

エゾウコギ投与がマウス骨格筋酸化系酵素活性に及ぼす影響

杉浦春雄^{a)}, 西田弘之^{a)}, 水野瑞夫^{b)}, 飯沼宗和^{b)}, 小西宏明^{c)}

岐阜薬紀要 (1989) 38 : 38-48

要約: エゾウコギ (*Acanthopanax senticosus* HARMS) 水性エキスの長期間および短期間投与が, マウス骨格筋酸化系酵素活性に及ぼす影響について検討した。その結果, 長期間投与のコハク酸脱水素酵素 (SDH) 活性およびリンゴ酸脱水素酵素 (MDH) 活性は, ともに有意な増加を示した。また, 短期間投与による腓腹筋と前脛骨筋の SDH 活性は, 有意な増加が認められ, MDH 活性は, 増加傾向を示した。エゾウコギ水性エキス投与中止により, SDH 活性および MDH 活性に低下傾向が見られたが, 投与効果の持続傾向を示した。

以上のことから, エゾウコギ水性エキス投与は, 持久的トレーニング負荷の場合と同様に, マウス骨格筋酸化系酵素活性を高め, 生体内有機的代謝が改善されるものと考えられた。

索引用語: エゾウコギ, アカントパナックス・センチコサス, 骨格筋, 酸化系酵素活性, コハク酸脱水素酵素活性, リンゴ酸脱水素酵素活性, 持久性トレーニング。

Effects of Aqueous Extracts from Eleutherococcus on the Oxidative Enzyme Activities in Mouse Skeletal Muscle

HARUO SUGIURA^{a)}, HIROYUKI NISHIDA^{a)}, MIZUO MIZUNO^{b)},
MUNEKAZU INUMA^{b)}, and HIROAKI KONISHI^{c)}

Ann. Proc. Gifu Pharm. Univ. (1989) 38 : 38-48

Abstract: A study was carried out to examine the effects of a long and a short time administrations of aqueous extracts from eleutherococcus on the oxidative enzyme activities in mice skeletal muscle. After the long time administration of the extracts for 9 weeks, significant increases of the

a) 岐阜薬科大学保健体育学研究室, 岐阜市三田洞東 5 丁目 6-1

b) 岐阜薬科大学生薬学教室, 岐阜市三田洞東 5 丁目 6-1

c) 日本メナード化粧品株式会社中央研究所, 名古屋市西区 烏見町 2 丁目 130

a) Department of Health and Physical Education, Gifu Pharmaceutical University, 6-1 Mitahora-higashi 5 chome, Gifu 502

b) Department of Pharmacognosy, Gifu Pharmaceutical University, 6-1 Mitahora-higashi 5 chome, Gifu 502

c) Central Research Institute Nippon Menard Cosmetic Co., LTD., 130 Torimi-cho 2 chome, Nishi-ku, Nagoya 451

Received March 1, 1989

The Annual Proceedings of Gifu Pharmaceutical University,

ISSN 0434-0094, CODEN : GYDYA 9

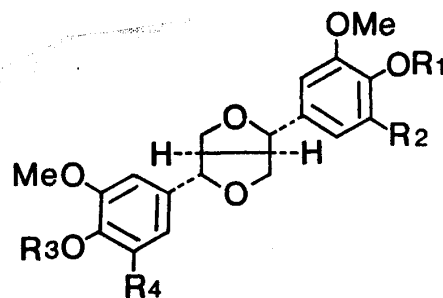
succinate dehydrogenase (SDH) and malate dehydrogenase (MDH) activities were observed in mice gastrocnemius muscle. On the other hand, the short time administration of the extracts brought significant increase in SDH activity, and increasing tendency in MDH activity in gastrocnemius and tibialis anterior muscles. On suspending a drug administration, the activities of SDH and MDH showed a decreasing tendency, however, the effects of the administration were still obvious even after 5 weeks.

The present results suggested that the administration of eleutherococcus aqueous extracts enhanced the oxidative enzyme activities in mice skeletal muscle and resulted in improved metabolic rates in aerobic pathway. The similar effect has been observed in mice applying endurance training.

Keyphrases : eleutherococcus, *Acanthopanax senticosus* HARMS, skeletal muscle, oxidative enzyme activities, SDH activity, MDH activity, endurance training

エゾウコギ (*Acanthopanax senticosus* HARMS = *Eleutherococcus senticosus* MAXIM, Araliaceae) ¹⁾ は、高さ 2~3 m ほどの低木で、シベリアのアムール河中流地域とサハリン、千島、中国の黒竜江省から河北省、朝鮮半島および日本の北海道東部に分布する。その成分は Syringin, Chlorogenic acid, 2,6-dimethoxybenzoquinone, クマリン誘導体の isofraxidin および、その配糖体 7-0- β -D-glucopyranosylisofraxidin のほかに、Fig. 1 に示す様な dioxabicyclooctane 型リグナン配糖体 (1~5) が、西部ら ²⁾ により単離、構造決定されている。

エゾウコギは同科に属する高麗人参 (*Panax ginseng* C. A. MEYER) と類似の薬理効果を持つと言われ、^{3)~6)} これまでに飲用効果に関して、抗疲労作用 ^{7) 8)} および抗ストレス作用 ⁹⁾ のあることが認められている。さらに江橋ら ¹⁰⁾ は、陸上長距離選手にエゾウコギエキスを飲用させた結果、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の増加がみられたことを報告している。これらの報告はいずれも、エゾウコギ飲用が生体の performance 向上に作用することを示唆しているが、その生理的メカニズムについては、まったく明らかにされていない。



- | | | | |
|---|---|---|--|
| 1 | $R_1=R_3=Glc, R_2=R_4=OMe$
(syringaresinol di-0- β -D-glucoside) | 4 | $R_1=R_3=Glc, R_2=R_4=H$
(pinoresinol di-0- β -D-glucoside) |
| 2 | $R_1=R_2=R_4=H, R_3=Glc$
(pinoresinol 0- β -D-glucoside) | 5 | $R_1=R_3=Glc, R_2=H, R_4=OMe$
(medioresinol di-0- β -D-glucoside) |
| 3 | $R_1=H, R_2=R_4=OMe, R_3=Glc$
(syringaresinol 0- β -D-glucoside) | | |

Fig. 1 Chemical structures of eleutherococcus.

今回、我々は最大酸素摂取量を増大させるエゾウコギ飲用の作用機構を解明する目的から、エゾウコギ水性エキス投与が、マウス骨格筋酸化系酵素活性に及ぼす影響について、発育期から成熟期にわたって検討したので報告する。

実験材料および方法

1. 実験材料

中国東北地方産のエゾウコギ (*Acanthopanax senticosus* HARMS) の水性エキスを実験材料に用いた。この被検物質は用に臨んで所要濃度の水溶液にした。

2. 長期間投与作用 (実験 I)

離乳直後 (3週齢) の ICR 系、雄性マウス110匹を使用した。2週間の予備飼育の後、体重がほぼ均等になるように次のようなエゾウコギ投与群と運動群2群、および対照群の合計4群に区分した。

A群 (エゾウコギ投与群)、B群 (短時間運動負荷群)、C群 (長時間運動負荷群) の実験群3群およびD群 (安静群) であり、エゾウコギ投与は、0.17mg/g* を1日1回、週6日間を9週間に亘り、14週齢時まで経口投与した。また、運動負荷はマウス用トレッドミル (竹井機器製作所・針山改良型) を用いて、B群は毎分20mの速度で1日20分間の強制走運動を、C群は毎分15mの速度で1日1時間の強制走運動を各々、週6日間実施した。

これら4群の飼育は、各群とも1ケージ5匹とし、ケージ内での運動を制限する目的から小型ケージ (24×17×12cm) を用いた。また、飼育および運動負荷は、室温22±1°C、湿度60%の条件下の恒温恒湿飼育室で行い、各群の飼料は日本クレア CE-2 を用い、水道水とともに自由摂取とした。なお、エゾウコギ投与の中止および運動負荷中止による影響を検討する目的から、15から19週齢時までは意図的にエゾウコギ投与および強制走運動を中止し、4群とも同一条件下 (安静) で飼育した。

実験開始後3週間目 (8週齢)、5週間目 (10週齢)、7週間目 (12週齢)、9週間目 (14週齢) および14週間目 (19

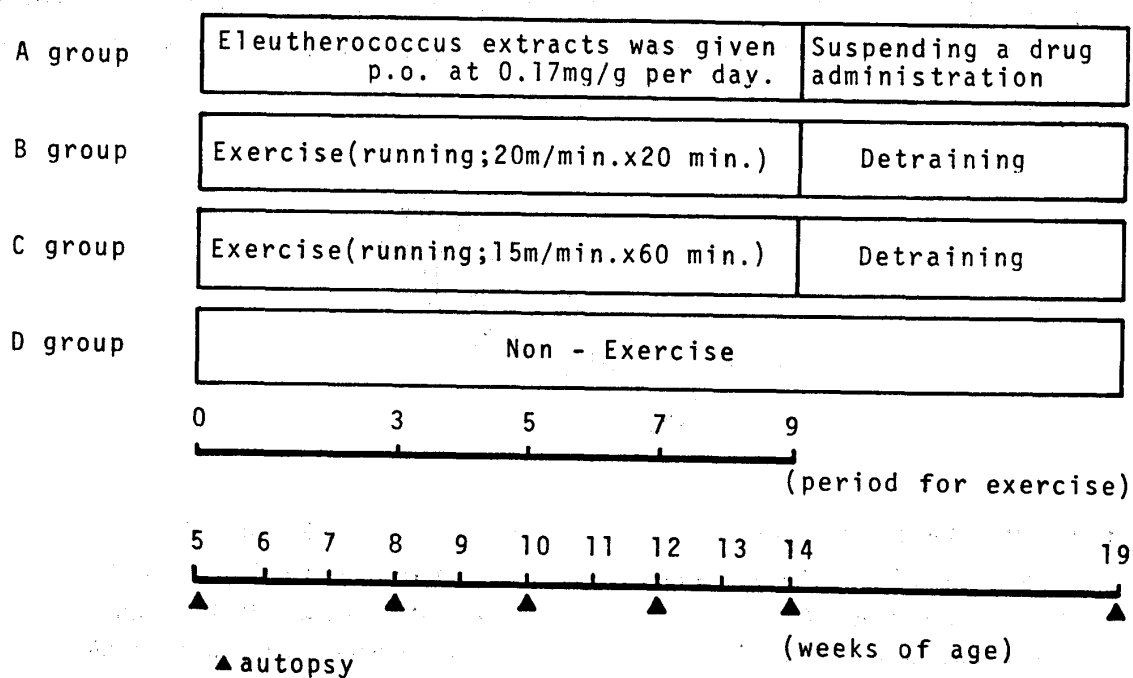


Fig. 2 Experimental procedures

*ヒトの常用量から換算して用いた。

週齢)の計5回に亘り，1回各群5匹宛を剖検した。

これらの実験の概略を Fig. 2 に示した。

3. 短期間投与作用(実験Ⅱ)

生後12週齢の ddY 系，雄性マウスを使用した。1週間の予備飼育の後，A群(エゾウコギ投与群)と Co 群(対照群)の2群に分けた。

A群はエゾウコギ水性エキスを1日1回，0.17mg/g を，また，Co 群には蒸留水 0.1ml/匹 を10日間連続経口投与した。なお，飼育環境条件は，実験Ⅰと同様である。

エゾウコギ投与終了日の翌日にすべて剖検した。

4. 測定項目

1) 体重……マウスの体重は，週1回測定した。

2) 骨格筋酵素活性……実験期間終了翌日，各マウスの体重測定後，エーテル麻酔下にて屠殺し，succinate dehydrogenase (SDH) 活性および malate dehydrogenase (MDH) 活性の両酵素活性の測定を行った。被検筋として摘出した右下肢の腓腹筋と前脛骨筋は，ただちにアセトンドライアイスにより凍結し，測定まで -80°C に保った。筋試料は，SDH 測定では，0.03M phosphate buffer (pH 7.4) で，MDH 測定では，0.1M phosphate buffer (pH 7.5) で，それぞれホモジナイズし，ホモジネートの両酵素活性を 25°C にて測定した。なお，SDH 活性の測定は，Cooperstein ら¹¹⁾の方法，MDH 活性の測定は，NADH 吸光法^{12) 13)}により行った。ホモジネートのタンパク質量の測定は，牛血清アルブミンを標準物質として，Lowry ら¹⁴⁾の方法により行った。

各実験群間の結果の統計学的検定は，student-t test 法により行った。

実験結果

1. 体重の発育変化

Table 1 に長時間投与の各群の平均体重を示した。エゾウコギ投与群(A群)は，実験期間安静飼育をしたにもかかわらず，安静群(D群)と比較して全般的に低値傾向にあった。運動群においては，長時間運動負荷群(C群)が低値を示し，実験開始後，3週間目(8週齢)，5週間目(10週齢)，7週間目(12週齢)および9週間目(14週齢)にD群との間に有意差($P<0.05$)が認められた。

短期間投与の体重発育変化は，エゾウコギ投与群(A群)と Co 群(対照群)とを比較すると，同様な発育を示し，両群間に有意差は認められなかった。

2. 骨格筋酵素活性

1) SDH 活性

長期間投与の腓腹筋の SDH 活性を Fig. 3 に示した。D群と比較してAおよびB，C群は，いずれの週齢においても高値を示した。殊に，A群は，実験開始後3週間目(8週齢)，7週間目(12週齢)および9週間目(14週齢)，また，B，C群では実験開始後9週間目(14週齢)にそれぞれ，D群との間に有意差が認められた。エゾウコギ投与群(A群)と運動群(B，C群)との比較では，実験開始後7週間目(12週齢)まではほぼ同値を示したが，9週間目(14週齢)に，A群とC群との間に有意差($P<0.05$)が認められた。

Table 1 Developmental changes in body weight of mice

Group	Age (Weeks)					
	5	8	10	12	14	19
A		36.04 ± 1.20	36.36 ± 0.94	38.94 ± 0.88	41.66 ± 1.10	43.54 ± 1.37
B		37.48 ± 1.53	39.08 ± 1.96	38.88 ± 2.37	42.08 ± 1.66	45.63 ± 1.56
C		34.25 ^{C*} ± 0.75	35.98 ^{C*} ± 0.72	37.05 ^{C*} ± 0.34	40.73 ^{C*} ± 0.19	42.73 ± 0.83
D	28.65 ± 0.49	37.54 ± 0.70	38.52 ± 0.71	39.76 ± 1.13	42.94 ± 0.86	43.64 ± 1.22

Figures indicate the mean ± S. E. (g)

C ; Significant difference between C and D groups. * $p < 0.05$

エゾウコギ投与中止および運動負荷中止後の酵素活性値は、4群とも低下傾向を示したが、C群とD群との間に有意差が認められた。A、B群はD群と比較して高値傾向を示したが、有意差はみられなかった。

短期間投与のSDH活性をFig. 4に示した。腓腹筋と前脛骨筋の両筋ともCo群と比較してA群が高値を示し、0.5%水準で有意差が認められた。

2) MDH 活性

長期間投与のMDH活性をFig. 5に示した。いずれの週齢においてもD群と比較して、A群およびB、C群が高値を示す傾向がみられ、実験開始後7週間目(12週齢)にD群とA、B群との間に5%水準で、有意差が認められた。他は、有意差は認められなかった。

エゾウコギ投与中止および運動負荷中止後の酵素活性値は、4群とも低下傾向を示した。しかし、C群の低下は少なく、D群およびA群との、それぞれの間有意差($p < 0.05 \sim p < 0.005$)が認められた。

短期間投与のMDH活性をFig. 6に示した。腓腹筋および前脛骨筋ともにCo群に比して、A群が高値を示したが、有意差は認められなかった。

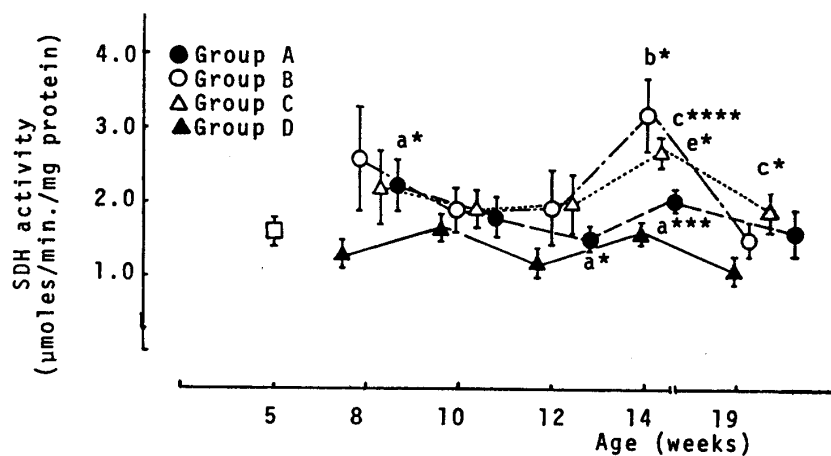


Fig. 3 Activity of succinate dehydrogenase in gastrocnemius muscle.

Each point indicates the mean \pm S. E.

a ; Significant difference between A and D groups.

b ; Significant difference between B and D groups.

c ; Significant difference between C and D groups.

e ; Significant difference between A and C groups.

* $p < 0.05$, *** $p < 0.005$, **** $p < 0.001$

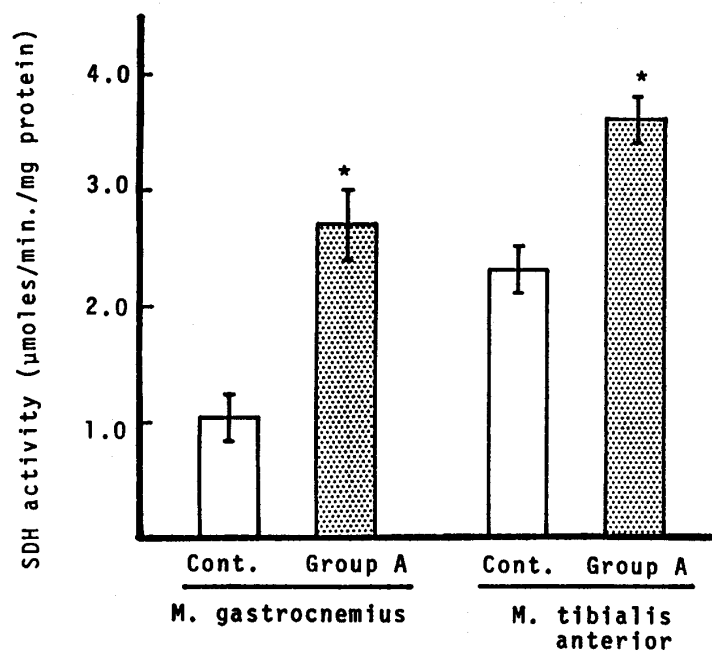


Fig. 4 Succinate dehydrogenase (SDH) activity in gastrocnemius and tibialis anterior muscles.

For the group A, eleutherococcus extracts was given p. o. at 0.17 mg/g per day for 10 days. For the control, 0.1 ml/animal of water as a vehicle was given in a similar manner. Each column indicates the mean \pm S. E. Significantly different from the control at * $p < 0.005$.

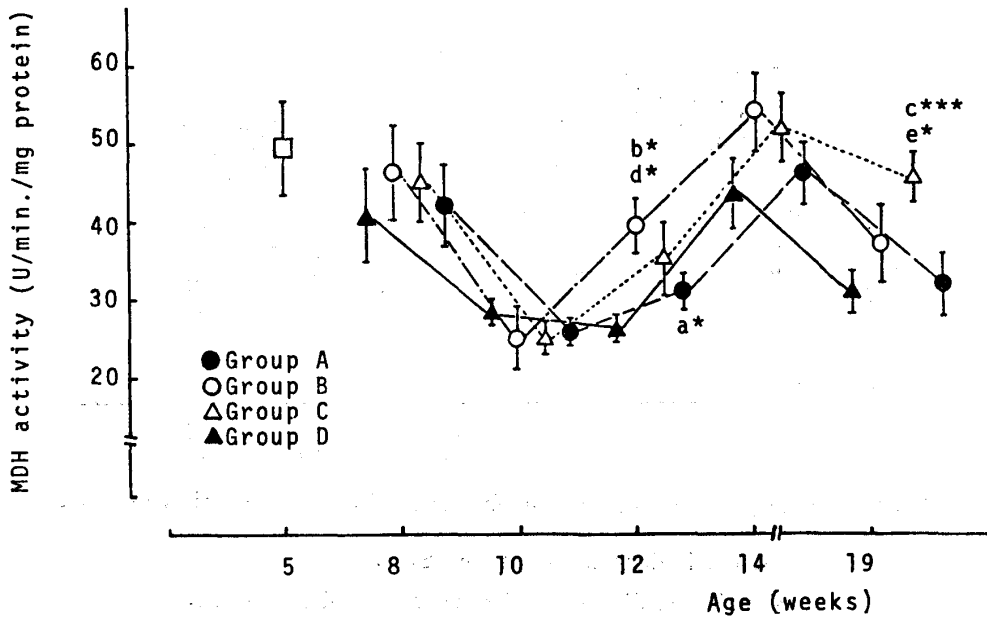


Fig. 5 Activity of malate dehydrogenase in gastrocnemius muscle.

Each point indicates the mean \pm S. E.

a ; Significant difference between A and D groups.

b ; Significant difference between B and D groups.

c ; Significant difference between C and D groups.

d ; Significant difference between A and B groups.

e ; Significant difference between A and C groups.

* $p < 0.05$, *** $p < 0.005$

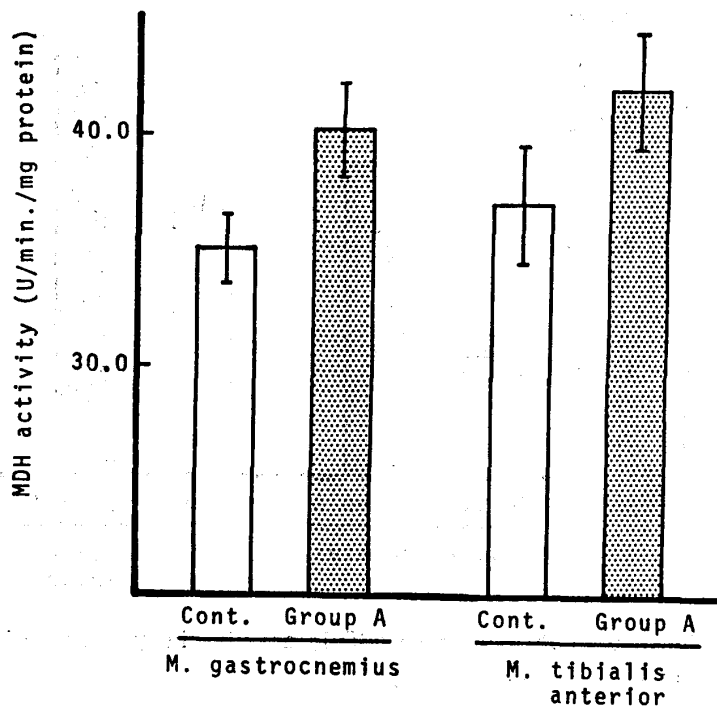


Fig. 6 Malate dehydrogenase (MDH) activity in gastrocnemius and tibialis anterior muscles.

For the group A, eleutherococcus extracts was given p. o. at 0.17 mg/g per day for 10 days. For the control, 0.1 ml/animal of water as a vehicle was given in a similar manner. Each column indicates the mean \pm S. E. Not significant.

考 察

本実験は、飲用によって最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) が増大する^{8) 10)} ことから、近年、注目されているエゾウコギの作用機序を解明する一助としてマウスを用いて、エゾウコギ水性エキスの骨格筋酸化系酵素活性に及ぼす影響について検討した。

体重の変化は、実験期間中、4群とも週齢を追う毎に生理的な発育増加が認められた。エゾウコギを長期間投与したA群の体重は、エゾウコギ投与期間中いずれの週齢においてもD群より低値傾向を示した。エゾウコギが薬用としての副作用が認められないことはすでに報告されている。¹⁵⁾したがって、本実験でみられた体重増加抑制は、エゾウコギの毒性によるものではないと考えられ、代謝促進などの要因が関与しているものと推察された。また、長時間強制走運動を負荷したC群とD群とを比較すると、いずれの週齢においてもC群が低値を示した。マウスおよびラットに強制走運動または自由運動を負荷した研究によると、運動群の体重は、非運動群に比べて低値であるという報告が多く、^{16) ~19)} 一致した結果といえる。しかし、短時間強制走運動を負荷したB群は、D群とほぼ同様な傾向を示した。この結果は、トレーニングの量や質の違いによるものと考えられた。^{20)~22)}

短期間投与の体重変化は、両群ともに同傾向を示し、エゾウコギ投与による影響は認められなかった。

一般に $\dot{V}O_{2max}$ は、ヒトの有酸素作業能力の最も良い指標として用いられており、^{23)~24)} 年齢や日常生活の運動量によってその大きさが左右される。^{25)~27)} Paul ら²⁸⁾ および Lawrie²⁹⁾ は、筋の持久的運動の遂行能力とその筋の酸化酵素活性との間には、正の相関関係がみられたことを報告している。すなわち、酸化酵素活性の向上は、酸素摂取量の増大につながる事が考えられる。

したがって本実験は、骨格筋酵素のうち TCA 関連酵素である SDH 活性と MDH 活性を測定し、エゾウコギ投与が酸化系酵素活性の向上に役立つか否かを検討した。

運動負荷による SDH 活性は、実験開始後9週間目(14週齢)に、B、C群ともに高い値を示した。また、MDH 活性は、実験開始後7週間目(12週齢)にB群においてD群およびA群との間にそれぞれ有意差が認められた。

身体トレーニングが TCA 回路内の酵素活性に及ぼす変化については、種々報告されている。すなわち、トレーニング方法の違い、^{20) 30) ~32)} 強度、^{33) ~35)} 期間、³⁶⁾ およびトレーニング中止 (detraining)^{37) ~39)} 等によりその値は変動し、一般的には瞬発的トレーニングにより解糖系酵素活性が、持久的トレーニングにより TCA 回路系酵素活性が、それぞれ上昇することが知られている。^{20) 34) 40) ~43)} 本実験の運動負荷は、運動群の SDH 活性および MDH 活性を量的に増大させるトレーニングとして適切であったと考えられた。また、両酵素活性の差は、これらの報告と一致しており、走運動のトレーニング強度の差異が影響を及ぼしたものと考えられた。³³⁾

エゾウコギ長期間投与による酵素活性の変化は、SDH 活性は実験期間を通してD群に比し高値傾向を示し、実験開始後3週間目(8週齢)、7週間目(12週齢)および9週間目(14週齢)に有意差が認められた。MDH 活性は、D群と比較して、実験期間ほぼ同様な傾向を示したものの、実験開始後7週間目(12週齢)に有意差が認められた。Afanasjeva ら⁴⁴⁾ は、エゾウコギを投与したラットの心筋細胞において、ミトコンドリア数の増加とエネルギー代謝の顕著な改善を観察したと報告している。したがって、本実験結果でみられたエゾウコギ投与群の SDH、MDH 活性の量的増大は、エゾウコギ水性エキス投与による生体内有機的代謝が改善されたものと考えられた。

実験Ⅰによりエゾウコギ水性エキスの長期間投与が、骨格筋酸化系酵素活性を高めることが明らかになったことから、次に短期間投与における効果について実験Ⅱで検討した。

短期間投与の SDH 活性は、腓腹筋と前脛骨筋ともにエゾウコギ投与群が有意な増加を示し、長期間投与同様に短期間投与においても SDH 活性増大に作用することが認められた。しかし、MDH 活性は、腓腹筋および前脛骨筋と

もにエゾウコギ投与群が高値を示したが、有意差は認められなかったことから、MDH 活性に関しては、投与期間によって、その作用効果に異なった影響を及ぼすものと考えられた。

運動負荷中止による酵素活性の変化は、SDH, MDH 活性ともにB群の低下が顕著であった。また、C群においても低下傾向にあったが、D群に比し、SDH, MDH 活性ともに5%水準で有意差が認められた。これらB, C群の運動負荷中止による酵素活性の低下の差異は、運動負荷のトレーニング条件の違いを反映しているものと考えられた。³⁸⁾すなわち、長時間トレーニングにより高められた骨格筋の酸化能は、短時間トレーニングにより高められた酸化能より低下を遅延させるものと推察された。

実験IのSDH, MDH 活性の変動は、4群とも実験開始後3週間目(8週齢)から5週間目(10週齢)にかけて下降し、その後、9週間目(14週齢)まで漸次上昇を示した。ラットおよびマウスの発育に伴う酸化酵素活性の動態は、離乳直後から10週齢にかけて漸次減少を示し、その後、若干の上昇がみられるが、加齢に伴い減少することが報告されている。^{45) 46) Goldspink⁴⁷⁾}は、発育期からのSDH 活性の低下現象は、発育に伴う筋原線維の急増が筋線維全体としてのミトコンドリアの割合を低下(growth dilution)させるためであろうと報告している。本研究でも同様の結果であった。

以上の結果から、エゾウコギ水性エキス投与は持久的トレーニングを行った場合と同様に、マウス骨格筋酸化酵素活性を高め、生体内有機的代謝が改善することが判明した。しかし、その投与量および投与期間、さらには身体トレーニングとの相乗効果などについて、今後更に検討を加える必要があると考えられる。

引用文献

- 1) 大井次三郎著：新日本植物誌，至文堂，1983，1089.
- 2) 西部三省：私信.
- 3) E. V. Avakian and Jr. E. Evonuk : Effect of *Panax ginseng* extract on tissue glycogen and adrenal cholesterol depletion during prolonged exercise., *Planta Medica*, **36**, 43-48 (1979).
- 4) H. Saito, Y. Yoshida and K. Takagi : Effect of *Panax ginseng* root on exhaustive exercise in mice., *Jap. J. Pharmacol.*, **24**, 119-127 (1974).
- 5) H. Nabata, H. Saito and K. Takagi : Pharmacological studies of neutral saponins (GNS) of *Panax ginseng* root., *Jap. J. Pharmacol.*, **23**, 29-41 (1973).
- 6) I. I. Brekhman and I. V. Dordymov : New substances of plant origin which increase nonspecific resistance., *Ann. Review Pharmacol.*, **9**, 419-430 (1969).
- 7) I. I. Brekhman and I. V. Dordymov : Pharmacological investigation of glycosides from ginseng and eleutherococcus., *Lloydia.*, **32**, 46-51 (1969).
- 8) K. Asano, T. Takahashi, M. Miyashita, A. Matsuzaka, S. Muramatsu, M. Kuboyama, H. Kugo and J. Imai : Effect of eleutherococcus senticosus extract on human physical working capacity., *Planta Medica*, **48**, 175-177 (1986).
- 9) O. I. Kirillov and I. I. Brekhman : Effect of eleutherococcus on alarm-phase of stress., *Life Sciences*, **8**, 113-121 (1969).
- 10) 江橋 博：陸上長距離選手に対する中国刺五加飲用の効果，毎日ライフ，**7**，82-90 (1986).
- 11) S. J. Cooperstein, Arnold Lazarow and Nancy J. Kurfess : A micro spectrophotometric method

- for the determination of succinic dehydrogenase., *J. Biol. Chem.*, **186**, 129-139 (1950).
- 12) A. M. Hehler, A. Kornberg, S. Grisola and S. Ochoa : The enzymatic mechanism of oxidation-reductions between malate or isocitrate and pyruvate., *J. Biol. Chem.*, **174**, 961-977 (1948).
 - 13) H. U. Bergmeyer : Methods of enzymatic analysis Volume 1., Verlag Chemie Weinheim Academic Press, New York, 1974, 485.
 - 14) O. H. Lowry, N. J. Rosebrough, A. L. Farr. and R. J. Randall : Protein measurement with the folin phenol reagent., *J. Biol. Chem.*, **193**, 265-275 (1951).
 - 15) 江橋 博：健康成人に対する中国刺五加飲用が血中，尿中物質および運動時酸素能力におよぼす影響について，毎日ライフ，**4**，86-93 (1986).
 - 16) John A. Faulkner, Leo C. Maxwell, David A. Brook and David A. Lieberman : Adaptation of guinea pig plantaris muscle fibers to endurance training., *Am. J. Physiol.*, **221**, 291-297 (1971).
 - 17) 勝田 茂：ラット骨格筋線維の活動性肥大に関する電子顕微鏡的研究，体力科学，**23**，67-76 (1974).
 - 18) 西田弘之，林 正利，楯 博，松井寿夫：運動負荷がマウスの骨および筋発育に及ぼす影響，独協医学会雑誌，**3**，163-172 (1988).
 - 19) Ronald L. Terjung : Muscle fiber involvement during training of different intensities and durations., *Am. J. Physiol.*, **230**, 946-950 (1976).
 - 20) 竹島宏明，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，体力科学，**34**，274-283 (1985).
 - 21) E. E. Gordon, MD, K. Kowalski, MA and M. Fitts : Adaptations of muscle to various exercise., *JAMA*, **199**, 103-108 (1967).
 - 22) F. J. Brannon, J. E. Hart and M. H. Eyster : Intensity of treadmill training and its effect on body composition in rats., *Research Quarterly*, **40**, 670-675 (1969).
 - 23) 石井喜八，宮下充正 編著：新訂運動生理学概論，大修館，東京，1986，214.
 - 24) 市川泰子，宮下充正：トレーニング中止 (Detraining) の影響，体育の科学，**27**，660-664 (1977).
 - 25) Mitchell J. H., B. J. Sproule and C. B. Chapman : The physiological meaning of the maximal oxygen intake test., *J. Clin. Invest.*, **37**, 538-547 (1958).
 - 26) D. L. Costill, W. J. Fink and N. L. Pollock : Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners., *Med. Sci. Sports*, **8**, 96-100 (1976).
 - 27) P-O. オストランド，浅野勝己 訳：オストランド生理学，大修館，東京，1985，308-314.
 - 28) Paul M. H. and E. Sperling : Cyclophorase system xxIII, Correlation of cyclophorase activity and mitochondrial density in striated muscle., *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **79**, 352-354 (1952).
 - 29) Lawrie R. A. : The activity of the cytochrome system in muscle and its relation to myoglobin., *Biochem. J.*, **55**, 298-305 (1953).
 - 30) D. L. Costill, J. Daniels, W. Evans, W. Fink, G. Krahenbuhl and B. Saltin : Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes., *J. Appl. Physiol.*, **40**, 149-154 (1976).
 - 31) George R. Hearn and W. W. Wainio : Succinic dehydrogenase activity of the heart and skeletal

- muscle of exercised rats., *Am. J. Physiol.*, **185**, 348-350 (1956).
- 32) V. Keggic Edgerton, Leroy Gerchman and Rex Carrow : Histochemical changes in rat skeletal muscle after exercise., *Exp. Neurol.*, **24**, 110-123 (1969).
- 33) 安部 孝, 坂本晃史, 八田秀雄, 板井美浩, 浅見俊雄, 東 惠彦, 広田公一 : ラット肝コレステロール代謝に及ぼすトレーニング強度の影響, *体力科学*, **36**, 279-286 (1987).
- 34) Anderrew C. Gillespie, Edwardd L. Fox and A. John Merola : Enzyme adaptations in rat skeletal muscle after two intensities of treadmill training., *Med. Scie. Sports Exer.*, **14**, 461-466 (1982).
- 35) P. D. Gollnick, R. B. Armstrong, C. W. Saubert IV, K. Piehl and B. Saltin : Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men., *J. Appl. Physiol.*, **33**, 312-319 (1972).
- 36) C. W. Saubert IV, W. L. Sembrowich and R. E. Shepherd : Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle., *J. Appl. Physiol.*, **34**, 107-111 (1973).
- 37) Henriksson J. and Reitman J. S. : Time course of changes in human skeletal muscle succinate dehydrogenase and cytochrome oxidase activities and maximal oxygen uptake with physical activity and inactivity., *Acta. Physiol. Scand.*, **99**, 91-97 (1977).
- 38) Michael E. H., Henning B. and Henrik L. : Interrelationship between skeletal muscle adaptations and performance as studied by detraining and retraining., *Acta. Physiol. Scand.*, **105**, 163-170 (1979).
- 39) P. A. Tesch, P. U. Komi and K. Hakkinen : Enzymatic adaptations consequent to long-term strength training., *Inter. J. Sports Medi.*, **8**, 66-69 (1987).
- 40) C. W. Saubert IV, R. B. Armstrong, R. E. Shepherd and P. D. Gollnick : Anaerobic enzyme adaptations to sprint training in rats., *Pflugers Arch.*, **341**, 305-312 (1973).
- 41) Holloszy J. O. and Oscai L. B. : Effects of exercise on α -glycerophosphate dehydrogenase activity in skeletal muscle., *Arch. Biochem. Biophys.*, **130**, 653-656 (1969).
- 42) John O. Holloszy : Biochemical adaptations in muscle. Effect of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle., *J. Biol. Chem.*, **242**, 2278-2282(1967).
- 43) Lawrence B. Oscai and John O. Holloszy : Biochemical adaptations in muscle. II. Response of mitochondrial adenosine triphosphatase, creatine phosphokinase and adenylate kinase activities in skeletal muscle to exercise., *J. Biol. Chem.*, **246**, 6968-6972 (1971).
- 44) Afanasjeva T. N., Krivchik A. A. and Murtasova T. P. : Proceeding of the second international symposium on eleutherococcus Moscow. (1985).
- 45) 竹倉宏明, 田中弘之, 春日規克, 小野三嗣 : 雌雄ラット骨格筋における代謝特性の加齢変化, *体育学研究*, **31**, 243-251 (1986).
- 46) M. Ermini, I. Szelenyi, P. Moser and F. Verzar : The aging of skeletal (striated) muscle by changes of recovery metabolism., *Gerontologia*, **17**, 300-311 (1971).
- 47) Goldspink, G. : Succinic dehydrogenase content of individual muscle fibers at different ages and stages of growth., *Life Sci.*, **8**, 791-808 (1969).