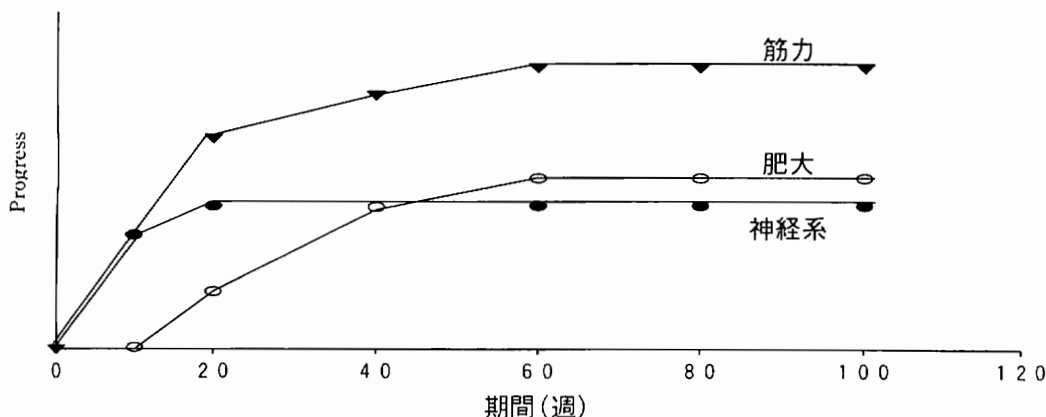


トレーニングと筋の肥大を考えよう

松 永 智

長期間にわたって筋力トレーニングのような負荷抵抗運動を行っていくと、筋力も増加しますが、腕の場合は顕著に大きくなっていくことに気がつきます。それはどのように対応していくのかをみていきましょう。

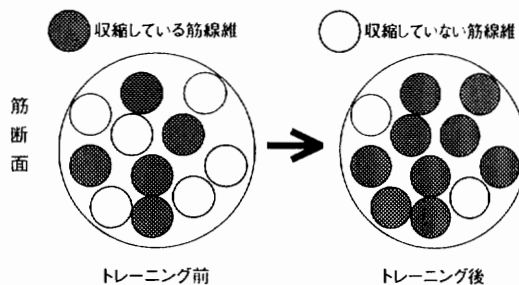
ここに筋力トレーニングを100週間行った際の「筋力」、「筋肥大」、「神経系」の3つの指標の適応の形態を模式的にあらわしたSale博士の著名なデータがあります（文献1：一部修正）。



ここからもわかりますように、60週目頃までは筋力は増大しますが、20週目までの筋力アップには「神経系」の改善と呼ばれる、「筋肥大」ではない要因が働きます。それ以降の30週目頃からは「神経系」の改善は最大に達し、今まで関与してこなかった筋の「肥大」が筋力アップに大きく貢献することがわかります。

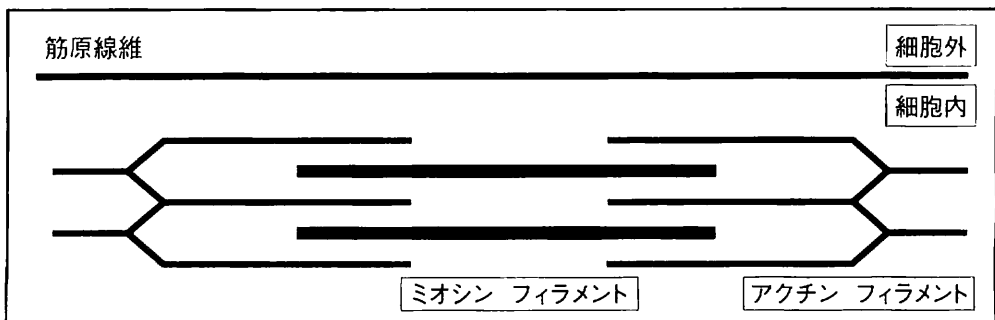
*「神経系の改善」とは、トレーニング初期に起こる神経筋レベルでの適応のひとつで、下記の図のように今まで筋の収縮に関与していなかった筋線維が収縮するようになって来たり（運動単位の

参画数の増加）、筋線維の収縮のタイミングがバラバラであったものが一致してきて（同期化）、大きな力が出せるようになってきたりする筋適応のことです。



また、これらのことから「筋の肥大」とは、ウェイトトレーニングのような高負荷トレーニングを行った際の10週目頃以降にみうけられます。それでは、一時的に何か重いものを持った時のその後起こる腕が太くなった感覚や、山登りなどを行った直後の脚が張った感覚は、筋収縮タンパク破壊される時に起こる一時的な兆候で、その後起こる収縮タンパクの再合成の前兆といえます。また数日してこれらの現象は元の状態に戻ってしまいます。これらはまだ「筋肥大」とはいわないようです。

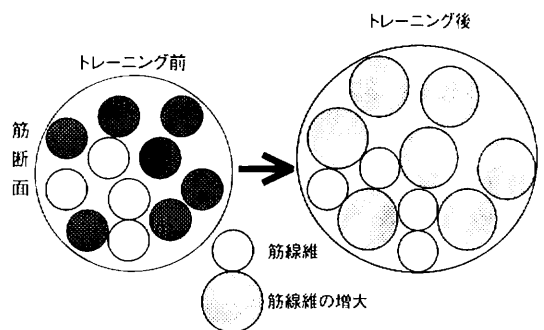
筋の肥大について考えてみましょう。高負荷の抵抗トレーニングによる筋の肥大は、筋を収縮させる際にその大きな役割を果たす筋原線維内の「アクチン」・「ミオシン」の収縮たんぱく質の増大であることはわかっています。その結果、発揮される筋力が増加してしていきます。アクチンフィラメントとミオシンフィラメントはたんぱく質からできており、細胞内に一定濃度のカルシウムイオンが流入するとアクチンフィラメントとミオシンフィラメントの相互作用により筋収縮が生じます。



筋原線維の集合体である筋線維では、どうなっているのでしょうか？「筋線維の増大（肥大）」・「筋線維の増殖（分裂）」・「筋線維の増大（肥大）と増殖（分裂）の相互作用」の3つの可能性が示されています。下記に模式図を示しました。

パターン1は、トレーニングによる適応により、筋原線維が増加して、結果的に筋線維が大きくなる（増大する）ものです。トレーニング前の7つの青模様の筋線維がトレーニング後に増大しているところを模式的に表しました。基本的に筋線維タイプによって増大しやすいものと、そうでないものがありますので、すべての筋線維が増大するわけではありません。

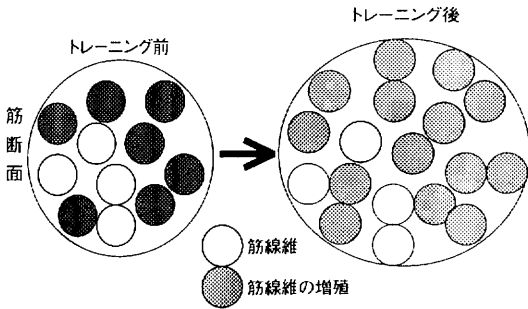
パターン1：筋線維の増大 (hypertrophy)



パターン2は、筋原線維が増加し、筋線維が大きくなるにしたがって、筋線維が増殖（分裂）して結果的に筋が肥大するものです。トレーニング

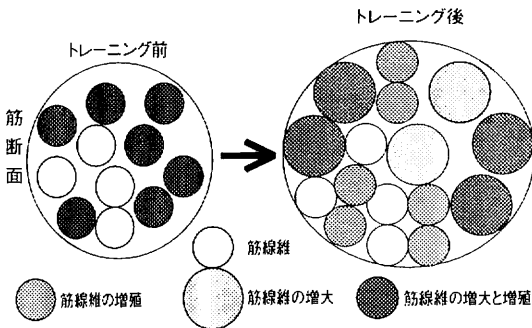
前の7つの青模様の筋線維がトレーニング後に増殖しているところを模式的に表しました。

パターン2：筋線維の増殖 (hyperplasia)



パターン3は、筋原線維が増加し、筋線維が肥大と筋線維の増殖の両要因によるものです。トレーニング前の7つの青模様の筋線維がトレーニング後に増大、増殖しているところや、増殖し増大しているところを模式的に表しました。

パターン3：筋線維の増殖と肥大



1980年代から90年代にかけて、パターン1とパターン2の要因についての論争が起きました。現在では、トレーニングによる筋肥大は、「筋の横断面積」と「筋線維の横断面積」を比較した研

究でこれらに比例関係があること、そしてラットなどのげっ歯類を用いて、筋肥大が実際に生じた筋とそうでない筋の、「筋線維数を数えた」研究から筋線維数に変化がみられなかったことなどが、多くの研究者から報告されました。これらのことから一般的にウエイトトレーニングなどの高負荷抵抗運動による「筋肥大」は、一般的にはパターン1の筋線維の増大によるものと考えられています。ただし、条件によっては「筋線維の増殖」が起こることも確認されています（文献2）。

筋線維の傷害や損傷により筋線維の再生が引き起こされます。これは筋内に存在する衛星細胞（サテライト細胞：adult myoblasts（成体筋芽細胞））が筋線維の傷害や損傷により活性化され、筋管の形成、融合などを誘引して、結果的に筋線維の再生に到達していくという説により説明されます。しかしこれらのメカニズムについては未だ解明されている途上であり、詳細については不明な点が多く残されています。筋力トレーニングによってもこの同じ行程で筋線維の増殖が生じる可能性が支持されつつあり（文献3）、今後の研究の展開が待ち遠しいところです。

高負荷抵抗トレーニング（主にウエイトトレーニング）をどのくらいの負荷（重さ）でどれくらいの回数行えば効果があるのでしょうか？

1回しか持ち上げることができない重さのことを1RM（Repetition Maximum:最大挙上負荷）とここではあらわしています。筋の肥大を目指す場合は、最大に発揮可能な重さではなくて、4～11回繰り返すことが可能な重さでトレーニングを行うことが必要といわれています。負荷強度（重さ）については、筋の増大に適したものは最大挙上負荷の70～90%の重さといえます。しか

%1RM	最大反復回数	効果
100	1	筋力増加
95	2	
93	3	
90	4	
87	5	筋肥大
80	6	
83	7	
80	8	
77	9	
75	10	
70	11	
67	12	筋持久力の向上
65	15	

表 レジスタンストレーニングにおける強度（1RM）、最大反復回数、主な効果の関係（文献4：一部修正）

し、反復回数、そのセット数やセットとセットの間の休憩時間等、年齢やトレーニングの段階（導入段階・初期・中期・熟練期など）等の安全性を考慮して決定されなければなりませんので、皆さんに万能のトレーニング負荷（重さ）、回数、セット数というものを指し示すことは困難な状態にあります。これらのことをご了解の上、専門的な立場の人とご相談のうえ実施することをお勧めしたいと考えております。

参考文献

- 文献1 Sale, D.G. : Neural adaptation to resistance training. Med. Sci. Sports Exerc., 20: s135-S145, 1988.
- 文献2 Antonio, J. & Gonyea, W.J. : Skeletal muscle fiber hyperplasia. Med. Sci. Sports Exerc., 25: 1333-1345, 1993.
- 文献3 Allen, D.L. et.al., Myonuclear domain in muscle adaptation and disease, Muscle Nerve, 22: 1350-1360, 1999.
- 文献4 石井直方, 筋肥大のメカニズム, 宮村実晴(編) 新運動生理学(上巻), 真興交易, 2001.