

# 持久性トレーニングにスプリント走を加える効果

愛知教育大学 春日規克

(共同研究者) 同 鈴木康子

同 西沢富江

同 平野朋枝

同 鈴木英樹

## The Effect of Sprint Running in Addition to Endurance Training on Skeletal Muscle

by

Norikatsu Kasuga, Yasuko Suzuki, Tomie Nishizawa,  
Tomoe Hirano, Hideki Suzuki  
*Aichi University of Education*

### ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the influence of sprint running addition in endurance training on skeletal muscle. Eighteen male Fischer rats were classified into control (C), endurance trained (E) and endurance and sprint trained (ES) group at 4 weeks of age. Training groups ran on treadmill 6 days/week for 9 weeks. E group animals were run continuously for 120 min at 35 m/min. ES group animals were run for 90 min at 35 m/min and 10 intervals at 80 m/min lasting 30 sec sprints interposed with 2.5 min rest periods. Our results are as follows : 1) There were increase in muscle weight/body weight in both trained groups. 2) In soleus muscle (SOL) from both trained groups, glycolytic enzyme activities were significantly increased. As compared with C group oxidative enzyme ac-

tivities increased by about twofold in SOL, plantaris (PLA), extensor digitorum longus (EDL) and Gastrocnemius (GAS) muscles from both trained groups. 3) A significant increase in the mitochondrial volumes were observed in ES trained SOL muscle and in both trained PLA muscles. 4) A decrease in SOL and PLA twitch contraction times were observed from trained groups. Despite of these changes, fatigability was not altered. 5) After 9 weeks training, the number of fibre type compositions in the muscles studied did not observed the transformation between slow and fast fibre types. 6) Three types of fast-twitch fibres were classified based on differences in ATPase activity and, in addition, on metabolic characteristics as judged from the histochemically assessed SDH activity : type II a, type II b-FOG, and type II b. The relative number of type II a in PLA increased and in GAS deep and superficial regions increased with decrease of II b-FOG from E group. A significant increase in the II b-FOG with decrease of type II b of PLA and GAS superficial region.

These data indicate that the type II b-FOG may represent a transitional state, and an increase composition of II b-FOG suggest that the adaptation in muscle following endurance training.

## 要 旨

トレーニングに要する時間が、持久性トレーニングと同じになるよう持久走の時間を短縮し、その分スプリント走を加えた場合の骨格筋の持久性機能の変化を検討した。生後4週齢より9週間、1日2時間の持久走を行なわせる群 (E群)、1.5時間持久走と0.5時間の間欠スプリント走を行なう群 (ES群) を設け、対照 (C) 群と比較した。

- 1) 両トレーニングとも下肢筋の相対重量に増加が認められた。
- 2) 解糖系酵素活性 (PFK) の増加は両トレーニングにおいてヒラメ筋にのみ見られた。酸化系酵素活性 (SDH) はヒラメ筋、足底筋、長指伸筋、腓腹筋のいずれにも2倍以上の上昇が認め

られた。E群とES群間の差は認められなかった。

- 3) 足底筋のミトコンドリア容積に両トレーニング後ともに増加がみられ、ヒラメ筋ではES群に有意な増加がみられた。
- 4) ヒラメ筋と足底筋の単収縮時間は両トレーニングとも短縮した。疲労曲線から得た持久性能にはトレーニングにともなう変化が認められなかった。
- 5) C群に対し、両トレーニング群の筋線維構成比を比較した場合、遅筋線維の比率の変化はいずれの筋においても認められなかった。
- 6) 速筋線維のサブグループをtype IIa (FOG), IIb-FOG, type IIb (FG) に分類しトレーニングの影響を調べた。E群の場合、足底筋にtype

IIaの増加, 腓腹筋の表層部と深層部にはIIb-FOGの減少にともなうtype IIaの増加, 中層部はtype IIbの減少にともなうtype IIb-FOGの増加が観察された。ES群においては, 足底筋にtype IIbの減少にともなうtype IIaとIIb-FOGの増加, 長指伸筋にはtype IIaの増加がみられた。腓腹筋の表層部にはtype IIbの減少にともなうtype IIb-FOGの増加が, 深層部にはIIb-FOGの減少にともなうtype IIaの増加が観察された。

E群とES群を比較した場合, 両群間に有意な差がみられることは少なかったが, ES群の各測定項目において変化率は大きく, より持久性機能の向上傾向がみられた。

## 緒 言

最近の持久的競技において, そのトレーニングにハイパワートレーニングを加えることの必要性が認識されてきている。このトレーニングの目的は, フォーム造りやより高い運動強度での持久性能力の維持にあると考えられる。

骨格筋を速筋線維と遅筋線維に分類した場合は, 優秀な競技選手の骨格筋線維組成は競技特性に適し<sup>7)</sup>, その筋線維組成は身体トレーニングでは変化しにくいとされている<sup>12)</sup>。一方, 速筋線維を代謝特性からサブタイプに分類<sup>19)</sup>した場合, 持久性トレーニングにより酸化系酵素優位の速筋線維(FOG)の占有率が増大することが報告されている<sup>14, 21)</sup>。スプリントトレーニング後にも持久性トレーニングと似た変化が起こり, ミトコンドリアの数や大きさの増加, 電子伝達系酵素活性の上昇, 脂肪酸の $\beta$ -酸化の亢進等が報告されている<sup>21)</sup>。実践的には導入されているものの, スプリント(ハイパワー)トレーニングを加味した持久性トレーニングの効果を明らかにした研究報告は見られない。

そこで本研究では, スプリント走を持久性ト  
デサントスポーツ科学 Vol.13

レーニングに加えた場合と持久走のみの場合の変化を比較し, 持久性機能向上に対するスプリントトレーニングの効果を骨格筋の種々の特性の変化から検討するものである。

## 1. 方法

この研究ではFischer 344系雄性ラット18匹を用いた。生後4週齢の時点で体重が等しくなるよう3群各6匹に分けた。各群は2時間持久走トレーニング(E)群, 1.5時間持久走+0.5時間の間欠スプリント走トレーニング(ES)群, 対照(C)群とした。トレーニングは小動物用トレッドミルを用い, トレーニング開始初期から徐々に負荷を漸増し, 開始4週間以降には毎分35mにて各時間走行させた。スプリント走は毎分80mにて30秒間の走行を2分30秒間の休息をはさみ10回行なった。トレーニングは生後4週齢より開始し, 週6日, 1日1回を9週間継続した。トレーニング終了2日後の13週齢時に, 体重測定後Sodium-pentobarbital麻酔下にて血流維持の状態にて左下肢のヒラメ筋と足底筋を露出させた。支配神経からの間接極大刺激(0.1msの矩形波パルス)を用いて, 単収縮, 強収縮(頻度5ms), 疲労曲線(25ms $\times$ 13回を1秒ごと)を得た。この時の筋長は単収縮張力が最大となる長さとし, 各刺激間には十分な時間間隔を設けた。張力測定後, 右下肢の長指伸筋, 足底筋, 腓腹筋, ヒラメ筋を摘出し筋湿重量を測定し, PFK(phosphofru ctkinase<sup>2)</sup>, SDH(succinate dehydrogenase)活性の測定<sup>8)</sup>, またATPaseおよびSDH組織化学染色による筋線維タイプ分類を行なった<sup>6, 19)</sup>。張力を測定した筋は, 縦断面の電子顕微鏡撮影を行ないポイントカウンティング法により<sup>31)</sup>, ヒラメ筋は遅筋線維の, 足底筋は速筋線維のミトコンドリアの相対容積を求めた。

## 2. 結 果

### 1) 体重と筋重量の変化

トレーニング終了後の体重はC群, E群, ES群の順位で重く, 各群間に5%水準以上の有意差がみられた(表1). 筋重量/体重はE群の足底筋以外, いずれのトレーニング群の値ともC群より高値を示した. 両トレーニング間に有意な差がみられるケースは少ないが, 特に速筋である足底筋, 長指伸筋, 腓腹筋において, ES群の値はE群より高値を示した.

### 2) 酵素活性とミトコンドリア容積の比較

表2には各群のPFKとSDH活性を示した. PFK活性は持久走のみのE群, 持久性トレーニングにスプリント走を加味したES群ともに, C群と比較して有意な上昇はヒラメ筋のみに認められた.

C群に比べ両トレーニングともSDH活性はすべての下肢筋で2倍以上の上昇が認められた. トレーニング群間の有意な違いは認められないが, 長指伸筋以外の筋においてはE群よりES群の両酵素活性は高い値を示していた.

表1 Comparison of body weight and muscle weight per body weight in soleus (SOL), plantaris (PLA), extensor digitorum longus (EDL), gastrocnemius (GAS) muscles from control (C), endurance (E), and endurance & sprint (ES) trained rat

| Group | Body weight (g) | Muscle weight / Body weight (mg/100g) |            |             |                |
|-------|-----------------|---------------------------------------|------------|-------------|----------------|
|       |                 | SOL                                   | PLA        | EDL         | GAS            |
| C     | 293.3±20.1      | 31.4±1.7                              | 87.9±3.6   | 39.0±1.9    | 441.5±8.5      |
| E     | 236.0± 7.3***   | 36.8±1.3***                           | 92.9±5.3** | 44.3±3.1*   | 460.7±11.0*    |
| ES    | 217.3± 9.8****  | 37.9±2.0**                            | 97.3±3.0   | 45.4±1.7*** | 491.6±14.2**** |

Each value is expressed as mean ± S.D.. \*, \*\*, \*\*\* indicate significant difference at P<0.05, 0.01, and 0.001 compared to control group, respectively. ★ and ★★ indicate significant difference at P<0.05 and 0.01 between trained groups, respectively.

表2 Comparison of phosphofructokinase (PFK) and succinate dehydrogenase (SDH) activity in soleus (SOL), plantaris (PLA), extensor digitorum longus (EDL), gastrocnemius (GAS) muscle from control (C), endurance (E) and endurance & sprint (ES) trained rat

| Group | Phosphofructokinase (μmoles/g/min)     |              |              |               |
|-------|--|--------------|--------------|---------------|
|       | SOL                                    | PLA          | EDL          | GAS           |
| C     | 29.4± 3.6                              | 79.3±16.7    | 119.0±10.0   | 92.2±17.1     |
| E     | 47.3± 7.3***                           | 74.6±16.8    | 130.3±13.3   | 103.7±18.8    |
| ES    | 51.6±14.5**                            | 95.4±13.2    | 125.5± 8.7   | 108.8±25.2    |
| Group | Succinate dehydrogenase (μmoles/g/min) |              |              |               |
|       | SOL                                    | PLA          | EDL          | GAS           |
| C     | 6.48±1.50                              | 2.04±0.43    | 2.24±0.42    | 5.33±1.49     |
| E     | 13.00±2.27***                          | 4.93±0.51*** | 6.34±1.16*** | 14.58±1.83*** |
| ES    | 13.29±2.44***                          | 5.45±1.20*** | 5.88±1.10*** | 16.11±2.92*** |

Each value is expressed as mean ± S.D. \*\*, \*\*\* indicate significant difference at P<0.01 and 0.001 compared to control group, respectively.

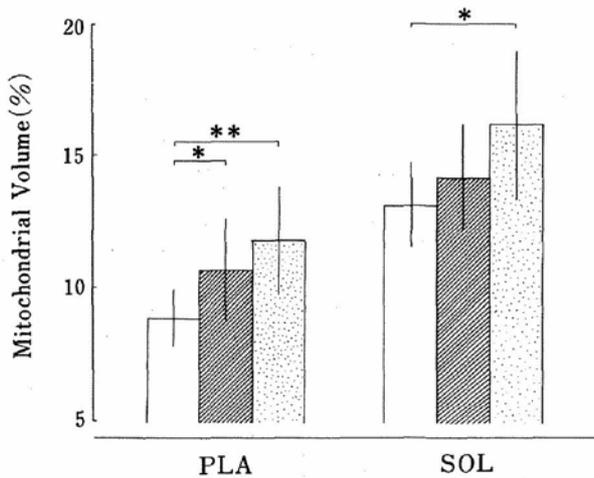


図1 Difference in mitochondrial volume of plantaris (PLA) and soleus (SOL) from control (□), endurance (■), and endurance & sprint (▨) trained groups. \* and \*\* indicate significant difference at  $p < 0.05$  and  $0.01$ , respectively. (mean  $\pm$  SD)

電顕像から得たミトコンドリア容積は足底筋では速筋線維と、ヒラメ筋では遅筋線維と判断できる線維の内の占有率を求めた(図1)。ヒラメ筋、足底筋ともにミトコンドリア量は、両トレーニング後には増大がみられた。特に、C群と比べてヒラメ筋ではES群が、足底筋ではE群、ES群とも有意に高い値を示した。

### 3) 張力特性の比較

図2には各群の単収縮時間、弛緩時間、疲労耐性を示した。C群と比較してE群、ES群の単収縮時間(図2-A)は足底筋では、それぞれ1%、5%水準において、ヒラメ筋は1%、0.1%水準において有意な短縮が観察された。また、ES群により強く短縮傾向がみられた。弛緩時間、(図2-B)は、足底筋には各群間差が認められなかったが、ヒラメ筋には両トレーニング群ともC群より短縮していた。最大強縮張力(g/mg muscle weight)はC群、E群、ES群でそれぞれ $0.91 \pm 0.12$ ,  $1.01 \pm 0.08$ ,  $1.01 \pm 0.14$ であり、各群間に差がみられなかった。また、単収縮/強縮張力値もそれぞれ、 $0.186 \pm 0.020$ ,  $0.162 \pm 0.018$ ,  $0.171 \pm 0.026$ という値が得られ、トレーニングによる

変化はみられなかった。一方、疲労耐性においても各群間の差は認められなかった(図2-C)。

### 4) 筋線維構成比の比較

筋線維タイプをBrook & Kaiserの方法<sup>6)</sup>、またPeterらの方法<sup>19)</sup>により分類し、各筋の筋線維タイプ別本数比を図3と図4に示した。

図3-Aにヒラメ筋の筋線維構成比を示した。本実験に用いたFischer系ラットの場合、他の系ラットに比べ速筋線維の比率が少ない。遅筋線維のみが占めるヒラメ筋を有するラットがC群2匹、E群5匹、ES群3匹含まれていた。

足底筋、長指伸筋、腓腹筋はおもに3種類の筋線維タイプから構成されている。これはtype I(遅筋線維)、type II a(速筋線維、中間筋線維)、type II b(速筋線維)であり、またはSO、FOG、FG線維である。同筋の連続切片を2通りの分類で比較した場合、type IとSO線維は対応し、type II aはFOG線維と対応するが、type II bはFG線維だけではなくFOG線維と同定できるものも含まれていた。

最近、type II b線維と分類されかつ酸化系酵素優位な線維に関して、ミオシン重鎖の分子量の違い等から新たな分類法があらわされている<sup>22,23)</sup>。しかし、本研究ではこのタイプに関して電気泳動等による分類の確認は行っていないため、type II b-FOG線維とあらわした。

足底筋の筋線維構成比をC群と両トレーニング群間で見た場合(図3-B)、遅筋線維の構成比には差がみられず、このことは他のいずれの筋においても同様であった。一方、速筋線維のサブタイプ間においてはC群に対するトレーニング群の構成比に、顕著な変化がみられた。ES群ではtype II b (FG)線維の減少とともにFOG線維の増加がみられ、これはFOGに含まれるtype II aとII b-FOG線維両方の増加としてあらわれた。E群ではtype II aの増加のみが認められた。図3-Cに示した長指伸筋の構成比は、ほぼ足底筋の

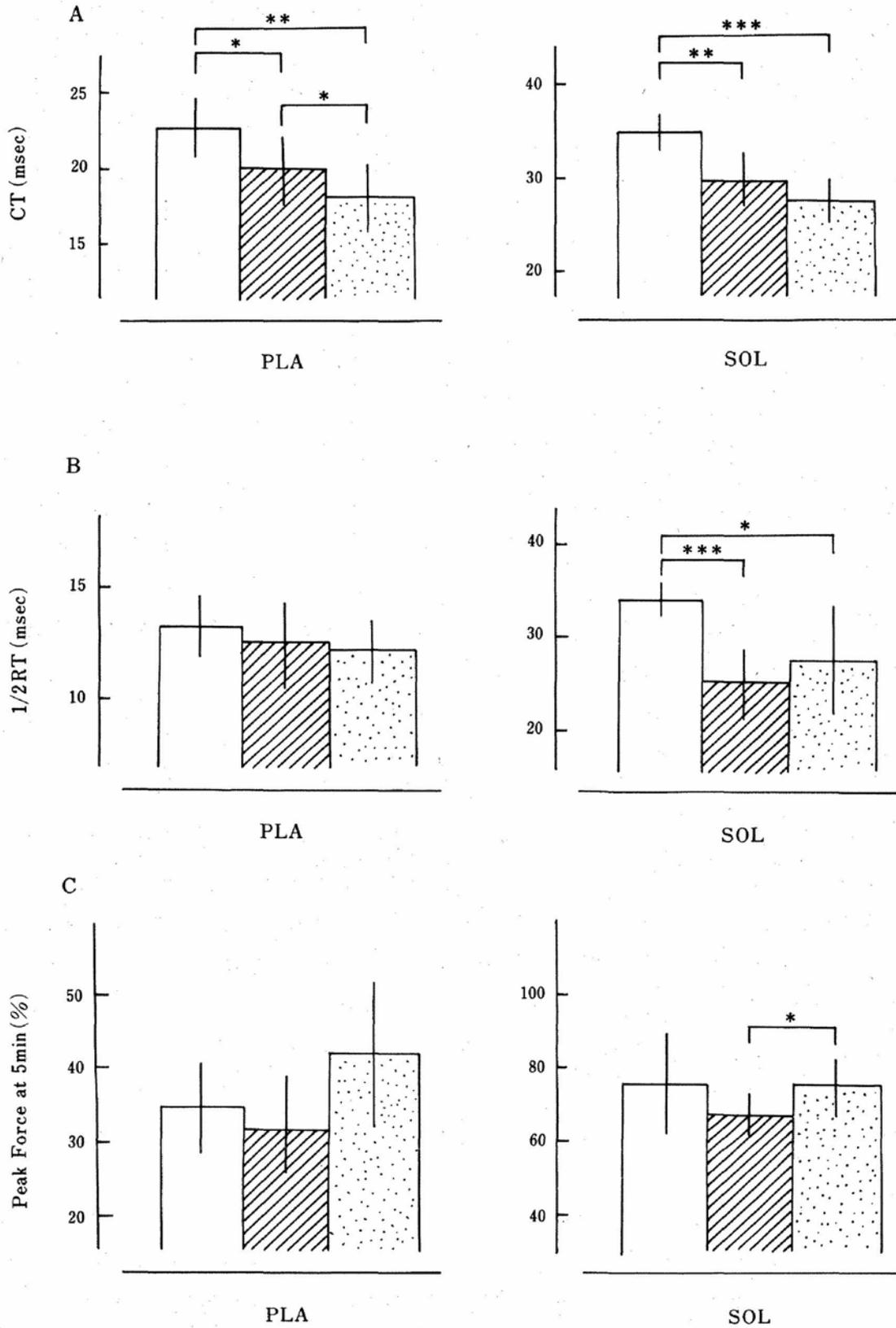


図2 Difference in twitch contraction time (CT; A), half relaxation time ( $1/2 RT$ ; B), and endurance capacity (C) of plantaris (PLA) and soleus (SOL) from control (□), endurance (▨), and endurance & sprint (▩) trained groups. \*, \*\* and \*\*\* indicate significant difference at  $P < 0.05$ ,  $0.01$  and  $0.001$ , respectively. (mean  $\pm$  SD)

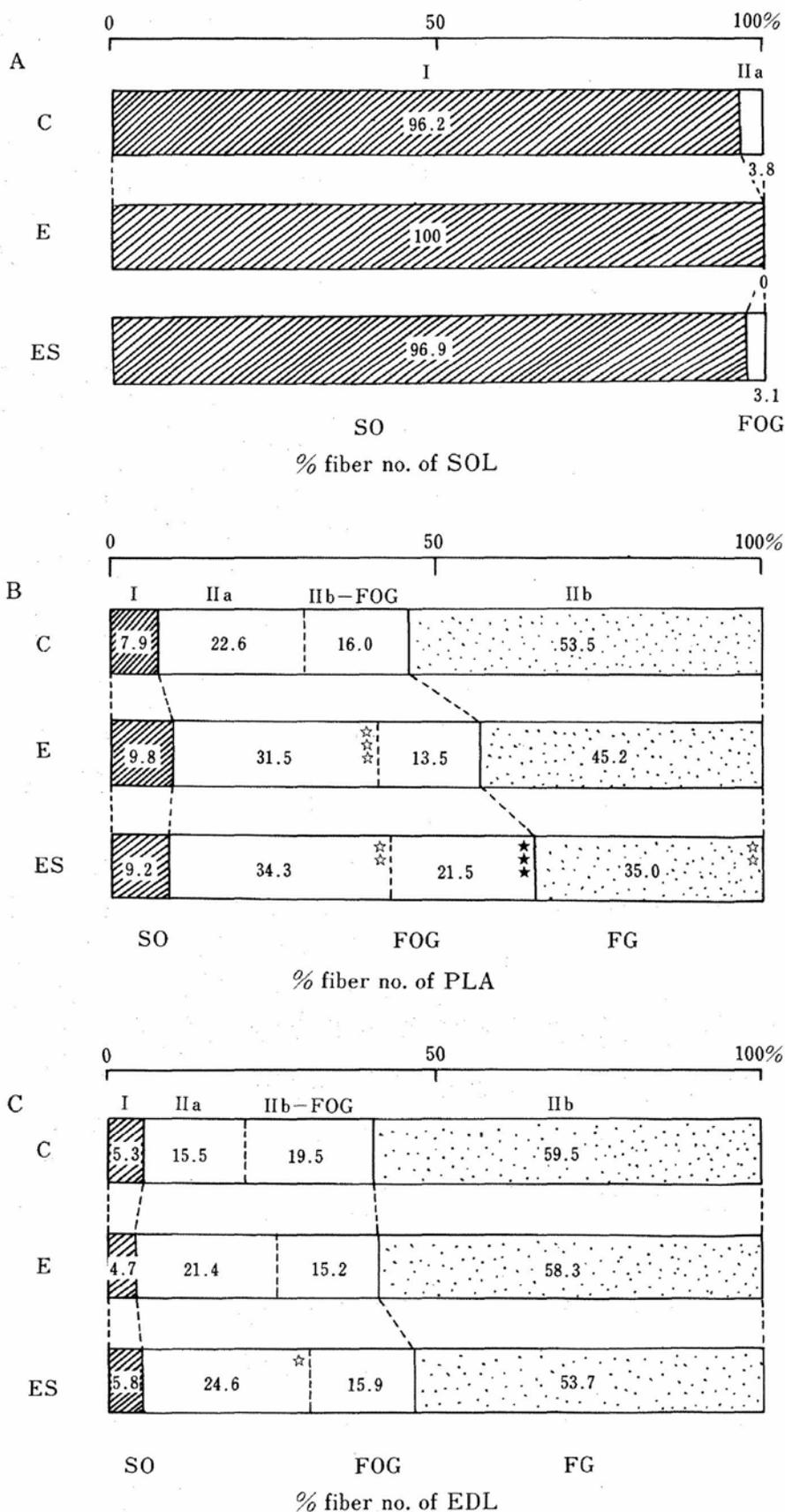


図3 Percentage of the number of each fiber type in soleus (A), plantaris (B), and extensor digitorum longus (C) muscle. ☆, ☆☆, and ☆☆☆ indicate significant difference at  $P < 0.05$ ,  $0.01$  and  $0.001$  compared to control group, respectively. ★★★ indicates significant difference at  $0.001$  between trained groups.

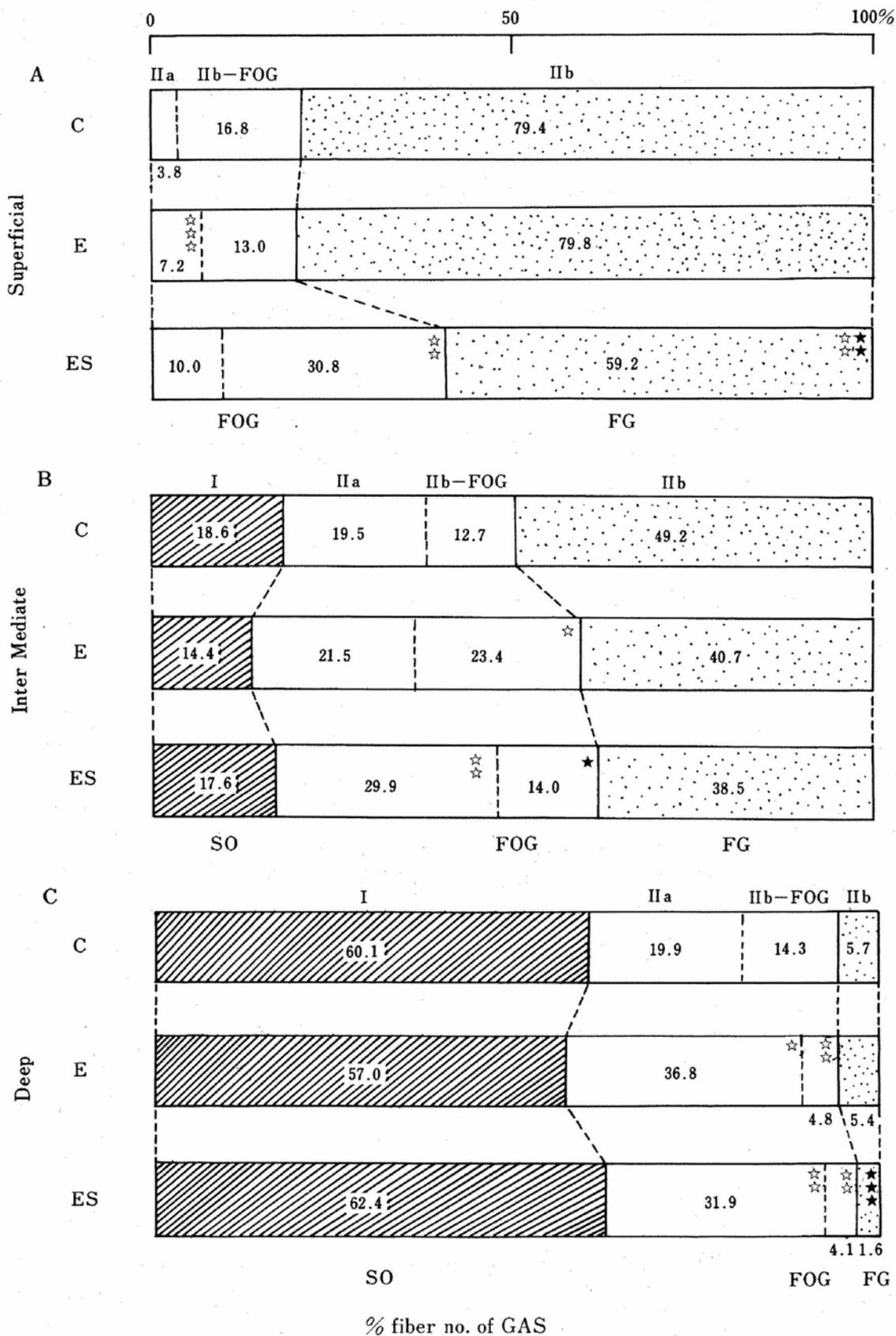


図4 Percentage of the number of each fiber type in superficial (A), intermediate (B), and deep (C) regions of gastrocnemius muscle. ☆, ☆☆, and ☆☆☆ indicate significant difference at P < 0.05, 0.01 and 0.001 compared to control group, respectively. ★, ★★, and ★★★ indicate significant difference at P < 0.05, 0.01 and 0.001 between trained groups, respectively.

それと同様であった。しかし、統計上有意とあらわされる変化は、C群に比べES群のtype IIa 構成比に増加がみられただけであった。

腓腹筋だけは筋外側頭を表層部、中層部、深層部の3部位に分け、各部位から筋線維本数は300本以上の範囲において分析し構成比を算出した。各部位とほぼ同じ構成比を示す面積に対し、分析した部位の面積の比率は、およそ表層部10%、中層部50%、深層部90%程度であった。表層部は速筋線維のみから構成されている筋の大半を占める部分である(図4-A)。この表層部の筋線維構成比をC群とトレーニング群間で比較すると、E群ではtype IIaの増加がIIb-FOGの減少にともないみられた。ES群にはFOG線維構成比に2倍程度の増加がみられ、IIaとIIb-FOGともに増加した。中層部ではE群にtype IIb-FOGの増加が、ES群にtype IIaの増加がみられた(図4-B)。深層部は遅筋線維が約60%を占めていた。深層部ではC群に対し両トレーニング群ともFOG線維の変化はないが、IIaとIIb-FOGに分類した場合、IIb-FOGの減少にともなう顕著なtype IIaの増加が観察された(図4-C)。

### 3. 考 察

持久性トレーニングは最大酸素摂取量の増加や最大下の運動の持続能を高めることは古くから知られている<sup>1, 20, 21, 25</sup>。この発達は呼吸・循環器系の発達と骨格筋の有酸素性代謝の亢進によるものである。特に骨格筋においては毛細血管の密度<sup>21</sup>、ミオグロビン濃度<sup>4, 16</sup>、ミトコンドリア・酸化系酵素活性<sup>17</sup>の増加が起こることが報告されている。また、スプリントトレーニングによる骨格筋の変化としては、ATPase活性<sup>30</sup>、解糖系酵素活性<sup>17</sup>の増加ばかりではなく、ミトコンドリア、酸化系酵素活性の増加が速筋線維に引き起こすことが報告されている<sup>21</sup>。速筋線維の酸化系機能の向上はインターバルトレーニング後に良くみられ<sup>14</sup>、また

持久性トレーニングをつんだ者に対して無酸素性のトレーニングを行なわせた場合、速筋線維の比率が増加する<sup>15</sup>などの報告も見られる。一方、筋力トレーニングはもとよりいずれのトレーニングにおいても、その運動の活動筋は筋肥大が起こる<sup>4, 9, 21</sup>。

これら過去の報告と比較して、本研究ではトレーニング群の体重に対する相対筋重量に増加が見られた。また、表2に示すようにSDH活性は両トレーニングの筋において顕著に増加していた。ミトコンドリアにおいても相対容積に増加がみられた。

ラットを用い有効なトレーニング効果を得るための至適運動量に関して、持久性向上の面から検討されている。Dudleyら<sup>10</sup>はトレッドミル走の速度と時間をかえ、筋のチトクロムC濃度の増加量を基準に検討している。この結果、FG線維優位な外側広筋表層部以外は30 m/min、60分間で最大の増加がみられ、それ以上走行時間を延長しても変化はなく、速度を増加した場合にはヒラメ筋に活動参加量の減少によるチトクロムCの減少が見られたとしている。一方、Hickson<sup>16</sup>は120分間のトレッドミル走トレーニングの頻度を週当たり2、4、6日と変えた群でチトクロムCとミオグロビン濃度から至適運動量を検討し、頻度の増加と平行してトレーニング効果が得られることを示した。これらの報告と比較して、今回のトレーニングの条件は速度35 m/min、時間90～120分間、6日/週であり、SDH酵素活性に十分な増加がみられ、またミトコンドリア容量の増大など持久性機能はもとより筋重量の増加からも、実験筋に対して十分な効果があったと考えられる。

一方、PFK活性に増加がみられたのはヒラメ筋のみであった。持久性トレーニングは解糖系酵素活性に及ぼす影響は少ない<sup>21</sup>。またスプリントトレーニング後の解糖系酵素活性に及ぼす影響は

筋により異なり<sup>2,26)</sup>, type I 線維には解糖系能力を高めるが<sup>6)</sup>, type II 線維には解糖系酵素活性に変化が少ない<sup>21)</sup>ことが報告されている。ヒラメ筋は type I 線維がほとんどを占める筋であるのに対し、足底筋、腓腹筋、長指伸筋ともに 90% 以上が type II 線維であることがヒラメ筋以外に PFK 活性の有意な増加をもたらさなかった原因と考えられた。

張力特性の変化を比較した場合、持久性トレーニングを主に行なったにも関わらず、収縮時間の短縮が両トレーニング群にみられ、逆に疲労耐性には変化がみられなかった。収縮時間は筋線維構成比<sup>3)</sup>, ATPase 活性に関係する<sup>18)</sup>。スプリント的トレーニング後には単収縮時間が減少することは知られているが<sup>15,26)</sup>, 持久的な運動後においても ATPase 活性の上昇にともなう短縮がみられている<sup>13)</sup>。速・遅筋線維間のタイプ移行は見られなかったこと、速筋線維のサブタイプには収縮速度に大きな違いはないこと<sup>24)</sup>を考慮した場合、筋の活動量の増大がトレーニングの種類や筋線維タイプに関係なく収縮機能を高めたことが考えられる。一方、酸化系酵素活性が 2 倍以上増加し、ミトコンドリアに増加が見られたにも関わらず疲労耐性には変化がみられなかった。この理由として、疲労曲線を得る際の刺激条件または測定時間が不適切であったことが考えられる。Fitts & Holloszy<sup>11)</sup> は持久性トレーニングを行ったラットのヒラメ筋において刺激開始から 20 分以降に疲労耐性の向上がみられることを示している。

筋線維タイプの分類に関しては、H<sup>+</sup> イオン濃度に対する ATPase 安定性による分類と<sup>6)</sup>, ATPase 染色により遅・速筋線維を分類し、速筋線維のサブタイプを酸化系酵素活性の優劣により分類<sup>19)</sup>する両方法から筋線維を 4 つに分類した。これにより筋線維タイプの変化がより明らかに示された。過去の報告と同様、速筋線維と遅筋線維間のタイプ移行・変化は見られなかった<sup>12)</sup>。速筋

線維サブタイプの変化において、type II a と type II b に分類した場合、C 群に対するトレーニング後の変化で有意な差が得られたのは、足底筋の両トレーニング、長指伸筋の ES 群、腓腹筋の中層部と深層部の両トレーニングであった。FOG と FG による分類では、足底筋の ES 群、腓腹筋の表層部のみ変化がみられた。

両方法を兼ねた場合、type II a は必ず FOG 線維であり、また FG は必ず type II b 線維であった。そして Peter<sup>19)</sup> の分類を基準に考えた場合には FOG は type II a と type II b から成り、Brooke & Kaiser<sup>6)</sup> の方法を基準に考える時 type II b は FG と FOG から成っていた。このことから持久性トレーニングの結果、速筋線維のサブタイプの中で筋線維のタイプ移行が起こるなら共通項 (type II b または FOG) をはさみ、type II a (FOG) ← type II b (FOG) ← type II b (FG) という変化が起こることが考えられる。

このように考えた場合、持久性トレーニングのみを行なった E 群は type II b-FOG から type II a (FOG) への変化 (FOG 内の変化) が腓腹筋表層部、中層部や足底筋で観察された。また、ES 群では酸化系酵素活性に劣る線維の減少がより見られ、type II b (FG) から type II b-FOG, さらに type II a (FOG) までの変化が多く観察された。ES 群の相対的な酸化系酵素活性に富む筋線維の増加が、表 2 に示した各筋の SDH 活性を E 群より有意ではないにしろ高めた原因と考えられる。

type II b 線維に分類されかつ酸化系酵素活性の高い線維に関して、Termin<sup>29)</sup> はミオシン重鎖を電気泳動分析した際の移動距離が異なることから、type II b とは異なり横隔膜筋に多く含まれる type II d と新たに分類した。

Schiaffino ら<sup>22)</sup> は ATPase 染色の反応の若干の違いと免疫組織化学分析の反応の違いから type II X タイプの存在を示した。Termino ら<sup>22)</sup> は type II b は type II X であるとし、28 日間慢性

電気刺激した前脛骨筋のミオシン重鎖にⅡdが増えることを、Schiaffinoら<sup>23)</sup>は高頻度電気刺激したヒラメ筋に収縮特性の速筋化にともなうⅡXの増加がみられたとしている。Sugiuraら<sup>27)</sup>は水泳トレーニングによる長指伸筋の、Takahashiら<sup>28)</sup>後肢懸垂によるヒラメ筋にⅡdが増え、Ⅱcと同様にタイプ移行の中間型であることを示唆している。また、Bottinelliら<sup>5)</sup>は skinned fibre を用い免疫組織学的に分類した各筋線維タイプの収縮特性を調べ、ⅡX線維は短縮速度はⅡbより劣り、Ⅱaと同レベルであるのに対し、速度—力曲線の歪をあらわす係数 ( $a/P_0$ ) はⅡaより低い値を示し、Ⅱbと同様に負荷が増した場合にも速い収縮速度を維持できる特性を持つことを示した。

これら最近の報告から type Ⅱd, ⅡX, あるいは本研究で示したⅡb-FOGの増加はトレーニングにともなう筋線維タイプ移行の進行を示し、またES群の足底筋や腓腹筋表層部にみられる type Ⅱb (FG) の減少にともなう type Ⅱb-FOGの増加は高い収縮速度を保ち持久性を向上させたことを示すものと考えられる。

## ま と め

本研究ではスプリント走を持続性トレーニングに加えた際の骨格筋の持久性機能の向上に及ぼす影響を検討した。生化学、組織化学、また形態学的面からも持続性トレーニングの過程でハイパワートレーニングを加えることは、持久性機能を高める効果が期待された。特に速筋線維において、速い収縮速度を保った状態で酸化能力を高める効果が観察された。

## 謝 辞

稿を終えるにあたり、電子顕微鏡撮影に御助力くださった鹿屋体育大学の竹倉宏明先生、大学院生の方々に謝意を表すとともに、本研究に対し御援助下さいましたデサントスポーツ科学振興財団

に対し厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Astrand, I.; Aerobic work capacity in men and women with special reference to age, *Acta. Physiol. Scand., suppl.*, **169**, 1-92 (1960)
- 2) Baldwin, K. M., et al.; Glycolytic enzyme in different types of skeletal muscle: adaptation to exercise, *Am. J. Physiol.*, **225**, 962-966 (1973)
- 3) Barany, M.; ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening, *J. Gen. Physiol.*, **50** suppl. 197-218 (1967)
- 4) Beyer, R. E. and Fattore, J. E.; The influence of age and endurance exercise on the myoglobin concentration of skeletal muscle of the rat, *J. Gerontology*, **39**, 525-530 (1984)
- 5) Bottinelli, S. et al.; Force-velocity relations and myosin heavy chain isoform compositions of skinned fibres from rat skeletal muscle, *J. Physiol.*, **437**, 655-672 (1991)
- 6) Brooke, M. H. and Kaiser, K. K.; Muscle fiber type: how many and what kind?, *Arch. Neurol.*, **26**, 369-379 (1970)
- 7) Costill, D. L., et al.; Skeletal muscle enzymes and fibre composition in male and female track athletes, *J. Appl. Physiol.* **40**, 149-154 (1976)
- 8) Costill, D. L., et al.; Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners, *Med. Scie. Sports*, **8**, 96-100 (1976)
- 9) Costill, D. L., et al.; Adaptations in skeletal muscle following strength training, *J. Appl. Physiol.*, **46**, 96-101 (1979)
- 10) Dudley, G. A., et al.; Influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptations in skeletal muscle, *J. Appl. Physiol.*, **53**, 844-850 (1982)
- 11) Fitts, R. H. and Holloszy, J. O.; Contractile properties of rat soleus muscle: effects of training and fatigue, *Am. J. Physiol.*, **2**, C 86-91 (1977)
- 12) Gollnic, P. D., et al.; Effect of training on enzyme activity and muscle composition of human skeletal muscle, *J. Appl. Physiol.*, **34**, 107-111 (1973)
- 13) Gutmann, E. and Hajek, J.; Differential reaction of muscle to exercise use in com-

- pensatory hypertrophy and increase phasic activity, *Physiol. Bohemoslov.*, **20**, 205-212 (1971)
- 14) Henrikson, J., Reitman, J. S.; Quantitative measures of enzyme activities in type I and type II muscle fibres of man after training, *Acta. Physiol. Scand.*, **97**, 392-397 (1976)
- 15) Henrikson, J., et al.; Increase in myofibrillar ATPase intermediate skeletal muscle fibre with endurance training of extreme duration in man, *Muscle and Nerve*, **3**, 274 (1980), Abstract
- 16) Hickson, R.; Skeletal muscle cytochrome C and myoglobin, endurance and frequency of training, *J. Appl. Physiol.*, **51**, 746-749 (1981)
- 17) Holloszy, J. O. and Booth, F. W.; Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle, *Annu. Rev. Physiol.*, **38**, 273-291 (1976)
- 18) Karlsson, J. and Smith, H. J.; The effect of lumbar sympathectomy on fiber composition, contractility of skeletal muscle and regulation of central circulation in dogs, *Acta. Physiol. Scand.*, **119**, 1-6 (1983)
- 19) Peter, J. B., et al.; Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in guinea pigs and rabbits, *Biochemistry*, **11**, 2627-2633 (1972)
- 20) Robinson, S. and Harmon, P. M.; The effects of training and gelatin upon certain factors which limit muscular work, *Am. J. Physiol.*, **144**, 161-169 (1941)
- 21) Saltin, B. and Gollnick, P. D.; Skeletal muscle adaptability, *Handbook of physiology*, p 555-631 (1983)
- 22) Schiaffino, S., et al.; Differentiation of fibre types in rat skeletal muscle visualized with monoclonal antimyosin antibodies, *J. Muscle Res. Cell Motil.*, **6**, 60-61 (1985)
- 23) Schiaffino, S., et al.; Myosin heavy chain isoforms and velocity of shortening of type 2 skeletal muscle fibres, *Acta. Physiol. Scand.*, **134**, 575-576 (1988)
- 24) Schiaffano, R. B., Reggiani, C.; Force-velocity relations and myosin heavy chain isoform compositions of skinned fibres from rat skeletal muscle, *J. Physiol.*, **437**, 655-672 (1991)
- 25) Shepherd, R. J.; The development of cardiorespiratory fitness, *Med. Serv. J. Canada.*, **21**, 533-544 (1965)
- 26) Staudte, H. W., et al.; Effects of short-term, high intensity (sprint) training on some contractile and metabolic characteristics of fast and slow muscle of the rat, *Pflügers Arch.*, **2344**, 159-168 (1973)
- 27) Sugiura, T., et al.; Myosin heavy chain isoform changes in rat diaphragm are induced by endurance training, *Jpn. J. Physiol.*, **40**, 759-763 (1990)
- 28) Takahashi, H., et al.; Expressions of myosin heavy chain II d isoform in rat soleus muscle during hindlimb suspension, *Acta. Physiol. Scand.*, **143**, 131-132 (1991)
- 29) Termin, A., et al.; Myosin heavy chain isoforms in histochemically defined fibre types of rat muscle, *Histochemistry*, **92**, 453-457 (1989)
- 30) Thorstensson, A., et al.; Enzyme activities and muscle strength after sprint training in man, *Acta. Physiol. Scand.*, **94**, 313-318 (1975)
- 31) Weibel, E. R.; Steleological principles for morphometry in electron microscopic cytology, *Int. Rev. Cytol.*, **26**, 235-302 (1969)