

## 第2回トレーニングをすると骨格筋の筋線維の機能は変化します

松 永 智

骨格筋の機能や構造は、可逆的な特徴を持ち、トレーニングをはじめとした運動を行うと(筋に負荷がかかる)、それに対応するように変化していきます。

それはどのように対応していくのかみていきましょう。

筋内にある筋細胞(筋線維)は収縮特性からいくつかのサブタイプに分類されています(前年度を参照してみてください)。

概略は以下のとおりです。

このST線維(Slow twitch fiber)とは、昔は遅筋線維などと呼ばれていましたが、現在ではType線維あるいはST線維と呼ばれています。

またFT線維(Fast twitch fiber)とは、昔は白筋線維などと呼ばれていましたが、現在ではType線維あるいはFT線維と呼ばれています。

これらは、筋線維内の収縮タンパク(\*1)の1つであるミオシタンパク内の頭部にあるミオシン重鎖(Heavy chain)のアイソフォーム(\*2)の違いとして定義されます。また、これらの中でもっと細かく分類することができます。

- \* 1 収縮タンパク…筋線維内にある筋原線維の主要な成分で、ミオシタンパクとアクチンタンパクから成り立つ。
- \* 2 アイソフォーム…生体内の働きは同じだが、分子構造が若干異なるタンパク質の一群ちなみに
- \* 3 遅筋…主にST(遅筋)線維から構成されている筋のこと。
- \* 4 速筋…主にFT(速筋)線維から構成されている筋のこと。

ただし、筋線維のタイプは変化(ST⇔FT)しない(移行)とされています。

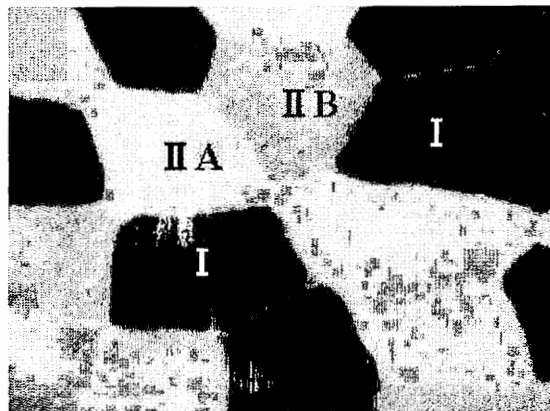
筋線維タイプ別の特性を以下に示します(文献1を改変)

筋線維			
	ST線維 type	FTa線維 typeA	FT b 線維 typeB
酸化能力	高い >>	中間 >	低い
解糖能力	低い <<	高い =	高い
疲労耐性	高い >>	中間 >	低い

右足にある外側広筋の筋の横断面です。一本一本の筋線維が確認できます。

10μmの厚さに切ったものを、pH4.6で前処理を行った後、組織科学的に染色したものです。

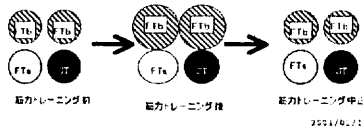
黒い部分の筋線維がST線維(Type線維)で、中間色の筋線維がFTb線維(Type II b線維)、白く抜けている筋線維がFTa線維(Type II a線維)です。



ATPstaining(pH4.6)

FT線維を中心として、トレーニングが行われる筋力トレーニングなどの瞬発的トレーニングを例に取ると、

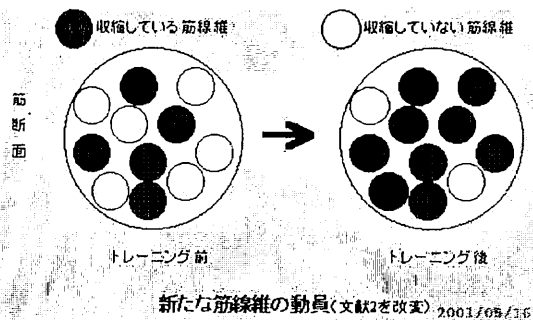
①筋肥大と呼ばれる、1本1本の筋線維の横断面積が増加します。



近年、トレーニングにより筋線維数の増加を支持する研究が発表されてきています。しかしその増加数は全体の数%に過ぎず筋肉に与える影響はこの肥大の影響のほうが多いものと考えます。

つまり、収縮タンパクをはじめとした筋原線維数が増加し、結果的に筋線維の肥大がみられます。

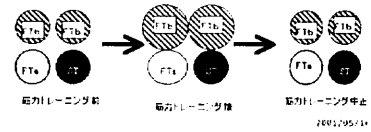
②今まで動員されていなかった筋群(運動単位)が動員されるようになります。



その後筋線維の収縮が同期化し、筋として同時期に効率よく、爆発的に収縮がすることができるようになります。

③解糖能力が増加する。つまり解糖系に属する酵素活性が増加し、無酸素的エネルギー供給機構が改善されます(右図参照)。

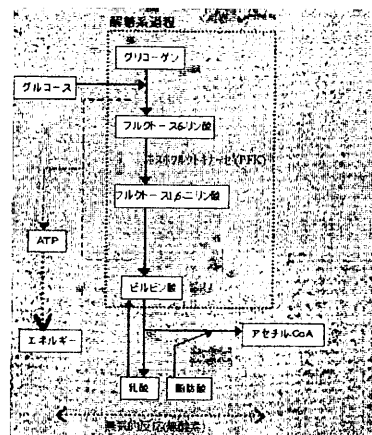
④FT線維のサブタイプ間の移行が起こります。FTa線維からFTb線維へ(文献1を改変)



③で示しましたとおり、瞬発的トレーニングを行うと、解糖系に属する酵素活性が増加し、無酸素的エネルギー供給機構が改善されます。この解糖系の酵素活性群での律速酵素(k e y enzyme: この系での速度を規定する酵素)はホフホフルクトキナーゼ(P F K)です。瞬発的トレーニングを行うと、刺激を受けた筋のPFK値は上昇し、無氣的(無酸素)反応系は促進されます。

筋に筋力トレーニングのような爆発的な力を要求するトレーニングをほどこした場合、そこに混在しているST線維の無酸素性解糖能力や乳酸蓄積能力は向上し、FT線維のそれらに近づいていきます。

つまり筋に含まれるST線維の数が減少し、FT線維数が増加しなくとも(筋線維組成(構成比)がST線維の占める割合が多くなっても)、トレーニングされた筋の無酸素性解糖能力は増していきます(トレーニング効果があります)。

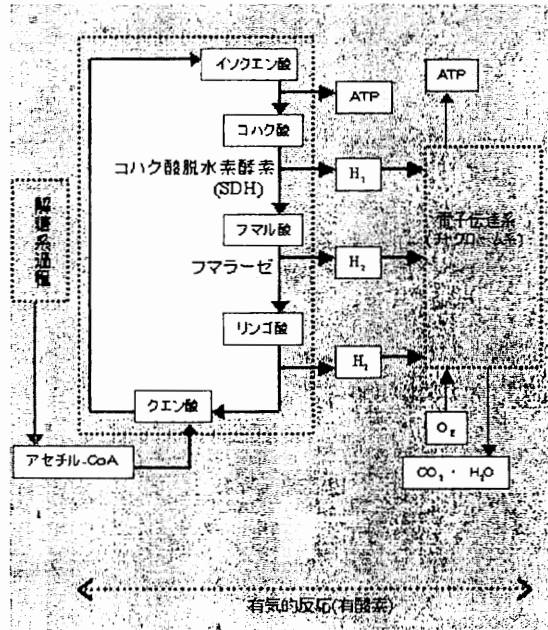
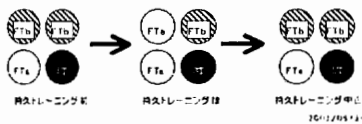


ST線維を中心として、トレーニングを行われる持久走トレーニングなどの持久的トレーニングを例にとると、筋線維単位の適応は、

①有酸素的エネルギー供給機構が改善されます。つまり酸化能力を高める主要因である酸化系酵素活性値が上昇します。

②筋線維一本あたりを取り囲む毛細血管数が増加したり、不活動であった毛細血管が活動するようになり、筋線維一本あたりにとり込める酸素量が増大します。

③FT線維のサブタイプ間の移行が起こります。FTb線維からFTa線維へ移行が行われます。



力は、筋を全体的にみた場合、増加していきます(トレーニング効果は十分にあります)。

①で示しましたとおり持久的トレーニングを行うと、酸化系に属する酵素活性が増加し、有酸素エネルギー供給機構が改善されます。この解糖系の酵素活性群での律速酵素(Key enzyme: この系での速度を規定する酵素)はコハク酸脱水素酵素(SDH)です。持久的トレーニングを行うと、刺激を受けた筋のSDH値は上昇し、無氣的(無酸素)反応系は促進されます。

筋にジョギングやウォーキングなどの持久的運動をトレーニングした場合、そこに混在しているFT線維の有酸素的能力は向上し、毛細血管密度も増加し、ST線維のそれらに近づいていきます。

つまり筋に含まれるFT線維の数が減少し、ST線維数が増加しなくとも(筋線維組成(構成比)がST線維の占める割合が多くなると)、トレーニングされた筋の有酸素的能

最後に

筋の機能や構造は、可逆的な特徴を持ち、トレーニングをはじめとした運動を行うと(筋に負荷がかかる)、それに対応するように変化し(適応)、運動を行われなくなったり(負荷が取り除かれる)、ギブスなどで固定された筋にみられるように運動が制限されたりした場合、その機能や構造は元の状態に戻ったり、あるいは元の状態以下に低下したりします(これも「適応」と呼ばれます)。

宇宙空間での微重力下では、重力という負荷が取り除かれることになります。そのため体重という負荷を保持するのに利用されていた筋肉群(抗重力筋群)は、不活動状態になります。近年、よく映像で見うけられる宇宙パイロットがシャトル内でトレーニングする光景は、再び重力下(地球環境下)に復帰する場合、体重を保持できなくては困るので抗重力筋をはじめとした筋群のトレーニングを行っているのもその一つの理由です。こ

れらは非常に重要な意味を持ちます。

#### 参考文献

- 1) 勝田 茂 編著 「入門運動生理学 第2版」 杏林書院, 2001.
- 2) 山田 茂・福永哲夫「骨格筋に対するトレーニング効果」 NAP, 1996