

# 筋線維の性質を決めるもの

～先天的遺伝子と後天的環境～

# 身体運動を実現すること

- 骨と骨の連結＝関節
- 関節をまたいで連結する骨格筋と腱と靭帯(骨に付着する)
- 拮抗筋と協働筋(屈曲-伸展と関節固定)
- セグメント(節)としての頭部-体幹-上肢-下肢などをまとめて動かす  
「マリオネット(糸操り人形)」とはちがう方法・・・
- 全身運動としての「基本的運動形態」  
歩・走・跳・投・這う・匍匐・泳などが「ひと纏まり」の運動司令で実現される？
- 実際の運動実現は「フィールド」で行われ、状況に対応する

# 筋収縮と3つのエネルギー供給系

表 1.2 エネルギー供給系とスポーツ種目との関係

運動時間	主たるエネルギー供給系	スポーツ種目の例
30秒以内	ATP-PCr系	砲丸投げ, 100~200m走, 盗塁, ゴルフやテニスのスイング, 50m競泳, フットボールのランニングプレイ, サッカーのゴールキーパー
30秒~1分30秒	ATP-PCr系と解糖系	400m走, 500~1,000mスピードスケート, 100m競泳
1分30秒~3分	解糖系と有酸素系	800m走, 200m競泳, 体操種目, ボクシング, レスリング
3分以上	有酸素系	球技系種目, マラソン, 1,500~10,000m走, 400~1,500m競泳, クロスカントリースキー, 自転車ロードレース, トライアスロン

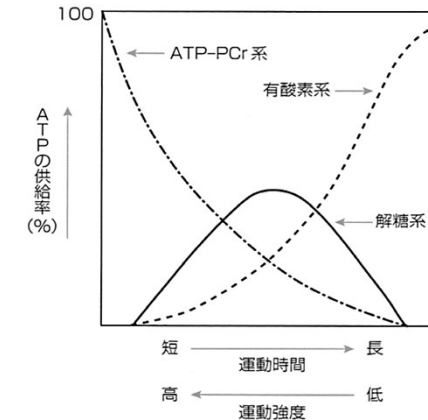


図 1.14 運動時間とエネルギー供給系の関係 (Fox, 1982) 運動強度が高く運動の継続時間が短い時は, ATPは主としてATP-PCr系から供給される。運動時間が長くなるにつれ, 有酸素系の関与が大きくなる。

クレアチンリン酸(ATP-PCr)系

クレアチンからリン酸基の遊離

解糖系

筋グリコーゲンからの無酸素性解糖

+ 乳酸性生成

有酸素系

細胞内ミトコンドリアでのエネルギー生産

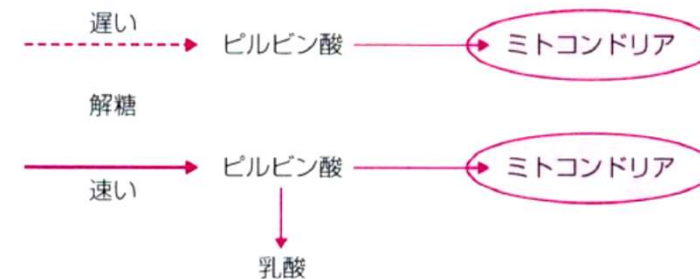


図 1.12 解糖系による乳酸の生成  
解糖系の反応が速いと, ピルビン酸の一部は乳酸に変換される。

# 筋線維の種類とその特徴

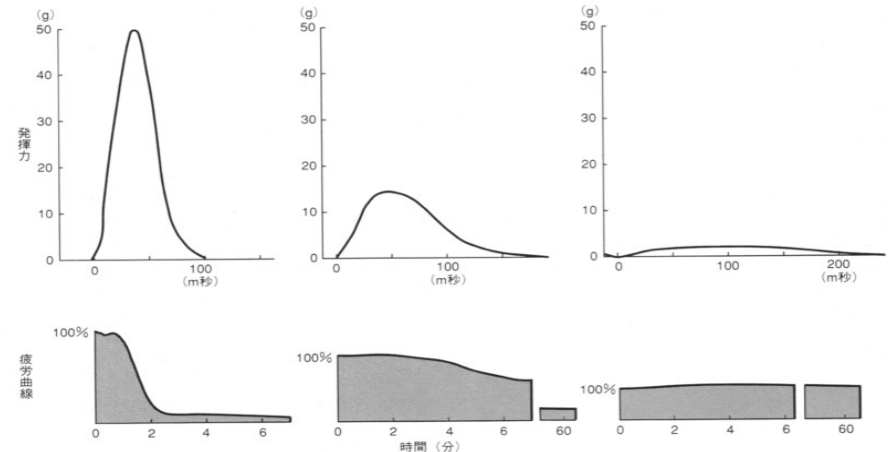
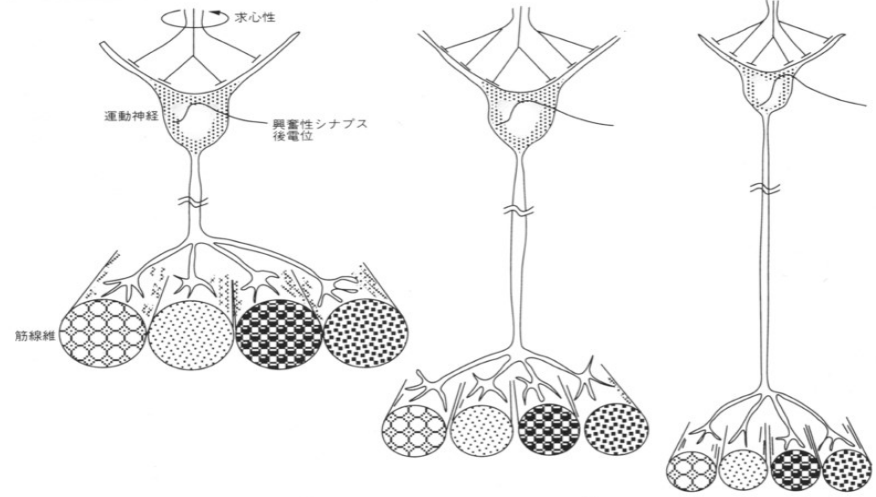
- 筋線維の種類は3種類
  - 2つの「速筋系」と「遅筋系」
  - Type II a,b と Type I
  - FTa, FTb と ST
  - Tは収縮: Twitch
  - FG、FOG と SO
  - Gは解糖能: Glycolysis
  - Oは酸化能: Oxidative

表 2.1 筋線維の分類と特性

	筋線維				
	ST type I		FTa type II a		FTb type II b
収縮速度	遅い	《	速い	=	速い
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

》は大きな差異があることを, >は差異があることを, =はほとんど差異がないことを示す。

運動単位のタイプ	FF	FR	S
筋線維のタイプ	FG	FOG	SO



運動単位は、その短縮特性から以下の3タイプに分類できる。

- FF (速い短縮で疲労しやすい)
- FR (速い短縮で疲労しにくい)
- S (遅い短縮)

この短縮特性と各筋線維の組織化学的特性の間には対応関係がある。

- FF → FG (速い短縮で解糖)
- FR → FOG (速い短縮で酸化と解糖)
- S → SO (遅い短縮で酸化)

図5-3 運動単位のタイプと活動特性 (バークとエジャートン、1975年 一部改変)

## 三種類の筋線維

FG: スーパー速筋  
 FOG: トレーニングでFGへ  
 SO: 長距離選手の腓腹筋では80%を占める

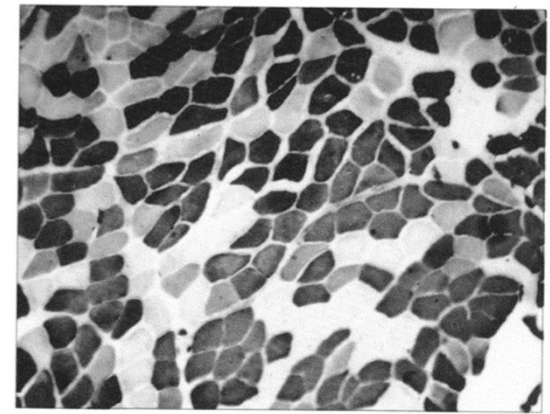


写真5-2 筋線維の分布 (武藤ら、1983年)  
 黒くみえるのは遅筋線維 (タイプI)、白っぽくみえるのは速筋線維 (タイプII aとII b)。

# 実は筋ごとに筋線維組成が異なる

各関節ごとの動作（役割）の違い  
各個人ごとの筋組成の違い  
「ヒラメ筋」は何故共通性が高いのか？

スキルを支える  
速筋系線維

⇒ 主要な張力発揮と運動方向を決定？

遅筋系線維

⇒ 補完的張力発揮とミトコンドリアによる乳酸利用？

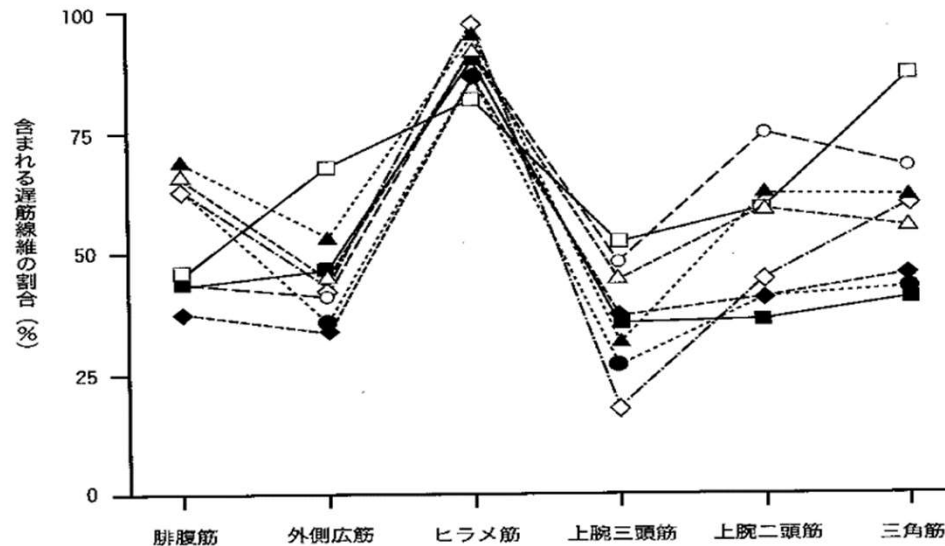


図 4-11 ヒト骨格筋の筋線維組成

# 3 × 3システムによる動作の発現

筋線維間 ⇒ 動きを作り出すシステム

筋線維内 ⇒ エネルギーを作り出すシステム

		動きをつくり出すシステム		
		Type I	Type II a	Type II b
エネルギーをつくり出すシステム	ATP-PCr系	△	○	◎
	解糖系	○	◎	◎
	有酸素系	◎	○	△

定本ら(1987年)の図を山崎が改変

筋線維組成は遺伝子で決まる？

金メダル選手に遺伝子検査

グラスゴー大学

ヤニス・ピツラディス 教授



# 運動に関わる遺伝子



“金メダル遺伝子”  
どう生かす

# 検査される遺伝子

- NR3C1: ジャンプ力に関与(垂直跳び型?)
- IGF2: 筋の萎縮を抑える
- IL15RA: 筋の再生を促す
- ACTN3:  $\alpha$ アクチニン3の発現に関与?

## その他

- ACE: 血圧調整に関与?
  - PPARGC1A: PGC-1 $\alpha$ タンパク質のミトコンドリアでの増殖に関与?
- 持久性トレーニングへのスーパーレスポonderとノンレスポonder

# 筋組成と遺伝子検査：金メダル遺伝子を探る

先天因子(遺伝)  
後天因子(トレーニング)

**朝原宣治選手の遺伝子検査結果**

**顕発系運動能力に関連した遺伝子**

遺伝子名	機能	表現型詳細	表現型に関連した多型	判定	スコア
1 IL15	筋再生	1回最大上重量	TT/TA	TA	2
2 CNTF	神経栄養因子	ピークトルク(筋力)	GG/GA	GA	2
3 FST	筋の成長促進	除脂肪体重(筋量)	Group 1 (ハプロタイプ)	Group 1	2
4 IGF2	筋成長	除脂肪体重(筋量)	GG/GA	GG	2
5 IL15RA	筋再生	筋量	AA	AA	2
6 IL15RA	筋再生	筋量	AA/AC	AA	2
7 TNF	蛋白の異化作用	筋の筋量	TT	TT	2
8 NR3C1	蛋白の異化作用	ジャンプ力	TT/CT	CC	0
9 CNTFR	神経栄養因子	除脂肪体重(筋量)	TT/TC	TC	2
10 PPARA	エネルギー代謝	筋力	CC	GG	0
11 ACTN3	筋構造の維持	スプリント能力	CC/CT (RR/RX)	CC	2

**顕発系合計スコア 18**

# 筋線維組成と運動種目

## 筋線維組成と遺伝

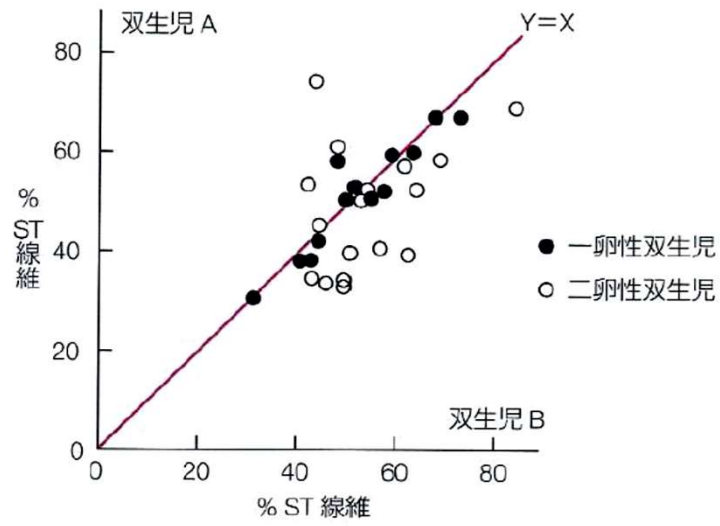


図 2.5 一卵性双生児と二卵性双生児のペア間の筋線維組成 (Komi と Karlsson, 1979)  
 二卵性双生児と比べ一卵性双生児の方が、ペア間の筋線維組成は似通っている。

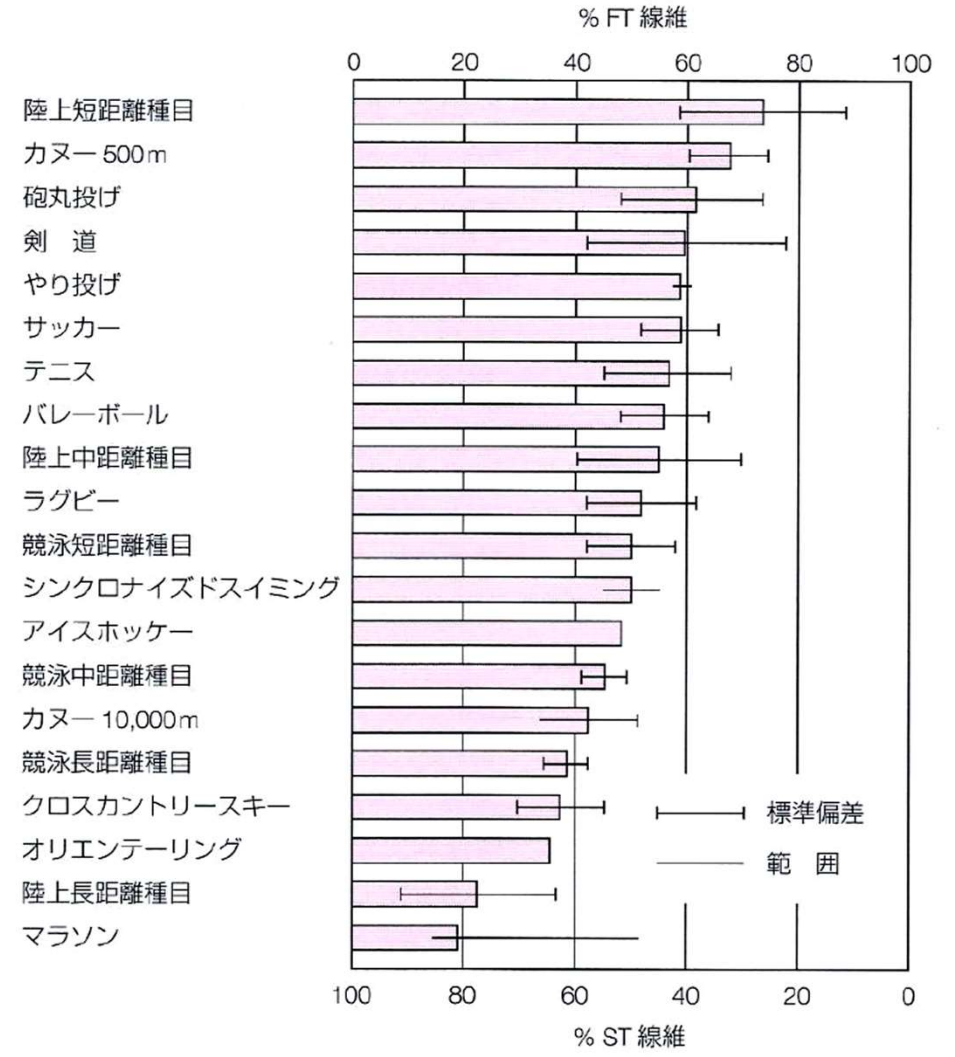


図 2.4 一流の競技スポーツ選手の筋線維組成  
 大部分の一流スポーツ選手の筋では、各々のスポーツ種目の競技特性に応じた筋線維組成が認められる。



# 筋線維組成の推定

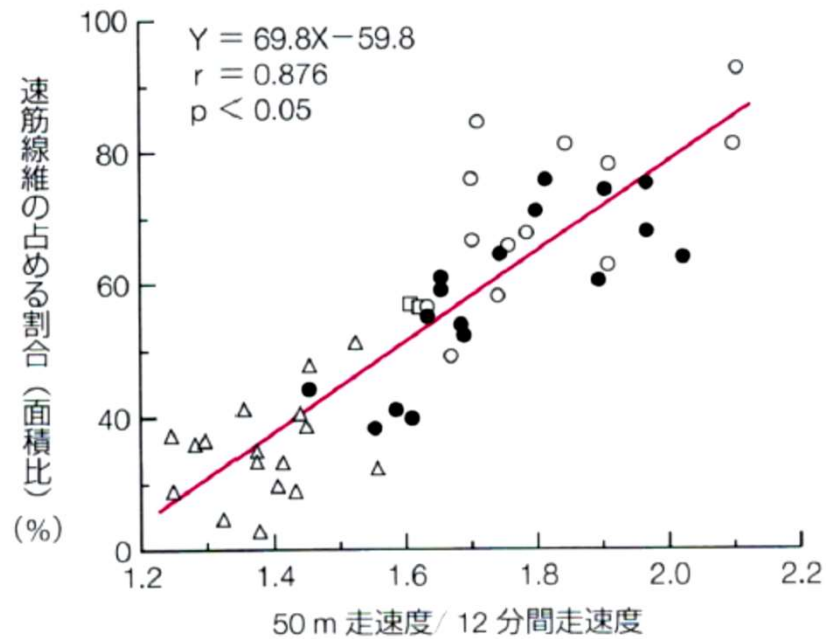


図 2.9 50m 走および 12 分間走の速度比と筋線維組成の関係 (勝田ら, 1989)  
 ○: スプリンター, △: 長距離ランナー, □: 球技選手, ●: 非運動選手.

50m走

6~8秒程度の継続時間

12分間走

最大酸素摂取量(持久力の指標)と関連が深い

50mの秒速

Vs 12分間走の秒速

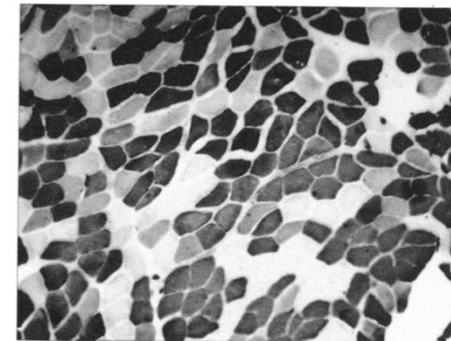


写真 5-2 筋線維の分布 (武藤ら, 1983年)  
 黒くみえるのは遅筋線維 (タイプ I)、白っぽくみえるのは速筋線維 (タイプ II a と II b)。

# 遺伝的要因とトレーニング

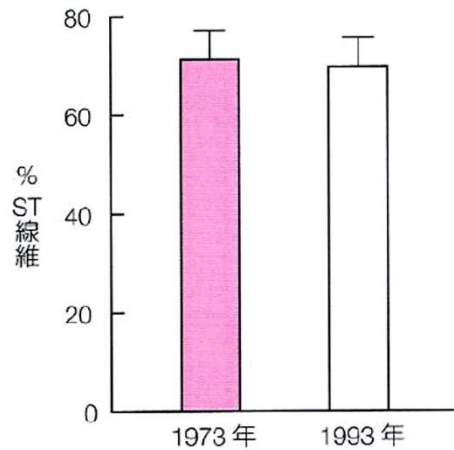


図 2.6 20年間持久性トレーニングを継続した陸上競技者の筋線維組成 (Trappe ら, 1995)

11人の競技者が20年間(1973年から1993年まで)トレーニングを継続して行ったが、下肢の腓腹筋のST線維の割合は変化しなかった。

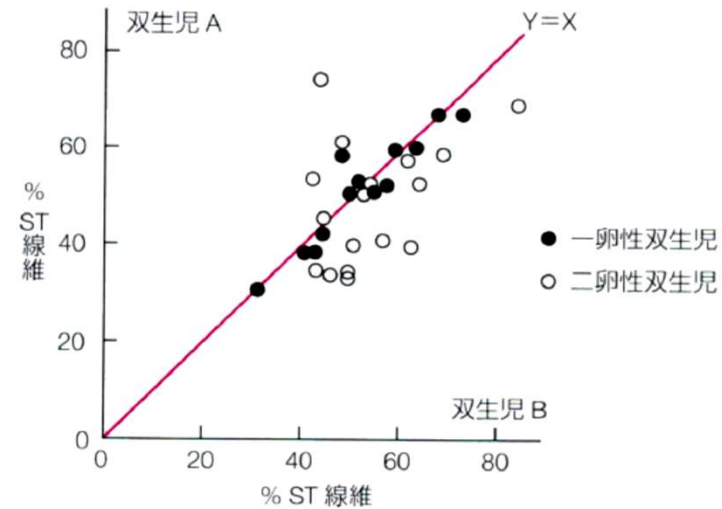


図 2.5 一卵性双生児と二卵性双生児のペア間の筋線維組成 (Komi と Karlsson, 1979)

二卵性双生児と比べ一卵性双生児の方が、ペア間の筋線維組成は似通っている。

# トレーニングによる筋線維組成の変化

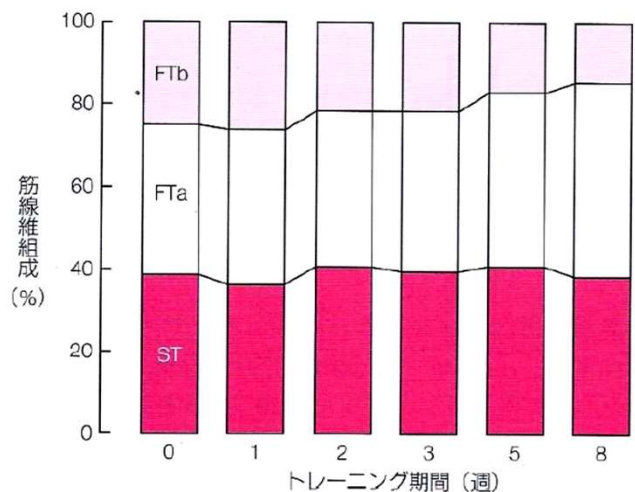


図 2.7 持久性トレーニングによる筋線維組成の変化 (Andersen と Henriksson, 1977 を改変)  
トレーニングの結果、FTb 線維が減少し FTa 線維が増加した。これは FTb 線維から FTa 線維へのタイプ移行が起こったためである。



図 2.8 トレーニングによる筋線維のタイプ移行

トレーニングを行うと、FTb 線維のいくつかは、FTa 線維へのタイプ移行が起きる。しかし、トレーニングを中止すると、再び FTb 線維へ戻ってしまう。

# 速筋線維の優先的肥大？

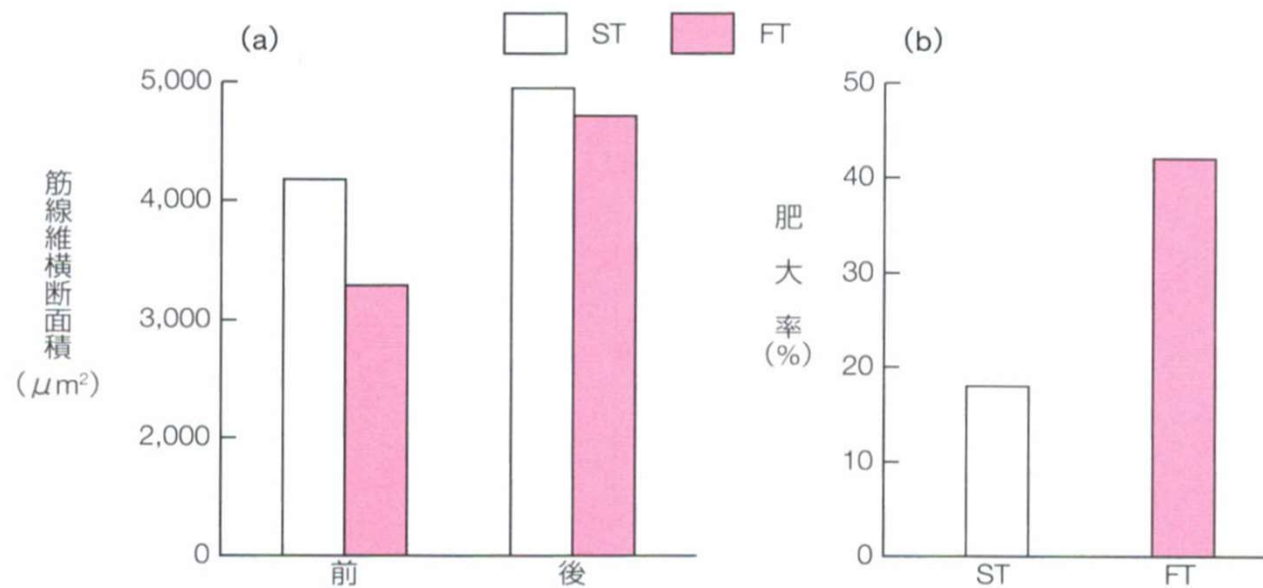


図 4.11 ウェイトトレーニングによる筋線維横断面積の変化 (Staron ら, 1991 を改変)  
20 週間のウェイトトレーニングを行った結果, ST 線維と FT 線維の両方に肥大が起こった (a).  
しかし, その肥大率は, FT 線維の方が大きい (b).



# トレーニングの効果(筋力増加)

- 神経系の改善(初期)
- 筋線維自体の肥大

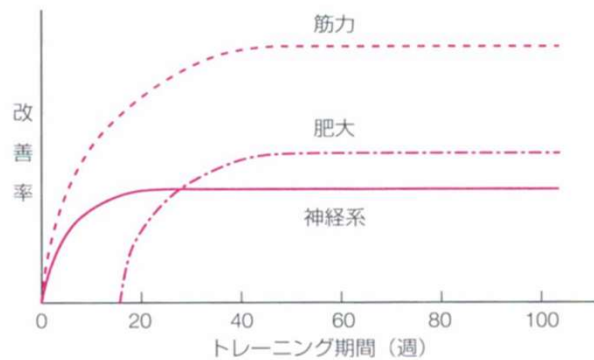


図 4.9 筋力トレーニングによる神経・筋の変化 (Wilmore と Costill, 1994)  
筋力トレーニングを開始して初期のころの筋力の増加は、神経系が改善されることに原因がある。それに対して、長期にわたるトレーニングでは、筋が肥大することによって筋力は増す。

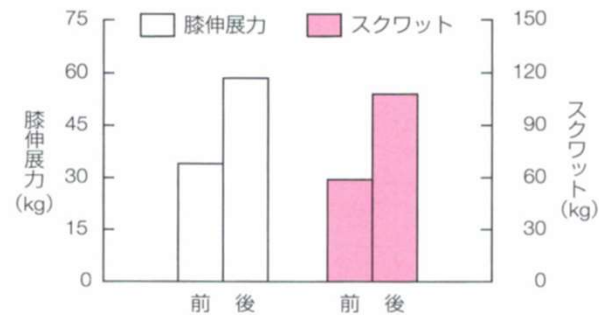


図 4.7 ウェイトトレーニングによる筋力の変化 (Staron ら, 1991 を改変)  
20 週間ウェイトトレーニングを行った結果、80%以上も筋力が増加した。

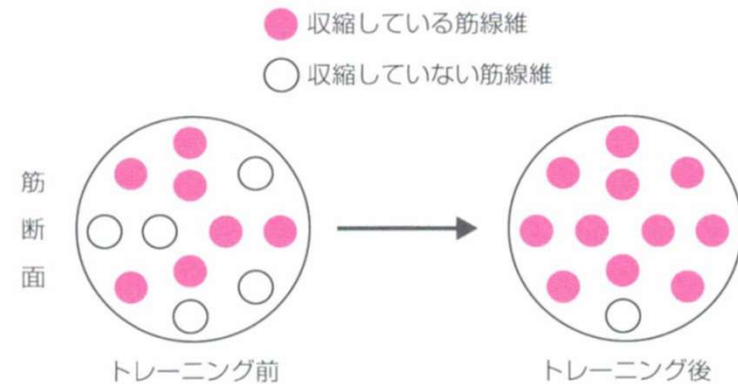


図 4.10 新たな筋線維の動員 (山田と福永, 1996)

## ネコでは筋線維数の増加も・・・

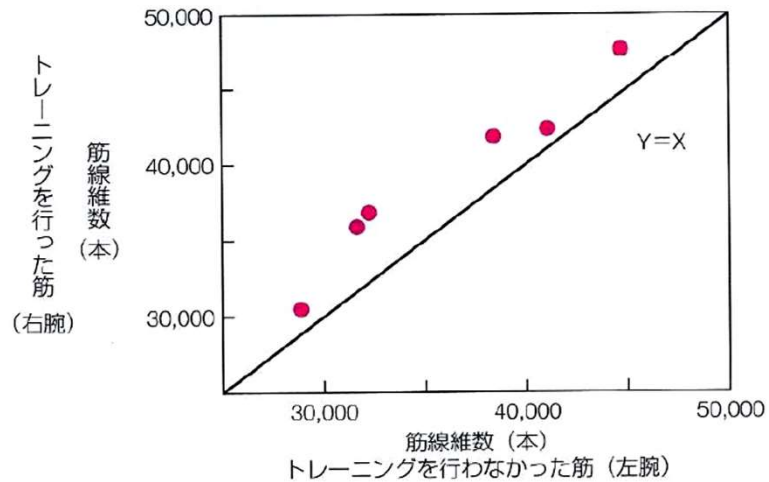


図 4.14 ウェイトトレーニングによる筋線維数の変化 (Gonyea ら, 1986)  
ネコにウェイトトレーニングを 101 週間行わせたところ、数%の筋線維数の増加が起  
こった。

## ところが加齢性の変容も・・・

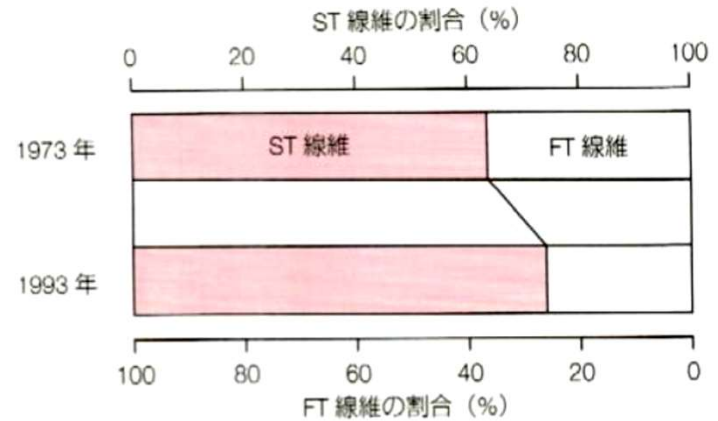


図 4.3 加齢に伴う筋線維組成の変化 (Trappe ら, 1995 を改変)  
28 人について、20 年間の間隔をおいて腓腹筋の筋線維組成を調べたところ、20 年間で約 8%遅筋 (ST) 線維の割合が増加していることが認められた。

トレーニングの再開で...

朝原引退から10年  
衰えた体と向き合う

大会まで2か月半

# 遺伝的要因と環境的要因？

- どちらが決定的か？
- 3億を超える塩基 (AGCT) から構成される全ゲノム
- 実は“遺伝子”とされるものはわずか2%のエクソン？  
残り98%は“ジャンクDNA”？
- 最近の研究では28%の“イントロン”にも関連した役割が・・・  
タンパク質発現の順序や発現量の制御にも関与？
- さらに“プロモーター”と“エンハンサー”にも何らかの情報が？  
過去の情報や未利用の要因？
- そして後天的“遺伝子スイッチ”の存在が検討されている



# DNAスイッチで運命が変わる？

運命を変える"DNAスイッチ"  
「がん撃退」「記憶のUP」

今や5日で一人のDNAのスイッチの状態を  
全て読み取れるようになったのです



驚き! 体内のミクロの世界  
"運命を変えるスイッチ"

北任子

# エピジェネティック(後成遺伝学)ということ

一卵性双生児の運命を分けたものは何か？

遺伝子転写を装飾(促進や阻害)するシステム

**メチル化**: DNAメチル化酵素がメチル基をマーク

そこにメチル化関連たんぱく質が付着してゲノム構造形態を変える

⇒ RNAポリメラーゼによっての読み取りが困難となる

アザスチジンがDNAメチル化酵素の働きを抑制する

**ヒストン置換**: DNAはヒストンタンパク4個に1.75回巻き付く

ヌクレオソーム(4個のヒストン)が「クロマチン構造」を構成

⇒ 食事や運動によりクロマチン構造が再生(DNAスイッチ)

# 獲得形質は遺伝する？

- 受け継がれる“DNAスイッチ”  
スウェーデン北部のエベルカーリスク村(独立集団)  
40～50歳で心筋梗塞や糖尿病での死因が急増？  
⇒ 祖父の代が10年に1度の豊作(1870)による飽食を経験
- 肥満男性と痩身男性の“DNAスイッチ”に9081個の差  
脳:「脳由来神経成長因子」「神経ペプチド遺伝子」  
代謝:「FTO遺伝子(脂肪量や代謝と関連)」  
⇒ 環境からの影響を臨機応変に受け入れる？
- “精子トレーニング”が生まれてくる子どもの運命を変える？  
(コペンハーゲン大学バレス博士)



やはり「運動」「栄養」「休養」  
が大きなインパクト？