## 疲労と疲労感

- 疲労研究の困難さ (ノーベル賞級の課題)
- 疲労と疲労のマスキング
  - 「自覚されない」または「自覚しようとしない」?
  - 「オーバートレーニング」と「過労死」?
  - 危険な「ドリンク(抗酸化剤)」?
    - ⇒ 多臓器での「個別の疲労状態」を錯乱する? (リン酸化e I F 2 αの変動レベルがバラバラ)
- 肉体的疲労(ストレス)と精神的疲労(ストレス)



# 第8章 筋疲労の要因

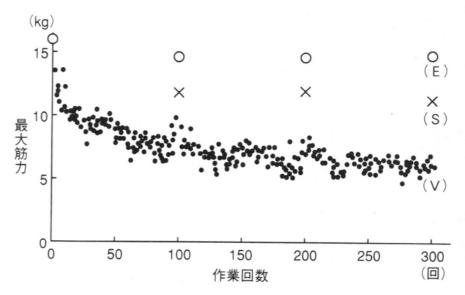


図4-7 筋活動中の心理的限界と生理的限界(猪

飼・矢部, 1971年)

○ (E): 電気刺激による最大筋力

× (S): 自発的なかけ声とともに発揮した意志によ

る最大筋力

● (V): 意志による最大筋力

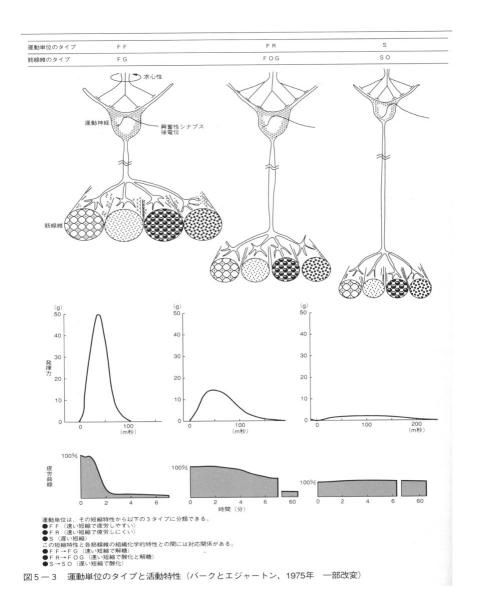
● 筋出力は低下する

しかし

○ 電気刺激をする出力はあまり 低下していない

× かけ声でやや出力が上昇する

ということは「脳が止めている」 (中枢性抑制)



## 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

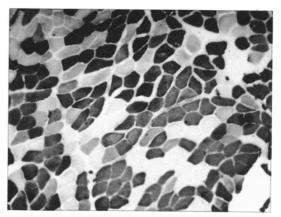


写真5-2 筋線維の分布 (武藤ら、1983年) 黒くみえるのは遅筋線維(タイプI)、白っぽくみえる のは速筋線維(タイプI a とI b)。

# 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 | Туре ІІ а | Туре ІІ в |
|-------------------------|----------|--------|-----------|-----------|
| エネルギーを<br>つくり出すシ<br>ステム | ATP-PCr系 | Δ      | 0         | 0         |
|                         | 解糖系      | 0      |           |           |
|                         | 有酸素系     |        | 0         | Δ         |

定本ら(1987年)の図を山崎が改変



# 筋疲労の要因(1)

神経情報の伝導・伝達における変化

a:運動神経細胞(興奮性低下)

b:神経筋接合部の伝達効率低下

c:筋鞘とT管での伝導機能の低下

(次スライド).

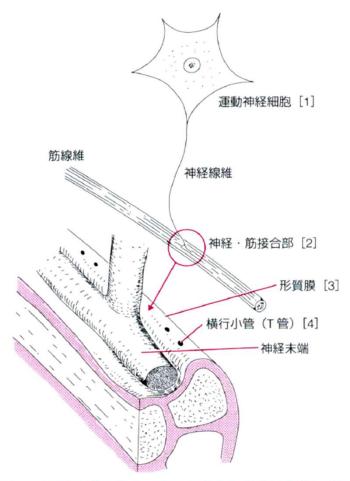
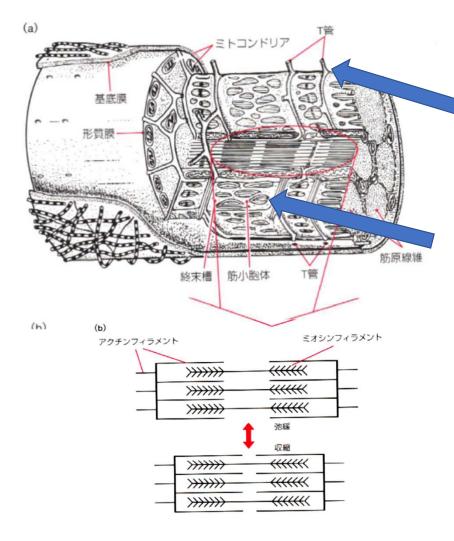


図8.1 神経情報の伝導・伝達において機能低下の起こる部位



#### カルシウムイオンチャンネル

リン酸基(Pi)と筋小胞体内のCa<sup>2+</sup> との結合

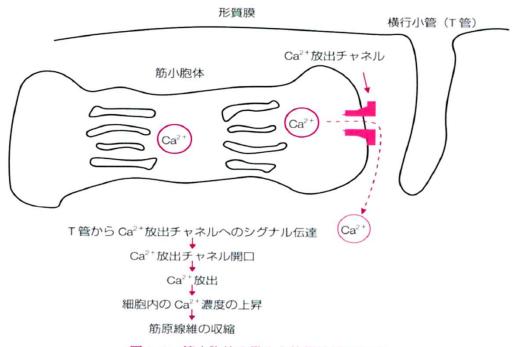


図8.3 筋小胞体の働きと筋原線維の収縮

# 筋疲労の要因(2)

• 筋線維内部における変化

a:ATP(原理的には無くならない)?

b:乳酸性の水素イオン濃度(pH)低下?

c:無機リン酸濃度(筋小胞体)

(クレアチンリン酸系のリン酸基)

d:筋グリコーゲン枯渇

e:活性酸素種



#### 図 8.7 筋細胞内での活性酸素種の生成経路

筋細胞内で発生するおもな活性酸素種としては、スーパーオキシド、過酸化水素およびヒドロキシルラジカルがあげられる、括弧中の数字は、それぞれの化合物が、発生から消滅するまでの時間である。

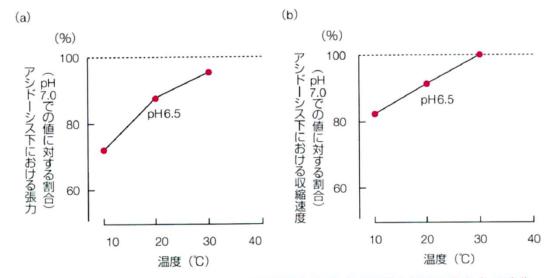


図 8.2 アシドーシス条件下 (pH6.5) における張力 (a) および最大収縮速度 (b) の変化 (Westerblad ら, 2002 を改変)

↑ アシドーシス (酸性度の上昇と筋温)10℃では違うが常温ではあまり差がない?(乳酸が "犯人説" は間違い・・)

カルシウムイオン濃度の低下 ⇒ 収縮過程の低下?

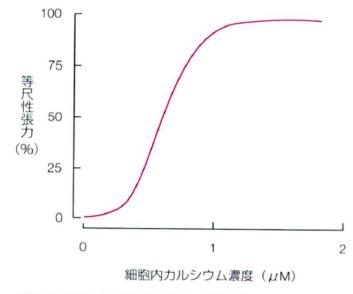


図8.4 細胞内カルシウム濃度と張力の関係(Allenら, 2008を改変)

## 筋グリコーゲン量とグリコーゲンローディング

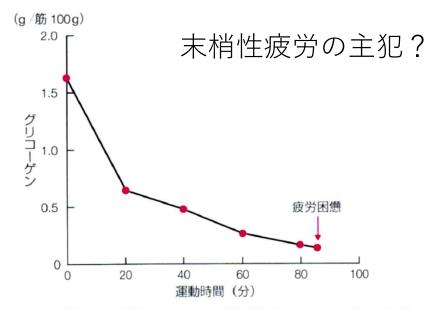


図 8.5 持久的運動に伴う筋グリコーゲンの変化 (Hermansen ら, 1967)

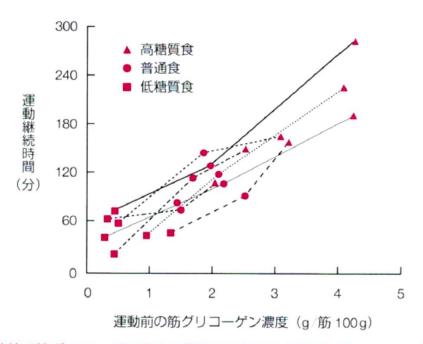


図 8.6 運動前の筋グリコーゲン濃度と運動継続時間との関係 (Bergström ら, 1967)





# 末梢性疲労と中枢性疲労

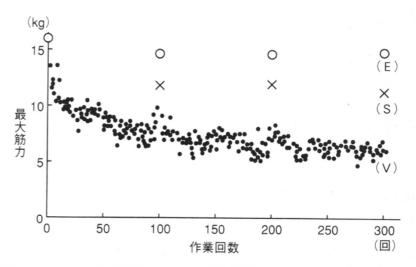


図4-7 筋活動中の心理的限界と生理的限界(猪

飼・矢部,1971年)

○ (E): 電気刺激による最大筋力

× (S): 自発的なかけ声とともに発揮した意志によ

る最大筋力

● (V): 意志による最大筋力

電気刺激では筋力が低下しない ⇒末梢では疲労していない

随意運動では筋力低下する ⇒中枢性の疲労(抑制)

掛け声効果 ⇒ 脱抑制

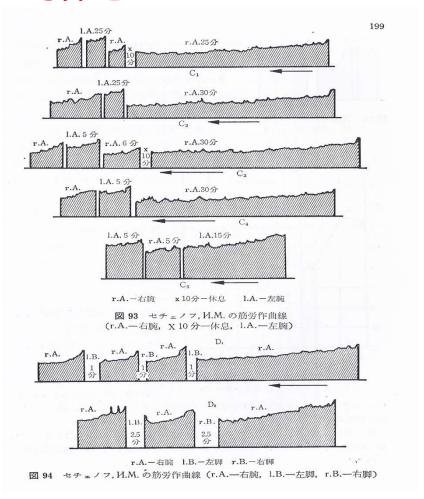
※ ストレッチング、マッサージ アイシング、PNF 等 何でも起こる現象?

## セーチェノフの"積極的休息"

大脳皮質での興奮と抑制過程の同時的及 び相互的誘導現象

"長い単調な運動は中枢神経系に疲労の増大をもたらし、運動感覚は失われる。運動を交替したり、諸運動の相互関係をよくみて、正しい一貫性のある運動を選択することにより、大脳皮質における運動能力の高い水準を確保することができる。"

クレストフニコフ、スポーツの生理学 (ロシア語版1951年、邦訳1978年)



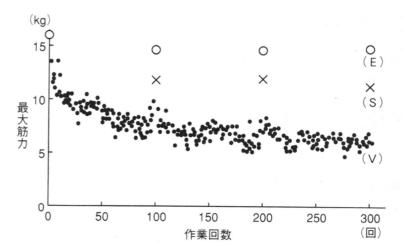


図4-7 筋活動中の心理的限界と生理的限界(猪飼・矢部,1971年)

○ (E): 電気刺激による最大筋力

× (S): 自発的なかけ声とともに発揮した意志によ

る最大筋力

● (V): 意志による最大筋力

#### 中枢性抑制の"脱抑制"効果

#### 3×3システムの意味するもの (速筋線維ほど抑制を受けやすい?)

#### 動きをつくり出すシステム

|                     |          | Туре I | Туре II а | Type II d/x |
|---------------------|----------|--------|-----------|-------------|
| エネルギーをつく<br>り出すシステム | ATP-PCr系 | Δ      | 0         | 0           |
|                     | 解糖系      | 0      | 0         | 0           |
|                     | 有酸素系     | 0      | 0         | Δ           |

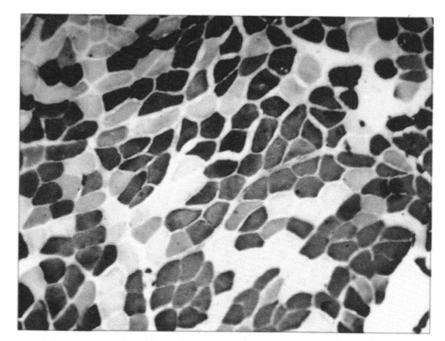
## 生体情報の高速フーリエ変換

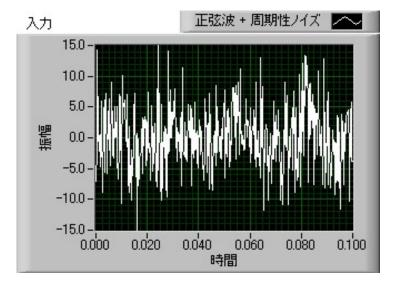
筋肉の活動様式を周波数から解析する 速筋系筋線維の収縮:

80~100Hz(高速連続収縮)

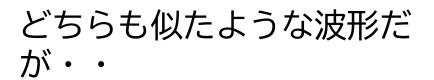
遅筋系筋線維の収縮:

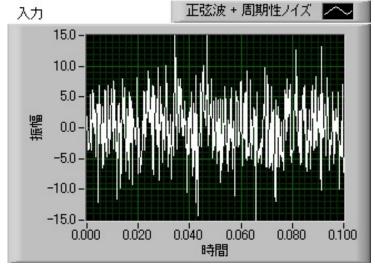
30~40Hz(低速連速収縮)





## 筋電図のシミュレーション





# 結果 正弦波 + 周期性ノイズ (パワースペクトル) 2.5 2.0 二 二 1.0 0.5 0.0 0 25 50 75 100 125 150 175 200 周波数

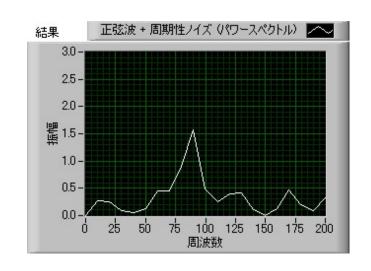
## 40Hzにピークパワーがある (遅い成分が優位)

・・持久性の収縮だった

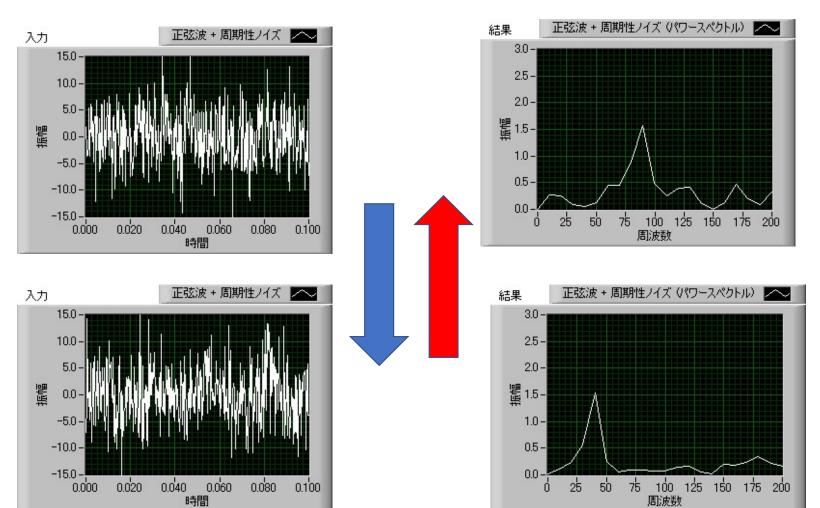
(HZ:1秒間の活動数)

## 90Hzにピークパワーがある (速い成分が優位)

・・ 瞬発性の収縮だった



### 筋疲労の進行は平均収縮周波数(MPF)の低下をまねく



## 疲労と疲労感

- 疲労研究の困難さ (ノーベル賞級の課題)
- 疲労と疲労のマスキング
  - 「自覚されない」または「自覚しようとしない」?
  - 「オーバートレーニング」と「過労死」?
  - 危険な「ドリンク(抗酸化剤)」?
    - ⇒ 多臓器での「個別の疲労状態」を錯乱する? (リン酸化e I F 2 αの変動レベルがバラバラ)
- 肉体的疲労(ストレス)と精神的疲労(ストレス)