

=原 著=

ラット下肢骨格筋に対する発育期より開始した トレーニングの影響

辻本 尚 弥*¹ 鈴木 英 樹*² 春日 規 克*²

Effects of Training Started at Postnatal Development
on Rat Hindlimb Muscles

Hisaya TSUZIMOTO, Hideki SUZUKI, Norikatsu KASUGA

Abstract

The effects of running or jumping training started at postnatal development on protein levels of hindlimb muscles were studied in the 20, 3-month-old female Fischer 344 rats. These rats were divided into three groups: sedentary (S), run (R) and jump (J) group. The rats of group R were trained by treadmill running (30 m/min, 60 min/day and 5 days/wk); group J were trained by vertical jumping (40 cm high, 100 repetitions/day, 5 days/wk). Both training were performed for 8 weeks before experiment month.

The rats' body weights of all groups were significantly increased during training period. The relative weight of all muscles [soleus, plantaris, gastrocnemius (GAS), tibialis anterior (TA), extensor digitorum longus] of group R was significantly increased. The relative weight of the plantaris and of the GAS muscle of group J were significantly increased. Total protein (TP) content of the TA muscle of both training groups was higher than that of group S. TP content of the GAS muscle of group J was higher than that of group S. Non-collagenous protein (NCP) content of the GAS muscle of both training groups was higher than that of group S. In the TA and the GAS muscle, there was no significant difference in each protein concentration. There was no significant difference in the percentages of NCP to TP and in the percentages of myofibril protein (MP) to NCP in each group.

These results indicate that hindlimb muscle weight and each protein content (TP, NCP, MP) are greatly affected by running or jumping training started at postnatal development. Protein concentrations and ratio of each protein content of the TA and of the GAS muscle are not affected by running or jumping training started at postnatal development.

Key words : skeletal muscle, postnatal development, training

緒 言

骨格筋に対するトレーニングの影響について、こ

れまで多くの報告がある^{7) 26) 32) 36) 37)}。我々も筋の構成蛋白質に注目し、トレーニングの効果について検討してきた^{34) 35)}。ラットの成熟期にあたる6ヶ月齢

*1 久留米大学保健体育センター

The Institute of Health and Physical Education, Kurume University, Kurume (839)

*2 愛知教育大学健康科学教室

Department of Health Science, Aichi University of Education, Aichi (448)

での走およびジャンプトレーニングにより、足底筋では重量は増加したが蛋白濃度は変化がみられず³⁵⁾、前脛骨筋では重量と蛋白含量が増加し、蛋白濃度に変化はみられなかった³⁴⁾。

一方、骨格筋は発育期に形態及び機能に大きな変化のみられることが知られている^{2) 13) 14) 15) 16) 17)}。ラットやマウスでは筋線維長の急激な伸長が7~10週齢頃までみられると報告されている¹³⁾。そのためマウス骨格筋では7~10週齢頃に筋の微細構造の乱れによる機能の低下が報告されている¹⁴⁾。また組織化学的特性の変化はラットで7週齢頃まで^{9) 10)}、蛋白含量の変化が6週齢ごろまで観察されている³¹⁾。これらのことから、成熟した齧歯類の骨格筋の諸特性は6~10週齢までの筋組織や細胞の急激な変化により完成し、その後、加齢に従い緩やかに変化することがわかる。これら骨格筋の機能や組織化学的特性及び構造の変化は筋を構成している種々の物質、特に蛋白質の量的・質的な変化を反映したものである^{21) 25) 27)}。組織や細胞が急激に変化する時期は蛋白の代謝過程から考えると、トレーニングなどの機能的負荷の変化に対し成熟期とは異なった応答がみられるのではないかと考えられる。

そこで本研究では実験動物を用いて後肢筋である前脛骨筋と腓腹筋を中心に他の後肢筋も含めて、筋重量や蛋白質量に注目し、構造的・機能的に変化がみられる発育期より開始した持続的な走トレーニングと瞬発的なジャンプトレーニングの影響を検討した。

方 法

実験動物には、生後3ヶ月齢のFischer 344系の雌ラット20匹を用いた(日本SLC)。飼育ケージは24×38×20cmの大きさで、餌(CE-2:日本クレア)及び飲水は自由摂取とし、昼夜逆転した12時間の明暗サイクルで室温22±1°C、湿度60±5%の環境下で飼育した。実験群として対照群(Sedentary; S群)、持続性運動群(Run; R群)及び瞬発性運動群(Jump; J群)の3群を設けた。予め体重がほぼ同一になるように約1ヶ月齢時にラットを3群に分けた。R群には持続性運動として、実験動物用トレッドミルを用いた走トレーニングを、分速30mで1日1時間、週5日行った。J群には瞬発性運動として、刺激電極板を用いたジャンプトレーニングを、高さ40cmへの跳び上がりを1日100回、週5日行った^{34) 35)}。トレーニングは1週間の予備トレーニング

期間を設けた後、3ヶ月齢に達するまでの8週間行った。トレーニング終了後、ラットの体重を計測、ペントバルビタール麻酔下にて頸動脈より放血し屠殺した。その後、ヒラメ筋、足底筋、腓腹筋、前脛骨筋、長指伸筋を摘出し筋湿重量を測定後ただちに液体窒素により冷却したイソペンタン中で瞬間凍結し、生化学的分析を行うまで-60°Cの冷凍庫で保存した。なお飼育・トレーニング・屠殺での実験動物の扱いについては、「実験動物の飼養及び保管等に関する基準」に沿って行った^{12) 20)}。

各筋蛋白質の分析には、背屈筋である前脛骨筋及び底屈筋である腓腹筋を用いた。まず筋をTsikara³³⁾の方法に従いホモジナイズして、総蛋白(Total protein; TP)及び非コラーゲン性蛋白(Non-collagenous protein; NCP)分析のためサンプルを分取した後、残りは筋原線維蛋白(Myofibril protein; MP)の抽出と精製に用いた。NCPの抽出と精製はSugita²⁹⁾の方法によった。筋原線維蛋白の抽出と精製はTsikara³³⁾によるSolar²⁸⁾の変法を用いた。各蛋白質の定量にはBiuret法を用いた⁹⁾。各蛋白濃度の測定後、筋重量と各蛋白濃度より各蛋白含量をもとめた。さらに各蛋白濃度より総蛋白中に占めるNCPの割合(NCP/TP比)、NCP中に占める筋原線維蛋白の割合(MP/NCP比)および総蛋白中に占める筋原線維蛋白の割合(MP/TP比)を算出した^{34) 35)}。

各測定値は群ごとに平均値及び標準偏差を求め統計学的な検定を行った。トレーニング期間中の体重増加量は、一要因(トレーニング期間前後の体重)

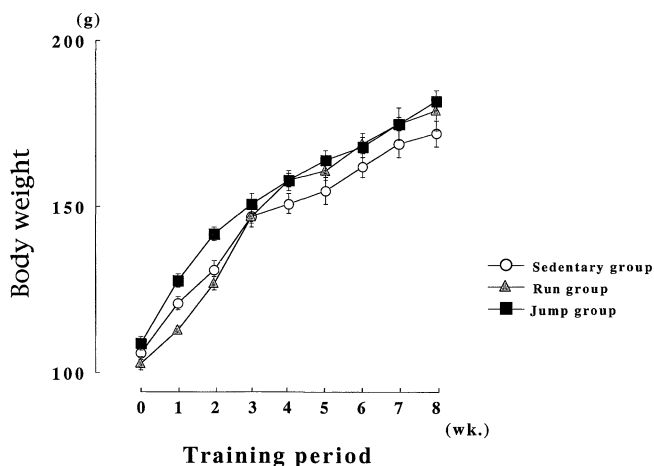


Fig. 1 Changes of body weight during training period

Table 1. Body weight and tissue weight of rats in each group

| Groups (Number) | Sedentary (7) | Run (6) | Jump (7) |
|----------------------|---------------|------------|-----------|
| Body weight (g) | 175 ± 2 | 182 ± 5 | 178 ± 2 |
| Tissue weight (mg) | | | |
| M. soleus | 61 ± 2 | 81 ± 3* | 68 ± 1* † |
| M. plantaris | 169 ± 4 | 200 ± 6* | 191 ± 2* |
| M. gastrocnemius | 901 ± 14 | 1010 ± 32* | 960 ± 11 |
| M. tibialis anterior | 287 ± 10 | 340 ± 11* | 296 ± 2 † |
| M. EDL | 69 ± 1 | 81 ± 3* | 71 ± 1 † |

Values are expressed as mean ± SEM

* : Significant difference from the value at sedentary (p<0.05)

† : Significant difference from the value at run (p<0.05)

EDL : extensor digitorum longus

Table 2. Relative tissue weight of rats in each group

| Groups (Number) | Sedentary (7) | Run (6) | Jump (7) |
|-------------------------------------------------|---------------|--------------------|--------------------|
| Tissue weight/Body weight (mg/100g body weight) | | | |
| M. soleus | 35 ± 1 | 44 ± 1 * (126) | 38 ± 1 † (109) |
| M. plantaris | 97 ± 2 | 110 ± 1 * (113) | 108 ± 1 * (111) |
| M. gastrocnemius | 515 ± 6 | 556 ± 4 * (108) | 541 ± 8 * (105) |
| M. tibialis anterior | 164 ± 4 | 187 ± 3 * (114) | 167 ± 1 † (102) |
| M. EDL | 39 ± 1 | 45 ± 1 * (115) | 40 ± 1 † (103) |

Values are expressed as mean ± SEM

(Percentage to sedentary groups)

* : Significant difference from the value at sedentary (p<0.05)

† : Significant difference from the value at run (p<0.05)

EDL : extensor digitorum longus

に対応がある二要因（実験条件×トレーニング期間前後の体重）の分散分析にて検定した。最終体重、筋重量、各蛋白質の濃度、含量と各蛋白質の濃度比は、分散の検定に Bartlett 法を、平均値の検定に一元配置分散分析法を用いた。各群間の平均値の差の検定には Duncan の多範囲検定法を用いた。有意水準は、5% (P<0.05) とした²⁴⁾。

結 果

トレーニング期間中の体重の変化を平均値と標準誤差により図 1 に示した。3 群の体重はトレーニング期間が進むに従い増加した。トレーニング期間中の体重の変化は 3 群間で差がみられなかった。トレーニング後の最終体重と筋重量は平均値と標準誤差により表 1 に示した。最終体重は 3 群間で差がみられなかった。筋重量は R 群で全ての後肢筋重量が S

群に比べ重く、J 群に比べヒラメ筋、前脛骨筋、長指伸筋の重量が重かった。J 群では S 群に比べヒラメ筋と足底筋が重かった。体重 100 g 当りの相対的筋重量を平均値と標準誤差により表 2 に示した。また S 群の平均値に対する両トレーニング群の平均値の相対値もあわせて示した。R 群は全ての後肢筋重量が S 群に比べ重く、J 群に比べヒラメ筋、前脛骨筋、長指伸筋の重量が重かった。J 群では S 群に比べ足底筋と腓腹筋の重量が重かった。また S 群の平均値に対するトレーニング群の相対値は、R 群が J 群に比べ全ての後肢筋で高値を示した。

表 3 には前脛骨筋と腓腹筋の各蛋白濃度の平均値と標準誤差を示した。総蛋白濃度、NCP 濃度、筋原線維蛋白濃度は、両筋ともにいずれの群間でも差がみられずトレーニングによる変化は認められなかった。表 4 には前脛骨筋と腓腹筋の各蛋白含量の平均

Table 3. Protein concentrations of hindlimb muscles in each group

| Groups (Number) | Sedentary (7) | Run (6) | Jump (7) |
|--------------------------------|---------------|----------|----------|
| Total protein (mg/g) | | | |
| M. tibialis anterior | 225 ± 5 | 254 ± 9 | 251 ± 11 |
| M. gastrocnemius | 240 ± 14 | 252 ± 14 | 254 ± 8 |
| Non-collagenous protein (mg/g) | | | |
| M. tibialis anterior | 146 ± 4 | 149 ± 14 | 143 ± 4 |
| M. gastrocnemius | 154 ± 9 | 163 ± 7 | 166 ± 3 |
| Myofibril protein (mg/g) | | | |
| M. tibialis anterior | 123 ± 9 | 108 ± 7 | 116 ± 6 |
| M. gastrocnemius | 105 ± 5 | 108 ± 7 | 109 ± 4 |

Values are expressed as mean ± SEM

Table 4. Protein content of hindlimb muscles in each group

| Groups (Number) | Sedentary (7) | Run (6) | Jump (7) |
|-------------------------------------|---------------|-----------|------------|
| Total protein (mg/muscle) | | | |
| M. tibialis anterior | 73 ± 3 | 97 ± 3 * | 88 ± 5 * |
| M. gastrocnemius | 222 ± 17 | 261 ± 16 | 270 ± 11 * |
| Non-collagenous protein (mg/muscle) | | | |
| M. tibialis anterior | 47 ± 2 | 57 ± 5 | 50 ± 1 |
| M. gastrocnemius | 139 ± 9 | 168 ± 8 * | 176 ± 3 * |
| Myofibril protein (mg/muscle) | | | |
| M. tibialis anterior | 12 ± 1 | 11 ± 1 | 12 ± 1 |
| M. gastrocnemius | 98 ± 6 | 111 ± 8 | 116 ± 4 |

Values are expressed as mean ± SEM

* : Significant difference from the value at sedentary ($p < 0.05$)

値と標準誤差を示した。総蛋白含量は前脛骨筋で両トレーニング群がS群に比べ高値を示した。またJ群では腓腹筋においても高値を示した。NCP含量は腓腹筋で両トレーニング群がS群に比べ高値を示した。筋原線維蛋白含量は3群間で差はみられなかった。各群のNCP/TP比の平均値±標準誤差(%)は、前脛骨筋でS群が65±2, R群が59±5, J群が58±3であり、腓腹筋でS群が64±2, R群が64±2, J群が66±2であり、両筋のいずれの群間にも差が認められなかった。各群のMP/NCP比の平均値±標準誤差(%)は、前脛骨筋でS群が81±5, R群が75±7, J群が81±4であり、腓腹筋でS群が68±2, R群が69±5, J群が70±3であり、両筋のいずれの群間にも差が認められなかった。また各群のMP/TP比の平均値±標準誤差(%)は、前脛骨筋でS群が52±2, R群が43±3, J群が46±2であり、腓腹筋でS群が41±2, R群が44±3, J群が46±2であり、両筋のいずれの群間にも差が認められなかった。

考 察

本研究では、発育期から開始した運動様式の異なる二種類のトレーニングに対する適応の結果として成熟期と同様に筋重量と各蛋白含量は変化するが、筋を構成する各蛋白質の濃度及びそれらの比は変化しないことが示された。

一般にラットの性成熟は雄で生後60~90日、雌で生後35~40日とされている⁸⁾。本研究で用いた雌ラットは7週齢よりトレーニングを開始しており性成熟はほぼ完了していると考えられる。体重の変化をみると研究に用いたラットのトレーニング期間の体重増加率は対照群で62%を示し、トレーニング群についても対照群と同程度の変化を示した。前報の成熟期にあたる6ヶ月齢ラットの対照群の体重増加率は6%であったことから、本実験で用いた3ヶ月齢の特徴は、トレーニング期間中の大きな体重増加であることが示された。

ラットでは後肢筋重量は体重の影響を強く受ける

とされており、単位体重当りの相対的な筋重量が、萎縮や肥大の良い指標となると報告されている³⁸⁾。本研究での3ヶ月齢でのトレーニングの影響をみると、持久的走トレーニングでは6ヶ月齢に比べ足底筋、腓腹筋と前脛骨筋で肥大がみられた。瞬発的なジャンプトレーニングでは6ヶ月齢に比べ、腓腹筋で肥大がみられた。走及びジャンプ運動ではどちらも体重が筋に対する負荷となる。3ヶ月齢の体重は6ヶ月齢に比べて軽く、筋に対する負荷は低いと考えられる。3ヶ月齢においてトレーニングの効果が6ヶ月齢に比べより顕著にみられた一因としては、トレーニングの開始時期が発育期であったことによると考えられる。田中ら³⁰⁾は若齢のラットに自発的な走運動を課した場合、運動の開始時期が早いほど後肢筋の重量増加が大きいとしている。また Milward ら²⁹⁾はラット腓腹筋において蛋白合成の割合は若齢であるほど大きく、成長に従いその割合は低下することを報告している。骨格筋重量の増加は筋蛋白の増加を反映したものであり、蛋白の代謝レベルでは、骨格筋重量の増加は蛋白合成が分解をうまわり組織内に蛋白質が蓄積されておこる⁴⁾。3ヶ月齢においてトレーニングの効果がより顕著にみられたのは、蛋白合成の割合が大きい時期にトレーニングを開始したことによると考えられる。

相対的な筋重量からみた場合、本実験では前脛骨筋と腓腹筋で両トレーニングによる筋量の増加が観察された。一方、筋を構成している各蛋白濃度と濃度比は、成熟期にみられた結果と同様に変化はみられなかった。本実験でも先の研究^{34) 35)}と同様に、筋を構成している蛋白質を大きく3つの項目、総蛋白、非コラーゲン性蛋白、筋原線維蛋白に分類した。Jaweed ら¹¹⁾及び Gordon ら⁹⁾は筋の蛋白濃度はトレーニングにより変化すること、また異なった様式のトレーニングによる各蛋白濃度の割合がその様式に特異的な変化を示すことを報告している。しかし Davies ら³⁾、勝田¹⁵⁾及び Wong と Booth³⁹⁾はトレーニングによる筋の各蛋白濃度の割合には差がみられないとしている。Baldwin ら¹¹⁾もラットの下肢筋で持久的走トレーニングではアクチン濃度は変化しないと報告している。筋のコラーゲン量については、Kovanen ら^{18) 19)}はラット後肢筋で持久的走トレーニングでは変化しないと報告している。Mikesky ら²²⁾もネコの長掌筋でトレーニングにより結合組織の割合が変化しないと報告している。本実験では前脛骨筋と腓腹筋で対照群と両トレーニング群の

各蛋白濃度及び濃度比には成熟期と同様に変化がみられなかった。このことから筋重量からみてトレーニング効果がより顕著に観察される3ヶ月齢においても、両トレーニングによる筋の蛋白濃度及び濃度の比は影響を受けないことが明らかとなった。

以上の結果より、ラット下肢筋では発育期よりトレーニングを開始した場合、成熟期に比べ筋の重量において顕著なトレーニング効果がみられるが、各蛋白質の濃度及び濃度の比には変化がみられないことが示された。

要 約

本研究ではラットの前脛骨筋と腓腹筋を中心に他の後肢筋も含めて、筋重量や蛋白質量に注目し、構造的・機能的に変化がみられる発育期より開始した持久的な走トレーニングと瞬発的なジャンプトレーニングの影響を検討した。

実験動物には、生後3ヶ月齢の Fischer344系の雌ラット20匹を用いた。餌及び飲水は自由摂取とし、昼夜逆転した12時間の明暗サイクル下で飼育した。実験群として対照群と走運動群及びジャンプ運動群の3群を設けた。トレーニング終了後、ヒラメ筋、足底筋、腓腹筋、前脛骨筋、長指伸筋を摘出し筋湿重量を測定した。前脛骨筋及び腓腹筋より総蛋白及び非コラーゲン性蛋白、筋原線維蛋白を抽出して濃度を測定し、各蛋白質の割合を算出した。

トレーニング後の体重は3群間に差がみられなかった。体重100g当りの相対的な筋重量では、対照群に比べて走運動群では全ての後肢筋の重量が重く、ジャンプ運動群では足底筋と腓腹筋の重量が重かった。総蛋白濃度、非コラーゲン性蛋白濃度および筋原線維蛋白濃度は、両筋ともにいずれの群間でも差がみられずトレーニングによる変化は認められなかった。総蛋白含量では、前脛骨筋において両トレーニング群が対照群に比べて高値を示した。またジャンプ運動群では腓腹筋においても高値を示した。非コラーゲン性蛋白含量では、腓腹筋において両トレーニング群が対照群に比べて高値を示した。各群の各蛋白質の濃度比は両筋のいずれの群間にも差が認められなかった。

以上の結果より、ラット後肢筋では発育期よりトレーニングを開始した場合、成熟期に比べ筋の重量において顕著なトレーニング効果がみられるが、各蛋白質の濃度および濃度の比には変化がみられないことが示された。

引用文献

- 1) Baldwin, K. M., W. W. Winder, and J. O. Holloszy (1975) : Adaptation of actomyosin ATPase in different types of muscle to endurance exercise. *Am. J. Physiol.*, 229 (2), 422-426.
- 2) Close, R. (1964) : Dynamic properties of fast and slow skeletal muscles of the rat during development. *J. Physiol.*, 173, 74-95.
- 3) Davies, K. J., L. Packer, and G. A. Brooks (1981) : Biochemical adaptation of mitochondria, and whole -animal respiration to endurance training. *Arch. Biochem. Biophys.*, 209 (2), 539-554.
- 4) Goldberg, A. L., J. D. Etlinger, D. F. Goldspink, and C. Jablecki (1975) : Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Med. Sci. Sports*, 7 (4), 248-261.
- 5) Gordon, E. E., K. Kowalski, M. Fritts (1967) : Adaptations of muscle to various exercise : Studies in rats. *JAMA*, 199 (2), 103-108.
- 6) Gornall, A. G., C. J. Bardawill, and M. M. David (1949) : Determination of serum proteins by means of the biuret method. *J. Biol. Chem.*, 177, 751-756.
- 7) Holloszy, J. O. (1973) : Biochemical adaptation to exercise : Aerobic metabolism. *Exer. Sport Sci. Rev.*, 1, 45-71.
- 8) 石橋正彦, 高橋寿太郎, 菅原七郎, 安田泰久 (1984) : 実験動物学 ラット. 1版, 講談社, 東京.
- 9) 石原昭彦, 勝田 茂, 藤田紀盛 (1984) : 発育にともなうラット神経, 筋組織の組織化学的特性の変化について. *体育学研究*, 29, 125-133.
- 10) 石原昭彦, 志手典之, 勝田 茂, 藤田紀盛 (1985) : ラット脊髄前角細胞と下肢骨格筋線維の分化に関する組織化学的研究. *体力科学*, 34, 98-107.
- 11) Jaweed, M. M., E. E. Gordon, G. J. Herbison, and K. Kowalski (1974) : Endurance and strengthening exercise adaptations : I. Protein changes in skeletal muscle. *Acta. Physiol. Med. Rehabil.*, 55, 513-517.
- 12) 実験動物飼育保管研究 (1980) : 実験動物飼養及び保管等に関する基準の解説, 総理府内閣総理大臣官房管理室, ぎょうせい, 東京.
- 13) 春日規克, 馬詰良樹 (1983) : 生後発育にともなうマウス骨格筋線維長と筋節長の変化. *体力科学*, 32, 134-139.
- 14) 春日規克 (1984) : 生後発育にともなうマウス骨格筋の筋力特性 : 形態的变化との関係. *体力科学*, 33, 229-234.
- 15) 勝田 茂 (1974) : 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.
- 16) 勝田 茂 (1979) : 骨格筋線維の生後発育に関する光顕的, 電顕的研究. *体育学研究*, 24 (3), 201-208.
- 17) 菊池邦雄 (1967) : 骨格筋線維の発達に関する組織化学的研究. *体力科学*, 16 (2), 38-44.
- 18) Kovanen, V., H. Suominen, and E. Heikkinen (1980) : Connective tissue of "fast" and "slow" skeletal muscle in rats - effects of endurance training. *Acta. Physiol. Scand.*, 108, 173-180.
- 19) Kovanen, V., H. Suominen, and E. Heikkinen (1984) : Mechanical properties of fast and slow skeletal muscle with special reference to collagen and endurance training. *J. Biomech.*, 17 (10), 725-735.
- 20) 前島一淑, 江崎考三郎, 篠田元扶, 山内忠平, 光岡知足, 菅野 茂, 辻 茂, 土井邦雄 (1988) : 新実験動物学. 1版, 朝倉書店, 東京.
- 21) 的場秀樹, 森田俊介, 杉浦嵩夫 (1995) : 骨格筋の筋線維タイプと適応性変化. *日本運動生理学雑誌*, 2 (2), 127-142.
- 22) Mikesky, A. E., C. J. Giddings, W. Matthews, and W. J. Goneya (1991) : Changes in muscle fiber size and composition in response to heavy-resistance exercise. *Med. Sci. Sport Exerc.*, 23 (9), 1042-1049.
- 23) Millward, D. J., P. J. Garlick, R. J. C. Stewart, D. O. Nnayelugo, and J. C. Waterlow (1975) : Skeletal-muscle growth and protein turnover. *Biochem. J.*, 150, 235-243.
- 24) 森 敏昭, 吉田寿夫 (1990) : 心理学のためのデータ解析テクニカルブック, 1版, 北大路書房, 京都.
- 25) Pette, D., and R. S. Staron (1990) : Cellular

- and molecular diversities of mammalian skeletal muscle fibers. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.*, 116, 1-76.
- 26) Salmon, S., and J. Henriksson (1981) : The adaptive response of skeletal muscle to increased use. *Muscle Nerve*, 4, 94-105.
- 27) Schiaffino, S., L. Gorza, S. Sartore, L. Saggin, S. Ausoni, M. Vianello, K. Gundersen, and T. Lomø (1989) : Three myosin heavy chain isoforms in type 2 skeletal muscle fibers. *J. Muscle Res. Cell Motil.*, 10, 197-205.
- 28) Solar, R. J., D. C. Pang, and F. N. Briggs (1971) : The purification of cardiac myofibrils with Triton-X 100. *Biochem. Biophys. Acta.*, 245, 259-262.
- 29) Sugita, H., Y. Okumura, and K. Ayai (1969) : Application of property of troponin to determination of tropomyosin content of a small pieces of muscle. *J. Biochem.*, 65 (6), 971-972.
- 30) 田中紀子, 早川 徹, 堀 清記(1992) : 骨格筋の成長に及ぼす運動開始時期の影響. *体力研究*, 80, 71-80.
- 31) 寺田光世(1980) : 筋発生について一線維構成と化学組成からの検討一. *体育学研究*, 25, 207-213.
- 32) 戸塚 学, 安部 孝, 広田公一(1989) : 高強度ジャンプ・トレーニングがラット骨格筋線維組成に及ぼす影響. *体育学研究*, 34, 133-140.
- 33) Tsika, R. W., R. E. Herrick, and K. M. Baldwin (1987) : Interaction of compensatory overload and hindlimb suspension on myosin isoform expression. *J. Appl. Physiol.*, 62 (6), 2180-2186.
- 34) 辻本尚弥, 鈴木英樹, 春日規克(1994) : 走及びジャンプトレーニングの前脛骨筋に対する効果. *名古屋経済大学・市屯学園短期大学 自然科学研究会会誌*, 29(1), 5-18.
- 35) 辻本尚弥, 鈴木英樹, 春日規克, 石河利寛(1995) : 走及びジャンプトレーニングによるラット骨格筋ミオシン重鎖アイソフォーム組成の変化. *体力科学*, 44, 97-104.
- 36) Watt, P. W., F. J. Kelly., D. F. Goldspink, and G. Goldspink (1982) : Exercise-induced morphological and biochemical changes in skeletal muscles of the rat. *J. Appl. Physiol.*, 53 (5), 1144-1151.
- 37) 山内秀樹, 春日規克(1992) : ジャンプおよびアイソメトリックトレーニングにともなう骨格筋の機能変化 : 筋線維組成との関連性. *体育学研究*, 37, 87-95.
- 38) 内山秀一, 玉木哲朗, 中野昭一(1994) : ラット骨格筋の絶対重量と体重を基準とした相対成長に関する研究, *日本生理誌*, 56, 7-16.
- 39) Wong, T. S., and F. W. Booth (1988) : Skeletal muscle enlargement with weight-lifting exercise by rats. *J. Appl. Physiol.*, 65 (2), 950-954.