

動・植物性高タンパク質の食餌と持久性トレーニングが成長期ラットの持久性走能力 および骨格筋の Myosin Light Chain Type 組成に及ぼす影響

黄 仁 官*・堀 居 昭*

(平成 8 年 5 月 23 日受付, 平成 8 年 8 月 9 日受理)

The Effects of High Contents Animal-Vegetable Protein and Endurance Training on Myosin Light Chain Types and Endurance Capacity of Skeletal Muscle in Growing Rats

Inkwan HWANG and Akira HORII

This study examined the endurance capacity and myosin light chain types of skeletal muscle in growing rats influenced animal high-contented and vegetable high-contented protein and endurance training.

Rats were separated into four groups: animal protein diet group (APD, n=10), vegetable protein diet group (VPD, n=10), and animal protein diet training group (APDT, n=8), and vegetable protein diet training group (VPDT, n=8), and Condition of endurance training were 30 m/min, 60 min/day.

Endurance capacity were measured with maximal exhaustive running time in endurance training group. Myosin light chain types in Sol.(sLC₁ and sLC₂) and E.D.L.(fLC₁, fLC₂ and fLC₃) were assayed.

The following results were obtained;

(1) The endurance capacity in APDT was significantly higher than VPDT ($p < 0.05$, d.f. = 14).

(2) In APD and VPD groups, Sol.(sLC₁ and sLC₂) and E.D.L.(fLC₁ and fLC₂) were significantly higher in APD than VPD ($p < 0.05$, d.f. = 18).

(3) In endurance training groups, type % muscle protein in all myosin light chain types showed higher in animal protein diet training group than vegetable protein diet training group ($p < 0.05$, d.f. = 14).

Results of this suggested that vegetable protein and animal protein diets have influences in myosin light chain pattern, and especially animal protein is highly influenceable in endurance capacity and skeletal muscle myosin light chain with endurance training.

1. 緒 言

各種のトレーニング負荷が骨格筋にさまざまな適応を示すことが数多く報告されている^{1, 12, 13, 15, 25, 30}。トレーニング効果として、筋肥大^{1, 25, 30}、筋張力^{15, 30}と筋持久力^{1, 12, 13, 15}の改善が挙げられている。例えば、代謝的側面では、コハク酸脱水素酵素^{1, 15}やリンゴ酸脱水素酵素^{1, 17}など酸化系酵素の活性の増大^{1, 17, 21, 30}、FT 線維を支配する大型運動ニューロンの酸化系酵素の増大^{13, 14}、また、

形態的側面では、筋中ミトコンドリアの数と大きさの増大¹、毛細血管密度の増加³¹などが認められている。なお、筋の収縮特性を規定する筋線維構成比については、トレーニング負荷の違いによって変化がみられたという報告³⁰と、見られなかったという報告¹⁰がある。

一方、食餌による影響として高タンパク質食がラットの発育および走能力に対して好影響をもたらすことは既に多く報告^{11, 18, 20, 24, 26, 31}されている。しかしながら走能

* 日本体育大学運動処方研究室

Table 1. Rough protein content of animal-vegetable protein feed and all kinds of amino acid content.

Item	Animal (%)	Vegetable (%)
Rough protein content	84.70	85.30
Amino acids	Animal (%)	Vegetable (%)
*Alanine	6.28	2.86
*Lysine	7.45	6.51
*Histidine	2.20	2.06
*Phenylalanine	4.24	4.20
*Leucine	6.27	5.10
*Isoleucine	4.06	3.84
*Methionine	2.46	0.41
*Valine	4.82	4.07
*Threonine	3.22	3.25
*Tryptophan	1.27	0.93
Tyrosine	4.49	2.82
Alanine	2.39	3.57
Glycine	1.43	3.45
Proline	8.96	4.28
Glutamic acid	16.72	15.39
Serine	4.06	4.32
Aspartic acid	5.49	9.31
Cysteine	0.34	0.61
Total	86.15	76.98

* Essential amino acids

力に関しては、高タンパク質食の方が好影響をもたらすという報告^{20,31)}、また、逆に悪影響をもたらすといった報告^{1,23)}もあり、いまだ一致した見解は得られていない。しかし、性質の異なる動物性タンパク質および植物性タンパク質と持久性トレーニングが成長期ラットの発育や持久性走能力に及ぼす影響についての研究はほとんど報告されていない。

そこで本研究では、動物性タンパク質（ミルクカゼイン）。植物性タンパク質の食餌（大豆）と持久性トレーニングが成長期ラットの走能力および骨格筋のミオシンL鎖（軽鎖）に及ぼす影響について検討することを目的とした。

2. 方法

A. 実験動物

実験には生後3週齢のWistar系雄性ラット（体重41～55g, n=46）を用いた。ラットは2週間の予備飼育の後、体重が等しくなるよう動物性タンパク質食餌群（Animal Protein Diet 群, n=10, 以下APD群とする）、植物性タンパク質食餌群（Vegetable Protein Diet 群, n=10, 以下VPD群とする）それに動物性タンパク

質食餌トレーニング群（Animal Protein Diet Training 群, n=8, 以下APDT群とする）と植物性タンパク質食餌トレーニング群（Vegetable Protein Diet Training 群, n=8, 以下VPDT群とする）の4群に分類された。

B. 飼育環境

ラットは、実験期間を通し、明暗12時間周期（暗期A.M. 7:00～P.M. 7:00）の恒温室（室温23±1℃）にて飼育された。

体重および摂餌量は、エレクトリック・アニマルバランス（EC-2800:島津製作所製）を用い、摂餌量は毎日1回午前11時より測定し、体重は毎週1回午後5時より測定を行った。

タンパク質含量とアミノ酸成分は、Table 1に示す通りである。

食餌は、動物性タンパク質飼料（ミルクカゼインF-2526, タンパク含量84.7%）と植物性タンパク質飼料（大豆タンパクF-2526, タンパク含量85.3%）を用いた。飲用水は水道水を用い、いずれも自由摂取とした（Table 1）。

C. 実験条件

トレーニングおよび持久性能力測定条件

トレーニング群には、小動物用トレッドミル（KN-73型:夏目製作所製）を用い、持久性トレーニングを负荷した。持久性トレーニングは、分速30mのスピードによる60分間の連続走であり、5週齢より11週間、週5日の頻度で行った。なお、トレーニング期間中、はじめの2週間は運動への準備期間とし、分速10mのスピードによる20分間の運動強度により漸増していった。

最大持久性能力は、スピードを分速30mに固定し、疲労困憊に達するまでの時間とした。

D. 実験手順

1) 実験スケジュールと摘出筋

実験スケジュールはFig. 1に示す通りである。

ラットは11週間のトレーニング後、左右のヒラメ筋（M. Soleus）および長指伸筋（M. extensor digitorum longus: EDL）を摘出した。筋は秤量後ただちに液体窒素素下で冷却されたイソペンタン中にて瞬間凍結された。

得られた筋は、組織生化学的分析まで-110℃のメデイカル・フリーザーに貯蔵した（Fig. 1）。

2) 骨格筋線維の組織生化学的分析

SDSポリアクリルアミドゲル電気泳動を用い、ミオシンL鎖タイプ分離によって筋線維タイプを分類した。

試薬は、アクリルアミド、Bis(N,N'-メチレンビスアクリルアミド)、TEMED(N,N,N',N'-テトラメチルエチレンジアミン)、SDS、2-メルカプトエタノール、Tris、過硫

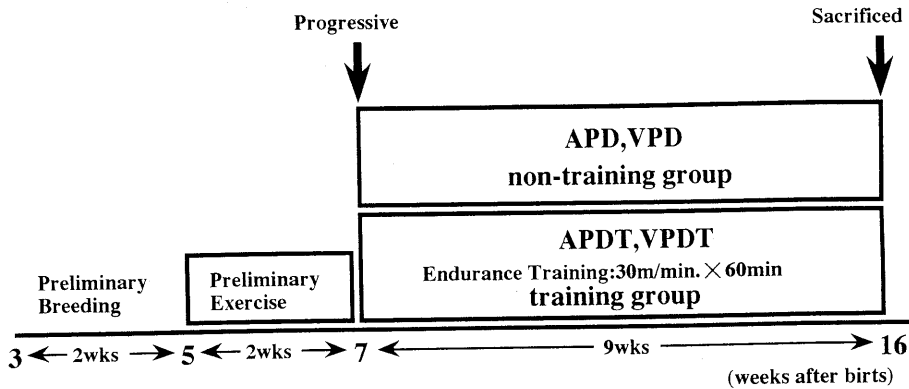


Fig. 1. Experimental schedule. In the training period, running speed was gradually increased in the first two weeks and constantly exercised after preliminary exercise for 9 weeks. APD: Animal Protein Diet Group, VPD: Vegetable Protein Diet Group, APDT: Animal Protein Diet Training Group, VPDT: Vegetable Protein Diet Training Group.

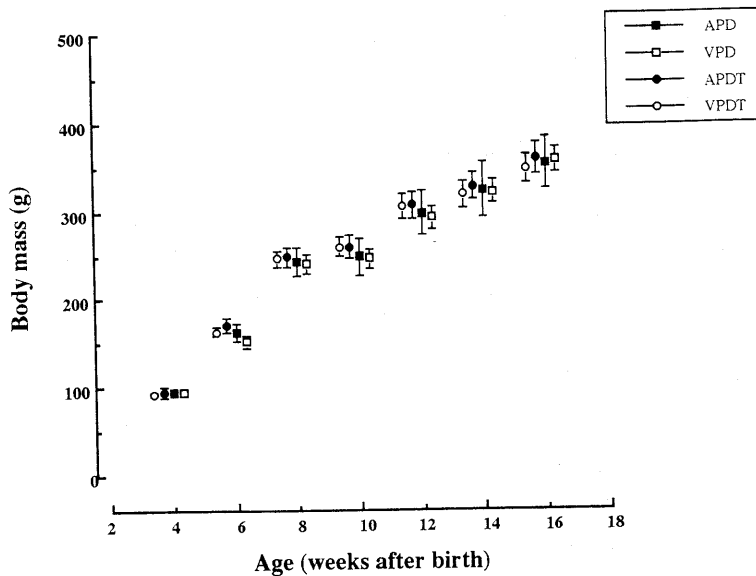


Fig. 2. Changes of body mass. Each point represents the mean values and the standard deviation.

酸アンモニウムは和光純薬製を用いた。SDS マーカーは、オリエンタル酵母社製を用いた。

1 次元 SDS 電気泳動は Laemmli¹⁶⁾ の方法に準じて行い、濃縮ゲルは pH 6.9, 2.5% 濃度、分離ゲルは pH 8.9, 15% 濃度のポリアクリルアミドスラブゲルとした。通電条件は BPB のバンドが分離ゲルへ入った時点で、電流を 10 mA/ゲルから 25 mA へ上げ 2 時間とした。通電終了後、速やかにゲルを取り外し銀染色を施した。

Myosin Light Chain の同定においては、アイソホームは、Heavy Chain と比べ各々が明らかに分子量が異なっていることから、本研究では各々のバンドの泳動距

離から求めた分子量を先行研究^{15, 29)}より得られている Myosin Light Chain の値と照らし合わせ、その分子量を持つタンパク質を Myosin Light Chain_{1, 2, 3} とそれぞれ決定した。なお、Fast Type には、fLC₁, fLC₂, fLC₃ の 3 種類に分類され、Slow Type には、sLC₁, sLC₂ の 2 種類に分類されている。Myosin Light Chain, アイソホームの定量は 2 波長クロマトスキャナー CS930 (島津社製) を用い、波長 410 nm にて行った。値は各々のバンドから得られた波形面積の百分率 (%) をもって表した。

E. 統計処理

統計処理は、測定値のすべてを平均値±標準偏差で示

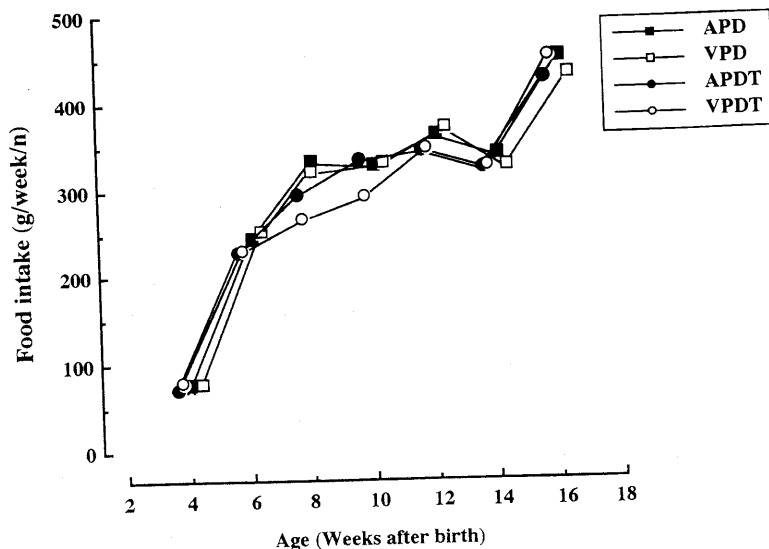


Fig. 3. Changes of food intake.

Table 2. Comparison of body mass, and muscle mass in control and trained groups.

	APD	VPD	APDT	VPDT
Body mass (g)	354.2±29.4	357.0±14.7	359.9±18.0	346.6±16.2
M. soleus (mg)	115.1±12.2	119.8±10.7	132.4±6.2*	129.6±10.9
Ratio (×1000)	0.33±0.03	0.34±0.03	0.37±0.02*	0.38±0.03*
EDL (mg)	115.6±9.9	126.2±20.4	130.9±8.3*	125.7±8.4
Ratio (×1000)	0.32±0.04	0.35±0.05	0.37±0.01*	0.36±0.01

* $p < 0.05$: Animal protein diet group VS Animal protein diet training group.

$p < 0.05$: Vegetable protein diet group VS Vegetable protein diet training group.

Each value represents the mean±standard deviation.

し、Student の t-test を用いた。また、有意水準は危険率 5% 未満とした。

3. 結 果

1) 実験期間中におけるラットの体重の変化

実験期間中の体重の変化は Fig. 2 に示す通りであり、実験食餌開始 6 週目から 16 週目まで、動物性・植物性タンパク質食餌群 (APD 群, VPD 群) と動物性・植物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群, VPDT 群) は、いずれの群間においても有意な体重の変化は認められなかった (Fig. 2)。

2) 実験期間中における摂餌量の変化

実験期間中の摂餌量の変化は Fig. 3 に示す通りである。

動物性と植物性タンパク質食餌開始 6 週目から実験

終了 16 週目までの間、動物性・植物性タンパク質食餌群 (APD 群, VPD 群) と動物性・植物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群, VPDT 群) は、いずれの群間においても有意な摂餌量の変化は認められなかった (Fig. 3)。

EDL (長指伸筋) と M. Soleus (ヒラメ筋) の絶対的筋重量と体重 100 g 当たりの相対的筋重量は Table 2 に示す通りである。

3) ラットの EDL と M. Soleus の絶対的筋重量

動物性 (APD 群) と植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) 間における EDL の絶対的筋重量では、両群間において有意な差は認められなかった。また、動物性 (APDT 群) と植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) 間においても両群間に有意な差は認められなかった。さらに、植物性タンパク質食餌群では、食餌

群 (VPD 群) と食餌トレーニング群 (VPDT 群) の間に有意な差は認められなかった。しかし、動物性タンパク質食餌群においては、食餌トレーニング群 (APDT 群) が食餌群 (APD 群) に比べ有意に高い値を示した ($p < 0.05$, d.f.=16)

4) ラットのと M. Soleus の相対的筋重量

EDL の相対的筋重量では、動物性タンパク質食餌群 (APD 群) と植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) との間には有意な差は認められなかった。また、動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) と植物性タンパク

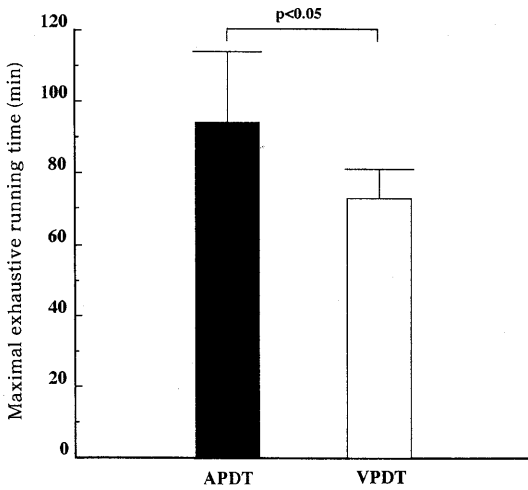


Fig. 4. Maximum endurance test. Difference of maximum endurance ability between animal protein diet training group and vegetable protein diet training group.

質食餌トレーニング群 (VPDT 群) との間においても有意な差は認められなかった。さらに、植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) と植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) との間には有意な差は認められなかった。しかし、動物性タンパク質食餌群と動物性タンパク質食餌トレーニング群においては、食餌トレーニング群が食餌群に比べ有意に高い値を示した ($p < 0.05$, d.f.=16) (Table 2)。

M. Soleus の絶対的筋重量では、動物性タンパク質食餌群 (APD 群) と植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) との間には有意な差は認められなかった。また、動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) と植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) との間にも有意な差は認められなかった。さらに、植物性タンパク質食餌群と植物性タンパク質食餌トレーニング群の間には有意な差は認められなかった。しかし、動物性タンパク質食餌と動物性タンパク質食餌トレーニング群間では、食餌トレーニング群 (APDT 群) が食餌群 (APD 群) に比べ有意に高い値を示した ($p < 0.05$, d.f.=16) (Table 2)。

M. Soleus の相対的筋重量においては、動物性タンパク質食餌群 (APD 群) と植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) との間に有意な差は認められなかった。また、動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) と植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) との間にも有意な差は認められなかった。しかし、動物性タンパク質食餌群 (APD 群) と動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) との間では、食餌トレーニング群が食餌群に比べ有意に高い値を示した ($p < 0.05$, d.f.=16)。また、植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) と植物性タン

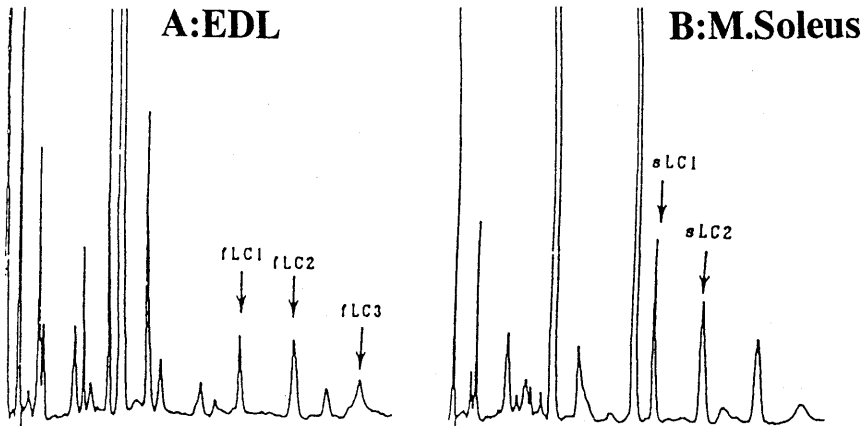


Fig. 5. One dimensional SDS gel electrophoresis (15%) of M. soleus and EDL muscle fiber. A, B: Absorbance of densitometry.

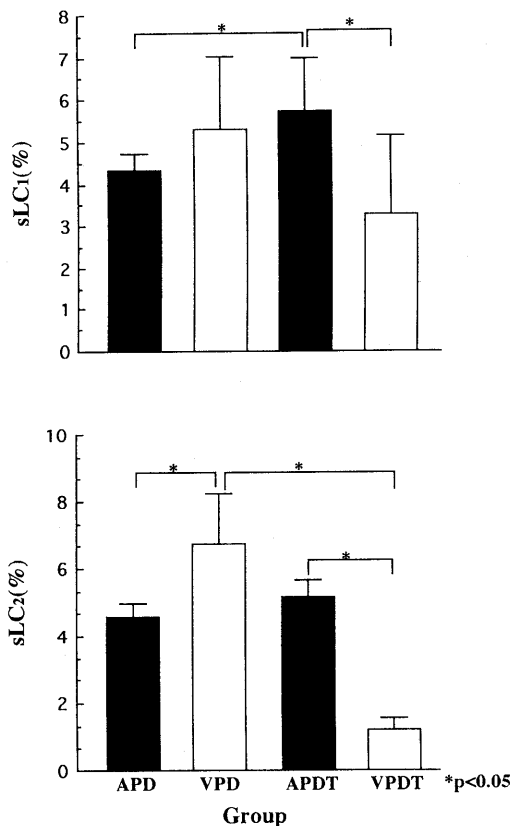


Fig. 6. Comparison of M. Soleus myosin light chain 1 and 2.

The represented value (% muscle protein) shows relative absorbance of sLC₁, sLC₂ in total densitometry.

パク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) との間においても食餌トレーニング群が食餌群に比べ有意に高い値を示した ($p < 0.05$, d.f.=16) (Table 2).

5) ラットの最大持久性走能力

Fig. 4 は最大持久性走能力の結果を示したものである。

最大持久性走能力においては、動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) が植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) に比べ有意に高い持久性走能力を示した ($p < 0.05$, d.f.=14) (Fig. 4)。

6) ラットの EDL (速筋) と M. Soleus (遅筋) の Myosin Light Chain Type

Fig. 5 は骨格筋の Myosin Light Chain Type (EDL: fLC₁, fLC₂, fLC₃, SOL: sLC₁, sLC₂) の % Muscle Protein を Densitometry による分析記録を示した (Fig. 5)。

Fig. 6 は遅筋であるヒラメ筋 (M. Soleus) の Type

sLC₁, sLC₂ を, Fig. 7 には速筋である長指伸筋 (EDL) の Type fLC₁, fLC₂, fLC₃ を各群別に示したものである。

遅筋 Type sLC₁ % Muscle Protein においては、動物性タンパク質食餌群 (APD 群) と植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) との間には有意な差は認められなかった。しかし、食餌トレーニング群間の Type sLC₁ % Muscle Protein では、動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) が植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) に比べ有意に高い Type sLC₁ % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, d.f.=14)。また、動物性タンパク質食餌群 (APD 群) と動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) との間では、食餌トレーニング群が食餌群に比べ有意に高い Type sLC₁ % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, d.f.=16)。しかし、植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) と植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) との間には有意な差は認められなかった。

Type sLC₂ % Muscle Protein においては、植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) が動物性タンパク質食餌群 (APD 群) に比べ有意に高い Type sLC₂ % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, d.f.=18)。また、食餌トレーニング群間における Type sLC₂ % Muscle Protein では、動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) が植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) に比べ有意に高い Type sLC₂ % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, d.f.=16)。しかし、動物性タンパク質食餌群 (APD 群) と動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) との間には有意な差は認められなかった (Fig. 6)。

速筋 Type fLC₁ の % Muscle Protein においては、動物性タンパク質食餌群 (APD 群) が植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) に比べ有意に高く ($p < 0.05$, d.f.=18)、さらに、食餌トレーニング群間においても、動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) が植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) に比べ有意に高い Type fLC₁ % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, d.f.=14)。そして、動物性タンパク質食餌群と動物性タンパク質食餌トレーニング群間および植物性タンパク質食餌群と植物性タンパク質食餌トレーニング群間では、いずれも動物性・植物性タンパク質食餌群 (APD 群, VPD 群) が動物性・植物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群, VPDT 群) に比べ有意に高い Type fLC₁ % Muscle

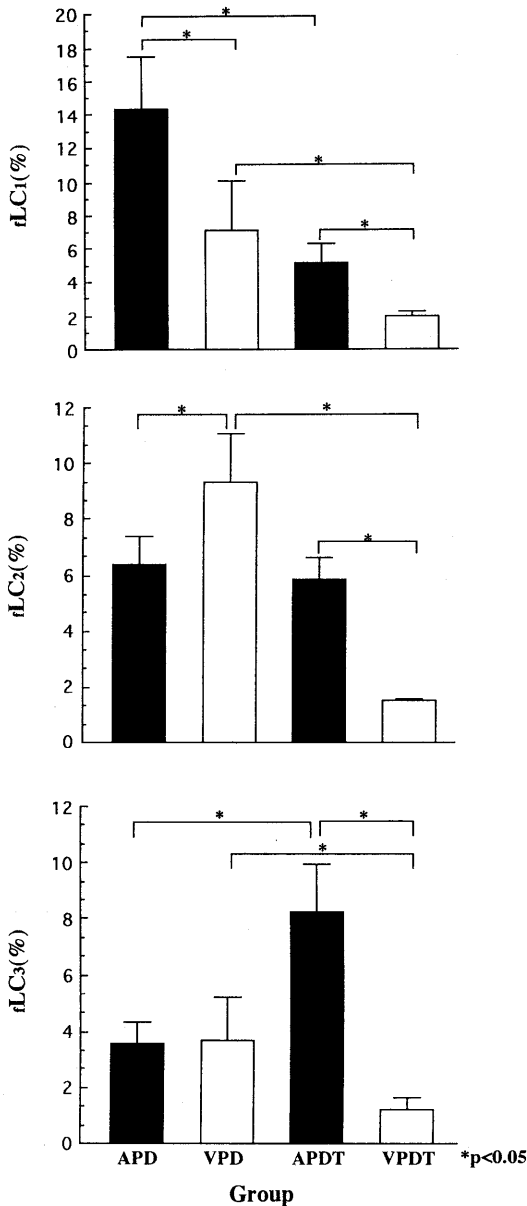


Fig. 7. Comparison of EDL myosin light chain 1, 2 and 3. The represented value (% muscle protein) shows relative absorbance of fLC₁, fLC₂ and fLC₃ in total densitometry.

Protein を示した ($p < 0.05$, $d.f. = 16$).

Type fLC₂ では、植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) が動物性タンパク質食餌群 (APD 群) に比べ有意に高い Type fLC₂ % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, $d.f. = 18$). なお、動物性タンパク質食餌トレーニング群

(APDT 群) と植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) においては、動物性タンパク質食餌トレーニング群が有意に高い Type fLC₂ Type % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, $d.f. = 14$). さらに、植物性タンパク質食餌群と植物性タンパク質食餌トレーニング群においては、植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) が植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) に比べ有意に高い Type fLC₂ % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, $d.f. = 16$). しかし、動物性タンパク質食餌群 (APD 群) と動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) との間には有意な差は認められなかった。

Type fLC₃ の % Muscle Protein における動物性タンパク質食餌群 (APD 群) と植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) との間には有意な差は認められなかった。しかし、動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) と植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) との間では、動物性タンパク質食餌トレーニング群が有意に高い Type fLC₃ % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, $d.f. = 14$). さらに、動物性タンパク質食餌群 (APD 群) と動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) 間では、動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) が有意に高い Type fLC₃ % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, $d.f. = 14$). しかし、植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) と植物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) 間では、逆に植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) が植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPE 群) に比べ有意に高い Type fLC₃ % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, $d.f. = 16$) (Fig. 7).

4. 考 察

1) ラットの体重変化に与えるタンパク食餌と持久性トレーニングの影響

ラットにトレーニング負荷をした結果、一般に体重の増加が抑制されているという報告は数多くされている^{2,3,27}). この現象にはいくつかの要因が考えられるが、まずトレーニングというストレスによる食欲の減退²⁷) と、その結果生じる摂取量の減少²⁾, または運動による脂肪組織沈着の強制抑制^{2,24}) などによるものと報告されている。しかし、本研究の動物性と植物性タンパク質食餌群および動物性と植物性タンパク質食餌トレーニング群間では、ほとんど差が認められなかった。以上のような結果は、いくつかの原因が考えられるが、まず、実験期間中の食餌群と食餌トレーニング群の両群間において摂取量の差がみられなかったことが一因と考えられる。このことは食餌タンパク質レベルが中タンパク質でも、高

タンパク質にでもラットの体重にほとんど差が認められなかったという村松²⁰⁾らの研究報告と一致するものである。

2) ラットの EDL と M. Soleus の絶対的・相対的筋重量に与えるタンパク質食餌と持久性トレーニングの影響

筋の絶対量および相対量ともに、両食餌群間に差はみられず、両食餌トレーニング群間にも差がみられなかった。しかし、動物性タンパク質食餌トレーニング群は動物性タンパク質食餌群に比べ有意に高い値を示した。さらに、相対的筋重量においても、絶対筋重量と同様に食餌トレーニング群が食餌群に比べ有意に高い値を示した。

以上の結果から、絶対的筋重量と相対的筋重量ともに食餌トレーニング群が食餌群に比べ高い値を示したことは、本研究に用いられたトレーニング条件が筋の肥大を促すトレーニング条件であったと推察される。

3) ラットの最大持久性走能力に与えるタンパク質食餌と持久性トレーニングの影響

本研究に用いた走行スピードは、Gollnick & King⁷⁾、伊藤¹²⁾、Hickson *et al.*⁹⁾、Gollespie *et al.*⁸⁾の先行研究に基づき分速 30 m のスピードと設定した。また、Sheperd & Gollnick²⁸⁾の報告によると、分速 30 m のスピードはラットの $\dot{V}_{O_2 \max}$ のほぼ 84% のスピードであり、持久性トレーニングの効果を検討するには適切な運動強度であると考察される。

運動負荷^{4,6)}および高炭水化物食⁵⁾は肝臓と骨格筋にグリコーゲンの含量を増加させると報告されている。また、高タンパク栄養がラットの発育に好影響をもたらすことは認められている^{11,18,26)}。しかし、走能力に関しては好影響をもたらすという報告^{20,31)}と悪影響をもたらすという逆の報告^{1,23)}があり、一致した結果が得られていない。実験食中の炭水化物レベルがラットの走能力に大きく影響すること^{4,6)}、また運動負荷法にも遊泳運動^{5,21)}、トレッドミル^{10,19)}など様々であり、これら運動負荷法からも検討する必要がある。

そこで、本実験では、同様な高タンパク質レベルの異なる動物性タンパク質食(タンパク含量 84.7%)と植物性タンパク質食(タンパク含量 85.3%)を用いて持久性運動負荷を与えた。その結果、最大持久性走能力では、動物性タンパク質食餌トレーニング群が植物性タンパク質食餌トレーニング群に比べ有意に高い持久性走能力を示した。その要因としては、動・植物性タンパク質食餌トレーニング群間の摂餌量、体重、絶対的筋重量が両群に差が見られなかったことから、骨格筋における酸化系

酵素活性の促進が考えられる。本研究の結果は、トレーニングが骨格筋の酸化系酵素活性を増大させるという先行研究^{12,13,15,17,30)}を支持するものである。動物性タンパク質食餌トレーニング群の最大持久性走能力時間が植物性タンパク質食餌トレーニング群に比べ有意に高いという本実験の結果は、動物性タンパク質食の方が植物性タンパク質食よりも骨格筋の酸化系酵素活性の増大を促すことが示唆された。

4) ラットの EDL と M. Soleus の Myosin Light Chain Type に与えるタンパク質食餌と持久性トレーニングの影響

筋細胞の収縮装置である筋原線維は収縮タンパクであり、主にミオシンおよびアクチンなどから成っている。これらの各タンパク質には、数種類の分子量があると報告されている。ATPase 活性をもち、筋収縮の中心的役割を果たすミオシンにも数種類の分子種があり、ミオシン分子は分子量約 200,000 の HC (Heavy chain) 2 本と分子量 20,000 前後の LC (Light chain) 4 本から構成されている^{13,19,22,24)}と報告されている。Myosin Light Chain は低分子量のため電気泳動による解析が容易である²⁴⁾。したがって、発育時における Myosin Light Chain の種類および相対量 (% Muscle Protein) の変化を検討することより、骨格筋で産生されるミオシン分子の種類が成長期に伴ってどのように変わるか推定することができる。

本研究の骨格筋の Myosin Light Chain Type % Muscle Protein からみると、M. Soleus (遅筋) の Type sLC_{1,2} においては、植物性タンパク質群 (VPD 群, VPDT 群) が動物性タンパク質群 (APD 群, APDT 群) に比べ高い Type % Muscle Protein を示し、EDL (速筋) の Type fLC₁ は動物性タンパク質群 (APD 群, APDT 群) が植物性タンパク質群 (VPD 群, VPDT 群) に比べ有意に高い Type % Muscle Protein を示した。が、Type fLC₂ においては、逆に植物性タンパク質群 (VPD 群, VPDT 群) が動物性タンパク質群 (APD 群, APDT 群) より有意に高い Type % Muscle Protein を示した。しかし、Type fLC₃ では、両群間の Type % Muscle Protein には差が認められなかった。また、食餌トレーニング群間 (APDT 群, VPDT 群) では、遅筋と速筋のいずれの Type (sLC_{1,2}, fLC_{1,2,3}) において動物性タンパク質食餌トレーニング群が植物性タンパク質食餌トレーニング群に比べ有意に高い Type % Muscle Protein を示した。

以上の動物性および植物性タンパク質食餌群の各 Type において変化がみられたことから、動物性と植物

性タンパク質食が Type % Muscle Protein に何らかの影響を及ぼすことが示唆された。

さらに、動物性と植物性タンパク質食餌トレーニング群の遅筋と速筋の Myosin Light Chain Type % Muscle Protein において、いずれも動物性タンパク質食餌トレーニング群が植物性タンパク質食餌トレーニング群より有意に高い Type % Muscle Protein を示し、また、最大持久性走能力においても動物性タンパク質食餌トレーニング群が植物性タンパク質食餌トレーニング群に比べ有意に高い持久性能力を示した。

以上の結果から、持久性トレーニングにおいては、動物性タンパク質食の方が植物性タンパク質食より好影響を及ぼされやすいことが示唆された。

5. 要 約

高動物性タンパク質食餌と高植物性タンパク質食餌条件下での持久性トレーニングが成長期ラットの走能力および骨格筋 Myosin Light Chain Type % Muscle Protein に及ぼす影響について調べることを目的とした。

得られた結果は次の通りである。

1) 持久性走能力においては、動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) が植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) に比べ有意に高い持久性走能力を示した ($p < 0.05$, d.f. = 14)。

2) 植物性タンパク質食餌群 (VPD 群) の遅筋 Type 1, 2 および速筋 Type 2 が、動物性タンパク質食餌群 (APD 群) の Myosin Light Chain Type % Muscle Protein に比べ有意に高い Type % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, d.f. = 18)。

3) 食餌トレーニング群間 (APDT 群, VPDT 群) の Myosin Light Chain Type % Muscle Protein では動物性タンパク質食餌トレーニング群 (APDT 群) が植物性タンパク質食餌トレーニング群 (VPDT 群) に比べいずれの Type においても有意に高い Type % Muscle Protein を示した ($p < 0.05$, d.f. = 14)。

以上のことから、持久性トレーニングにおいては動物性タンパク質食の方が植物性タンパク質食餌より好影響をもたらすということが示唆された。

動物性タンパク質食餌および植物性タンパク質食餌は、安静時においても Myosin Light Chain Type % Muscle Protein に影響を及ぼし、特に、動物性タンパク質食は、持久性トレーニングにおいてラットの持久性走能力と骨格筋 Myosin Light Chain Type % Muscle Protein に好影響を及ぼすことが推察される。

6. 謝 辞

本研究のための御援助を賜った日本体育大学の須藤裕美子検査技師に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Benzi, G., Panceri, P., De Bernardi, M., Villa, R., Arcelli, E., Angelo, L. D., Arrigoni, E. and Berte, F. (1975): Mitochondrial enzymatic adaptation of skeletal muscle to endurance training. *J. Appl. Physiol.*, **38**, 565-569.
- 2) Bergstrom, J. and Hultman, E. (1966): Muscle-glycogen synthesis after exercise; an enhancing factor localised in the muscle in man. *Nature*, **210**, 309-310.
- 3) Bergstrom, J., Hermansen, L., Hultman, E. and Saltin, B. (1967): Diet, Muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol. Scand.*, **71**, 140-150.
- 4) Bergstrom, S., Fahlen, A., Hjalmasson, and Johnson, R. (1974): Activities of rats muscle enzymes after acute exercise. *Acta Physiol. Scand.*, **90**, 544-554.
- 5) Crews, E. L., Fuge, K. W., Oscail, L. B., Holloszy, J. O. and Shank, R. E. (1969): Weight, food intake, and body composition: Effects of exercise and of protein deficiency. *Am. J. Physiol.*, **216**, 359-363.
- 6) Dohn, G. L., Beecher, G. R., Stephenson, T. P. and Womack, M. (1977): Adaptations to endurance training at three intensities of exercise. *J. Appl. Physiol.*, **42**, 753-757.
- 7) Gollnick, P. D. and King, D. W. (1969): Effect of exercise and training on mitochondria of rat skeletal muscle. *Am. J. Physiol.*, **216**, 1502-1509.
- 8) Gillespie, A. C., Fox, E. L. and Merola, A. J. (1982): Enzyme adaptations in rat skeletal muscle after two intensities of treadmill training. *Med. Scil. Sports Exercise*, **14**, 461-466.
- 9) Hickson, R. C., Heusner, W. W. and Van Huss, W. D. (1975): Skeletal muscle enzyme alterations after sprint and endurance training. *J. Appl. Physiol.*, **40**, 868-872.
- 10) Haida, N., Fowler, W. M. Jr., Abresch, R. T., Larson, D. B., Sharman, R. B., Tatlor, R. G. and Eutrikin, R. K. (1989): Effect of hindlimb suspension on young and adult skeletal muscle. I. Normal mice. *Exp. Neurol.*, **103**, 68-76.
- 11) 原田邦彦, 岩垣承恒, 酒井良介, 佐藤恒久, 中野昭一, 酒井敏夫 (1973): 運動能と栄養条件 (1), 食餌組成を変えた場合の中間代謝. *体力科学*, **22**, 132-140.
- 12) 伊藤一生 (1981): ラット骨格筋繊維に及ぼす持久性トレーニングの影響に関する組織化学的研究.

- 体力科学, **30**, 157-166.
- 13) 石原昭彦, 勝田 茂, 藤田紀盛 (1983): 持久性トレーニングが神経, 筋組織の組織化学的特性に及ぼす影響について. 体育学研究, **38**, 215-225.
 - 14) 伊藤一生, 伊藤 稔, 北村栄美子, 竹中千代子 (1982): Rat 骨格筋の加齢に伴う変化と性差に関する組織化学的研究. 昭和 56 年度科学研究費補助金 (総合研究 A), 女子の筋の特性とその発達に関する基礎的研究, 研究成果報告書, 36-40.
 - 15) 金尾洋治, 勝田 茂 (1983): スプリント及び持久トレーニングがラットの骨格筋繊維および毛細血管の発達に及ぼす影響. 体力科学, **32**, 311-319.
 - 16) Laemmli, U. K. (1970): *Nature*, **227**, 680.
 - 17) Mani, M., Ito, K. and Kikuchi, K. (1967): Histological studies of musculae training, Report I. Effect of training upon skeletal muscle fibers. *Res. J. Physic. Educ.*, **11**, 153-165.
 - 18) Mercer, L. P., Morgan, P. H., Flodin, N. W. and Domm, A. (1979): Prediction of food intakes and growth rates in weanling rats by the four-parameter model equation. *Nutr. Rep. Int.*, **19**, 1-8.
 - 19) 松田源治 (1982): 筋肉ミオシン L 鎖の一次構成. 蛋白質核酸酵素, **27**, 1465-1468.
 - 20) 村松成可, 高橋徹三, 鈴木正敏 (1982): ラットの成長, 体成分, 遊泳持久力に及ぼす食餌タンパク質レベルおよびエネルギー供給源の影響. 筑波大学体育科学系紀要, **5**, 163-171.
 - 21) Nutter, D. O., Priest, R. E. and Fuller, E. D. (1981): Endurance training in the rat. I. Myocardial mechanics and biochemistry. *J. Appl. Physiol.*, **51**, 934-940.
 - 22) 鍋島陽一 (1984): ミオシン遺伝子の発現制御と筋細胞の分化. 科学, **54**, 68-75.
 - 23) 合志慶一 (1961): 筋労作持続時間を指標として観たタンパク質必要量について. 栄養と食糧, **13** (6), 63-67.
 - 24) 小沢二郎, 嶋田 裕, 真崎知生編 (1983): 筋発生の細胞生化学, 初版蛋白質の分化と存在様式, 学会出版センター東京, 152-181.
 - 25) 岡田理美, 石浦章一, 杉田禿夫 (1981): ラット筋線維の発育・分化に関する組織化学的研究. 神経内科, **15**, 363-370.
 - 26) Slonaker, J. R. (1931): The effect of different percents of protein in the diet. I. Growth. *Am. J. Physiol.*, **96**, 547-557.
 - 27) Stevenson, J. A. F., Box, B. M., Feleki, V. and Beaton, J. R. (1966): Bouts of exercise and food intake in the rat. *J. Appl. Physiol.*, **21**, 118-122.
 - 28) Sheperd, R. E. and Gollnick, P. D. (1976): Oxygen uptake of rats at different work intensities. *Pflugers Arch.*, **362**, 219-222.
 - 29) 杉浦崇夫, 的場秀樹, 村上オトシ (1988): ラット骨格筋線維のミオシン Light Chain と酵素活性の発育に伴う変化について. 体力科学, **35**, 134-144.
 - 30) 竹倉宏明, 田中弘之, 小野三嗣, 春日規克 (1985): ラット骨格筋繊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.
 - 31) Wainio, W. W., Allison, J. B., Kremzner, L. T., Bernstein, B. and Aronoff, M. (1959): Enzymes in protein depletion. *Enzymes of brain, Kidney, Skeletal muscle and spleen. J. Nutr.*, **67**, 197-204.