

血中乳酸閾値（LT）強度での自転車トレーニングがエネルギー基質としての脂質利用に及ぼす影響

誌名	九州大学大学院農学研究院学芸雑誌
ISSN	13470159
著者名	音成,道彦 松原,建史 内藤,聖子 劉,忠峰 大瀬,雄也 庄野,菜穂子 田中,守 清永,明 田中,宏暁 進藤,宗洋 立花,宏文 山田,耕路
発行元	九州大学大学院農学研究院
巻/号	58巻1-2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 19-26
発行年月	2003年10月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



血中乳酸閾値 (LT) 強度での自転車トレーニングが エネルギー基質としての脂質利用に及ぼす影響

音 成 道 彦* ・ 松 原 建 史** ・ 内 藤 聖 子*
劉 忠 峰* ・ 大 瀬 雄 也*** ・ 庄 野 菜穂子****
田 中 守*** ・ 清 永 明*** ・ 田 中 宏 暁***
進 藤 宗 洋*** ・ 立 花 宏 文 ・ 山 田 耕 路†

九州大学大学院農学研究院生物機能科学部門生物機能化学講座食糧化学研究室

(2003年6月30日受付, 2003年7月15日受理)

Effect of Cycle Training at Lactate Threshold on Indirect Calorimetric Fat Utilization Estimated by Respiratory Quotient (RQ)

Michihiko OTONARI*, Takeshi MATSUBARA**, Seiko NAITO*,
Zhong Feng LIU*, Yuya OHSE***, Naoko SHONO****,
Mamoru TANAKA***, Akira KIYONAGA***, Hiroaki TANAKA***,
Munehiro SHINDO***, Hirohumi TACHIBANA and Koji YAMADA†

Laboratory of Food Chemistry, Division of Applied Biological Chemistry,
Department of Bioscience and Biotechnology, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

緒 言

運動中に動員される主要なエネルギー基質は糖質と脂質である。エネルギー代謝と機械的仕事量についての研究は数多く成されており (進藤, 1973a), Atwater and Benedict (1903) は, 安静時と作業中の放出熱量と呼吸代謝を同時に測定することのできる呼吸熱量計を作製し, 人体においてエネルギー保存の法則が成立することを証明した。また, 熱量計を用

いて測定した (直接熱量測定法) 人体の放出エネルギーと, 呼吸代謝によって測定した熱量 (間接熱量測定法) とに差がないことを証明している。間接法より, 消費したエネルギー基質の量と熱当量から体内で産生された化学自由エネルギー量が計算できる (Consolazio *et al.*, 1963)。さらに, 運動中の生理的定常状態で動員される糖質と脂質の割合を, 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) と二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$) との比 (RQ) から推定することができる (Frayn K.N., 1983)。

-
- * 九州大学大学院生物資源環境科学府生物機能科学専攻生物機能化学講座食糧化学研究室
** 株式会社 健康科学研究所
*** 福岡大学スポーツ科学部運動生理学研究室
**** 佐賀医科大学社会医学講座予防医学
* Laboratory of Food Chemistry, Division of Applied Biological Chemistry, Department of Bioscience and Biotechnology, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University
** Laboratory of Physical Science, Co, Ltd.
*** Laboratory of Exercise Physiology, Faculty of Sports and Science, Fukuoka University
**** Department of Preventive Medicine, Saga Medical School
† Corresponding author (E-mail: yamadako@agr.kyushu-u.ac.jp)

一過性の運動負荷試験中、動員される脂質と糖質の割合は、低強度では脂質の割合が多く、負荷が強まるにつれて糖質に移行する (Astrand and Rodahl, 1970). さらに、持久的な運動トレーニング前後に実施した同一仕事率での運動中の RQ は、減少することが報告されている (Henriksson, 1977; Sial *et al.*, 1998; Friedlander *et al.*, 1999; Dorien *et al.*, 2001). これらのトレーニングは、有酸素性作業能力の指標である最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2 \max$) の 40 から 90% と幅広い範囲で行われている。

進藤ら (1973b) は、90% $\dot{V}O_2 \max$ 強度で 15 分間、週 3 回の自転車トレーニングで、有酸素性作業能に変化が認められなかったと報告している。また、50% $\dot{V}O_2 \max$ 強度で 60 分間、週 3 回の自転車トレーニングで、有酸素性作業能に有意な増加を認めている (進藤ら, 1974; 1975; 1976)。さらに、血中乳酸閾値 (Lactate Threshold; 以下, LT) 強度のトレーニングで、50% $\dot{V}O_2 \max$ と同様の効果を認めている (進藤ら, 1981; 吉田ら, 1982, 1984)。LT は、ペダル回転数を規定し、トルクを一定量漸増する運動負荷試験中に採血を行い、血中乳酸濃度を測定することで求めることができる (Ivy *et al.*, 1980)。この LT は、代謝調節ホルモンであるカテコラミンの閾値と差がないことから (Deborah *et al.*, 1991), LT を境に運動中に動員される主なエネルギー基質は脂質から糖質へと移行すると考えられる。

そこで本研究は、LT 強度でのトレーニングが脂質代謝能力に及ぼす影響を、全身の酸素利用系の指標である RQ から検討した。

なお、本研究の一部は、平成 14-16 年度文部科学省科学研究費補助金 (14380021) によって行われた。

方 法

被検者は、20 歳から 41 歳までの成人男性 8 名 (年齢 26 ± 7 歳、体重 62.2 ± 2.4 kg) で、定期的な運動を行っているものはいなかった。事前に、個人ごとに測定の目的と測定内容、及び、測定に伴う危険について十分な説明を行い、署名によるインフォームドコンセントを得た。本研究は、福岡大学医倫理委員会による承認を得た。

6 週間の LT トレーニング前後に直接法による $\dot{V}O_2 \max$ 、体脂肪率を測定し比較した。全ての測定は、12 時間の絶食後、早朝空腹状態で実施した。

最大漸増運動負荷試験

被検者の有酸素性作業能力を測定するために、電

磁ブレーキ式自転車エルゴメーター (Lode 社製, Excalibur, Netherlands) を用いて、ペダル回転数を 1 分間に 50 回転 (1 回転で荷重部が 6 m 移動する) に規定し、初期負荷 10 ワットで 4 分間のウォーミングアップの後に、4 秒ごとに仕事率を 1 ワットずつ漸増して、規定の回転数が維持できなくなるまで運動を継続するランプ式最大漸増運動負荷試験を実施した。運動中 1 分毎に心拍数 (HR), 血中乳酸濃度 (以下, LA), $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, RQ, Borg の主観的運動強度の聴取を行った。

$\dot{V}O_2 \max$ 発現の診断基準は、1) 仕事率の増加に対して酸素摂取量が増加しない Leveling off (頭打ち状態) に達している、2) 最大 LA が $8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上に達している、3) RQ の値が >1.15 に達している、4) 年齢より推定した最大心拍数 ($\text{HR}_{\max} = 220 - \text{年齢(歳)}$) に達していること、の 4 項目であり、そのうち 3 項目以上を満たすものを採用した (American College of Sports Medicine, 2001)。全ての被検者で、 $\dot{V}O_2 \max$ の発現が確認された。

固定運動負荷試験

LT 強度の仕事率で 60 分間の固定運動負荷試験を、トレーニング期間前後にそれぞれの LT (Pre-LT_w, Post-LT_w) で、さらにトレーニング期間後にトレーニング前の LT 強度 (Postabs-LT_w) で、計 3 回実施した。固定運動負荷試験中 10 分毎に心拍数, LA, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, RQ, Borg の主観的運動強度を聴取した。

なお、固定運動負荷試験前日は規定食 (1 日当たり 1950 kcal, タンパク質, 脂肪, 炭水化物の比, すなわち PFC 比はそれぞれ 16.6%, 21.5%, 61.9%) とし、運動負荷試験 12 時間前からは水以外は摂取しないように指示した。

身体組成

水中体重秤量法を用いて、水中体重秤量時の残気量を純酸素再呼吸法で測定し、腸内ガスを 100 mL とし、補正して身体密度 (D) を求めた。Brozek *et al.* (1951) の式を用いて体脂肪率を算出した。

$$\% \text{ fat} = (4.570/D - 4.142) \times 100$$

トレーニング

トレーニングは、自転車エルゴメーターを用い、LT に相当する仕事率でペダル回転速度を 1 分当たり 50 回転に規定して行った。トレーニング時間および頻度は、1 回 60 分間、週あたり 5 回、6 週間 (計 30 回) 実施した。トレーニング 15 回終了後、最大下ランプ式

漸増運動負荷試験を実施し、LTに相当する仕事率を決定してトレーニングの運動強度を修正した。

呼吸ガス分析

運動負荷試験中の1分間ごとの呼吸ガスは、ダグラスバック法を用いて採取し、双胴式レスピロメーター (Fukuda Irika 社製, CR-20) を用いて呼吸ガス量 ($\dot{V}E$) を、さらに、ガス分析器 (Arco System 社製, Arco-1000, 千葉) を用いて呼吸酸素濃度 (FEO_2) と呼吸二酸化炭素濃度 ($FECO_2$) を測定し、 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、RQ を算出した。ガス分析器は、各測定の前直前に標準ガスを用いて較正した。

血中乳酸分析及び LT の決定

安静時及びウォーミングアップ終了後、30秒もしくは60秒ごとに耳朶より20 μ Lの採血を行った。更に、運動終了3分後と5分後に採血を行った。採血直後に、溶血剤と希釈液の入ったスピッツに血液を投入し、十分に攪拌した後に、固定化酵素法 (EFK 社製 BIOSEN5040, Germany) を用いて LA 濃度を測定した。LTに相当する仕事率の判定は、独立変数に漸増運動負荷試験中の仕事率 ($\dot{W}$) を、従属変数にそのときの LA 濃度をプロットしたグラフより5名の熟練者が目視でLTを決定し、最高値と最低値を除いた3名の平均値をLTとして採用した。

計算方法

総エネルギー消費量と総脂質燃焼量

LT_w に相当する固定運動負荷試験中のRQは、30分目から60分目までの4点の平均値を採用し、Weirの式 (1949) より運動中の総エネルギー消費量 (TEE) を算出した。

$$TEE(kcal \cdot min^{-1}) = 3.9 \times \dot{V}O_2 + 1.1 \dot{V}CO_2$$

総脂質燃焼量 (TFO; $g \cdot min^{-1}$) は、Fraynの式 (1983) を用いて算出した。

$$TFO = 1.67 \times \dot{V}O_2 - 1.67 \times \dot{V}CO_2 - 1.92n$$

運動中のタンパク質排出量 (n) は、 $135 \mu g \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ とした (Carraro *et al.*, 1990)。このタンパク質排出量の推定値には、30%の誤差が含まれるが、算出した運動中の脂質と糖質の酸化量には影響しない (Romijn *et al.*, 1993)。脂質1gあたりの熱産生量を9.5kcalとして、脂質によるエネルギー産生量を算出した (Friedlander *et al.*, 1999)。脂肪酸 (FA) 酸化量 ($\mu mol \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) は、トリグリセリド (TG) 1分子にFAが3分子含まれることから、平均的なTGの分子当量 $860 g \cdot mol^{-1}$ (Frayn, 1983)

を3倍して算出した。

統計処理

解析結果は全て平均値と標準偏差で示した。トレーニング前後のLTに相当する仕事率 (watts)、及び、固定運動負荷試験中のHR、 $\dot{V}O_2$ 、LA、RQの平均値の差の検定にはWilcoxonの符号順位検定を用いた。固定運動負荷試験中の $\dot{V}O_2$ 、LA、RQの経時的变化の比較には、繰り返しのある二元配置の分散分析 (Two way repeated ANOVA) を行い、有意な差が認められた場合は、FisherのPLSD法を用いて多重比較検定 (post hoc test) を行った。全ての統計解析はStat View (version 5.0.1, SAS Institute, Cary, NC., U.S.A) を用い、いずれの検定も有意水準は5%に設定し、10%を傾向ありとした。

結 果

被検者の身体特性

6週間の自転車エルゴメーターを用いたLT強度トレーニング前後の被検者特性の比較をTable 1に示した。被検者の体重、体脂肪率、 $\dot{V}O_2 \max$ に有意な変化は認められなかった。単位体重当たり $\dot{V}O_2 \max$ は $47.9 \pm 7.1 mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ から $49.0 \pm 6.1 mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ へと2.5%の有意な増加が認められた ($p < 0.05$)。LTに相当する仕事率は 102 ± 18 watts から 131 ± 21 watts へと、28.9 $\pm$ 13.9%の有意な増加を示した ($p < 0.05$)。トレーニング前と比較してトレーニング後で、最大仕事率は $6.1 \pm 3.2\%$ の有意な増加 (245 ± 26 watts から 261 ± 31 watts) が認められた ($p < 0.05$) が、HR max と LA max は差が認められなかった。

固定運動負荷試験中の時間経過的变化

固定運動負荷試験中の単位体重当たり $\dot{V}O_2$ は、pre- LT_w に対して、Post- LT_w では有意な増加が認められたが ($p < 0.05$)、Postabs- LT_w では変化が認められなかった (Fig. 1-A)。RQは、Pre- LT_w に対して、Post- LT_w は差がなく、Postabs- LT_w では有意な低下が認められた ($p < 0.05$) (Fig. 1-B)。LAは、postabs- LT_w とpre- LT_w 、post- LT_w のそれぞれの関係において有意な変化が認められたが (いずれも $p < 0.05$)、pre- LT_w とpost- LT_w の間には有意な差は認められなかった (Fig. 1-C)。

LT強度での固定運動負荷試験における30分目から60分目までのHR、 $\dot{V}O_2$ 、RQの平均値のトレーニング前後の比較をTable 2に示した。トレーニング前後の平均値の比較をしたところ、LTに相当する仕事

Table 1. Subject characteristics before and after the intervention period.

	before training	after training	difference (%)
Age, yr	26 $\pm$ 7		
Height, cm	169.8 $\pm$ 2.6		
Weight, kg	62.17 $\pm$ 2.39	61.83 $\pm$ 2.39	-0.54 $\pm$ 1.52
Body fat, %	10.72 $\pm$ 4.30	9.83 $\pm$ 4.51	-7.90 $\pm$ 22.04
fat mass, kg	6.72 $\pm$ 2.90	6.13 $\pm$ 2.94	-8.35 $\pm$ 22.23
FFM, kg	55.45 $\pm$ 2.19	55.70 $\pm$ 2.39	0.46 $\pm$ 2.24
$\dot{V}O_2$ max, mL $\cdot$ min $^{-1}$	2977.2 $\pm$ 450.2	3026.5 $\pm$ 391.5	2.0 $\pm$ 3.4
$\dot{V}O_2$ max/wt, mL $\cdot$ kg $^{-1}$ $\cdot$ min $^{-1}$	47.9 $\pm$ 7.1	49.0 $\pm$ 6.1*	2.5 $\pm$ 3.4
W max, watts	245 $\pm$ 26	261 $\pm$ 31*	6.1 $\pm$ 3.2
HR max, beat $\cdot$ min $^{-1}$	192 $\pm$ 10	191 $\pm$ 6	-0.3 $\pm$ 5.3
LA max, mmol $\cdot$ L $^{-1}$	12.31 $\pm$ 1.61	12.22 $\pm$ 1.94	-0.40 $\pm$ 12.82

Values are means $\pm$ SD (n=8 subjects). FFM, fat free mass; $\dot{V}O_2$ max, maximal oxygen uptake; W max, maximal workload; HR max, maximal heart rate; LA max, maximal blood lactate concentration. *Significantly different from before intervention ($p<0.05$). †Significantly different from after intervention ($p<0.05$).

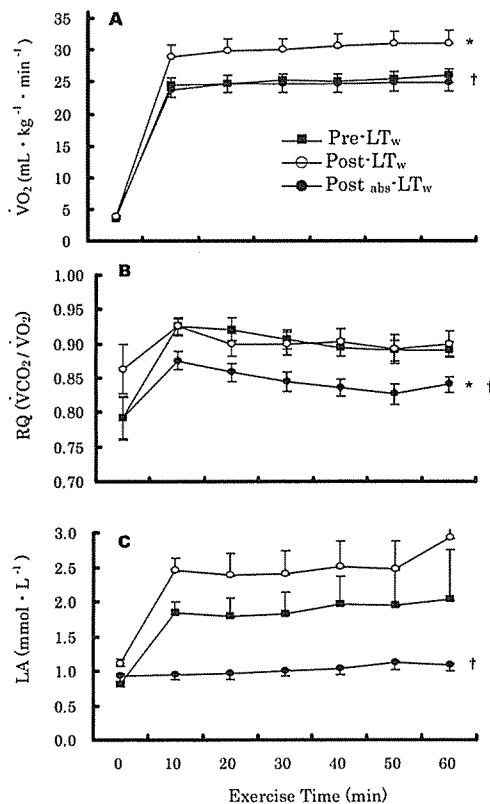


Fig. 1. Oxygen consumption ($\dot{V}O_2$; A), respiratory quotient (RQ; B), and blood lactate concentrations (LA; C) at rest and during 60 min of exercise (n=8). Values are mean $\pm$ SEM. Solid square, the workload of LT before the training (pre-LTw); open circle, the workload of LT after the training (post-LTw); solid circle, the workload of pre-LT again in the post-training period (post-abs-LTw). *Significantly different from before intervention ($p<0.05$). †Significantly different from after intervention ($p<0.05$).

Table 2. Cardiorespiratory and metabolic factors during fixed workload exercise before and after the intervention period.

	Pre-LT _w	Post _{abs} -LT _w	Post-LT _w
Workload, watts	102±18	102±18	131±21*
HR, beat·min ⁻¹	138±16	125±13 [†]	152±19
$\dot{V}O_2$, mL·min ⁻¹	1582.4±188.4	1540.4±213.0 [†]	1896.5±318.0*
$\dot{V}O_2$ /wt, mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹	25.4±2.52	24.7±3.3 [†]	30.7±4.90*
% $\dot{V}O_2$ max	53.9±8.6	51.1±5.5	62.9±8.9*
LA, mmol·L ⁻¹	1.9±1.22	1.1±0.2 [†]	2.6±1.10
RQ	0.90±0.03	0.84±0.03* [†]	0.89±0.05

Values are means±SD (n=8 subjects). HR, heart rate; $\dot{V}O_2$, oxygen uptake; LA, blood lactate concentration; RQ, respiratory quotient. *Significantly different from before intervention ($p<0.05$). [†]Significantly different from after intervention ($p<0.05$).

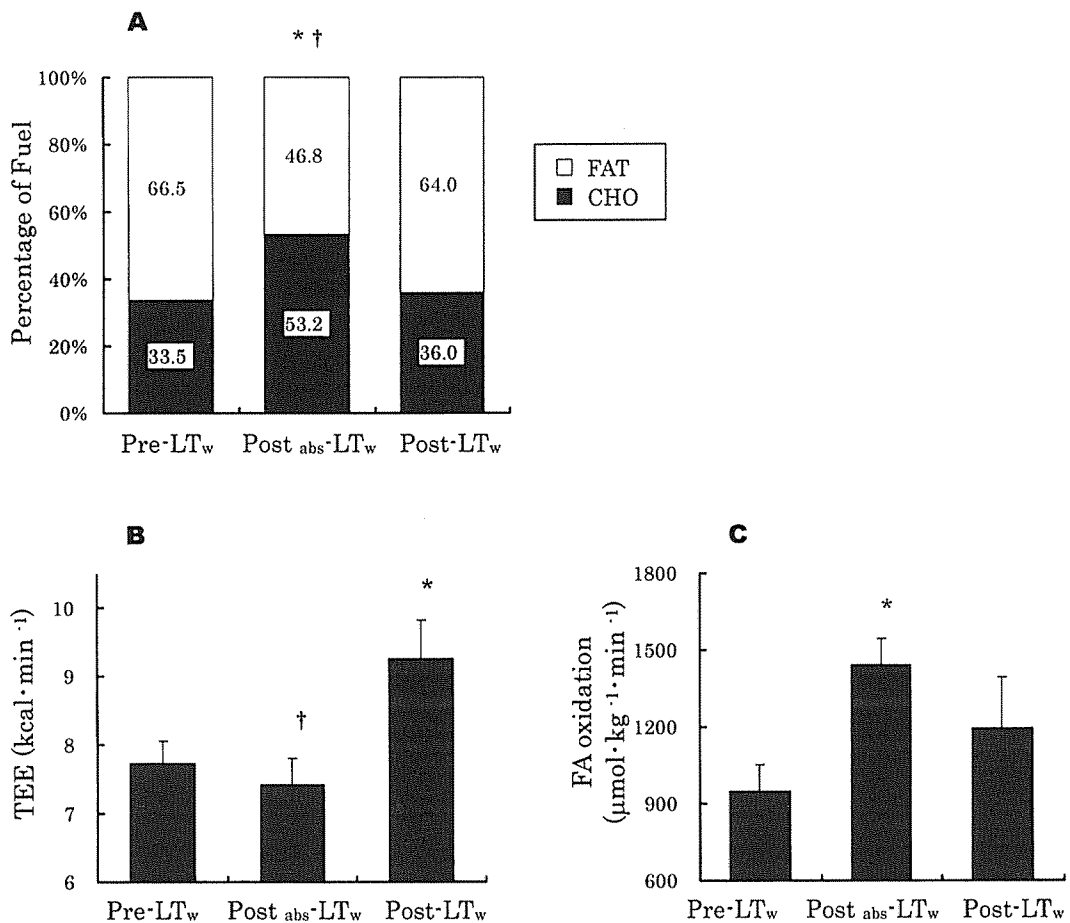


Fig. 2. Effect of training on the proportion of substrate utilized (A), total energy expenditure (TEE; B) and free fatty acid oxidation (FA; C) during 60 min of exercise (n=8). Values are mean±SEM. Pre-LT_w, the workload of LT before the training; post-LT_w, the workload of LT after the training; post_{abs}-LT_w, the workload of pre-LT again in the post-training period. *Significantly different from before intervention ($p<0.05$). [†]Significantly different from after intervention ($p<0.05$).

率での運動中の $\dot{V}O_2$ が $\dot{V}O_2$ max に占める割合 ($\% \dot{V}O_2$ max-LT) は $17.6 \pm 14.9\%$ ($53.9 \pm 8.6\%$ から $62.9 \pm 8.9\%$ へ), 有意な増加が認められた ($p < 0.05$). $\dot{V}O_2$ ならびに体重あたり $\dot{V}O_2$ は Pre-LT_w に対して, Post-LT_w と Post_{abs}-LT_w との間に有意な差が認められたが ($p < 0.05$), Pre-LT_w と Post-LT_w の間には差が認められなかった. LA は, Pre-LT_w と Post-LT_w の間には差が認められず, Post_{abs}-LT_w と Post-LT_w との間に有意な差が認められた ($p < 0.05$). RQ は, Pre-LT_w と Post-LT_w の間には差が認められず, Post_{abs}-LT_w では両者との間に有意な低下が認められた ($p < 0.05$).

脂質代謝の比較

固定運動負荷試験中に動員されるエネルギー基質に占める脂質の割合は, Pre-LT_w と Post-LT_w の間には差が認められず, Post_{abs}-LT_w では両者との間に有意な増加が認められた ($p < 0.05$) (Fig. 2-A). 運動中の総エネルギー消費量は, Post-LT_w が Pre-LT_w, Post_{abs}-LT_w の両者よりも有意に高値を示した ($p < 0.05$) (Fig. 2-B). 運動中の FA oxidation 量は, Pre-LT_w と Post-LT_w の間には差が認められず, Post_{abs}-LT_w では Pre-LT_w との間に有意な増加が認められた ($p < 0.05$) (Fig. 2-C).

考 察

固定運動負荷試験中の $\dot{V}O_2$

6 週間の LT トレーニングで, LT に相当する仕事率 (LT_w) が 29% 増加した. LT_w の増加に伴い, 固定運動負荷試験中の Pre-LT_w と Post-LT_w との経時変化の比較では, $\dot{V}O_2$ に有意な増加が認められ, LA, RQ に差は認められなかった. 進藤ら (1980) は, 898 名の被検者を対象として, $\dot{V}O_2$ と仕事率 ($\dot{W}$) との関係調べたところ, 両変数の間には非常に高い相関関係 ($r = 0.980$) を認めている. したがって, トレーニング後の $\dot{V}O_2$ の増加は, $\dot{W}$ の増加によるものと考えられる. $\dot{W}$ の増加にもかかわらず, LA, RQ に差が認められていないことから, トレーニングによって骨格筋の酸化能力が高まったものと考えられる. Post_{abs}-LT_w での固定負荷試験では, Pre-LT_w と比較して $\dot{V}O_2$ に差が認められず, LA, RQ に有意な低下が認められた. Carter *et al* (2001) は, 8 名の成人男性 (平均年齢 22 歳) を対象として, 60% $\dot{V}O_2$ max 強度で 7 週間の運動トレーニングを実施し, トレーニング前後に同一運動強度 (トレーニング前の 60

% $\dot{V}O_2$ max 強度) で 90 分間の固定運動負荷試験を行った結果, トレーニング前に対してトレーニング後の $\dot{V}O_2$ は, 60 分目までは差が認められなかったが, 75 分目と 90 分目では有意な低下を認めている. さらに, RQ では, トレーニング後に有意な低下を認めている. これらの結果は, 60 分間の固定運動負荷試験である本研究の結果と一致する.

固定運動負荷試験中の脂質代謝

トレーニング前後で同一運動強度での, 脂質の燃焼比率は 68%, FA 酸化量は 60% 増加した. ところが, 運動負荷試験中の $\dot{V}O_2$ が $\dot{V}O_2$ max に占める割合 ($\% \dot{V}O_2$ max-LT) は, 54% $\dot{V}O_2$ max から 51% $\dot{V}O_2$ max へと -4% の変化に止まっている. すなわち, これらは相対的運動強度が同一であるにもかかわらず, 脂質酸化量が増加していることから, 主働筋での脂質酸化能力が亢進した結果, 糖質の利用が抑制されたことを示唆するものと考えられる.

要 約

本研究は, LT 強度でのトレーニングが脂質代謝能力に及ぼす影響を, 全身の酸素利用系の指標である RQ から検討した. 成人男性 8 名を対象として, 60 分間の LT トレーニングを 6 週間実施した. トレーニング前の LT 強度 (Pre-LT_w) とトレーニング後の LT 強度 (Post-LT_w), ならびにトレーニング後にトレーニング前の LT 強度 (Post_{abs}-LT_w) の計 3 回の 60 分間固定運動負荷試験を実施した. LT に相当する仕事率は, トレーニング前後で, 102 ± 18 watts から 131 ± 21 watts へと有意に増加した ($p < 0.05$). 固定運動負荷試験中の 30 分目から 60 分目までの平均 $\dot{V}O_2$ は, Pre-LT_w (1582.4 ± 188.4 mL $\cdot$ min⁻¹) に対して, Post-LT_w (1896.5 ± 318.0 mL $\cdot$ min⁻¹) では $19.8 \pm 14.1\%$ の有意な増加が認められたが ($p < 0.05$), post_{abs}-LT_w (1540.4 ± 213.0 mL $\cdot$ min⁻¹) では変化が認められなかった. 平均 RQ は, Pre-LT_w では 0.90 ± 0.03 に対して, Post-LT_w は差がなく, Post_{abs}-LT_w では有意な低下が認められた (post ; 0.90 ± 0.05 , Post_{abs} ; 0.84 ± 0.03 , $p < 0.05$). LT 強度の自転車エルゴメーターを用いたトレーニングは, トレーニング前後で同一運動強度での運動中の脂質の燃焼比率を 68%, FFA 酸化量を 60% 増加した. これらの結果から, 同一運動強度での RQ の低下は, 主働筋での脂質酸化能力が亢進した結果, 糖質の利用が抑制されたことを示唆するものと考えられる.

文 献

- American College of Sports Medicine 2001 *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 6th ed.* Lippincott Williams & Wilkins. (U.S.A)
- Astrand, P. O. and K. Rodahl 1970 *Text-book of work physiology.* McGraw-Hill. (U.S.A)
- Atwater, W. O. and F. G. Benedict 1903 *Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body.* USDA, Office of Experimental Stations, Bulletin No.136 (U.S.A.)
- Brozek, J. and A. Keys 1951 The evaluation of leanness fatness in man: Norms and interrelationships. *Brit. J. Nutrition.*, 5: 194-206.
- Carraro F., C. A. Stuart, W. H. Hartl, J. Rosenblatt, R. R. Wolfe 1990 Effect of exercise and recovery on muscle protein synthesis in human subjects. *Am. J. Physiol.*, 259(4 Pt 1): E470-476.
- Carter, S. L., C. Rennie and M. A. Tarnopolsky 2001 Substrate utilization during endurance exercise in men and women after endurance training. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 280: E898-E907
- Deborah, A. P., P. A. Munger and R. Mazzeo 1991 Plasma catecholamine and lactate response during graded exercise with varied glycogen conditions. *J. Appl. Physiol.*, 71(4): 1427-1433
- Dorien, P. A., W. H. Saris, A. J. Wagenmakers, G. B. Hul and M. A. van Baak 2001 The Effect of Low-Intensity Exercise Training on Fat Metabolism of Obese Women. *Obesity Research* 9: 86-96
- Coggan A. R., R. J. Spina, D. S. King, M. A. Rogers, M. Brown, P. M. Nemeth and J. O. Holloszy 1992 Skeletal muscle adaptations to endurance training in 60- to 70-yr-old men and women. *J. Appl. Physiol.*, 72(5): 1780-1786
- Consolazio, C. F., R. E. Johnson and L. J. Pecora 1963 *Physiological measurements of metabolic functions in man.* McGRAW-HILL Book Company, (new York), pp.1-59
- Frayn, K. N. 1983 Calculation of substrate oxidation rates in vivo from gaseous exchange. *J. Appl. Physiol.*, 55(2): 628-634
- Friedlander, A. L., G. A. Casazza, M. A. Horning, A. Usaj and G. A. Brooks 1999 Endurance training increases fatty acid turnover, but not fat oxidation, in young men. *J. Appl. Physiol.*, 86(6): 2097-2105
- Henriksson, J. 1977 Training induced adaptation of skeletal muscle and metabolism during submaximal exercise. *J. Physiol. (Lond.)*, 270: 661-675
- Hurley, B. F., P. M. Nemeth, W. H. Martin 3rd, J. M. Hagberg, G. P. Dalsky and J. O. Holloszy 1986 Muscle triglyceride utilization during exercise: effect of training. *J. Appl. Physiol.*, 60: 562-567
- Ivy, J. L., R. T. Wethers, P. J. Van Handel, D. H. Elger and D. L. Costill 1980 Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J. Appl. Physiol.*, 48: 523-527
- Martin, W. H., 3rd, G. P. Dalsky, B. F. Hurley, D. E. Matthews, D. M. Bier, J. M. Hagberg, M. A. Rogers, D. S. King and J. O. Holloszy 1993 Effect of endurance training on plasma free fatty acid turnover and oxidation during exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 265: E708-E714
- Mendenhall, L. A., S. C. Swanson, D. L. Habash and A. R. Coggan 1994 Ten days of exercise training reduces glucose production and utilization during moderate-intensity exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 266: E136-E143
- Rebecca, J. T., K. A. Mehan, G. D. Wadley, G. R. Collier, A. Bonen, M. Hargreaves and D. C. Smith 2002 Exercise training increases lipid metabolism gene expression in human skeletal muscle. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 283: E66-E72
- Romijn, J. A., E. F. Coyle, L. S. Sidossis, A. Gastaldelli, J. F. Horowitz, E. Endert and R. R. Wolfe 1993 Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 265: E380-E391
- 進藤宗洋 1973 呼吸とエネルギー代謝. 猪飼道夫編著: 身体運動の生理学. 杏林書院, 東京, 176-203頁
- 進藤宗洋・田中宏暁 1973 自転車運動によるトレーニング-90% $\dot{V}O_2$ max 15分間3回/週-. 体育科学, 1: 5-13
- 進藤宗洋・田中宏暁・小原史朗・徳山郁夫 1974 中高年者の自転車エルゴメーターによる50% $\dot{V}O_2$ max 強度の60分間トレーニング. 体育科学, 2: 139-152

- 進藤宗洋・田中宏暎・小原 繁 1975 自転車エルゴメーターによる 50% $\text{VO}_2 \text{max}$, 60分間トレーニングが成人女子におよぼす影響. 体育科学, 3: 58-67
- 進藤宗洋・田中宏暎・松本謹吾・小原 繁 1976 中年夫人への自転車エルゴメーターによる 50% $\text{VO}_2 \text{max}$ 強度の60分間トレーニングの効果. 体育科学, 4: 77-88
- 進藤宗洋・田中宏暎・北嶋久雄・森 洸・黒田吉男 1980 エルゴメトリー—有酸素の運動による負荷検査—. 臨床病理, 28(1): 12-18
- 進藤宗洋・田中宏暎・佐々木淳・松本摂子・近藤芳昭・森山善彦・佐田禎造・荒川規矩男・生田純男・今村英夫・水原博而・松本謹吾 1981 血清脂質・アポ脂質蛋白質および生理学的測定に対するトレーニング効果の経時的観察. 体力科学, 30: 323
- Sial, S., A. R. Coggan, R. C. Hickner and S. Klein 1998 Training-induced alterations in fat and carbohydrate metabolism during exercise in elderly subjects. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 274: E785-E790
- 田中宏暎・進藤宗洋・徳島 了・福田英明・宅島 章・荒尾章三・出口悦大・中村誠三・久野則一 1983 体育授業に利用可能な走テストからの血中乳酸の変移点に相当する走行スピードの推定—青年男子について—. 体育科学, 11: 58-62
- 吉田豊和・石井 睦・森山善彦・河野知記・佐々木靖・広木忠行・荒川規矩男・田中宏暎・進藤宗洋 1982 冠動脈疾患患者に対する運動療法の新しい試み—血中乳酸濃度を指標とする運動療法—. 脈管学, 22: 702
- 吉田豊和・田中宏暎・進藤宗洋・佐々木淳・荒川規矩男 1984 冠動脈疾患患者の運動療法: 血清リポ蛋白の変動. 動脈硬化, 12(5): 1215-1220
- Weir, J. B. 1949 New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J. Physiol.*, 109: 1-9

Summary

The effects of exercise training at the lactate threshold (LT) on fat oxidation in whole body were investigated. The 8 healthy men trained on cycle ergometer for 6-weeks (60 min, 5 times per week). They performed the fixed intensity exercise test at the workload of LT before the training (pre-LT), after the training (post LT) in each period, and at the workload of pre-LT (post abs-LT) again in the post-training period. The workload at LT before training was 102 ± 18 watts, and increased to 131 ± 21 watts after training ($p < .05$). During the fixed intensity exercise test, the mean of oxygen uptake from 30' to 60' at pre-LT before training was 1583.2 ± 203.5 ml/kg/min and 1541.97 ± 230.1 at post abs-LT and increased to 1893.1 ± 343.4 at post LT ($p < .05$). The mean of RQ at pre-LT was 0.90 ± 0.03 and decreased to 0.84 ± 0.03 at post abs-LT ($p < .05$), and did not change at post LT. During the exercise at same workload, the exercise training at LT increased the percentage of fat in total energy expenditure to 68% and the amount of FA oxidation to 60%. From these results, the decreases in RQ at the same intensity exercise suggest that advanced capacity of fat oxidation in skeletal muscle lead to inhibit glucose utilization.