スプリントトレーニングが重炭酸緩衝能力および 無酸素性能力に及ぼす影響

前村 公彦¹⁾ 鈴木 康弘²⁾ 高松 薫³⁾

Effects of sprint training on bicarbonate buffering capacity and anaerobic capacity

Hirohiko Maemura¹, Yasuhiro Suzuki² and Kaoru Takamatsu³

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of sprint training (30-s maximal cycle ergometer sprinting) on bicarbonate buffering capacity and anaerobic capacity. Fourteen healthy males were assigned to either a training group (TG; n=7) or a control group (CG; n=7). The TG performed sprint training 2 days per week for 8 weeks. Before and after training, exercise performance (mean power) and excess CO₂ output (ExcessCO₂) were measured by 30-s maximal cycle ergometer sprinting, and maximal accumulated oxygen deficit (MAOD) was measured by 2-3 min exhaustive cycling test. Mean power (pre: 8.5 ± 0.9 W/kg, post: 9.3 ± 0.8 W/kg, $p < 0.01$), ExcessCO₂ (pre: 93.4 ± 12.8 ml/kg, post: 102.3 ± 12.2 ml/kg, $p < 0.05$), and MAOD (pre: 59.6 ± 14.4 ml/kg, post: 68.2 ± 11.0 ml/kg, $p < 0.01$) were significantly increased after training in the TG. A significant correlation was demonstrated between percentage change in ExcessCO₂ and that in MAOD ($r = 0.755$, $p < 0.05$). Before and after training, mean power was significantly correlated with ExcessCO₂ and MAOD, respectively. These results suggest that the increase in ExcessCO₂ caused by sprint training may enhance the energy supplied from anaerobic metabolism, and improve short-duration intensive exercise performance.

Key words : Short duration-intensive exercise, Performance, ExceeCO₂, Maximal accumulated oxygen deficit

(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 50: 415-424, July, 2005)

- 1) 筑波大学体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
 - 2) 国立スポーツ科学センター
〒110-0056 東京都北区西が丘 3-15-1
 - 3) 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
- 連絡先 前村公彦

1. Doctoral Program in Health and Sport Sciences,
University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
 2. Japan Institute of Sports Sciences
3-15-1 Nishigaoka, Kita-ku, Tokyo 110-0056
 3. Institute of Health and Sport Sciences, University of
Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
- Corresponding author maemura@fitness.taiiku.tsukuba.ac.jp

キーワード：短時間高強度運動, パフォーマンス,
過剰CO₂排出量, 最大酸素借

I 緒 言

陸上競技の400m走やスピードスケートの短距離種目などは、解糖系への依存度が極めて高い高強度運動であると言われている。このような種目に代表される短時間高強度運動パフォーマンスの優劣は、主に無酸素系からのエネルギー供給量の多少によって決まる。したがって、トレーニングの現場においては、この能力を高めるために様々なトレーニング手段を準備しているが、中でも、スプリントトレーニングは最も頻繁に行われている代表的なトレーニング手段である。これまでに、高強度のスプリントトレーニングによって、無酸素系からのエネルギー供給能の指標である最大酸素借 (Maximal accumulated oxygen deficit : MAOD) や乳酸の生成量の増加を報告した研究がいくつかみられる。例えば、Tabata et al. (1996) は、6週間の高強度の間欠的なスプリントトレーニングを行わせた結果、MAODが約28%増加したことを、また、Neviel et al. (1989) は、高強度のスプリントトレーニングによって30秒間全力ペダリング時における乳酸産生量が高まったことを報告し、いずれの研究においても、これらの増加はスプリントトレーニングによる筋中および血中での緩衝能力の向上に起因している可能性のあることを指摘している。このことを考慮すると、高強度のスプリントトレーニングによって、筋中および血中での緩衝能力が向上し、その結果として無酸素性エネルギー供給機構からより多くのエネルギーの動員が可能になるものと考えられる。

一方、前村ほか (2003) は、血中での重炭酸緩衝能力の指標である短時間高強度運動における過剰CO₂排出量 (excess CO₂ output ; ExcessCO₂) と40秒間全力ペダリング運動における平均パワー (Mean power) との間に有意な正の相関関係を認めたことから、ExcessCO₂は、解糖系への依存度の高い運動パフォーマンスの優劣に関与して

いる可能性を示唆している。このことから、解糖系、すなわち無酸素性エネルギー供給機構に大きな刺激を与えることのできる高強度のスプリントトレーニングがExcessCO₂に及ぼす影響を、無酸素性能力および短時間高強度運動パフォーマンスの変化と関連づけて検討することは、短時間高強度運動パフォーマンスに対する無酸素性能力および重炭酸緩衝能力の重要性を明らかにする上で大変興味深い。

そこで本研究では、高強度のスプリントトレーニングが重炭酸緩衝能力の指標であるExcessCO₂に及ぼす影響を、MAODおよび短時間高強度運動パフォーマンスの変化と関連づけて検討することを目的とした。

II 方 法

1. 被検者

被検者には、健康な一般健常男性14名 (年齢: 22.4 ± 2.9 歳, 身長: 172.3 ± 5.8 cm, 体重: 65.0 ± 4.8 kg) を用いた。本研究では、トレーニング効果を検討するために、これらの被検者をトレーニング群 (T群) 7名とコントロール群 (C群) 7名とに分けた。群分けは、プレテストにおける各測定項目の値をもとにして、両群間に差が生じないように配慮して行った。実験を開始するにあたり、すべての被検者に本研究の目的、方法、安全性について詳細に説明し、いかなる時でも実験への参加を取り止めることができるという条件の下で参加の同意を得た。なお、本研究は日本ハム (株) ヒト試験に関する倫理委員会の承認を得た上で実施した。

2. 実験手順

本研究では、トレーニング前にプレテスト、トレーニング後にポストテストを行った。なお、トレーニングはプレテスト終了後1ヶ月以内に開始し、ポストテストはトレーニング終了後1週間以内に行った。

3. スプリントトレーニング

T群におけるトレーニングには、ハイパワー自転車エルゴメーター（Combi社製、POWER-MAX VII）による30秒間全力ペダリング運動を用いた。トレーニング期間は8週間、トレーニング頻度は週2回とし、最初の2週間を1セット、残りの6週間を15分の完全休息をはさんで2セット行わせた。トレーニング負荷は、トレーニング当日における体重を基準として、1セット目を体重 $\times$ 0.075kp、2セット目を体重 $\times$ 0.05kpとした（Suzuki et al., 2004）。本研究において、このようなトレーニングプロトコルを用いた理由は、無酸素性を高めるトレーニングであるレペティショントレーニング法は、30—90秒で激しく疲労するような運動をセット間に長い休息を挟んで行わせる手段であること（金原ほか, 1972）、無酸素性能力の評価法の一つとして用いられているウィングテストが30秒間全力ペダリング運動であること（Bar-Or et al., 1977）などの理由からである。また、2セット目の負荷を軽くした理由は、予備実験において、2セット目の負荷を7.5%にすると30秒間全力ペダリング運動ができないことがあることを確認したことによる。なお、C群には特別なトレーニングは行わせなかった。

4. 測定項目および測定方法

本研究では、8週間のトレーニング期間中、30秒間全力ペダリング運動における1セット目および2セット目の最高パワーおよび平均パワーを継続的に記録した。また、プレおよびポストテストにおいて、漸増負荷ペダリング運動により最高酸素摂取量、2—3分程度で疲労困憊に至る強度での一定負荷ペダリング運動により最大酸素借、30秒間全力ペダリング運動により短時間高強度運動パフォーマンス、ExcessCO₂および血中乳酸濃度を測定した。

1) 最高酸素摂取量

最高酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ peak）は、自転車エルゴメーター（Monark社製、ERGOMEDIC 818E）による漸増負荷ペダリング運動を用いて測定した。負荷は、運動開始から2分間を無負荷とし、

その後、疲労困憊に達するまで1分ごとに0.25kpずつ漸増させた。ペダリングの回転数は90rpmとし、この回転数を維持できないと検者が判断したときに運動を終了させた。なお、回転数を90rpmとした理由は、後述する最大酸素借の測定方法と同じにしたことによる。また、被検者には、漸増負荷運動テストの前にウォーミングアップとして1kpの負荷でのペダリング運動を5分程度行わせた。運動テストは、ウォーミングアップ終了約10分後に開始した。

運動中における酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）を測定するために、自動呼気ガス分析器（Mijinhard社製、OXYCON-ALPHA）を用いて、運動開始2分前から運動終了15分後までbreath by breath法により30秒ごとに連続して呼気ガス分析を行った。この方法ではフェイスマスクから採取したガスサンプルは、ツインチューブサンプルラインを通してガス分析器に送られる。ガス分析器の較正は、テストの開始前にN₂-CO₂混合標準ガス（O₂：0%，CO₂：4.394%）を用いて行い、また、ツインチューブを通過するガスの移動時間の補正および定量シリンジによる流量計の較正も行った。得られた $\dot{V}O_2$ をもとにして、 $\dot{V}O_2$ peakを算出した。 $\dot{V}O_2$ peakは、酸素摂取量のレベリングオフ、呼吸交換比1.1以上、および180拍／分以上の心拍数のいずれか二つの条件を満たすことによって判定した。

2) 最大酸素借

最大酸素借（MAOD）の測定に先立ち、各被検者のペダリング運動における運動強度と酸素摂取量との関係を明らかにするために、6分間の定常負荷運動を $\dot{V}O_2$ peakの50%，65%，75%および85%の強度で行わせ、各々の酸素摂取量を $\dot{V}O_2$ peakと同様の方法で測定した。また、各強度でのペダリング運動の試技間には15—30分の休息を挟んだ。得られた酸素摂取量から、最大下強度の運動での運動強度と酸素摂取量との関係を一次式に表した。なお、トレーニング後においても全ての被検者に6分間の定常負荷運動をトレーニング後の $\dot{V}O_2$ peakの50%，65%，75%および85%の強度で行わせた。

MAODは、Medbø and Tabata (1989)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125% $\dot{V}O_2$ peak）の運動の総酸素借として求めた。ペダリングの回転数は90rpmとし、この回転数を維持できないと検者が判断したときに運動を終了させた。MAODの算出は、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を、最大下運動で求めた運動強度と酸素摂取量との一次回帰直線から外挿法によって求め、酸素需要量に運動時間を乗じて総酸素需要量を算出した。次に、ここで求めた総酸素需要量から運動中の総酸素摂取量を減ずることにより総酸素借を算出した。

3) 短時間高強度運動におけるパフォーマンス、ExcessCO₂および血中乳酸濃度

短時間高強度運動におけるパフォーマンス、ExcessCO₂および血中乳酸濃度（La）の測定のために、トルクが任意に設定でき、ペダルの回転数に応じた電圧を外部に出力することができるハイパワー自転車エルゴメーター（竹井器機社製、TKK 1254a）を用いて、30秒間全力ペダリング運動を体重の7.5%の負荷で行わせた。ペダリング運動時のパワーは1秒ごとにコンピューターに取り込み、それを基に平均パワー（Mean power）を算出した。

30秒間全力ペダリング運動中および運動後における酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）と二酸化炭素排出量（ $\dot{V}CO_2$ ）を $\dot{V}O_2$ peakと同様の方法で測定した。得られた呼気ガスデータから、短時間高強度運動中および運動後における単位時間当たりの過剰CO₂排出量（Excess $\dot{V}CO_2$ ），および運動開始から運動終了15分までの過剰CO₂排出量の総量（Excess-CO₂）を、式（1）によって1分ごとに算出した（Cerretelli and Di Prampero, 1987）。

$$\text{Excess } \dot{V}CO_2 = \dot{V}CO_2 - \dot{V}O_2$$

$$\text{Excess CO}_2 = \Sigma \text{Excess } \dot{V}CO_2 \dots\dots\dots(1)$$

運動終了1, 3, 5, 7分後に指先より採血し、採血後直ちに自動血中乳酸分析器（YSI社製、1500sport）を用いてLaを測定した。

5. 統計処理

各測定項目の値は、平均値±標準偏差で示した。トレーニング前後における測定データの有意差検定には対応のあるt検定を用い、毎回のトレーニングにおける1セット目および2セット目のパワーの差の検定には反復測定の分散分析を用いた。また、2変数間の相関係数の算出にはピアソン積率相関分析を用いた。なお、統計処理の有意性は危険率5%未満で判定した。

III 結 果

トレーニング前後における体重は、T群（pre：65.0±4.8kg, post：66.2±6.1kg）およびC群（pre：64.2±4.4kg, post：63.3±4.3kg）のいずれにおいても有意な変化は認められなかった。

図1に、毎回のトレーニングにおける1セット目および2セット目のPeak powerおよびMean powerの変化を示した。

1セット目におけるPeak powerおよびMean powerは、ともにトレーニング経過に伴って徐々に増加していく傾向にあり、特に、Mean powerはtr.8以降においてtr.1と比較して有意な増加が認められた。また、2セット目においても、Peak powerおよびMean powerともにトレーニング経過に伴って徐々に増加していく傾向が認められた。

図2に、トレーニング前後における $\dot{V}O_2$ peakの変化を示した。

$\dot{V}O_2$ peakは、T群およびC群のいずれにおいてもトレーニング前後で有意な変化は認められなかった。

図3に、トレーニング前後におけるMAODの変化を示した。

MAODは、T群においてはトレーニング後に有意な増加が認められたが、C群においては有意な変化は認められなかった。

図4に、トレーニング前後での30秒間全力ペダリングにおけるMean power, ExcessCO₂およびLa peakの変化を示した。

図1 Time course of peak power and mean power in the maximal 30-s cycle ergometer sprinting during training. Values are means $\pm$ SD. *, $p < 0.05$, **, $p < 0.01$, Significant difference from the first training session.

図2 Changes in $\dot{V}O_2$ peak pre- and post-training.

図3 Changes in MAOD pre- and post-training. **, $p < 0.01$, Significant difference between pre versus post within a group.

図4 Changes in mean power, ExcessCO₂ and La peak in 30-s maximal cycle ergometer sprinting pre- and post-training. *, $p < 0.05$, **, $p < 0.01$, Significant difference between pre versus post within a group.

Mean power および ExcessCO₂ は、T 群においてはトレーニング後に有意な増加が認められたが、C 群においては有意な変化は認められなかった。一方、La peak は、T 群および C 群のいずれにおいてもトレーニング前後で有意な変化は認められなかった。

図5に、T 群のトレーニング前後における ExcessCO₂ の変化量と MAOD の変化量との関係を示した。

ExcessCO₂ の変化量と MAOD の変化量との間には有意な正の相関関係 ($r = 0.755$, $P < 0.05$) が認められた。

図6に、T 群のトレーニング前後における Mean power と MAOD および ExcessCO₂ との関

係を示した。

Meanpower と MAOD との間には、トレーニング前 ($r = 0.790$) とトレーニング後 ($r = 0.662$)、およびそれらを合わせた全体 ($r = 0.827$) のいずれにおいても高い正の相関関係が認められ、トレーニング前 ($P < 0.05$) および全体 ($P < 0.01$) の相関係数は有意であった。一方、Mean power と ExcessCO₂ との間においても、トレーニング前 ($r = 0.656$) とトレーニング後 ($r = 0.905$)、およびそれらを合わせた全体 ($r = 0.801$) のいずれにおいても高い正の相関関係が認められ、トレーニング後 ($P < 0.05$) および全体 ($P < 0.01$) の相関係数は有意であった。

図5 Relationship between percentage changes in ExcessCO₂ and that in MAOD following training.

図6 Relations of MAOD and ExcessCO₂ with mean power pre- and post-training.

IV 考 察

本研究では、トレーニング群 (T 群) に、30 秒間全力ペダリング運動による週2回のトレーニングを、最初の2週間は1セット、残りの6週間は15分の完全休息をはさんで2セット行わせた。このような30秒間全力ペダリング運動では、運動終了直後の筋中乳酸濃度が100mmol/kg dry

tissue 以上にも達し、筋 pH は 6.7 程度まで低下することが報告されている (Rodas et al., 2000) ので、運動には主に解糖系でのエネルギー供給が優先的に動員されるものと考えられる。このことは、毎回のトレーニングにおける1セット目および2セット目の Peak power と Mean power が、ともにトレーニング経過に伴って徐々に増加していく傾向にあり、特に、解糖系のエネルギー供給能を反映する Mean power は、1セット目および2セット目ともにトレーニングの後半において有意な増加が認められたこと (図1)、および有酸素系によるエネルギー供給能を反映する $\dot{V}O_2$ peak はトレーニング前後で有意な変化が認められなかったこと (図2) から理解できる。

一方、このような乳酸が多量に生成され、筋 pH が大きく低下するような短時間高強度運動では、筋 pH の低下を抑制する働きである緩衝作用が積極的に動員されることが推察される。したがって、短時間高強度運動を長期にわたって行うことによって筋中および血中での緩衝能力が改善され、その結果として無酸素性エネルギー供給機構からより多くのエネルギーの動員が可能となり、パフォーマンスが向上するものと考えられる。

そこで本研究では、最初に、重炭酸緩衝作用の大きさを反映する指標である ExcessCO₂ に対するトレーニング効果について検討した。その結果、C 群においてはトレーニング前後で有意な変化は認められなかったのに対して、T 群においてはトレーニング後に有意な増加が認められた (図4)。

このスプリントトレーニングによる ExcessCO₂ の増加の要因の一つとして、スプリントトレーニングによる乳酸の生成能力の向上があげられる。Yunoki et al. (2000) は、ExcessCO₂ と血中乳酸濃度の増加量との間に有意な正の相関関係を認め、ExcessCO₂ が乳酸から解離した H⁺ を血中の HCO₃⁻ によって緩衝した結果を反映している可能性のあることを報告している。したがって、スプリントトレーニングによって多くの乳酸を生成することが可能となり、その結果、ExcessCO₂ が増加した可能性が考えられる。しかし、本研究の結果、30 秒間全力ペダリング運動後における La

peakはトレーニング前と比較して増加する傾向にあったが、有意な増加ではなかった(図4)。このことは、スプリントトレーニングによる ExcessCO_2 の増加には、乳酸の生成能力の増大は必ずしも関与しない可能性を示唆するものである。このことに関して Nevill et al. (1989) は、スプリントトレーニングによって、30秒間全力ペダリング運動時における筋中での乳酸生成量は高まるにも関わらず、筋pHの低下が抑制されることを報告し、その理由として、運動時に筋で生成された乳酸から解離した H^+ の血中への拡散が促進される可能性を指摘している。このことを考慮すると、短時間高強度のスプリントトレーニングによる ExcessCO_2 の増加は、乳酸の生成能力の改善よりも乳酸から解離した H^+ の筋から血中への拡散能の改善に起因している可能性が考えられる。一般に、筋から血中への H^+ の拡散は、毛細血管分布の程度が大きく関与するものと考えられている(Yano, 1987; Yunoki et al., 2000)。Maemura et al. (2004) は、 ExcessCO_2 と筋線維数に対する毛細血管数の比率(Capillary-to-fiber ratio)との間に有意な正の相関関係を認め、 ExcessCO_2 には筋から血中への H^+ の拡散量が関与している可能性のあることを示唆している。これらのことを考慮すると、スプリントトレーニングによる毛細血管の発達が生筋から血中への H^+ の拡散量を増大させ、その結果、 ExcessCO_2 が増加した可能性が考えられる。実際、Gute et al. (1994) は、12週間の高強度の間欠的なスプリントトレーニングによって、速筋線維におけるCapillary-to-fiber ratioが有意に増加したことを報告している。本研究においては、トレーニング前後でのバイオプシー法による毛細血管分布の検討を直接行っていないが、トレーニング前後での30秒間全力ペダリング運動後におけるLa peakの出現する時間がトレーニング前では運動終了5分後であったのに対して、トレーニング後においては運動終了3分後であった(図7)ことを考慮すると、本研究に用いたスプリントトレーニングによって毛細血管分布が発達し、そのことによって、筋から血中への H^+ の拡散が促進された可能性が考

図7 Changes in blood lactate responses in 30-s maximal cycle ergometer sprinting pre- and post-training.

られる。しかし、その一方で、毛細血管分布の程度と密接な関係にある $\dot{V}\text{O}_2$ peakはトレーニング前後で有意な変化は認められなかった(図2)。この原因に関しては、本研究では明確にすることはできないが、 $\dot{V}\text{O}_2$ peakを決定する制限因子は毛細血管分布の程度に大きく依存する組織の拡散能の他に、肺の換気能や拡散能、心拍出量など数多く存在するために(山地, 2001)、スプリントトレーニングによる毛細血管分布の発達が発達直接 $\dot{V}\text{O}_2$ peakの増加に関与しなかった可能性が考えられる。

本研究では、次に、無酸素性エネルギー供給機構の最大能力を反映するMAODに対するトレーニング効果について検討した。その結果、C群においてはトレーニング前後で有意な変化は認められなかったのに対して、T群においてはトレーニング後に有意な増加が認められ(図3)、その増加率は17.3%であった。この増加率は、スプリントトレーニング(20秒間全力走×8セット)を行わせたMedbø and Burgers (1990)の結果(10%の増加率)より高い値であった。また、Medbø and Burgers (1990)は、短距離競技者、長距離競技者および一般人におけるMAODを比較した結果、トレーニング中に酸素借の発生が多い短距離競技者が最も高く、酸素借の発生が少ない長距離競技者と一般人では差がないことを報告している。これらのことを考慮すると、トレーニングによるMAODの増加の度合いは、トレーニングに用いる運動の強度および量に影響すること

が推察される。

上述のように、本研究では、8週間のスプリントトレーニングによって、ExcessCO₂およびMAODの増加が確認されたので、次にT群のトレーニング前後におけるExcessCO₂の変化量とMAODの変化量との関係について検討した。その結果、両者の間には有意な正の相関関係が認められた（図5）。このことは、ExcessCO₂の増加したもののほど、筋pHの低下を抑制することができるようになり、その結果、無酸素性エネルギー供給機構からより多くのエネルギーの動員が促進された可能性を示唆するものである。なお、このことに関して、Tabata et al. (1996) は、6週間の高強度の間欠的トレーニングを行わせた結果、MAODが約28%増加し、その増加は主に緩衝能力の向上が要因であった可能性を指摘している。本研究の結果は、Tabata et al. (1996) の指摘を裏付けるものであり、緩衝能力と無酸素性能力との関連性について検討した初めての研究である。

本研究では、さらに、短時間高強度運動パフォーマンスに対するトレーニング効果について検討した。その結果、30秒間全力ペダリング運動におけるMean powerは、C群においてはトレーニング前後で有意な変化は認められなかったのに対して、T群においてはトレーニング後に有意な増加が認められた（図4）。Suzuki et al. (2004) は、本研究と同様のトレーニングプロトコルを用いて、短時間高強度運動パフォーマンスに対するトレーニング効果を、30秒間全力ペダリング運動を5秒毎に6区間に分けた際の各区間のMean powerを算出して検討した結果、tr.16ではtr.1と比較して全ての区間で有意に高値を示し、その増加率は後半の区間になるほど大きい傾向にあることを認めている。このことを考慮すると、本研究におけるMean powerの増加は、運動後半におけるパワーの増加に起因しているものと考えられる。

また、本研究では、トレーニング前後に測定した30秒間全力ペダリング運動におけるMean powerとExcessCO₂およびMAODとの関係を検討した。その結果、いずれにおいても両者の間に

は、トレーニング前とトレーニング後、およびそれらを合わせた全体において高い正の相関関係が認められた（図6）。このことは、短時間高強度運動パフォーマンスの優劣には、重炭酸緩衝作用の大きさおよび無酸素性能力が関与している可能性のあることを意味し、トレーニングによるパフォーマンスの向上には、これらの改善が影響しているものと考えられる。

以上のことから、スプリントトレーニングによる血中での重炭酸緩衝能力の指標であるExcessCO₂の増加は、無酸素性エネルギー供給機構からより多くのエネルギーの動員を可能にし、その結果、短時間高強度運動パフォーマンスが改善されたものと考えられる。

V 要 約

本研究では、8週間の高強度のスプリントトレーニングが重炭酸緩衝能力の指標であるExcessCO₂に及ぼす影響を、MAODおよび短時間高強度運動パフォーマンスの変化と関連づけて検討することを目的とした。

この課題を明らかにするために、一般成人男性14名を、トレーニング群（T群）7名とコントロール群（C群）7名とに分け、T群には30秒間全力ペダリング運動による週2回のトレーニングを、最初の2週間は1セット、残りの6週間は15分の完全休息をはさんで2セット行わせた。トレーニング前後に、漸増負荷ペダリングにより $\dot{V}O_2$ peak、2—3分で疲労困憊に至る強度でのペダリング運動によりMAOD、30秒間全力ペダリング運動によりMean power、ExcessCO₂および血中乳酸濃度を測定した。

本研究の主な結果は以下に示す通りである。

① 8週間のスプリントトレーニングによって、Mean power（pre：8.5 ± 0.9W/kg, post：9.3 ± 0.8W/kg）とExcessCO₂（pre：93.4 ± 12.8ml/kg, post：102.3 ± 12.3ml/kg）およびMAOD（pre：59.6 ± 14.4ml/kg, post：68.2 ± 11.0ml/kg）はそれぞれ有意に増加した。

② T群のトレーニング前後における

ExcessCO₂の変化量とMAODの変化量との間に有意な正の相関関係が認められた。

③ T群のトレーニング前後における Mean power と ExcessCO₂ および MAOD との間にそれぞれ有意な正の相関関係が認められた。

以上の結果は、スプリントトレーニングによる短時間高強度運動中および運動後の過剰CO₂排出量 (ExcessCO₂) の増加は、無酸素性エネルギー供給機構からより多くのエネルギーを動員し、短時間高強度運動パフォーマンスを改善する可能性のあることを示唆するものである。

文 献

- Bar-Or, O., Dotan, R., and Inbar, O. (1977) A 30-second all-out ergometric test: its reliability and validity for anaerobic capacity. *Israel J. Med. Sci.*, 13: 326.
- Cerretelli, P. and Di Prampero, P.E. (1987) Gas exchange in exercise. In: Farhi, L.E. and Tenney, S.M. (Eds.) *Handbook of Physiology*, Sec. 3, The respiratory system. Am. Physiol. Soc., Press: ashington DC, pp. 297–339.
- Gute D., Laughlin, M.H., and Amann, J.F. (1994) Regional changes in capillary supply in skeletal muscle of interval-sprint and low-intensity, endurance trained rats. *Microcirculation*, 3: 183–193.
- 金原 勇・高松 薫・伊藤 朗 (1972) 無氣的持久性トレーニングに関する基礎的研究—トレーニング手段のつくり方に関連して—。東京教育大学体育学部スポーツ研究所報告, 10 : 17–39.
- 前村公彦・鈴木康弘・伊藤 穰・蒲原一之・高松 薫 (2003) 短時間高強度運動における過剰CO₂排出量の評価法およびパフォーマンスとの関係。体育学研究, 48 : 679–690.
- Maemura, H., Suzuki, Y., Mukai, N., and Takamatsu, K. (2004) Factors influencing excess CO₂ output during and after short duration-intensive exercise: focusing on skeletal muscle characteristics. *Int. Journal of Sport and Health Science*, 2: 129–135.
- Medbø, J.I. and Tabata, I. (1989) Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting exercise. *J. Appl. Physiol.*, 67: 1881–1886.
- Medbø, J.I. and Burgers, S. (1990) Effects of training on the anaerobic capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 22: 501–507.
- Nevill, M.E., Boobis, L.H., Brooks, S., and Williams, C. (1989) Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J. Appl. Physiol.*, 67: 2376–2382.
- Rodas, G., Ventura, J.L., Cadefau, J.A., Cusso, R., and Parra, J. (2000) A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 82: 480–486.
- Suzuki, Y., Ito, O., Takahashi, H., and Takamatsu, K. (2004) The effect of sprint training on skeletal muscle carnosine in humans. *Int. Journal of Sport and Health Science*, 2: 105–110.
- Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M., Yamamoto, K., and Shibayama, F. (1996) Effects of moderate intensity-endurance and high intensity-intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_2$ max. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28: 1327–1330.
- 山地啓司 (2001) 最大酸素摂取量の科学。杏林書院：東京, pp. 272–289.
- Yano, T. (1987) The difference in CO₂ kinetics during incremental exercise among sprinters, middle, and long distance runners. *Jpn. J. Physiol.*, 37: 369–378.
- Yunoki, T., Horiuchi, M., and Yano, T. (2000) Excess-CO₂ output response during and after short-term intensive exercise in sprinters and long-distance runners. *Jpn. J. Physiol.*, 50: 199–205.

(平成16年 8 月 10 日受付)
(平成17年 1 月 8 日受理)