

# 10. 筋メカニクス

# 1. 筋の種類

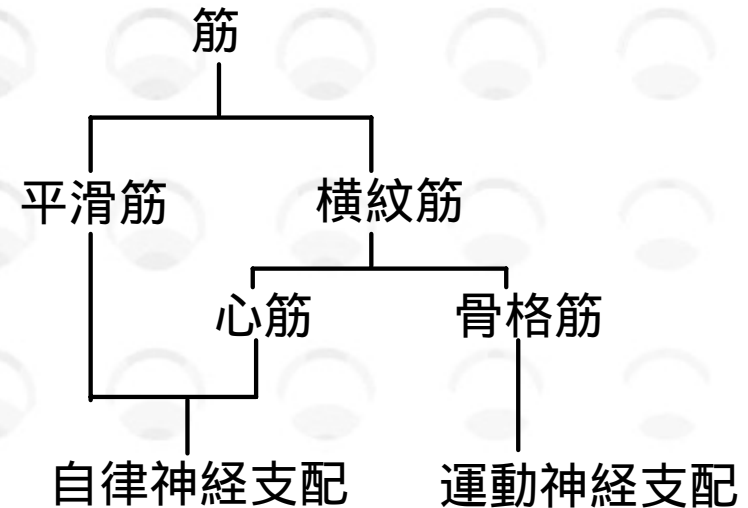
筋は存在する場所, 機能によって大きく3分類できる

## 骨格筋

- ・数千の細長い筋線維の集合体.
- ・骨格, 腱に付着し, 身体を細長く, 動きやすい形態にしている.
- ・体重に占める割合は, 40 ~ 50% .
- ・運動神経支配下, 意志で制御可.
- ・外見の規則的な横紋模様から横紋筋とも呼ばれる.

## 心筋

- ・ 心臓に存在.
- ・ 自律神経支配下. 意志による制御不可. 自動収縮を行う.
- ・ 骨格筋と同様,横紋筋である.



## 平滑筋

- ・ 血管壁,胃,腸,膀胱,子宮などの内臓に存在.
- ・ 自律神経支配下. 意志による制御不可.
- ・ 外見は平滑. 横紋模様はない.

～ バイオメカニクスは骨格筋が研究対象 ～

# 2.骨格筋の役割

## 動力源

- ・ 化学的エネルギーを消費して**力学的エネルギー**を産出.

## 運動作用

- ・ 筋収縮によって,筋が付着する骨が**移動・関節の屈曲・伸展**などが可能.

## 熱源作用

- ・ 筋収縮に使用されるエネルギーの**75%以上が熱**として放出.  
この熱が体温を上昇させる.

## 力学的ストレスからの保護

- ・ 打撃などの**衝撃を吸収**し,骨や内臓を保護.

## ポンプ作用

- ・ 筋が収縮と弛緩を繰り返すことで,**循環系の還流を促進**.

# 3.骨格筋の形状による分類

起始(腱),筋頭,筋腹,筋尾,停止(腱)から構成.

骨格筋は形状によって2分類できる.

縦走筋(longitudinal muscle)

筋線維が**直線的**に配列する筋の総称.

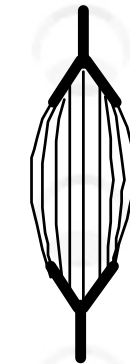
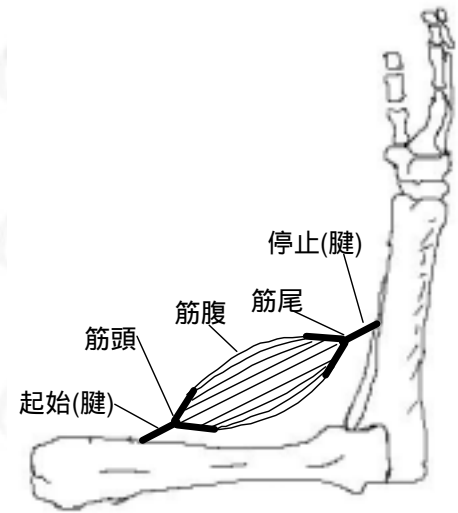
代表的な筋は紡錘状筋, 平行筋.

紡錘状筋

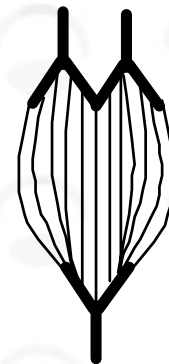
- 筋の基本形状. 中央が膨らみ, 両端が細い.
- 筋頭が複数存在する時, **多筋頭**と呼ぶ.
- 筋腹が腱で分かれるとき, **多腹筋**と呼ぶ.

平行筋

- 筋が**長軸方向**に対して**平行**に配列.
- 筋長が長い.



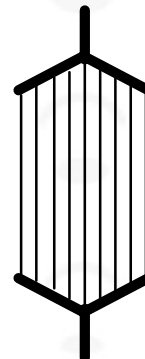
紡錘状筋



二頭筋



二腹筋



平行筋

## 羽状筋 (pennate muscle)

筋中央(腱膜)に向かって、筋線維が斜めに集まる鳥の羽のような筋。  
代表的な筋は単羽状筋、両羽状筋、多羽状筋。

### 単羽状筋

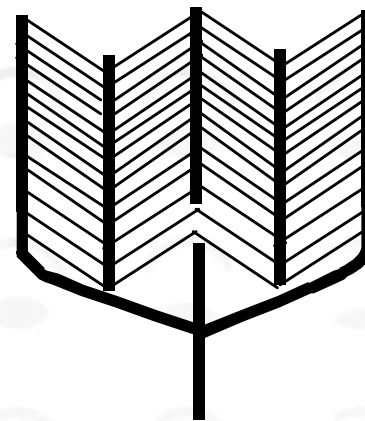
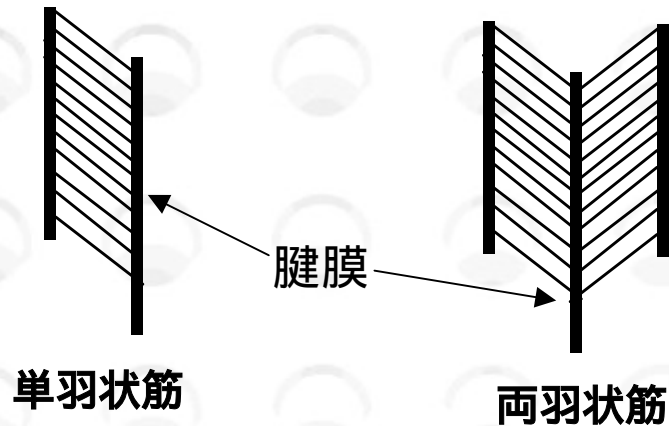
- 斜走する筋が片側のみにある筋。

### 両羽状筋

- 斜走する筋が両側にある筋。

### 多羽状筋

- 多くの筋が横に並び、一つの筋を作る。



多羽状筋

# 4. 骨格筋の運動作用による分類

## 主動筋 (mover agonist)

- 筋収縮によって**関節運動を起こす筋**.
- 1つの筋が複数の運動の動筋になる場合もある.

## 拮抗筋 (antagonist)

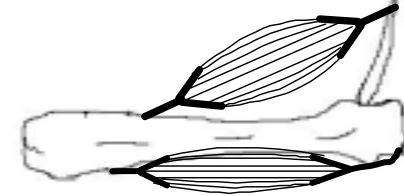
- 主動筋が関与する関節の反対側に位置する.
- 関節に対して、**動筋と逆の働き**をする.
- 動筋によって生じる**運動の速さ、強度を調節**.

例: 肘関節屈曲時: 上腕二頭筋 主動筋  
上腕三頭筋 拮抗筋

## 固定筋 (fixator), 安定筋 (stabilizer)

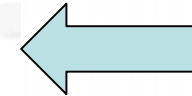
- 静止収縮によって、骨と骨を固定し、**骨格を形成**.

上腕二頭筋(主動筋)

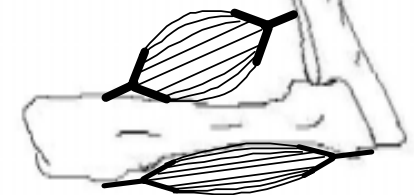


上腕三頭筋(拮抗筋)

屈曲



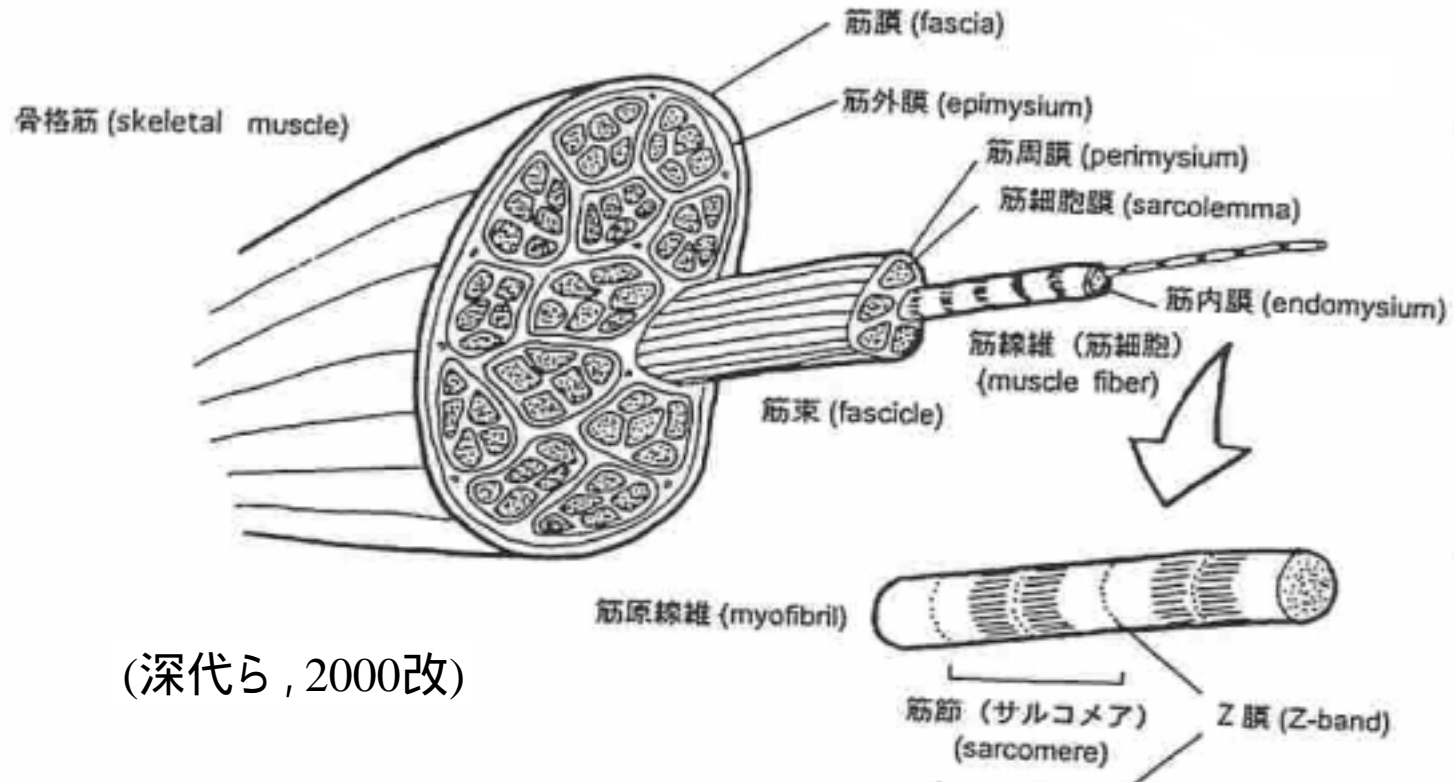
収縮



弛緩

# 5. 骨格筋のマクロ構造

骨格筋 筋束 筋線維 筋原線維 サルコメア(筋節)  
から成る線維状の階層構造で構成されている。



(深代ら, 2000改)

~ サルコメアは筋収縮の最小単位 ~



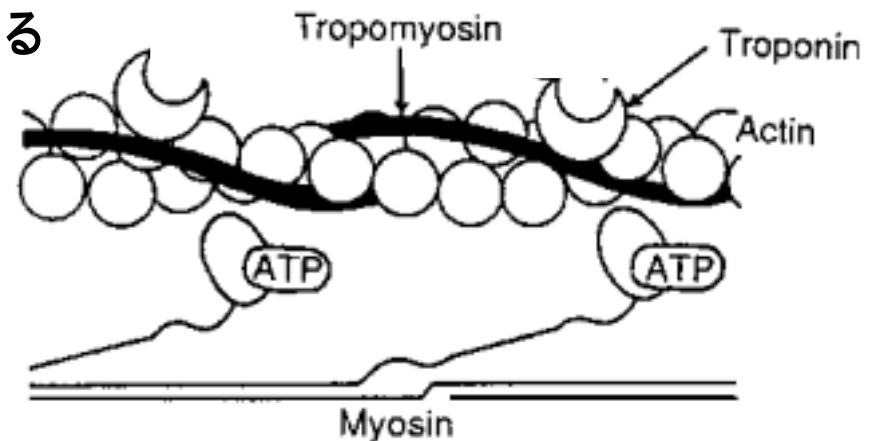
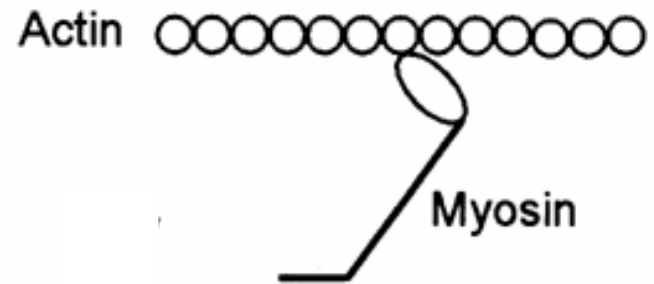
# 6. 骨格筋のミクロ構造

サルコメアはZ膜という膜で仕切られている。  
Z膜内には**ミオシン**と**アクチン**という、  
**2種のタンパク質**が存在。

ミオシンは**ミオシンフィラメント**を構成、  
アクチンは**アクチンフィラメント**を構成。

筋収縮は、両フィラメントの**相互作用**  
によって発生する。

この相互作用は、**ATP分解**によって生じる  
エネルギーによって起こる。



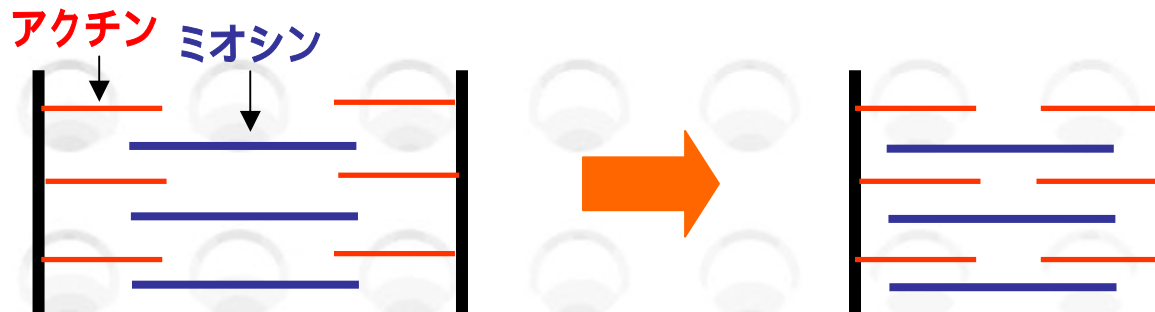
(ENOKA, 1996改)

# 7.筋収縮のメカニクス

筋収縮力発生の原理は、「**フィラメント滑走説**」によって説明できる。

「フィラメント滑走説」

- ・ **アクチン**が**ミオシン**の中央部に引き込まれるように滑り込む。
- ・ 滑り込みによって、架橋部(両フィラメントが重なる部分)で摩擦力が発生。  
この摩擦力によって筋収縮の張力が発生。



筋収縮力は サルコメア長(架橋長), サルコメアの収縮速度で変化する。  
を「**力 - 長さ関係**」, を「**力 - 速度関係**」と呼ぶ。

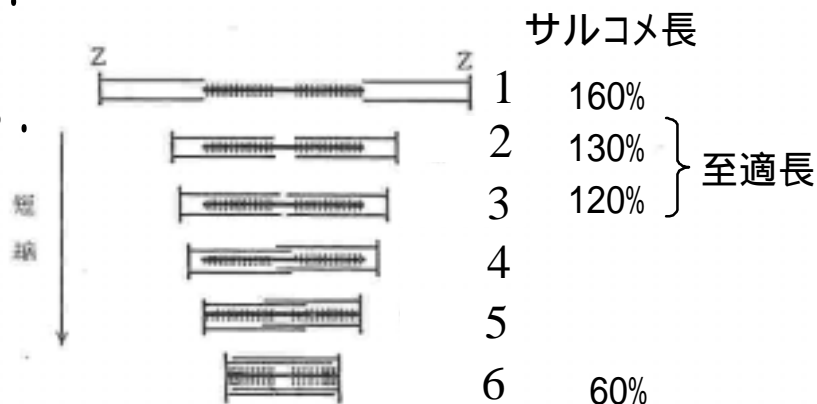
# 7.-1 力 - 長さ関係

筋・筋線維・サルコメア長と筋張力の関係.

筋の自然長(リラックス状態)を100%とする.

筋が120 ~ 130%に伸張時: 発揮張力最大

至適長( $L_0$ : 2 ~ 3)という.



至適長からサルコメア長を徐々に伸張

架橋部の減少

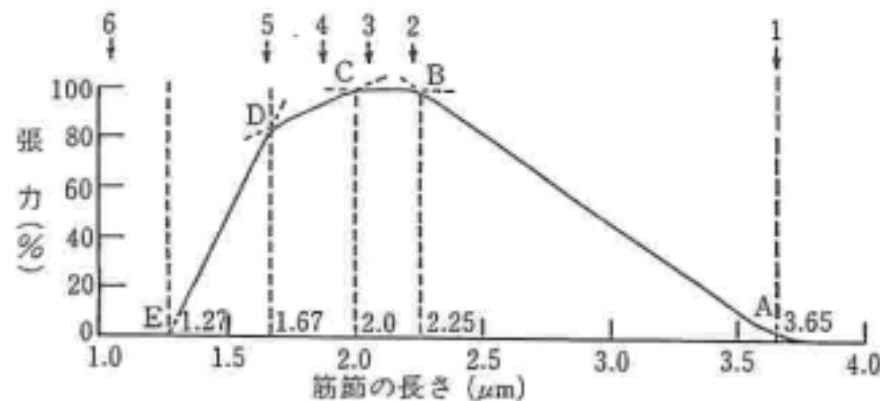
筋張力も直線的に減少(下行脚: 2 ~ 1)

至適長からサルコメア長を徐々に収縮

架橋部の増加

筋張力も減少(上行脚: 3 ~ 6)

収縮しすぎるとアクチン同士が重なり合い,  
アクチンとミオシンの架橋部が減少.



(Gordon, Huxley and Julian, 1966改)

## 7.-2 力 - 速度関係

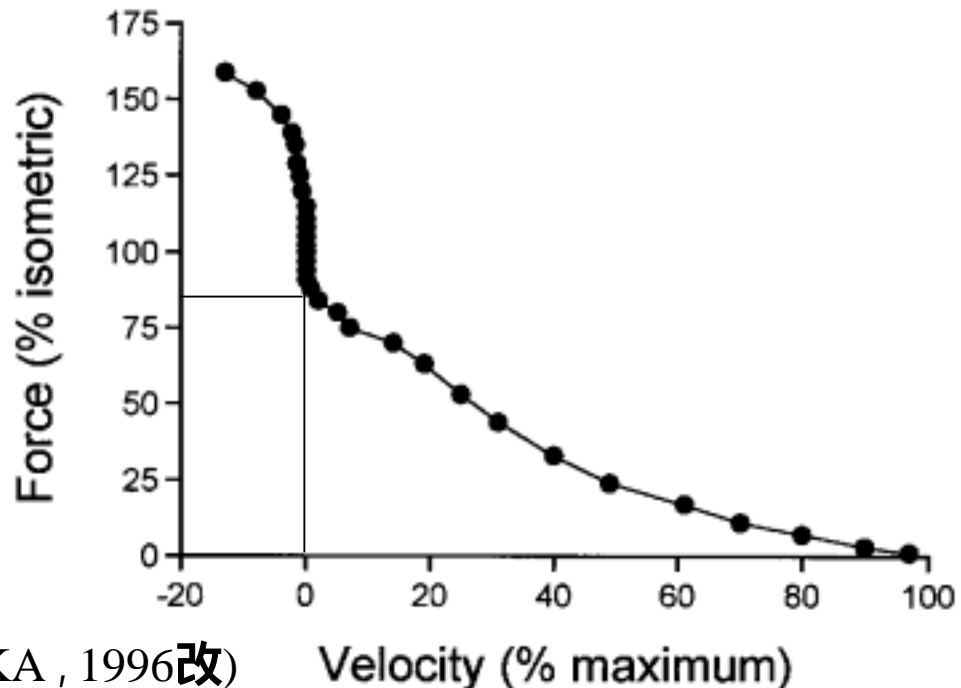
筋・筋線維・サルコメアの収縮・伸張速度と筋張力の関係。

サルコメアの収縮速度が増加

筋張力は**双曲線的に減少**。

サルコメアの収縮速度が減少

筋張力は**収縮速度0**の時に発揮される**張力よりも増加**。



(ENOKA , 1996改)

Velocity (% maximum)

# 8. 骨格筋の発揮力

発揮筋力は**筋横断面積**の影響を受ける。

## 平行筋

- ・ **短縮**によって筋横断面積を増加。
- ・ 上腕二頭筋は、短縮によって筋横断面積増加し、力こぶができる。

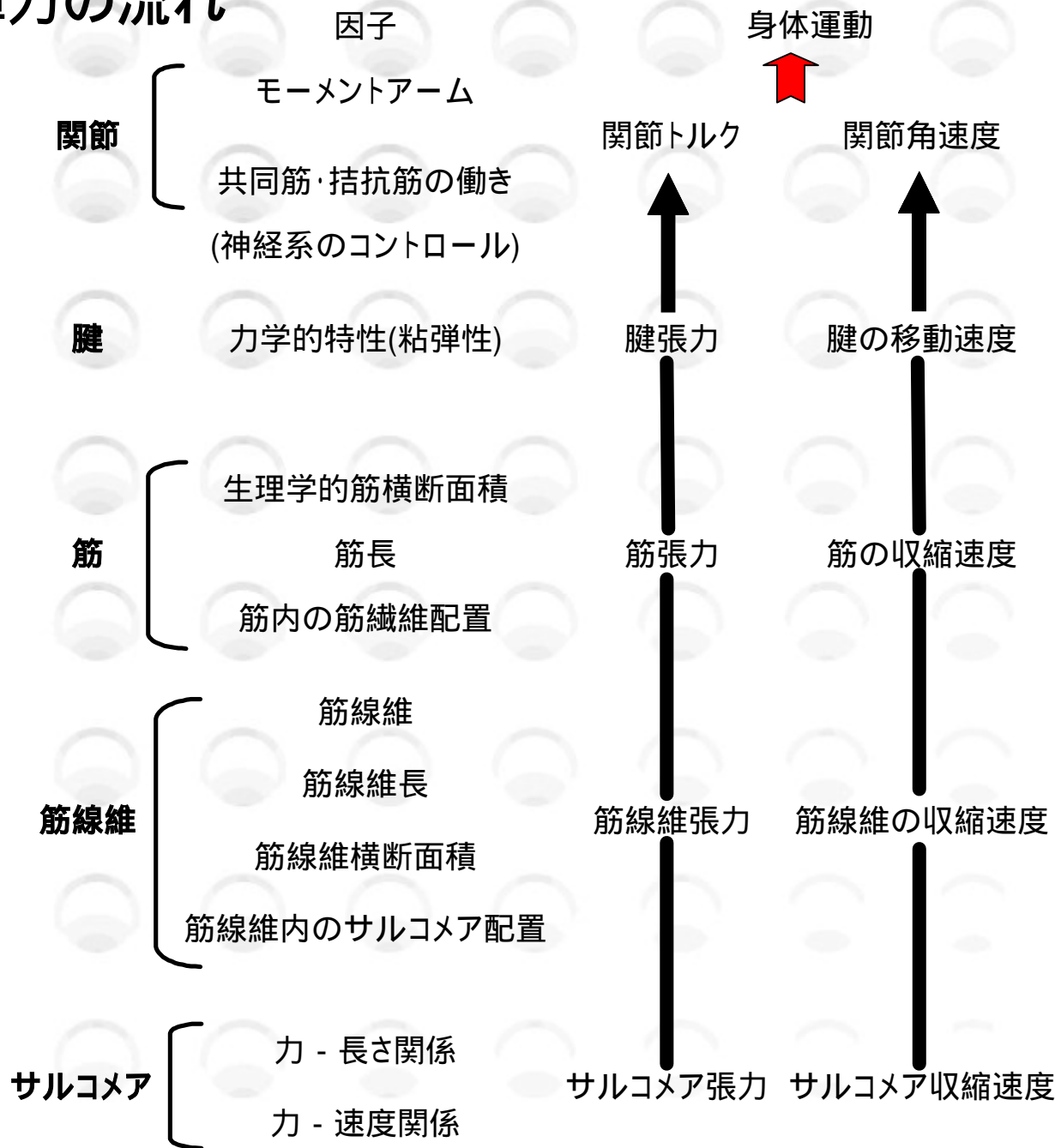
- ・ 平行筋の発揮筋力(N)  
= 生理学的筋横断面積 (m<sup>2</sup>) × 単位面積当りの筋線維張力(N/ m<sup>2</sup>)  
筋線維の長軸に対して直角な断面積。平行する筋繊維の断面積総和。

## 羽状筋

- ・ 短縮中に腱膜に対する**筋線維傾斜角**を増加し、筋横断面積を増加。
- ・ 筋厚(腱と腱の距離)は変わらない。
- ・ 限られたスペースで、より高い筋力を発揮するための工夫。

- ・ 羽状筋の発揮筋力(N)  
= {生理学的筋横断面積(m<sup>2</sup>) × **cos 羽状角(腱膜に対する筋繊維の角度)**} × 単位面積当りの筋線維張力(N/ m<sup>2</sup>)

# 8.-1 筋発揮力の流れ



(川上, 1997)

# 9. 筋収縮の様式

筋収縮は収縮の性質によって3分類できる。

等尺性収縮 (isometric contraction)

- 筋力と外力(反作用)がつり合い、筋は**筋長を変えず**に収縮。

等張力性収縮 (isotonic contraction)

- 筋長が変化する**収縮、外部に対して**仕事を行う**収縮。

等速性収縮 (isokinetic contraction)

- 筋長を**一定速度**で収縮させる。

等張力性収縮は、筋が行う仕事の性質によって

**短縮性収縮**と **伸張性収縮**に分類できる。

# 9.-1 等張力性収縮の分類

## 短縮性収縮

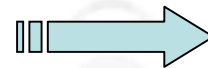
- 筋が能動的に収縮．**プラスの仕事**を行う
- 短縮性収縮を伴う動作：**短縮性動作**．

## 伸張性収縮

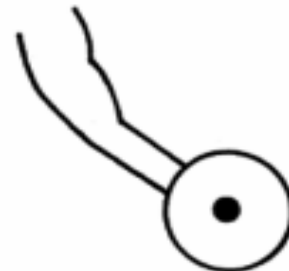
- 筋が外力によって受動的に伸張される収縮．**マイナスの仕事**を行う．
- 伸張性収縮を伴う動作：**伸張性動作**．

例：ダンベル運動時，上腕二頭筋において，「ダンベル挙上動作」は短縮性動作，「ダンベルをゆっくり下ろす動作」は伸張性動作である．

短縮性動作



伸張性動作



(ENOKA, 1996)