

日常生活における過負荷状態が競技選手の 身体作業能力に与える影響

勝 田 茂・神 林 勲*・服 部 光 幸**・永 井 純

The influence of extra-load conditioning in daily life on physical performances of highly trained athletes

Shigeru KATSUTA, Isao KANBAYASHI*, Mitsuyuki HATTORI**,
Jun NAGAI

Twelve highly trained long distance runners assigned to a weight-jacket group (WJ group; n=7) and a control group (C group; n=5) in order to assess the effects of 4-wk extra-load conditioning, i.e. hyper-gravity conditioning. The hyper-gravity condition was created by wearing a weight-jacket weighing about 10% of the runner's body weight. The jacket was worn 10.0±1.0 hrs/day, and was removed during sleep and training sessions. All subjects continued a regular endurance training program and weight training programs were started in this period. Maximal and submaximal running tests, measurement of isokinetic power and vertical jump were used to measure $\dot{V}O_2$ max, VT- $\dot{V}O_2$, LA and muscle power output of the subjects. After the 2nd week of extra-load conditioning, body weight of WJ group decreased significantly. However, WJ group showed no changes in any other variable of the battery test. It is suggested that hyper-gravity conditioning on daily life does not influence the physical performances of highly-trained athletes.

Key words : extra-load conditioning, athletes, physical performance, training

I. 緒 言

トレーニングとは多くの場合、身体作業能力がある特定の目的にむかって改善させ、その能力を強く要求するスポーツパフォーマンスを向上させることを目的とする。しかしながらスポーツパフォーマンスを左右する要因は多岐にわたるため、その能力を決定する要因の調和した発達によってのみ最高度のパフォーマンスに到達しうる²⁰⁾。

トレーニングを構成する2つの主要な概念は、持久トレーニングと筋力トレーニングである。持

久力は枯渇や疲労に対する抵抗力として理解され、それは心・脈管系、呼吸・循環器系ならびに骨格筋の生理学的な適応の統合により増加する⁹⁾。筋力は様々な収縮様式により発揮されるが、主に最大筋力、パワー、筋持久力の3つの型に分類される。筋力トレーニングは中枢神経系と骨格筋を含めた領域に適応を促し、神経性 (neurogenic) ならびに筋原性 (myogenic) 因子により筋力を増加させる¹⁴⁾。

非鍛練者では、比較的低強度、短期間のトレーニングでも身体作業能力を向上させることができ、日常生活において身体に荷重するだけでも作業能力の向上が認められている。Pandolfら¹⁷⁾は身体活動レベルの低い成人男子を被検者に6週間の荷重後、荷重前に比較して一定強度の運動に対する心拍数の減少が見られたこと、すなわち作業能力

*北海道教育大学 札幌分校 Sapporo Branch, Hokkaido University of Education.

**筑波大学研究生 Non-degree Research Student, School of Physical Education, University of Tsukuba.

が増加したことを報告している。また身体荷重状態で歩行することで酸素摂取量^{6),12)}, 筋電図振幅の増加⁹⁾や心拍数の増加⁷⁾なども観察されており, このような状態が継続すれば身体には何らかの適応が生じると考えられる。また, 2~3年間パフォーマンスの改善が見られない一流跳躍選手に, 日常生活のみならずトレーニング時においてもウエイトジャケットを着用(身体荷重)させたところ³⁾, 力-速度曲線の右方向への移動によって示される爆発的なパワー発揮の向上が認められている。

しかしながら日頃から継続的にトレーニングを行なっている競技者に対して, 日常生活だけの身体荷重が身体作業能力にどのような影響を及ぼすかについては検討されていない。そこで本研究は日頃トレーニングを継続的に行なっている競技選手(陸上競技長距離選手)を被検者に, 4週間日常生活においてウエイトジャケットを着用させ, 身体荷重が身体作業能力にどのような変化をおよぼすかをウエイトジャケット着用前後で比較・検討した。

II. 実験方法

1. 被検者

被検者には筑波大学陸上競技部中長距離ブロックに所属する男子長距離選手12名を用いた。実験の参加に当たっては目的・方法を十分に説明し, 本人の承諾を得てから各測定を行なった。なお被検者は本研究の実験期間, 脚筋力強化のためにウエイトトレーニングが導入され始めたものの, 普段と変わらぬ規則的な持久トレーニングを継続して行なっていた。

被検者はウエイトジャケット着用前の体重当たりの最大酸素摂取量(以下 $\dot{V}O_2\max$ とする)が等しくなるように, ウエイトジャケット着用群7名(以下WJ群と略す)と対照群5名(以下C群と略す)の2群にグルーピングした。被検者の身体特性は表1に示すとおりである。

2. ウエイトジャケット着用方法

WJ群には日常生活においてウエイトジャケットを先行研究^{2),3),19)}とほぼ同様な期間, 4週間着用させた。ウエイトジャケットの負荷は1週目までは被検者に身体荷重状態を慣れさせるため各自の体重の6~7%とし, 2週目以降は約10%に負荷を増加させ, 以後4週目までは一定とした(表

Table 1 Physical characteristics of the subjects in each group

| Variables | Weight-Jacket group(n=7) | | Control group(n=5) | |
|------------------------------|--------------------------|------|--------------------|------|
| | \bar{X} | SD | \bar{X} | SD |
| Age (yr) | 19.7 | 0.7 | 21.7 | 0.4 |
| Height (cm) | 170.4 | 5.0 | 171.8 | 3.7 |
| Weight (kg) | 58.2 | 4.0 | 60.6 | 3.2 |
| $\dot{V}O_2\max$ (ml/kg/min) | 73.8 | 3.0 | 74.2 | 2.1 |
| %aera of Slow Twich fibers* | 65.1 | 11.5 | 67.8 | 11.9 |

* Muscle samples were taken from vastus lateralis in each subject, and myosin ATPase staining (preincubation pH10.3) was used for this classification according to Padykula and Herman¹⁶⁾

Table 2 Extra-loads used to simulate hyper-gravity in Weight-Jacket group

| Subjects | 0-1 wk | | | 2-4 wk | | |
|-----------|------------------|-----------------|-----|------------------|-----------------|------|
| | Body weight (kg) | Extra-load (kg) | (%) | Body weight (kg) | Extra-load (kg) | (%) |
| HTM | 55.25 | 4.00 | 7.2 | 55.50 | 6.00 | 10.8 |
| KJS | 56.75 | 3.90 | 6.9 | 56.25 | 5.90 | 10.5 |
| SMS | 64.85 | 3.85 | 7.2 | 64.20 | 6.60 | 10.3 |
| SKH | 53.30 | 4.60 | 7.2 | 53.30 | 5.85 | 11.0 |
| FJM | 61.35 | 3.95 | 6.4 | 60.35 | 5.95 | 9.8 |
| OTH | 59.80 | 3.95 | 6.7 | 59.10 | 5.95 | 10.1 |
| MNK | 56.40 | 3.95 | 7.2 | 54.70 | 5.95 | 10.8 |
| \bar{X} | 58.24 | 4.03 | 7.0 | 57.63 | 6.03 | 10.5 |
| SD | 3.97 | 0.26 | 0.3 | 3.80 | 0.26 | 0.4 |

2)。なおウエイトジャケット着用は週5日とし, 休養日の決定は被検者の任意とした。また両グループとも週1回定期的に体重の計測を行なった。

ウエイトジャケット着用前後に両グループとも体脂肪率の推定を行なった。測定には一定圧(10g/mm²)に調整したskinfold caliperを用い, 上腕背部(右上腕の背部における肩峰突起と肘頭突起との中間点)と肩甲骨下部(右肩甲骨尖端角の直下)の2カ所を3回計測し, 三重検定により値を決定した後, 長峰¹⁵⁾の方法を用いて体脂肪率を推定した。

3. 有気的能力の測定

両群ともウエイトジャケット着用前後に以下に示す項目を測定した。

$\dot{V}O_2\max$ を測定するために10~14分間のEx-

haustiveな運動を傾斜0度のトレッドミルを用いて行なった。各自で15~20分間のウォーミングアップを行なわせた後、200m/minから300m/minまでは毎分20mずつ、その後は毎分10mずつ走速度を漸増した。 $\dot{V}O_2\text{max}$ の判定基準には酸素摂取量のレベリングオフ、ガス交換比(R>1.0)、および心拍数(180拍/分以上)を用いた。

換気性閾値(VT)は $\dot{V}O_2\text{max}$ 測定時に得られたガス交換変数のうち、Wassermanら²¹⁾の方法をもとに換気量と二酸化炭素排泄量の非直線の上昇、呼気二酸化炭素濃度の低下を伴わない呼気酸素濃度の上昇のピークによって求めた。

またランニングの効率に関しては、実験日をあらため傾斜0度のトレッドミルを用いて、VTレベルでの30分間走における平均酸素摂取量、ならびにランニング後の血中乳酸濃度の増加率によって評価した。酸素摂取量は走行開始後、4~5分、9~10分、14~15分、19~20分、24~25分、29~30分の計6回測定した。また採血は肘正中皮静脈から約2mlを安静時(ウォーミングアップ前)と30分間走直後に行ない、血中乳酸値をキット(Boehringer-Mannheim社製)を用いて測定した。

採気法にはダグラスバック法を用い、乾式ガスメーター(品川製作所製)により換気量を計測し、酸素、ならびに二酸化炭素の濃度の測定は質量分析器(Perkin Elmer社製, Medical-Gas Analyzer 1100)で行なった。また採気と同時に胸部双極誘導により記録された心電図から心拍数を計測した。

4. 筋パワーの測定

筋パワーを評価するためCybex II(Lumex社製)を用いて、等速性脚伸展力をウエイトジャケット着用前後に測定した。用いた角速度は0, 30, 90, 180度/秒の4種類であり、測定は全て低速から高速の順に行なった。測定回数は0度/秒は3回、その他は2回とし、各々1分間の休息時間をおいた。なお得られた値は全て高い値を採用した。

また爆発的なパワーの発揮を上肢による反動動作を用いた垂直跳びによって評価した。測定はT.K.K.メジャータイプジャンプメーター(竹井機器工業社製)を用い、2回測定し高い値を代表値とした。

5. 統計処理

各グループにおけるデータの基本的処理は平均(\bar{X})と標準偏差(SD)を用い、ウエイトジャケット

着用前後の値の検定はStudentsのt検定(paired)により行なった。

III. 結 果

WJ群にはウエイトジャケット着用時間を記録させており、その平均時間は1日当たり10.0±1.0時間であった。

図1には両グループの体重の変化をウエイトジャケット着用前の値を1.0とした場合の変化率として示した。C群は4週間で変化が認められなかったのに対して、WJ群は2~4週目にかけて有意な体重の減少が観察された。

日常生活における高重力状態はWJ群の $\dot{V}O_2\text{max}$ 、ならびに換気性閾値には顕著な変化をもたらさなかった(表3)。しかしながらウエイトジャケット着用後、WJ群の体重の減少にともない $\dot{V}O_2\text{max}$ はWJ群の方がC群に比較し有意に高値となった。

最大下ランニング時のエネルギー代謝を示したものが表4である。最大酸素摂取量、換気性閾値と同様、高重力状態によって最大下運動中の酸素摂取量、血中乳酸値には変化が認められなかった。

図2には両グループの高重力状態前後の等速性

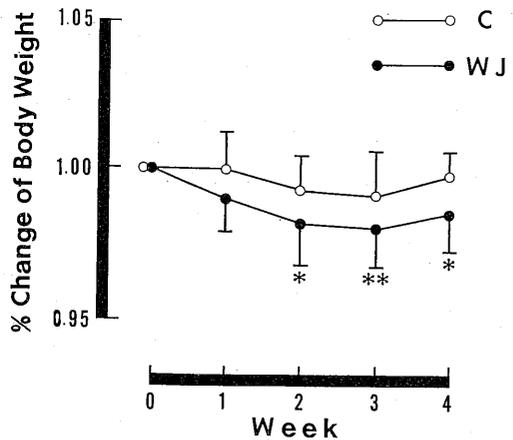


Fig. 1 Percentile changes in body weight of both groups during the extra-load conditioning. Results are expressed as means ± SD, and data are presented at percentage of initial value at 0 week.

* and ** denote significant difference at 0.05 and 0.01 levels compared with each initial value, respectively.

Table 3 $\dot{V}O_2$ max and Ventilatory threshold in each group before (Pre) and after (Post) extra-load conditioning

| Variables | | Weight-Jacket group | | Control group | |
|---------------------------------|-----------|---------------------|-------|---------------|-------|
| | | Pre | Post | Pre | Post |
| $\dot{V}O_2$ max (ℓ /min) | \bar{X} | 4.30 | 4.30 | 4.50 | 4.32 |
| | SD | 0.31 | 0.32 | 0.31 | 0.21 |
| $\dot{V}O_2$ max (ml/kg/min) | \bar{X} | 73.8 | 75.0* | 74.2 | 71.4 |
| | SD | 3.0 | 2.7 | 2.1 | 2.7 |
| VT- $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min) | \bar{X} | 57.2 | 58.0 | 60.2 | 57.9 |
| | SD | 4.3 | 3.4 | 2.3 | 2.6 |
| % VT (% $\dot{V}O_2$ max) | \bar{X} | 77.5 | 77.4 | 81.2 | 81.3 |
| | SD | 4.7 | 3.6 | 4.4 | 1.7 |
| VT-Speed (m/min) | \bar{X} | 282.4 | 288.5 | 300.8 | 302.2 |
| | SD | 18.7 | 13.7 | 5.6 | 8.8 |

* Significant difference ($p < 0.05$) compared with post value of C group

In all variables, values of before and after weight loading period in each group are no significance

Table 4 $\dot{V}O_2$ in steady state and blood lactate concentration during submaximal running corresponding to VT-level speed in each group before (Pre) and after (Post) extra-load conditioning

| Variables | | Weight-Jacket group | | Control group | |
|---|-----------|---------------------|------|---------------|------|
| | | Pre | Post | Pre | Post |
| $\dot{V}O_2$ (ℓ /min) | \bar{X} | 3.49 | 3.37 | 3.79 | 3.70 |
| | SD | 0.30 | 0.23 | 0.24 | 0.13 |
| $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min) | \bar{X} | 60.1 | 58.7 | 62.2 | 61.1 |
| | SD | 3.3 | 4.1 | 4.0 | 3.4 |
| Blood lactate concentration (mmol/ ℓ) | \bar{X} | 2.41 | 2.21 | 3.54 | 3.54 |
| | SD | 0.65 | 1.10 | 2.58 | 1.77 |
| Δ Blood lactate (mmol/ ℓ) | \bar{X} | 1.01 | 1.40 | 2.55 | 2.51 |
| | SD | 0.70 | 0.92 | 2.18 | 1.60 |

In all variables, values of before and after weight loading period in each group are no significance

脚伸展力を示した。WJ群、C群とも等尺性筋力 (0度/秒) には変化が認められなかったが、角速度30, 90, 180度/秒で発揮されたパワーは4週間後、増加傾向を示した。しかしながらWJ群においてのみその増加は有意であった。

垂直跳は両グループとも変化は認められなかつ

た (表5)。

IV. 考 察

C群の測定結果より、4週間の継続的な持久トレーニングは長距離選手の有酸素性能力には影響を及ぼさないことが明らかとなった (表3)。これは被検者の競技歴が4~9年と比較的長いことに

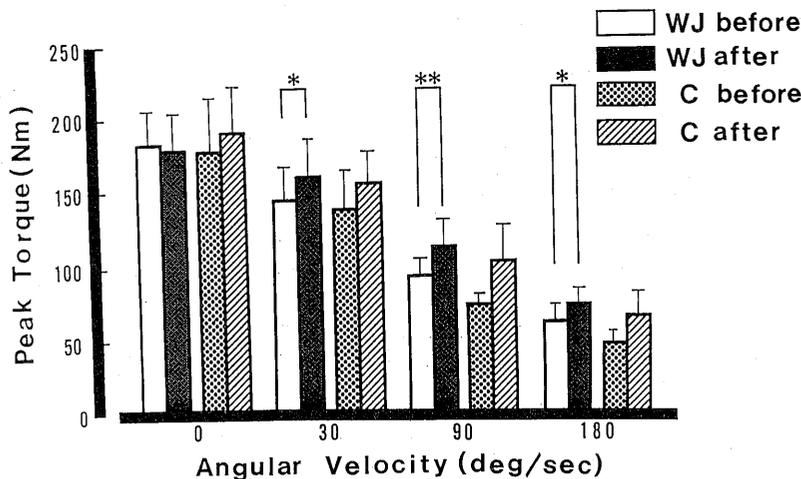


Fig. 2 Effects of prolonged extra-load conditioning on isokinetic power of leg extension. Results are expressed as means \pm SD.

* and ** denote significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

Table 5 Vertical jump height in each group before (Pre) and after (Post) extra-loading conditioning

| Variables | Weight-Jacket group | | Control group | |
|-----------|---------------------------|--------------------------|---------------|-------------|
| | Pre | Post | Pre | Post |
| | Vertical jump height (cm) | \bar{X} 52.6 SD 7.9 | 54.5 8.6 | 49.4 5.1 |

Values of before and after weight loading period in each group are no significance

起因していると考えられる。すなわちスポーツパフォーマンスは競技者が自身の限界に近づけば近づくほど、向上させるのが困難であると言われており、被検者の競技歴から考えてこのような結果は妥当であると思われる。

WJ群では4週間のウエイトジャケット着用により2週目以降有意な体重の減少が観察された(図1)。その原因の1つとして考えられることに、ウエイトジャケット着用が精神的ストレスとなったことが考えられる。被検者は着用期間中、倦怠感や疲労感を継続して経験しており、少なからずこれが体重の減少に影響していると思われる。また身体に荷重し歩行することにより、酸素摂取量^{5),12)}や筋電図の振幅の増加⁹⁾、心拍数の増加⁷⁾が先行研究により報告されていることから、本研究でのウエイトジャケット着用は日常生活におけるエネルギー代謝を増加させたことが考えられる。日常生活を行なうためのエネルギー源は主として脂質により賄われることから、WJ群の体重減少は脂質代謝高進による体脂肪の減少によるものと推察される。しかしながら、WJ群の体脂肪率は身体荷重前後で変化が認められなかった(表6)。

日常生活における高重力状態はランナーの $\dot{V}O_2\max$ 、換気性閾値、ならびに最大下ランニング時の有酸素性代謝や乳酸生成には変化をあたえなかった(表3, 4)。Rusko & Bosco¹⁹⁾はクロスカントリースキーヤーや陸上競技長距離選手に4週間、体重の9~10%に相当するウエイトジャケットを着用させるといふ本研究と同様の条件を設定したにもかかわらず、最大下ランニングでの血中乳酸値をウエイトジャケット着用前後で比較したところ、着用後において有意な高値を示したことを認めている。これについて彼らはランニング時におけるウエイトジャケット着用が脚筋の

Table 6 Skinfold thickness and %body fat in each group before (Pre) and after (Post) extra-load conditioning

| | skin fold thickness | | | | | |
|---------------------------|---------------------|------|----------------|------|------------|------|
| | triceps(mm) | | subscaplar(mm) | | % body fat | |
| | Pre | Post | Pre | Post | Pre | Post |
| Weight-Jacket group (n=7) | | | | | | |
| \bar{X} | 5.5 | 5.5 | 7.4 | 7.0* | 10.4 | 10.3 |
| SD | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.6 | 0.7 | 0.3 |
| Control group (n=5) | | | | | | |
| \bar{X} | 4.5 | 4.9* | 6.8 | 7.1 | 9.6 | 9.9 |
| SD | 1.6 | 1.5 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.2 |

*Significant change (p<0.05) when compared to the preceding measurement are indicated

機械的な張力の増加をもたらし、その結果、速筋線維が低強度の運動においても動員されランニング時において無酸素的代謝が高まったとしている。本研究において最大下ランニング時に無酸素的な代謝が高まらなかったのは、被検者はウエイトジャケットを着用した状態ではトレーニングを行なっておらず、速筋線維の低強度での動員が促されるほど大きな張力発揮が脚筋において要求されなかったためと思われる。

脚筋のパワーを表わす等速性脚伸展力はWJ群において有意に増加した(図2)。しかしながらC群の値も有意な増加にはならなかったものの、その増加の程度はWJ群とほとんど同一であった(図2)。その理由として今回の実験期間が日常トレーニングにおいてフリーウエイトを用いた筋力トレーニングを導入し始めた時期にあたり、これが両グループのパワーの増加に影響していたものと推察される。爆発的パワーの発揮を評価するために行なった垂直跳びはWJ群、C群とも変化がなかった(表5)。Boscoら^{2),3)}は陸上競技の跳躍選手、投擲選手や短距離選手などを被検者にウエイトジャケット着用の効果を調べたところ、神経性因子の改善による爆発的パワーの増加(力-速度曲線の右方向への移動)や貯蔵フォスファージンの増加によるATP再合成能力の向上などを報告している。このように先行研究においては速筋線維の神経筋活性の増加(発火頻度や同期化の改善)を中心とした変化が認められており、本研究の結果はこれらとは異なるものであった。この原因としては先行研究で作り出された高重力状態は

期間、負荷とも本研究とほぼ同一のものであるが、一日の着用時間が長く（睡眠のとき以外は着用）、またトレーニング時にも着用していたことなどが考えられる。Boscoら²⁾はウエイトジャケットを着用してトレーニングを行なった身体パフォーマンスに類する項目だけが改善され、他の項目には変化が観察されなかったことから、高重力状態のみでは筋の特性に変化をもたらすことができないとしている。

Martin & Romond¹³⁾はラットに継続して3か月間遠心機による回転と高重力状態(2G)にさらしたところ、ヒラメ筋と足底筋の筋線維組成が変化したことを認めている。勝田ら¹⁰⁾はラットを被検動物に協同筋の切除に加え、ウエイトジャケットを12週間装着させ、持続的かつ強度の高い負荷を骨格筋に与えた(ウエイトジャケットの重さは漸増させ、最終週では体重の80%に相当)。その結果ヒラメ筋において筋線維横断面積が26%、筋湿重量が31%増加したことを報告している。このように骨格筋に生物学的な変化を引き起こすには刺激を長期間にわたり継続して与えることが重要であり³⁾、また刺激の強度も変化の程度を決定する大きな因子であると考えられる。このような説は過去においては持久トレーニングによって収縮特性には変化(速筋線維から遅筋線維への移行)が生じないとされてきたが^{11,12)}、高強度で長時間、トレーニングを行なえば変化は可能である^{8),18)}ことが近年報告されてきており、それら一連の研究結果によっても支持される。本研究ではジャケットの平均着用時間は1日当たりおよそ10時間であり、トレーニング時には腰部や下肢の関節への負担などを考慮し着用させなかったため、変化を引き起こすには十分な刺激とならなかったと思われる。

ヒトを被検者に日常生活とトレーニング時における高重力状態が筋の特性に与える影響を調べた研究^{2),3),19)}では、速筋線維の神経筋活性の改善が主要な変化であった。高重力状態のまったく逆の環境条件として無重力状態が考えられ、そのシミュレーションとして近年ゲツ歯類などを被検動物に後肢宙づりが用いられている^{4),6)}。後肢宙づりでは遅筋線維の選択的萎縮、遅筋線維から速筋線維への移行、またこれらが同時に生じる可能性などによって収縮特性の速筋化が生じ⁴⁾、その影響は抗重力筋であり遅筋線維の割合が高いヒラメ筋などに顕著に表われる。これらのことから日常生活に

おいて高重力による刺激が脚筋に加わったとしても、より影響を受けるのは抗重力筋であり、細胞レベルにおいては遅筋線維に対してであると推察される。また本研究の被検者は長距離選手であったため、外側広筋では約65%が遅筋線維で占められており(表1)、他の脚筋においても遅筋線維の占める割合は高いと推察されることから、日常の高重力状態によっても速筋線維は動員されにくいと考えられる。

V. 総括

継続的にトレーニングを行なっている男子大学生陸上競技長距離選手を被検者に、4週間にわたる日常生活での高重力状態(ウエイトジャケット着用)が身体作業能力にどのような変化を与えるかについて比較・検討した。

1. WJ群ではウエイトジャケット着用2週間目より、有意な体重の減少が認められた。

2. $\dot{V}O_2\max$ 、換気性閾値、ならびに最大ダウンニング時での有酸素性代謝や乳酸生成は日常生活での高重力状態によっていずれも変化しなかった。

3. 脚筋のパワーや爆発的なパワーの発揮能力は日常生活における高重力状態によって変化しなかった。

これらのことから、日常生活における高重力状態は長距離選手の上記身体作業能力には影響をおよぼさないことが示唆された。

REFERENCES

- 1) Anderssen, P. and Henriksson, J.: Capillary supply of the quadriceps femoris muscles of man: adaptive response to exercise. *J. Physiol.* 270: 677-690, 1977.
- 2) Bosco, C., Rusko, H. and Hirvonen, J.: The effect of extra-load conditioning on muscle performance in athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 18: 415-419, 1986.
- 3) Bosco, C., Zanon, S., Rusko, H., DalMonte, A., Bellotti, P., Latteri, F., Candeloro, N., Locatilli, E., Azzaro, E., Pozzo, R. and Bonomi, S.: The influence of extra-load on the mechanical behavior of skeletal muscle. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 53: 149-154, 1984.
- 4) Corley, K., Kowalchuk, N. and McComas, A.J.: Contrasting effects of suspension on hind limb

- muscles in the hamster. *Exp. Neurol.*, 85: 30-40, 1984.
- 5) Evans, O.M., Zerbib, Y, Faria, M.H. and Monod, H.: Physiological responses to load holding and load carriage. *Ergonomics*. 26: 161-171, 1983.
 - 6) Geoffrey, C., Elder, B. and McComas, A.J.: Development of rat muscle during short-and long-term hind limb suspension. *J. Appl. Physiol.*, 62: 1917-1923, 1987.
 - 7) Gordon, M.J., Goslin, B.R., Graham, T. and Hoare, J.: Comparison between load carriage and grade walking on a teradmill. *Ergonomics*, 26: 289-298, 1983.
 - 8) Green, H.J., Klug, G.A., Reichmann, H., Seedorf, U., Wihrer, W. and Pette, D.: Exercise-induced fibre type transition with regard to myosin, parvalbumin and sarcoplasmic reticulum in muscles of the rat. *Pflügers Arch.*, 400: 432-438, 1984.
 - 9) Holloszy, J.O. and Booth, F.W.: Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Ann. Rev. Physiol.*, 38: 273-291, 1976.
 - 10) 勝田茂, 和田正信, 河野朋子, 青柳幸利, 坂本智: 過負荷によるラット骨格筋筋線維数の変化, 筑波大学体育科学系紀要, 12: 169-176, 1989.
 - 11) 金尾洋治, 勝田茂: スプリントおよび持久トレーニングがラットの骨格筋線維および毛細血管の発達におよぼす影響, 体力科学, 32: 311-319, 1983.
 - 12) Keren, G., Epstein, Y., Magazanik, A. and Sohar, E.: The energy cost of walking and running with and without a backpack load. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 46: 317-324, 1981.
 - 13) Martin, W.D. and Romond, E.H.: Effects of chronic rotation and hypergravity on muscle fibers of soleus and plantaris muscles of the rat. *Exp. Neurol.*, 49: 758-771, 1975.
 - 14) Moritani, T. and DeVries, H.: Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am. J. Phys. Med.*, 58: 115-130, 1979.
 - 15) 長峰晋吉: 皮下脂肪厚からの肥満の判定, 日本医師会雑誌, 68: 919-924, 1972.
 - 16) Padykula, H.A. and Herman, E.: The specificity of the histochemical method of adenosine triphosphatase. *J. Histochem. Cytochem.*, 3: 170-195, 1955.
 - 17) Pandolf, K.B., Ralph, D. and Goldman, F.: Physical conditioning of less fit adults by use of leg weight loading. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 56: 255-261, 1975.
 - 18) 和田正信, 勝田茂: 高強度・持久トレーニングによるラット骨格筋タンパクの変化, 体育学研究, 32: 221-229, 1988.
 - 19) Rusko, H. and Bosco, C.: Metabolic response of endurance athletes to training with added load. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 56: 412-418, 1987.
 - 20) ワイネック (有働正夫監訳, 中山治人・中山エバ共訳): 最適トレーニング, オーム社, 1984. pp. 2-6.
 - 21) Wasserman, K., Whipp, B.J., Koyal, S.N. and Beaver, W.L.: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 35: 236-243, 1973.