高強度の間欠的トレーニングとウエイトトレーニングが最大酸素借と最大酸素摂取量に与える影響

平 井 雄 介* 田 畑 泉**

EFFECT OF HIGH INTENSITY INTERMITTENT TRAINING AND RESISTANCE TRAINING ON THE MAXIMAL OXYGEN DEFICIT AND $\dot{V}O_{2\max}$

YUUSUKE HIRAI and IZUMI TABATA

Abstract

This study examined the effects of (1) an intermittent training using a mechanically braked cycle ergometer and (2) resistance training using free weight on the maximal oxygen deficit and $\dot{V}O_{2\max}$. For the first 6 weeks, six subjects trained using an intermittent training protocol five days per week. The exhaustive intermittent training consisted of seven to eight sets of 20 s exercise at an intensity of about 170% of $\dot{V}O_{2\max}$ with a 10 s rest between each bout. After the training, the maximal oxygen deficit increased significantly from $64.3 \pm 5.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ to $75.1 \pm 5.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($p < 0.01$), while $\dot{V}O_{2\max}$ increased from $52.0 \pm 2.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ to $57.6 \pm 2.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ($p < 0.05$). For the following 6 weeks, the subjects used the same intermittent training for 3 days per week and a resistance training for the other 3 days per week. The resistance training consisted of (1) 4 sets of 12 bouts of squat and leg curl exercise at 12 repetition maximum (RM), (2) 2 sets of maximal bouts of the same exercise with a load of 90%, 80%, and 70% of 1 RM. After the training period, the maximal oxygen deficit increased further to the value of $86.8 \pm 5.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$ which was significantly higher than the value attained at the end of the intermittent training. On the other hand, $\dot{V}O_{2\max}$ did not increase significantly from the value observed at the end of the 6 weeks of intermittent training. Body weight was not significantly changed throughout the 12-week training period. Maximal circumference of the thigh did not change during the first 6-week of the intermittent training period (pre-training: $57.1 \pm 1.2 \text{ cm}$, after 6-week training: $57.3 \pm 1.1 \text{ cm}$), while it increased significantly after the last 6-week combined training ($59.0 \pm 0.8 \text{ cm}$, $p < 0.05$). In conclusion, this study showed that (1) high intensity intermittent training improves both the anaerobic and aerobic energy supplying systems, (2) additional resistance training with the intermittent training further increases the anaerobic energy supplying system, probably through increased muscle mass.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1996, 45, 495~502)

key words: intermittent training, resistance training, maximal oxygen deficit, $\dot{V}O_{2\max}$.

I. 緒 言

1分程度で疲労困憊に至るようなミドルパワーの運動では、総エネルギー需要量に対する無酸素性と有酸素性エネルギー供給機構の貢献度が、ほぼ等しい^{6,9)}。したがって、ミドルパワーの運動が主であるようなスポーツ競技では、無酸素性および有酸素性エネルギー供給能力とも競技成績を

左右する要因になると考えられる。有酸素性エネルギー供給機構の最大能力はエネルギー供給速度の上限である最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2\max}$: l/min)によって評価される。一方、無酸素性エネルギー供給機構の最大能力は最大酸素借によって評価される^{5,6,8,9)}。最大酸素借は、2~3分程度で疲労困憊に至るような運動中の総酸素借(Accumulated oxygen deficit)として測定され、無酸素性エネルギー

*株式会社キャピタルチヨダスポーツ、
スポーツニングソサエティ・ナンバーワン
〒168 東京都杉並区下高井戸5-14-6

**国立健康・栄養研究所健康増進部運動生理研究室
〒162 東京都新宿区戸山1-23-1

Sporting Society No. 1, Capital Chiyoda Sports
Corporation, 5-14-6 Shimotakaido, Suginami Tokyo 168,
Japan.

Laboratory for Exercise Physiology, Division of Health
Promotion, National Institute of Health and Nutrition,
1-23-1 Toyama, Shinjuku Tokyo 162, Japan.

ギー供給機構から供給されるエネルギー量の最大値を示す⁸⁾。運動中に酸素借の蓄積量が最大に達すると、無酸素性エネルギー供給機構からのエネルギー供給が停止し、疲労困憊に至る。したがって、トレーニングによる最大酸素借の増加はミドルパワーの運動能力を向上させると考えられる。これまで、最大酸素摂取量に対するトレーニング効果に関する研究は数多く行われている。しかし、最大酸素借は測定方法が最近確立されたため⁵⁾、それに対するトレーニング効果を見たものは少ない^{9,20)}。

最大酸素借の大きさを決定する要因は、質的には筋における乳酸の産生量とクレアチンリン酸の分解量であり^{8,9,10)}、量的には活動筋量^{1,13,14)}と考えられている。また、より多くの乳酸の産生を可能にするのは筋の緩衝能力の向上によると考えられている^{12,15,18)}。Tabata たち²⁰⁾は、運動中の総酸素借が最大酸素借に達するように構成された約 170% $\dot{V}O_2\text{max}$ の強度の間欠的運動を用いたトレーニング(間欠的トレーニング)を 6 週間実施したところ、最大酸素借は約 28% 増加し、その増加は主に筋の緩衝能力の向上が要因であったことを示唆している。しかし、トレーニングによる活動筋量の増加が、最大酸素借に与える影響を見たものはない。筋量を生理学的に増加させる方法の一つに、ウエイトトレーニングが挙げられる。本研究では、先行研究により最大酸素借および最大酸素摂取量を増加させることが明らかにされた間欠的トレーニングを行った被検者の無酸素性エネルギー供給機構の最大能力をさらに増加させることを目的として、間欠的トレーニングに下肢筋群のウエイトトレーニングを加えた場合の最大酸素借および最大酸素摂取量の変化を観察した。

II. 実験手順・方法

A. 被検者

本研究の被検者は、健康な成人男子 6 名であり、年齢、身長および体重(平均値 $\pm$ SE)はそれぞれ、23 $\pm$ 1 歳、172 $\pm$ 5 cm、71 $\pm$ 8 kg であった。実験を開始するにあたり、全ての被検者に本研究の目的、方法、危険性を十分に説明し、本研究への

参加の同意を得た。

B. 測定手順、方法

各被検者の自転車エルゴメータ運動における運動強度と酸素摂取量の関係を明らかにするために、最大下強度で 10 分間の固定負荷運動を強度を変えて合計 10~15 回行わせ、各々の酸素摂取量を測定した。すなわち、この測定では 10 分間の固定負荷運動を被検者 1 名について 3~4 日をかけて行い、各々の試行毎に 15~30 分の休息を挟みながら、1 日に 4~5 試行を行わせた。1 日の内に同じような強度が重ならないように、低強度、中強度、高強度が期間内に分散するように組み合わせた。最大下強度の運動での、運動強度と酸素摂取量の関係を一次回帰直線に表した。トレーニング後にも全ての被検者に 10 分間の最大下運動を強度を変えて 3~4 回行わせ、運動強度と酸素摂取量の関係にトレーニング前後で変化がないことを確認した。

最大酸素摂取量、最大酸素借、最大脚筋パワー測定は、全て約 50% $\dot{V}O_2\text{max}$ の強度で 20 分間のウォーミングアップ後に行われた。最大酸素摂取量は、約 70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の強度の 2 分間の運動に続いて、被検者に 2~4 分程度続けられる強度の運動を疲労困憊に至るまで行わせ、運動終了前 1~2 分間の酸素摂取量を 30 秒毎に測定して求めた。これを、疲労困憊に至るまでの運動時間が 2~4 分になる範囲内で強度を変えて 2~3 回、日を変えながら行わせ、各々の測定で得られた酸素摂取量の最大値から、最大下運動で得られた運動強度と酸素摂取量の一次回帰直線からレベリングオフを確認して最大酸素摂取量を求めた⁴⁾。同時に運動中の心電図をモニターし、得られた心拍数の最高値を最高心拍数とした。

最大酸素借は、Medbø と Tabata⁹⁾の方法に従い、2~3 分程度で疲労困憊に至るような強度(約 140% $\dot{V}O_2\text{max}$)の運動の総酸素借として求めた。疲労困憊の判定はペダリング速度 90 rpm を維持できず、85 rpm 以下に低下した時とした。最大酸素借の算出のため、運動中の酸素摂取量をダグラスバック法にて 30 秒毎に測定し、運動中の総酸素摂取量を求めた。最大酸素借の計算には、まず、

2～3分程度で疲労困憊に至るような運動の酸素需要量(l/min)を、最大下運動で求めた運動強度と酸素摂取量の一次回帰直線から外挿法によって求めた。この酸素需要量に運動時間をかけて総酸素需要量(liters)を算出した。ここで求めた総酸素需要量からダグラスバック法で測定した総酸素摂取量を引き、総酸素借を求めた。最大酸素借の測定には疲労困憊に至る時間を2～3分にする必要がある¹⁰⁾。したがって、トレーニング期間中の最大酸素借の測定では、疲労困憊に至る時間が2～3分になるように、運動強度を徐々に増加させた。また、酸素借測定の運動終了時では採気が短時間となり、呼気の採集量が少なくなる場合があるので、死腔の影響をできるだけ少なくするように、マウスピースとダグラスバックとの接続をできるだけ短く(約20 cm)した。

最大酸素摂取量、最大酸素借の測定には自転車エルゴメータ(Monark社製)を用い、ペダリング速度は全て90 rpmとした。心拍数は、日本光電社製のハートレートモニターで記録した。酸素摂取量は全てダグラスバック法によって測定した。すなわち、採集した呼気ガスの O_2 及び CO_2 濃度は質量分析器(Perkin Elmer社製MGA-1100)で分析し、呼気ガス量は乾式ガスメーター(品川製作所製)で定量した。

最大脚筋パワーは、電気ブレーキ式自転車エルゴメータ(Combi社製Powermax-V)にて10秒間の自転車エルゴメータ運動を最大努力で行わせて測定した。運動中の1秒毎の平均回転数の最大値とペダルの負荷から最大パワーを求め、最大脚筋パワーとした。ペダルの負荷は体重の10%とし、日を変えて2回ずつ測定して、高い方の値を採用した。

大腿囲は被検者に立位をとらせ、右脚大腿部における水平位の最大周径囲をスチールメジャーにて測定して求めた。測定はすべて同一の検者が行った。

C. トレーニング方法

トレーニング期間は12週間とし、被検者に1～6週は自転車エルゴメータでの間欠的運動を、7～12週は間欠的運動と下肢筋群のウエイトト

レーニングを行わせた。1～6週は間欠的運動を1回/日、5日/週の頻度で行わせた。間欠的運動は、まず50% $\dot{V}O_{2max}$ の強度で20分間のウォーミングアップを行った。その後、170% $\dot{V}O_{2max}$ の強度で20秒間の運動を、10秒間の休息を挟んで疲労困憊まで繰り返させた。このトレーニングでは運動を7～8回行うことを目標とし、9回行うことができた時には、次回から運動強度を11 W増加させた。疲労困憊の目安は、ペダリング速度90 rpmを10秒間維持できなくなった時点とした。ただし、週5日の内1日は70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度で30分間のウォーミングアップの後、20秒間の運動を10秒間の休息を挟んで4回だけ繰り返す間欠的運動を行わせた。

7～12週は6週目までの自転車エルゴメータでの間欠的運動を1回/日、3日/週に減らし、下肢筋群のウエイトトレーニングを1回/日、3日/週の頻度で行わせた。筋肥大を生じるには最大筋力の70%～80%の重量(10～15回程度反復できる重量:10～15 RM)で最大まで反復し、短時間の休息を挟んで数セット繰り返す方法が有効であると言われている²³⁾。この方法ではセットが進むにつれて、同一重量での反復が困難になるため、重量を漸減し全てのセットとも10～15回の反復が行われる。そこで本研究では、大腿部の筋量の増加を目的として、スクワット及びレッグカール運動を1セット12回、30秒の休息を挟んで4セット行わせた。負荷重量は毎セット12回の反復で挙上不可能になるよう12 RMとし、セットが進む毎に徐々に減少させた。さらにその後3分の休息を与え、連続して3段階の重量を各々最大努力で行うセットを2セット行わせた。このセットでは各段階とも4～5回の反復が可能な重量で挙上不可能になるまでの反復を、連続して3段階の重量で繰り返した。重量の切り替えは2秒以内に行われ、1セットの合計反復回数が12～15回になるようにした。

D. 統計処理

結果は全て平均±標準誤差で示した。トレーニング経過に伴う変化は対応のあるt検定を行い、危険率5%未満を有意とした。

Ⅲ. 結 果

被検者の体重は, 12週間を通じて有意な変化は見られなかった. Fig. 1 にはトレーニングに用いた間欠的運動の強度とスクワット運動のトレーニング1セット目の負荷重量(12RM)の変化を示した. トレーニングとして行われた間欠的運動の強度はトレーニング開始時に比べ, 6週後, 12週後でそれぞれ $18 \pm 4\%$, $24 \pm 4\%$ 増加した. 間欠的トレーニング開始後7週目から行ったスクワット運動の12RMの挙上重量は, トレーニング開始時に比べ6週後には $108 \pm 11\%$ 増加した.

Fig. 2 にはトレーニングにともなう最大酸素借の変化を示した. 最大酸素借は12週間にわたって

Fig. 1. Work rate used during the bicyclic training period (A), and weight for the squat exercise during the resistance training period (B).

Fig. 2. Effect of the intermittent training (IT) and resistance training for legs (RT) on the maximal accumulated oxygen deficit. * and ** indicate a significant difference from the pre-training value at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively. + and ++ indicate a significant difference from the 3 wk value at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively. # and ## indicate a significant difference from the 6 wk value at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively. § and §§ indicate a significant difference from the 9 wk value at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively.

増加し, トレーニング前に比べ3, 6, 9, 12週後の増加率はそれぞれ13%, 17%, 23%, 35%であった. 最大酸素借はトレーニング開始直後の3週間に急増し, さらに9週, 12週とトレーニングが進むにつれて増加率が上昇する傾向が認められた. また, 最大酸素借を測定するためには疲労困憊に至るまでの運動時間を2~3分程度になるようにする必要があるので, 運動強度をトレーニングの経過に合わせて徐々に増加させて最大酸素借の測定を行った. その結果, 最大酸素借測定のために行った運動の総仕事量は12週間にわたり有意に増加した(Fig. 3).

最大酸素摂取量はトレーニング開始から6週後まで徐々に増加したが($11 \pm 2\%$), それ以後は有意な変化は認められなかった(Fig. 4). 最高心拍数はトレーニング前後で有意な変化は認められなかった(トレーニング前: 187 ± 2 bpm, 6週後: 189 ± 2 bpm, 12週後: 192 ± 3 bpm).

最大脚筋パワーは自転車エルゴメータ運動のみのトレーニングを6週間行っても変化しなかった

Fig. 3. Effect of the intermittent training (IT) and resistance training (RT) on the total mechanical work during 2~3 min exhaustive exercise. * and ** indicate a significant difference from the pre-training value at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively. + and ++ indicate a significant difference from the 3 wk value at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively. # and ## indicate a significant difference from the 6 wk value at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively. § and §§ indicate a significant difference from the 9 wk value at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively.

Fig. 4. Effect of the intermittent training (IT) and resistaining (RT) on the maximal oxygen uptake. * and ** indicate a significant difference from the pre-training value at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively. + and ++ indicate a significant difference from the 3 wk value at $p < 0.05$ and 0.01 , respectively.

Table 1. Effects of training on maximal leg power output and circumference of thigh.

	Before training	After 6 wk training	After 12 wk training
Max. power output, W/kg	13.5±0.6	13.6±0.5	14.8±0.6*++
Thigh girth, cm	57.1±1.2	57.3±1.1	59.0±0.8*+

Values are means±SE. * and ** indicate a significant difference from pre-training value at the level of $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively. + and ++ indicate a significant difference from the 6 wk value at the level of $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

が、下肢筋群のウエイトトレーニングを行った12週後ではトレーニング前より $10 \pm 3\%$ 増加した($p < 0.05$, Table 1). また、大腿部の最大周径囲も同様に6週後には変化がなかったのに対し、ウエイトトレーニングを加えたトレーニング開始12週後ではトレーニング前より $3 \pm 1\%$ 増加した($p < 0.01$, Table 1).

IV. 考 察

A. 無酸素性エネルギー供給能力への影響

無酸素性エネルギー供給能力の最大値の指標となる最大酸素借は、6週間で18%、12週間で37%増加した。この増加は、スプリントトレーニングを行った Medbø と Burgers⁷⁾ の結果より高い値であった。本研究で用いた間欠的運動は運動中の総酸素借が最大酸素借に達することが報告されて

おり²⁰⁾, Medbø と Burgers⁷⁾がトレーニングに用いた運動によって生じる酸素借よりも大きい。また, 横断的な研究によると, スプリントトレーニング群, 持久性トレーニング群, 非トレーニング群の最大酸素借を比較し, トレーニング中に酸素借が多く発生するスプリントトレーニング群で最大酸素借が最も高く, 酸素借の発生が少ない持久性トレーニング群と非トレーニング群では差がないことが報告されている^{7,17)}。したがって, 特定のトレーニングによる最大酸素借の増加の度合いは, トレーニングとして行う運動によって生じる酸素借の絶対値あるいは最大酸素借に対する相対的割合が影響することが推察される。

最大酸素借に影響する因子として活動筋量の大きさ^{1,13,14)}, 筋の緩衝能力^{9,18)}および解糖系酵素の活性の向上による乳酸産生能力の改善¹²⁾が挙げられている。本研究の前半の6週間のトレーニングでは大腿囲に変化が見られなかったことから, 筋量が増加したとは考えにくい。したがって, 前半の6週間における最大酸素借の増加は, 乳酸産生能力および筋の緩衝能力の改善が主な要因であったと推察される。先行研究においても, 高強度の運動を行うスプリントトレーニングによって筋の緩衝能力が向上することが報告されている^{15,16)}。また, Nevill たち¹²⁾はスプリントトレーニングにより30秒の全力運動中の乳酸産生量が高まったこと, 筋中から血中への H^+ 流出が促進され, 筋中の pH の低下を抑制したことを示唆している。

一方, 下肢筋群のウエイトトレーニングを間欠的トレーニングに加えた本研究の後半の6週間のトレーニングにおいて, 最大酸素借の増加率が上昇する傾向が認められた。また, 最大脚筋パワーと大腿囲が共に増加し, 活動筋量の増加が示唆された。先行研究ではウエイトトレーニングにより神経系の適応や motor unit の動員数の増加が確かめられている^{3,11,16)}。Staron たち¹⁹⁾はウエイトトレーニング開始後2週から筋肥大の傾向を観察したことを報告している。したがって, 最大酸素借が9週および12週後に増加率が上昇した理由としては, 乳酸産生能力と筋の緩衝能力の向上に

加え, 活動筋量の増加にともなう総乳酸産生量の増加も考えられる。

本研究の前半の自転車エルゴメータ運動のみのトレーニングでは 170% $\dot{V}O_{2max}$ 強度(約40秒程度継続ができる強度)という高い強度で運動を6週間を行った。しかし, 最大脚筋パワーおよび大腿囲の増加は認められなかった。一方, 間欠的トレーニングに加えて, ウエイトトレーニングを負荷した12週後には両者とも有意な増加が認められた。この結果は, 筋肥大および最大脚筋パワーの向上には, ウエイトトレーニングのような高い張力発揮が必要であることを示唆している。したがって, 本研究で対象としたような被検者では, 170% $\dot{V}O_{2max}$ の強度でトレーニングを行っても筋量の増大およびハイパワーの運動における最大発揮パワーの増加は望めないと考えられる。

B. 有酸素性エネルギー供給能力への影響

最大酸素摂取量はトレーニング開始後6週まで有意な増加を示し, この増加は最大酸素借を測定した超最大運動中の最高酸素摂取量にも反映していた。

Fox²⁾は, インターバルトレーニングにおいて運動強度が高いほど最大酸素摂取量の増大が大きく, トレーニングの頻度や期間には左右されないことを報告している。本研究のトレーニングで用いた間欠的運動は, 運動強度が 170% $\dot{V}O_{2max}$ と高く, 運動開始とともに急速に酸素摂取量が高まる。そして, 間欠的運動の疲労困憊時の酸素摂取量は, ほば最大酸素摂取量のレベルまで増加する²²⁾。したがって, 本研究のトレーニングは有酸素性エネルギー供給機構に対しても大きな負荷を与えるものであり, 最大酸素摂取量を増加させたと考えられる。

しかし, 後半のトレーニングではトレーニング強度が増加しても, 最大酸素摂取量は増加しなかった。その理由として, トレーニング開始6週以降, 最大酸素摂取量の増加が認められなかった5名の被検者の平均値が6週後の時点で約 60 ml/kg/min に達しており, 各被検者のトレーニングナビリティが低かったことが考えられる。実際, 最大酸素摂取量のレベルが低かった1名の被検者では

トレーニング後半においても最大酸素摂取量が増加した。しかし、最大酸素摂取量が変化しなかった要因には、単一のトレーニング様式の限界とも考えられ、さらに増加させるためには異なるタイプのトレーニングが必要なのかもしれない。

C. 発揮エネルギー総量への影響

最大酸素借測定時の仕事量は、トレーニング前に比べ6週後で27%増加し、12週後では6週後よりさらに11%増加した。2～3分程度で疲労困憊に至るような運動では最大酸素借が得られる。つまり、このような運動では無酸素性エネルギーの供給が停止することによって、運動の継続が不可能になり、疲労困憊に至る²¹⁾。本研究のトレーニング6週後には最大酸素借の増加と運動中の総酸素摂取量の増加がいずれも認められた。したがって、トレーニング前半の総仕事量の増加、すなわち総エネルギー産生量の増加は、最大酸素借の増加に示される無酸素性のエネルギー供給量の増加と有酸素性エネルギー供給能力の向上がいずれも影響したものと考えられる。

後半のトレーニングでは総酸素摂取量は増加したが、運動中の最高酸素摂取量は増加の傾向が認められたものの有意な変化ではなかった。この総酸素摂取量の増加は運動時間の延長によるものであり、有酸素性エネルギー供給能力の向上は認められなかった。したがって、後半の総仕事量の増加は最大酸素借の増加が主な要因であると考えられる。

本研究で用いた間欠的トレーニングは無酸素性と有酸素性のエネルギー供給能力の両方を改善し、また同時にウエイトトレーニングを加えることにより、さらに無酸素性エネルギー供給能力を改善した。その結果、2～3分程度で疲労困憊に至るような運動中の総仕事量が増加した。したがって、このようなトレーニングを行えば、ミドルパワーの運動を用いる競技のパフォーマンスを改善する可能性があることが示唆された。

V. ま と め

本研究の結果から、高強度の間欠的トレーニングで最大酸素借と最大酸素摂取量が増加した被検

者に、同時にウエイトトレーニングを加えることにより、さらに最大酸素借が増加することが明らかにになった。

(受理日 平成8年6月29日)

参 考 文 献

- 1) Bangsbo, J., Michalsik, L., and Petersen A., Accumulated O₂ deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. *Int. J. Sports Med.*, (1993), **14**, 207-213.
- 2) Fox, E. L., *Sports Physiology*, 2nd. Ed., Holt-Saunders International Editions, New York, (1979), 238-241.
- 3) Hakkinen, K., Alen, M., and Komi, P. V., Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fiber characteristics human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol. Scand.*, (1985), **125**, 573-585.
- 4) Hermansen, L., Oxygen transport during maximal exercise in human subject. *Acta Physiol. Scand.*, (1973), suppl. **399**, 1-104.
- 5) Hermansen, L., Medbø, J. I., Mohn, A. -C., Tabata, I., Bahr, R., Anaerobic capacity determined by maximal oxygen deficit. *Acta Physiol. Scand.*, (1984), **121**, 39 A.
- 6) 平井雄介, 小笠原悦子, 田畑 泉. 超最大強度の水泳運動における無酸素性及び有酸素性エネルギー供給機構の貢献度. *Jpn. J. Sports Sci.*, (1993), **12**, 124-129.
- 7) Medbø, J. I., and Burgers, S., Effect of training on the anaerobic capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1990), **22**, 501-507.
- 8) Medbø, J. I., Mohn, A. -C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O., and Sejersted, O. M., Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J. Appl. Physiol.*, (1988), **64**, 50-60.
- 9) Medbø, J. I., and Tabata, I., Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting exercise. *J. Appl. Physiol.*, (1989), **67**, 1881-1886.
- 10) Medbø, J. I., and Tabata, I., Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J. Appl. Physiol.*, (1993), **75**, 1654-1660.
- 11) Moritani, T., and DeVries, H. A., Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am. J. Physiol. Med.*, (1979), **58**, 115-130.
- 12) Nevill, M. E., Boobis, L. H., Brooks, S., and Williams, C., Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J. Appl. Physiol.*, (1989), **67**, 2376-2382.
- 13) 萩田太, 田畑 泉, 平井雄介, 山奥慎一, 田口信教.

- スイムベンチ運動およびアームストロークにおける酸素借の最大値. 第44回日本体育学会大会号, (1993), 354.
- 14) Olesen, H. L., Accumulated oxygen deficit increases with inclination of uphill running. *J. Appl. Physiol.*, (1992), **73**, 1130-1134.
- 15) Sahlin, K., and Henriksson, J., Buffer capacity and lactate accumulation in skeletal muscle of trained and untrained men. *Acta Physiol. Scand.*, (1984), **122**, 331-339.
- 16) Sale, D. G., Neural adaptation to resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1988), **20**, S135-S145.
- 17) Scott, C. B., Roby, F. B., Lohman, T. G., and Bunt, J. C., The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1991), **23**, 618-624.
- 18) Sharp, R. L., Costill, D. L., and King, D. S., Effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on human muscle buffer capacity. *Int. J. Sports Med.*, (1986), **7**, 13-17.
- 19) Staron, R. S., Karapondo, D. L., Kraemer, W. J., Fry, A. C., Gordon, S. E., Falkel, J. E., Hagerman, F. C., and Hikida, R. S., Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J. Appl. Physiol.*, (1994), **76**, 1247-1255.
- 20) Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M., Yamamoto, K., and Shibayama, H., Effects of moderate intensity, endurance and high intensity, intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_{2max}$. *Med. Sci. Sports Exerc.*, in press.
- 21) 田畑 泉. 無酸素性エネルギーの定量法. *Jpn. J. Sports Sci.*, (1994), **13**, 559-566.
- 22) 田畑 泉, 西村幸治. スピードスケート選手の陸上トレーニングに用いられているインターバルトレーニングの代謝特性とその最大酸素摂取量および最大酸素借に及ぼす影響. 平成元年度日本体育協会スポーツ医科学研究報告, No. IV, 競技力向上に関するスポーツカリキュラムの研究開発, (1990), 207-212.
- 23) 高松 薫. パワーアップ型とバルクアップ型の筋力トレーニング. *臨床スポーツ医学*, (1991), **8**, 753-760.