

青年期の運動鍛錬者が長期間休止後に再開したときの身体諸機能の変化とその対策

聖マリアンナ医科大学 吉岡利忠
(共同研究者) 同 山田幸宏
鹿屋体育大学 竹倉宏明
同 宮地元彦

Changes in the Physiological Functions of Human Body During Re-Training After Discontinuing Physical Exercise for Long Periods

by

Toshitada Yoshioka, Yukihiro Yamada
*Department of Physiology, St. Marianna University
School of Medicine*

Hiroaki Takekura, Motohiko Miyachi
*Department of Physiology and Biomechanics,
National Institute of Fitness and Sports*

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine exercise ability after discontinuing physical exercise for long periods. The Wistar strain rats were divided into three groups, consisting of sedentary control (C), endurance exercise for 20 weeks (CT), and training discontinuation for 8 weeks (ST) after continuous exercise for 12 weeks. Arterial and venous blood samples and biochemical substances from the heart, liver, and muscles were analyzed immediately after acute exercises. A decrease of blood glucose induced by exercise was shown in ST, and blood lactate was significantly elevated in ST in comparison with CT. The concentrations of tissue glycogen of ST and CT were not significantly different. The level of lactate content was tented to increase in some tissues, especially in the muscles of SOL and EDL from

ST. In the SOL muscle, the enzyme capacities of CK, LDH, SDH, and MDH were increased in CT, ST, and C, in descending order. Significant differences in SDH and MDH activities were seen in C as well as CT in comparison to ST. On the other hand, the enzyme capacities from EDL muscle did not alter with exercise in comparison to those of SOL. We speculate that these negative effects on biochemical substrates produced by acute heavy exercise after training discontinuation for 8 weeks might be greater than that of the continuous exercise group. Therefore, it is necessary to consider exercise ability without overestimating of the former training capacity when re-training is begun in the future.

要 旨

一定期間のトレーニングを行ない、長期間の休息後再び運動を行った際の身体諸機能の変化を検討することにより、安全な運動処方に関する基礎的資料を提供する目的で Wistar 系雄性ラットを対象として実験を行った。実験は持久的トレーニングを行った(12週間)後、休息させた(8週間)群(ST)と持久的トレーニングを継続して行っていた(20週間)群(CT)に一過性の持久的運動を负荷した直後の動静脈血中および筋中生化学物質の動態を比較して行なった。

一過性の運動に伴う血中グルコースの低下および血中乳酸の上昇はST群がCT群に比して顕著であり、血中乳酸に関しては両群間に有意な差が認められた。組織中のグリコーゲンの減少にはいずれの組織においても、ST群とCT群の間には有意な差は認められなかった。しかし、各組織における乳酸含有量の上昇に関しては、特に骨格筋(SOL, EDL)においてST群がCT群に比して高値を示す傾向が認められた。一過性の運動直後の骨格筋中酵素活性値(CK, LDH, SDH, MDH)の動態は、SOLにおいてCT, ST, C群の順に高値を示し、SDHとMDHに関してはC, CT両

群間に有意な差が認められた。EDLについてはいずれの酵素においても、各群間に有意な差は認められなかった。

以上のような結果より、トレーニング休止8週間後に行わせた一過性の運動に対する生体負担度はトレーニングを継続していた群に比して、はるかに大きい可能性が示唆された。従って、トレーニング休止後の再開に対しては、以前のトレーニングの効果を過大評価せず、十分な配慮をすることが必要である。

緒 言

近年、いわゆる医学の概念が予防医学へと変化するとともに、機械文明の発展に伴う余暇時間の増大を背景として、スポーツ人口の急増が一つの社会現象となっている。これに伴いスポーツ活動中の突然死も増加し⁴⁾、スポーツは単に生体に対して望ましい影響を与えるだけでなく、多大なストレスを与える可能性も考えられてきており²⁴⁾、大きな問題となっている。各種スポーツに対する生体の負担度を血中生化学物質の動態より検討し、安全な運動処方に役立てようとする試みも数多く報告されている^{12,15,10)}が、個人個人の防衛・行動体力の相違、スポーツの種類等の相違等の

条件の複雑さを反映して未だ十分な成果をあげるには至っていない。

また、急性の運動を行わせた際の血中逸脱酵素活性値²⁰⁾、および骨格筋中酵素活性値²³⁾の動態を検討することにより、スポーツの生体に対する負担度を検討した試みも報告されている。Takekura and Yoshioka²⁸⁾は、全くトレーニングを行っていないラットにはほぼ $100\% \dot{V}O_{2\max}$ に相当する強度のランニングを行わせた直後から3日後までの筋中酵素活性値の経時的変化を検討している。

その結果、運動終了直後に解糖・酸化両系酵素活性値の顕著な上昇が認められ、代謝の著しい亢進が考えられる。また、運動直後に認められる各種酵素活性値の上昇は、従来よりトレーニングを継続してきたラットの場合の上昇²²⁾より顕著であることから、急性の運動に対する生体負担度の大きさが示唆される。

日本には古来より「昔取ったきねづか」という言葉があるように、ある程度の期間トレーニングを積んでおくことにより、たとえそのトレーニングを中断したとしても以前のトレーニングの効果が永続するかなのような風潮がある。

しかし、このことが果して運動に対する生体負担度の軽減にも適応するか否かは疑問である。すなわち、過去にある程度のトレーニングを重ねた後に、一定期間の休息期間において再び運動を再開した際の安全性に過去のトレーニングが何等かの意味を持つか否かは全く疑問である。

そこで本研究では、過去にトレーニングを行わせたラットにある程度の休息期間をおいた後、一過性の運動を行わせた直後の血中および筋中生化学物質の動態を、トレーニングを継続して行っていたラットに、同一強度の運動を行わせた際のそれと比較することにより安全な運動処方に関する基礎的資料を提供することを目的とした。

方 法

実験動物には生後3週齢より飼育を開始した Wistar 系雄性ラット 15匹を用いた。各群5匹ずつ、1) sedentary control (C) : 通常通りケージ内にて飼育、2) continuous training (CT) : 飼育終了時までトレーニングを継続、3) stop training (ST) : 生後15週齢までトレーニングを行わせ以後飼育終了時まで安静飼育、の3群に分類した。

トレーニングは小動物用トレッドミル(シナノ製作所)を用いて前報²⁰⁾記載の方法により行わせた。すなわち、生後10週齢時まで走行速度、および走行時間を漸増し、以後一定に保った。一定負荷としては、毎分35mの速度で120分間の連続走行を傾斜0度で行わせることとした。

トレーニングは1日1回、週5日の頻度で行わせ、水・飼料は飼育全期間を通じて自由摂取とした。また飼育環境は、室温 23°C、湿度 55% に保ち12時間サイクルで照明を点灯した。このような条件で23週間飼育(生後26週齢時)まで飼育した後、分析に供した。従って、CT群は、20週間のトレーニングを継続して行なわせ、ST群は12週間のトレーニングを行わせた後、8週間の休止期間を与えたことになる。

分析はCTおよびST群のみ毎分30mの速度で30分間の連続走行を傾斜0度で行わせた直後に、またC群については運動を行わずに開腹し、腹部大動脈および頸静脈より採取した血液(それぞれAB, VB)ならびに、同一ラットより摘出した心臓、肝臓、長趾伸筋(EDL)およびヒラメ筋(SOL)により行った。

CT群については実験の2日前にトレーニングを中断し、安静状態を保った。なお分析12時間前すべてのラットには飼料を与えず絶食状態とした。また分析直前にCTおよびST群の各ラットに行わせた走行強度は Shepherd and Gollnick¹⁶⁾によれば、おおよそラットの最大酸素摂取量の60%に相当する強度である。

分析項目としては、ABおよびVBにより、乳酸 (LA), グルコース (GL) をそれぞれ酸素法により glucose · lactate autoanalyzer (Model 23 A, Yellow Springs, Co. Ltd., USA) を用いて定量し、血球数 (赤血球 : RBC, 白血球 : WBC) およびヘマトクリット値 (Ht) は電極抵抗検出法により、ヘモグロビン量 (Hb) はシアンメトヘモグロビン法により、それぞれ自動血球計測器 (MEK-4500, 日本光電工業株式会社) を用いて定量した。

また動静脈血中ナトリウムイオン (Na^+), カリウムイオン (K^+) および塩素イオン (Cl^-) はイオン選択電極法により自動分析装置 (富士ドライケム 800, 富士フィルム株式会社) を用いて定量した。

一方、各組織を用いてグリコーゲン含有量¹³⁾, および乳酸含有量¹⁴⁾ を定量した。さらに、EDL, SOL については 1.5M の tris-HCl buffer (pH 7.5) により完全にホモジナイズした後、Suominen and Heikkinen¹⁸⁾ の方法により creatine kinase (CK, EC : 2.7.3.2), lactate dehydrogenase (LDH, EC : 1.1.1.27) および malate dehydrogenase (MDH, EC : 1.1.1.37) を定量した。

また 0.1M の phosphate buffer (pH 7.4) で完全にホモジナイズした後、Cooperstein et al.⁶⁾ の方法により succinate dehydrogenase (SDH, EC : 1.3.99.1) の定量を行った。酵素活性値はすべて international unit (I.U.)/mg protein で示し、タンパク質の定量は Goldberg¹¹⁾ の方法により行った。

各群間における測定値は平均値±標準偏差の差の検定は student *t*-test を用いて行い、いずれの場合も危険率 5% 以下をもって有意とした。

結 果

1. 体重および骨格筋重量

各群における平均体重の変化を図 1 に示した。トレーニング開始 6 週目より C 群と ST, CT 両群間に有意な ($p < 0.01$) 差が認められ、この傾向は飼育終了時まで継続した。また ST 群はトレーニング中止後 4 週目より CT 群に比して有意に ($p < 0.01$) 高値を示し、この傾向は飼育終了時まで継続した。

骨格筋重量の対体重比は SOL, EDL とともに CT (SOL : 4.65 ± 0.22 , EDL : 5.81 ± 0.08), ST (SOL : 4.43 ± 0.80 , EDL : 5.68 ± 0.48), C (SOL : 3.56 ± 0.41 , EDL : 4.06 ± 0.19) の各群順に高値を示し、SOL に関しては C と CT 群間に ($p < 0.05$) また EDL に関しては C と ST 群間 ($p < 0.05$) および C と CT 群間 ($p < 0.01$) にいずれも有意な差が認められた。

2. 血中生化学成分

血中生化学成分については血球成分および電解質を表 1 に、また血中グルコースおよび乳酸濃度を図 2 に示した。

すべての分析項目において、各群間に動静脈差は認められなかった。血球成分については、Hb, RBC, Ht において動静脈血ともに ST 群が CT 群に比して有意に ($p < 0.01$, AB の Ht のみ $p < 0.05$) 高値を示した。

Hb については動静脈血ともに、C 群が CT 群に比して有意に (AB : $p < 0.01$, VB : $p < 0.05$) 高値を示した。また、RBC, HT については ST 群が C 群に比して有意に ($p < 0.01$) 高値を示した。血中電解質については、動静脈の Na^+ , K^+ において ST 群が C 群に比して有意に (AB ; Na^+ : $p < 0.01$, K^+ : $p < 0.05$, VB ; Na^+ : $p < 0.05$, K^+ : $p < 0.01$) 高値を示した。 Na^+ については AB において ST 群と CT 群間 ($p < 0.05$), K^+ については VB において ST 群と CT 群間 ($p < 0.01$) にもそれぞれ有意な差が認められた。 Cl^- については動静脈血ともに各群間に有意な差は認め

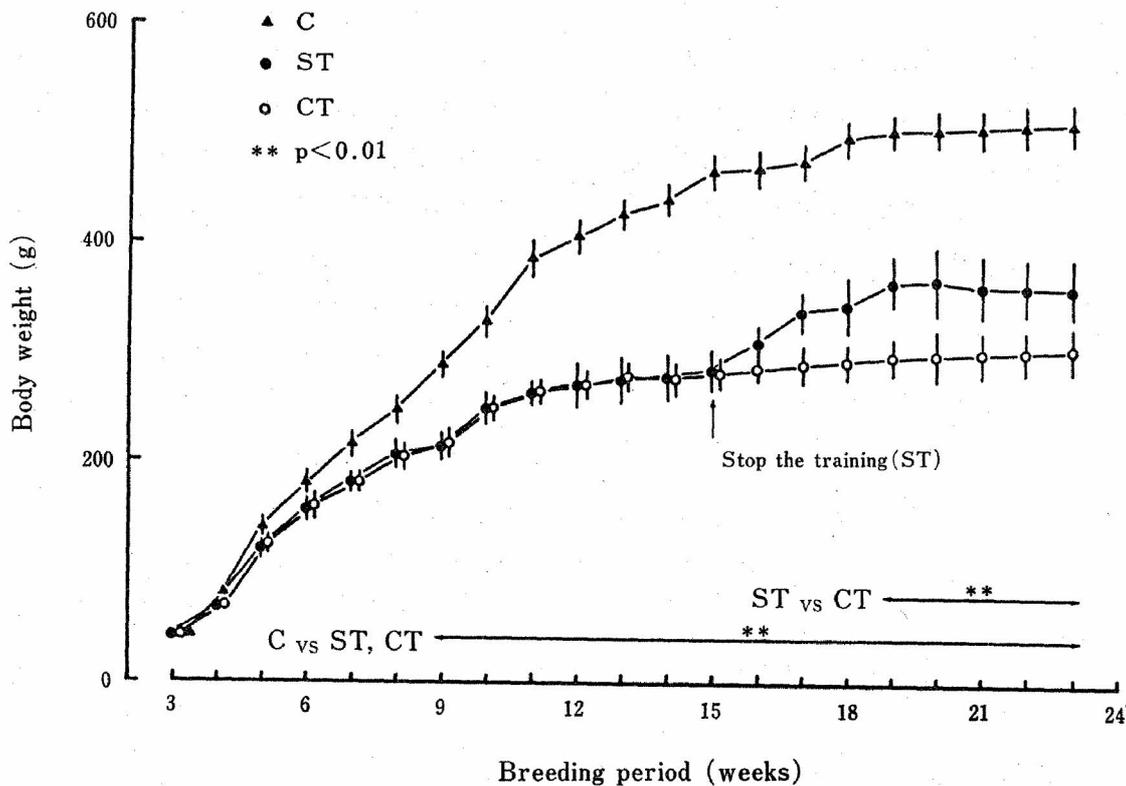


図1 各群における体重の推移

C: 対照群, ST: 12週間のトレーニング後, 8週間休息させた群,
CT: 20週間のトレーニング群

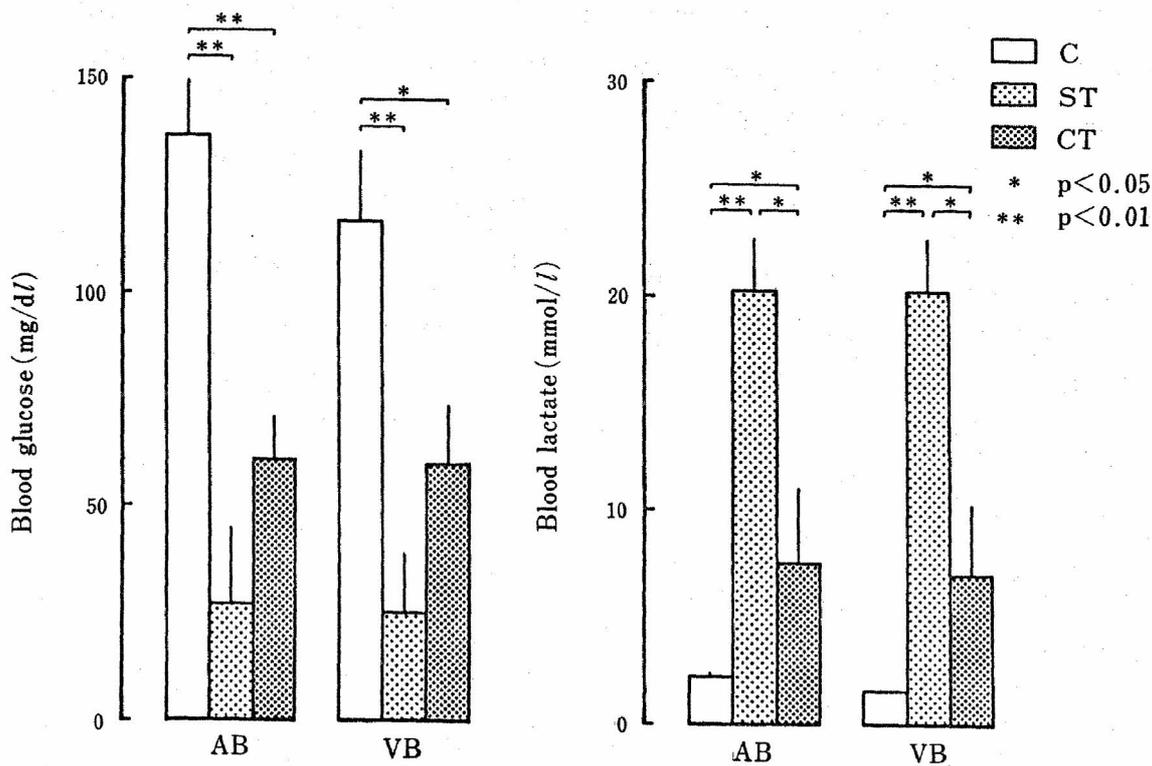


図2 血中グルコースおよび乳酸の変動

AB: 動脈血, VB: 静脈血

表1 各群における血液成分および血液生化学成分

	group	n	Hb (g/dl)	RBC ($\times 10^4/mm^3$)	WBC ($\times 10^2/mm^3$)	Ht (%)	Na ⁺ (mEq/l)	K ⁺ (mEq/l)	Cl ⁻ (mEq/l)
Arterial blood	sedentary control	5	15.4 0.3	726 61	72 21	34.8 3.2	146 1	4.0 0.1	96 1
	stop training	5	15.8 0.9	828 85	59 26	40.0 4.2	163 4	6.8 1.3	94 9
	continuous training	5	12.9 0.3	653 48	77 34	33.9 2.9	146 6	4.5 0.9	95 2
Venous blood	sedentary control	5	15.3 0.8	708 52	94 31	34.4 3.0	146 5	4.0 0.1	93 3
	stop training	5	16.5 1.0	894 52	81 25	44.0 2.4	166 9	6.4 0.4	92 4
	continuous training	5	13.5 0.4	662 40	93 27	34.0 1.7	152 5	3.5 0.2	90 1

significance; *p<0.05, **p<0.01, abbreviation; Hb: Hemoglobin, RBC: Red Blood Cell, WBC: White Blood Cell, Ht: Hematocrit

られなかった。

血中グルコース濃度は採血前のランニングに伴い動脈血中で低下する傾向を示し、C群とST、CT両群間に有意な(p<0.01, VBのC群とCT群間のみp<0.05)差が認められた。しかし、AB、VB共にCT群がST群に比して高値を示す傾向にあったが両者の間に有意な差は認められなかつ

た。血中乳酸濃度は採血前のランニングにより上昇し、AB、VB共にST、CT、C群の順に高値を示し、各群間に有意な(p<0.05, AB、VBのCとST群間のみp<0.01)差が認められた。

3. 組織グリコーゲンおよび乳酸含有量

各組織中のグリコーゲン含有量を図3に示した。肝臓、SOL、EDLではランニングによりグ

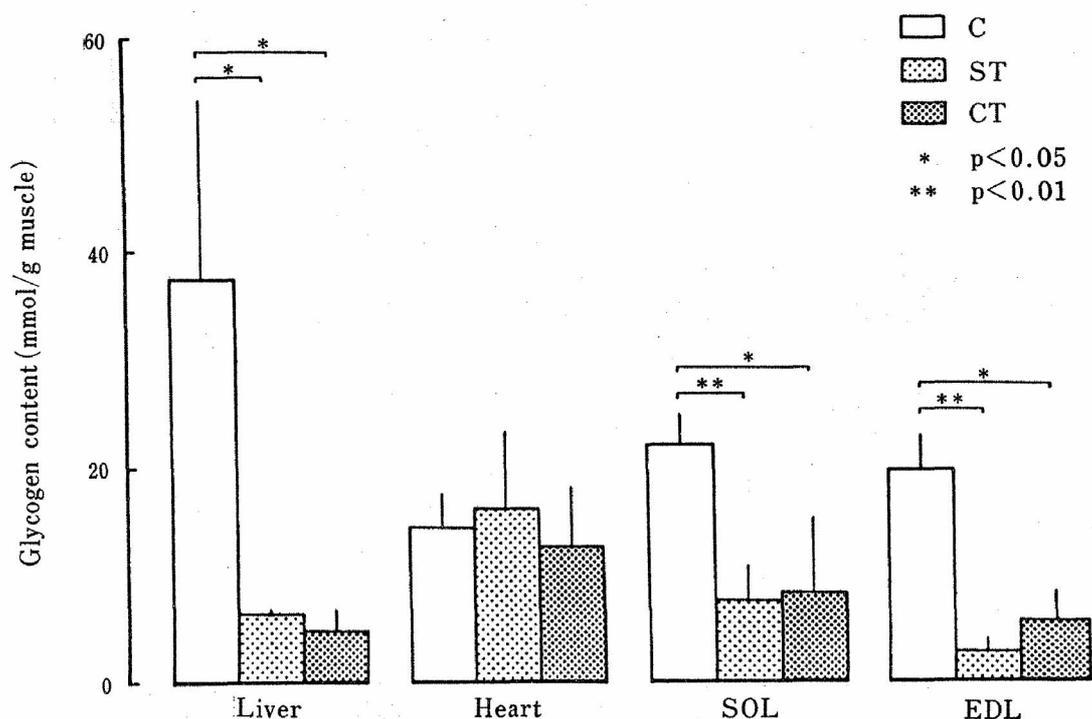


図3 肝臓、心筋、ヒラメ筋および長趾伸筋のグリコーゲン含有量の変動

リコーゲン含有量が低下し、C群とST、CT両群間に有意な ($p < 0.05$, SOL, EDLのC群とST群間のみ $p < 0.01$) 差が認められた。しかし、ST、CT群間には有意な差は認められず、心臓については各群間に有意な差は認められなかった。各組織中の乳酸含有量を図4に示した。い

れの組織においてもST、CT、C群の順に高値を示し、心臓、SOL、EDLにおいてはC群とST群間に有意な (心臓: $p < 0.05$, SOL, EDL: $p < 0.01$) 差が認められた。また、SOL、EDLの両骨格筋についてはC群とCT群間にも有意な ($p < 0.05$) 差が認められた。

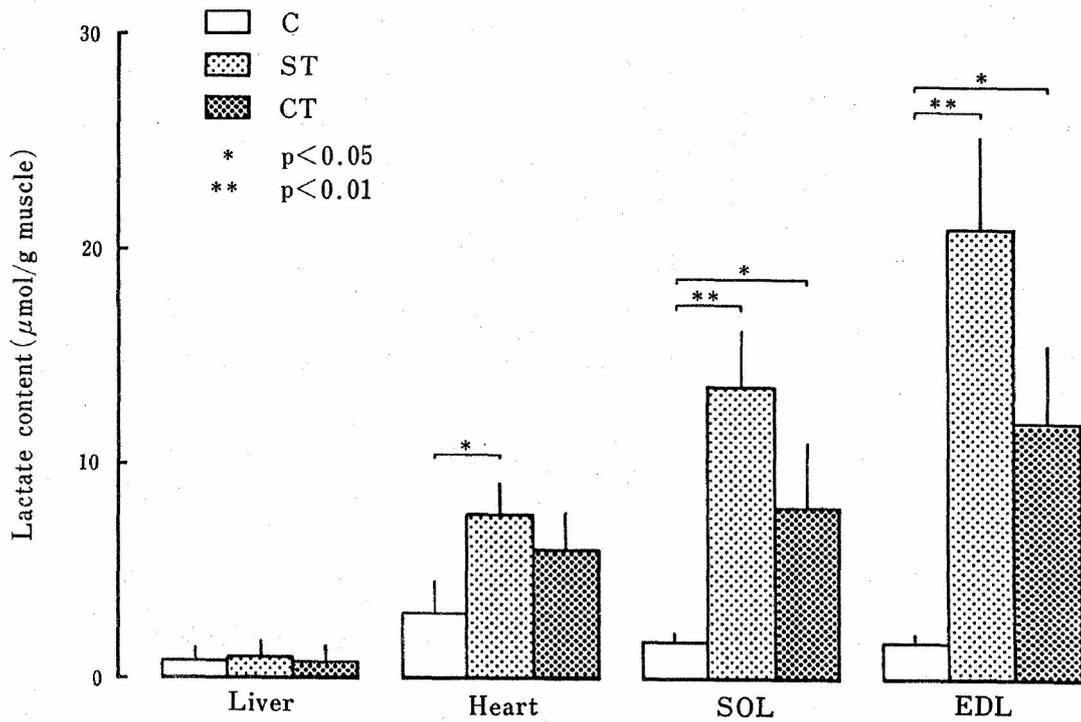


図4 肝臓、心筋、ヒラメ筋および長趾伸筋の乳酸濃度の変動

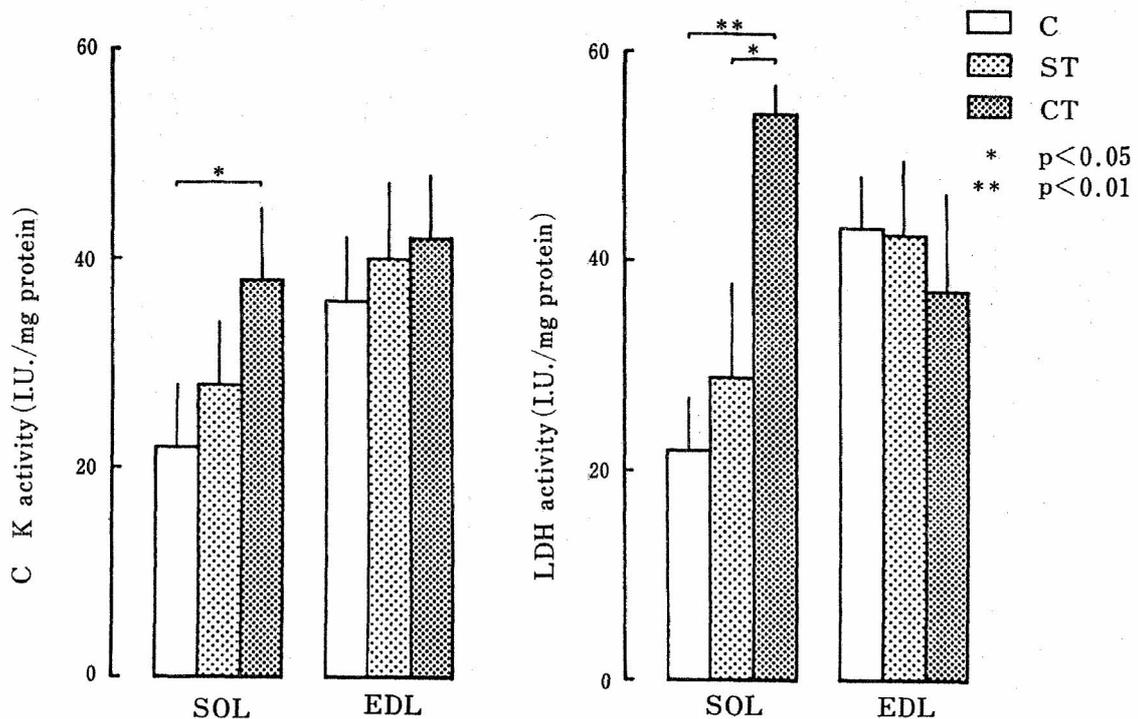


図5 ヒラメ筋 (SOL) および長趾伸筋 (EDL) おける CK, LDH 両酵素活性の推移

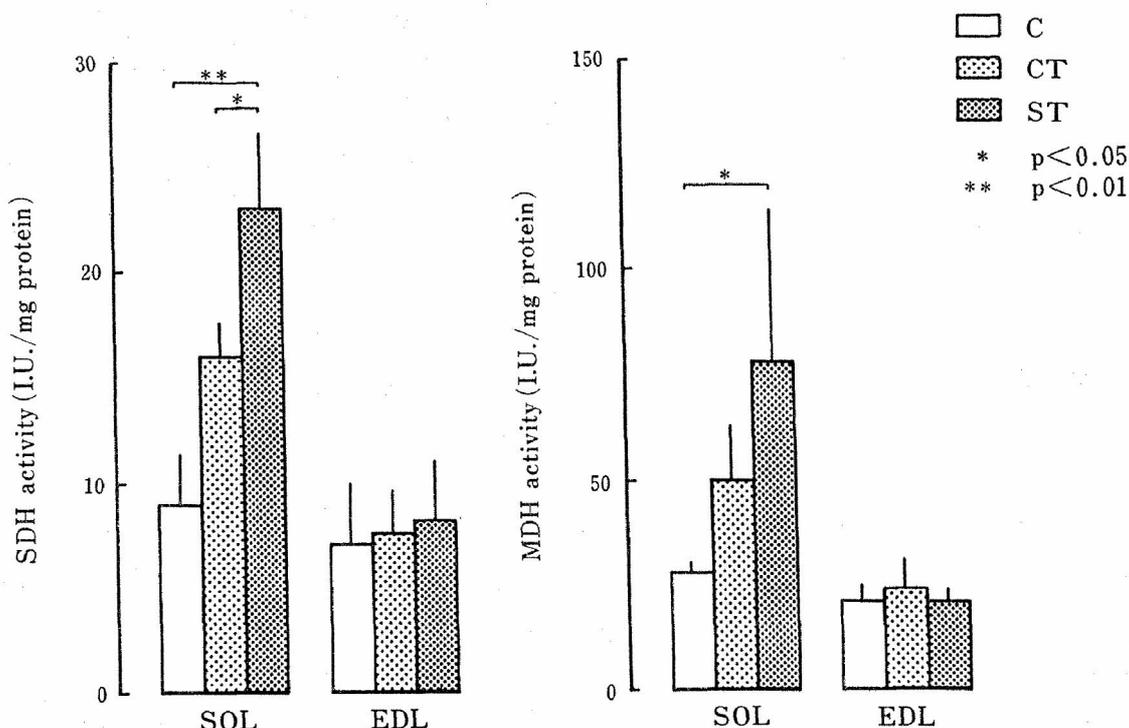


図6 ヒラメ筋 (SOL) および長趾伸筋 (EDL) における SDH, MDH 両酵素活性の推移

4. 骨格筋中酵素活性値

SOL および EDL における LDH, CK 両酵素活性値を図5に示した. CK活性値は SOL, EDL 両筋において CT, ST, C の各群の順に高値を示し, SOLではC群とCT群間に有意な ($p < 0.05$) 差が認められた. LDH 活性値は SOL において CK活性値同様, CT, ST, C 群の順に高値を示し, C群とCT群間 ($p < 0.01$), ST群とCT群間 ($p < 0.05$) にそれぞれ有意な差が認められた. 一方, EDL については各群間に有意な差は認められなかった. SOL におけるCT群のLDH活性値はEDLにおける活性値よりも高い値であった.

SOL および EDL における SDH, MDH 両酵素活性値を図6に示した. SOL における SDH, MDH 両酵素活性値は CT, ST, C の各群の順に高値を示し, C群とST群間に有意な (SDH: $p < 0.01$, MDH: $p < 0.05$) 差が認められた. また, SOL の SDH 活性値に関してはST群とCT群間にも有意な ($p < 0.05$) 差が認められた.

EDL に関しては両酵素活性値ともに各群間に有意な差は認められなかった.

考 察

トレーニングを休止して8週間を経た後に, 再び一過性の運動を行わせた際の生体反応をトレーニングを継続して行わせていた場合と比較することにより, トレーニング効果の残存を検討し, 加えて安全な運動処方に対する基礎的資料を得ることを目的として実験を行った.

トレーニングを中断し, 8週間経過した時点でも骨格筋重量の対体重比は安静飼育を行っていたラットに比して有意に高値を示した. このことは, 少なくとも骨格筋線維の肥大に対するトレーニングの影響は残存している可能性を示唆している. 身体を外見のみから判断すれば, トレーニングを中止してもまた, 継続して行っても, それほどの差はないと考えることもできる.

疲労度あるいは運動の生体に対する負担度の指標と考えられている血中乳酸濃度は, ST群がC

T群に比して有意に高かった。この結果はST群の方が有酸素性よりも無酸素性のエネルギー供給機構をより多く動員していたことを示唆しており、脱トレーニングが有酸素性の運動能力を低下させてしまったものと考えられる^{2,25)}。

また有意差は見られなかったものの、血糖値はST群がCT群に比して低値を示した。運動時間ならびに運動強度もST群とCT群とでは同一であることから、この血糖値の差はもともと骨格筋中、血中あるいは肝臓中に蓄えられていたグリコーゲンあるいはグルコースに差があったためか、あるいはこの運動によって利用されたエネルギー基質にCT群とST群間に相違があったものと考えられる¹⁰⁾。

血球成分ではHb, RBC, HtがCT群に比してST群が有意に高値を示した。持久性を鍛錬することによってヒトではRBCやHTが低下することが報告されており⁷⁾、これは血液の粘性を低下させ循環器(心臓)にかかる負担を軽減し、筋への血流量を増加させようとする適応であると考えられている。本実験の結果は、脱トレーニングによって、トレーニングに対する血球成分の適応が残存しなかったことを示唆している。

血中電解質に関してはNa⁺, K⁺においてST群がC群に比して有意に高値を示し、またCT群はC群とほぼ同程度の値を示した。K⁺は運動の強度あるいは生体にかかる負担度が大きくなるのに伴って増加していくことが過去の研究¹⁷⁾によって明らかにされているが、本実験においても、負担度が大きかったと考えられるST群の方がCT群よりもK⁺が有意に高値を示すという結果が得られた。脱トレーニングによるトレーニング効果の消失がこのことから示唆された。

各組織におけるグリコーゲン含有量及び乳酸含有量にはST, CT両群間に有意な差は認められなかった。しかし、乳酸含有量はいずれの組織においてもCT群がST群に比して低値を示す傾向

にあった。持久的トレーニングは骨格筋における乳酸生成を抑制するというFavier et al⁹⁾の報告はこの結果を裏づけるものである。持久的トレーニングにより筋中乳酸生成量が減少するメカニズムとしては、酸化系酵素活性値の上昇によりTCA回路でのATP生成が主流になる結果、乳酸の生成が抑制されるか、持久的トレーニングにより細胞膜の透過性が変化し、生成された乳酸の血中への放出が増加し、心筋を中心としたエネルギー再合成に利用された結果、筋中における含有量が減少するかの両者が考えられる。

本研究では、血中、筋中ともにCT群がST群に比して低値を示していることから、むしろ前者の可能性を考える必要があるのかもしれない。逆に、ST群では筋中、血中ともに高値を示したことは、以前のトレーニングの効果が消失し、乳酸の生成量そのものも増加し、加えて血中へ放出も増加するが、結局放出が追いつかず、もしくは再吸収が追いつかずに疲労してしまうとも考えられる。

Chi et al.⁹⁾は脱トレーニングに伴う骨格筋線維の代謝特性の継時的変化を筋線維タイプ別に検討している。それによると、酸化系酵素活性値は脱トレーニングに伴い漸次低下し、type I線維では脱トレーニング後12週間で完全にコントロールレベルにまで低下したと報告する一方、type II線維ではコントロールレベルにまで低下しないと報告している。このことは、脱トレーニングの影響が筋線維タイプ別に異なる可能性を示唆している。

さらに、脱トレーニングにより酸化系酵素活性値がおおよそ半分に低下するのに、ラットでは約8日を要するのに対し、ヒトでは約2~6週間を必要とすることを報告し、動物種の違いも合わせて報告している。従って、本研究における脱トレーニング後8週間のラット骨格筋の酵素活性値に対するトレーニング効果は、ST群のSOLおよ

び EDL において完全に消失しているとは考え難い。

過去に何等トレーニングを行わせていないラットに、一過性の運動を行かせた直後の下肢骨格筋における酵素活性値⁸³⁾は、本研究の ST 群よりも低値を示した。運動に伴い酵素活性値を上昇させ、エネルギー代謝を促進し、骨格筋の収縮エネルギーである ATP の生産を増大させることにより疲労耐性を向上させることがトレーニング効果であるという観点にたてば、一過性の運動に伴う筋中酵素活性値の有意な上昇は、まさにトレーニングの効果と考えることができる。従って、その意味でも本研究における ST 群の SOL 及び EDL におけるトレーニング効果は完全に消失しているとは考えられない。

持久的トレーニングに伴う骨格筋の酵素活性値の適応を 3 段階に分類して考察している Benzi et al.⁸⁾によれば、その最終段階において酸化系酵素活性値の有意な上昇と解糖系酵素活性値の有意な低下が認められることが報告されている。本研究で ST, CT 両群に行かせたトレーニングは持久的なトレーニングであり、Edgerton et al.⁸⁾が報告している骨格筋線維の選択的利用という見地にたてば、主に slow タイプの筋線維が積極的に動員されたことになる。従って、トレーニング効果は主に Slow-twitch fibre により構成される¹⁾ SOL に出現すると考えられる。本研究においても運動終了直後の各酵素活性値に各群間の差が生じたのは、SOL のみであったということはトレーニングの休止・継続の影響が主に SOL に出現したことを裏づける結果である。

以上のような結果より、脱トレーニング 8 週間後においても骨格筋の構造蛋白の異化はすすんでおらず、その形態は維持している可能性を示唆している。従って、構造蛋白質の肥大に対する持久的トレーニングの効果は脱トレーニング後も、か

なりの長期間に渡り残存すると考えてもよさそうである。その一方で、機能的特性の一指標である酵素活性値の動態から考えれば、トレーニング効果が完全に消失している訳ではないが、脱トレーニングによる機能低下が考えられる。また脱トレーニングの結果、トレーニングによる血液成分の適応は消失し、機能の再低下が起こったことも示唆された。

脱トレーニングの影響は骨格筋と血中生化学成分では異なって出現する可能性は否定できない。骨格筋よりもむしろ血中生化学成分の動態に脱トレーニングの影響（トレーニング効果の消失）が先に出現することから、骨格筋のトレーニング効果が完全に消失する以前に血中ではすでに脱トレーニングの影響が出現するということになる。従って、トレーニング休止後の再開に関しては、骨格筋に比して比較的採取しやすい血液における生化学成分を指標として身体の負担度を把握し、運動処方を行うことにより、ある程度余裕を残した処方が可能であると考えられる。

謝 辞

本稿を終えるに当り、分析に際し多大なる御協力を賜りました鹿屋体育大学大学院生 荻田 太君、学部生大金雅子さんに深く感謝の意を表します。

文 献

- 1) Armstrong, R.B. and Phelps, R.O.; Muscle fiber type composition of the rat hindlimb. *Am. J. Anat.*, **171**: 259—274 (1984)
- 2) Astrand, P.O.; Aerobic and anaerobic energy sources in exercise, *In: Medicine and Sport* (Eds.: Jokl, E. and Lexington, K.Y.), **13**: 22—37 (1981)
- 3) Benzi, G., Panceri, P., Bernardi, M.D., Villa, R., Arcelli, E., D' Angelo, L., Arrigoni, E. and Berte, F.; Mitochondrial enzymatic adaptation of skeletal muscle to endurance training, *J. Appl. Physiol.*, **38**: 565—569 (1975)

- 4) Buxton, Y., Asai, K. and Ito, I.; Sudden cardiac death-1986, *Annals Intern. Med.*, **104** : 716—718 (1986)
- 5) Chi, M.M.-Y., Himtz, C.S., Coyle, E.F., Martin III, W.H., Ivy, J.L., Nemeth, P.M., Holloszy, J.O. and Lowry, O.H.; Effects of detraining on enzymes of energy metabolism in individual human muscle, *Am. J. Physiol.*, **244** (Cell Physiol.) : C276—C287 (1983)
- 6) Cooperstein, S.T., Lazorow, A. and Kurfess, N.J.; A microspectrophotometric method for determination of succinate dehydrogenase, *J. Biol. Chem.*, **186** : 129—139 (1950)
- 7) 江橋 博, 芝山秀太郎, 大森浩明; 成人の体力に及ぼす長期間の運動習慣形成の影響, *Annals Physiol. Anthropol.*, **5** : 75—88 (1986)
- 8) Engerton, V.R., Gerchmann, L. and Carrow, R.; Histochemical changes in rat skeletal after exercise, *Exp. Neurol.*, **24** : 110—123 (1969)
- 9) Favier, R.J., Constable, S.H., Chen, M. and Holloszy, J.O.; Endurance exercise training reduces lactate production, *J. Appl. Physiol.*, **61** : 885—889 (1986)
- 10) Fox, E.; 運動に必要な燃料, スポーツ生理学(朝比奈一男, 渡部和彦訳), 大修館書店, 東京, pp. 41—59 (1982)
- 11) Goldberg, M.L.; Quantitative assay for sub-microgram amounts of protein, *Analytical Biochem.*, **51** : 240—246 (1973)
- 12) 井川幸雄, 伊藤 朗; 運動と血清酵素, 日本医師会雑誌, **71** : 695—705 (1974)
- 13) Lo, S., Russell, J.C. and Taylor, A.W.; Determination of glycogen in small tissue samples, *J. Appl. Physiol.*, **28** : 234—236 (1970)
- 14) Lowry, O.H. and Passonneau, J.V.; Lactate, In: A Flexible system of enzymatic analysis, Academic Press, London, pp.194—201 (1972)
- 15) Schwane, J.A., Johnsson, S.R., Vandennalles, C. B. and Armstrong, R.B.; Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after downhill running, *Med. Sci. Sports*, **15** : 51—56 (1983)
- 16) Shepherd, R.E. and Gollnick, P.D.; Oxygen uptake of rats at different work intensities, *Pflügers Arch.*, **362** : 219—222 (1976)
- 17) Sjogaard, G.; Water and electrolyte fluxes during exercise and their relation to muscle fatigue, *Acta. Physiol. Scand.*, **128** (Suppl., 556) : 129—136 (1986)
- 18) Suominen, H. and Heikkinen, E.; Enzyme activities in muscle and connective tissue of M. Vastus Lateralis in habitually training and sedentary 33 to 70-year old men, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **34** : 249—254 (1975)
- 19) 鈴木哲朗; 運動と乳酸脱水素イソ酵素, 体育の科学, **27** : 48—53 (1977)
- 20) 竹倉宏明, 田中弘之; 血中逸脱酵素活性値を指標とした運動処方確率のための基礎的研究, デサントスポーツ科学, **7** : 63—73 (1986)
- 21) 竹倉宏明, 田中弘之, 小野三嗣, 春日規克; ラット骨格筋線維のトレーニング効果に関する研究—組織化学的, 生化学的手法を用いての検討—, 体力科学, **34** : 276—283 (1985)
- 22) Takekura, H., Tanaka, H., Watanabe, M., Yoshioka, T. and Ono, M.; Effects of taurine on glycolytic and oxidative enzyme activities of rat skeletal muscles, *Sulfur Amino Acids*, **9** : 125—132 (1986)
- 23) Takekura, H. and Yoshioka, T.; Acute exhaustive exercise changes the metabolic profiles in slow and fast muscles of rat, *Jpn. J. Physiol.*, **38** : 689—397 (1988)
- 24) 渡辺雅之, 田中弘之, 原 英喜, 外山 寛, 野坂和則, 七類 誠, 三宅 卓, 竹倉宏明, 小野三嗣; 発育期における運動ストレスの機序, 昭和59年度科学研究費補助金(特定研究(1))研究成果報告書, pp.76—78 (1985)
- 25) Windham, C.H. and Williams, C.G.; A physiological basis of the “optimum” level of energy capacities, *Nature*, **195** : 1210 (1962)