

体力科学(1996) 45, 345~356

レジスタンストレーニングにおける高速度運動が筋横断面積 および運動速度に及ぼす影響

久枝 光* 中村好男** 久野 譜也*
福永哲夫* 村岡 功**

EFFECT OF HIGH-SPEED RESISTANCE TRAINING ON MUSCLE CROSS-SECTIONAL AREA AND SPEED OF MOVEMENT

HIKARU HISAEDA, YOSHIO NAKAMURA, SHINYA KUNO, TETSUO FUKUNAGA and ISAO MURAOKA

Abstract

A conducted to determine 1) the effect of high-velocity movement in resistance training with a constant load on the velocity of movement after training and 2) the differences in the effect on muscle hypertrophy according to training velocity. Fourteen of the total subjects (male; n = 10, female; n = 7) were placed in the experimental group and agreed to participate in 8 weeks of training sessions (4 times a week). Five of the 17 subjects were in control a group before the training session. Subjects performed elbow extension and flexion exercise using 50% of one repetition maximum (% 1 RM) load. The exercise session consisted of 6 sets of 10 repetitions and 30 s of rest was taken between the sets. The subjects in the experimental group trained their arms using two different protocols; one was high-velocity movement performed as rapidly as possible (Type R), the other was low-velocity movement performed at a constant and slow velocity (Type S). Isokinetic torque in elbow flexion was measured at angular velocities of 60, 180, 300 deg/s, respectively, during elbow flexion performed under different constant loads of 0, 30, 50% 1 RM, and the muscle cross-sectional area (CSA) of the elbow flexor was determined before and after training. It was found that Type R did not increased isokinetic torque at 300 deg/s significantly after training. However, the increase in angular velocity of elbow flexion in Type R exercise tended to be higher than in Type S exercise. The increase in CSA [Type S; 11.2%, Type R; 14.2%] was significantly higher in Type R exercise ($p < 0.05$). These results suggest that high-velocity movement with a constant load in resistance training might increase the angular velocity of movement in the same mode, but might not produce a change in isokinetic strength, which involves a different mode of muscle contraction. Muscle hypertrophy would be induced to a greater extent by high-velocity movement than by low-velocity movement in resistance training with a constant load.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1996, 45: 345~356)

Key words : resistance training, velocity specificity, muscle cross-sectional area

I. 緒 言

レジスタンストレーニングに伴って起こる筋力増加には、レジスタンストレーニングに用いる運動速度の違いによる特異的な効果がみられることが知られている¹⁾。この効果とは、高速度で行う

トレーニングは高速度運動での筋力増加に、低速度で行うトレーニングは低速度運動での筋力増加に有効であるというものである。これは速度特異性と呼ばれており、主に等速性トレーニングによる効果を等速性筋力発揮により評価することで検討されてきた^{2~6)}。しかしながら、運動速度が高

*東京大学大学院総合文化研究科,
生命環境科学系, 身体運動科学研究室
〒153 東京都目黒区駒場 3-8-1

**早稲田大学人間科学部 スポーツ科学科
運動生理学研究室
〒357 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15

Department of Life Sciences, Laboratory of Sports Sciences,
University of Tokyo, Meguro-ku, Tokyo 153, Japan

Department of Sports Science, Waseda university, Tokorozawa,
Saitama 359, Japan

速度の場合には, 必ずしも一致しない点がみられる. すなわち, トレーニング速度が高速度である場合には, 等速性筋力の高速度域のみに筋力増加を認めたとする報告⁵⁾がある一方で, 高速度に加えて低速度にも筋力増加を認めたとする報告³⁾があることなどである.

高速度運動における速度特異性を生じさせる要因の一つとして, そこに 'ballistic movement' が関与している可能性が示唆されている^{1,7)}. しかしながら, トレーニングが等速性筋力発揮によるものであった場合には, 運動の角速度の大きさに関わらず, 筋収縮初期に 'ballistic movement' が介在する可能性がある. それゆえに, トレーニングで課した運動速度が低速度であっても, 筋収縮初期に行う力発揮の影響により, 等速性筋力の高速度域に筋力の増加が生じるかもしれない.

この点を解決するためには, 等速性ではない筋収縮様式のもとに急速な力発揮を行わせ, それが等速性筋力の高速度域の筋力増加に与える影響を検討する必要がある. トレーニングに用いる運動様式が等速性筋力発揮でない場合でも, 筋収縮初期に急速な力発揮が行われることによって, 運動速度の増加が予測されるからである.

一方, 過度に肥大した筋においては, 最大筋収縮速度が減少する可能性が示唆されている¹⁰⁾. 筋線維組成や筋線維角度¹¹⁾といった筋内部での変化がトレーニングによって生じる場合に, 筋の収縮速度に影響を及ぼす可能性が考えられる. しかしながら, 我々の知る限りでは, トレーニングによる筋の肥大と運動速度の増減との関係について検討された研究はみられない. Narici(1989)ら⁶⁾はトレーニングによる肥大率は筋によって異なる

こと, および, 一つの筋全体が一様に肥大するのではないことを示している. また, 一流スポーツ選手の筋の形態はスポーツ種目によって異なることが報告されている¹²⁾. したがって, 筋の肥大を評価するにあたっては, 一つの筋において複数の部位を同時に検討する必要があると考えられる.

本研究では, 筋収縮の初期に急速な力発揮を伴うトレーニングと, 伴わないトレーニングとを一定負荷を用いて設定し, トレーニングにおいて高速度運動を行うことによる影響を, 幾つかの一定負荷条件のもとに行う運動速度, 等速性筋力および筋横断面積をパラメーターとして比較検討した.

Ⅱ. 方 法

A. 被検者

被検者は, 日常生活において活動的ではあるが習慣的なレジスタンストレーニングは行っていない17名(男性10名, 女性7名)であり, 実験の目的, 方法および本研究に参加するにあたって起こりうる危険についての十分な説明をうけ, 同意書に署名したのちに実験に参加した. このうち5名はコントロール群(男性3名, 女性2名)とし, 第1回目の測定後, レジスタンストレーニング及び高強度のスポーツ活動等を行わない7~8週間の期間をおいた後に第2回目の測定に参加した. なお, このコントロール群のうちの2名は, 第2回目の測定の後にトレーニング実験群に組み込まれた. それゆえ, トレーニングプロトコールに参加した被検者は合計で14名となった. 表1に被検者の身体的特徴を示した.

Table 1. Physical characteristics of subject groups.

Group	n	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	% Fat (%)
Experimental	14	22 ± 2	167.2 ± 7.4	62.5 ± 8.7	16.5 ± 6.1
Control	5	22 ± 1	167.0 ± 8.2	64.2 ± 6.5	19.0 ± 7.2

Values represent means ± SD.

B. トレーニング

トレーニング期間は8週間、週4回の頻度で行われ、トレーニングを行う日が2日以上連続しないように調整した。トレーニング動作は肘関節の伸展・屈曲であった。被検者は屈曲時の肘関節角速度(運動速度)が異なる2種類のトレーニング方法のうちいずれかの方法を各々の左右の腕にランダムに振り分けられた。両トレーニングにおける反復回数、セット数及びセット間休息時間は全て同じであり、用いた負荷も相対的に同じであった。トレーニング前に左右それぞれの1RM(1回の挙上が可能な最大挙上重量)を測定し、トレーニングにはその50%に相当する負荷(50% 1RM)を設定した。この負荷は、筋力増加および筋の肥大がトレーニングによってある程度期待され、さらに高速度の連続運動が可能な重量として設定した。なお、トレーニング開始4週目に再度1RMの測定を行い、負荷の再設定を行った。1RMの測定およびトレーニングにはダンベルを使用した。被検者は前腕を回外し、手掌に把握したダンベルが台上に接したとき前腕と水平面が平行になる。この時の肘関節角度は約140度(a)、体幹と上腕のなす角度は約90度(b)であり(図1)、この位置から約90度の屈曲位までを動作範囲とした。その時のダンベルの軌道は、蛇行することのないように指示した。動作は肘関節と肩関節の角度を一定に保つために専用の台を用いて行われた(図1)。

本研究では、運動速度が異なる2種類のトレ

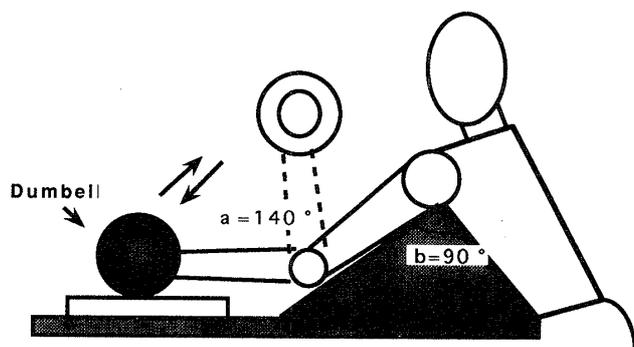


Fig. 1. Schema of training mode. Subject performed elbow flexion and extension in training. $\angle a$ and $\angle b$ set up 140° and 90°.

ニングを設定した。一つは可能な限りの急速な力発揮を行う高速度運動によるトレーニング(Type R)であり、一方は2秒間になるべく一定速度となるような低速度運動によるトレーニング(Type S)であった。それらのトレーニング動作は、屈曲と伸展が各々2秒間に一回となるようにメトロノームにあわせて行われた。また、伸展動作はType R および Type S ともにほぼ2秒間で完了するような一定速度で行われた。いずれの場合にも10回の反復(伸展・屈曲)を6セットずつ行うものとし、セット間の休息は30秒とした。

C. トレーニング効果判定のための測定項目

トレーニング前とトレーニング8週後に、等速性トルク、無負荷および一定負荷時(1RMの30%および50%)における肘関節屈曲の角速度(運動速度)、ならびに上腕屈筋群の横断面積について測定を行った。

1. 一定負荷のもとに行う肘関節屈曲の角速度

無負荷および一定負荷での肘関節屈曲時の運動速度を知るために、肘関節軸を回転軸として角速度を計測した。屈曲運動は前腕水平位から、被検者が随意的に最大努力で肘屈曲を行うものとした。肘関節の外側面に固定・装着した角度トランスデューサー(日本電気三栄社製・45313)により、前腕水平位から30度屈曲までの角変位を記録し、それから平均の角速度を算出した。動作開始時は、前腕が水平位にある状態で手甲部へ接触するように設置したタッチスイッチからの電気信号により同定した。測定を行う際の被検者の各関節の角度は、トレーニング時と同じになるように設定した。なお、トレーニング後の測定においても、トレーニング前の測定時と同重量の負荷を用いた。

2. 筋横断面積

上腕屈筋群の筋横断面積を求めるための上腕の横断面像は、磁気共鳴映像(MRI)装置(Rezona, 0.5 T, GE社製)を用いて撮像した¹³⁾。撮像部位は上腕骨の長さ(Humerus Length; HL)に対して、肩関節から遠位方向に50, 60および70%の位置とした。上腕骨に水平な面でスライスした縦断像(図2)を得た後、画像上で上腕骨の長さを計測し、50% HL, 60% HL および 70% HL を算出し、同画

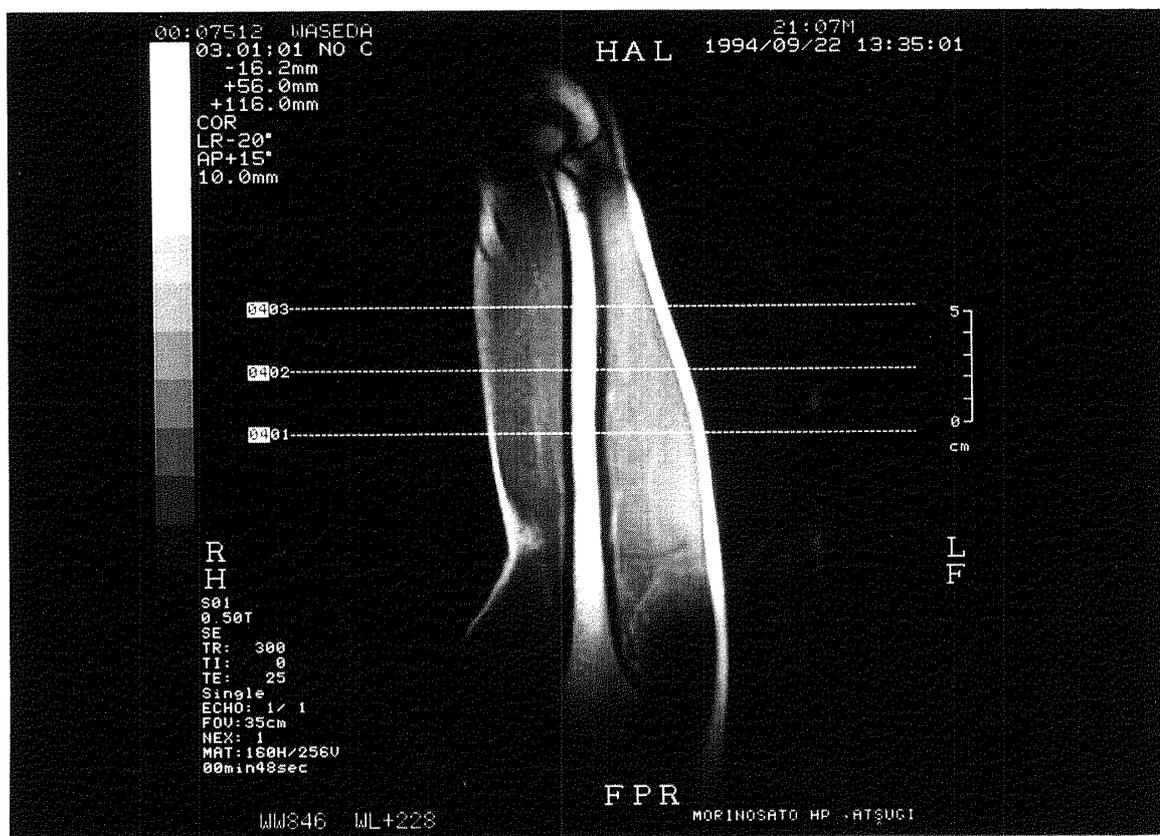


Fig. 2. Nuclear magnetic resonance imaging scan of the upper-arm. This image is coronal planes, showing positions of the cross-sectional area measurement. 50, 60 and 70% HL show three fraction of humerus length.

像上においてそれぞれの位置を同定し、横断像を撮像した。この時のMRIのパルスシーケンスは300/25ms (repetition time/echo time), スライス厚は10mmであった。得られた3枚の横断像から上腕の屈筋群を同定し、それをトレースしたものからデジタイザー(KD 4600, Graphtec社製)を用いて筋横断面積の計測を行った。なお、60および70% HL部位では上腕筋と上腕二頭筋を合わせて、上腕屈筋群として計測したが、50% HLにおける上腕筋は画像では筋群の同定が困難であったため計測から除外した。筋全体の量の変化を検討するために、3部位の筋横断面積を合計した値を用いた。

3. 等速性トルク

肘関節屈曲の等速性トルクは、Cybex II⁺ (Lumex社)を用いて、角速度60 deg/s, 180 deg/s および300 deg/sについて測定した。測定にあたっては、関節角度がトレーニング時とほぼ

同様となるように、肘を置くための特別の台を使用した。動作範囲は前腕水平位から垂直位(約90度)までとし、各角速度での屈曲時のピークトルクを求めた。

D. 統計処理

トレーニング前後に測定した各項目における値は平均値±標準偏差で表した。それらの絶対値の差の検定には、対応のあるt検定を用いた。また、トレーニング前後の値が、トレーニングの種類によって異なるかどうかを検討するために、それぞれの増加率を求めた。動作速度の増加率については、トレーニングの種類(Type R および Type S)と測定負荷(1RMの0, 30および50%負荷)を説明変数とする繰り返しのある二元配置分散分析を行った。等速性トルクの増加率については、トレーニングの種類と測定速度(60, 180および300 deg/s)を説明変数とする繰り返しのある二元配置分散分析を行った。さらに、各測定負荷の動作速

度および各測定速度の等速性トルクの増加率については、F検定により Type R と Type S が等分散であることから、対応のないt検定により平均値の差の検定を行った。筋横断面積の増加率においても、F検定により Type R と Type S が同様に等分散であることが確認されたため、対応のないt検定を用いて、トレーニングの種類による平均値の差の検定を行った。各検定における有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 実験結果

A. 最大挙上重量(1RM)

表2に肘関節屈曲運動における最大挙上重量を、トレーニング前とトレーニング後について示した。両トレーニングともに有意な最大挙上重量の増加が認められたが、コントロール群では認められなかった。トレーニング群のこの増加はトレーニングに参加した全ての被検者において認められており、Type S では26.4%、Type R では25.7%の増加であった。しかしながら、トレーニングタイプ間に有意な差は認められなかった。

B. 一定負荷のもとに行う肘屈曲の運動速度

表3に無負荷および一定負荷での肘関節屈曲時の運動速度について、トレーニング前後の平均値を表した。トレーニングにより、Type S では50%負荷時の運動速度のみが有意に増加し、Type R では0%、30%および50%負荷時の全てにおいて有意な増加を示した。コントロール群では、有意な差はいずれにおいても認められなかった。トレーニング後の運動速度の増加率に対して有意に効果のある因子は認められなかったが、トレーニングの種類は危険率0.06を示した。また、30%負荷時の増加率において、Type R は Type S に比べて有意に高い値(Type R: 12.1%, Type S: 6.9%)であった。さらに、コントロール群と比較して、Type R では全ての測定負荷において有意に大きな値を示したが、Type S では50%と70%負荷時においてのみ有意であった。

C. 等速性トルク

表4に等速性トルクのトレーニング前後の値を示した。Type S では測定したすべての角速度においてピークトルクの有意な増加が認められた

Table 2. Changes of one repetition maximum (1RM) in elbow flexion.

Experimental group				Control group	
Type S		Type R			
Pre-training (kg)	Post-training (kg)	Pre-training (kg)	Post-training (kg)	Pre (kg)	Post (kg)
10.94 ± 3.7	13.61 ± 3.6 *	11.26 ± 3.4	14.00 ± 3.8 *	10.36 ± 2.1	10.43 ± 2.2

Values represent means ± SD. * denote significant difference from pre-training.

Table 3. Changes of angular velocity at elbow flexion under constant loads.

	Experimental group				Control group	
	Type S		Type R			
	Pre-training (Nm)	Post-training (Nm)	Pre-training (Nm)	Post-training (Nm)	Pre (Nm)	Post (Nm)
0%	278.7 ± 35.9	285.6 ± 29.7	270.0 ± 37.9	294.1 ± 24.6 *	298.9 ± 15.2	303.3 ± 21.6
30%	155.6 ± 18.6	156.8 ± 19.8	145.4 ± 20.6	166.9 ± 16.4 *	155.4 ± 12.9	157.5 ± 8.5
50%	113.3 ± 12.5	122.0 ± 16.3 *	107.2 ± 18.2	123.4 ± 11.8 *	110.1 ± 8.9	133.2 ± 8.8

Values represent means ± SD. * denote the significant difference from pre-training.

Table 4. Changes of isokinetic strength at elbow flexion.

Angular velocity	Experimental group				Control group	
	Type S		Type R		Pre (Nm)	Post (Nm)
	Pre-training (Nm)	Post-training (Nm)	Pre-training (Nm)	Post-training (Nm)		
60 deg/s	27.0 ± 9.2	31.3 ± 11.0 *	25.0 ± 9.3	29.3 ± 8.7 *	29.5 ± 14.6	25.7 ± 4.7
180 deg/s	19.3 ± 9.2	22.8 ± 11.3 *	19.2 ± 9.3	21.4 ± 10.4	21.2 ± 11.9	17.8 ± 6.6
300 deg/s	11.8 ± 7.5	15.2 ± 10.2	12.7 ± 9.1	13.3 ± 7.8	13.8 ± 12.5	12.5 ± 7.0

Values represent means ± SD. * denote the significant difference from pre-training.

Table 5. Changes of cross-sectional area in elbow flexor muscles.

Experimental group				Control group	
Type S		Type R		Pre (cm ²)	Post (cm ²)
Pre-training (cm ²)	Post-training (cm ²)	Pre-training (cm ²)	Post-training (cm ²)		
41.25 ± 11.2	45.60 ± 12.4 *	40.81 ± 11.7	46.98 ± 13.8 *	42.09 ± 9.3	43.85 ± 7.7

Values represent means ± SD. * denote the significant difference from pre-training.

が, Type R では 60 deg/s においてのみ増加がみられた. コントロール群では有意な差は認められなかった.

トレーニング後の等速性トルクの増加率に対して, 有意に効果のある因子は認められなかった. しかしながら, Type S では 60 deg/s および 180 deg/s において有意に大きかったが, Type R では 60 deg/s においてのみコントロール群と比較して有意な増加率を示した.

D. 筋横断面積

3 部位の筋横断面積の和は, Type S および Type R ともにトレーニング後に有意に増加したが, コントロール群では差は認められなかった(表 5). また, 両トレーニング群の筋横断面積の増加率(Type S; 11.2%, Type R; 14.2%)は, ともにコントロール群(4.5%)よりも有意に高く, さらに, Type R の増加率は Type S の増加率に対して有意に高値を示した.

IV. 考 察

レジスタンストレーニングによって起こる筋力増加に速度特異性がみられることは, これまでの

多くの研究により示されている²⁻⁶⁾. しかしながら, トレーニングに用いた運動速度が高速度である場合には結果が必ずしも一致しておらず, その理由についても未だ明らかではないと思われる. Behm and Sale¹⁴⁾は, 高速度運動での筋力増加を左右する要因のひとつとして 'ballistic movement' の関与を挙げている. 'ballistic movement' と呼ばれているのは高速度で行う運動のうち特に急速な力発揮を伴うものである⁷⁻⁹⁾. Behm and Sale¹⁴⁾は 'ballistic movement' による角速度 300 deg/s の等速性トレーニングと, 同じく 'ballistic movement' を伴う等尺性トレーニングを行わせて比較検討した. その結果, 両者ともに等速性筋力の高速度域に有意な筋力増加が認められたことを報告し, 高速度でのトレーニングによる速度特異性は, その筋収縮速度の速さに影響を受けて起こる可能性を示唆した. しかしながら, 等速性筋力発揮において運動が最大努力で行われるかぎり, 運動全体の速度の速さに関わらず, 筋収縮の初期には急速な力発揮が存在する.

このような場合, 低速度で行うトレーニングにおいても, その筋収縮の初期に急速な力発揮が存

在することによって、高速度運動に対するトレーニング効果がみられる可能性が考えられる。これを検討するためには、等速性筋力発揮以外の筋収縮様式を用いてトレーニングを行い、それに伴うトレーニング効果を明らかにすることが必要であろう。さらに、運動速度の増加がトレーニングにおける筋収縮速度の速さに影響されて起こるものであれば¹⁴⁾、トレーニングのなかに 'ballistic movement' のような急速な力発揮を伴う高速度運動を採用しさえすれば、運動速度の増加が認められるものと予測される。

本研究では、トレーニングに一定負荷を用いて行う肘関節屈曲運動を用い、高速度あるいは低速度でのトレーニングによる等速性筋力への影響を検討した。その結果、両トレーニング群における等速性筋力の増加率はほぼ同程度のものであった(図3)。さらに等速性筋力の増加率に対して、いずれの因子にも統計的に有意な効果は認められなかった。このことは一定負荷トレーニングにおける運動速度の差異が、トレーニング後の等速性筋力に異なる影響を及ぼさなかったことを示している。言い換えれば、トレーニングでの収縮様式が等速性ではない場合には、高速度運動によるト

レーニングでも高速度域での等速性筋力は必ずしも増加しないことを示すものである。

本研究において、等速性筋力の増加率がコントロール群よりも有意に高かったのは、Type Sでは 60 deg/s および 180 deg/s において、Type Rでは 60 deg/s においてのみであった。Type Rのトレーニングは高速度運動であったにも関わらず、等速性筋力の高速度(300 deg/s)において有意な増加は認められなかった。この結果は、Behm and Sale¹⁴⁾の結果とは一致しない。また、1回の挙上が可能な重量(1RM)の増加も両トレーニング間で有意差は認められず、ほぼ同等(Type S; 26.4%, Type R; 25.8%)であった。一方、等速性筋力と1RMの増加が両トレーニング群で同様な傾向を示したのに対し、一定負荷のもとに行う運動速度の増加率は Type S よりも Type R において高い傾向がみられ、両群で異なる結果を示した(図4)。これらの結果から、相対的に同負荷で同回数、同セット数のトレーニングを行ったとしても、そのときの運動速度が異なる場合には、運動速度の増加が必ずしも筋力の増加に平行して獲得されるものではないことが示唆される。

運動速度の増加率に対するトレーニング種目の

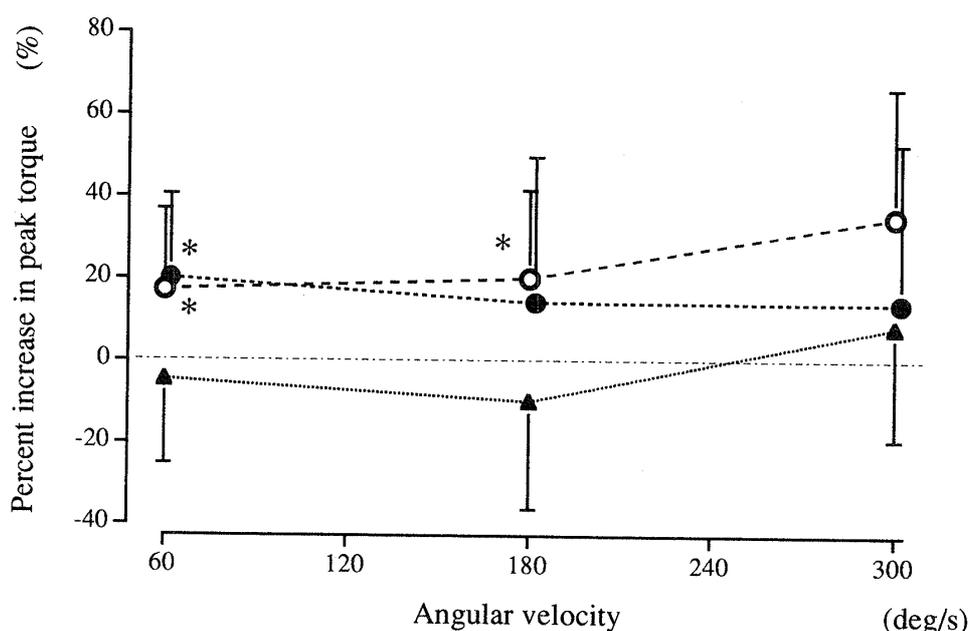


Fig. 3. Relationships between the relative increase in isokinetic strength and each test speed after training. * denote significant different from control group. Values represent mean \pm SE.
 ---●--- Type R, ---○--- Type S, ---▲--- control

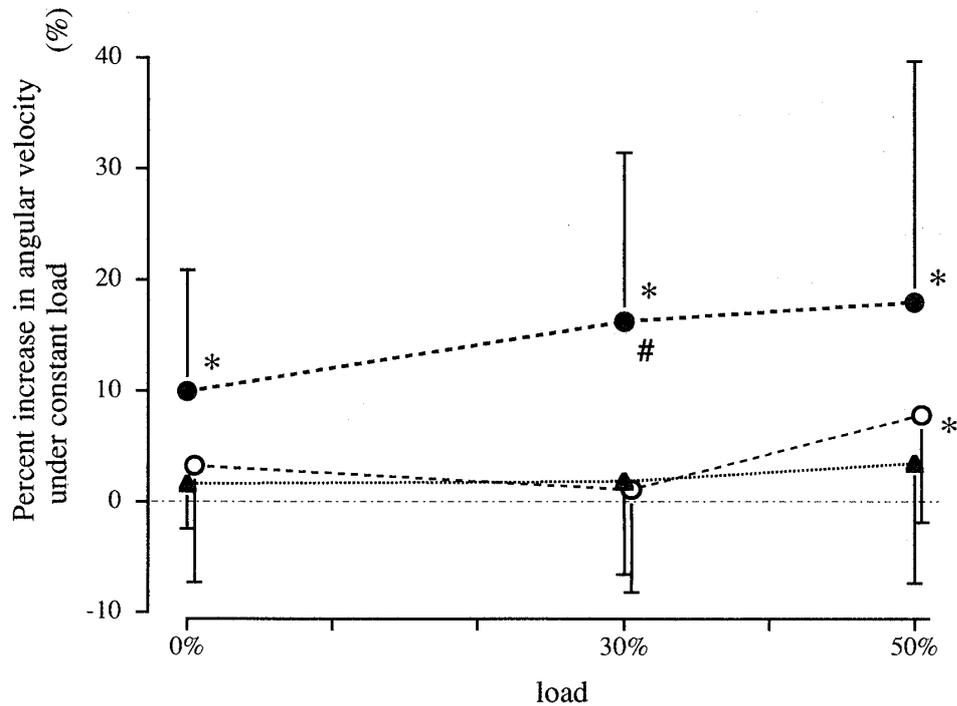


Fig. 4. Relationships between the relative increase in velocity of elbow flexion and each constant test load after training. * and # denote significant different from control and Type S. Values represent mean \pm SE.
 ---●--- Type R, ---○--- Type S, ---▲--- control

効果は、危険率 0.06 であり、高速度運動でのトレーニングによる運動速度の増加率が高い傾向にあったものの、トレーニングにおけるこの差異があらゆる負荷条件での運動速度に影響を及ぼすものであると明確に結論するには至らなかった。本研究では同一人の左右の腕に対して各々異なるトレーニングを行い、それらを比較検討した。この方法は、筋線維組成という条件に対しては両群をほぼ均等に振り分けることを可能し、運動速度に対する効果が筋線維組成によって影響される可能性を両群でほぼ同等にすることができたものと思われる。一方で、左右の腕を用いてトレーニングを行ったことにより、交叉性神経支配の影響を受け、両腕におけるお互いの特異的なトレーニング効果を結果的に相殺した可能性も考えられる。トレーニング効果における交叉性について検討した研究では、これを認めたとするものと^{6,15)}、認めなかったとするもの^{16,17)}の両方がみられ、ヒトを対象とした場合には、必ずしも一致した結果は得られていない。しかしながら、もし本研究における結果が交叉性神経支配の影響を受けたとして

も、Type S で用いられた緩やかな筋力発揮による刺激が、Type R の急速な力発揮による刺激を上回って影響し、Type R における運動速度を増加させるように働いたとは考えにくい。

無負荷および 50% 負荷時において有意差は認められなかったものの、30% 負荷時の Type R における運動速度の増加率は、Type S よりも有意に高かった。Type S では無負荷および 30% 負荷時の増加率がコントロール群とほぼ同程度であった。これらの条件下では、Type S のトレーニングによる運動速度の増加に対する効果はほとんど認められなかったといえる。一方、50% 負荷時では、Type R と Type S の両方ともがコントロール群よりも有意に高い値を示していた。この結果は、50% 負荷がトレーニングとして用いられた負荷であったことによるものと考えられる。トレーニングに用いた角速度と同じ条件において、より高い筋力増加を認めたとする報告がみられるが^{4~6)}、これを「トレーニング条件」に対する特異的な効果(mode specificity)とするならば、本研究の結果もこれと同様の傾向と考えられるかもし

れない。

一方、ダイナミック動作の速度に対し、そのトレーニング効果を報告した研究が幾つかみられるが¹⁸⁻²⁰、これらにおいて、最大筋力の増加と無負荷のもとでの運動速度との関連性は低いことが報告されている^{19,20}。本研究でも、Type R および Type S では、ともに無負荷における運動速度の増加は比較的に低値であった。これらの結果は、無負荷の状態と負荷された状態とでは、筋収縮の際の生理学的な条件が異なることを示唆するものかもしれない。いくつかの先行研究では、ダイナミックな運動速度の増加に対するレジスタンストレーニングの効果を認めていない^{18,21}。しかしながら、これらの研究で用いられたトレーニングでの運動様式は、測定に用いた運動様式とは異なるものであった。本研究で観察された Type R における運動速度の有意な増加は、関節角度・筋収縮様式といったトレーニング条件と、測定におけるそれらとがほぼ同様であったことによるのかもしれない。さらに、一定負荷トレーニングを用いた本研究において、収縮様式の異なる等速性筋力の増加に対して、トレーニングの種類による差が

認められなかったことから、速度特異性にはトレーニングに用いる動作様式あるいは筋収縮様式が影響している可能性も考えられる。

トレーニング後の筋横断面積の増加率は、Type S および Type R ともにコントロール群よりも高値であった (Type S; 11.2%, Type R; 14.2%)。それらの増加率を群間で比較すると、Type R において有意に高い値を示した (図 5)。すなわち、同負荷、同回数、同セットのトレーニングを 8 週間程度行った場合には、高速度運動によるトレーニングで、より大きな筋の肥大が認められた。急速な動作において単収縮速度の遅い ST 線維が動員されることは、動作の遂行に対して不利益に働くとも考えられることから、急速な繰り返しを行うような運動では、FT 運動単位の選択的な動員がなされている可能性が示唆されている²²。さらに、高速度で行うトレーニングでは、動員される FT 線維に選択的な肥大が起こる可能性も考えられる²³。

一方、横断的な研究において、ボディビルダーの筋は大きく肥大しているにも関わらず、高速度での筋力発揮能力に劣ることが示されてい

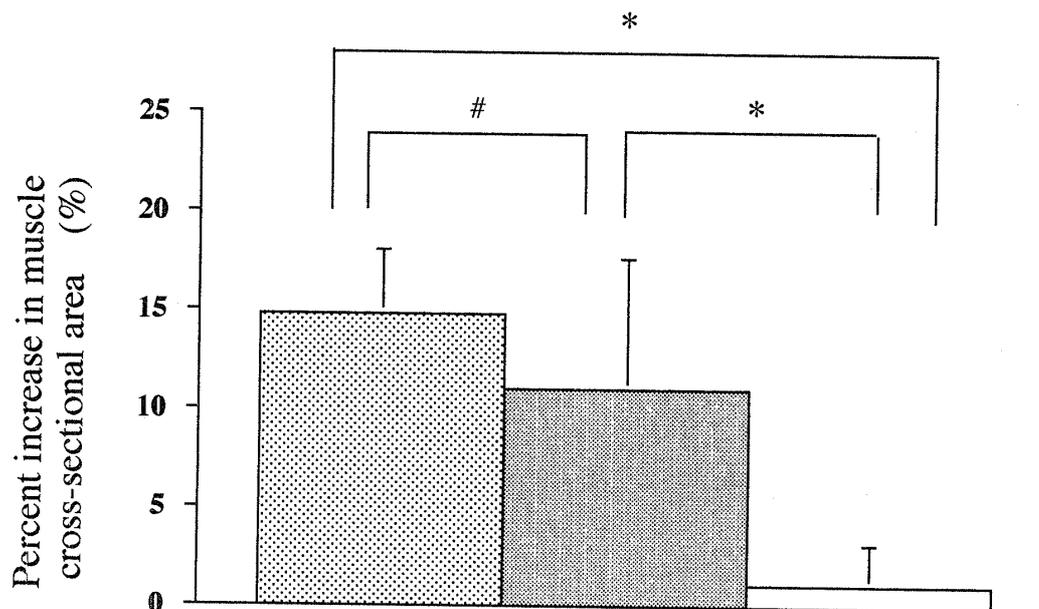


Fig. 5. Relative increase in cross-sectional area of the elbow flexor muscle for each group after training. * and # denote significant different from control and Type S. Values represent mean + SE.

▨ Type R, ▤ Type S, □ control

る^{10,24)}. しかしながら, トレーニングによる効果としての速度特異性と筋の肥大との関係について検討した研究はそれほど多くはない^{3,17,25)}. Coyle et. al.³⁾は, 等速性筋力発揮の高速域(300 deg/s)トレーニング群において, type II 線維に有意な肥大を認めたが, 300 deg/s での筋力増加は有意ではなく, FT 線維の肥大と等速性筋力増加における速度特異性との間には必ずしも関連性のないことを報告している. Schmidbleicher²⁰⁾は, 高強度トレーニングの後では電気刺激に対して主に FT 線維の活動が高まったが, 低強度トレーニングにおいては主に ST 線維の活動が高まったことを報告している. この研究では, トレーニング速度の設定については考慮していないが, 設定負荷の較差から考えると, 低強度トレーニングにおいてより速い速度でトレーニングが行われたと推測される. それにも関わらず, FT 線維に対する影響は認められておらず, このことから, FT 線維に現れるトレーニング効果は, 必ずしもトレーニング速度のみに影響を受けるものではないことが示唆される.

例えば, 収縮蛋白の合成に対する刺激の大きさは, 筋の収縮力の大きさに依存している可能性があり²⁶⁾, それゆえ高強度で行うレジスタンストレーニングがより筋の肥大を引き起こしやすいとも考えられる¹⁾. 本研究における Type R のトレーニングでは, 力発揮の継続時間は短いものであったが, 急速な力発揮を行うことによりその初期における単位時間あたりの発揮筋力は高かったものと考えられる. このことが, 筋横断面積の増加に影響を及ぼしたといえるかもしれない. また, 本研究においては, 急速な動作でトレーニングを行った Type R において, 運動速度の増加も高い傾向にあった. しかしながら, 筋断面積の増加率と運動速度の増加率との間に相関関係は認められず, 両者の関係は依然明確ではない.

V. 要 約

本研究では 1) レジスタンストレーニングにおける高速度運動が, トレーニング後の運動速度に与える影響を明らかにすること, および, 2) ト

レーニングでの運動速度の差異が筋の肥大に与える影響を明らかにすることを目的とし, 健常な一般人に対して, 週 4 回 8 週間の肘関節屈曲トレーニングを行った. トレーニングには一定負荷を用い, 急速な力発揮を伴う高速度運動によるトレーニング (Type R) と, 低速度運動によるトレーニング (Type S) の 2 種類を行った. トレーニングに用いた運動速度の差異がトレーニング効果に与える影響を明らかにするために, 一定負荷のもとにおこなう肘関節屈曲の運動速度, 肘関節屈曲の等速性筋力および上腕屈筋群の筋横断面積を検討した. その結果, Type R は高速域(300 deg/s)での等速性筋力を有意に増加させなかった. 一方, 一定負荷のもとに行う運動速度の増加率は Type R において高い傾向がみられた. これらの結果より, 急速な力発揮を伴う高速度運動によるトレーニングは同様式の運動速度を増加させるが, 運動様式が異なる高速域の等速性筋力を必ずしも増加させないことが示唆された. さらに, 筋横断面積の増加率は Type R において有意に高値を示した. このことから, 低速度運動に比べ急速な力発揮を伴う高速度運動は, 8 週間のトレーニングにおいて, より筋の肥大を起こしやすいということが示唆された.

(受理日 平成 7 年 12 月 11 日)

謝 辞

この研究は, 早稲田大学・1994 年度特定課題研究の助成を受けました.

また, 本研究における MR 画像の撮像において, 技術的協力を頂きました森の里病院・放射線技師の皆様は深く感謝の意を表します. さらに, 本研究に対する深いご理解と長期間にわたるご協力を頂きましたトレーニング参加者の皆様に心よりお礼を申し上げます.

引用文献

- 1) Behm, D. G., & Sale, D. G. Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J. Appl. Physiol.*, **74**, 359-368.
- 2) Caiozzo, J., Perrine, T., & Edgerton, V. R. Training induced alterations in the in-vivo force-velocity relationship of human muscle. *J. Appl. Physiol.*,

- (1981), **51**, 750-754.
- 3) Coyle, E. F., Feiring, D. C., Rotkis, T. C., Cote III, R. W., Roby, F. B., Lee, W., & Wilmore, J. H. Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J. Appl. Physiol.*, (1981), **51**, 1437-1442.
 - 4) Kanehisa, H., & Miyashita, M. Specificity of velocity in strength training. *Eur J. Appl. Physiol.*, (1983), **52**, 104-106.
 - 5) Morffoid, M., & Whipple, R. H. Specificity of speed exercise. *Phys. Ther.*, (1970), **50**, 1692-1700.
 - 6) Narici, M. V., Roi, G. S., & Landoni, L. Change in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of human quadriceps. *Eur J. Appl. Physiol.*, (1989), **59**, 310-319.
 - 7) Zehr, E. P., & Sale, D. G. Ballistic movement: muscle activation and neuromuscular adaptation. *Can. J. Appl. Physiol.*, (1994), **19**(4), 363-378.
 - 8) Desmedt, J., & Godaux, E. Ballistic contraction in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J. Physiol.*, (1977), **264**, 673-693.
 - 9) Brooks, V. B. The neural basis of motor control. Oxford university press., New York, Oxford, (1986)
 - 10) Tesch, P., & Larson, L. Muscle hypertrophy in bodybuilders. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1982), **49**, 301-306.
 - 11) Kawakami, Y., Abe, T., & Fukunaga, T. Muscle fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *J. Appl. Physiol.*, (1993), **74**, 2740-2744.
 - 12) Katsuta, S., & Kuno, S. Muscle composition of various elite athletes by MRI. *Physiologist*, (1992), **35**, p. 197.
 - 13) Hisaeda, H., Miyagawa, K., Kuno, S., Muraoka, I. & Fukunaga, T. Influence of two different mode of resistance training in female. *Ergonomics* (1996). (in press).
 - 14) Behm, D. G., & Sale, D. G. Intended rather than actual movement velocity-specific training response. *J. Appl. Physiol.*, (1993), **74**, 359-368.
 - 15) Moritani, T. & de Vries, H. A. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am. J. Phys. Med.*, (1979), **58**, 115-130.
 - 16) Yong, A., Stokes, M., Round, J. M., & Edwards, R. H. T. The effect of high resistance training on strength and cross-sectional area of human quadriceps. *Eur J. Clin. Invest.*, (1983), **13**, 411-417.
 - 17) Jones, D. A., & Rutherford, O. M. Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. *J. Physiol.*, (1987), **391**, 1-11.
 - 18) Chui, E. F. Effect of isometric and dynamic weight-training exercises upon strength and speed of movement. *Res. Q.*, (1964), **35**, 246-257.
 - 19) Whitley, J. D., & Smith, L. E. Influence of three different training programs on strength and speed of a limb movement. *Res. Q.*, (1966), **37**, 132-142.
 - 20) Schumidbleicher, D., & Haralambic, G. Change in contractile properties of muscle after strength training in man. *Eur J. Appl. Physiol.*, (1981), **46**, 221-228.
 - 21) Voigt, M., & Klausen, K. Changes in muscle strength and speed of unloaded movement after various training programs. *Eur J. Appl. Physiol.*, (1990), **60**, 370-376.
 - 22) Edstrom, L., & Grimby, L. Effect of exercise on the motor unit. *Muscle Nerve*, (1986), **9**, 104-126.
 - 23) Sale, D., & MacDougall, D. Specificity in strength training: A review for the coach and athlete. *Can. J. Appl. Spt. Sci.*, (1981), **6**, 87-92.
 - 24) Bell, D. G., & Jacobs, I. Velocity specificity of training in bodybuilders. *Canadian J. Sport Sci.*, (1992), **17**, 28-33.
 - 25) Davies, J., Parker, D. F., Rutherford, O. M., & Jones, D. A. Changes in strength and cross-sectional area of the elbow flexors as a result of isometric strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1988), **57**, 667-670.
 - 26) MacDonagh, M. J. N., & Davies, C. T. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high load. *Eur J. Appl. Physiol.*, (1984), **52**, 139-155.