

レジスタンス運動における Strength-up type と Bulk-up type の負荷特性の相違：筋放電量および成長ホルモンの分泌に着目して

後藤 一成¹⁾ 崔 鳥淵²⁾ 大山卞圭悟³⁾ 高松 薫³⁾

Differences in characteristic between Strength-up type and Bulk-up type of resistance exercise: with reference to EMG activity and growth hormone secretion

Kazushige Goto¹, Joyeon Choi², Keigo Ohyama Byun³ and Kaoru Takamatsu³

Abstract

The present study aimed to examine the differences in characteristics between two major types of resistance exercise "Strength-up type (S-type)" and "Bulk-up type (B-type)" with reference to neuromuscular and endocrine responses. Eight male subjects performed leg extension exercise on separate days using the S-type or B-type regimen. The S-type consisted of five sets at 90% of one repetition maximum (1RM) with a 3-min rest period between sets. On the other hand, the B-type consisted of nine sets (divided into three parts each with three sets) at 80% to 40% of 1RM with a 30-s rest period between sets and a 3-min rest period between parts. Electromyogram (EMG) activities during the exercise, and serum growth hormone (GH) and blood lactate concentrations, thigh girth and maximal isometric strength were measured before and immediately after the exercise sessions. Percentage mEMG (the values normalized to EMG activities during maximal isometric contraction) in the B-type declined in each part with three sets, but tended to increase in the whole session, suggesting reduced neuromuscular efficiency, whereas they were maintained at higher level in the S-type. Concentrations of GH and blood lactate consistently showed marked increases after the B-type regimen, whereas they did not change a great deal after the S-type regimen. In addition, changes in thigh girth and maximal isometric strength were significantly greater in the B-type than in the S-type. The present results suggest that the characteristics of S-type and B-type resistance exercise differ greatly regarding factors related to neural adaptation and muscle hypertrophy, and that these

1) 筑波大学大学院体育科学研究科

〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

2) 安山工科大学生活体育科

〒425-792 韓国・京畿道安山市草地洞671

3) 筑波大学体育科学系

〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

連絡先 後藤一成

1. *Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*

1-1-1 Ten-nodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

2. *Department of Sports and Leisure Studies, Ansan College of Technology*

671 Choji-dong, Ansan, Kyungki-do, 425-792, Korea

3. *Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*

1-1-1 Ten-nodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

Corresponding author gotoh@fitness.taiiku.tsukuba.ac.jp

differences affect the specific training effects between these two types of exercise.

key words : muscular strength, muscle hypertrophy, hormonal response

(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 48: 383-393, July, 2003)

キーワード：筋力，筋肥大，ホルモン応答

I 緒 言

レジスタンストレーニングには様々な負荷方法が存在するが，これらは神経系の改善（運動単位の動員能力の改善）をねらいとしたStrength-up type（S-type，単にStrength-typeと呼ぶこともある）の運動と筋断面積の増大（筋肥大）をねらいとしたBulk-up type（B-type，Hypertrophy-typeと呼ぶこともある）の運動の2種に大別することができる^{注1)}。この場合，S-typeの運動は高強度・低回数反復〔最大挙上重量（one repetition maximum；1RM）の約80%以上〕の負荷に対し，セット間に長い休息をはさんで行い，B-typeの運動は中強度・中-高回数反復（1RMの約60-80%程度）の負荷に対し，セット間に短い休息をはさんで行う方法が一般的である（高松，1991；崔ほか，1998a，1998b）。

レジスタンストレーニングによって望ましい効果を得るためには，トレーニング効果に影響する要因を把握することが重要となる。なぜなら，そのことによってトレーニングにおける無駄な部分が省かれ，より合理的なトレーニング処方が可能となるからである。しかし，S-typeの運動とB-typeの運動については，トレーニング効果が異なることはこれまでも示されているが（崔ほか，1998a；Fleck and Kraemer，1997），それらに影響する要因は十分に明らかにされていないのが現状であることから，両運動における負荷特性の相違を明確にすることが必要であると考えられる。

各種トレーニング運動における負荷特性を明らかにする際には，長期のトレーニングによる効果

を検討することのほかに，1回のトレーニング運動に対する生理的応答を検討することが役立つであろう。S-typeの運動とB-typeの運動による一過性の筋機能の変化（Häkkinen，1993；Häkkinen and Pakarinen，1995），血中乳酸濃度の変化（Kraemer et al.，1987），ホルモン濃度の変化（Kraemer et al.，1990，1993；Bosco et al.，2000）などを比較した研究は，このような観点から検討されたものである。しかし，レジスタンストレーニングによる筋力や筋パワーの増大は，神経系の改善と筋肥大が相互に関連している（Sale，1992）ことを考慮すると，S-typeの運動とB-typeの運動の負荷特性の相違を神経系の改善に関する要因と筋肥大に関する要因の両面から検討することが必要であると考えられる。

そこで本研究では，このことを踏まえて，次の2つの実験を行った。実験Aでは，神経系の改善に関連した要因として動作時の筋放電活動（electromyogram；EMG）に着目して，また実験Bでは，筋肥大に関連した要因として運動後の成長ホルモン（Growth hormone；GH）の分泌量に着目して，S-typeの運動とB-typeの運動の負荷特性の相違を検討した。本研究によって，両運動におけるトレーニング効果の相違に影響する要因を明確にできるだけでなく，今後，より合理的なトレーニング運動を考案する上での有用な知見を得ることができると考えられる。

II 方 法

1. 実験A

1) 被験者

被験者には，健康な一般成人男性8名（年齢 28.6 ± 2.7 歳，身長 173.4 ± 6.1 cm，体重 71.2 ± 10.4 kg）を用いた。被験者は，実験の主旨，内容

および危険性についてあらかじめ説明を受け、それらを十分に理解し、同意書に署名したうえで実験に参加した。

2) 実験プロトコル

運動には、椅座位姿勢での片脚による膝伸展運動を用いた。被験者には、背もたれのついた筋力台に下腿を下垂させた状態で座らせ、膝関節の完全伸展位を180度とした場合の90度から180度までの範囲で運動を行わせた。負荷重量は、ワイヤーを介して垂直方向につり下げ、それと右足首をワイヤーロープで結んだ。なお、運動や負荷装置に慣れさせるために、本実験までに数回の練習日を設けた。

S-typeの運動とB-typeの運動の負荷方法には、崔ほか(1998a, 1998b), Masuda et al. (1999)の方法を用いた(Fig. 1)。すなわち、S-typeの運動には1RMの90%の負荷に対し、セット間に3分間の休息をはさみ、合計5セット行わせ、B-typeの運動には1RMの80-40%の負荷に対し、セット間に30秒あるいは3分間の休息をはさみ、合計9セット行わせた。両運動ともに、いずれのセットにおいても可能な限り動作を反復させた。なお、それぞれの運動間には1週間の間隔を設け、実施順序は被験者によってランダムとした。

3) 測定項目および測定方法

各運動について、動作時に発揮された力と大腿直筋、内側広筋および外側広筋のEMG活動を測

定した。発揮された力は、ワイヤーロープの途中に取り付けたストレインゲージ(共和電業社製, LO-100KSB)によってとらえ、ストレインアンプ, ADコンバーターを介して1msecごとにコンピュータ(NEC社製, PC9801RX)に取り込んだ。その後、得られた力-時間曲線をもとにして、1回の膝伸展動作における動作時間と平均力(F_{mean})を求めた。

EMGの測定には表面双極誘導法を用いた。各筋とも、電極間距離を20mmにして、直径10mmの電極を筋線維の走行方向と同一になるように装着した。なお、電極との皮膚抵抗は10k Ω 以下とした。各筋のEMG信号は、生体アンプ, ADコンバーターを介して、1KHzのサンプリングレートでA/D変換し、コンピュータ(Apple社製, Macintosh Centris650)に取り込んだ。それをもとにして、1回の膝伸展運動における平均筋放電量(mEMG)を、全波整流した積分筋電図(iEMG)を動作時間で除すことにより求めた。なお、ここでは、mEMGを各被験者間で比較できるように、別に測定した膝関節角度90度での等尺性最大膝伸展力発揮時のmEMGに対する相対値(%mEMG)を求めた。また本研究では、上述の F_{mean} をこのmEMGで除した値、すなわち $F_{mean}/\%mEMG$ も求めた。上述した1回の膝伸展運動における F_{mean} , %mEMGおよび $F_{mean}/\%mEMG$ は、いずれも各セットごとに平

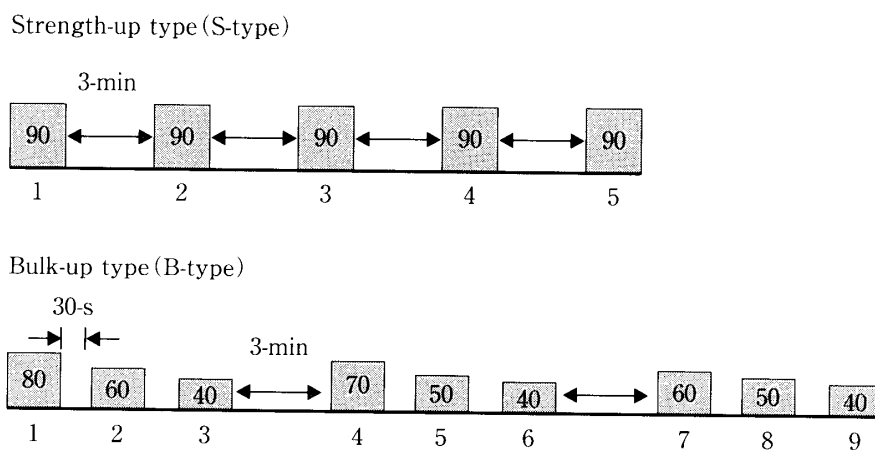


Fig. 1 Protocol for resistance exercise in Exp. A and B. Figures in the shaded boxes show exercise intensity (% of 1RM).

均値を求め、それを各被験者の代表値とした。この他に、運動に用いる負荷設定のために、片脚での1RMを毎回の運動前に測定した。

なお、S-typeの運動では運動直前と、1, 3, 5セットの各直後と、運動3, 6, 9分の各直後に、また、B-typeの運動では運動直前と、3, 6, 9セットの各直後と、運動3, 6, 9分の各直後に、それぞれ指尖より採血し、血中乳酸濃度(LA濃度)を自動血中乳酸分析器(YSI社製, 1500sports)により測定した。また、S-typeの運動では運動直前および5セット直後に、B-typeの運動では運動直前と、3, 6, 9セットの各直後に、大腿囲を測定した。大腿囲は膝蓋骨の15cm上部において立位の状態で測定した。

4) 統計処理

すべての測定値は平均値±標準偏差(SD)で示した。S-typeの運動とB-typeの運動との間におけるLA濃度、大腿囲の平均値の差の検定には、対応のあるt検定を用いた。各セット間における F_{mean} , %mEMG, $F_{\text{mean}}/\%$ mEMGの平均値の差の検定には、反復測定による一元配置の分散分析を用い、F値が有意であった場合にはSheffe法により多重比較検定を行った。なお、有意性の検定には、いずれも危険率5%未満を採用した。

2. 実験B

1) 被験者

被験者には、健康な一般成人男性8名(年齢 22.8 ± 1.7 歳, 身長 172.8 ± 3.5 cm, 体重 71.6 ± 5.8 kg)を用いた。実験Aと同様に、被験者は本研究の内容に関してあらかじめ説明を受け、それらを十分に理解し、同意書に署名したうえで実験に参加した。

2) 実験プロトコール

運動には両脚による膝伸展運動を用いた。実験Aと同様に、各被験者には、S-typeの運動とB-typeの運動をランダムに1週間以上の間隔をおいて行わせた。

3) 測定項目および測定方法

各運動の運動前および回復中に前腕肘静脈より採血し、血中GH濃度およびLA濃度を測定した。

採血終了後、GH分析用の血液を 4°C , 3,000rpmで10分間遠心分離し、得られた血清を -80°C で凍結保存した。GH濃度は運動前, 運動5分後, 15分後, 30分後, 60分後に、LA濃度は運動前, 運動1-5分後, 7分後, 10分後, 12分後, 15分後, 30分後, 60分後にそれぞれ測定した。GH濃度の測定には、RIA固相法を用いた。LA濃度の測定には、実験Aと同様の方法を用いた。なお、各運動および採血は、ホルモン濃度に対する日内変動および食事の影響を最小限にするために(Finkkestein et al., 1972)、10時間以上の絶食後、同一時間帯(午前8-11時)に行った。

大腿囲、等尺性最大膝伸展力(Maximal voluntary contraction; MVC)を運動前および運動直後に測定し、運動前後での変化率をそれぞれ求めた。大腿囲は、膝蓋骨の15cm上部において椅座位の状態で測定した。MVCの測定は、実験Aと同様の装置および方法を用い、右脚について行った。そして、得られた力-時間曲線をもとにして、力発揮速度の最大値(Maximal rate of force development; MRFD: Viitasalo et al., 1980)を求め、運動前後における変化率を算出した。この他に、運動に用いる負荷設定のために、両脚での1RMを毎回の運動前に測定した。

4) 統計処理

すべての測定値は平均値±標準偏差(SD)で示した。MVC, MRFDおよび大腿囲の運動前後および両運動間における平均値の差の検定には、対応のあるt検定を用いた。GHおよびLA濃度の時間経過にともなう平均値の差の検定には、反復測定による一元配置の分散分析を用い、F値が有意であった場合には、Sheffe法により多重比較検定を行った。なお、有意性の検定には、いずれも危険率5%未満を採用した。

III 結 果

実験A, Bともに、各セットでの反復回数は、S-typeの運動では3-8回の範囲にあったが、B-typeの運動では8-24回の範囲にあった。

1. 実験 A

Fig. 2 に、両運動における動作時の F_{mean} の変化を示した。両運動における F_{mean} の変化は負荷方法の相違 (Fig. 1) をよく反映していた。すなわち、S-type の運動においては、いずれのセットにおいてもほぼ一定の水準が維持されていたが、B-type の運動においては、セット数が進むにつれて有意に減少する傾向が認められた。

Fig. 3 に、両運動における % mEMG および $F_{\text{mean}}/\%$ mEMG の変化を示した。なお % mEMG は、大腿直筋、内側広筋および外側広筋における変化がほぼ同様であったために、3つの被験筋の平均値で示した。その結果、S-type の運動では、5セットともに等尺性最大筋力発揮時の mEMG とほぼ同様の水準が維持され、各セット間に有意差は認められなかった。一方、B-type の運動では、1-3、4-6、7-9セットの各3セット内では徐々に低下したが、3セットごとにまとめてみると徐々に増加する傾向が認められた。また、 $F_{\text{mean}}/\%$ mEMG は、S-type の運動では各セット間に有意な変化は認められなかったが、B-type の運動ではセット数が進むにつれて有意に低下する傾向が認められた。

運動中および運動後の LA 濃度は、B-type の運動が S-type の運動に比較して常に高値を示し、安静値からの増加量 (S-type $2.8 \pm 0.8\text{mmol/l}$ vs

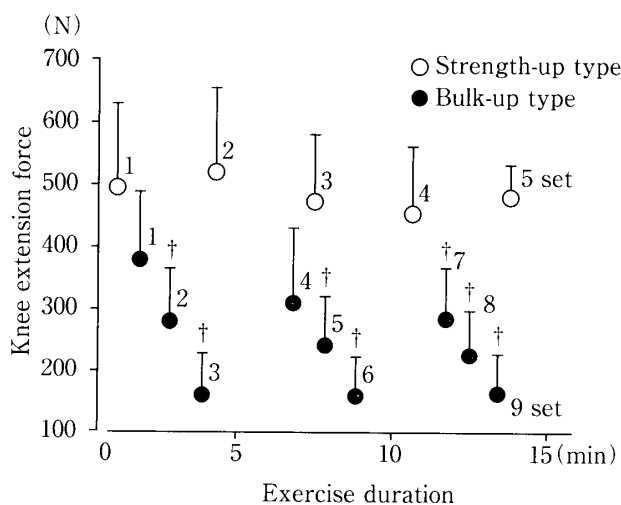


Fig. 2 Changes of knee extension force (F_{mean}) during two types of exercise in Exp. A. Values are means \pm SD. †: $P < 0.05$, compared to values of 1st set.

B-type $4.2 \pm 2.2\text{mmol/l}$) には、両運動間に有意差が認められた。

運動中および運動後の大腿囲は、B-type の運動が S-type の運動に比較して常に高値を示し、運動前後での変化率 (S-type $1.5 \pm 0.6\%$ vs B-type $3.8 \pm 1.2\%$) には、両運動間に有意差が認められた。

2. 実験 B

Fig. 4 に、両運動における GH および LA 濃度の変化を示した。また、GH 濃度については、安静時-運動60分後までの分泌量 (Area under the curve; GH-AUC: Kraemer et al., 1990) も示

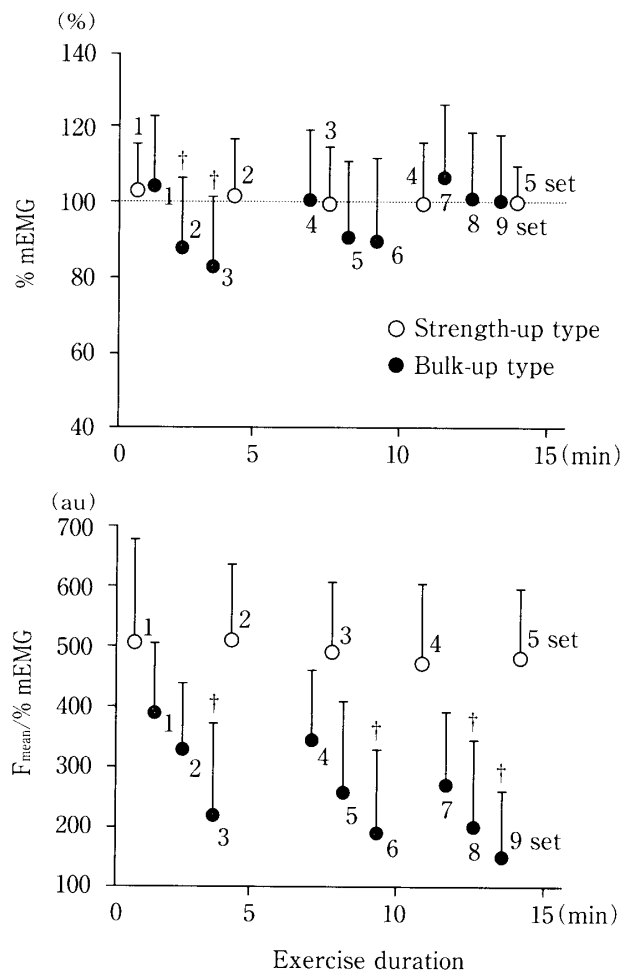


Fig. 3 Changes in % mEMG and knee extension force ($F_{\text{mean}}/\%$ mEMG) during two types of exercise in Exp. A. Values are means \pm SD. The mEMG represents the mean values among rectus femoris, vastus lateralis and vastus medialis muscle. Dotted line indicates mEMG in MVC test. †: $P < 0.05$, compared to values of 1st set.

した。その結果、安静時のGH濃度には、S-typeの運動とB-typeの運動との間に有意差は認められなかった。両運動ともに、運動後にGH濃度は有意に上昇したが、その変化の程度はB-typeの運動がS-typeの運動に比較して著しく、両運動間には運動後のすべての時点において有意差が認められた。また、その分泌量の指標としてのGH-AUCにおいても、B-typeの運動はS-typeの運動に比較して約8倍の高値を示し（S-type 56.1 ± 7.7 ng/ml vs B-type 419.8 ± 56.1 ng/ml），両運動間には有意差が認められた。一方、LA濃度もGH濃度と同様に、両運動ともに運動後に有意に上昇したが、その変化の程度はB-typeの運動がS-typeの運動に比較して著しく、両運動間には運動1-30分後までの時点において有意差が認められた。

Table 1に、両運動における運動前後での大腿囲、MVCおよびMRFDの変化率を示した。実験Aと同様に、両運動ともに運動後に大腿囲は増加したが、その変化率はB-typeの運動がS-typeの運動に比較して有意に高値を示した。また、MVCおよびMRFDは、両運動ともに運動後に減

少したが、その変化率はB-typeの運動がS-typeの運動に比較して有意に高値を示した。

IV 考 察

本研究におけるS-typeの運動とB-typeの運動には、崔ほか（1998a, 1998b）、Masuda et al.（1999）の負荷方法を用いた。この理由としては、これらがいずれも実際のトレーニング現場においてよく用いられている方法であることがあげられる（小山, 1994；Fleck and Kraemer, 1997）。また、本研究の目的は、両運動におけるトレーニング効果の相違に影響する要因を一過性の運動に対する生理的応答から検討することであるために、トレーニング効果の相違が詳細に検討されている（崔ほか, 1998a, 1998b；Masuda et al., 1999）負荷方法を用いることが必要であることがあげられる。なお、異なる負荷方法における生理的応答を比較する場合には、両運動における仕事量を規定することも重要である。しかしその一方で、仕事量を規定することによって、本来の負荷方法による特性を十分に把握できない恐れがあ

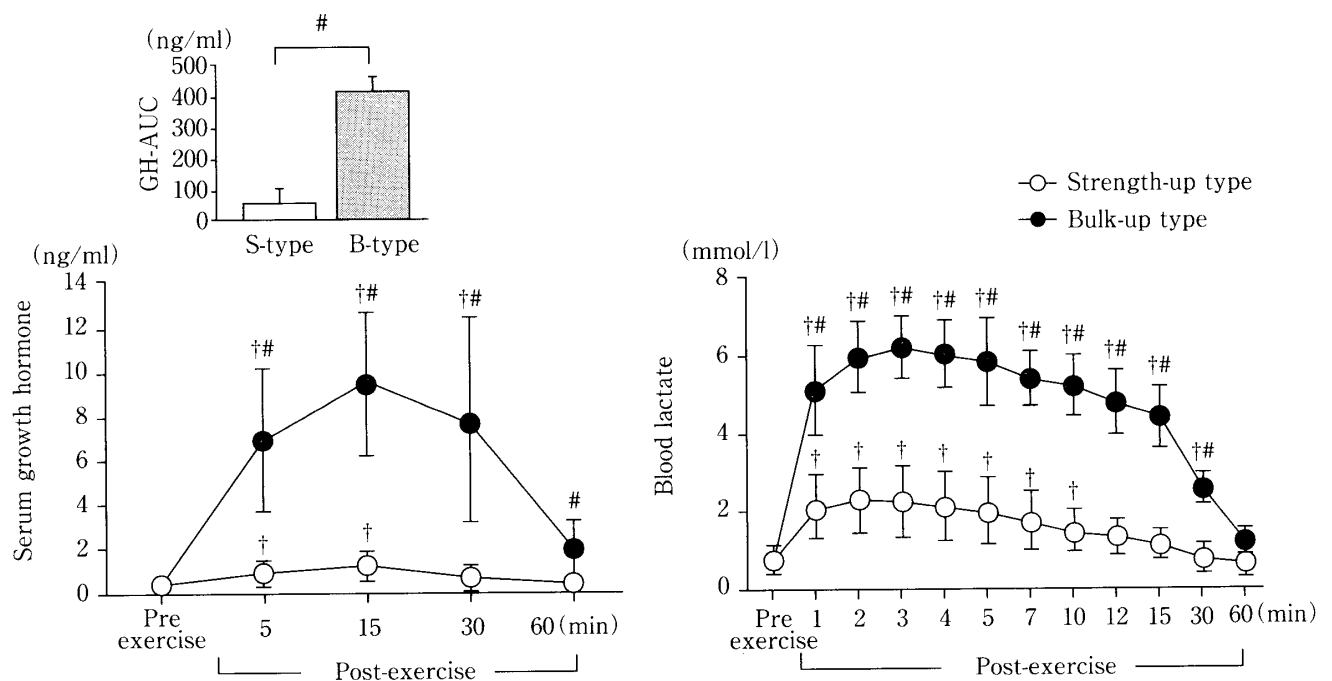


Fig. 4 Changes in serum growth hormone concentration and blood lactate concentration after two types of exercise in Exp. B. Inset shows integrated area under the curve (AUC) of GH response. Values are means \pm SD. †: $P < 0.05$, compared to pre-exercise values. #: $P < 0.05$, compared to values in Strength-up type.

Table 1 Comparisons of thigh girth, maximal voluntary contraction (MVC) and maximal rate of force development (MRFD) measured before and immediately after the exercise sessions between two types of exercise (Exp. B)

	Strength-up type			Bulk-up type		
	Pre-exercise	Post-exercise	%change	Pre-exercise	Post-exercise	%change
Thigh girth(cm)	52.6 ± 2.4	53.2 ± 2.3 †	1.2 ± 0.4	52.4 ± 2.4	55.5 ± 2.2 †	5.6 ± 0.9#
MVC(N)	884.7 ± 143.2	825.0 ± 108.9	-6.3 ± 8.3	903.9 ± 147.2	595.6 ± 128.3 †	-33.7 ± 12.0#
MRFD(N/s)	3569.5 ± 725.1	3478.6 ± 264.6	-1.1 ± 8.8	3587.0 ± 908.5	2096.1 ± 176.5 †	-40.0 ± 13.5#

Values are means ± SD (n=8).

† P<0.05, compared to pre-exercise values.

P<0.05, compared to values in Strength-up type.

る。そのために、本研究では両運動における仕事量を統一せず、先行研究における負荷方法をそのまま用いた。

1. 動作時のEMG活動

筋力に影響を及ぼす一要因として、運動単位の同期化や神経インパルスの発射頻度などが関与している運動単位の動員能力があげられる(森谷, 1989; 高松, 1991)。本研究では、筋力発揮時における運動単位の動員様相の指標として、1回の膝伸展運動におけるmEMGを用いた(Bigland-Ritchie et al., 1986)。その結果、S-typeの運動においては、F_{mean}が1セットから5セットまで1RMのほぼ90%の水準に維持され(実験A, Fig. 2)、大腿直筋、内側広筋、外側広筋の% mEMGの平均値は、いずれのセットにおいても最大筋力発揮時のmEMGに相当する水準で維持されていた(実験A・Fig. 3)。このことは、MVCに近い負荷を用いたS-typeの運動においては、MVCを発揮している場合と同程度に、運動単位の動員が生じ、それらは随意的な最大値に近いことを示すものである。したがって、このような特徴を有するS-typeの運動を長期にわたって用いることによって、筋力の重要な規定因子である神経系の改善、すなわち運動単位の動員能力を積極的に高めることができると考えられる。なお、我々は、週2回、8週間のトレーニングによって、S-typeの運動はB-typeの運動に比較して、筋力や筋パワーの実測値および筋断面積あたりの相対値からみたトレーニング効果の大きいことを認め

ている(崔ほか, 1998a)。また、奥山ほか(1984)は、最大筋力の100%を発揮する群と50%を発揮する群との間で等尺性筋力トレーニングの効果を比較した結果、前者は後者よりも筋断面積あたりの筋力および筋力発揮時の筋放電量の増加率が、いずれも高値を示したことを報告している。これらの長期トレーニングにおける研究結果は、本研究における結果からもよく理解することができる。

一方、B-typeの運動においては、各セットにおける負荷重量はセット数が進むにつれて減少し、それに伴って各セットにおけるF_{mean}も減少した(実験A・Fig. 2)。しかし、% mEMGは3セットごとにみると低下を示したが、9セット全体でみると徐々に上昇し、7-9セットではS-typeの運動との間にほとんど差は認められなかった。また、このために、筋力の発揮効率を示す、F_{mean}/% mEMGは、セット数が進むにつれて大きく低下した(実験A・Fig. 3)。このことは、B-typeの運動はS-typeの運動に比較して、セット数が進むにつれて筋の出力効率は悪くなるが、運動単位の動員数は必ずしも少なくないことを示すものである。一方、血流制限下での筋活動時には、乳酸の蓄積などにより筋線維の収縮力が低下し、張力発揮を維持するために新たな運動単位の動員が生じることが知られている(Moritani et al., 1992; Takarada et al., 2000)。また、通常の血流環境であっても、疲労状態の活動筋においては同様の現象が認められている(Miller et al., 1996; Hamlin and Quigley, 2001)。本研究では、

B-typeの運動はS-typeの運動に比較して、運動前後でのMVCやMRFDの減少率(実験B・Table 1)、運動後のLA濃度の上昇(実験A, 実験B・Fig. 4)、大腿囲の変化率(実験A, 実験B・Table 1)がいずれも有意に高値を示した。これまで、運動後に認められる筋の周囲長の増加は、活動筋内における代謝産物(乳酸など)の蓄積による浸透圧の変化が原因で、血漿が筋内に移動した結果として生じることが示唆されている(Ploutz-Snyder et al., 1995)。したがって、B-typeの運動においてはS-typeの運動に比較して、筋内での乳酸の蓄積やそれにとまなう筋疲労が顕著であり、その結果、Moritani et al. (1992)やTakarada et al. (2000)が指摘するように、筋収縮力の低下を補償するために運動単位の追加的な動員が生じていたことが考えられる。しかしその一方で、我々は、B-typeの運動がS-typeの運動に比較して、筋力や筋パワーの実測値および筋断面積あたりの相対値からみたトレーニング効果はかなり小さいこと(崔ほか, 1998a)、筋の収縮特性を相対的に遅筋タイプに移行させること(崔ほか, 1998b)、などを認めている。したがって、これらのことを考慮すると、仮にB-typeの運動の後半に、筋疲労が原因で運動単位の動員数が増加したとしても、そのことは神経系の改善には大きく貢献しないものと考えられる。

2. 運動後の成長ホルモンの分泌応答

レジスタンストレーニングによって生じる筋肥大の程度は、トレーニング時に用いた負荷方法によって異なる(Fleck and Kraemer, 1997)。この理由は十分に明らかにされていないが、同化作用をもつホルモン(GH, テストステロンなど)の1回の運動に対する分泌量の相違から、ある程度は説明できると考えられる。一方、これらのホルモン、特にGHの分泌はトレーニング時の負荷重量(Vanhelder et al., 1984)、セット間の休息時間(Kraemer et al., 1990)、仕事量(Gotshalk et al., 1997)、動員筋量(Williams et al., 2002)など、トレーニングに用いる運動の負荷方法の相違に強く影響されることが示されてい

る。

本研究においても、両運動におけるGHの分泌は全く異なる様相を示し、B-typeの運動においてのみ運動後にGH濃度の著しい上昇が認められた。また、その分泌量であるGH-AUCには、両運動間に約8倍の差が認められた(実験B・Fig. 4)。Kraemer et al. (1990, 1991, 1993)の一連の報告によると、10RMの負荷で5セットの運動を、セット間に1分間の休息をはさみ、合計8種目行わせた場合にはGHの分泌は劇的に増大するが、同様の運動を、5RMの負荷でセット間に3分間の休息をはさみ行わせた場合には、そのような現象はみられない。本研究では、Kraemer et al.の報告とは異なり、膝伸展運動1種目のみを用いたが、ほぼ同様の結果が得られた。このことは、S-typeの運動とB-typeの運動におけるGH応答の相違は、用いた運動種目数や負荷方法の多少の違いを問わず、かなり共通する現象であることを示している。

一方、運動後に生じるGHの分泌増大が筋肥大に及ぼす影響は、十分に明らかにされていない。しかし、運動後にGHの分泌が増大することは、ストレスを受けた筋組織内でのIGF-1(Insulin like growth factor-1)の分泌などを介し、蛋白合成の促進に貢献する(Florini et al., 1996)と推察される。また、1回の運動に対するGHの分泌量と、長期のトレーニング後による筋線維の肥大率との間に有意な正の相関関係を認めた報告もあり(McCall et al., 1999)、両運動間でのGHの分泌量の相違(実験B・Fig. 4)が、筋肥大の程度に影響を及ぼしている可能性は十分に考えられる。なお我々は、8週間のトレーニングを通して、本研究で用いたB-typeの運動がS-typeの運動に比較して、筋断面積および筋線維断面積の増加率が有意に高値を示すことを確認している(崔ほか, 1998a, 1998b)。

以上の結果から、神経系の改善をねらいとしたS-typeの運動と筋肥大をねらいとしたB-typeの運動における運動の負荷特性には、1回の運動に対する生理的応答からみてきわめて大きな相違があることが認められた。このことは、両運動によ

るトレーニング効果の相違を、1回の運動における生理的応答から説明しようとした点で意義深いことであるといえよう。なお、本研究結果をもとにすると、S-typeの運動直後に成長ホルモンの分泌を促すためのセットを付加することによって、S-typeの運動とB-typeの運動の特性を併せもったトレーニング運動 (Goto et al., in press) を考案することも可能であると考えられる。

V 要 約

本研究では、レジスタンス運動における代表的な負荷方法である Strength-up type (S-type) の運動と Bulk-up type (B-type) の運動の負荷特性の相違を、動作中の筋放電量 (実験A) と運動後の成長ホルモンの分泌量 (実験B) の両面から検討することを目的とした。

実験A, Bともに、被験者には健常な一般成人男性8名を用い、S-typeの運動とB-typeの運動をそれぞれ異なる日に行わせた。運動には、実験Aでは片脚による膝伸展運動を、実験Bでは両脚による膝伸展運動を用いた。実験A, Bともに、S-typeの運動においては1RMの90%の負荷を、セット間に3分間の休息をはさんで5セット行わせた。これに対して、B-typeの運動においては、1-3セットは1RMの80, 60, 40%, 4-6セットは70, 50, 40%, 7-9セットは60, 50, 40%の負荷を、1-3, 4-6, 7-9セットの間には30秒間、3-4, 6-7セットの間には3分間の休息をはさんで、合計9セット行わせた。両運動ともに、いずれのセットにおいても動作は可能な限り反復させた。

主な結果は以下の通りである。

(1) 各セットにおける反復回数は、S-typeの運動では3-8回の範囲にあったが、B-typeの運動では8-24回の範囲にあった (実験A, 実験B)。

(2) 各セットにおける大腿直筋、外側広筋、内側広筋の% mEMGを平均化した値は、S-typeの運動では等尺性最大筋力発揮時の値とほぼ同様の水準が維持されていたのに対して、B-typeの運動では、3セットごとにみるとセット数が進むにつれて低下したが、9セット全体でみると徐々に増加する傾向が認められた (実験A)。

(3) 各セットにおける $F_{mean}/\% mEMG$ は、S-typeの運動ではいずれのセットにおいても一定の水準が維持されていたのに対して、B-typeの運動ではセット数が進むにつれて大きく低下する傾向が認められた (実験A)。

(4) 運動後の血清成長ホルモン濃度は、B-typeの運動がS-typeの運動に比較して著しく上昇し、両運動間には運動後のいずれの時間においても有意差が認められた (実験B)。また、血中乳酸濃度も、B-typeの運動がS-typeの運動に比較して高値を示した (実験A, 実験B)。

(5) 運動後における大腿囲の増加率は、B-typeの運動がS-typeの運動に比較して有意に高値を示した (実験A, 実験B)。

(6) 運動後におけるMVCおよびMRFDの減少率は、いずれもB-typeの運動がS-typeの運動に比較して有意に高値を示した (実験B)。

上述の結果は、S-typeの運動とB-typeの運動における負荷特性には、神経系の改善と筋肥大に関連した要因からみてきわめて大きな相違があること、およびこれらの相違が両運動のトレーニング効果の差に影響を及ぼす可能性があることを示唆するものである。

注

注1) 著者らは、これまで「パワーアップ型手段」と「バルクアップ型手段」という用語を用いてきたが、本論文では“Strength-up type”と“Bulk-up type”という用語を用いた。この理由として、「パワーアップ型手段」は、いわゆるパワートレーニングと混同される恐れのあることがあげられる。なお、“Strength-up type”は「最大筋力法」「Bulk-up type」は「最大反復法」と呼ばれているものとほぼ同じである。しかし、「最大筋力法」はトレーニング目的、「最大反復法」はトレーニング方法に即して名づけられていることから、用語の使い方からみると若干問題があると考えられる。このために、本論文ではトレーニング目的に着目して、“Strength-up type”と“Bulk-up type”という用語を用いることにした。

文 献

- Bigland-Ritchie, B., Cafarelli, E., and Vollestad, N.K. (1986) Fatigue of submaximal static contractions. *Acta Physiol. Scand. Suppl.* 556: 137-148.
- Bosco, C., Colli, R., Bonomi, R., Von Duvillard, S.P., and Viru, A. (2000) Monitoring strength training: neuromuscular and hormonal profile. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32: 202-208.
- 崔 鳥淵・高橋英幸・板井悠二・高松 薫 (1998a) 「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: 119-129.
- 崔 鳥淵・増田和実・村岡 誠・下條仁士・高松 薫 (1998b) 「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 (2) —筋の組織化学的特性と毛細血管分布に着目して—. *体力科学* 47: 189-198.
- Finkkestein, J.W., Roffwarg, H.P., Boyar, R.M., Kream, J., and Hellman, L. (1972) Age-related change in the twenty-four hour spontaneous secretion of growth hormone. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 35: 665-670.
- Fleck, S.J. and Kraemer, W.J. (1997) Resistance training and exercise prescription: Designing resistance training programs. (2nd ed.). *Human Kinetics: Champaign*, pp. 81-179.
- Florini, J.R., Ewton, D.Z., and Coolican, S.A. (1996) Growth hormone and the insulin-like growth factor system in myogenesis. *Endocr. Rev.* 17: 481-517.
- Goto, K., Sato, K., and Takamatsu, K. (2003) A single set of low intensity resistance exercise immediately following high intensity resistance exercise stimulates growth hormone secretion in men. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* in press.
- Gotshalk, L.A., Loebel, C.C., Nindl, B.C., Putukian, M., Sebastianelli, W.J., and Newton, R.U. (1997) Hormonal responses of multiset versus single-set heavy resistance exercise protocols. *Can. J. Appl. Physiol.* 22: 244-255.
- Häkkinen, K. (1993) Neuromuscular fatigue and recovery in male and female athletes during heavy resistance exercise. *Int. J. Sports Med.* 14: 53-59.
- Häkkinen, K. and Pakarinen, A. (1995) Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages. *Int. J. Sports Med.* 16: 507-513.
- Hamlin, M.J. and Quigley, B.M. (2001) Quadriceps concentric and eccentric exercise I: changes in contractile and electrical activity following eccentric and concentric exercise. *J. Sci. Med. Sport.* 4: 88-103.
- 小山裕史 (1994) 新トレーニング革命 (新訂版). 講談社: 東京, pp. 354-373.
- Kraemer, W.J., Noble, B.J., Clark, M.J., and Culver, B.W. (1987) Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int. J. Sports Med.* 8: 247-252.
- Kraemer, W.J., Marchitelli, L., Gordon, S.E., Harman, E., Dziados, J.E., Mello, R., Frykman, P., McCurry, D., and Fleck, S.J. (1990) Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J. Appl. Physiol.* 69: 1442-1450.
- Kraemer, W.J., Gordon, S.E., Fleck, S.J., Marchitelli, L.J., Mello, R., Dziados, J.E., Friedl, K., Harman, E., Maresh, C., and Fry, A.C. (1991) Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int. J. Sports Med.* 12: 228-235.
- Kraemer, W.J., Fleck, S.J., Dziados, J.E., Harman, E.A., Marchitelli, L.J., Gordon, S.E., Mello, R., Frykman, P.N., Koziris, L.P., and Triplett, N.T. (1993) Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J. Appl. Physiol.* 75: 594-604.
- Masuda, K., Choi, J.Y., Shimojo, H., and Katsuta, S. (1999) Maintenance of myoglobin concentration in human skeletal muscle after heavy resistance training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 79: 347-352.
- McCall, G.E., Byrnes, W.C., Fleck, S.J., Dickinson, A., and Kraemer, W.J. (1999) Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Can. J. Appl. Physiol.* 24: 96-107.
- Miller, K.J., Garland, S.J., Ivanova, T., and Ohtsuki, T. (1996) Motor-unit behavior in humans during fatiguing arm movements. *J. Neurophysiol.* 75: 1629-1636.

- 森谷敏夫 (1989) 運動単位の増強とインパルス発射頻度様相. *Jpn. J. Sport Sci.*, 8 : 668-676.
- Moritani, T., Sherman, W.M., Shibata, M., Matsumoto, T., and Shinohara, M. (1992) Oxygen availability and motor unit activity in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64: 552-556.
- 奥山秀雄・湯浅景元・金久博昭・角田直也・琉子友男・中島寛之・福永哲夫 (1984) 等尺性筋力トレーニングが筋断面積と筋放電量におよぼす影響. *体力科学* 33 : 407.
- Ploutz-Snyder, L.L., Convertino, V.A., and Dudley, G.A. (1995) Resistance exercise-induced fluid shifts: change in active muscle size and plasma volume. *Am. J. Physiol.* 269: R536-R543.
- Sale, D.G. (1992) Neural adaptation to strength training. In: Komi, P. (Ed.) *Strength and Power in Sports*. Blackwell: Oxford. pp. 249-265.
- 高松 薫 (1991) パワーアップ型とバルクアップ型の筋力トレーニング. *臨床スポーツ医学* 8 : 753-760.
- Takarada, Y., Takazawa, H., Sato, Y., Takebayashi, S., Tanaka, Y., and Ishii, N. (2000) Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J. Appl. Physiol.* 88: 2097-2106.
- Vanhelder, W.P., Radomski, M.W., and Goode, R.C. (1984) Growth hormone responses during intermittent weight lifting exercise in men. *Eur. J. Appl. Physiol.* 53: 31-34.
- Viitasalo, J.T., Saukkonen, S., and Komi, P.V. (1980) Reproducibility of measurements of selected neuromuscular performance variables in man. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* 20: 487-501.
- Williams, A.G., Ismail, A.N., Sharma, A., and Jones, D.A. (2002) Effects of resistance exercise volume and nutritional supplementation on anabolic and catabolic hormones. *Eur. J. Appl. Physiol.* 86: 315-321.

(平成14年7月16日受付)
(平成14年11月9日受理)