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  から始めて1分毎に  $10 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  ずつ速度を増し、 $220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  以降は速度を一定にし、1分毎に傾斜を2%ずつ増して疲労困憊に至らせた。

**複合種目連続運動テスト：**トレーニング前後の performance を判定するテストとして、自転車エルゴメーターおよびトレッドミルを用いて、自転車こぎ運動およびランニングを連続して行った。各運動の強度はそれぞれの運動様式での最大運動テスト時の  $\dot{V}O_2$ -仕事率の関係から  $60\% \dot{V}O_{2\max}$  に相当する運動強度を求め、この運動強度で自転車ステージ (C) 45分およびランニングステージ (R) 45分、合計90分間の連続運動を実施した。

## C. トレーニング

連続トレーニング群は自転車こぎ運動時の  $60\% \dot{V}O_{2\max}$  で30分間の自転車こぎ運動を行い、その直後に休息を取らずにランニング時の  $60\% \dot{V}O_{2\max}$  で30分間、合計60分間のトレーニングを行った。

分割トレーニング群は連続トレーニング群と同じ強度および時間ではあるが、自転車こぎ運動とランニングの間に十分な休息を取って行った。具体的な方法としては、午前中に自転車こぎ運動を行い、夕方にランニングを行うといった方法であった。

トレーニング頻度および期間は両群ともに週に3回、4週間であった。

換気量 ( $\dot{V}E$ ) および酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) の測定は30秒毎に熱線式流量計 (RM-300: ミナト医科学社製) およびジルコニア素子方式によるガス分析器 (MG-360: ミナト医科学社製) を用いて行った。なお、ガス分析器の較正は各ステージの終了後に行った。心拍数 (HR) 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。

## D. 測定項目

測定項目は、酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ )、毎分換気量 ( $\dot{V}E$ ) および心拍数 (HR) である。また、複合種目連続運動テスト時には各ステージの10分目の値を基準にして45分目での変化を変化率とし、 $\Delta \dot{V}O_2$ 、 $\Delta \dot{V}E$  および  $\Delta HR$  と表した。

## E. 統計処理

トレーニング前後における各群の最大運動テスト時の測定項目、および複合種目連続運動

テスト時の測定項目について, 対応のある t 検定を行った。また, 両テストのトレーニング前後における両群間の測定項目の比較は, 対応のない t 検定で行った。なお, すべて, 危険率は 5%未満を有意水準として採用した。

### III. 結 果

トレーニング前後における最大自転車こぎ運動およびランニング時の呼吸循環応答の変化については表 2 および表 3 に示した通り, 両群ともにトレーニング前後で全ての測定項目の間に有意な差は認められなかった。また, 両群の間にも有意な差は認められなかった。

トレーニング前後における自転車およびランニングで構成される複合種目連続運動テスト時の呼吸循環応答の変化においては図 1 に示した通りで, 連続トレーニング群では, トレーニング後において,  $\dot{V}O_2$  および HR はランニングステージの 20 分目以降の値,  $\dot{V}E$  はランニングステージの 30 分目以降の値はトレーニング前の値よりも有意に小さくなった。分割トレーニング群では, トレーニング後, ランニングステージの 30 分目以降の HR がトレーニン

Table 2 Comparisons of cardiorespiratory responses obtained from the maximal cycling test at pre- and post-training

Variable			Continuous Training	Separated Training
$\dot{V}O_{2max}$	pre	(ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	49.8±2.6	48.9±1.6
	post	(ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	52.2±4.6	50.9±1.7
	Δ	(%)	4.6±3.9	4.2±1.6
$\dot{V}E_{max}$	pre	(l·min <sup>-1</sup> )	108.3±14.0	93.3±20.0
	post	(l·min <sup>-1</sup> )	115.4±19.1	96.8±28.0
	Δ	(%)	6.6±13.5	3.2±14.8
HR <sub>max</sub>	pre	(beats·min <sup>-1</sup> )	177.2±10.2	188.4±3.0
	post	(beats·min <sup>-1</sup> )	174.2±8.8	188.2±2.8
	Δ	(%)	-1.6±2.1	-0.1±1.0

Values are mean ± S.D.

Δ : (post - pre) / pre × 100

Table 3 Comparisons of cardiorespiratory responses obtained from the maximal running test at pre- and post-training

Variable			Continuous Training	Separated Training
$\dot{V}O_{2max}$	pre	(ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	52.3±5.2	48.9±1.9
	post	(ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	53.6±5.5	50.8±2.7
	Δ	(%)	2.5±2.5	3.9±2.1
$\dot{V}E_{max}$	pre	(l·min <sup>-1</sup> )	108.6±20.5	88.8±16.3
	post	(l·min <sup>-1</sup> )	117.4±18.4	95.8±16.0
	Δ	(%)	9.0±12.2	8.2±5.9
HR <sub>max</sub>	pre	(beats·min <sup>-1</sup> )	183.7±8.5	187.6±3.2
	post	(beats·min <sup>-1</sup> )	183.3±8.2	189.6±1.1
	Δ	(%)	-0.2±1.9	1.1±2.0

Values are mean ± S.D.

Δ : (post - pre) / pre × 100

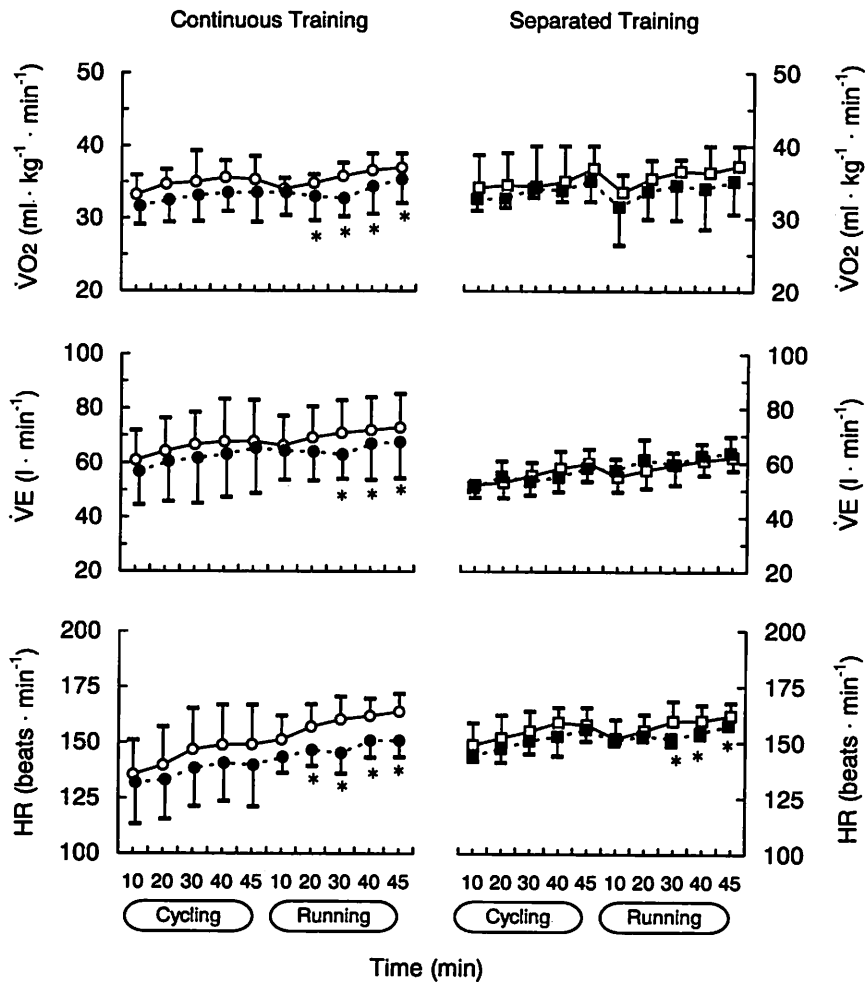


Figure 1 Changes of oxygen uptake, minute ventilation and heart rate in continuous (left figures) and separated training group (right figures) during the continuous exercise test at pre- (opened circle) and post-training (closed circle). Values are mean  $\pm$  S. D.

\*: ( $p < 0.05$ ): significant difference between pre- and post-training

Table 4 Change ratio of  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}E$  and HR between 10 th and 45 th minute during cycling stage at pre- and post-training.

Variable			Continuous Group	Separately Group
$\Delta C\text{-}\dot{V}O_2$	pre	(%)	$6.3 \pm 1.6$	$7.5 \pm 3.0$
	post	(%)	$4.9 \pm 3.2$	$6.7 \pm 1.1$
$\Delta C\text{-}\dot{V}E$	pre	(%)	$11.8 \pm 3.9$	$13.2 \pm 4.0$
	post	(%)	$7.8 \pm 4.4$	$11.5 \pm 4.9$
$\Delta C\text{-}HR$	pre	(%)	$9.9 \pm 3.2$	$6.9 \pm 4.0$
	post	(%)	$6.8 \pm 0.9$	$6.7 \pm 1.3$

Values are mean  $\pm$  S.D.

C : cycling stage

Table 5 Change ratio of  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}E$  and HR between 10 th and 45 th minute during running stage at pre- and post-training.

Variable			Continuous Group	Separately Group
$\Delta R\text{-}\dot{V}O_2$	pre	(%)	8.6±2.9	9.5±0.5
	post	(%)	4.7±3.8*	9.6±1.1
$\Delta R\text{-}\dot{V}E$	pre	(%)	10.3±2.9	11.8±3.7
	post	(%)	3.7±3.1*	9.0±4.3
$\Delta R\text{-}HR$	pre	(%)	8.5±2.7	6.9±4.0
	post	(%)	4.6±2.4*	6.7±1.3

Values are mean ± S.D.

\* ( $p<0.05$ ): significant difference between pre- and post-training

R: running stage

グ前の値よりも有意に小さくなった。

トレーニング前後における複合種目連続運動テスト時の自転車およびランニングステージでの  $\Delta\dot{V}O_2$ ,  $\Delta\dot{V}E$  および  $\Delta HR$  については表 4 および 5 に示した通り, 連続トレーニング群においてのみ, ランニングステージでの  $\Delta\dot{V}O_2$ ,  $\Delta\dot{V}E$  および  $\Delta HR$  についてトレーニング前後で有意な差が認められた。

#### IV. 考 察

従来, クロストレーニングに関しては自転車のトレーニングを行うことでランニング時の全身持久性能力が改善するかといった運動様式の違いとの関連から研究されている<sup>2,8,12,14,16</sup>。一方, 近年のトライアスロンあるいはデュアスロンの競技人口の増加に伴い, これらの競技に応じたトレーニング方法が提唱されている。その有効な方法の一つとして, 従来, 2 あるいは 3 種目を別々にトレーニングしていたのを, 競技の特性から連続にトレーニングする方法であ<sup>7,13</sup>。

本研究ではトライアスロンの構成種目である自転車こぎ運動とランニングを連続あるいは分割でトレーニングした場合, トレーニング前後における自転車およびランニングステージの順序で構成される複合種目連続運動テスト時の呼吸循環応答に及ぼす影響を明らかにしようとした。

複合種目連続運動テストでは, トレーニング前後において両群ともに,  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}E$  および HR が運動の後半から徐々に増加する呼吸循環系の drift の現象がみられた。しかし, トレーニング方法の違いによって, トレーニング後の複合種目連続運動テスト時の呼吸循環応答にいくつかの違いがみられた。 $\dot{V}O_2$  の応答は連続トレーニング群ではトレーニング後, ランニングステージの 30 分目以降からトレーニング前に比べて有意に低下したのに対して, 分割トレーニング群では有意な低下は認められなかった。同一相対強度下での長時間運動時では, 運動の後半から酸素摂取水準の維持能力の低下, つまり, 効率の低下が明らかにされている<sup>15</sup>。連続あるいは分割トレーニングのいずれのトレーニング様式によっても長時間運動テスト時の後半には  $\dot{V}O_2$  が増加し, 効率の低下が示されたが, 連続トレーニングの方が  $\dot{V}O_2$  の増加量が小さく, 酸素摂取水準の維持能力の改善がみられた。 $\dot{V}E$  についても, 連続トレーニング群ではトレーニング後, ランニングステージの 30 分目以降の値はトレーニング前の値に

比べて有意に低下したのに対して、分割トレーニング群では有意な低下は認められなかった。また、トレーニング後のランニングステージでの変化率は連続トレーニング群において有意に小さくなることが明らかになった。長時間運動に伴う $\dot{V}E$ の漸増的な増加は $\dot{V}E$  drift と呼ばれ、これは呼吸筋の仕事量の増加<sup>10)</sup>あるいは中心血液量が低下することで生じる過呼吸が原因である<sup>11)</sup>。また、過剰な換気量の増大は呼吸筋の疲労を誘発し、持久運動の performance を低下させるともいわれている<sup>11)</sup>。したがって、連続トレーニング群の方が、分割トレーニング群よりもトレーニング後において、 $\dot{V}E$ の増加はみられたもののその程度が小さくなっていることから、長時間運動に対して有利な適応反応が生じたと考えられる。

HRについても連続トレーニング群ではトレーニング後、分割トレーニング群よりも早い段階からトレーニング前の値よりも有意な低下が認められ、トレーニング後のランニングステージでの変化率は連続トレーニング群において有意に小さくなることが明らかになった。HRの漸増的な増加、cardiovascular drift は長時間運動時の循環応答の特徴の一つである。このcardiovascular driftは多くの因子に影響され、その中で体温の上昇は重要な因子の一つである<sup>9,10,15)</sup>。Joseら<sup>9)</sup>は、体温1°Cの上昇でHRが約7拍増加することを報告している。また、体温の上昇と同様に、一回拍出量の低下に対してHRが補償的に増加することも原因の一つと考えられている<sup>14)</sup>。連続トレーニング群において、HRの増加の程度が小さくなったことは、長時間運動に対してthermal stressが軽減したことを示している。

このように複合種目を連続にトレーニングした場合、分割してトレーニングした場合よりも、複合種目連続運動テスト時の後半、ランニングステージにおける呼吸循環応答に有利な適応、つまり、呼吸循環系のdriftの程度が小さくなった。この原因の一つとして、目標の種目の特異性に応じたトレーニング方法ということが考えられる。連続、分割の両トレーニングの強度および時間はともに同じではあるが、前者は休息を入れずに続けて90分間運動するのに対して、後者は種目の間に十分な休息を入れている。したがって、連続トレーニング群のランニングトレーニングでは、前の自転車トレーニングの影響(residual effect)を受け、物理的には60% $\dot{V}O_{2max}$ の強度ではあるが、身体にはそれ以上の負荷が課されることになる。それに対して、分割トレーニング群では休息を入れているために、前の運動の影響を受けていない。つまり、residual effectを考慮に入れたトレーニングが複合種目連続運動の performanceには有効になると考えられる。

本研究では、連続トレーニングの方が分割トレーニングよりも複合種目連続運動時の呼吸循環系のdriftの程度を改善する上で有効な方法であることが示された。しかし、このようなトレーニング方法は、一日でかなりのトレーニング時間を必要とし、また、このトレーニングを頻繁に行うことは生体に大きなストレスになることも予想される。したがって、複合種目連続トレーニングは、年間を通じて行うものではなく、目標とするレースのテーパリングの時期(調整期)のトレーニングの一つとして取り入れるのが有効と考えられる。

## VI. ま と め

複合種目連続トレーニングが複合種目連続運動(60% $\dot{V}O_{2max}$ で自転車こぎ運動45分、ランニング45分、合計90分の連続運動)時の呼吸循環系応答に及ぼす影響を明らかにしようとした。被検者は男女大学生10名であり、 $\dot{V}O_{2max}$ に応じて連続トレーニング群(60% $\dot{V}O_{2max}$ で自転車こぎ運動30分、ランニング30分、合計60分の連続運動)と分割トレーニング群

(60%  $\dot{V}O_{2max}$  で自転車こぎ運動 30 分, ランニング 30 分を種目と種目の間に十分な休息を入れて, 別々に運動) とに分けた。週に 3 回, 4 週間のトレーニング後, 次のような結果が示された。

1) トレーニング後, 連続トレーニング群の方が分割トレーニング群よりも複合種目連続運動テスト時において, 早い段階から  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}E$  および HR がトレーニング前の値よりも有意に小さくなった。

2) トレーニング後の複合種目連続運動テスト時のランニングステージにおける  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}E$  および HR の変化率は, 連続トレーニング群の方が分割トレーニング群よりも有意に小さいことが明らかになった。

これらのことから複合種目連続トレーニングは, 複合種目長時間運動時の呼吸循環系の drift の程度を軽減するのに有効な方法であり, トライアスロンあるいはデュアスロンといった複合競技の performance を改善するために有効なトレーニング方法の一つであることが示された。

#### 参 考 文 献

- 1) Ekblom, B. Effect of physical training on circulation during prolonged exercise. *Acta Physiol. Scand.* 73: 145-158, 1970.
- 2) Gergley, T. J., W. D. McArdle, P. DeJesus, M. Toner, S. Jacobowitz, and R. J. Spina. Specificity of arm training on aerobic power during swimming and running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 16: 249-354, 1984.
- 3) 平木場浩二, 浅野勝己. 持久走者の長時間運動時における呼吸循環応答特性. *体力科学.* 32: 293-301, 1983.
- 4) Johnson, J. M. Regulation of skin circulation during prolonged exercise. *Ann. NY. Acad. Sci.* 301: 195-212, 1977.
- 5) Jose, A., F. Stitt, and D. Collinson. The effects of exercise and changes in body temperature on the intrinsic heart rate in man. *Am. Heart J.* 79: 488-497, 1970.
- 6) Kreider, R.B., T. Boone, W.R. Thompson, S.Burkes, and C.W. Cortes. Cardiovascular and thermal responses of triathlon performance. *Med. Sci Sport Exerc.* 20: 385-390, 1988.
- 7) Kreider, R.B., D.E. Cundiff, J. B. Hammett, C.W. Cortes, and K. W. Williams. Effects of cycling on running performance in triathletes. *Ann. Sports Med.* 3: 220-225, 1988.
- 8) Lieber, D.C., R.L. Lieber, and W.C. Adams. Effects of run-training and swim-training at similar absolute intensities on treadmill  $\dot{V}O_{2max}$ . *Med. Sci. Sports Exerc.* 21: 655-661, 1989.
- 9) Macdougall, J.D., W.G. Reddan, C.R. Layton, and J.A. Dempsey. Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prologed exercise. *J. Appl. Physiol* 36: 538-544, 1974.
- 10) Martin, B. J., E. J. Morgan, C.W. Zwillich, and J.V. Well. Control of breathing during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* 50: 27-31, 1981.
- 11) Martin, B.J., M.Heintzelman, and H.Chen. Exercise performance after ventilatory work. *J. Appl. Physiol.* 52: 1581-1585.
- 12) McArdle, W.D., J.R. Magel, D.J. Delio, M.Toner, and J.M. Chase. Specificity of run training on  $\dot{V}O_{2max}$  and heart rate changes during running and swimming. *Med. Sci. Sport Exerc.* 10: 16-20, 1978.
- 13) 三浦 哉, 北川 薫, 石河利寛. トライアスロン競技をシミュレーションした際の運動後半にみられる呼吸循環応答の特性. *体力科学.* 43: 381-388, 1994.
- 14) Mutton, D.L., S.F. Loy, D.M. Rogers, G.J. Holland, W.J. Vincent, and M. Heng. Effect of run vs combined cycle/ run training on  $\dot{V}O_{2max}$  and running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25: 1393-1397, 1993.
- 15) Sawka, M.N., R.G. Knowlton, and R.M. Claser. Body temperature, respiration, and acid-base equilibrium during prolonged running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12: 370-374, 1980.
- 16) Tanaka, H. Effects of cross-training. *Sports Med.* 18: 330-339, 1994.