

アイソキネティック・エキササイズトレーニング効果

— 持続能力に及ぼす影響 —

戸莉 晴彦* 兵頭 圭介*
鈴木 滋**

* 東京大学教養学部

** 成溪大学

Training Effect of Isokinetic Exercise — Influence on Muscular Endurance —

Haruhiko Togari* , Keisuke Hyodo* , Shigeru Suzuki**

* Department of Sports Sciences, College of Arts
and Science, University of Tokyo

** Seikei University

Abstract

The purpose of this study was to investigate the influence of the quantity of training measured by number of sets in the isokinetic exercise on the muscular endurance.

The subjects of the study were 20 male college soccer players. They were divided in four groups according to the number of sets they had to complete in the training: 2 sets; 3 sets; 4 sets; and 5 sets. Orthotron was used to train them. The training was composed of the extension exercise of the right leg with maximal effort in the speed of 180°/sec. One set consisted of 15 repetitions. The subjects had to train 3 times in a week for 12 weeks.

Cyber II was utilized to measure the changes of the muscular endurance and the area of the cross section of the right thigh. The muscular endurance was measured with 50 repetitions of leg extension exercise with maximal effort. The area of the cross section of the thigh was investigated by means of ultrasonic circular compound system.

The tendency of increase of the muscular endurance was observed in each groups after the training of 12 weeks when the average values of 50 repetitions were compared with each other. Especially, the groups with 4 sets and 3 sets showed the significant change at 5 % level. Regarding the decrease ratio the groups with 2 sets, 3 sets, and 4 sets tended to increase. The area of the cross section of the quadriceps, which was the main working muscle of leg extension, had the tendency of hypertrophy in each groups. The significant increase at 5 % level was seen in the groups with 2 sets and 5 sets.

It could be concluded from these results that the isokinetic exercise could be of influence on the muscular endurance if the training was continued for 12 weeks. This suggested that the FOG fibers were mobilized in the exercise, in which a set lasted for 20 ~ 30 seconds. The significant increase of the muscle quantity in the groups with 2 sets and 5 sets was partly contradictory to the increase of the muscular endurance. But in general, the tendency was observed that it would be allowed to consider the quantity of the muscles to be a factor of the increase of the muscular endurance.

Key words: isokinetic exercise, muscular endurance, soccer player

緒言

これまでにアイソキネティック・エキササイズによるトレーニング効果の研究については多くの報告がみられる。まず1970年にMoffroidとWhipple⁸⁾は、トレーニング速度とその効果を検討して発表した。これに続き、同じような目的をもった研究はCoyleたち³⁾、Caiozzoたち、金久と宮下、Adeyanjuたち¹⁾のものがある。その主な内容はトレーニング速度に注目したもので、相対的な速度であるが低速より高速の方が効果が大きいとしたり、低速、高速はそれぞれの速度でしか効果がないとし、トレーニングのspecificityが存在するという報告などがある。

金久は⁵⁾、このような矛盾した報告の中で自分たちの研究を中心に、いくつかの先行研究も参考にして、低、高速はそれぞれの速度でしかトレーニング効果がないことを認め、中間的な速度、つまり100~200°/secは全体にわたりトレーニング効果をもたらすと結論した。

一方、このような最大努力の筋力トレーニングが持続能力に及ぼす影響についても若干の報告がみられる。この点に最初に着目したのはMoffroidとWhipple⁸⁾で、トレーニング速度を問題にし、36°/secより108°/secの方が効果が大きいとした。Lesmes, G. L.はトレーニング速度を180°/secとして1セットに要する時間を6秒間と30秒間にしたところ、後者の方が持続力への影響が大であった。また、寺田たち⁹⁾はトレーニング速度を高、中、低としたところ、どの速度にも効果は認められるものの速度、量などトレーニング内容との関係ははっきりしなかったとしている。

このようにアイソキネティック・エキササイズのトレーニング効果に関する先行研究ではトレーニング速度について一つの方向性が認められるものの、トレーニング量については筋力、持続能力に及ぼす影響とも必ずしもはっきりした結論は示されていない。

そこで本研究はサッカー選手に対しアイソキネティック・エキササイズにおいてセット数というトレーニング量の違いが、トレーニング効果にどのような影響をもたらすかを検討することを目的としておこなった。筋力についてはすでに報告⁹⁾し

ているので、ここでは持続能力を中心に述べる。

方法

被検者は東京都大学リーグに所属するT大学サッカー部員の1, 2年生, 20名を対象にした。実験期間は1984年1月より4月にかけてである。

トレーニングにはアイソキネティックなトレーニング機器として開発されたオルソトロン(Lumex社製)のニー・エクステンションタイプのもを用いた。

トレーニングは被検者の右足を対象とした。トレーニング速度は金久と宮下の研究報告による結果を参考にして、最も幅広く効果が得られるとされている180°/secで行った。セット数は被検者を1群5名の4群に分け、それぞれ2, 3, 4, 5セットのトレーニングを行なわせた。1セットは最大努力で15回とし、数分の休息をとって次のセットに入るように指示した。過当りのトレーニングは原則として月、水、金とし3回、12週間にわたり連続して実施した。

運動はサッカーのインステップキックの主動筋である大腿四頭筋を被検筋とした脚伸展動作である。そのためにオルソトロンで椅座位姿勢をとり、膝関節角度は下肢を垂直にした90度にし、入力レバーの長さを脚長に合わせて調節し、足頸部はバンドで固定し、瞬発的に最大努力でほぼ膝角度が180度になるまで脚を前方に伸展させた。また、被検者の上体、腰及び大腿部の移動をなくすためにバンドでそれぞれの部位を固定した。

次にトレーニング効果をみるためにCybex IIを用い、等速性筋出力及び持続能力を測定した。測定動作はトレーニングと同様にし、被検者の右足を用いた。等速性筋出力は測定速度を0, 60, 120, 180, 240, 300°/secとし、それぞれ3回ずつ行ない、そのなかの最大値を用いた。持続能力は180°/secの運動速度で連続50回の脚伸展運動を行った。トルクは記録紙にあらわれた曲線のピーク値(極大)をとった。測定時期はトレーニング前、後及び6, 9週目の4回とした。

また、physical resourcesの変化をみるために各被検者の右大腿部を対象に、超音波法により筋横断面積を測定した。これはトレーニング前後の

2回にわたって測定した。

なお、被検者数は各群1名ずつがケガ及び退部などの理由のため欠けた。

結果

最大努力で等速性筋収縮のトレーニングを行ったときの持続能力に及ぼす影響は表1に示す通り

である。この値は50回の平均を示し持続能力を表わす指標にされているものである。数値はトレーニング前、6週目、9週目、12週目(トレーニング後)の各群の平均測定値を表わしたもので、6週目が全体に低くなり、9週目はやや向上し、3例を除き12週目に最大値を示した。なお、1例は初期値を越えなかった。

表1 トレーニング前とトレーニング期間終了後の持続能力(単位: Nm)

| トレーニング群 | トレーニング前 | 6週目 | 9週目 | トレーニング後 | トレーニング前 - トレーニング後 t |
|---------|------------|------------|------------|-------------|---------------------------|
| 2セット群 | 93.2±13.64 | 78.0± 4.72 | 93.7±11.09 | 100.9± 8.23 | 2.75 |
| 3セット群 | 90.1± 6.60 | 82.9± 8.42 | 96.3±11.30 | 100.3± 8.01 | 4.71* |
| 4セット群 | 78.4±10.89 | 85.8± 4.96 | 96.0±14.32 | 103.7±12.19 | 3.26* |
| 5セット群 | 99.8±22.39 | 83.8±13.31 | 99.3±19.15 | 103.2±16.98 | 0.49 |

数値: 平均値と標準偏差

* 5%水準で有意

表1の値から初期値と最大値を比較し増加率をみたものが図1である。これをみると最も大きな伸びを示したのは4セット群で、次いで3セット群、5セット群、2セット群といった順であった。しかし4セット群の伸びが著しく大きかったも

の、2、3、5セット群も数例を除けば10~15%前後の増加がみられた。なお、各群の増加を検討するためにトレーニング前と後の50回の平均について対の差の検定を行なったところ、3セット群、4セット群に5%水準で有意な差が認められ

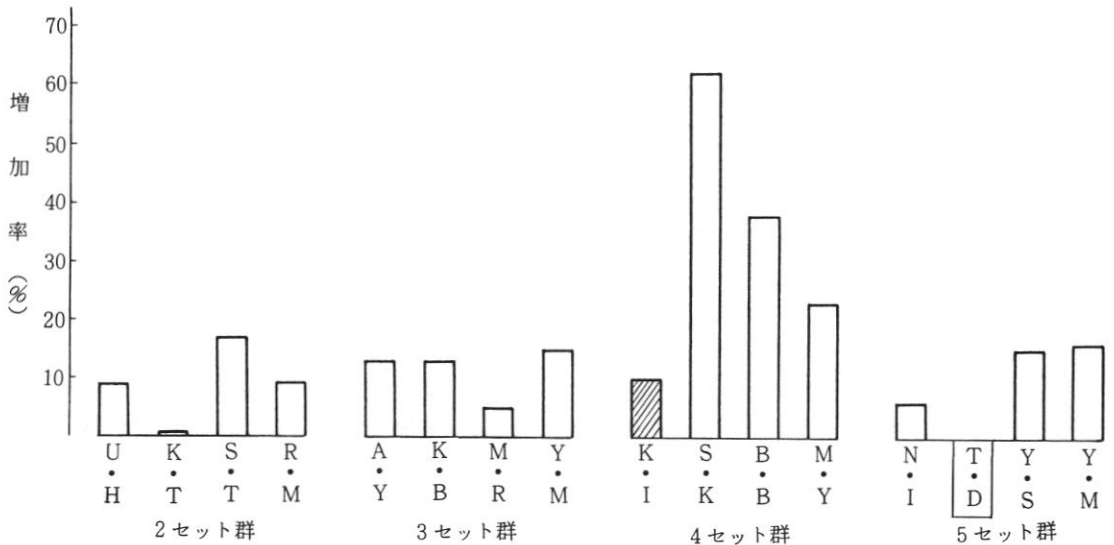


図1 等速性筋出力のトレーニングが持続能力に及ぼす影響

(注1: 斜線印は12週目のデータが欠損したので9週目のものを用いた)
 (注2: アルファベットは被検者を示す)

た。

次に、金久たちが用いているもう一つの持続能力の指標である低下率をトレーニング前と後について求めた結果が表2である。これを見ると、ト

レーニング前と後を比較すると2, 3, 4セット群は向上した傾向がみられたが、5セット群はむしろ低下していた。なお、各群の50回の変化を示したものが図2である。

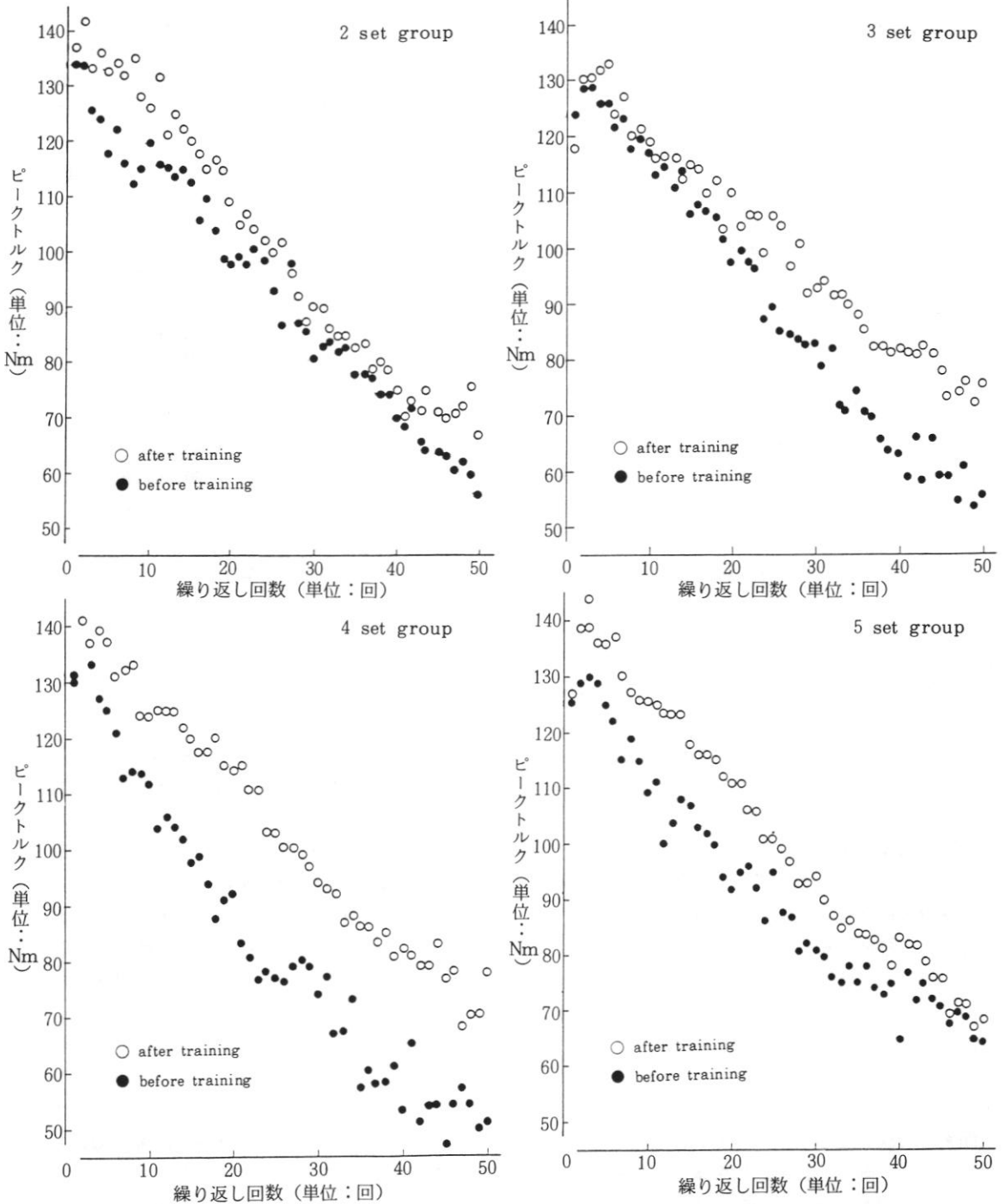


図2 アイソキネティック・エクササイズによるトレーニング効果 (平均)

表2 持続能力の低下率(%)

| トレーニング群 | トレーニング前 | トレーニング後 |
|---------|---------|---------|
| 2セット群 | 51.2 | 48.0 |
| 3セット群 | 53.9 | 42.6 |
| 4セット群 | 56.0 | 46.9 |
| 5セット群 | 46.8 | 50.6 |

$$\text{低下率} = \frac{I-F}{I} \times 100$$

(Iは1回目から5回目までの平均)
(Fは46回目から50回目までの平均)

筋横断面積の変化については表3に示す通りである。脚伸展運動の主働筋となる大腿四頭筋(m. quadriceps femoris)は肥大の傾向がみられ、全体の平均増加率は約3%であった。最も大きかったのは5セット群であり、次いで2, 4, 3セット群という順であった。なお、各群のトレーニング前後の増加を統計的に検討するために対の差の検定を行ったところ2セット群, 5セット群に5%水準で有意な差が認められた。

一方、大腿四頭筋を構成する4つの筋は大腿直

表3 トレーニングによる筋横断面積の変化(単位:cm²)

| トレーニング群 | 大腿四頭筋 | 大腿直筋 | 外側広筋 | 中間広筋 | 内側広筋 |
|---------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2セット群 | 75.0±2.77 | 10.3±0.76 | 25.1±0.51 | 19.3±3.31 | 19.9±1.43 |
| | 77.9±2.72* | 11.4±0.90 | 25.3±1.40 | 21.6±2.59 | 19.6±2.40 |
| 3セット群 | 78.8±6.81 | 11.5±1.21 | 26.0±3.12 | 20.7±1.84 | 20.7±1.60 |
| | 80.1±4.74 | 10.9±1.39 | 25.8±3.46 | 23.8±1.30 | 19.6±1.36 |
| 4セット群 | 82.8±5.91 | 10.7±1.23 | 26.3±3.26 | 23.2±1.24 | 22.6±3.27 |
| | 83.7±6.18 | 12.0±2.20 | 28.2±4.48 | 23.4±2.06 | 20.2±2.70 |
| 5セット群 | 84.1±7.72 | 11.5±1.65 | 29.8±3.91 | 22.2±2.87 | 20.6±1.81 |
| | 88.5±8.63* | 12.3±1.89 | 29.7±1.39 | 23.0±1.89 | 23.5±4.98 |

数値: 平均値と標準偏差

上段: トレーニング前

* 5%水準で有意

下段: トレーニング後

筋(m. rectus femoris)がほとんどの被検者で伸びており、次いで中間広筋(m. intermedius), 外側広筋(m. vastus lateralis)で、内側広筋(m. vastus medialis)は約半数のものがはっきりしない傾向を見せた。また、脂肪については2/3の被検者が減少傾向を示した。とりわけ5セット群の減少は相対的に大きかった。

トレーニングによる筋横断面積の増加と持続能力の伸びの関係をみたものが図3である。

なお、筋横断面積、持続能力は2例が腰痛などのため測定不可能であった。図3からもうかがえるが、トレーニングの多少は別にしても15例中、11例にあたる73.3%が両項目の向上を示した。つまり図3で右斜めに矢印を示したものである。そしてトレーニング量の別でみると5セット群が最も顕著で、次いで2セット群という傾向であった。

また、この両者の相関係数を求めてみると、トレーニング開始時は $r=0.532$ ($P<0.05$)で、終了

時には $r=0.757$ ($P<0.05$)となった。

論 義

アイソキネティックな筋力トレーニングは表1に示すように12週間を経過すると、持続能力に対してもかなりはっきりした影響がでてくることがわかった。それは4セット群及び3セット群にみられた統計的に有意な増加を示している結果からもいえる。その理由は1回の筋力発揮が最大努力のトレーニングであるが、連続的に15回、20~30秒の運動をすることと、セット間の休息はあるにしても1セット当り20~30秒に最大努力するというインターバル的なトレーニングを実施していることであろう。したがって局所筋には無酸素的な運動から有酸素的な運動にかけての状態で負荷がかかり、FG線維だけでなくFOG線維の動員もなされて持続能力が高まったものと考えられる。

Lesmes, G. L. たち⁶⁾は運動時間の違いが持続能

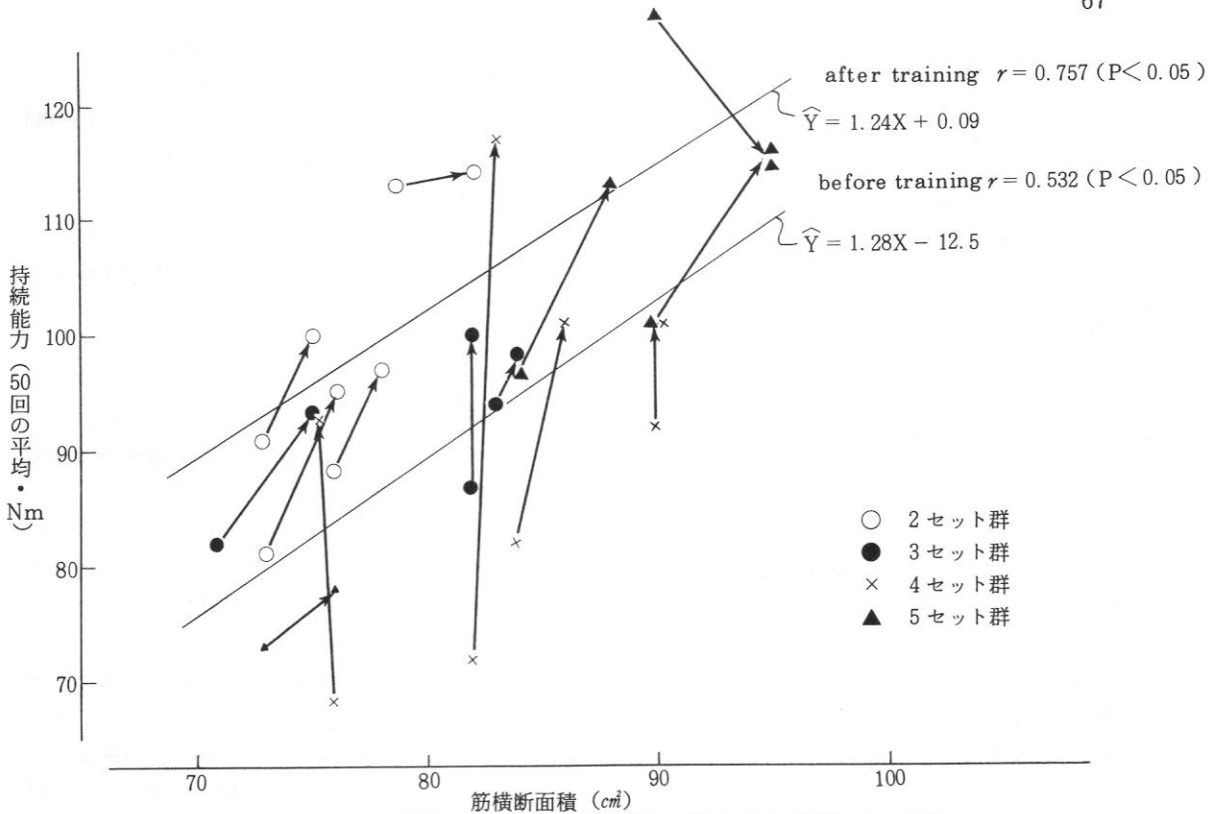


図3 トレーニング前後にみられる大腿四頭筋の横断面積と持続能力の関係

力に及ぼす影響について検討しているが、本研究と同様な速度で6秒間と30秒間のトレーニングを実施したところ、後者は有意に増加したと述べている。これは30秒間の運動では筋収縮のエネルギーがATP、CP及び解糖によってもたらされ、これが筋出力の持続能力を改善させている原因であろうとしている。本研究においてもエネルギー供給様式は同様のことが考えられ、その結果、持続能力の改善が高まったといえる。

しかし、上記の議論から考えると5セット群も運動回数は4セット群以上なので当然大きな効果が得られると思われるが相対的に増加率は小さかった。その原因は初期値の高いものが多く、トレーニングビリティがかなりの水準に達していることと、5セットというセット数が長期にわたるトレーニング量としては多過ぎて集中力が欠如したという二つの問題が影響した結果であると考えられる。そして逆に4セット群は初期値の低いものが比較的多く含まれていたことが増加率の高さに影響を

もたらしたと思われる。したがって、5セット群の結果からセット数の多いことは筋力トレーニングにはマイナスの因子になることを示唆するかも知れない。

この初期値と増加率については図4に示すように一部を除いてはかなり関係が強く、つまり初期値の低いものほど増加率が高い傾向が見られた。このような傾向は当然考えられることであるから実験群の編成時に十分に考慮すべきであったかも知れない。

一方、6週目に一時的に値が低下する傾向が見られたが、これは測定当日が試験期間と重複し、しかも大雪をとまなう異常低温であったため、被検者の体調の悪さと意欲の低さが影響したとも考えられる。また、筋力トレーニングは慢性疲労のため一時的に成績が低下することがあるといわれるが、このことも併せた結果だと思われる。

次に筋横断面積からみた筋量は2セット群と5セット群に統計的に有意な増加が見られた。

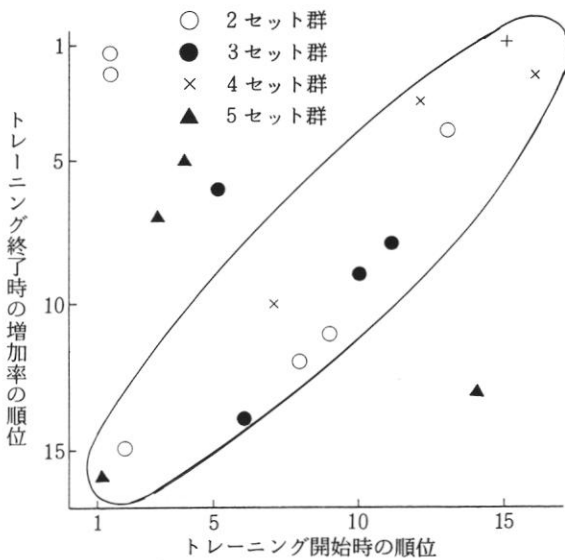


図4 持続能力にみられる初期値の順位と増加率の関係

MacDougall, J. D. も述べているように、筋量は ATP, CP, 筋グリコーゲンなど最大努力での筋持続能力の改善に大きな影響を与える物質の多少を左右するものとして重要である。こういう事実は持続能力が有意に向上した4セット群, 3セット群にも, もっと大きな増加がみられても当然と考えられるが矛盾した結果であった。そこで大腿四頭筋を構成している各筋について比較してみると, 大腿直筋と中間広筋は全体に増加の傾向がみられた。これは脚伸展運動が下肢の直進運動であるため, この二つの筋が最も多く使われるということからも理解できる。一方, 外側広筋, 内側広筋は相対的に筋肥大が小さいことと, 個人差が大きいのが特徴であった。とりわけ3セット群は一例が測定不可能であったため被検者数が少なく, しかも一例が大腿直筋, 内側広筋にはっきりとした筋肥大がみられなかったため全体では有意な増加が認められなかったといえる。また, 4セット群は内側広筋の筋肥大がみられないものが4例中3例もあり, これが大腿四頭筋としてはっきりした増加がみられなかった原因と考えられる。このように筋群によって筋肥大がみられなかったのは, 脚伸展運動でもその様式に微妙な個人差があるためなのか, 本実験の結果だけでは結論をひき出せない。

しかし, 大腿四頭筋としては全体的にトレーニングによる筋肥大がみられたことは持続能力の向上とともに図3にもよく表われている。特に相関係数がトレーニング後において高くなったということは両者の関係がより強くなったと考えてもよいであろう。つまり筋量の増大が持続能力向上の一つの因子となっているという考え方を支持した結果であるといえよう。

結語

12週間にわたるアイソキネティックな筋力トレーニングによる持続能力に及ぼす影響をみた結果, 次に示すような知見が得られた。

- 1) 各群とも12週間経過した時点にかなりの影響がみられたが, 特に4セット群, 3セット群には統計的に有意な筋持続能力の向上がみられた。
- 2) 筋横断面積は大腿四頭筋でみると全体に増加の傾向があり, とりわけ5セット群, 2セット群は有意であった。しかし, 持続能力が有意に向上した4セット群, 3セット群は筋横断面積が有意な増加が認められないという矛盾した結果がみられた。

本研究の資料収集にあたっては福永哲夫助教授とその研究グループの方々との協力を得た。ここに記して感謝の意を表する次第である。

文献

- 1) Adeyanju, K. et al : Effects of two speeds of isokinetic training muscular strength, power and endurance, *J. Sports Med.*, 23 : 352-356, 1983.
- 2) Caiozzo, V. J. et al : Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle, *J. Appl. Physiol.: Respirant. Environ. Exercise Physiol.*, 51 (3) : 750-754, 1981.
- 3) Coyle, E. F. et al : Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J. Appl. Physiol.: Respirant. Exercise Physiol.*, 51 (6) : 1473-1442, 1981.

- 4) 金久博昭, 宮下充正 : アイソキネティック・トレーニング—— トレーニング速度とトレーニング効果, *J. J. Sports Sci.*, 1 (2) : 147-151, 1982.
- 5) 金久博昭 : アイソキネティック・トレーニングの科学, 現代・体育スポーツ大系 8 : 172-194, 1984. 講談社.
- 6) Lesmes, G. L. et al : Muscle strength and power changes during maximal isokinetic training, *Medecine and science in sports*, 10 (4) : 266-269, 1978.
- 7) MacDougall, J. D. et al : Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization, *J. Appl. Physiol., Respirant. Environ. Exercise Physiol.*, 43 : 700-703, 1977.
- 8) Moffroid, M. T. and R. H. Whipple : Specificity of speed of exercise, *Phys. Therapy*. 50 : 1692-1700, 1970.
- 9) 寺田光世, 川村隆史, 山岡誠一 ; 等速性運動でみた筋持久力とトレーニングの効果について, 第34回日本体育学会大会号, : 256, 1983.
- 10) 戸苅晴彦, 兵頭圭介, 鈴木滋 : アイソキネティック・エキササイズでのトレーニング効果, 第5回サッカー医・科学研究会報告書, 72-77, 1986.