

動的筋力トレーニングにおける負荷設定に関する問題点 —負荷の強度と繰り返し回数との関係に着目して—

櫻田 淳也 佐伯 徹郎*¹ 高松 薫*²

I. 緒言

競技スポーツにおける代表的なトレーニング手段の1つとして、筋力トレーニングがあげられる。特に競技水準が高まるにつれて、筋力の強化は重要な課題となっている^{1,29)}。日本における多くの競技スポーツ種目においても、国際大会における日本人選手と外国人選手との体格の違いや筋力差を埋めるために、「フリーウェイト」を中心とした筋力トレーニングが多く取り入れられているのが現状である^{1,29)}。

実際に筋力トレーニングを行う際には、筋の「Bulk-up」や「Power-up」⁶⁾など、目的によって運動強度、量、頻度などが変わってくる。一般的には、運動強度や量は、「何kgの重さで何回挙げるか」、つまり「負荷に対する繰り返し回数」によって調整される。筋力トレーニングにおける実際の負荷強度の設定方法では、「RM法」が頻繁に用いられている。「RM法」は、1RM（1回繰り返せる重量）に対する割合（%1RM）を算出し、負荷強度を設定する方法である。

しかし、「RM法」には問題点も指摘されている。それは、各種負荷強度における繰り返し回数に、専門とする競技種目によって違いが生じることである^{23,25,27)}。例えば陸上競技の投擲選手と長距離選手を比較すると、同じ%1RMでも繰り返し回数には違いがあることなどが経験的に知られている。また、トレーニング歴によって、%1RMに対する繰り返し

回数が異なることも報告されている¹³⁾。

対象とする人によって、負荷強度に対する繰り返し回数に違いが生じることは、様々な研究者や実践者の間で%1RMに対する繰り返し回数の指標に相違があること^{3,15,17,20,21,24,29)}からも推察できる（表1）。

表1 1RMに対する各種負荷強度における繰り返し回数の指標（回）

	90%	80%	70%	60%
金子 (1979)	2~3	4~5	6~7	10
マトヴェイエフ,L.P(1985)	3	6	10	15
安田 (1990)	5	10	15~16	20
鈴木 (1990)	3	10	12	15
小山 (1991)	5	10	15	—
ブルーノ,P(1991)	2~3	4~7	8~12	13~18
花岡ら (1994)	6	10	15	20

また「RM法」においては、最大筋力として測定される1RMにも問題点があげられる。それは、測定している最大筋力（1RM）が、真の最大筋力としてみなされるかどうかという点である。随意的な最大筋力の測定に関しては、「一般的に試合時には、精神的興奮水準などから日常のトレーニング時よりも高いパフォーマンスを発揮することが多く見られる。つまり、日頃我々が最大筋力と考えている力は、それほど精神的緊張を伴わなくても発揮できる力である可能性がある²⁷⁾」という報告もある。その原因は、主に生理的限界と心理的限界に起因した、最大筋力の発揮特性の問題であると考えられる。すなわち、筋力の発揮は筋収縮によって起こるが、最大筋力を発揮する仕組みは、中枢神経系の活動水準によって変化するものである²⁸⁾。したがって、本人が最

*1 筑波大学体育科学研究科

*2 筑波大学体育科学系

大限の努力をしているつもりでも、発揮される筋力は一定ではなく、必ずしも真の最大筋力を発揮していることにはならない¹⁴⁾。このことは、心理的限界とは無関係に行われる電気刺激を用いた筋収縮によって、普段の最大努力時よりも30%程度高い筋力が発揮されることが、isometricな最大筋力の測定において確認されていることから言える²⁸⁾。これらの

表2 被験者の身体特性

Subjects	n	Age (yrs)	Body height (cm)	Body weight (kg)	Girth of upper arm (cm)
Male	7	22.0 ± 1.9	175.6 ± 2.9	73.7 ± 11.4	30.6 ± 3.5
Female	9	19.8 ± 0.8	165.0 ± 2.9	61.2 ± 7.6	25.6 ± 2.4

Values show mean ± SD.

ことから、最大筋力を測定するときは、試合時のように精神的興奮水準を高めた状態で、測定することが望ましいと考えられる²⁷⁾。

したがって、上述のような問題点を解決するために、負荷の強度と繰り返し回数との関係、およびそれらに影響を及ぼす要因について検討することは意義のあることであると考えられる。また、これらの問題点が明らかになれば、実際の指導現場において、効率よくトレーニング効果をあげるための有用な示唆が得られると考えられる。

そこで本研究では、動的筋力トレーニングにおける至適な負荷設定を行うための基礎的資料を得るために、負荷の強度と繰り返し回数との関係、およびそれらに影響する要因を、トレーニング運動前の1RMの重量、isometricな最大筋力とeccentricな最大筋力およびトレーニング運動後の血中乳酸値などの面から検討した。

II. 研究方法

1. 被験者

表1に被験者の特性を示した。被験者は、大学男子陸上競技部員7名（短距離選手）、女子9名（短距離選手）であった。なお被験者の所属する陸上競技部は、関東学生陸上競技対校選手権において、団体で1部校に所属するレベルにあった。

2. 測定項目および測定方法

図1に実験プロトコルを示した。測定項目および測定方法は次のとおりである。

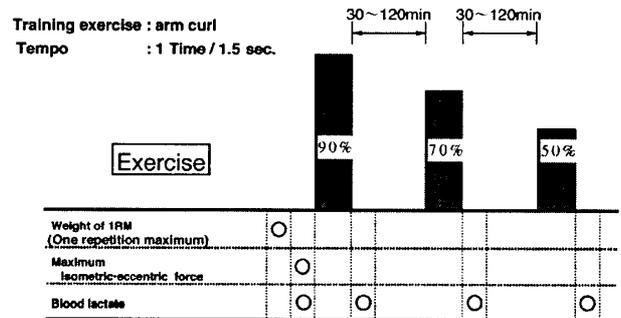


図1 実験プロトコル

1) 各種負荷強度における繰り返し回数および運動終了後の血中乳酸値

被験者には、1RMの90%、70%、50%の負荷強度で、アームカール運動をいずれもできなくなるまで行わせた。被験者は、測定装置に対し90度（真横）の角度で座り、体幹を測定装置の設置してある台に固定させた状態で、ワンハンドによりアームカール運動を行った（図2）。関節可動域は、測定装置の

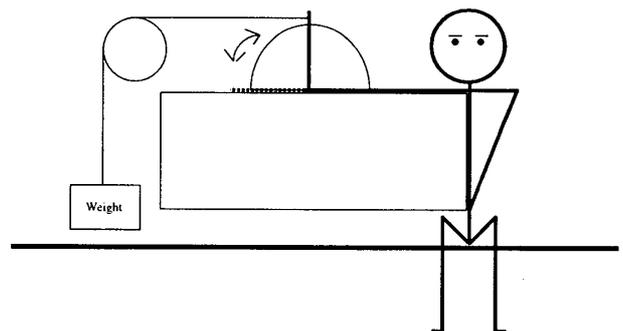


図2 アームカール運動の測定装置

設定上10度から90度の範囲とした。各運動間の休息時間は、各自が十分回復したと思うまで十分にとらせた。なお、休息時間については、30分以上であれば疲労の影響を受けないことを、予備実験において確認した。試技の順番は、90%—70%—50%とした。テンポは1回/1.5秒とし、そのテンポでできなくなった時点の繰り返し回数を記録した。なお、これら

の負荷強度によるトレーニング運動は、一般に、最大筋力、筋持久力などの養成を目的に用いられているものである。

また、筋疲労の指標として、各種負荷強度における運動終了時から1、3、5分後に、指尖より採血し、自動血中乳酸分析器（YSI社製、YSI MODEL23L）を用いて血中乳酸値を測定した。データには最高値を用いた。

2) 最大筋力

運動前に1RMの重量、およびisometricおよびeccentricな最大筋力を測定した。1RMの重量の測定については、ある重量に対して1回挙上することができれば、さらに次の重量に臨むという形で行った。ただし、重量は原則として100~500gずつ増やすようにした。また、最初の重量は、総試技回数が5回以内になるよう各被験者に決めさせた。Isometricおよびeccentricな最大筋力については、肘関節90度の角度で測定した。被験者には、最初等尺性収縮を行わせることによって、isometricな最大筋力を測定した。その後、被験者が予想することのできない突然のタイミングで、isometricな最大筋力の3倍¹⁹⁾以上の負荷をかけ、強制的に伸張性収縮を行わせることによって、eccentricな最大筋力を測定をした。なお、筋力の測定には張力計（共和電業製、LU-200KSB34D）を用い、その歪量をストレンアンブを介しコンピューターに取り込んだ。なお、最大筋力の測定に際しては、被験者には最大努力で力を発揮させるために十分に集中させ、測定時には周りで声を出して励ました。

3) 周育

筋断面積を推定する指標として、上腕囲をスチールメジャーで測定した。

3. 統計処理

データの解析のために用いた統計的手法は、ピアソン積率相関分析、2群間の平均値の有意差検定のためのstudent's t-testであった。統計処理の有意性は危険率5%水準で判定した。

Ⅲ. 結果と考察

本研究では、負荷強度が増すにつれて、繰り返し回数は減少する傾向を示したが、男女差は認められなかった（図3）。90%の負荷強度における繰り返し

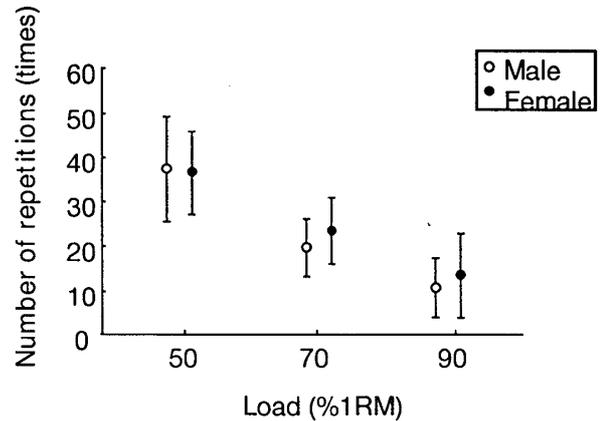


図3 各種負荷強度における繰り返し回数

し回数は、男子では平均 12.0 ± 7.2 回、女子では 13.2 ± 9.6 回であったが、これは従来報告されていたものよりも多い回数である。トレーニング指導書や解説書には、相対負荷に対する繰り返し回数は、90%の負荷強度では約3~6回とされている。しかし、現場の指導者からは「特に女子においては、RM法でトレーニングの負荷設定を行うと、全く想像もできないような回数をこなしてしまう」「筋力の強い選手と弱い選手とでは相対負荷に対する繰り返し回数には違いが出るようだ」などの意見が聞かれる。また、十分にトレーニングを積んでいるボディビルダーやスポーツ選手からも、「トレーニングの負荷設定をRM法で行うと、どうしても90%の負荷強度では10回以上繰り返させてしまう」「トレーニングの負荷設定を行っていくと、負荷に対する繰り返し回数が、どうしても筋力曲線にのってこない」などのような意見も聞かれる。さらに、これらの意見に関連があると思われる研究には、「筋力トレーニングを行う際には、トレーニングが神経・筋に与える影響は男女において異なり、トレーニングを行う際の負荷強度や量の設定は男女間で異なる」というHakkinen (1992)の報告、「女子の方が持久的な能力が高い」とされるCarlson (1971)、Petrofsky

(1975)、Clarke (1986)、Hakkinen (1994) らの報告、「絶対筋力の高い人の方が筋持久力に劣る」というCarlson (1969、1971)、Bowie (1972)、Jensen (1979) などの報告がある。また、繰り返し回数については、トレーニング歴によって違いが生じるということが、Hoeger (1990) によって報告されている。このように、相対強度に対する繰り返し回数などには、現在でも必ずしも統一した見解は得られて

いないようである。したがって、「相対負荷に対する繰り返し回数はすべての人について同様である」という一般的な考え方も、今後さらに検討する必要があると考えられる。

一方、本研究では男女ともに、1RMの70%および90%の負荷強度において、1RMの重量と繰り返し回数との間に有意な負の相関関係が認められた。相関係数は、70%および90%の順に、男子では-

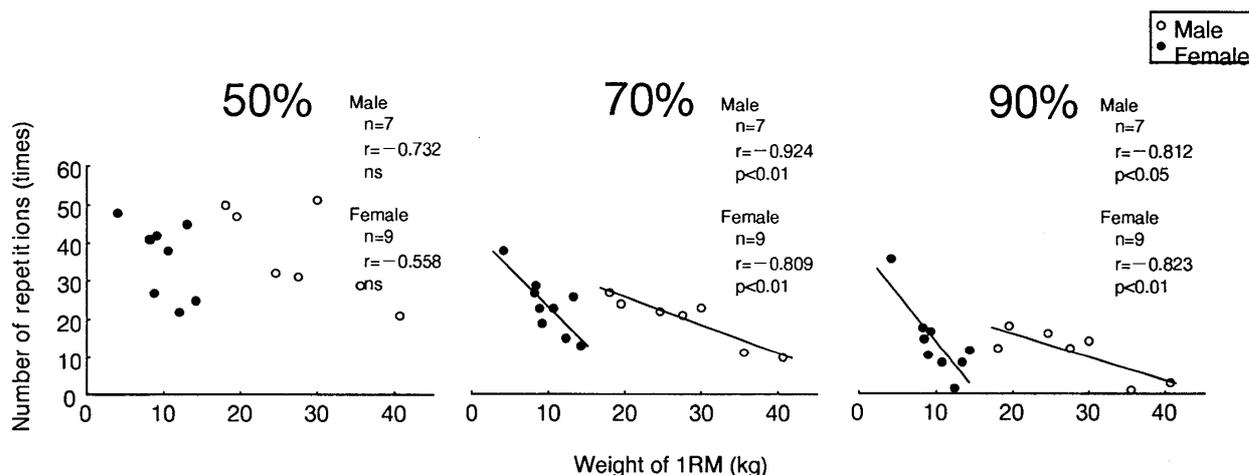


図4 1RMの重量と各種負荷強度における繰り返し回数との関係

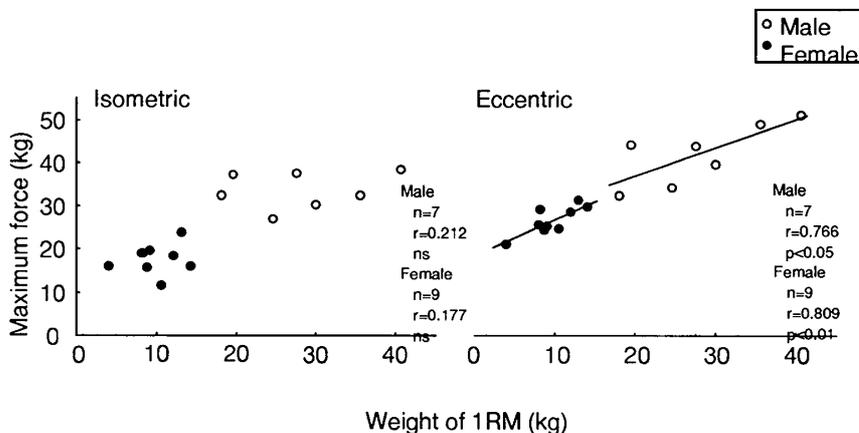


図5 1RMの重量とisometricおよびeccentricな最大筋力との関係

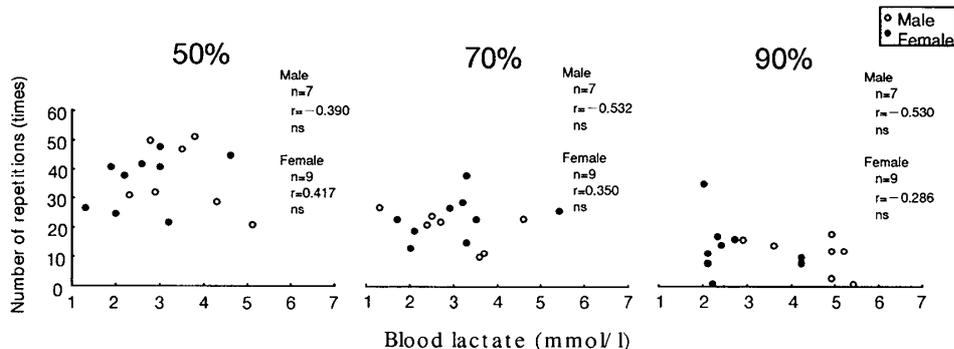


図6 血中乳酸値と各種負荷強度における繰り返し回数との関係

0.924 ($p < 0.01$)、 -0.812 ($p < 0.05$)、女子では -0.809 ($p < 0.01$)、 -0.823 ($p < 0.01$)であった。(図4)。このことは、同じ%RMの重量においても、1RMの重量の違いによって繰り返し回数に個人差が存在する可能性があること、すなわち1RMの重量が大きい人ほど繰り返し回数が少なくなる可能性¹⁶⁾を示唆するものである。そこで、本研究では個人差の生じる原因を、次の視点から考察することとした。

- A. 1RMの発揮に影響を及ぼす要因
 - 心理的・生理的要因（潜在的な最大筋力に対する割合）
- B. 繰り返し回数に影響を及ぼす要因
 - a. 生理的要因：筋断面積あたりの毛細血管数、筋線維組成、その他
 - b. 心理的要因（潜在的な運動遂行回数に対する割合）

本研究では、1RMの発揮に影響を及ぼす要因については、eccentricな最大筋力を指標にして検討した。また、繰り返し回数に影響する生理的要因については、筋断面積あたりの毛細血管数を推察する手がかりとして上腕囲を検討し、心理的要因については、各セットの運動終了後の血中乳酸値を検討した。

その結果、1RMの重量とisometricな最大筋力との間には有意な相関関係は認められなかったが、1RMの重量とeccentricな最大筋力との間には有意な

相関関係が認められた(男子： $r=0.766$ 、 $p < 0.05$ ；女子： $r=0.809$ 、 $p < 0.01$ 、図5)。随意的に発揮される最大筋力である1RMの重量が、なぜ、随意的に発揮されるisometricな最大筋力ではなく、eccentricな最大筋力と高い相関関係を示したかについては、本研究では明らかにすることはできない。しかし、eccentricな最大筋力が一つには、中枢の抑制が一瞬とれる脱制止によって、より生理的限界に近い筋力を発揮していることを考慮すれば^{18,19)}、本研究で測定された1RMの重量は、より生理的限界に近い値であったと考えられる。

また、血中乳酸値と各種負荷強度における繰り返し回数との間に有意な相関関係は認められなかった(図6)。このことは、被験者の潜在的な運動遂行回数に対する追い込み方の割合には、大きな相違がなかったことを示唆するものであると考えられる。

しかし、上腕囲と繰り返し回数との間には、男子ではいずれの負荷強度においても、有意な負の相関関係が認められた。相関係数は、50-70-90%の順に -0.956 ($p < 0.01$)、 -0.835 ($p < 0.05$)、 -0.855 ($p < 0.05$)であった。また女子においても、いずれの負荷強度においても、負の関係にある傾向を示した(図7)。

筋力は、筋断面積に比例することが知られている。しかし、筋が肥大すると、筋断面積あたりの毛細血管数などが低下するために、酸素供給能や酸化酵素

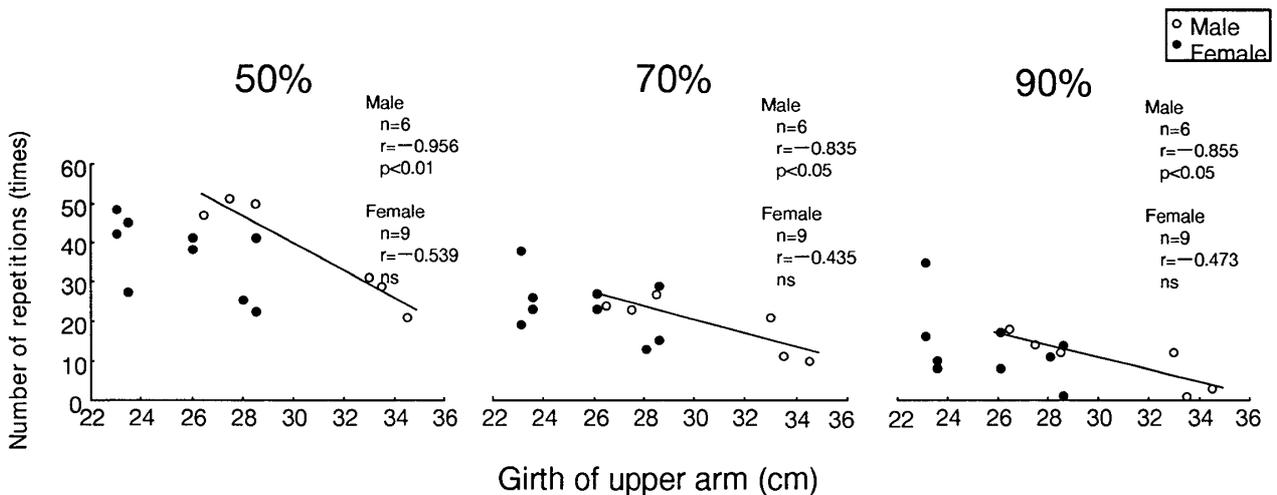


図7 上腕囲と各種負荷強度における繰り返し回数との関係

活性などの持久的パラメーターが低下する可能性も示されている^{8,26)}。また、「絶対筋力の高い人ほど相対負荷に対する筋持久力が低くなる」という報告がある^{2,4,5,11,12,16)}。上腕囲には皮脂厚なども含まれているので、筋断面積を精度よく評価することは困難である。このことについては、磁気共鳴画像 (MRI) などを用いるなどして、今後さらに検討することが必要であるが、上述の結果は筋断面積あたりの毛細血管数の発達程度が、繰り返し回数に影響を与えている可能性を示唆するものであるとも考えられる。なお、女子では上腕囲と繰り返し回数との間に顕著な関係は認められなかった。本研究では、この原因を明示することはできないので、今後さらに検討する必要がある。

IV. 結 論

本研究の結果から、1RMの重量が大きくなるほど、各種負荷強度における繰り返し回数は低下することが認められた。この原因の一つとして、筋肥大によって酸素供給能が低下する可能性が推察された。したがって、動的筋力トレーニングを行う際には、1RMの重量の相異や筋の周育などを考慮しながら、負荷強度の設定を行うことが有用である可能性が示唆された。しかし、この結果には男女差があるので、本研究課題については、今後さらに検討する必要性があると考えられる。

付記

本研究の一部は、第47回日本体育学会 (1996) において発表した。

文献 (References)

- 1) 阿部征次 (1992) スプリント・トレーニングマニュアル。ベースボールマガジン社、東京、pp.79-87。
- 2) Bowie, W. and Cumming, G. (1972) Sustained handgrip in boys and girls : Variation and correlation with performance and motivation to train. *Res. Quart.*, 43 : 131-141.
- 3) ブルーノ・ポーレット (1993) 関口 脩、細谷 治朗、大橋令子訳、筋力トレーニングマニュアル。大修館書店、東京、pp.112-114。
- 4) Carlson, B. (1969) Level of maximum isometric strength and relative load isometric endurance. *Ergonomics.*, 12 : 429-435.
- 5) Carlson, B. and McCraw, L. (1971) Isometric strength and relative isometric endurance. *Res. Quart.*, 42 : 244-250.
- 6) 雀 鳥淵、高橋英幸、坂井悠二、高松 薫 (1998) 「パワーアップ型」と「バルクアップ型」筋力トレーニング手段のトレーニング効果の相違 - 筋断面積、筋力、無氣的パワーおよび無氣的持久力に着目して -。体力科学、47 : 119-130。
- 7) Clarke, D. (1986) Sex difference in strength and fatigability. *Res. Quart. Excer. Sport*, 57 : 144-149.
- 8) Gollnick, P. D., R. B. Armstrong, C. W. Saubert., K. Piehl and B. Saltin. (1972) Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained man. *J. Appl. Physiol.*, 33 : 312-319.
- 9) Hakkinen, K. (1992) Neuromuscular responses in male and female athletes to two successive strength training sessions in a day. *J. Sports med. Physical Fitness*, 32 : 234-242.
- 10) Hakkinen, K. (1994) Neuromuscular fatigue in males and females during strenuous heavy resistance loading. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.*, 34 : 205-214.

- 11) Heyward, V (1975) Influence of static strength and intramuscular occlusion on submaximal statics muscle endurance. *Res.Quart.*, 46 : 393-402.
- 12) Heyward, V and McCreary L. (1975) Comparison of the relative endurance and critical occluding tension levels of men and women. *Res.Quart.*, 49 : 301-307.
- 13) Hoeger W. W. K., Hopkins. D. R., Barette.S.L and Hale.D.R. (1990) Relationship between repetition and selected percentages of onerepetition maximumv : a comparison between untrained and trained male and female. *J.Appl.sport sci.Res.*, 29 : 47-54.
- 14) 福永哲夫 (1985) スポーツと筋肉ー上。 *Training Journal*, 71 : 20-24。
- 15) 花岡美智子、堀内晶一 (1994) 「硬式テニス」筋力パワーアップトレーニング。ナツメ社、東京、pp.12-13、1994。
- 16) Jensen, C. R. and A. G. Fisher (1979) *Scientific Basis of Athletic Conditioning*. Philadelphia : Lea and Febiger, pp. 155-157.
- 17) 金子公宥、伊藤章、余田泉樹、末井健作、田路秀樹 (1979) 筋力トレーニングの簡便な負荷強度の設定方法について。 *体力科学*, 28 : 180-181。
- 18) 金原勇、押切由夫、三浦望慶、高松薫 (1966) 筋力トレーニング手段における生理学的研究。 *東京教育大学スポーツ研究所報*, 4 : 21-31。
- 19) 金原勇、高松薫、渋谷侃二 (1970) 筋の力の出し方に関する基礎的研究 (その2)。 *東京教育大学スポーツ研究所報*, 8 : 26-52。
- 20) 小山裕史 (1991) *新トレーニング革命*。講談社、東京、pp. 60-62。
- 21) マトヴェイエフ.L.P. : 川村毅訳 (1985) *ソビエトスポーツ・トレーニングの原理*。白帝社、東京、p.214。
- 22) Petrofsky (1975) Comparison of physiological responses of women and men to isometric exercise. *J. Appl. Physiol.*, 30 : 863-868.
- 23) Robert, C. H., Karen, H., Carl, F. (1994) Skeletal muscle fibertype, resistance training, and strength-related performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26 : 593-598.
- 24) 鈴木正之 (1990) *続・間違いだらけのスポーツトレーニング*。黎明出版、東京、p.69。
- 25) 竹内 研 (1995) ウェイトトレーニングの強度設定を再考する。 *Training Journal*, 194 : 96-97。
- 26) Tesch, P. A. (1992) Short and long-term histochemical and biochemical adaptations in muscle. In : *Strength and Power in Sport*, P. V. Komi (Ed.0). Oxford : Blackwell Scientific, p. 244.
- 27) Zatsiorsky, V. M., Kulik N. G. and Smirnov, Yu. I. (1968) Relationship between the motorabilities. *Theory and Practice of Physical Culture.*, 31 : 35-48.
- 28) 矢部京之助 (1977) *人体筋出力の生理的限界と心理的限界*。杏林書院、東京、p.65。
- 29) 安田矩明 (1990) *スーパーパワーアップ*。CBS-ソニー出版、東京、pp38-39。