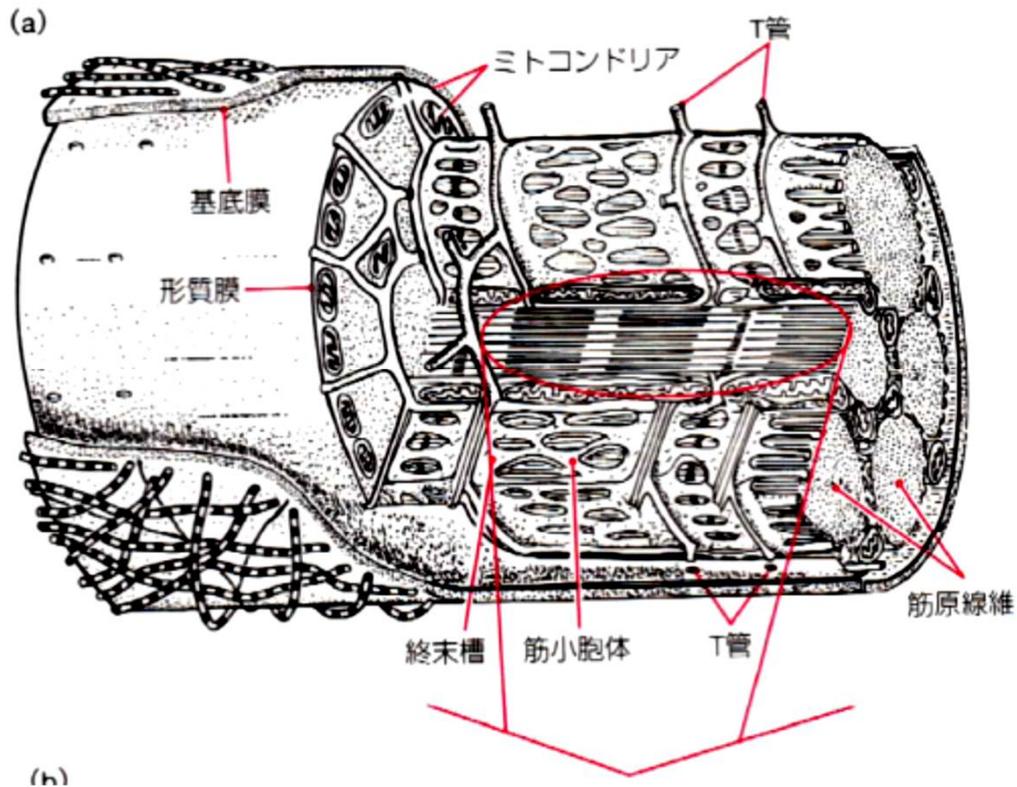


# 運動生理学のまとめ

# 骨格筋の種類と構造



収縮要素

筋原線維

筋形質

筋小胞体

非収縮要素

横行小管

ミトコンドリア

ミオグロビン

グリコーゲン

脂肪 など

# 筋の種類と構造

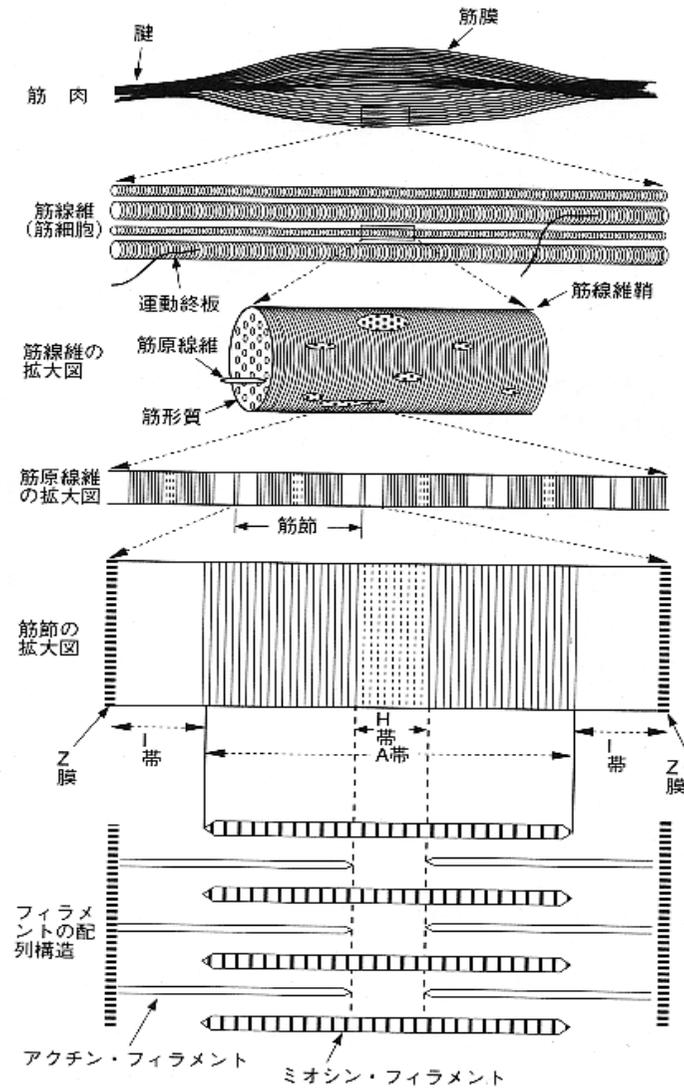
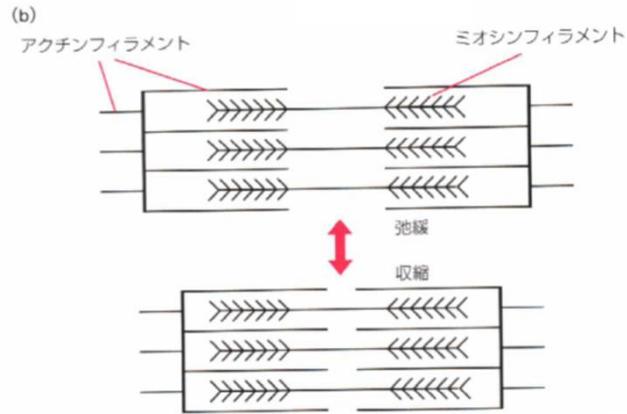
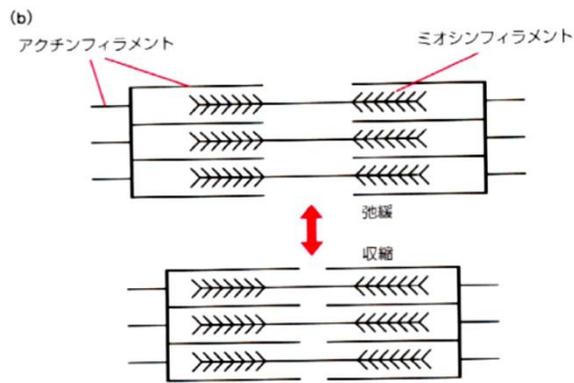
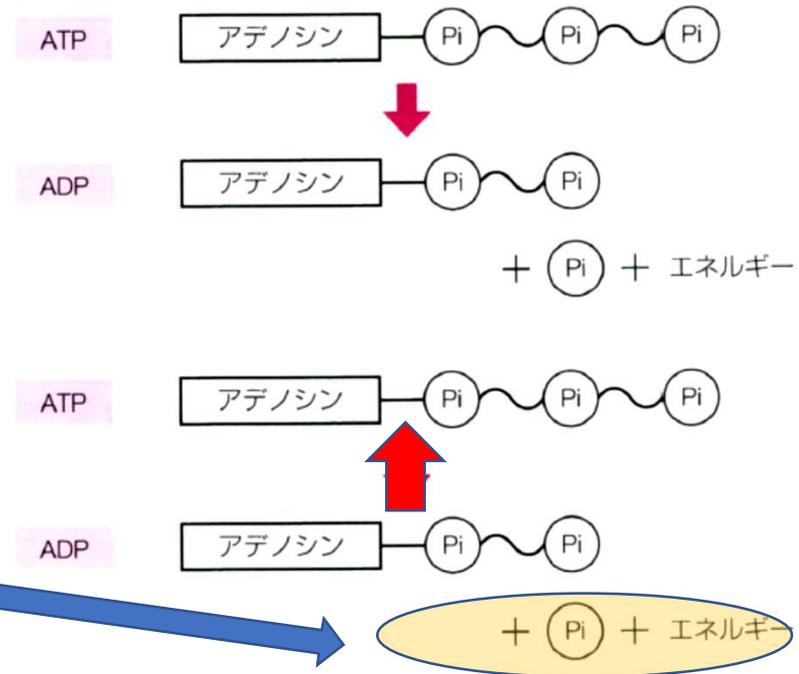


図3-4 骨格筋の内部構造 (ハックスレー, 1958)

# すべての筋収縮は $ATP \Rightarrow ADP + Pi$



ただし繰り返して収縮するためには エネルギーを補填して ATP に戻す



# 糖質と脂質の利用

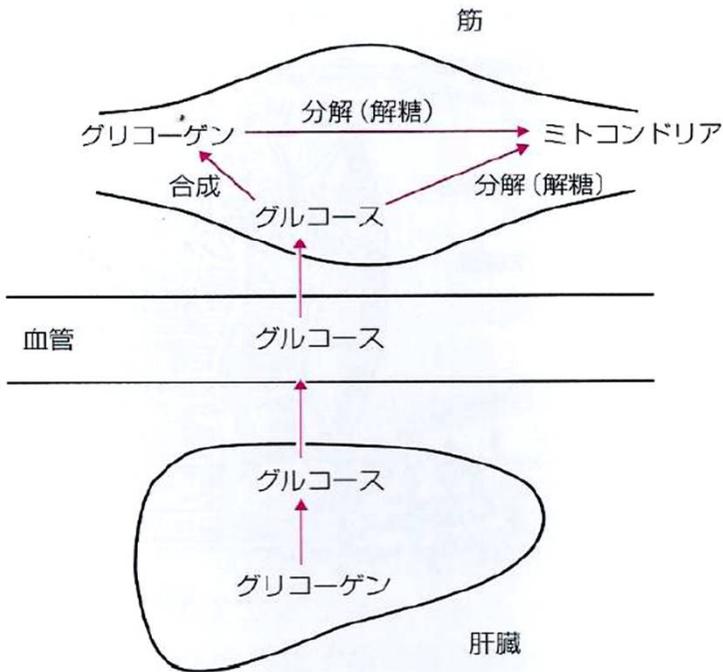


図 1.6 糖質の代謝

肝臓から放出されたグルコースは、筋に取り込まれる。

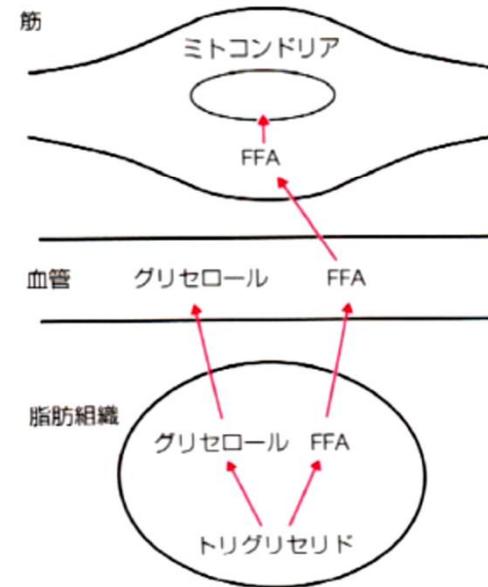


図 1.7 脂質の代謝

脂肪組織から放出された遊離脂肪酸 (FFA) は、筋に取り込まれ、ミトコンドリアまで運ばれる。

# ATP 産生の 3 つのルート

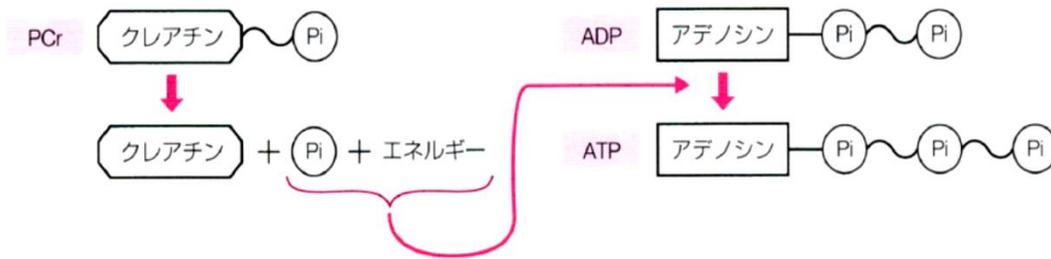


図 1.10 クレアチンリン酸による ATP の再合成  
クレアチンリン酸 (PCr) が、クレアチンと Pi に分解される時に放出されるエネルギーを用いて、ATP が再合成される。

↑ ハイパワー系 (ATP-PCr 系: クレアチンリン酸)

ミドルパワー系 (解糖系: グリコーゲン) ⇒

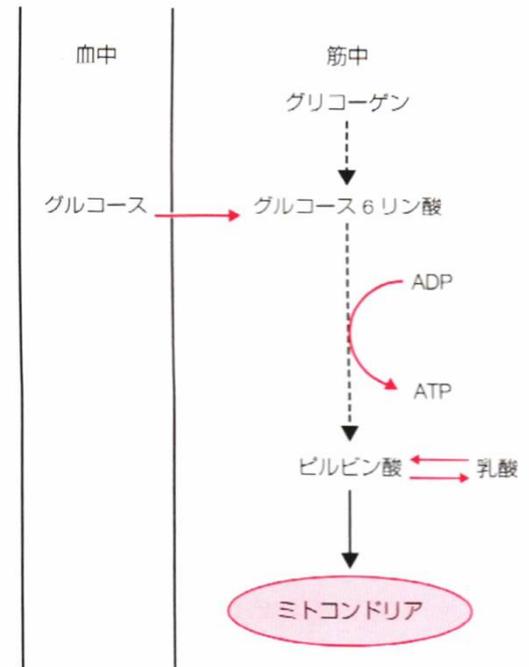


図 1.11 解糖系経路の概略  
糖質 (グリコーゲンあるいはグルコース) がピルビン酸にまで代謝される過程で、ATP が再合成される。

# ローパワー系（有酸素系）：主役はミトコンドリア

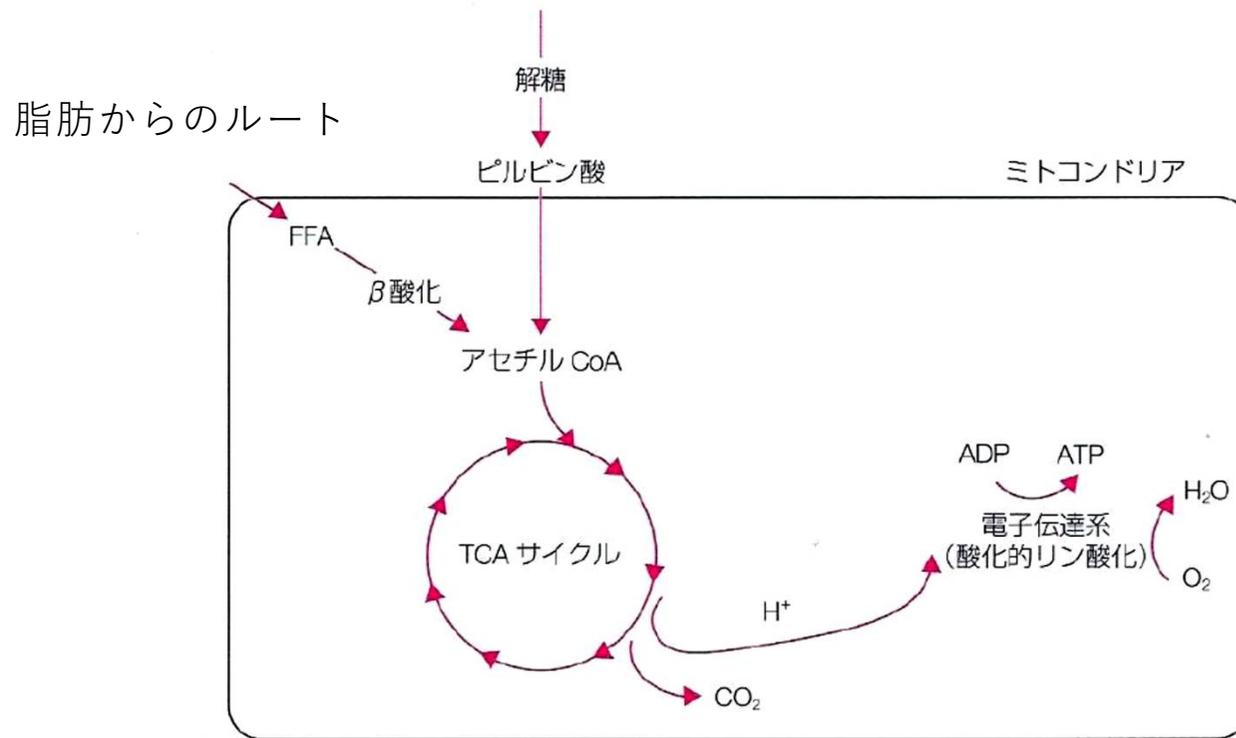


図 1.13 有酸素系経路の概略

電子伝達系は、TCA サイクルで発生した水素から電子を受け取って、ATP を再合成する。この反応は、ミトコンドリアの中で酸素を用いて進行する。

# 筋線維の種類とその特徴

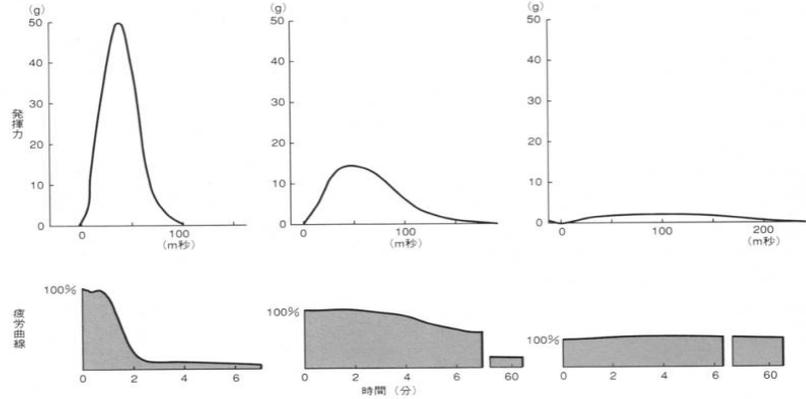
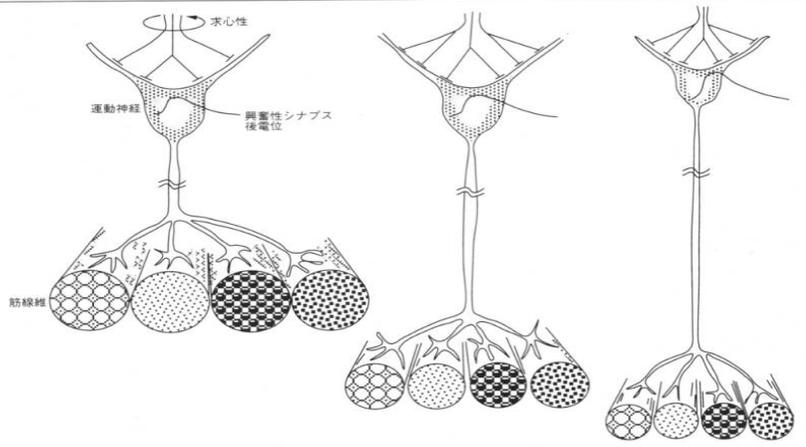
- 筋線維の種類は3種類  
 2つの「速筋系」と「遅筋系」  
 Type II a,b と Type I  
 FTa, FTb と ST  
 Tは収縮：Twitch  
 FG、FOG と SO  
 Gは解糖能：Glycolysis  
 Oは酸化能：Oxidative

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と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

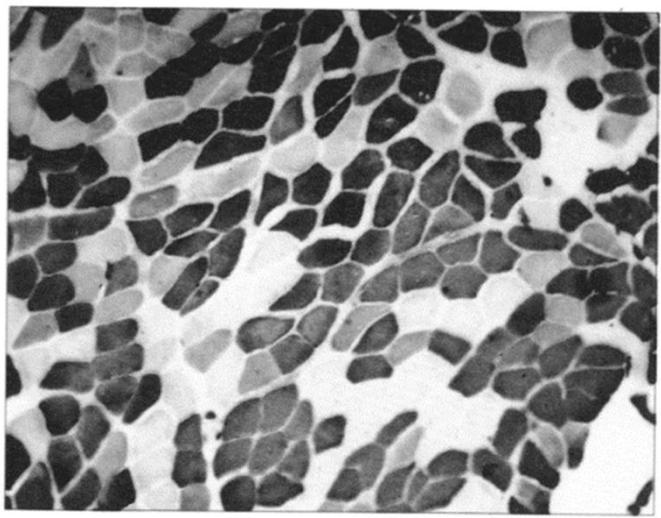
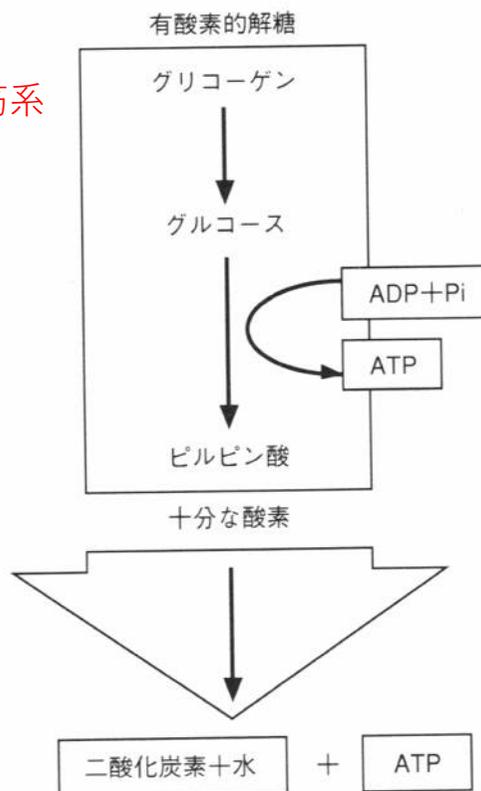


写真5-2 筋線維の分布 (武藤ら, 1983年)  
黒く見えるのは遅筋線維 (タイプI)、白っぽく見えるのは速筋線維 (タイプII aとII b)。

# 有酸素的解糖と無酸素的解糖

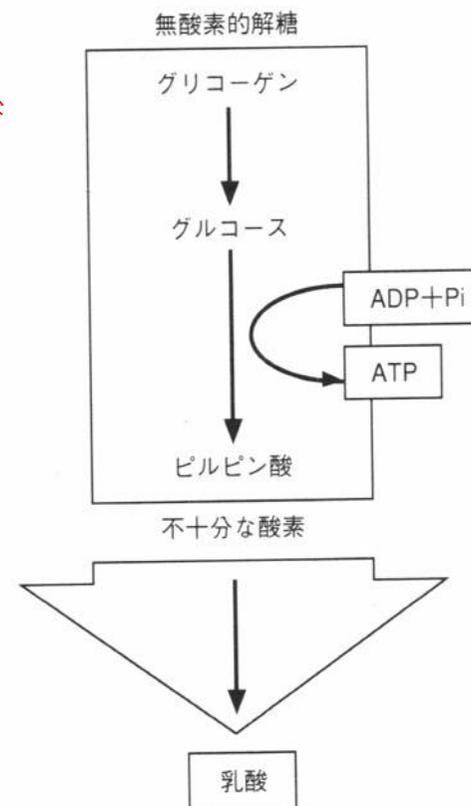
遅筋系

この時には運び屋の**MCT1**が必要  
= 低強度×長時間トレーニング



速筋系

この時には運び屋**MCT4**が必要  
= 高強度×短時間トレーニング



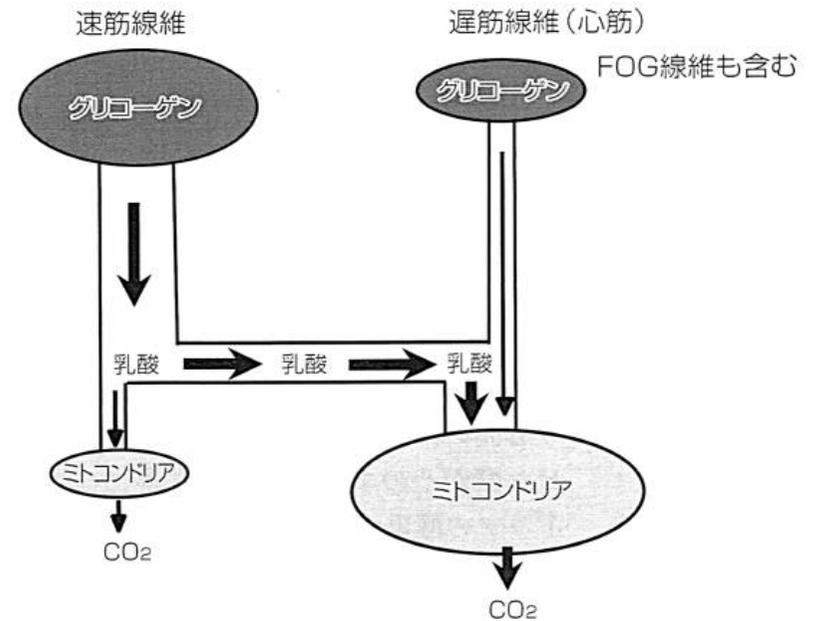
フォックスとマティウズ (1981)

# 「乳酸シャトル」の意味するもの・・・

筋線維タイプ	遅筋線維		速筋線維	
	タイプI(SO)	タイプIIa(FOG)	タイプIIb(FG)	タイプIIc(FG)
ミオシンATPアーゼ活性	●		●	
代謝酵素				
解糖系酵素	●	●	●	●
酸化系酵素	●	●	●	●
代謝基質				
グリコーゲン	●	●	●	●
中性脂肪	●	●	●	●
毛細血管密度	●	●	●	●

図6-1 筋線維の代謝 (定本ら, 1987)

○内の色合いが濃いほど、各項目の活性や濃度が高いことを示す。



# 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

エネルギー  
をつくり出す  
システム

	Type I	Type II a	Type II d/x
ATP-PCr系	△	○	◎
解糖系	◎	◎	◎
有酸素系	◎	○	△

定本ら（1987年）の図を山崎が改変

# 筋の収縮様式と筋力

- 筋の収縮様式
- 各収縮様式の特徴
- トレーニングによる筋力の変化
- 神経系の改善
- 筋線維の肥大
- 筋線維数の変化

# 筋の収縮様式

Iso：等しい

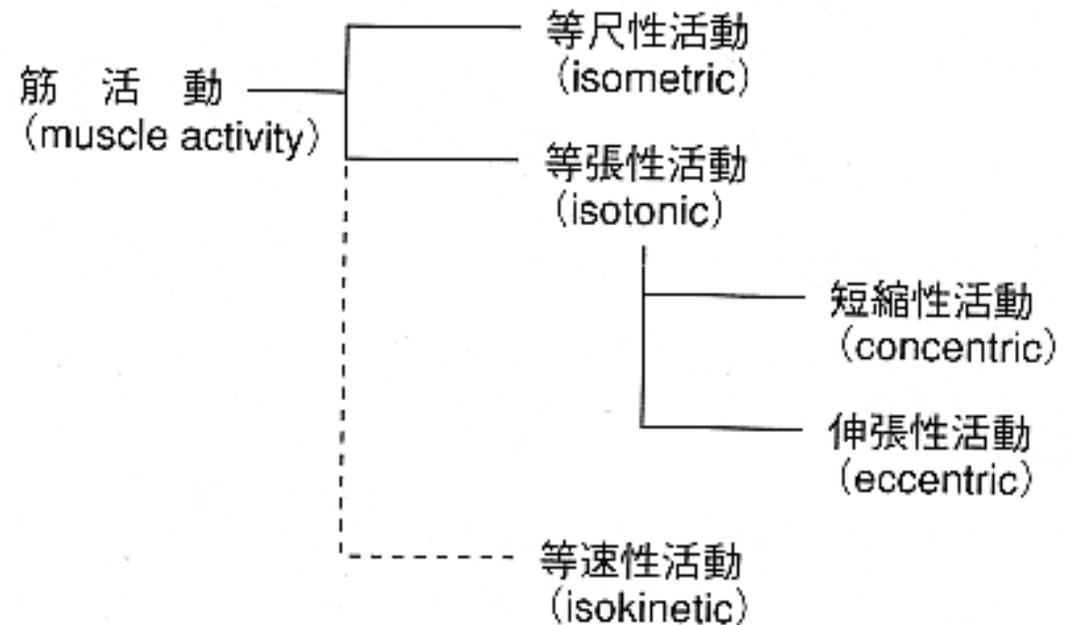
Metoric：長さ

Tonic：張力

Concentric：短縮

Eccentric：伸長

Kinetic：速度



- 関節角度と発揮される力
  - 3種類のとこ（真の筋力と見かけの筋力）
  - クリティカル・ゾーン
- 筋活動の様式
  - 等尺性と等張性（短縮性と伸張性）
  - 等速性（コンピュータ制御による負荷様式）
- 筋活動の様式と力の大きさ
  - 等尺性と短縮性（速度-力曲線）
  - 伸張性はある速度までは大きな力発揮

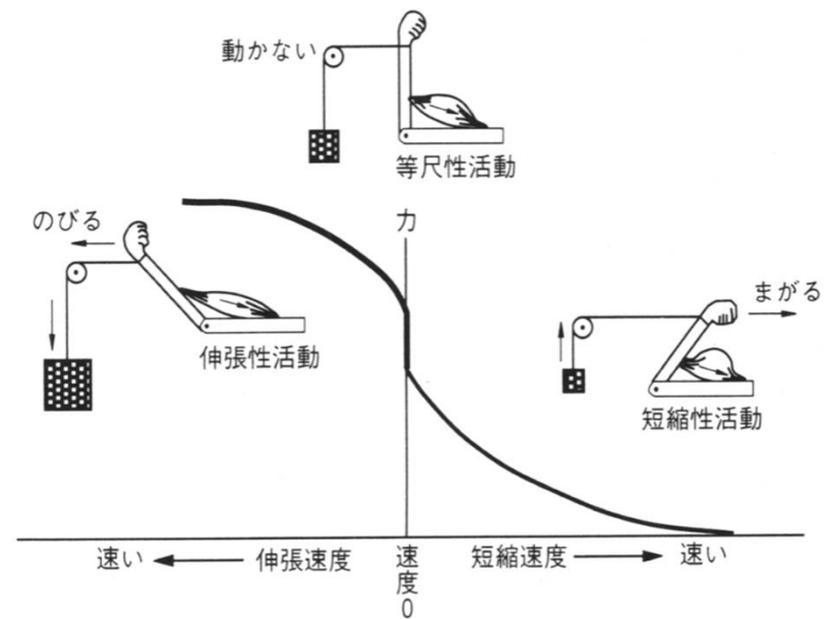


図3-9 筋活動の様式と発揮される力の大きさ（ヒル, 1951年）

# トレーニングによる筋線維組成の変化

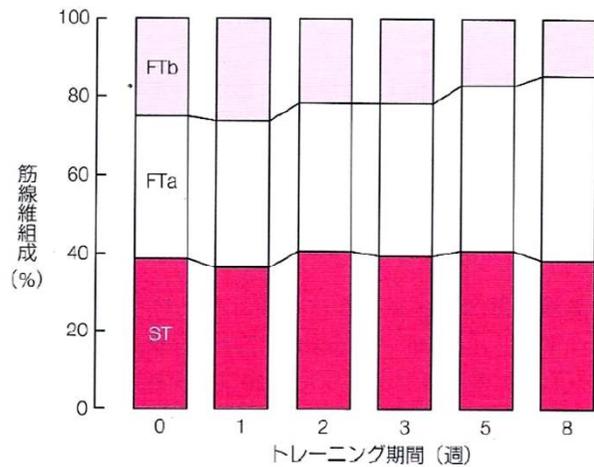


図 2.7 持久性トレーニングによる筋線維組成の変化 (Andersen と Henriksson, 1977 を改変)  
 トレーニングの結果, FTb 線維が減少し FTa 線維が増加した. これは FTb 線維から FTa 線維へのタイプ移行が起こったためである.



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.

# 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

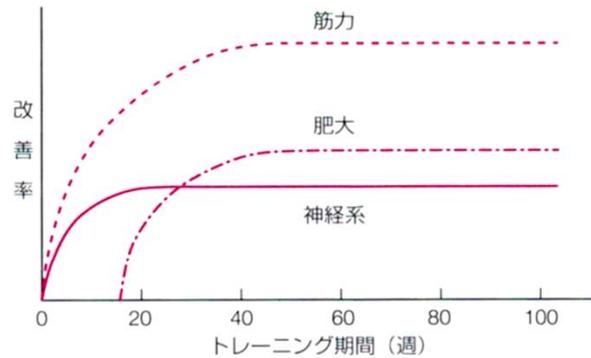


図 4.9 筋力トレーニングによる神経・筋の変化 (Wilmore と Costill, 1994)  
筋力トレーニングを開始して初期のころの筋力の増加は、神経系が改善されることに原因がある。それに対して、長期にわたるトレーニングでは、筋が肥大することによって筋力は増す。

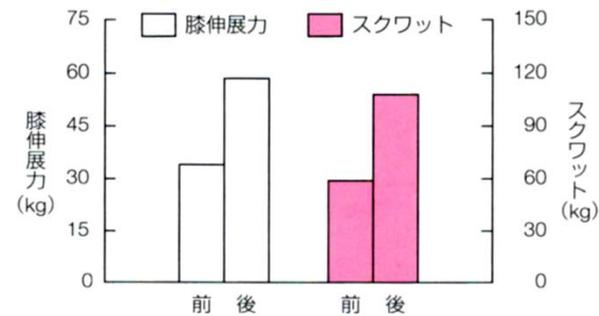


図 4.7 ウェイトトレーニングによる筋力の変化 (Staron ら, 1991 を改変)  
20 週間ウェイトトレーニングを行った結果、80%以上も筋力が増加した。

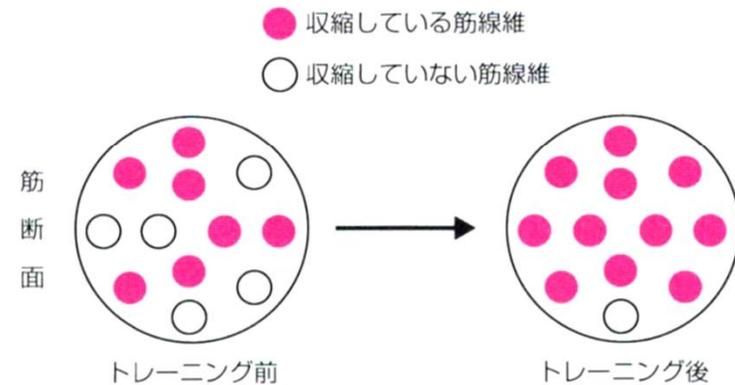


図 4.10 新たな筋線維の動員 (山田と福永, 1996)

# 速筋線維の優先的肥大？

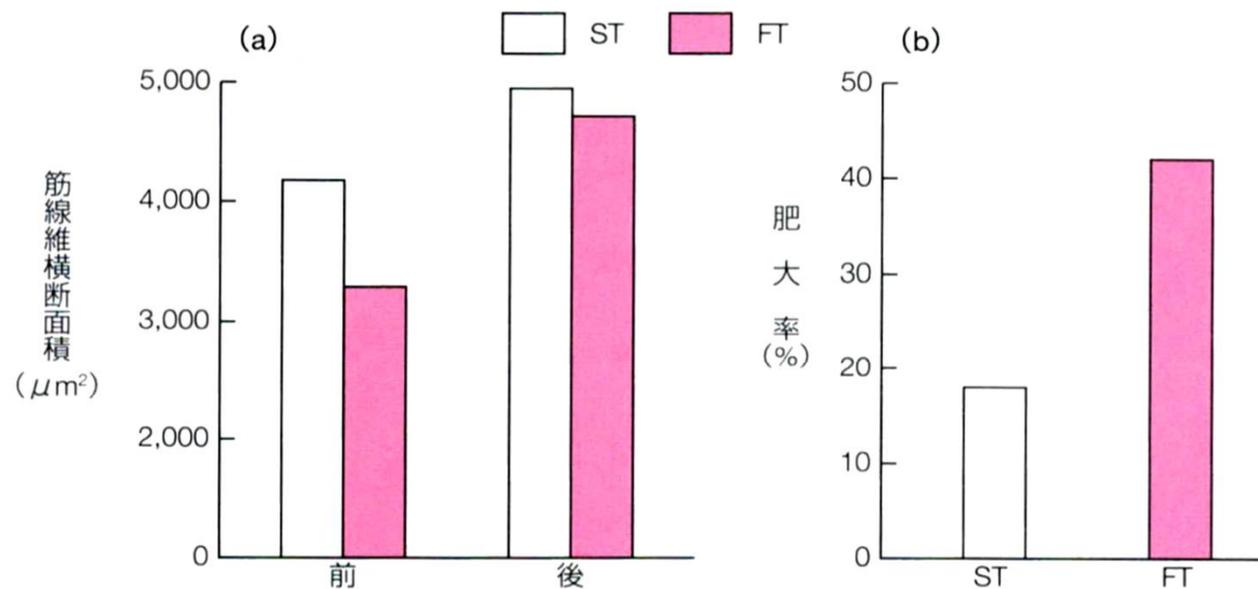


図 4.11 ウェイトトレーニングによる筋線維横断面積の変化 (Staron ら, 1991 を改変)  
20 週間のウェイトトレーニングを行った結果, ST 線維と FT 線維の両方に肥大が起こった (a).  
しかし, その肥大率は, FT 線維の方が大きい (b).

# トレーニングによる筋線維組成の変化

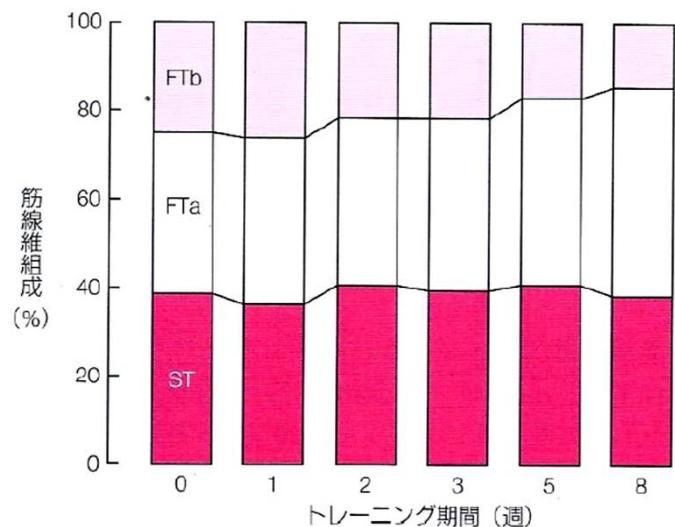


図 2.7 持久性トレーニングによる筋線維組成の変化 (Andersen と Henriksson, 1977 を改変)

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。

# トレーニングの名称

アイソトニック・トレーニング  
通常のフリーウェイト  
“初動時”と“終動時”のみ

アイソメトリック・トレーニング  
動きを伴わない難点が・・・

アイソキネティック・トレーニング  
コンピュータ制御の負荷装置

スロー・トレーニング  
加圧式トレーニング

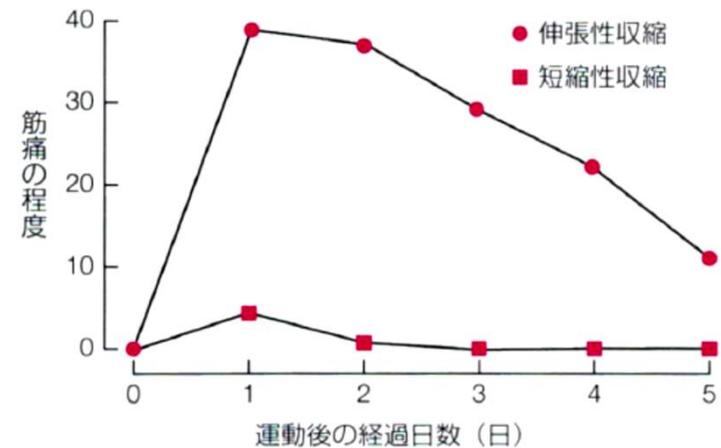


図 4.5 筋収縮の様式の違いによる筋痛の程度 (Lavender と Nosaka, 2006 を改変)

筋肉痛の原因は・・・“登り”よりも“降り”

# 中枢神経系の構造

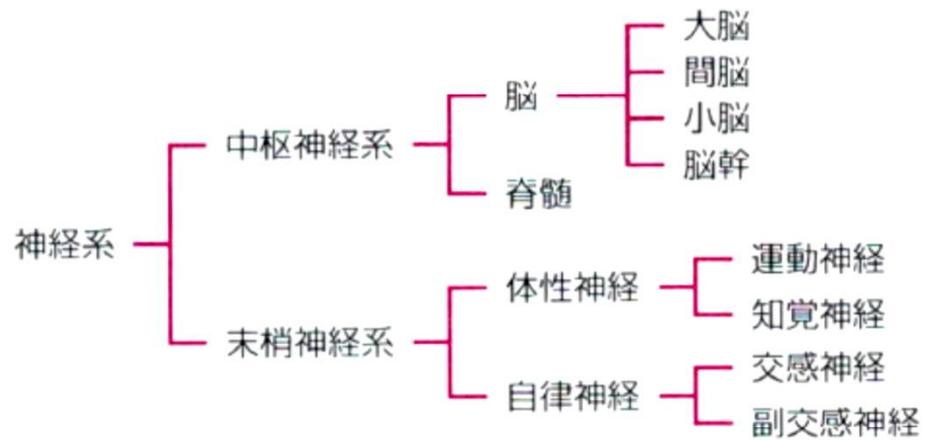


図 3.2 神経系の分類

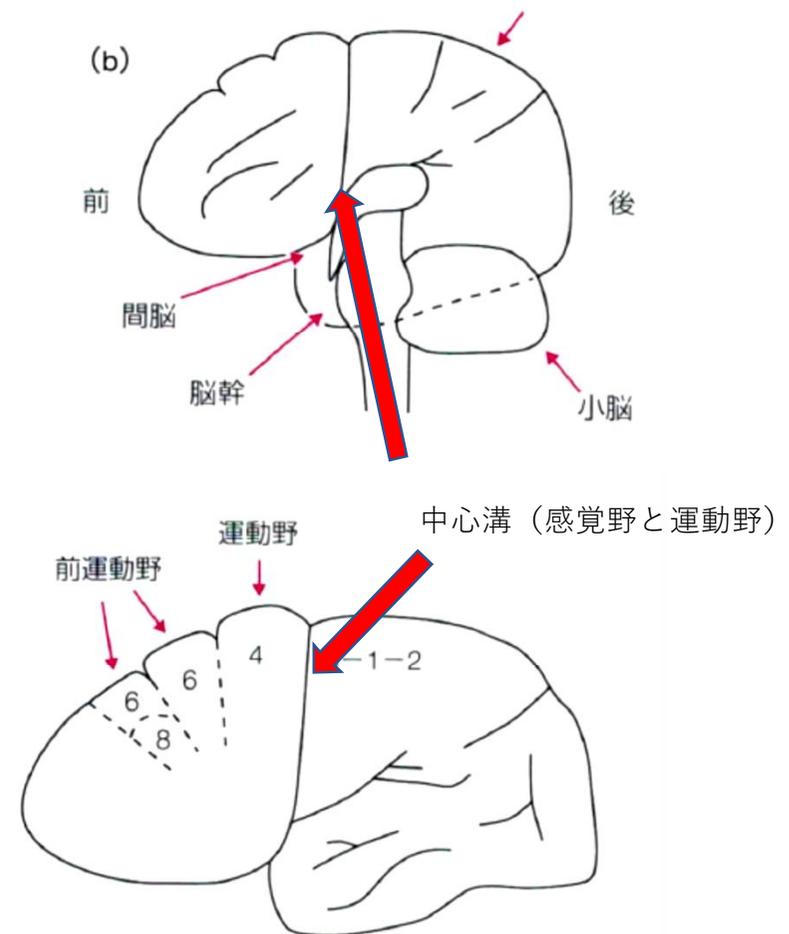
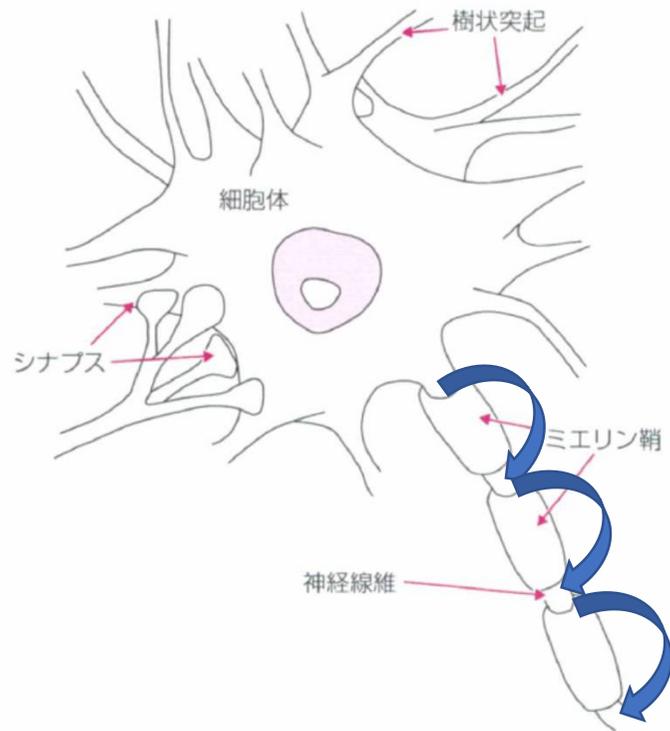


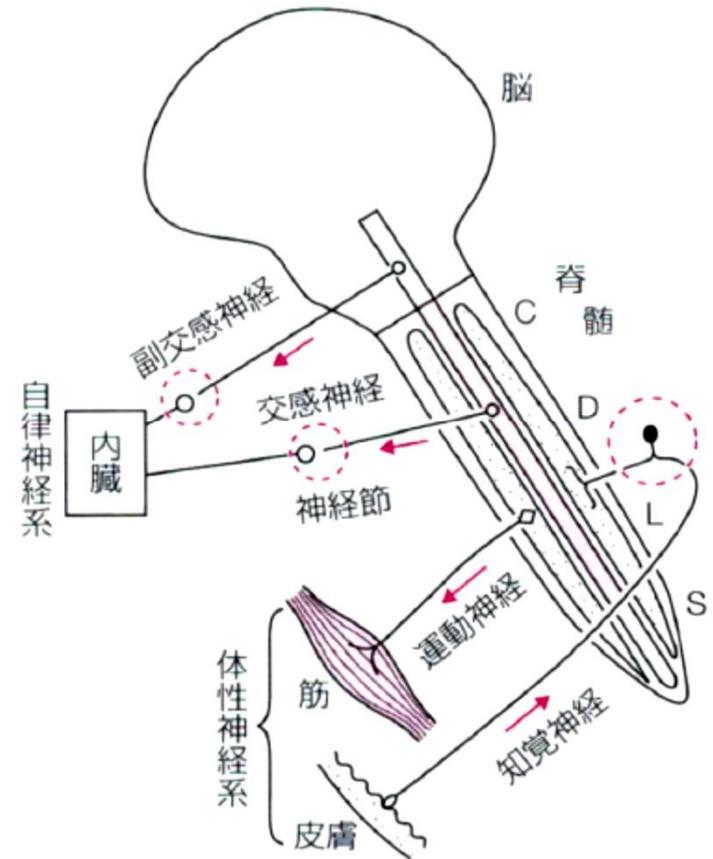
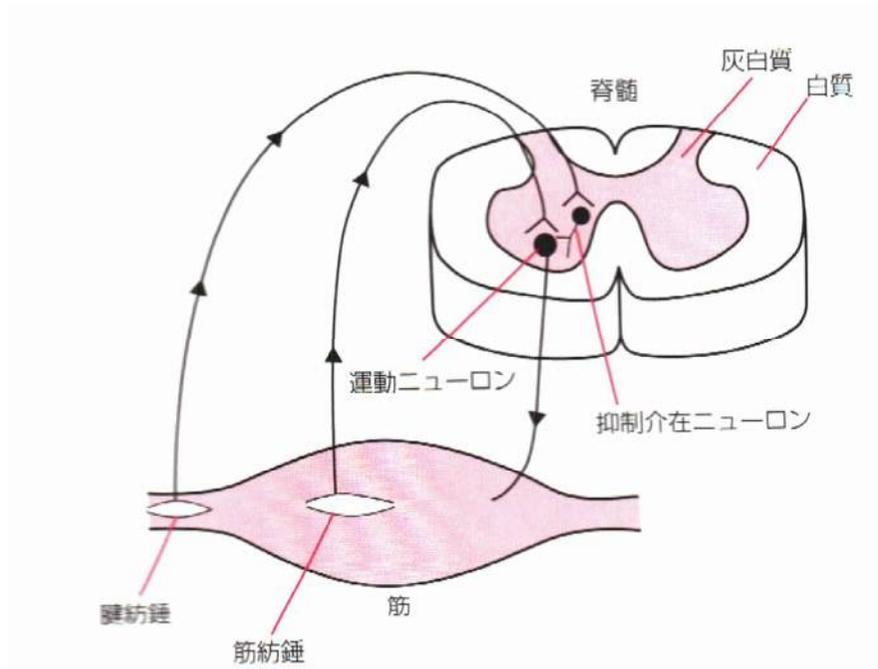
図 3.4 大脳皮質における運動野と前運動野



- シナプス形成のスパイン増加
- インパルスの“跳躍伝導”（速い）  
効率的伝導  
ミエリン化（髄鞘化）が発達の基本  
脂肪酸合成酵素：FAS

# 筋線維と脊髄神経

(感覚は後角から、運動は前角から)



## 上位中枢からの二つの運動指令（伸張反射の調節）

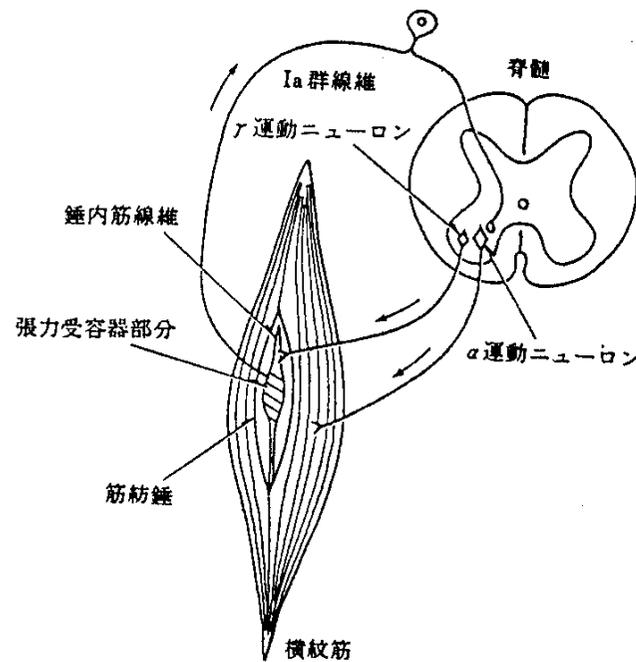


図12 伸張反射の回路

- 筋線維を動かす  $\alpha$  運動神経
- 筋紡錘を動かす  $\gamma$  運動神経（感度調節）
- 筋紡錘からの Ia 群求心性線維からの  $\alpha$  運動神経へのショートカットループ

剣道のつばぜり合いでの「胴、一本！」  
⇒ 「ふん、次はやられないぜ・・・」  
⇒ 今度は「面、一本！」

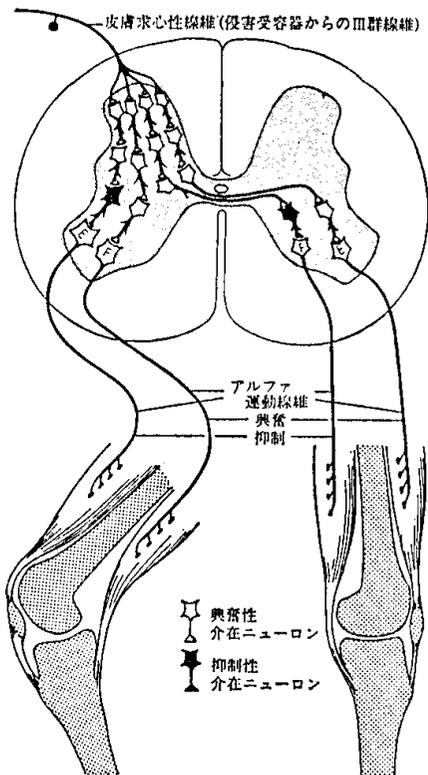


図11 屈曲反射の経路。侵害刺激が入ってくると、屈筋運動の細胞(F)を興奮させ、脚の屈曲を起す。と同時に、伸筋運動細胞(E)には抑制が働き、屈曲運動をよりすみやかに起すようにする(シュミット等, 1978)。

## もっと複雑な屈曲反射

- いてて画鋏踏んだ・・・  
踏んだ側のすばやい屈曲  
+ 支持側のすばやい伸展
- 歩行パターンの発生の相反性神経支配？
- いや、赤ちゃんの「原始歩行」は違うような・・・

# 錐体路系（メイン）と錐体外路系（補正）

## 小脳の運動調整能

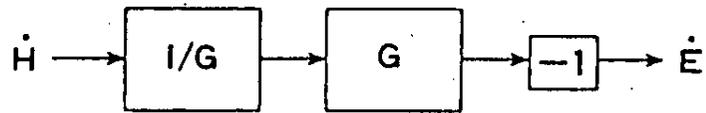


図5. 前庭動眼反射系の回路図

制御対象としての眼球、眼筋、運動神経細胞  
(動特性 =  $G$ )

制御装置としての前庭器官・核、小脳片葉  
(逆動特性 =  $-1/G$ )

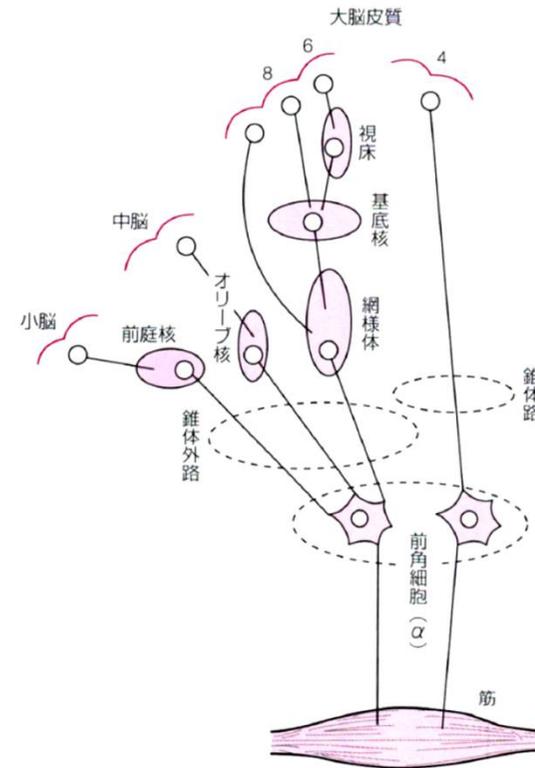


図3.7 錐体路系と錐体外路系(朝比奈, 1981)

# 超コンピューター・・・大脳基底核

- ほとんどの神経回路を抑制し、必要な神経回路だけを脱抑制する
- 独裁者や指揮官のいなくなる病気
  - ・・・パーキンソン病や舞踏病

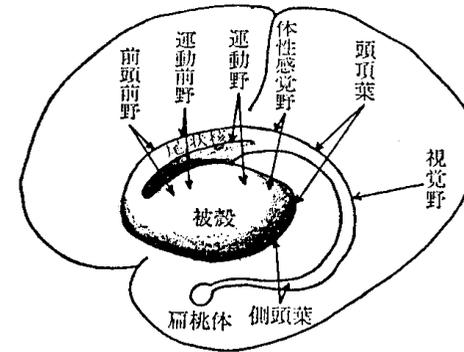


図50 大脳皮質と線条体（尾状核、被殻）の線維連絡の様子。

- 「いけ～！」という状況を支配するもの？
- ドーベルマンがいくはずがスピッツやチワワがいくと・・・

図4.16 脱抑制による運動の発現

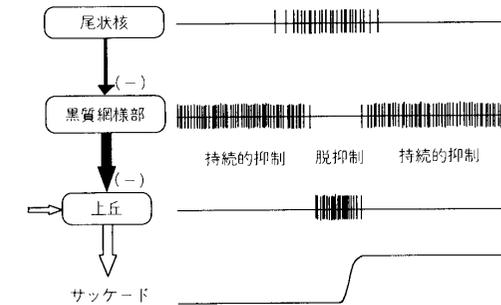


図2 大脳基底核の基本的な作用機序—脱抑制。尾状核から黒質網様部、黒質網様部から上丘への結合はともに抑制性 (GABA 作動性) である (左の図に黒の矢印と(-)で示してある)。ふだん上丘は、黒質網様部の強い持続的なニューロン活動によって抑制されているが、これは尾状核からの一時的な抑制によって取り除かれ、急速眼球運動 (サッケード) が起こる。右には、その時間経過をインパルス列として模式的に示してある。

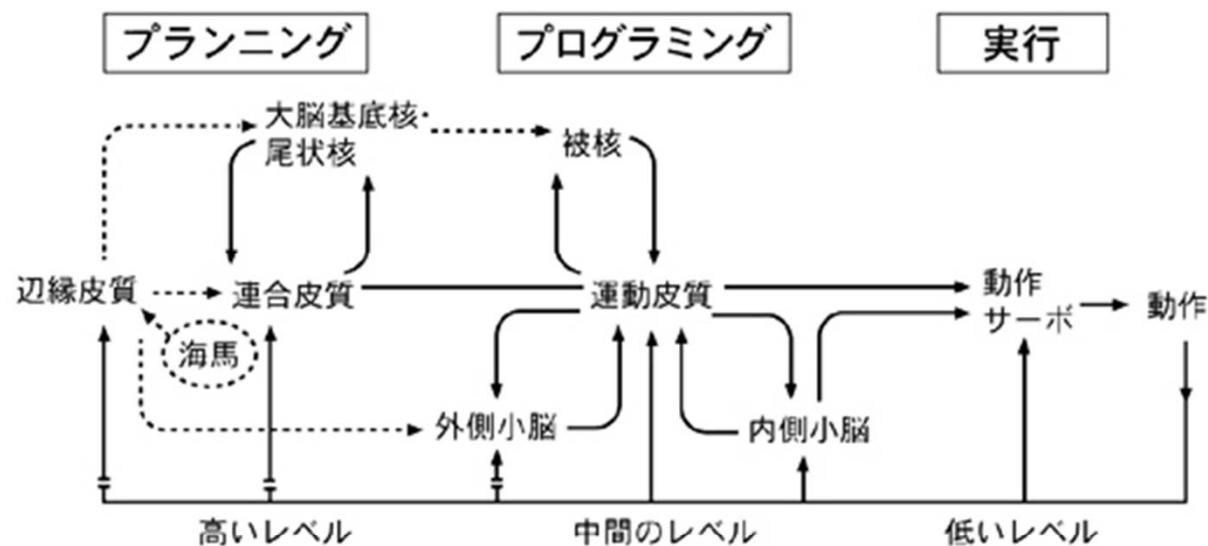


図1 運動情報の流れ (V.B.Brooks, 1986, "The Neural Basis of Motor Control")

プロトタイプ	[A]	⇒	[B]	⇒	[C]	⇒	[D]
(大脳皮質運動野?)	×		×		×		×
逆動特性学習	$\begin{pmatrix} -1/a1 \\ -1/a2 \\ -1/a3 \\ \vdots \\ -1/aN \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} -1/b1 \\ -1/b2 \\ -1/b3 \\ \vdots \\ -1/bN \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} -1/c1 \\ -1/c2 \\ -1/c3 \\ \vdots \\ -1/cN \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} -1/d1 \\ -1/d2 \\ -1/d3 \\ \vdots \\ -1/dN \end{pmatrix}$
(小脳外側部)							

## 運動には複数のシステムが関わっている





# 運動と循環

- 心臓の機能・構造と血液の循環
- 血液成分
- 運動時における心臓の働き
- 毛細血管
- トレーニングによる変化

# 血液の循環とスポーツ心臓 (左心室肥大)

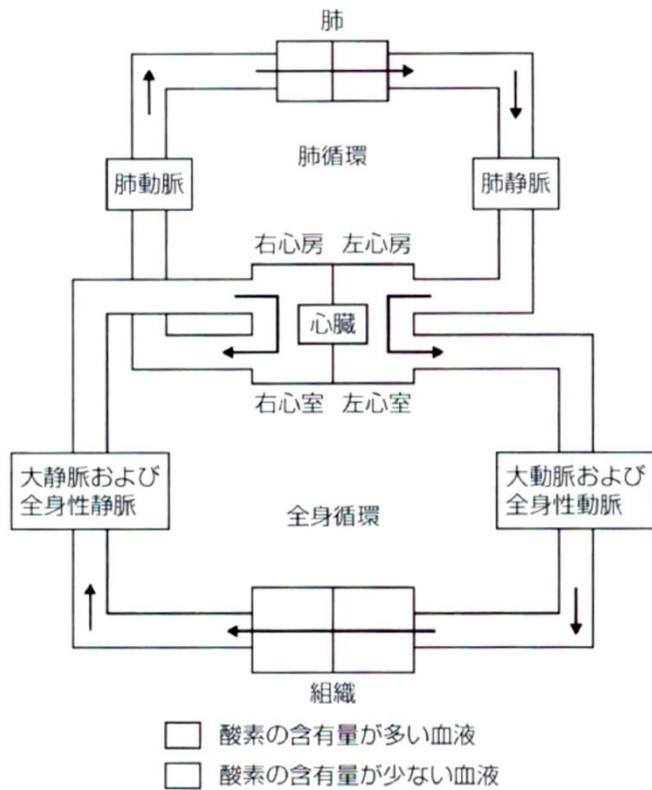


図 5.1 血液の循環 (Smith と Kampine, 1984)

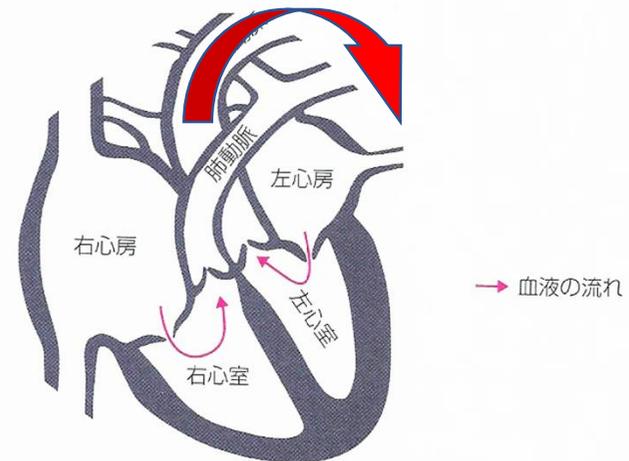
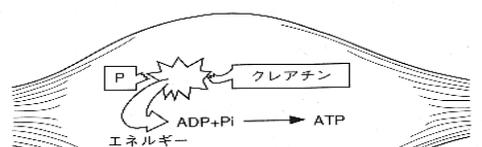
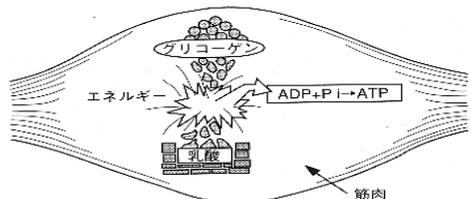


図 5.2 心臓の構造 (Åstrand と Rodahl, 1976)  
心臓は左右 2 つのポンプからなり、各々に心房と心室の 2 つの部屋がある。

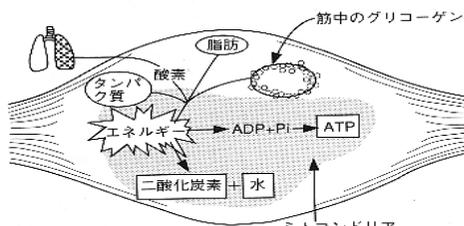
# 運動強度の増加 ⇒ 酸素需要量の増大



筋細胞  
クレアチン・リン酸 (CP) の分解によってATPは再合成される



筋肉  
グリコーゲンの分解によってATPは再合成される



筋中のグリコーゲン  
ミトコンドリア  
有酸素性反応によってATPは再合成される

図4-9 3つのエネルギー機構 (フォックス, 1979)

$$\text{心拍出量} = \text{一回拍出量} \times \text{毎分心拍数}$$

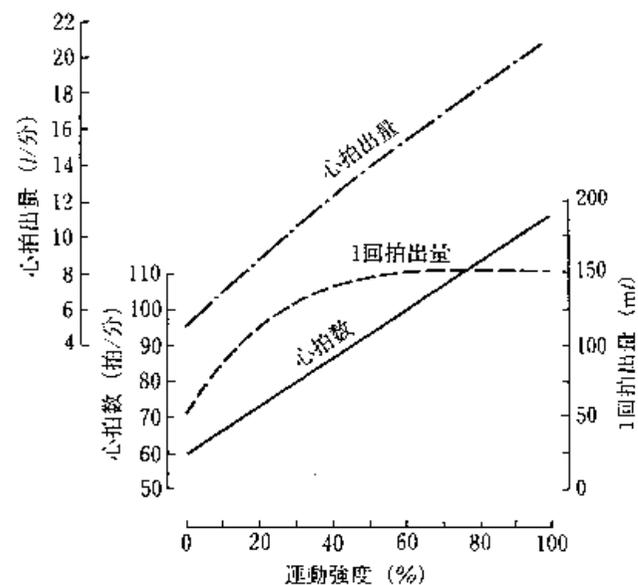


図9-I-21 運動強度と心拍数、1回拍出量および心拍出量の関係 (池上.1987)

# 毛細血管の発達と筋持久力の向上

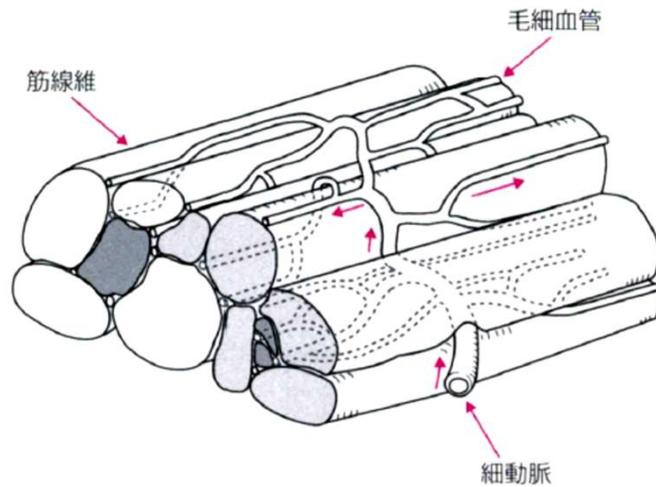


図 5.5 細動脈と毛細血管 (Saltin と Gollnick, 1983)

表 5.1 一般人と運動選手の 1 回拍出量の比較

	安静時 (mL)	最大運動時 (mL)
一般成人男性	70~80	110~120
持久的運動選手	110~120	150~200

運動中の心拍数が毎分150拍とすると

一般成人 :  $120\text{mL} \times 150\text{bpm} = \text{毎分}18\text{L}$

長距離選手 :  $200\text{mL} \times 150\text{bpm} = \text{毎分}30\text{L}$

長距離選手は200bpm以上上昇するので・・・

# 運動と呼吸

- 呼吸
- 肺換気
- ガス交換（血液中の酸素分圧と二酸化炭素分圧）
- 血液によるガスの運搬
- 呼吸商
- 酸素摂取量
- 酸素負債量
- 無酸素性作業閾値

# 肺換気とガス交換（地上進出に伴う適応？）

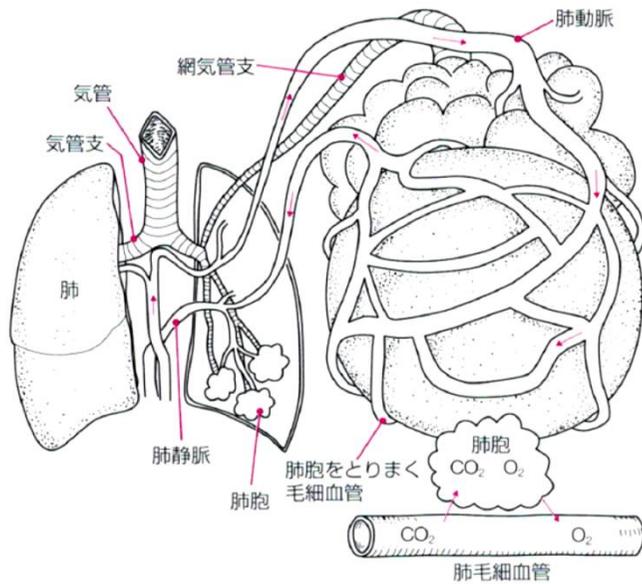


図 6.1 呼吸器の構造 (MacArdle ら, 1986)

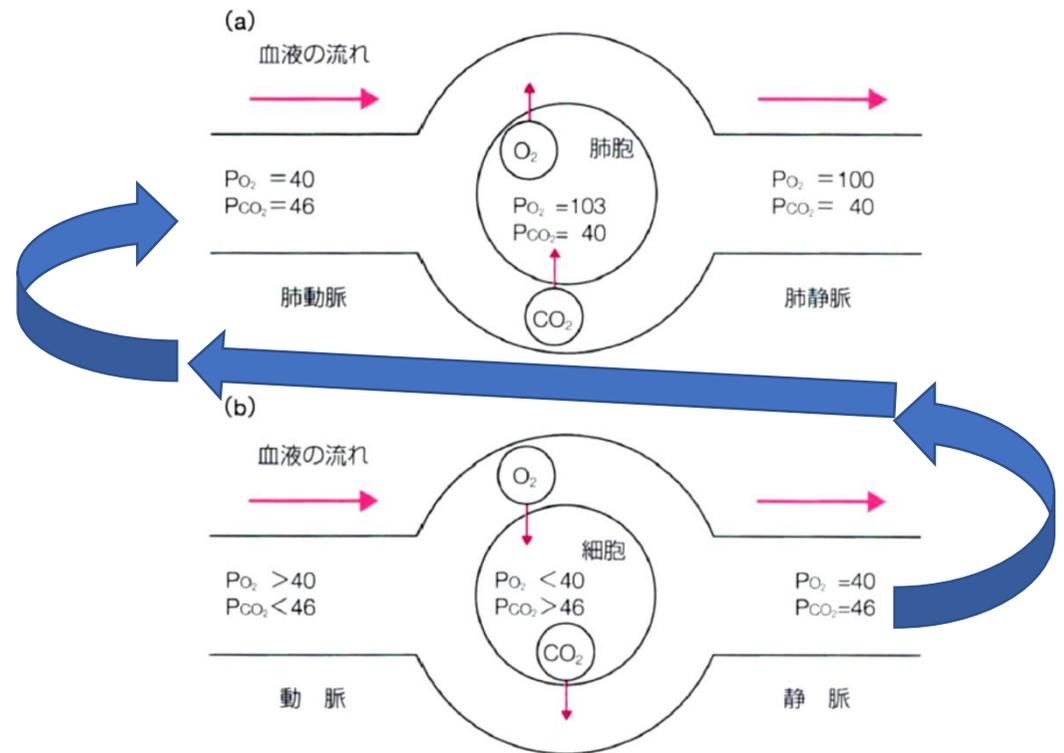


図 6.2 肺胞ガス—血液間 (a) および血液—組織間 (b) における酸素と二酸化炭素の受け渡し (Åstrand と Rodahl, 1986 に加筆)

# 酸素分圧と二酸化炭素分圧の関係

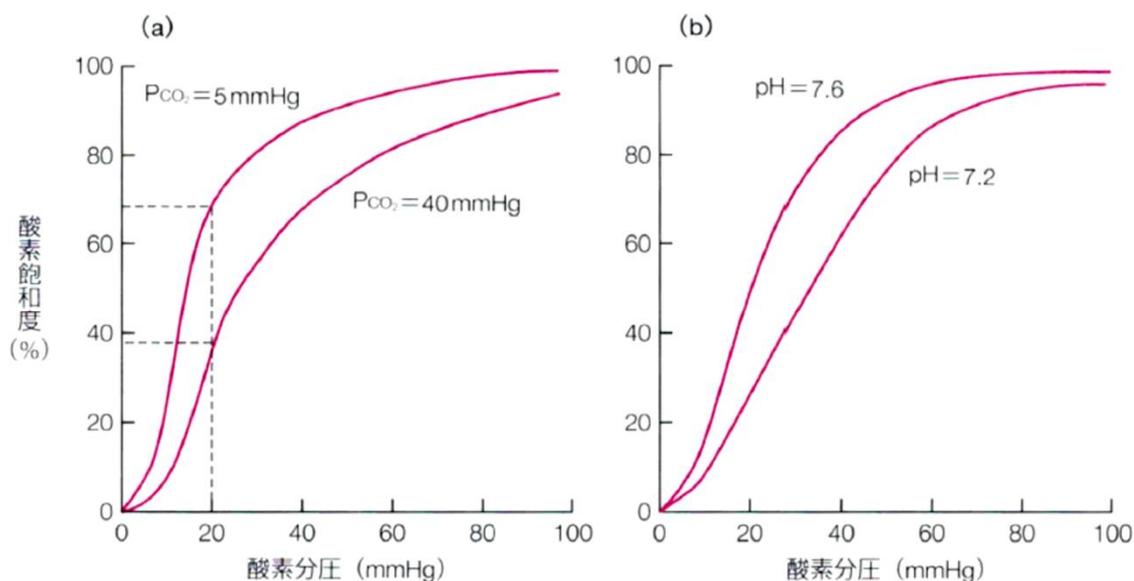


図 6.3 二酸化炭素分圧 (a) および pH (b) による酸素解離曲線の変化 (Åstrand と Rodahl, 1986)

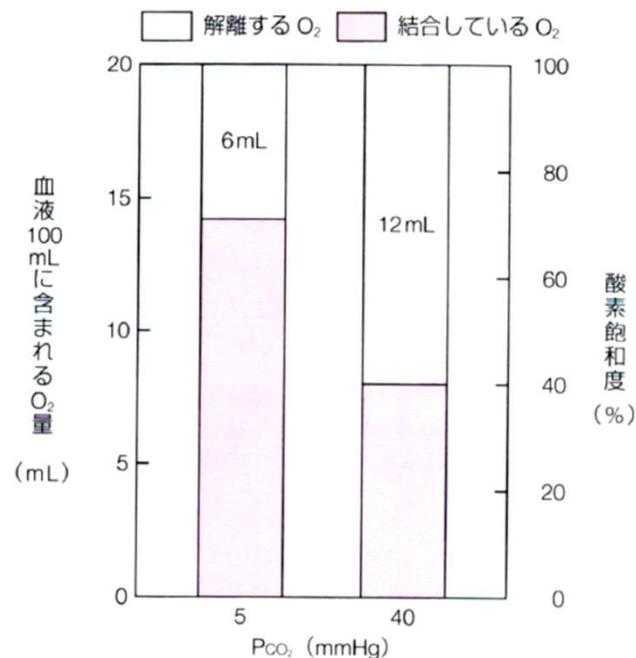


図 6.4 ヘモグロビンから解離する酸素の量

二酸化炭素分圧が高かったり酸性度が高かったりすると酸素飽和度が低下する（機能低下）  
 （過呼吸で二酸化炭素分圧が低すると“呼吸中枢”を刺激しない）

心拍出量 = 1回拍出量 × 心拍数 (+ 動静脈間較差)

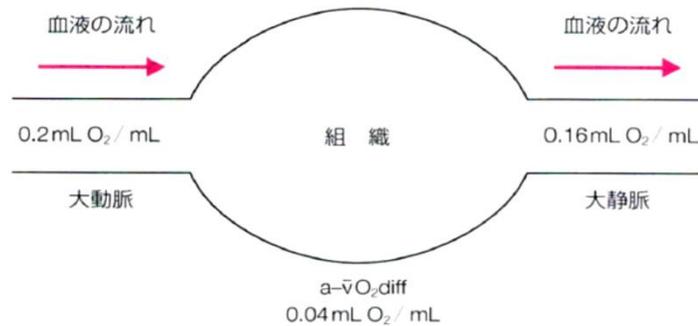


図 6.6 動静脈酸素較差

動脈と静脈に含まれる酸素の差を動静脈酸素較差 (a- $\bar{v}$ O<sub>2</sub>diff) という。

表 6.2 最大酸素摂取量の絶対値と相対値

	Aさん	Bさん
体 重 (kg)	55	80
$\dot{V}O_2$ max		
絶対値 (L / min)	2.5	3.0
相対値 (mL / kg / min)	45.5	37.5

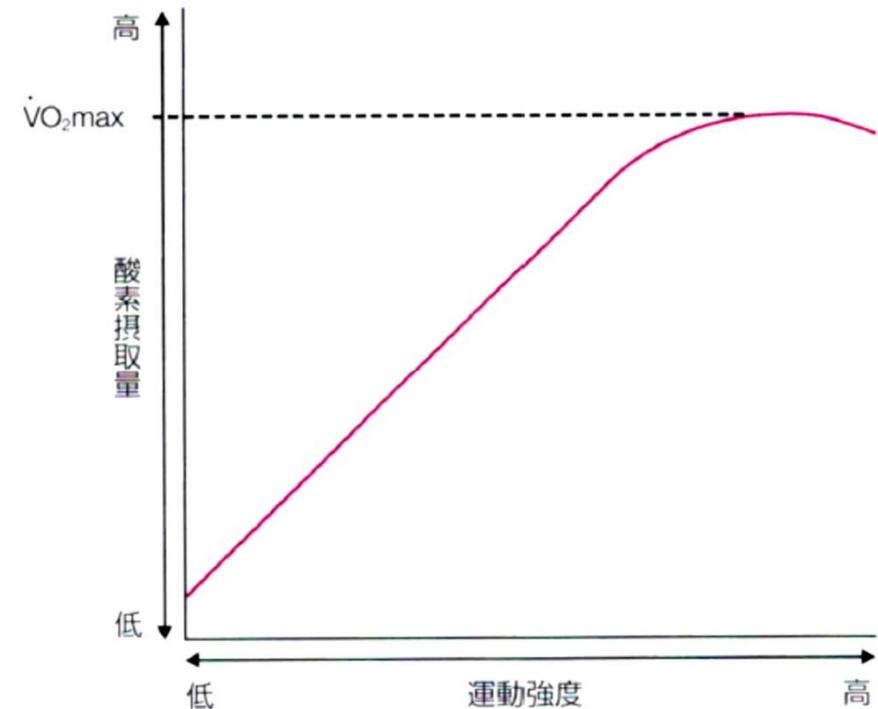


図 6.8 運動強度と酸素摂取量の関係

## 呼吸商と酸素摂取・酸素負債

- エネルギー源としての糖質と脂質の比率（0.7～1.0）  
強度の高い運動程糖質の利用が優先（呼吸商が1.0に近づく）
- 酸素摂取量  
持久的運動を支えるもの
- 酸素負債  
最大酸素摂取量を超える運動実施時を支えるもの
- 乳酸性作業閾値  
有酸素系エネルギー供給機構を超えるレベルを示す

# 最大酸素摂取量 (ml/min/kg)

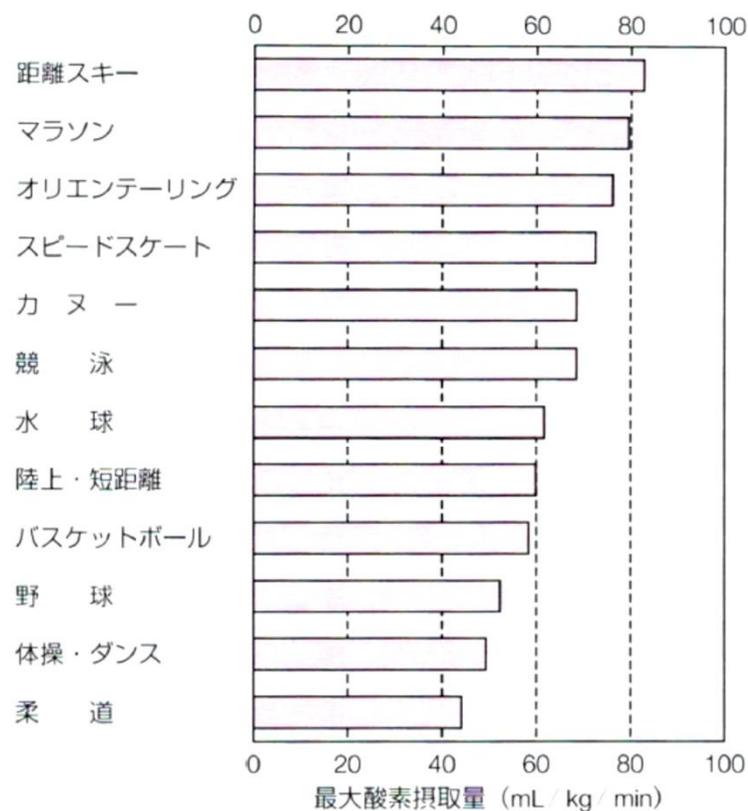


図 6.10 一流スポーツ選手の最大酸素摂取量 (山地, 2001 を改変)  
 最大酸素摂取量は、持久能力を必要とされる種目の選手ほど高い。

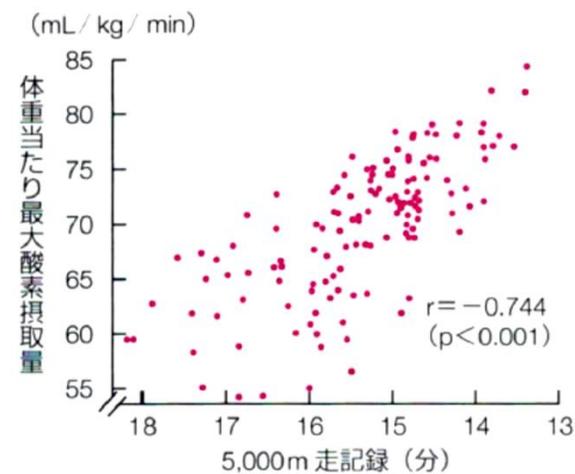
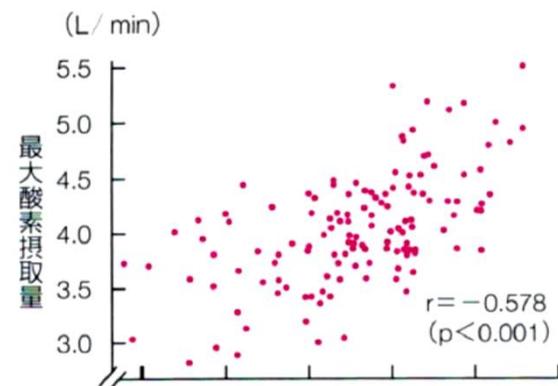
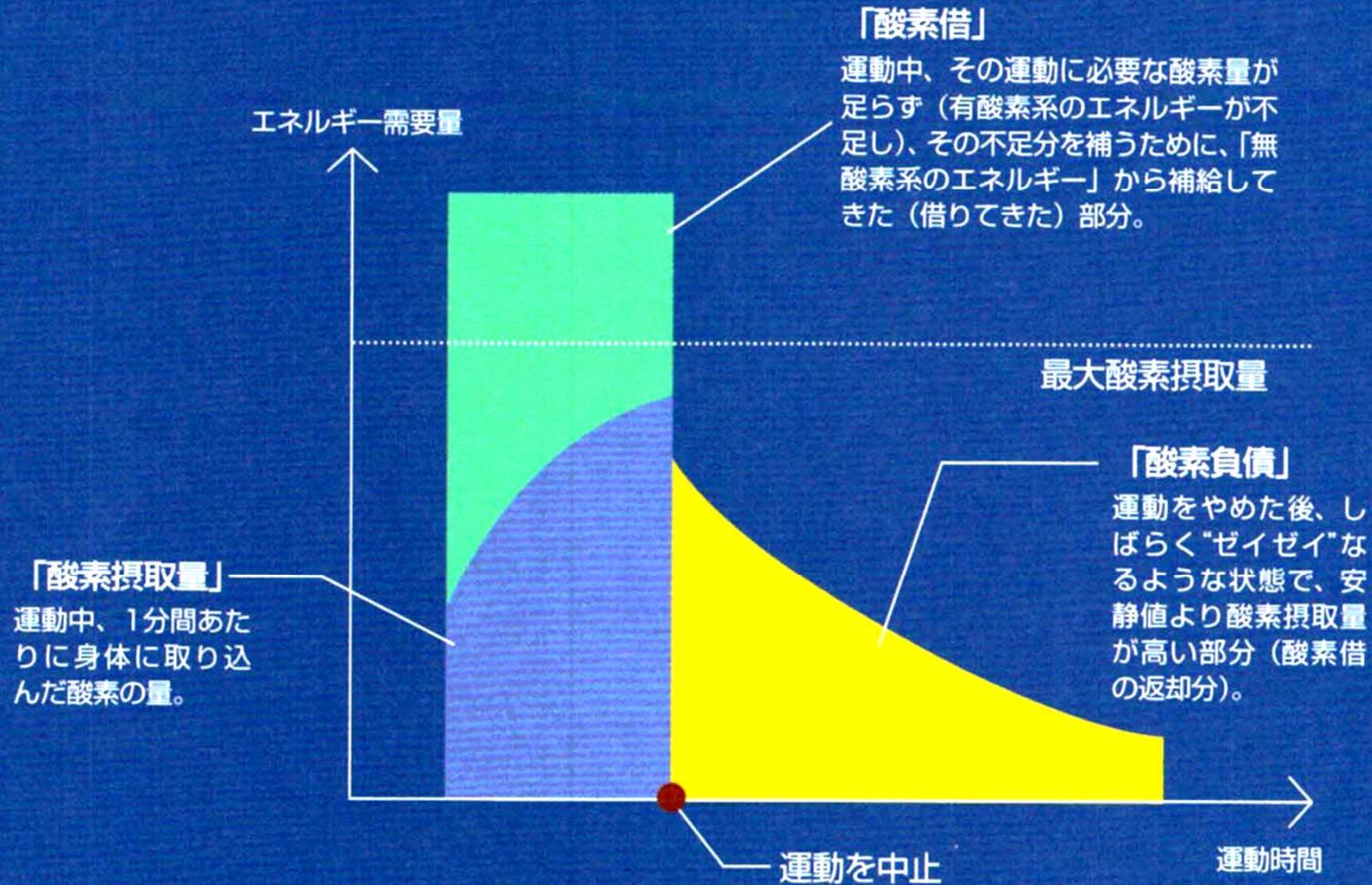


図 6.9 5,000m 走の記録と最大酸素摂取量の関係 (豊岡, 1977)  
 高い最大酸素摂取量を持つ者ほど、優れた記録で 5,000m を走ることができる。

## 超最大運動時の「酸素摂取量・酸素借・酸素負債」



# 酸素借と酸素負債量

最大酸素摂取量を上回る運動強度  
⇒ 不足する酸素摂取量（負債）

最大酸素負債量

一般人： 4～5L

短距離選手： 15L

クレアチンリン酸系と解糖系で無  
酸素的に対応

有酸素系は終了後の回復過程で

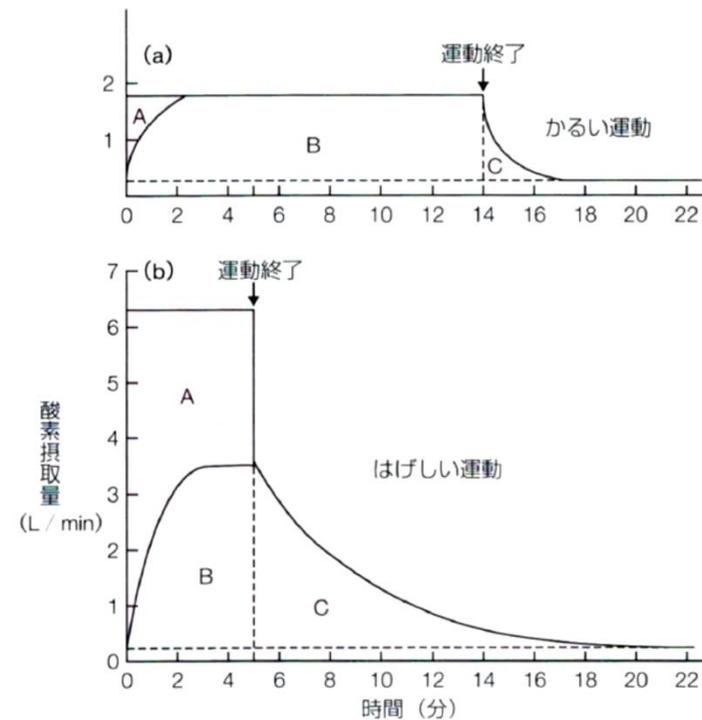


図 6.11 運動中の酸素摂取量 (進藤, 1973)

運動中摂取できなかった酸素は (A)、運動後に補われる (C)、運動後に過剰に摂取される酸素を酸素負債量という。

# 無酸素性作業閾値 (AT)

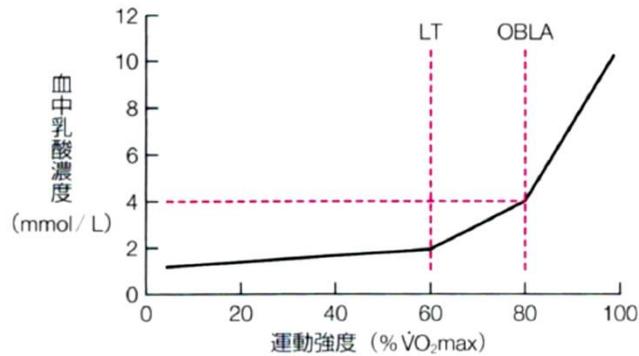
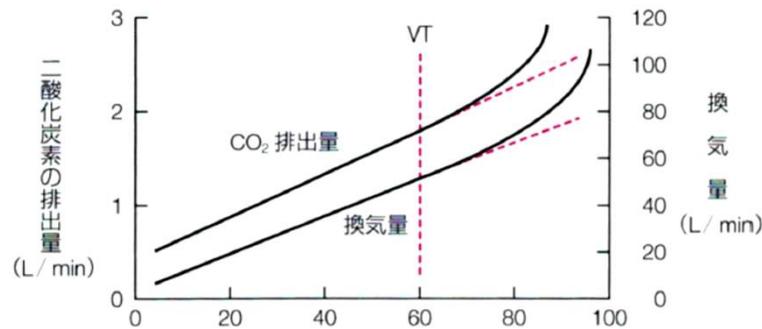
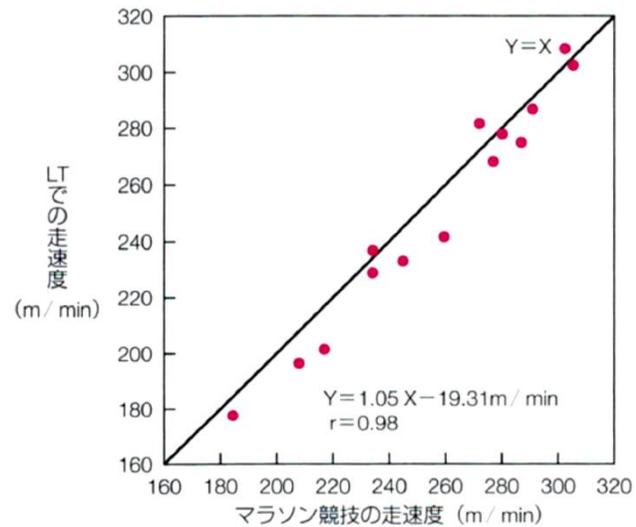


図 6.13 漸増運動負荷テストにおける呼気ガスおよび血中乳酸濃度の変化  
各パラメータに、運動強度の増加に対し、その増加率が変化する変曲点が存在し、それがATの判定に用いられる。



図 6.12 無酸素性作業閾値 (AT) の判定法

無酸素性作業閾値には、大きく分けて2種類の判定方法があり、判定法によりATの呼び名が異なる。



# ランニング強度と血中乳酸濃度

- 呼吸性換気閾値 (VT)
- 解糖系の活動亢進  
血中乳酸濃度の上昇
- LTとOBLA  
運動強度の2つの臨界点  
2.3mmol/Lと4mmol/L
- OBLAの際の走行スピードでパフォーマンスを推定 (20Km以上のレース)  
800mをビルドアップで10本  
⇒ 4mmol/L 速度の高い方が上位

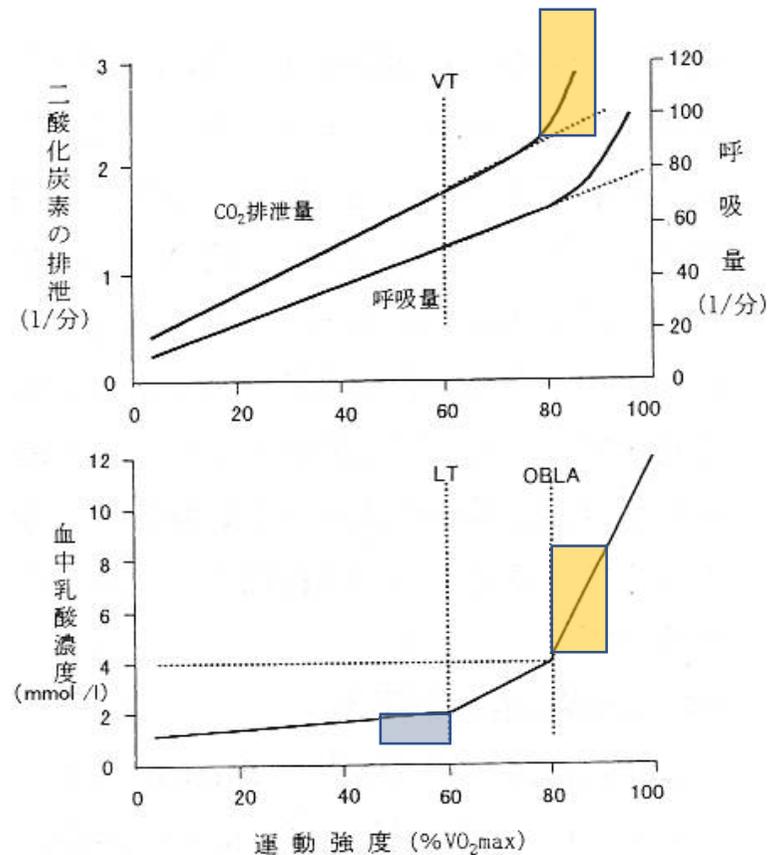


図9-I-12 漸増運動負荷法テストにおける呼気ガスおよび血中乳酸濃度の変化

表 2-2 運動処方のための運動強度のとらえ方

自覚的運動強度 (RPE) 強度の感じ方、その他の感覚を参考に RPE点数をきめる		$\dot{V}O_2\max$ からみた 強度	脈拍数からみた強度 $\% \dot{V}O_2\max$ に相当すると 思われる脈拍数					
強度の感じ方	その他の感覚	RPE 点数	$\% \dot{V}O_2\max$	1 分間当たりの脈拍数				
				60歳代	50歳代	40歳代	30歳代	20歳代
最高にきつい	からだ全体が苦しい	20	100%	155	165	175	185	190
非常にきつい	無理、100%と差がないと感じる、 若干言葉が出る、息がつまる	19						
きつい	続かない、やめたい、のどがかわ く、がんばるのみ	18	90%	145	155	165	170	175
		17						
ややきつい	どこまで続くか不安、緊張、汗び っしょり	16	80%	135	145	150	160	165
		15						
やや楽である	○いつまでも続く、充実感、汗が出る	14	70%	125	135	140	145	150
		13						
楽である	汗が出るか出ないか、フォームが 気になる、ものたりない	12	60%	120	125	○130	135	135
		11						
非常に楽である	楽しく気持ちよいがまるでものた りない	10	50%	110	110	115	120	125
		9						
最高に楽である	じっとしているより動いたほうが楽	8	40%	100	100	105	110	110
		7						
		6	30%	90	90	95	95	95
		5						

(体育科学センター資料およびRPEより 1987, 伊藤改変)

○年齢40歳代で、60% $\dot{V}O_2\max$ 強度の運動処方の場合、自覚的運動強度は「やや楽である」であり、RPE点数だと11点、脈拍数だと130拍がめやすとなる

# 運動と関連するホルモン

- 副腎髄質ホルモン（カテコールアミン）  
アドレナリン・ノルアドレナリン・ドーパミン
- 副腎皮質ホルモン  
糖質コルチコイド（ストレスホルモン）
- 膵臓ホルモン  
ランゲルハンス島 $\beta$ 細胞（インシュリン）とグルカゴン
- 成長ホルモン  
骨格筋の合成、軟骨形成促進  
代謝系：血中グルコース濃度上昇と脂肪分解

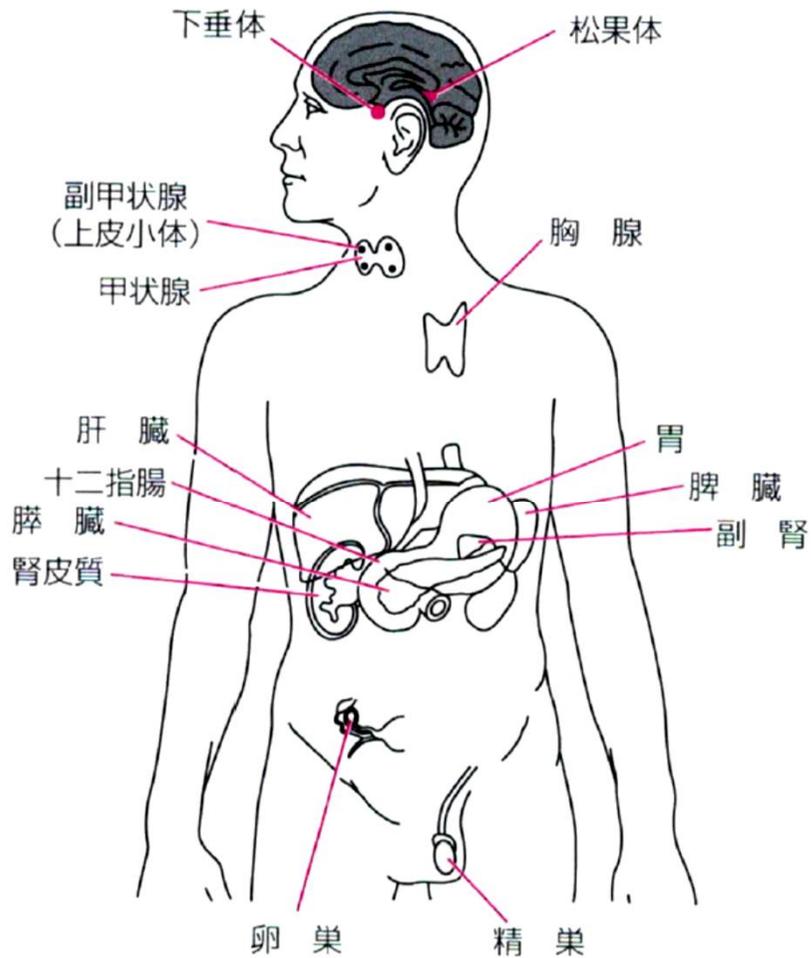


図 7.1 身体の主要な内分泌腺 (Scheve, 1987)

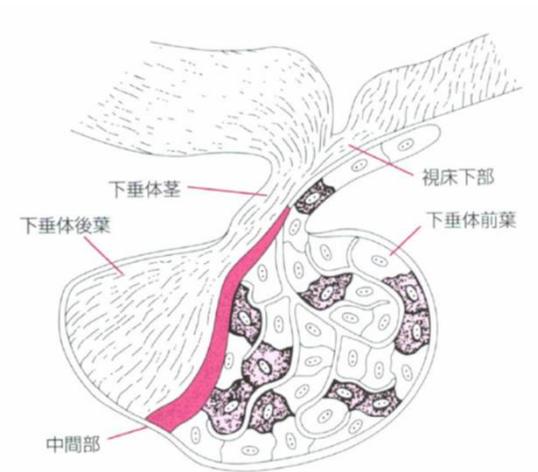


図 7.5 下垂体と視床下部 (Scheve, 1987)

分泌性大脳 = 視床下部 - 下垂体  
 (放出因子) (ホルモン)

例：甲状腺刺激ホルモン  
 放出因子 甲状腺刺激ホルモン

刺激ホルモンが標的の内分泌腺に到達

# 筋疲労の要因（1）

- 神経情報の伝道・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

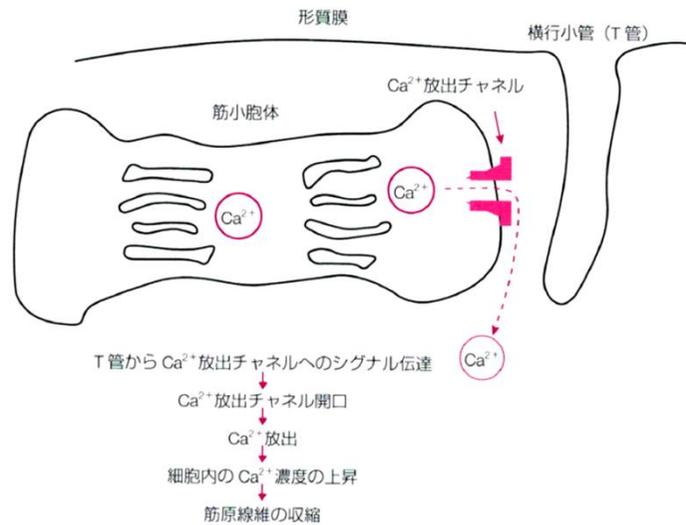


図 8.3 筋小胞体の働きと筋原線維の収縮

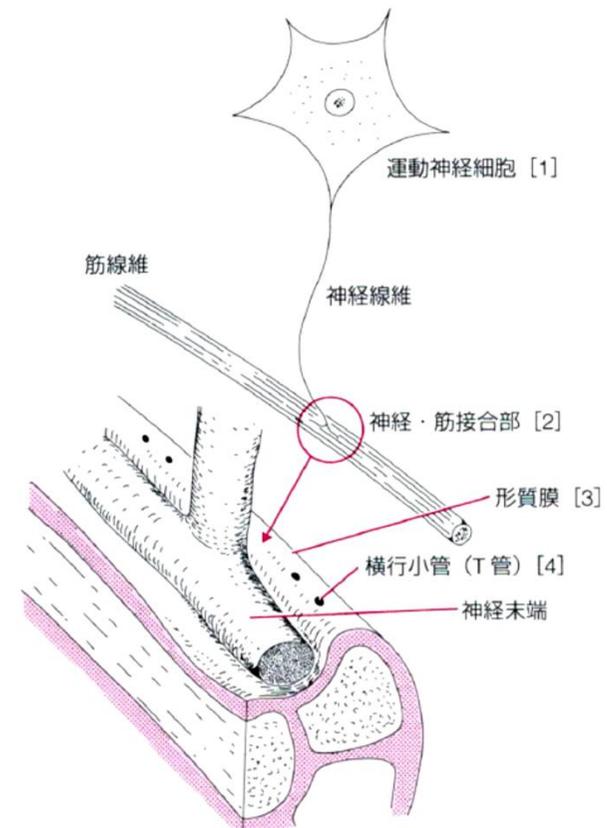


図 8.1 神経情報の伝導・伝達において機能低下の起こる部位

## 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（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

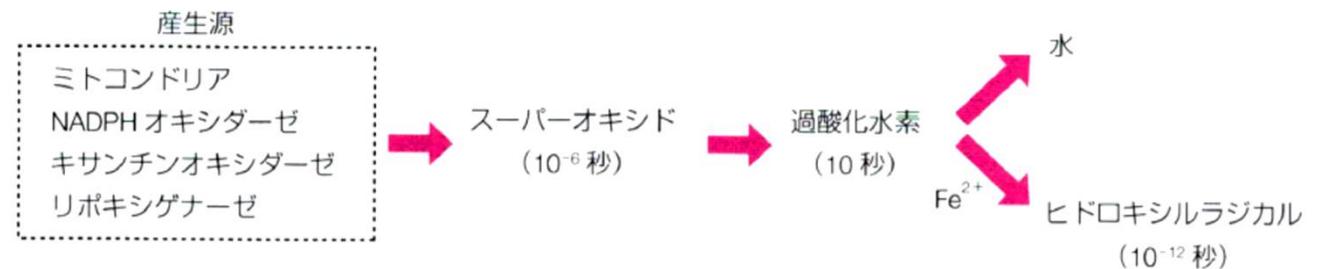


図 8.7 筋細胞内での活性酸素種の生成経路

# 筋グリコーゲン量とグリコーゲンローディング

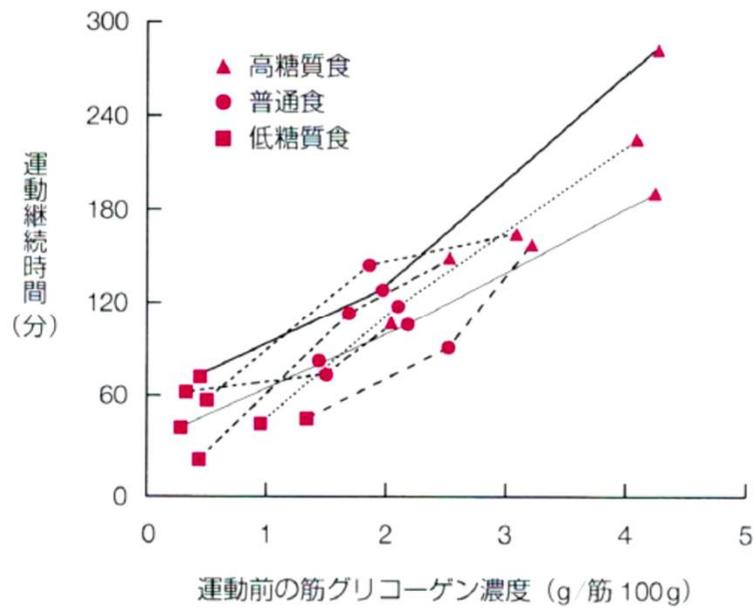


図 8.6 運動前の筋グリコーゲン濃度と運動継続時間との関係 (Bergström ら, 1967)

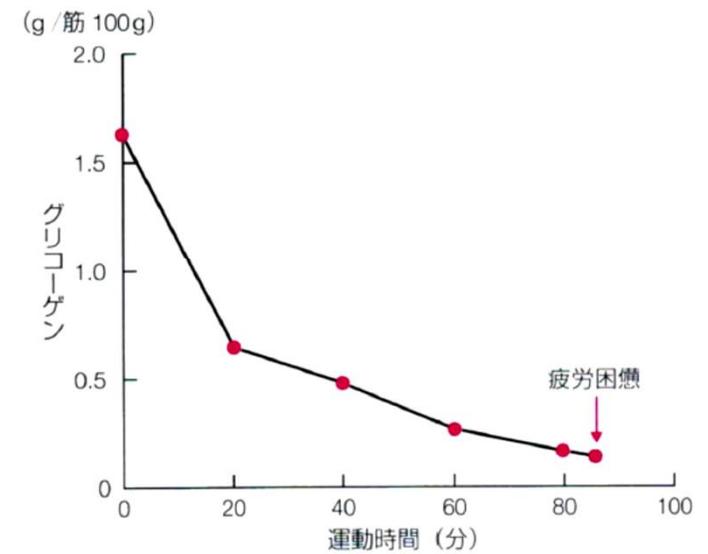


図 8.5 持久的運動に伴う筋グリコーゲンの変化 (Hermansen ら, 1967)

# 末梢性疲労と中枢性疲労

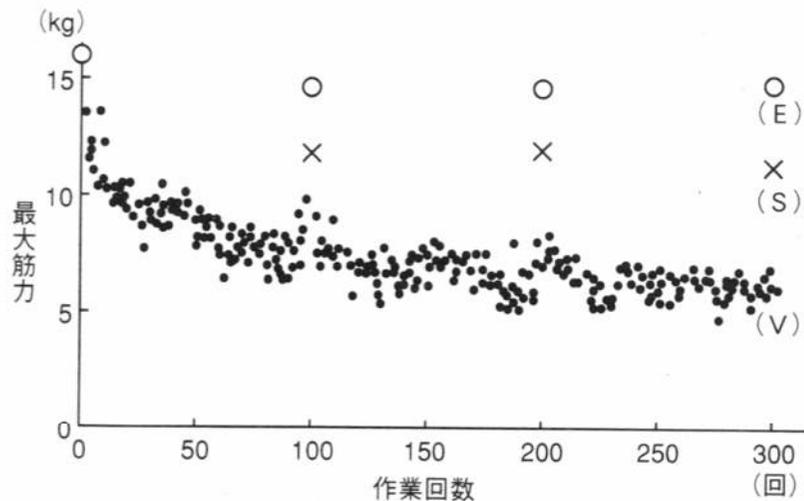


図4-7 筋活動中の心理的限界と生理的限界 (猪飼・矢部, 1971年)

- (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

## 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）

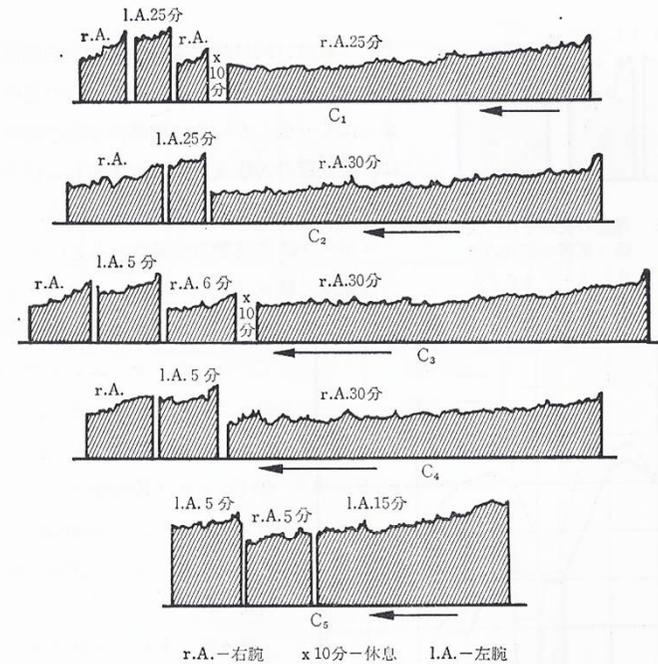


図 93 セーチェノフ, И.М. の筋労作曲線 (r.A.—右腕, x 10 分—休息, l.A.—左腕)

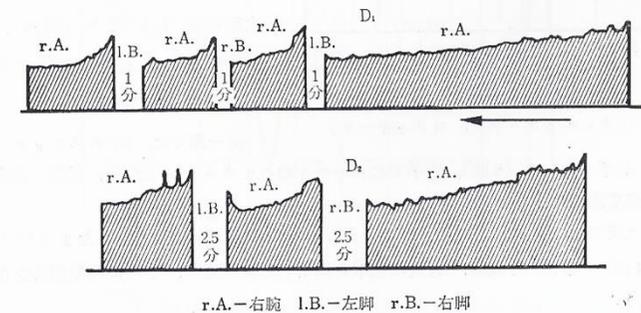


図 94 セーチェノフ, И.М. の筋労作曲線 (r.A.—右腕, l.B.—左脚, r.B.—右脚)

# 運動と体温調節

- 熱の移動（伝導・対流・輻射・蒸発）
- 体温調節の仕組み（熱生産と熱放散）
- 運動時の体温調節（発汗機能：能動汗腺の重要性）
- 運動と熱中症（熱疲労・熱痙攣・熱失神・熱射病）

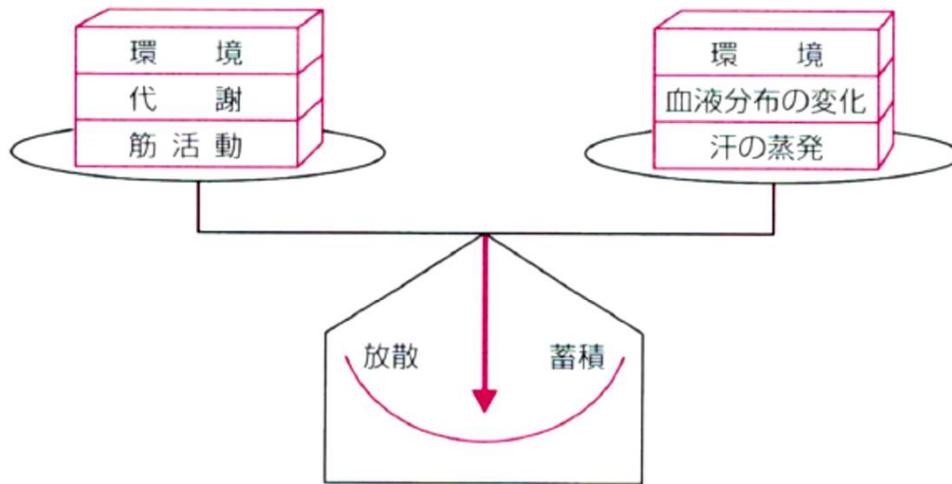


図 9.1 体温に影響する要因

ランニング中の熱動態  
 ⇒ 追風ランニングの危険性  
 ⇒ ゴール後の危険性  
 (ファンベルトの切れた空冷エンジン)

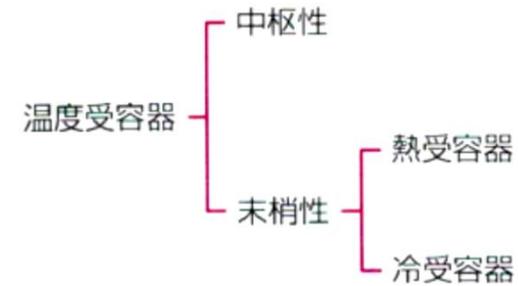


図 9.2 温度受容器の種類

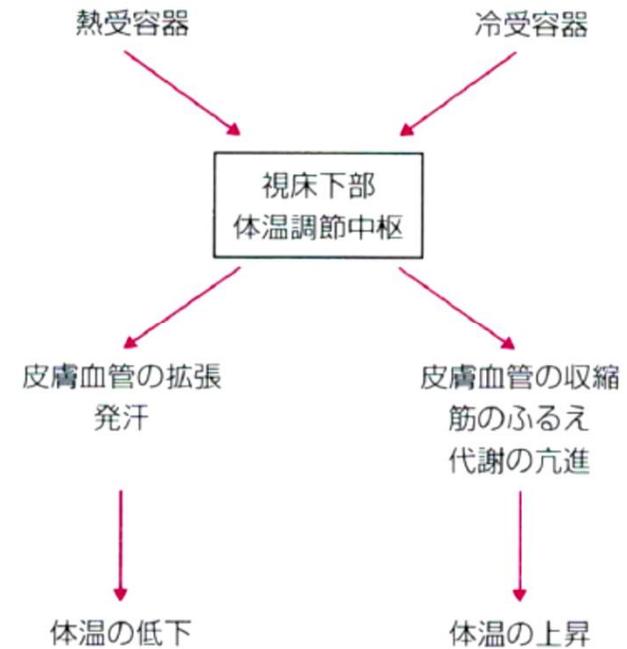


図 9.3 体温調節のしくみ

# 熱中症の危険性

表 9.2 熱中症の分類と症状 (中井, 2007)

分類	原因	症状	意識	体温	皮膚温	重症度
熱失神	脳への血流量低下	一過性の意識消失	消失	正常	正常	I 度
熱痙攣	塩分やミネラルの減少	痙攣と硬直	正常	正常	正常	I 度
熱疲労	脱水	強い疲労感や頭痛など	正常	上昇 <sup>*1)</sup>	低下	II 度
熱射病	視床下部の機能障害	高度の意識障害	消失	上昇 <sup>*2)</sup>	上昇	III 度

※1) 39℃程度にまで上昇する. ※2) 40 度を超える.

- 救急車の要請
- 衣服をゆるめる
- 体温を下げる (水・氷・送風)

トレーニングと運動処方

# 体力の定義

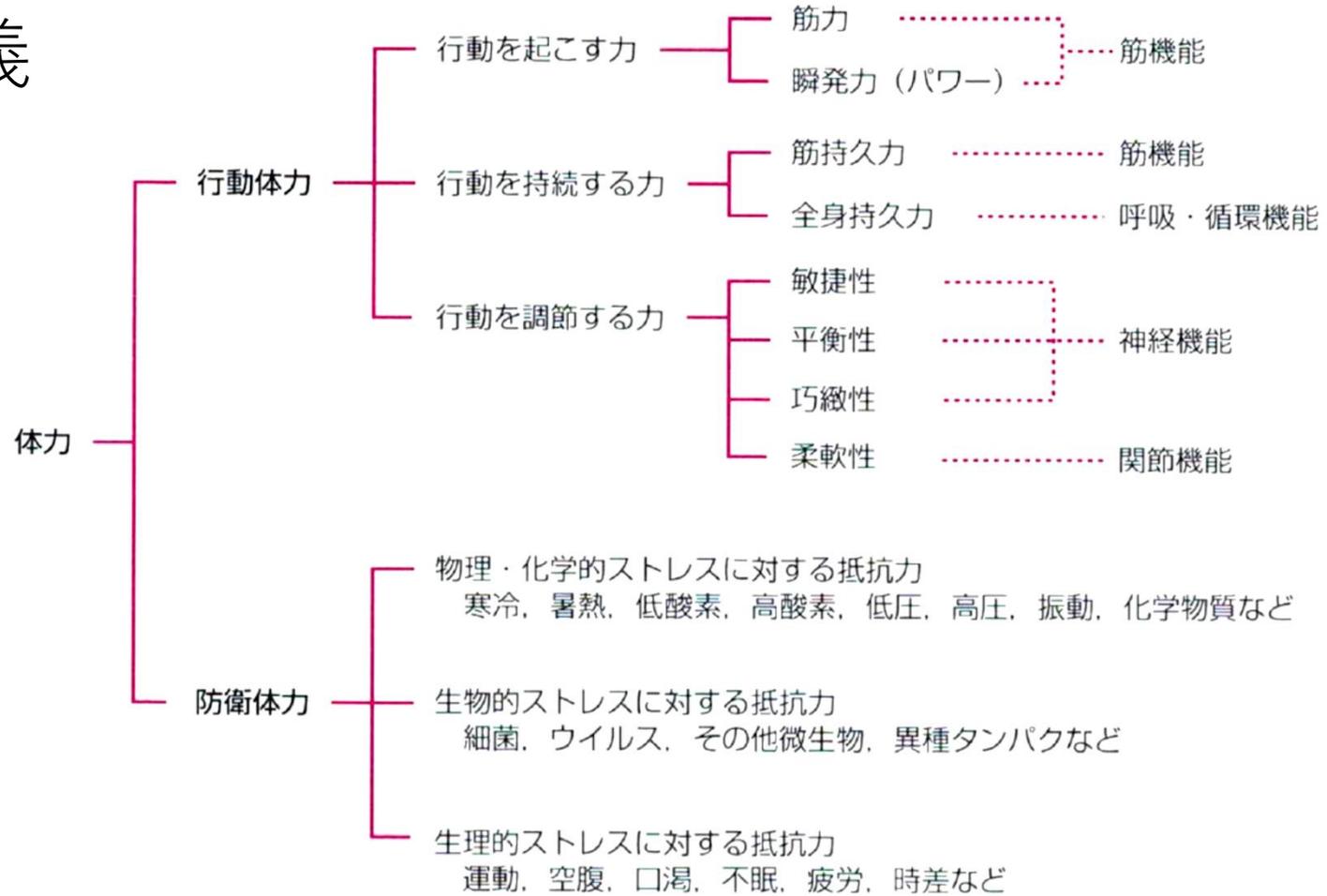


図 12.1 体力の分類 (池上, 1985 を改変)

体力は行動体力と防衛体力に分けることができ、両者とも複数の要因から成り立っている。

# 全身持久力の低下 (生活習慣病のリスクファクター)

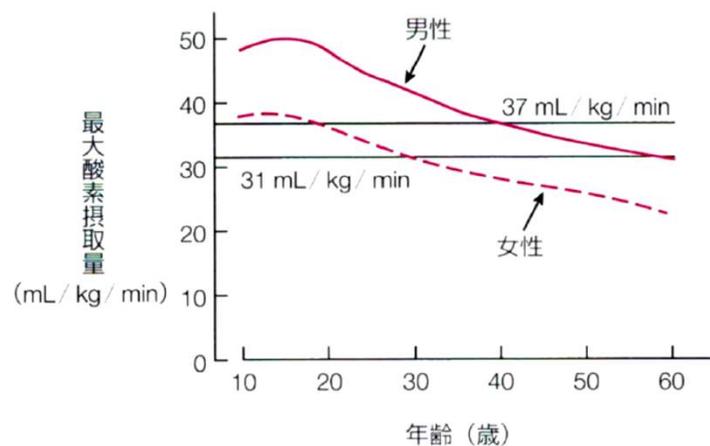


図 12.2 加齢に伴う最大酸素摂取量の変化 (首都大学東京体力標準値研究会, 2005 を改変)

最大酸素摂取量は 10 歳代後半から徐々に低下し、男性では約 40 歳、女性では約 30 歳で目安となる値を下回る。

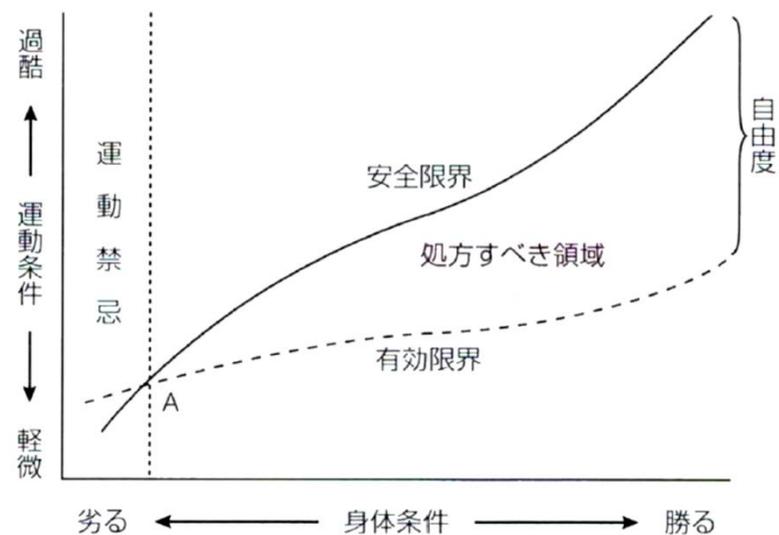


図 12.3 処方の自由度 (池上, 1985)

# 有酸素運動と運動強度の推定

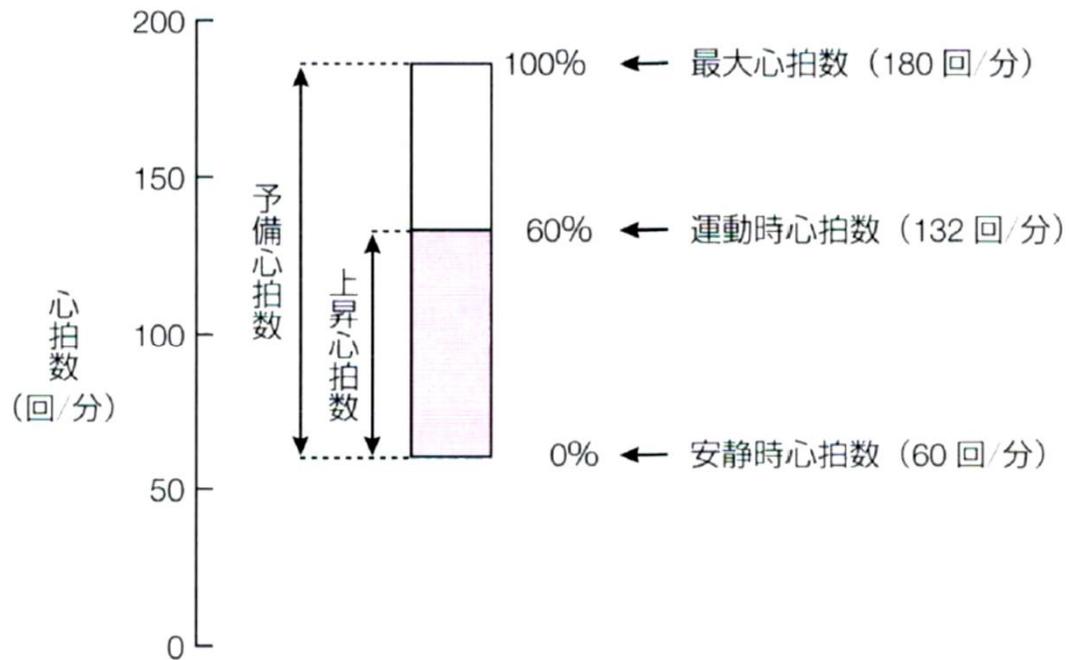


図 12.6 予備心拍数と上昇心拍数

表 12.1 健康づくりのための運動時間 (池上, 1984)

運動強度	運動時間
50% $\dot{V}O_2\text{max}$	30~40 分
60% $\dot{V}O_2\text{max}$	20~30 分
70% $\dot{V}O_2\text{max}$	10~20 分

表 12.2 健康づくりのための運動量と目標心拍数 (進藤と橋本, 1989 を改変)

	年 齢				
	20 歳代	30 歳代	40 歳代	50 歳代	60 歳代
1 週間の総運動時間 (分)	180	170	160	150	110
目標心拍数 (回/分)	135	130	125	120	115

総運動時間は、50%  $\dot{V}O_2\text{max}$  の運動を行った場合、望ましい最大酸素摂取量を維持できる数値である。また、目標心拍数は、安静時心拍数が 70 回/分の人が、50%  $\dot{V}O_2\text{max}$  の運動を行ったときの値である。

# 運動強度の指標：自覚的運動強度（Borgスケール）

自覚的運動強度（RPE） 強度の感じ方、その他の感覚を参考に RPE 数をきめる			$\dot{V}O_2\max$ からみた 強度	脈拍数からみた強度 $\% \dot{V}O_2\max$ に相当すると思われる脈拍数				
強度の 感じ方	その他の感覚	RPE 点数	$\% \dot{V}O_2\max$	1 分間当たりの脈拍数				
				60 歳代	50 歳代	40 歳代	30 歳代	20 歳代
最高に きつい	からだ全体が苦しい	・ 20	100%	155	165	175	185	190
非常に きつい	無理、100%と差がないと感じる、若干言葉が出る、息がつかまる	・ 19						
きつい	続かない、やめたい、のどがかわく、がんばるのみ	・ 18	90%	145	155	165	170	175
		・ 17						
やや きつい	どこまで続くか不安、緊張、汗びっしょり	・ 16	80%	135	145	150	160	165
		・ 15						
やや 楽である	○いつまでも続く、充実感、汗が出る	・ 14	70%	125	135	140	145	150
		・ 13						
楽である	汗が出るか出ないか、フォームが気になる、ものたりない	○ 12	60%	120	125	○ 130	135	135
		○ 11						
非常に 楽である	楽しく気持ちよいがまるでもものたりない	・ 10	50%	110	110	115	120	125
		・ 9						
最高に 楽である	じっとしているより動いたほうが楽	・ 8	40%	100	100	105	110	110
		・ 7						
		・ 6	30%	90	90	95	95	95
		・ 5						

(体育科学センター資料および RPE より、1987、伊藤改変)

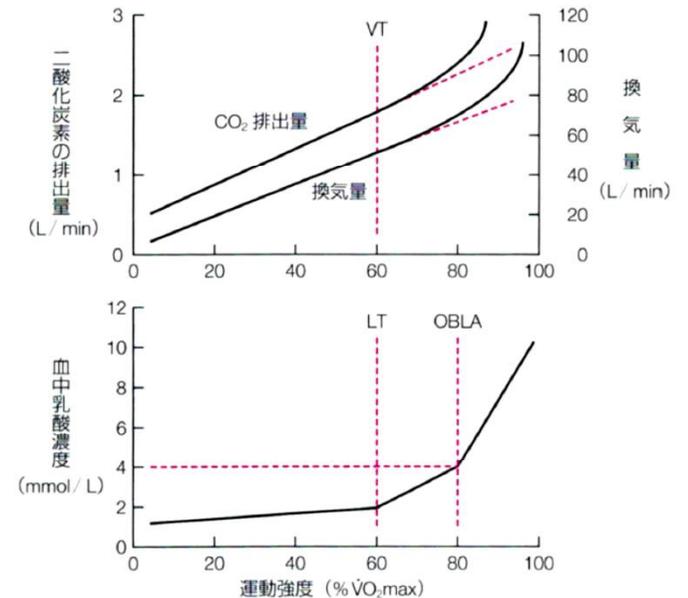
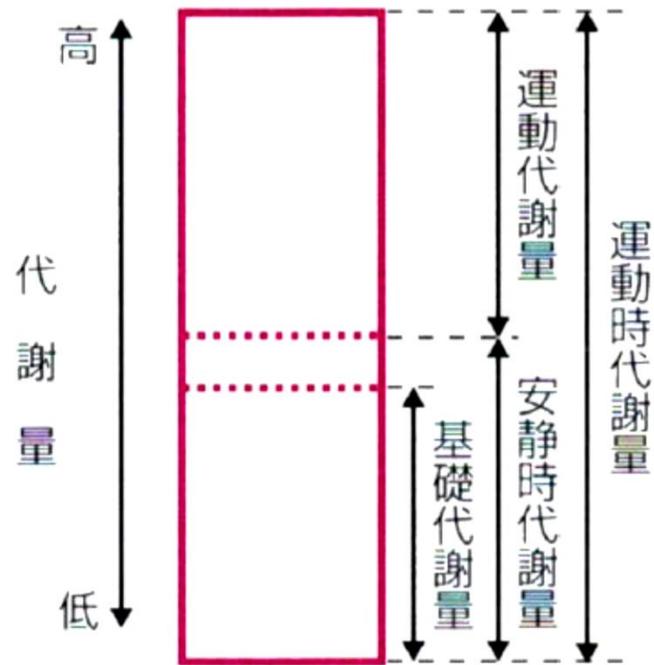


図 6.13 漸増運動負荷テストにおける呼気ガスおよび血中乳酸濃度の変化  
各パラメータに、運動強度の増加に対し、その増加率が変化する変曲点が存在し、それがATの判定に用いられる。

# 1週間に3メッツ以上23エクササイズの運動実施



$$\text{メッツ} = \frac{\text{運動時代謝量}}{\text{安静時代謝量}}$$

$$\text{メッツ} \cdot \text{時} = \text{メッツ} \times \text{身体活動時間 (時間)}$$

図 12.7 代謝量とメッツ

# 短時間高強度トレーニング（HIT）

- 20秒間の全力運動  
+10秒間の休息  
連続3セット×週3回  
(つまり週3分！)

ただしこの自転車型ハイパワーエルゴメーターは高価（50万円）・・・通常のエアロバイクと異なる点  
かわりになる運動は・・・



# 全力で運動を20秒間継続すると

- 糖代謝にかかわる筋グリコーゲンの利用（枯渇）促進  
糖代謝の改善（インシュリン非依存性）  
グリコーゲンを分解する酵素（速筋系に多いMCT4）
- 数週間で糖代謝パターンが変わる？
- 日本では「タバタ方式」（立命館大学、田畑泉先生）  
筋トレ8セット（へろへろになります）

# 最大酸素摂取量 (ml/min/kg)

「1000m~2000mを、全力で走るような運動」を行なったとき、酸素摂取量は最大になる。



## ●最大酸素摂取量と運動強度

最大酸素摂取量に対する比率	運動の呼び方	運動の目標
200%	↑ 無酸素的な運動 ↑ (超最大運動) ↑	
100%	(無酸素的な運動)	
80%	有酸素運動 (OBLA)	●持久力アップ
60%	有酸素運動 (AT、LT)	●健康維持
40%	有酸素運動	
20%	楽な運動	●アクティブレスト
0%		

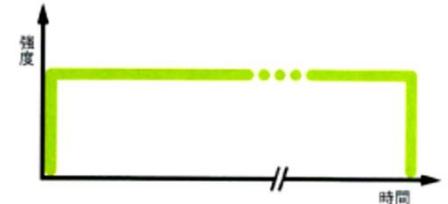
# 持久力トレーニングのタイプ

- ディスタンストレーニング  
VO<sub>2</sub>Max. の65～70%：1時間以上
- エアロビック・インターバルトレーニング  
VO<sub>2</sub>Max.の70～80%：4mM以下、5～15分
- ペーストレーニング  
VO<sub>2</sub>Max.の80～90%：8～15mM、3～10分
- アネロビック・インターバルトレーニング  
VO<sub>2</sub>Max.の95～120%：15～20mM、30秒～4分間

## 負荷パターンによるトレーニングの分類（模式図）

### 持続トレーニング

比較的低強度でのトレーニングに多く用いられる。一定の強度を維持するのが基本的なやり方。段階的に負荷を上げたり、適度に負荷を上下させたりするバリエーションもある。



### インターバル・トレーニング

OBLA(→P145)以上の比較的高強度のトレーニングを行なう場合に広く用いられている方法。強度の高い運動を軽い運動や短い休息を繰り返して繰り返す。スプリント・インターバルのように20～30秒程度の非常に高強度な運動を行なうものから5～10分程度の比較的長い運動を行なうものまで目的に合わせてさまざまな設定ができる。

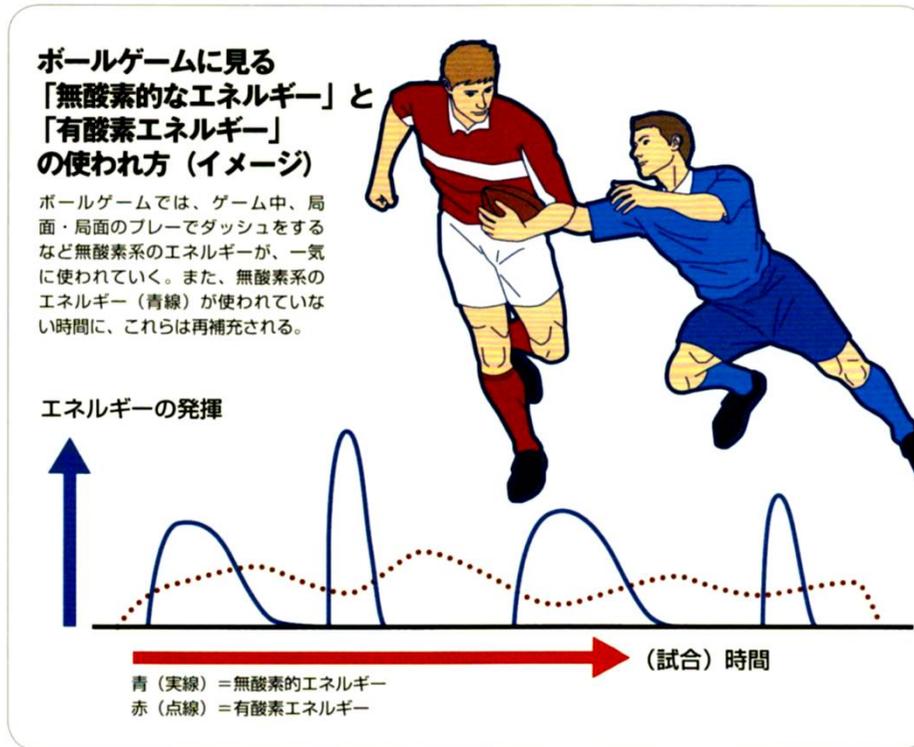


### レペティション・トレーニング

ほぼ全力で行なう非常に強度の高いトレーニング。インターバル・トレーニングと異なり、ある程度しっかり回復させるため長めの休憩を繰り返して繰り返す。インターバル・トレーニング同様に強度・時間・回数は目的に合わせてさまざまに設定できる。



# 球技の試合を支える複雑さ



複数の 3 × 3 システ

動きをつくり出すシステム

	Type I	Type II a	Type II b
ATP-PCr系	△	◎	◎
解糖系	○	◎	◎
有酸素系	◎	○	△

エネルギーをつくり出すシステム

定本ら (1987年) の図を山崎が改変

動きをつくり出すシステム

	Type I	Type II a	Type II b
ATP-PCr系	△	◎	◎
解糖系	○	◎	◎
有酸素系	◎	○	△

エネルギーをつくり出すシステム

定本ら (1987年) の図を山崎が改変

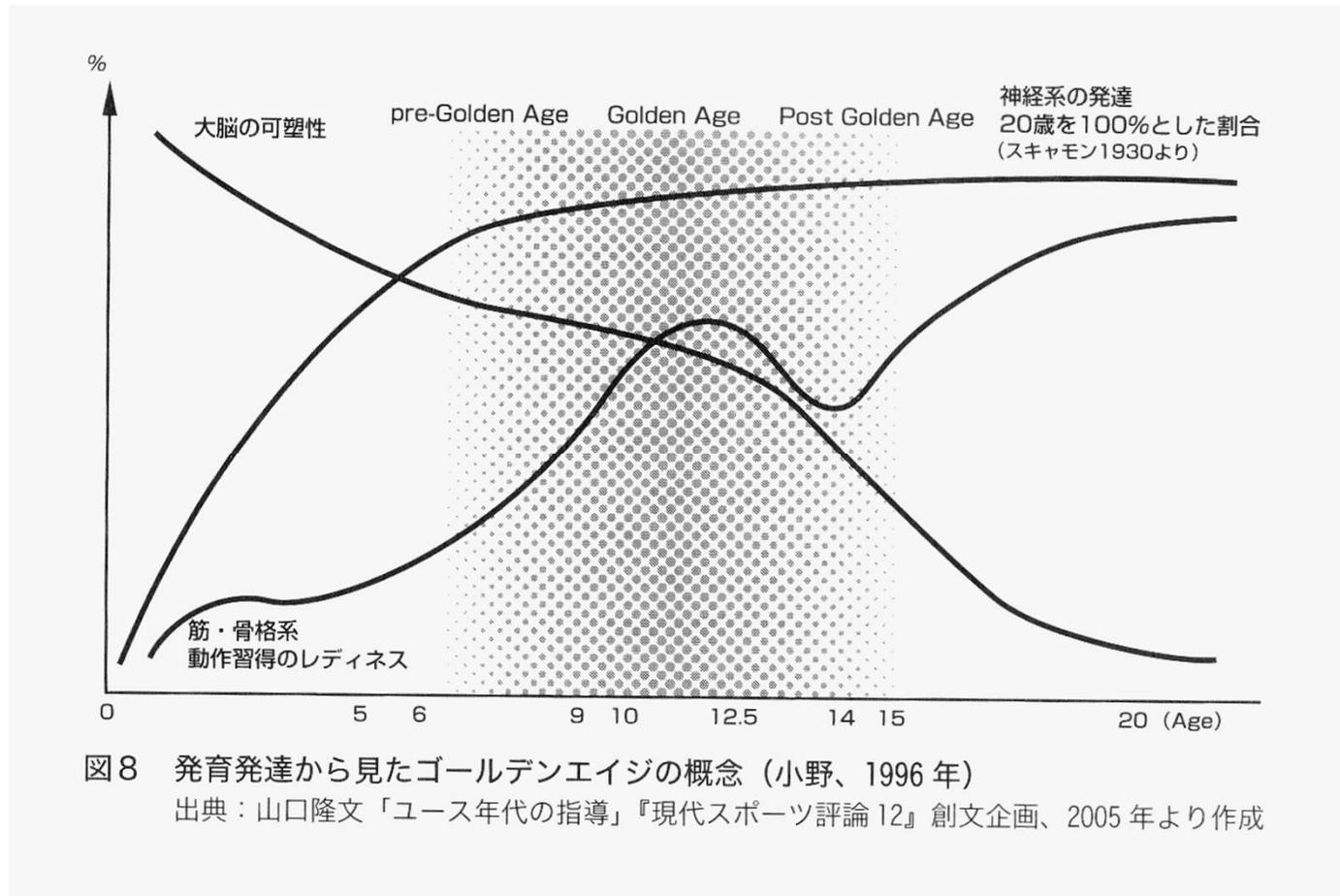
動きをつくり出すシステム

	Type I	Type II a	Type II b
ATP-PCr系	△	◎	◎
解糖系	○	◎	◎
有酸素系	◎	○	△

エネルギーをつくり出すシステム

定本ら (1987年) の図を山崎が改変

# 子どもの発達段階とスポーツ実施



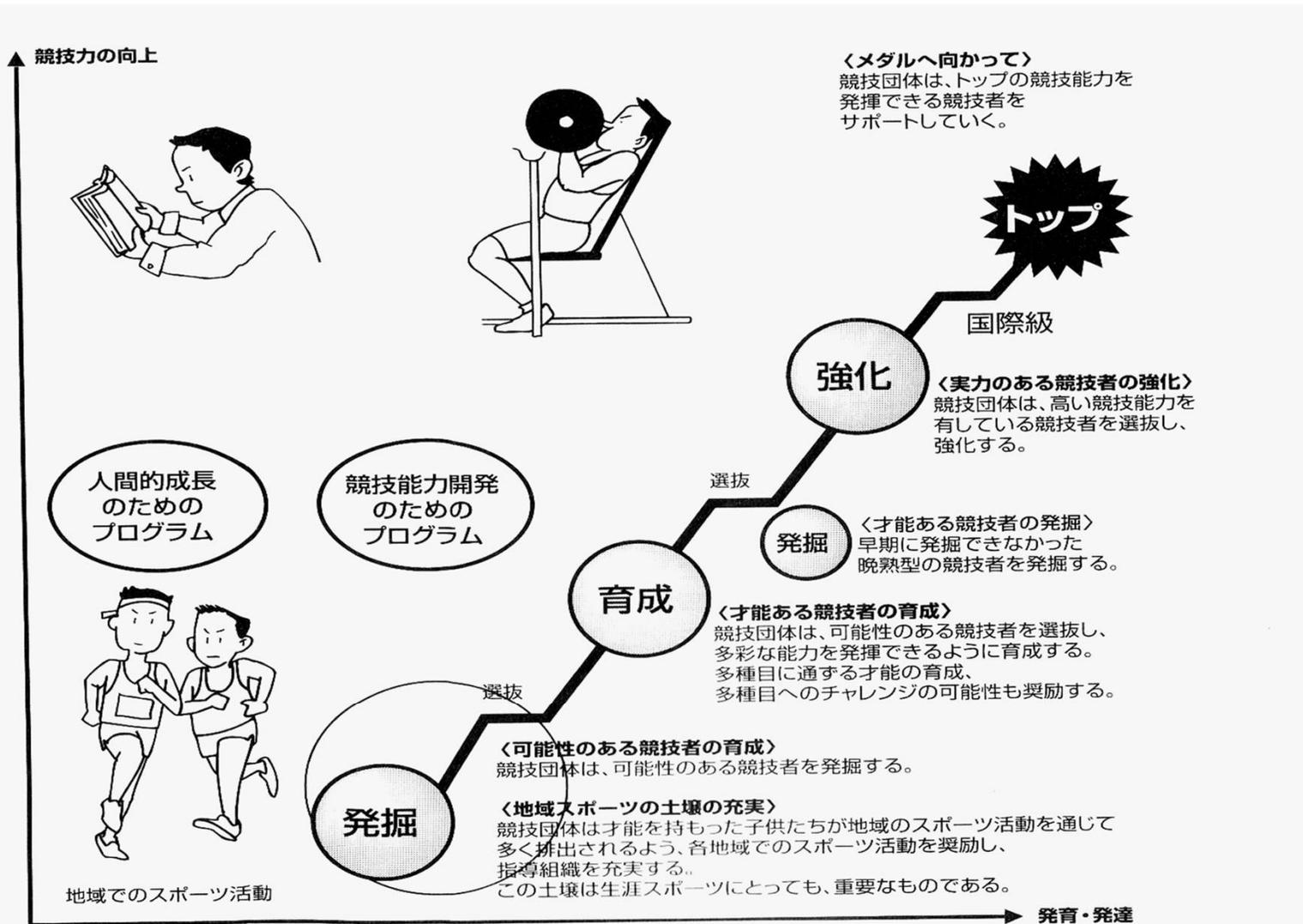
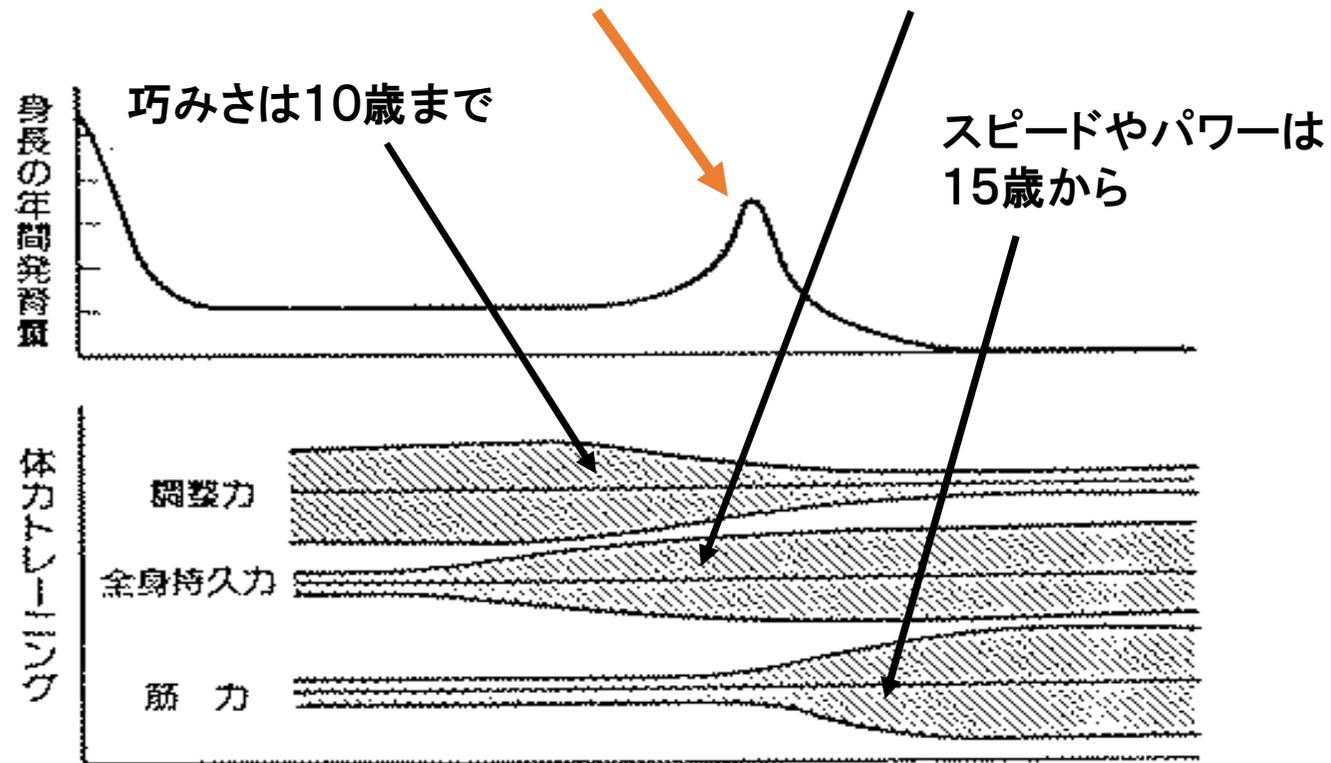


図2 発育・発達に合わせた一貫指導

(財)日本オリンピック委員会 (JOC) 一貫指導システムプロジェクト中央班による  
(1998) より作成

# 成長段階の推定ということ・・・

**身長急成長期(怪我をしやすい)の筋肉は持久型！**



# 指導計画に考慮すべき内容・項目

どのような可能性を秘めているのか ～タレントの発掘～

「最終身長」と発達段階の推定

暦の年齢と生物学的年齢のズレ（±3歳？）

筋組成（持久型か瞬発型か？）

筋線維の比率は変わらないが、発達の様相やトレーニング内容で異なって見える

高校生段階までは「眠っている」可能性も

# 高齢者の筋機能の変化

- サルコペニアとロコモティブシンドローム
- 診断方法（簡易法としての“指輪っかテスト”）

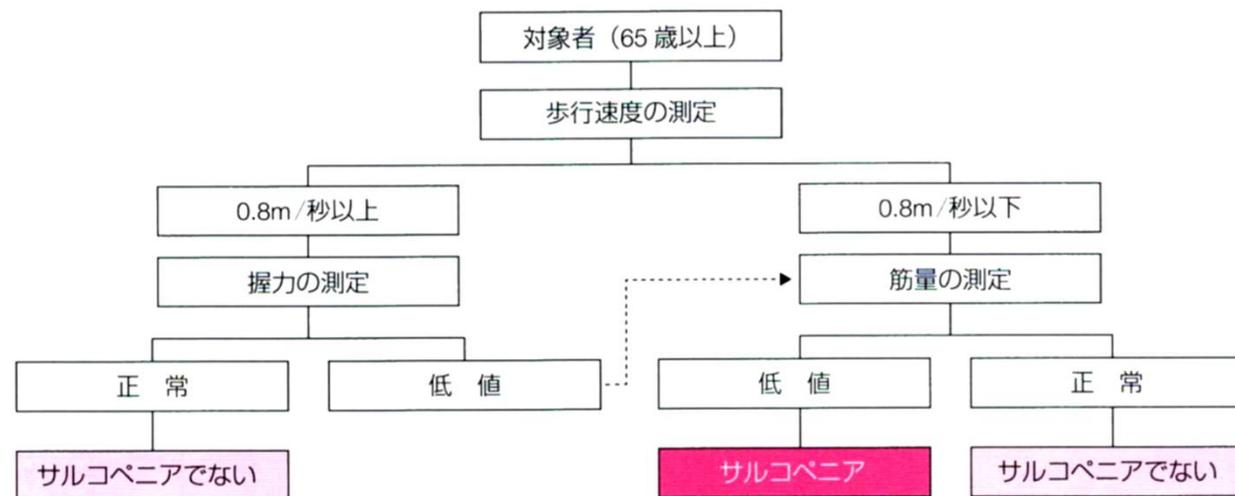


図 14.1 サルコペニアの診断（阿部ら，2013 を改変）  
握力の正常値の基準は，男性で 30.3kg 以上，女性で 19.3kg 以上である。

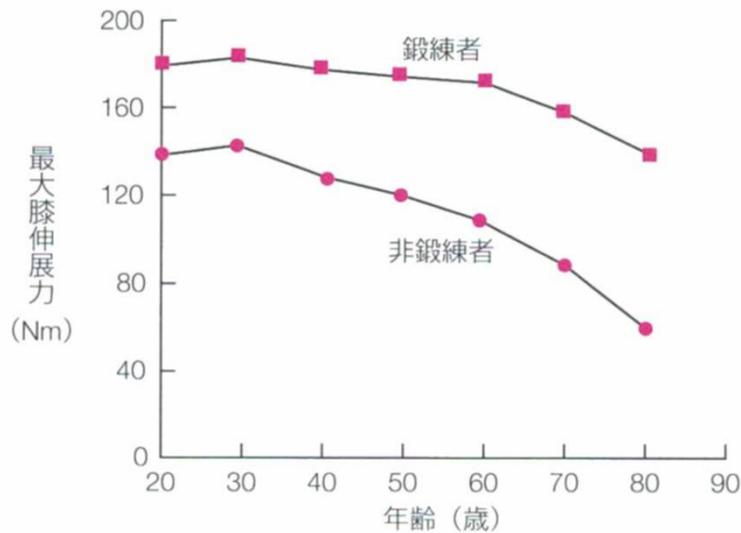
## サルコペニアの疑いは・・・

- 片足で靴下がはけない
- ビンやペットボトルのふたが開けられない  
家族の締めたふたが開かない・・・
- 大きな横断歩道で渡りきる前に黄色信号
- いつもの駅やバス停まで時間がかかる（乗り遅れそうになる）
- そして“生活不活発病（廃用性萎縮）”の危機も

# “生活不活発病”から“虚弱（フレイル）”へ

- 被災からの避難生活で明らかになったこと
  - “齢だから・・・”
  - “大きな病気をしたわけではないのに・・・”
  - “疲れやすくなった・・・”
  - “息切れがする・・・”
- 動かなくなったことによる筋機能・持久的機能の低下 ≡ 生活不活発病
- そのまま進行すると・・・大変！

# 筋力の低下



左：筋力の低下  
下：筋組成の変化

速筋系筋線維は廃用性や加齢性萎縮を受けやすい？

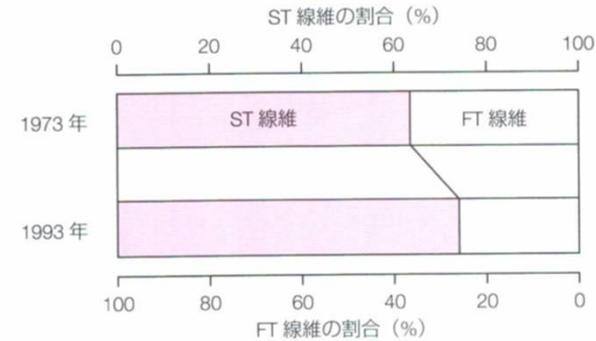


図 14.3 加齢に伴う筋線維組成の変化 (Trappe ら, 1995 を改変)  
28 人について、20 年間の間隔をおいて腓腹筋の筋線維組成を調べたところ、20 年間で約 8% 遅筋 (ST) 線維の割合が増加していることが認められた。

# 運動単位レベルでの変化

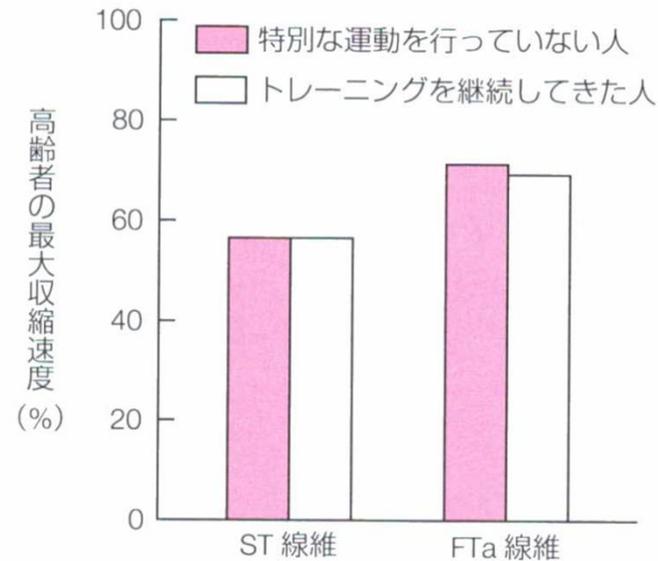


図 14.4 高齢者における単一筋線維の最大収縮速度 (Larsson ら, 1997 を改変)  
ST 線維および FTa 線維の最大収縮速度は、加齢とともに減少するが、トレーニングを継続して行っても、その低下を抑制することはできない。値は青年の収縮速度に対する割合で表してある。

マスターズ陸上競技選手でも加齢により記録は低下する

# 筋の持久性の変化

## 最大酸素摂取量と呼吸循環系の変化

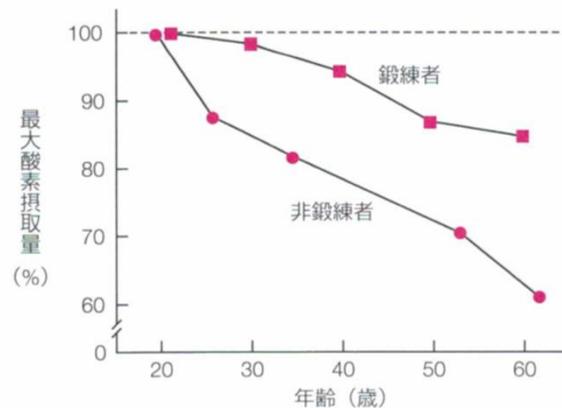


図 14.5 加齢に伴う最大酸素摂取量の変化 (Åstrand と Rodahl, 1986 および Wilmore と Costill, 1999 を改変)

最大酸素摂取量は、加齢に伴い低下するが、トレーニングを行うことによって、その低下率を減少させることができる。値は体重に対する相対値を 20 歳時のものに対する割合で示してある。

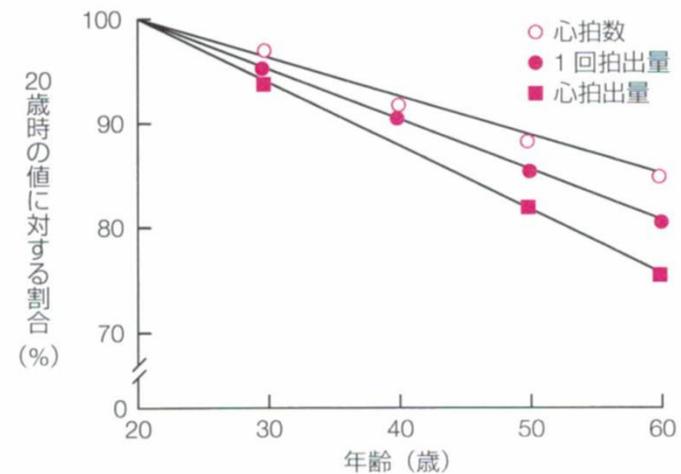


図 14.6 加齢に伴う心拍数、1回拍出量および心拍出量の最大値の変化 (Wilmore と Costill, 1999)

各パラメータは加齢とともに、ほぼ直線的に低下する。値は 20 歳時のものに対する割合で示してある。

# 高齢者のトレーニングビリティ

## 筋力と持久力の変化

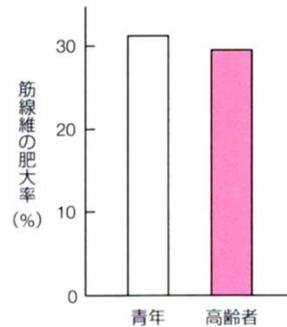


図 14.7 12週間の筋力トレーニングによる筋線維の肥大率 (MacDougall, 1986 および Frontera ら, 1988 を改変)  
筋力トレーニングによる筋線維の肥大率は青年と高齢者で大きな差異はない。

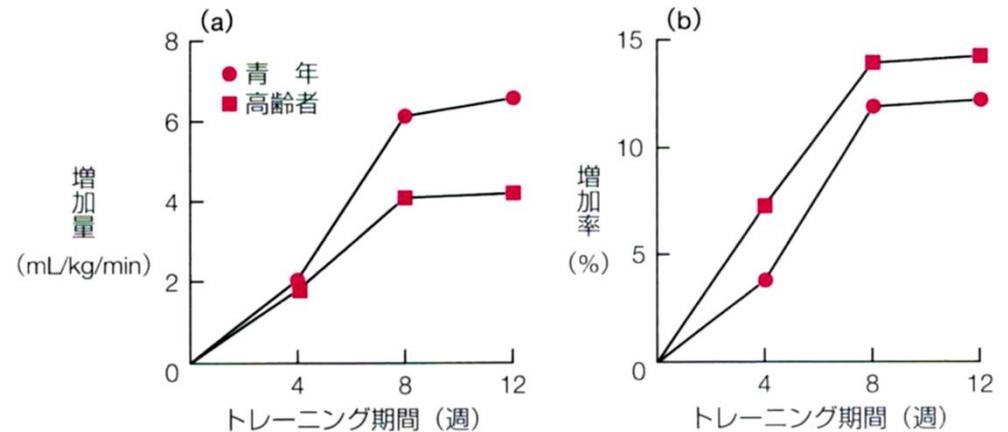
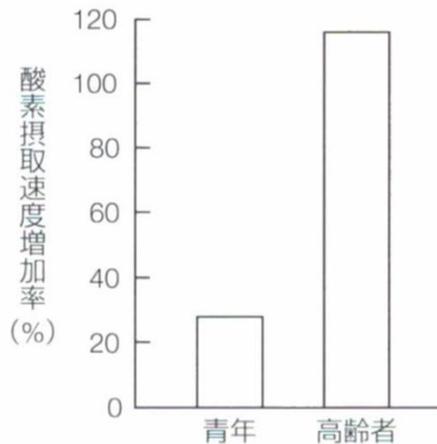


図 14.8 持久性トレーニングによる最大酸素摂取量の変化 (Meredith ら, 1989 を改変)  
トレーニングによる最大酸素摂取量の増加の程度は、増加量の絶対値では青年の方が大きい  
(a)、初期値に対する割合で評価すると高齢者の方がやや大きくなる (b)。

高齢者の酸素摂取量の増加率は高い？