

## 除神経ラット骨格筋の収縮特性に及ぼすテストステロン投与の影響

竹倉 宏明\* 春日 規克\*\* 吉岡 利忠\*\*\*

## EFFECTS OF TESTOSTERONE ON THE CONTRACTILE PROFILES OF DENERVATED RAT SKELETAL MUSCLE

HIROAKI TAKEKURA, NORIKATSU KASUGA and TOSHITADA YOSHIOKA

## Abstract

The effects of testosterone on the structural and contractile properties of the denervated rat skeletal muscles that were not influenced by neurotrophic-effects were investigated. Male Wistar strain rats (3-week-old, n=28) were used in the present study. All rats were divided into four (n=7, for each) groups; control (C), testosterone control (TC), denervated (DN), and denervated with testosterone (DNT) groups. Sciatic nerves of DN and DNT groups' rats were resected at the 4-week-old after birth. Testosterone that was melted in corn-oil was administered (40 mg/kg body weight/week) for the TC and DNT groups. At the end of breeding period (15-week-old), soleus (SOL) and extensor digitorum longus (EDL) muscles were dissected from both hindlimbs and contractile profiles were analyzed in vitro. Relative weight (muscle weight/body weight) of SOL muscle in the DNT group was significantly ( $p<0.01$ ) higher than that of the DN group. There is no significant difference in EDL muscle between the DN and DNT groups. Time to peak tension and half relaxation time in EDL muscle of the DNT group was significantly ( $p<0.05$ ) higher than those of the DN group. Maximum twitch tension was prone to decrease following denervation, and significantly ( $p<0.01$ ) difference between the DN and DNT groups in both muscles regarding the maximum twitch tension was observed. There is no significant difference of myosin and actomyosin ATPase activities comparison of each group in SOL muscle, however, the TC group were significantly higher than those of the C group in EDL muscle. These results suggested that the effects of testosterone for the hypertrophy in skeletal muscles were not synergistic effects with the neurotrophic-effects, however, for the ATPase in fast muscle act synergistically with the neurotrophic effect to change of myosin ATPase. Moreover, it was also suggested that the sensitivity to the testosterone was different in each type of fiber.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1991, 40 : 41~47)

**key words** : testosterone, skeletal muscle, denervation, contractile properties

## I. 緒 言

蛋白同化作用の亢進を誘発し、骨格筋の肥大の重要な因子となっていることが知られている<sup>25)</sup>アナボリックステロイド剤 (テストステロン等) が骨格筋の構造並びに、機能的特性に及ぼす影響に

ついてはラット、ヒトを対象として数多くの研究が報告されらる<sup>4,11,16)</sup>。また、骨格筋線維の肥大<sup>19,22)</sup>、筋力の増大<sup>30)</sup>、解糖系酵素活性値の特異的な上昇<sup>12,16)</sup>等の変化を引き起こすアナボリックステロイド剤の体組成、代謝特性、構造特性に対する影響を検討した研究も数多くみられる。一方、

\*鹿屋体育大学体力科学講座  
〒891-23鹿屋市白木町1番地

\*\*愛知教育大学健康科学教室  
〒448 愛知県刈谷市井ヶ谷町広沢1番地

\*\*\*聖マリアンナ医科大学生理学教室  
〒213 神奈川県川崎市宮前区菅生2-16-1

*Department of Physiology and Biomechanics, National Institute of Fitness and sports, Kanoya, Kagoshima 891-23, Japan*

*Department Health Science, Aichi University of Education, Kariya, Aichi 448, Japan*

*Department of Physiology, St. Marianna University School of Medicine, Miyamae, Kawasaki, Kanagawa 213, Japan*

アナボリックステロイド剤の投与と同時に過負荷な緊張を筋に与えた場合、もしくは負荷を取り除いた場合では、骨格筋に対する作用の出現に差が認められることも報告されている<sup>29)</sup>。このことからアナボリックステロイド剤の骨格筋に対する作用が、神経系からの情報量、つまり筋活動に伴う代謝速度によっても影響を受ける可能性が考えられる。そこで本研究では、神経系の影響を排除した除神経ラット骨格筋の収縮特性に対するテストステロン投与の影響を検討することにより、骨格筋に対するアナボリックステロイド剤の作用機序の一端を明らかにすることを目的として実験を行った。

## II. 方 法

### A. 実験動物並びに飼育方法

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28匹を用いた。各群の体重の平均値がほぼ等しくなるように、コントロール(C, n=7)群、コントロール+テストステロン投与(TC, n=7)群、除神経(DN, n=7)群、除神経+テストステロン投与(DNT, n=7)群の4群に分類した。DN, DNT両群については生後4週齢の時点で両下肢の坐骨神経を大殿筋直下にて4~5mm切断除去し、再神経支配を防いだ。テストステロン( $C_{19}H_{28}O_2$ , MW: 288.43)投与(TC, DNT)群については、テストステロンを市販のコーン油(味の素株式会社)に溶解し、体重1kg当り40mgを1週間に1回右大殿筋に注射した。この投与量は通常投薬として用いられている量の約30倍、またスポーツ選手が骨格筋の肥大を目的として用いていると報告されている量の約3倍に相当する<sup>24)</sup>。また、C, DN両群についてもコーン油のみを同様に注射した。飼育期間中は飼料並びに水は自由に摂取させ、飼育室の環境は室温 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $55 \pm 5\%$ に維持した。また、飼育室の照明は12時間おきに明暗を反転させた。この様な条件で生後15週齢まで飼育した後、すべてのラットよりヒラメ筋(SOL)、並びに長指伸筋(EDL)を摘出して分析に供した。

### B. 分析方法

Sodium-pentobarbital 麻酔下(45 mg/kg body weight, i. p.) にてすべてのラットの両下肢よりSOL並びにEDLを摘出し、左下肢の筋肉を用いて収縮特性の測定を、また右下肢の筋肉を用いて超沈澱及びATPase活性値の測定を行った。被検筋は温血動物用ロック液を満たし実験槽に浸漬し、このロック液は95% $O_2$ 、5% $CO_2$ の混合ガスにて飽和し、 $36 \pm 1^\circ\text{C}$ を維持した。温血動物用ロック液は20 ml/minの割合で新しい溶液と交換した。被検筋の両端腱を絹糸にて縛り、一方を実験槽内に装着したフックに固定し、もう一方をトランスデューサー(120 T-50 D, 共和電業K. K.)に接続した。被検筋の発生張力はチャンバー内に装着したプラチナ電極による直接刺激により得た。筋長は最大単収縮張力(MTW)が得られる長さにて固定した。最大単収縮張力を得るための電気刺激条件は、強度を極大としduration 100  $\mu\text{sec}$ , 1 Hzの矩形波とした。得られた張力曲線よりtime to peak tension(TPT), half relaxation time(HRT)の測定を行った。最大強縮張力(MTN)は刺激頻度140 Hzもしくは200 Hzの刺激により得た。

試験管内の筋収縮モデルとして考えられている超沈澱はEbashi<sup>8)</sup>, FurukawaとPeter<sup>15)</sup>の方法に従い、両骨格筋よりアクトミオシンを抽出し、ATP存在下での濁り度の変化を分光光度計(Model-660, 日本分光株式会社)を用いて吸光度660 nmにて30秒毎に測定した。また、超沈澱測定の際のカルシウムの濃度はほぼ最大の反応速度が得られると考えられる $5.0 \mu\text{M}$ に固定した。さらにSOL, EDL両筋についてミオシンATPase, アクトミオシンATPaseの両酵素活性値の定量も行った<sup>27)</sup>。

### C. 統計方法

測定値の各群間における平均値の差の検定はStudent's t-testを用いて行い、いずれの場合も危険率5%未満をもって有意とした。

## III. 結 果

### A. 体重並びに骨格筋重量

図1に飼育終了時点における各群の体重並びに

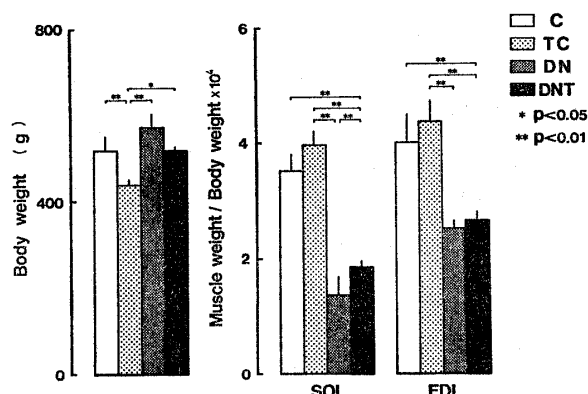


Fig. 1. Body weight and relative muscle weight (muscle weight to body weight) in each group. Values are means with standard deviations. Abbreviation ; SOL : soleus muscle, EDL : extensor digitorum longus muscle, C : control, TC : testosterone control, DN : denervated, DNT : denervated with testosterone group.

SOL, EDL 両骨格筋重量の対体重比を示した。テストステロン投与により体重は減少する傾向を示し、TC 群は他の 3 群に比較して有意に (TC vs C, DN :  $p < 0.01$ , TC vs DNT :  $p < 0.05$ ) 低値を示した。また、DNT 群は DN 群よりも体重に低値がみられたが、その差は有意ではなかった。除神経に伴い骨格筋重量は減少する傾向を示し、SOL, EDL 両筋ともに DN, DNT 群が C, TC 両群に比較してそれぞれ有意に ( $p < 0.01$ ) 低値を示した。テストステロンの影響としては SOL 筋重量においては DNT 群が DN 群に比較して有意に ( $p < 0.01$ ) 高値を示した。C 群と TC 群間の筋重量には両骨格筋ともに有意な差は認められなかった。

### B. 収縮特性

図 2 に SOL, EDL 両筋における MTW 及び MTN を各群別に示した。除神経にともない MTW 及び MTN は低下する傾向を示し、特に EDL の MTW については C 群と DN 群との間に有意な ( $p < 0.05$ ) 差が認められた。一方、テストステロン投与の影響としては、除神経の有無に関わらず C 群に比較して TC 群に、DN に比較して DNT 群に高値が認められ、特に MTW の除神経群で両筋ともに有意な ( $p < 0.01$ ) 張力の増大が認められた。

図 3 に SOL 並びに EDL における最大単収縮

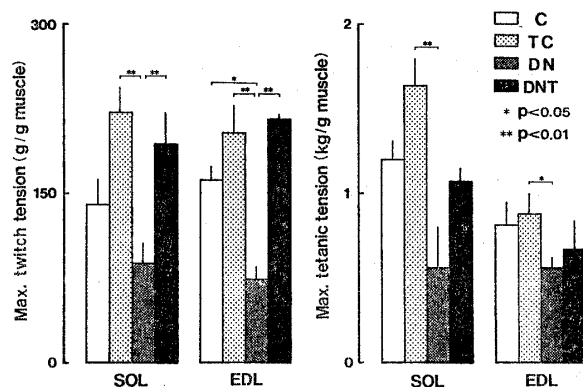


Fig. 2. Maximal twitch and tetanic tension in SOL and EDL muscles of each group. Values are means with standard deviations. Abbreviations are the same as Fig. 1.

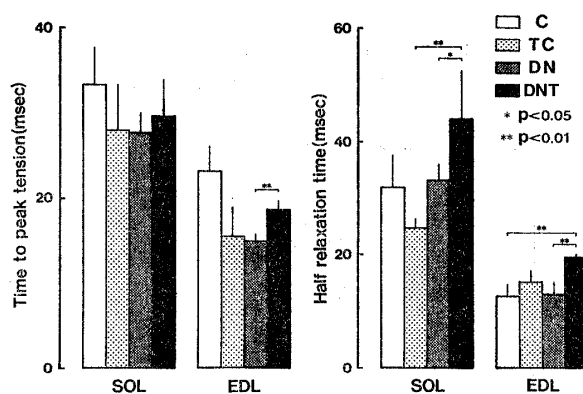


Fig. 3. Time to peak tension and half relaxation time in maximal twitch contraction of SOL and EDL muscles of each group. Values are means with standard deviations. Abbreviations are the same as Fig. 1.

張力発揮時における TPT 及び HRT を各群別に示した。TPT については、SOL において各群間に有意な差は認められなかった。一方 EDL においては、DNT 群の TPT が DN 群に比較して有意に ( $p < 0.01$ ) 時間延長を示した。HRT については、両筋共に除神経に加えてテストステロンを投与することにより遅延化傾向が認められた。SOL においては TC ( $p < 0.01$ ), DN ( $p < 0.05$ ) 両群に比較して、また EDL においては C, DN ( $p < 0.01$ ) 両群に比較して DNT 群の HRT が有意に遅延化を示した。

### C. 超沈澱及び ATPase 活性値

図 4, 5 に SOL, EDL 両筋より抽出したアクトミオンによる超沈澱の吸光度の継時的変化を

示した. SOL についてはいずれの反応時間においても各群間の吸光度に有意な差は認められなかった. EDL においては反応開始4分目から7分目

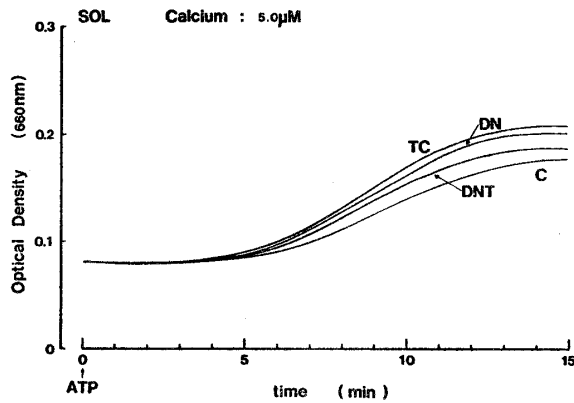


Fig. 4. Superprecipitation in the presence of 5.0  $\mu$ M calcium on SOL muscle in each group. Abbreviations are the same as Fig. 1.

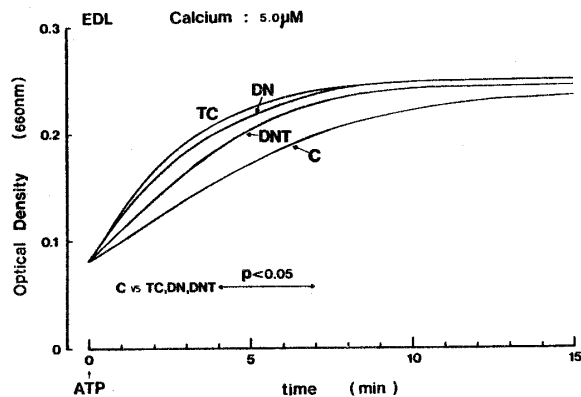


Fig. 5. Superprecipitation in the presence of 5.0  $\mu$ M calcium on EDL muscle in each group. Abbreviations are the same as Fig. 1.

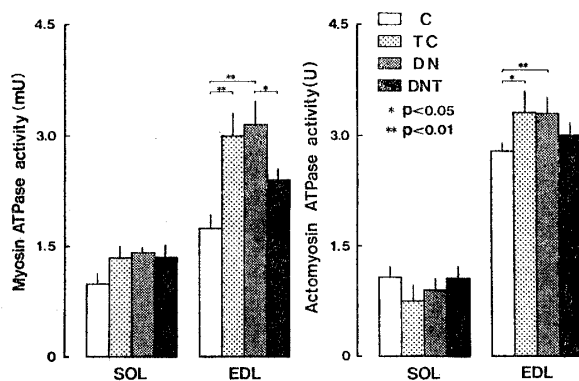


Fig. 6. Myosin and actomyosin ATPase activities in SOL and EDL muscles of each group. Values are means with standard deviations. 1 U = 1  $\mu$ moles Pi/min/g muscle. Abbreviations are the same as Fig. 1.

まで, C群と比較して他の3群において有意( $p < 0.05$ )な吸光度の高値が認められた.

図6に SOL, EDL 両筋におけるミオシン, アクトミオシン両 ATPase 活性値を各群別に示した. 両酵素活性値共に SOL においては各群間に有意な差は認められなかった. 一方, EDL ではミオシン ATPase 活性値において除神経をしていない群間 (C, TC 群) ではテストステロン投与により有意に ( $p < 0.01$ ) 高値を示し, 逆に除神経を行った群間 (DN, DNT 群) ではテストステロン投与により低下が認められた. アクトミオシン ATPase 活性値については TC ( $p < 0.05$ ), DN ( $p < 0.01$ ) 両群が C 群と比較して有意に高値を示した.

#### IV. 考 察

テストステロン投与は, 除脂肪体重の増加<sup>30)</sup>, 骨格筋重量の増加<sup>17)</sup>を引き起こすことが報告されている. 本研究における飼育終了時点での各群の体重の平均値は, DN, DNT, C, TC の各群の順に高値を示した. 除神経に伴う体重の増加傾向は, 下腿の運動障害に伴う活動量の減少を反映するものと考えられる. また, テストステロン投与に伴う体重の減少傾向は, 従来より報告されているテストステロンの脂肪分解促進作用<sup>30)</sup>による脂肪量の減少に依存するものと考えられる. コントロール群に対するテストステロン投与 (TC) 群では, SOL, EDL 共に骨格筋重量の有意な変化は認められなかった. また, 除神経に伴い骨格筋重量の減少がみられたが, これは neurotrophic-effect の消失による現象と考えられ, 過去の研究結果<sup>1)</sup>と一致するものであった. 除神経群においてはテストステロンを投与することにより, SOL に骨格筋重量の有意な増加が認められた. 除神経群においてテストステロン投与に伴う骨格筋重量の有意な上昇が引き起こされたことは, テストステロンが有する蛋白同化作用<sup>25)</sup>は神経系の影響を受けなくとも, 直接筋に作用する可能性が示された.

Finol et al.<sup>14)</sup> は除神経に伴う骨格筋の収縮特性を6週間に渡って検討し, 断面積の低下率に比較して MTW 並びに MTN の低下率が顕著であることを報告している. この理由として, 骨格筋

組織中の結合組織、脂肪組織等に比較して収縮タンパク質の減少が顕著であると考察している。本研究においても除神経群の筋重量当りの MTW, MTN に顕著な低値が認められた。これは同様の機序によるものと考えられる。除神経群に対しテストステロンを投与した群では、筋重量並びに筋重量当りの張力が高く、これは C 群に対する TC 群の比較とほぼ等しいことから、テストステロンが神経からの情報量に関係なく直接筋の蛋白同化促進作用に影響を及ぼすことが示唆された。

除神経に伴う骨格筋の構造、機能的特性の変化については数多くの研究が報告されている<sup>5,6,13,20,23</sup>。除神経に伴い TPT は SOL においては各群間に有意な差は認められなかったが、EDL においては除神経群に対し、除神経+テストステロン投与群に TPT の延長傾向が認められた。一方、安静飼育ラットの骨格筋に対するアナボリックステロイド剤の影響を検討した Egginton<sup>9)</sup> の研究では、収縮時間に差が認められないことが報告されている。この根拠として、Egginton<sup>9)</sup> は筋線維タイプ別構成比率に差が認められなかったことを示している。しかし、同タイプの筋線維においても収縮速度に大きなばらつきがあることも報告されており、筋線維タイプの変化が収縮速度に必ずしも完全に反映される訳ではないものと思われる。これは、組織染色が myosin ATPase の pH 特異性により、タイプの分類をするために、ATPase 活性値の高低により分類するわけではないことに理由がある。本実験では、筋線維タイプ別構成比率を算出していないために、その変化の有無については不明である。しかし、図 6 に示されているように DNT 群が DN 群に比較して、myosin ATPase 活性値が低下していることが、TPT に遅延がみられた理由の一つとして考えられる。

本研究では、除神経に伴う HRT の有意な変化は認められなかった。除神経に伴う骨格筋細胞の超微細構造の変化を電子顕微鏡を用いて、継時的に検討した Dulhunty et al.<sup>7)</sup> の報告によれば、ラット EDL の筋小胞体容積は除神経 16 日以降に、有意に低下したことが報告されている。一方、

Engel<sup>10)</sup> によれば、筋小胞体のカルシウム取り込み能は除神経に伴い有意に上昇することが報告されており、除神経に伴う筋小胞体の萎縮がそのまま筋小胞体の機能の低下には結びつかない可能性が考えられる。一方、SOL, EDL 両筋共に DNT 群が DN に比較して弛緩時間は遅延する有意な変化を示した。このことは、特に神経情報が絶たれた場合には myosin ATPase 同様、筋小胞体の  $Ca^{2+}$  取り込み機構に対しても抑制的な影響を与える可能性が考えられる。骨格筋の収縮速度は myosin ATPase 活性値よりもむしろ、筋小胞体の  $Ca^{2+}$  取り込み能に依存しているという報告<sup>2)</sup> も認められる。筋小胞体の  $Ca^{2+}$  取り込み能の高低は筋小胞体膜に存在する  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性値の高低に依存することも報告されている<sup>26)</sup>。テストステロンが筋小胞体膜の  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性値にいかなる影響を及ぼすかは明らかではなく、テストステロン投与に伴う骨格筋の収縮速度の変化を含めて検討することが今後の課題であろう。

超沈澱の濁り度増加の割合はアクトミオシン ATPase 活性値の高低に依存していることが報告されている<sup>15)</sup>。本研究においては、SOL における超沈澱に各群間に有意な差は認められなかった。SOL ではミオシン、アクトミオシン両 ATPase 活性値に各群間で有意な差が認められなかったことを反映する結果であると思われ、過去の研究結果<sup>28)</sup>と一致するものである。一方、EDL においては反応開始 4 分目から 7 分目までの間、TC, DN, DNT の 3 群が C 群に比較して有意に高値を示し、反応速度の促進化傾向が認められた。EDL においてはミオシン、アクトミオシン両 ATPase 活性値共に C 群に比較して TC, DN が高値を示し、反応の促進化現象を裏付けている。このことから、テストステロンが ATPase 活性値を上昇させ、さらには図 3 に示した収縮速度に影響を及ぼした可能性を示唆している。テストステロンは遅筋線維より ATPase 活性値の高い速筋線維の肥大により強く作用することが報告されている<sup>21)</sup>。このことは、本研究で用いた速筋である EDL の ATPase 活性値に有意な変化が認められたことと一致する。一方、除神経により、骨格筋は全体的に速筋

化するが, 速筋線維の萎縮は大きいことも報告されている<sup>3)</sup>. このため, テストステロンの影響が抑えられる可能性が考えられる. 神経支配が取り除かれた場合, なぜ ATPase 活性値が抑制されるかは不明である. 除神経による萎縮, 速筋化という二次的影響を考慮しても, 本来 ATPase 活性値を高める方向に作用するテストステロンが抑制的に影響を及ぼしたことはテストステロンが ATPase 活性値を変化させる場合には神経からの情報量, あるいは筋の活動量と密接な関係を有するものであることが予測される.

## V. 要 約

アナボリックステロイド剤が骨格筋の構造並びに機能性に対して与える影響の作用機序を検討する目的により, 生後4週齢の時点で除神経を行い神経系の影響を排除した Wistar 系雄性ラットのヒラメ筋 (SOL) 並びに長指伸筋 (EDL) における筋重量, 収縮特性, 超沈澱, ミオシン ATPase, アクトミオシン ATPase 活性値を測定した.

1. 骨格筋重量は SOL, EDL 両筋においてコントロール群とテストステロン投与群との間に有意な差は認められなかった. SOL において除神経+テストステロン投与群は除神経群に比較して有意に高値を示した.

2. Time to peak tension は EDL において除神経+テストステロン投与群が除神経群に比較して有意に延長を示した. Half relaxation time は SOL, EDL 共に除神経+テストステロン投与群が有意に延長を示した. コントロール群の値に対して除神経に伴い有意に低値を示した最大単収縮張力は SOL, EDL 共に除神経+テストステロン投与群が除神経群に比較して有意に高値を示した.

3. 超沈澱の濁り度の増加は EDL において4分目から7分目にかけてテストステロン投与群, 除神経群, 除神経+テストステロン投与群がコントロール群に比較して有意に高値を示した.

4. ミオシン, アクトミオシンの両 ATPase 活性値は SOL においては各群間に有意な差は認められなかった. しかし, EDL においてはテストステロン投与群がコントロール群に比較して有意に

高値を示した.

以上のような結果より, テストステロンの骨格筋に対する作用は, 筋肥大に対しては神経支配の有無とは無関係に影響を及ぼすものであるが, 収縮速度を決定する因子の一つである ATPase 活性値に対しては除神経により影響が異なるものである可能性が示唆された. また, テストステロンに対する感受性は筋線維タイプ別に異なり, 構造特性の変化は主に遅筋線維に, また機能的特性の変化は主に速筋線維に出現する可能性が示唆された.

(受付 平成2年3月3日)

## 参 考 文 献

- 1) Al-Amood, W. S. and Lewis, D. M. (1989) : A comparison of the effects of denervation on the mechanical properties of rat and guinea-pig skeletal muscle. *J. Physiol.*, **414**, 1-16.
- 2) Brody, I. A. (1976) : Regulation of isometric contraction in skeletal muscle. *Exp. Neurol.*, **50**, 673-683.
- 3) Brooke, M. H., Williamson, E. and Kaiser, K. K. (1971) : The behavior of four fiber types in developing and reinnervated muscle. *Arch. Neurol.*, **25**, 360-366.
- 4) Brown, B. T. and Pilch, A. H. (1972) : The effects of exercise and dianabol upon selected performances and physiological parameters in the male rats. *Med. Sci. Sports*, **4**, 159-165.
- 5) Dulhunty, A. F. (1985) : Excitation-contraction coupling and contractile properties in denervated rat EDL and soleus muscles. *J. Muscle Res. Cell Motility*, **6**, 207-225.
- 6) Dulhunty, A. F. and Gage, P. W. (1985) : Excitation-contraction and charge movement in denervated rat extensor digitorum longus and soleus muscles. *J. Physiol.*, **358**, 75-89.
- 7) Dulhunty, A. F., Gage, P. W. and Valois, A. A. (1984) : Indentation in the cisternae of denervated rat EDL and soleus muscle fibers. *J. Ultrastruct. Res.*, **88**, 30-43.
- 8) Ebashi, S. (1961) : Calcium binding activity of

- vesicular relaxing factor. *J. Biochem.*, **50**, 236-244.
- 9) Egginton, S. (1987) : Effects of an anabolic hormone on striated muscle growth and performance. *Pflügers Arch.*, **410**, 349-355.
  - 10) Engel, A. G. (1974) : Morphological effects of denervation of muscle. A quantitative ultra-structural study. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **228**, 68-88.
  - 11) Evans, W. and Ivy, J. L. (1982) : Effects of testosterone propionate on hindlimb immobilized rats. *J. Appl. Physiol.*, **52**, 1643-1647.
  - 12) Exner, G. U., Staudt, H. W. and Pette, D. (1973) : Isometric training of rats—Effects upon fast and slow muscle and modification by anabolic hormone (Nandrolone Decanoate) I. Female rats. *Pflügers Arch.*, **345**, 1-14.
  - 13) Finol, H. J. and Lewis, D. M. (1976) : Post-tetanic effects in denervated rat muscle. *J. Physiol.*, **314**, 45 P.
  - 14) Finol, H., Lewis, D. M. and Owens, R. (1981) : The effects of denervation on contractile properties of rat skeletal muscle. *J. Physiol.*, **319**, 81-92.
  - 15) Furukawa, T. and Peter, J. B. (1971) : Super-precipitation and adenosine triphosphate activity of myosin B in Duchenne muscular dystrophy. *Neurology*, **21**, 920-924.
  - 16) Griggs, R. C., Kingston, W., Jozefowicz, R. F., Herr, B. A., Forbes, G. and Halliday, D. (1989) : Effect of testosterone on muscle mass and muscle protein synthesis. *J. Appl. Physiol.*, **66**, 498-503.
  - 17) Hickson, B. C., Heusner, W. W., Van Huss, W. D., Jackson, D. E., Anderson, D. A., Jones, D. A. and Psalades, A. T. (1976) : Effects of dianabol and high-intensity sprint training on body composition of rats. *Med. Sci. Sports*, **8**, 191-195.
  - 18) Krotkiewski, M., Karl, J. G. and Karlsson, J. (1980) : Effects of castration and testosterone substitution on body composition and muscle metabolism in rats. *Acta Physiol. Scand.*, **109**, 233-237.
  - 19) Kuhn, F. E. and Max, S. R. (1985) : Testosterone and muscle hypertrophy in female rats. *J. Appl. Physiol.*, **59**, 24-27.
  - 20) Lewis, D. M. (1972) : The effect of denervation on the mechanical and electrical responses of fast and slow mammalian twitch muscle. *J. Physiol.*, **222**, 51-75.
  - 21) Matoba, H. and Niu, H. (1981) : The effects of castration and testosterone administration on the histochemical fiber type distribution in the skeletal muscles of the mouse. In, Morecki, A., Fidelus, K., Kedzior, K. & Wit, A. W., *Biomechanics, VII-B*, University Park Press, Baltimore, 606-611.
  - 22) Max, S. R. and Rance, N. E. (1984) : No effect of sex steroids on compensatory muscle hypertrophy. *J. Appl. Physiol.*, **56**, 1589-1593.
  - 23) Michel, R. N. and Gardiner, P. F. (1989) : Influence of overload on recovery of rat plantaris from partial denervation. *J. Appl. Physiol.*, **66**, 732-740.
  - 24) 宮地幸隆 (1988) : 男性ホルモン, アナボリックステロイド, 成長ホルモンとスポーツ. *臨床スポーツ医学*, **5**, 1119-1124.
  - 25) Rogozkin, V. (1979) : Metabolic effects of anabolic steroid on skeletal muscle. *Med. Sci. Sports*, **11**, 160-163.
  - 26) Salviati, G., Sorenson, M. M. and Eastwood, A. B. (1982) : Calcium accumulation by the sarcoplasmic reticulum in two populations of chemically skinned human muscle fibers. *J. Gen. Physiol.*, **79**, 603-632.
  - 27) 杉田秀夫 (1982) : 疾患筋(ジストロフィー筋), 日本生化学学会編, 生化学実験講座15筋肉, 初版, 9章. 東京化学同人, 東京, 133-150.
  - 28) Syrový, I., Gutmann, E. and Melichna, J. (1971) : Differential response of myosin-ATPase activity and contraction properties of fast and slow rabbit muscles following denervation. *Experientia*, **27**, 1426-1427.
  - 29) Tsika, R. W., Herrick, R. E. and Baldwin, K. M. (1987) : Effect of anabolic steroids on overloaded and overloaded suspended skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.*, **63**, 2128-2133.
  - 30) Ward, P. (1973) : The effect of an anabolic steroid on strength and lean body mass. *Med. Sci. Sports*, **5**, 277-282.