筋肉トレーニングの理論と実際**

Theory and Practice of Muscle Training

石 河 利 寛*
TOSHIHIRO ISHIKO, M.D.

筋肉トレーニングの研究には縦断的方法と横断的方法が用いられる。ヒトの筋肉におけるトレーニング効果は、ニードルバイオブシー法によって著しく知見を増したが、ニードルバイオブシーには適用の限界があつて、まだ明らかにされていない知見もある。筋肉のトレーニング法として Isotonic Training, Isometric Training, Isokinetic Training の3つの方法が用いられているが、それぞれ一長一短がある。Isokinetic Training は新しいトレーニング法として注目されているが、装置自体にまだ問題がある。ラットでは上記のトレーニング法が用いられないので、強制運動(トレッドミル走、水泳)や Running wheel による自発運動が用いられるが、筋肉に与える効果は用いる方法によって同じではない。

索引用語：筋肉トレーニング、トレーニング効果

Key words : isotonic training, isometric training, isokinetic training

筋肉トレーニングの研究法

筋肉トレーニングの研究には横断的方法と縦断的方法とが用いられる。前者は未鍛練者と鍛練者とを比較する方法で、未鍛練者としては一般学生や座業的勤労者が、鍛練者としては競技者や重筋労働者が用いられる。後者は一定のトレーニングプログラムを課して、その前後の変化を調べる方法で、時には臥床またはギプス固定によって運動を制限して、運動不足の影響を調べる場合もある。ヒトは横断的方法と縦断的方法の両方が用いられる。一方、実験動物ではトレーニングプログラムを課すが、比較対照する動物は普通トレーニングをしない別の個体である。

筋肉のトレーニング効果

ニードルバイオブシー法の開発以来、ヒトの筋肉トレーニングによる変化の知見は著しく進歩した。トレーニングによる筋肥大⁶⁾、筋毛細管の発達⁶⁾、筋グリコーゲンの増加⁵⁾ミトコンドリアの変化⁹⁾、酵素活性の増加⁵⁾などが筋バイオブシー法によって確認されている。

しかし、トレーニングによってヒトの筋線維の増殖が起こるかどうかは明らかにされていない。それは、バイオブシーで採取しうる筋量がわずかであるので、筋線維の全体数を数えることができないからである。また、筋線維はヒトにおいてF(タイプII)とS(タイプI)に大別されるが、トレーニングによってFとSとの間に移行が起こるかどうかは明らかにされていない。その理由として、筋サンプルが大きな筋肉のごく一部しか採取できないことと、10歳以下の子供に筋バイオブシーを実施できないことが挙げられる。タイプII

* 順天堂大学体育学部運動生理学研究室 教授
Department of Exercise Physiology, School of
Health and Physical Education, Juntendo Uni-
versity

** 第229回順天堂医学会学術集会 [May 17, 1984.]
(June 28, 1984 受付)

内の細区分である II_A と II_B 線維間の移行は起こる¹⁾。

Isotonic Training

De Lorme と Watkins³⁾が10RM の1/2, 10RM の3/4, 10RM の漸増的負荷で3セットトレーニングすることを提唱して以来, Isotonic Training は負荷強度として Repetition Maximum (RM) による表示が用いられる。このトレーニングは, Berger²⁾が2 RM×6 set, 6 RM×3 set, 10RM×3 set の3つの処方で効果が変わらないことを述べているように, 普通2-10RM の負荷で, 3-6 set の繰返しがよく用いられる。しかし, 初めて実施する一般人の場合には, 負荷を弱くして20-30RM から始める方が外傷の危険が少ない。

Isotonic Training は, 現在でも筋力トレーニングの中心をなすものであるが, 関節角度の変化にしたがって負荷が変化するのが欠点である。

Isometric Training

Isometric Training は, 抵抗物に対して力を発揮するだけで, 特別な用具やスキルを必要としないので注目を浴びた。Hettinger と Müller⁷⁾は, 最大静的筋力の2/3の力を6秒間, 1日1回発揮すれば筋力増強に著しい効果がえられると述べている。

しかし, Isometric Training ではIsotonic Training で重量物を持上げるように一定の仕事をする訳ではないので, トレーニング中に, 実際にはどの程度の筋力発揮がなされたかが実施者にわからないのが欠点であり, また筋緊張を持続するために, 筋収縮中に末梢血管抵抗が増して血圧が上昇する恐れがあり, さらに注意しないとトレーニング中に怒責をしやすい。

Isometric Training ではトレーニング効果に関節角度特異性があり, トレーニングに用いた関節角度の時に筋力がとくに強くトレーニングされることが知られている⁴⁾。したがって実際のトレーニングでは, ある筋を伸展位, 中間位, 屈曲位でトレーニングすることが必要となり, それ程手

軽なトレーニングとはいえない。

Isokinetic Training

Thistle ら¹¹⁾がこのトレーニングの有効性を主張して以来 Isokinetic Training は注目を浴びている。このトレーニングは等速運動を行うことによって, 筋の収縮過程に関節角度の全範囲にわたってつねに最大の筋力が発揮されること, 外傷が少ないこと, 血液循環が妨げられないことなどが特徴である。

私の研究室で Isokinetic Training 装置の代表的なものとして知られる Cybex II を用いて, その性能を調べた結果, 次のような種々の欠点が見出された。

(1) 製品に個体差がある

同一人について測定時期を異にして2台の装置を用いてピークトルクをいろいろな回転スピードで測定した。その結果, 測定値に大きな差を生じた(図1)。両装置とも規定された calibration (おもりの自然落下によってゆっくりした速度で行う) では正しい数値を示したにもかかわらず, このように実際の測定値に誤差が生じるので, この装置の正確さは規定の calibration ではわからない。

図1 3つの被験者群に対して異なった Cybex II 装置を用いて測定したピークトルク値(順天堂大学体育学部運動生理学研究室)

図2 Cybex IIを用いていろいろな回転速度によって isokinetic 収縮を行った時のトルク曲線（ダンピング1）と力曲線の比較。上段トルク曲線，中段力曲線，下段角変位（順天堂大学体育学部運動生理学研究室）

(2) トルクが正しく記録されない。

記録されたトルク曲線（ダンピング1）とCybex IIの回転アームの歪曲線からえられた記録とを比較すると明らかに両者に差があり，その差は回転スピードが大きい程大きい（図2）。この原因の主要なもの，ダンピングを用いている点にある。ダンピングは回転初期に起こる衝撃力をカットするために付けられたものであるが，えられたトルクの記録に誤差を起こさせてしまったことは問題である。

(3) Isometric の筋力が正しく表示されない。

図3はダンピングを用いない時と用いた時の isometric の筋力発揮時のトルク曲線と歪曲線からえられた力曲線との比較である。トルク曲線は歪曲線の細い変化に対応していない。

以上のように Cybex IIには多くの問題点があり，この装置をトレーニング用として使用するには差支えないが，測定器として使用する場合は少なくとも次の注意が必要である。

- ① できるだけ同一装置を用い，2つの装置を使用しない。
- ② calibration が正しいから正しい記録がえられると考えてはいけない。
- ③ 比較的はやい回転スピード時のトルクおよび Isometric 収縮時のトルクは正しく記録されない。

Isometric Trainingに関節角度特異性があると

図3 Cybex IIによる isometric 収縮時のトルク曲線と力曲線の比較（ダンピング0および1の場合）（順天堂大学体育学部運動生理学研究室）

同様に，Isokinetic Trainingにトレーニング速度特異性があるかどうかは興味のある問題である。図4は比較的小さいスピード（30°/s）とはやいスピード（120°/s）で，8週間にわたって週4回膝伸展の Isokinetic Trainingを行い，その効果を示したものであるが，小さいスピードでトレーニングした場合には，小さいスピードのピークトルク値しか効果が現われなかったのに反して，はやいスピードでトレーニングした場合には広範囲のスピードで測定したピークトルク値に効果がえられた¹⁰⁾。

図4 低速トレーニング群，高速トレーニング群，コントロール群のトレーニング前後のピークトルク値の比較¹⁰⁾

ラットのトレーニング方法による効果の比較

ラットを運動させるにはふつう(1)トレッドミル走 (2)水泳 (3) Running wheel 付飼育籠が用い

られている。私の研究室で上記3つの方法を用いて筋線維面積のトレーニング効果を比較した⁸⁾。すなわち、ラットを上記の3つの方法と、コントロールとして狭い籠で飼育した場合を加えて4群とし、1群に5～7匹ずつ割当てて、10週齢から8週間にわたりトレーニングを課してその効果を比較した。トレッドミル走は8度の上り勾配でランニング速度を漸増し、4週間目より毎分28～30 mで60分間トレーニングした。水泳は水温32～34℃で、4週目から尾部に体重の6～8%に相当する重量をつけて60分間行った。回転籠での走行距離はトレーニングの後半で、1日平均8～11kmであった。

表1から明らかなように、足底筋に及ぼすトレーニング効果はトレッドミルでもっとも顕著であり、SO, FOG, FGのすべての筋線維タイプに効果が見られたが、Running wheel 付籠による自発運動ではFOGにのみ有意の肥大が見られ、水泳では効果が見られなかった。したがって、筋のトレーニング実験を動物で行う場合には、トレッドミル走がもっとも適していると思われる。

表1 トレッドミル走群、水泳群、自発運動群、コントロール群のトレーニング後の足底筋の筋線維面積の比較⁸⁾

Group	M. Plantaris		μm^2
	SO	FOG	FG
<i>Forced Ex.</i>			
Treadmill run	1400*	1854**	2277*
	230	228	244
Swimming	1252	1532	1973
	201	193	230
<i>Voluntary Ex.</i>			
Running	1364	1596**	1946
	199	231	274
<i>Control</i>			
Sedentary	1246	1427	1985
	189	195	194

**P<0.01

* P<0.05, mean±SD

文 献

- 1) Anderson, P. & Herick, J. : Training induced changes in the subgroups of human type II skeletal muscle fibers. : *Acta physiol. scand.*, **99**, 123～125, 1977.
- 2) Berger, R.A. : Comparative effects of three weight training programs. : *Res. Quart.*, **34**, 396～398, 1963.
- 3) DeLorme, T.L. & Watkins, A.L. : Technics of progressive resistance exercise. : *Arch. Phys. Med.*, **29**, 263～273, 1948.
- 4) Gardner, G.W. : Specificity of strength changes of the exercised and nonexercised limb following isometric training. : *Res. Quart.*, **34**, 98～101, 1963.
- 5) Gollnick, P.D., Armstrong, R.B., Saubert IV, C. W., Piehl, K. & Saltin, B. : Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of trained and untrained men. : *J. Appl. Physiol.*, **33**, 312～319, 1972.
- 6) Hermansen, L. & Wachtlova, M. : Capillary density of skeletal muscle in well-trained and untrained men. : *J. Appl. Physiol.*, **30**, 860～863, 1971.
- 7) Hettinger, Th. & Müller, E.A. : Muskelleistung und Muskeltraining. : *Arbeitsphysiol.*, **15**, 111～126, 1953.
- 8) 堀田 昇, 内藤久士, 沢田 亨, 富田寿人, 石河利寛 : 種々の持久的トレーニングがラットの骨格筋に及ぼす組織化学的および生化学的影響 : 東京体育学研究, **11**, (投稿中).
- 9) Morgan, T.E., Cobb, L.A., Short, F.A., Ross, R. & Gunn, D.R. : Effect of long-term exercise on human muscle mitochondria. In Pernow, B. and B. Saltin (Eds) : *Muscle metabolism during exercise* 87～95, Plenum, New York, 1971.
- 10) Osako, M. & Ishiko, T. : Effects of isokinetic training on peak torque of knee extension, muscle fiber composition and enzyme activities. In T. Ishiko (Ed.) : *Physical Fitness Research*. 45～53, Baseball Magazine, Tokyo, 1983.
- 11) Thistle, H.G., Hislop, H.J., Moffroid, M. & Lowman, E.W. : Isokinetic contraction : a new concept of resistive exercise. : *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **48**, 279～282, 1967.