

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）



筋肉が

第8章 筋疲労の要因

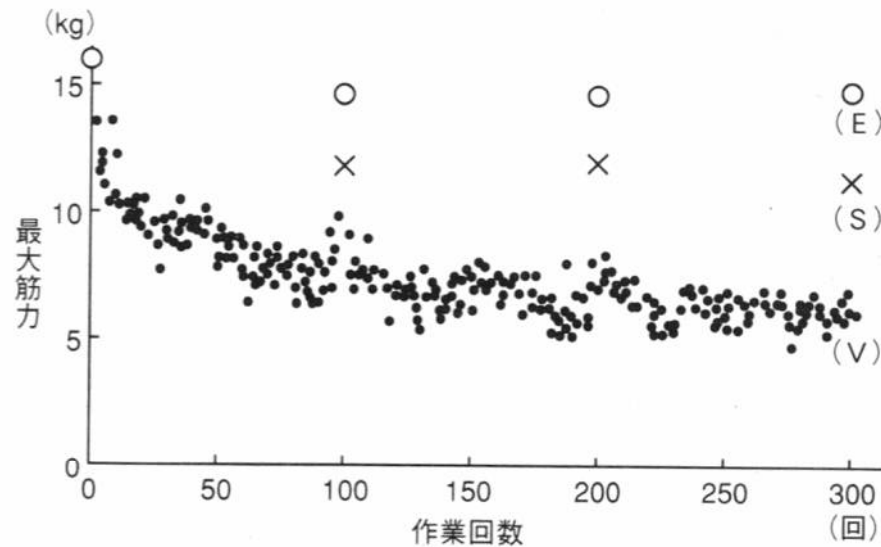


図4-7 筋活動中の心理的限界と生理的限界 (猪飼・矢部, 1971年)

- (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

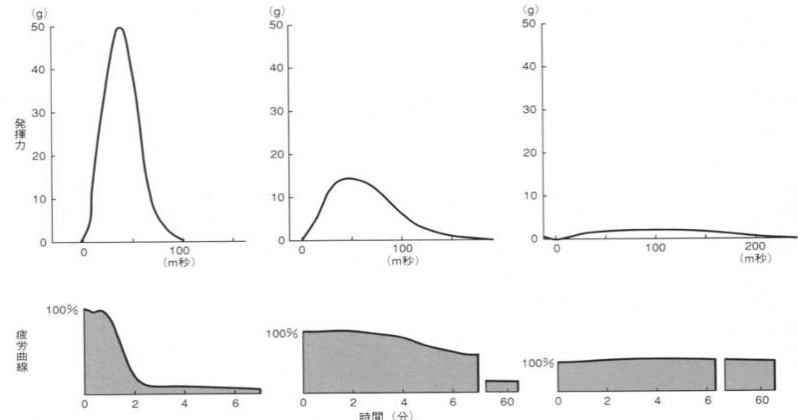
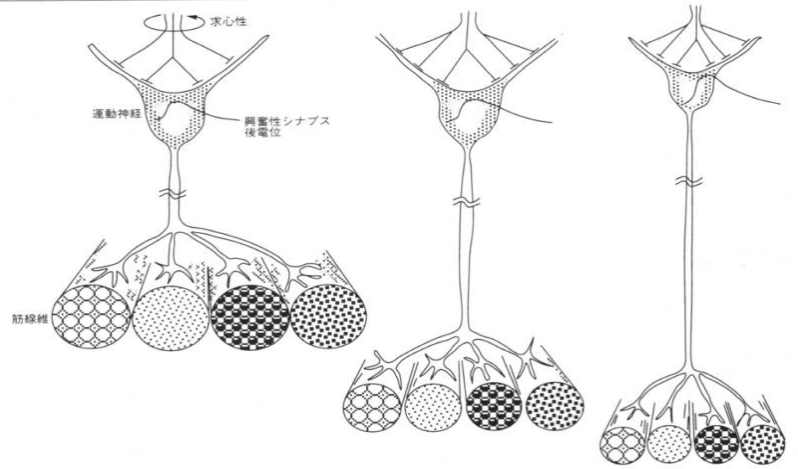
しかし

○ 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)

| | | | |
|----------|----|-----|----|
| 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 (速い短縮)

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 (速い短縮で酸化)

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

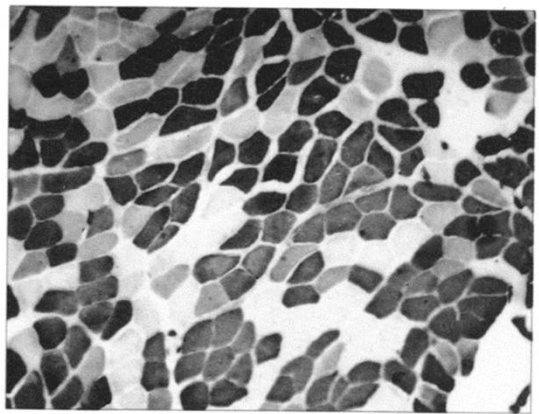


写真5-2 筋線維の分布 (武藤ら, 1983年)
 黒く見えるのは遅筋線維 (タイプI)、白っぽく見えるのは速筋線維 (タイプII aとII b)。

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）

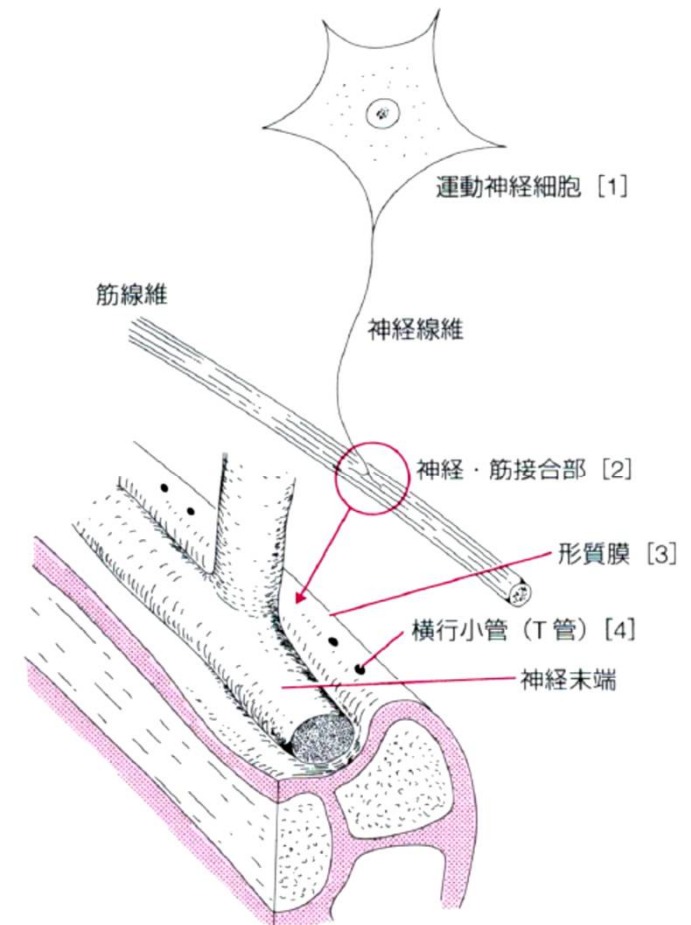
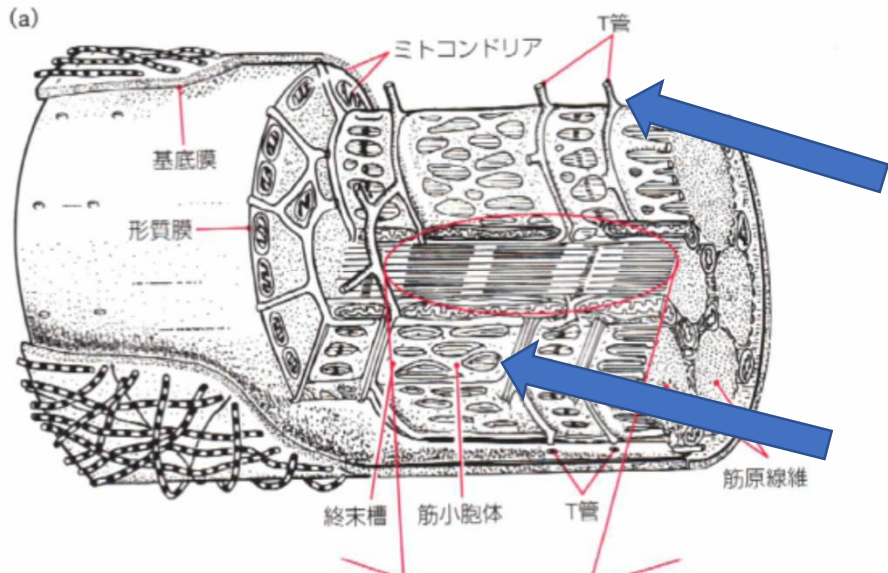
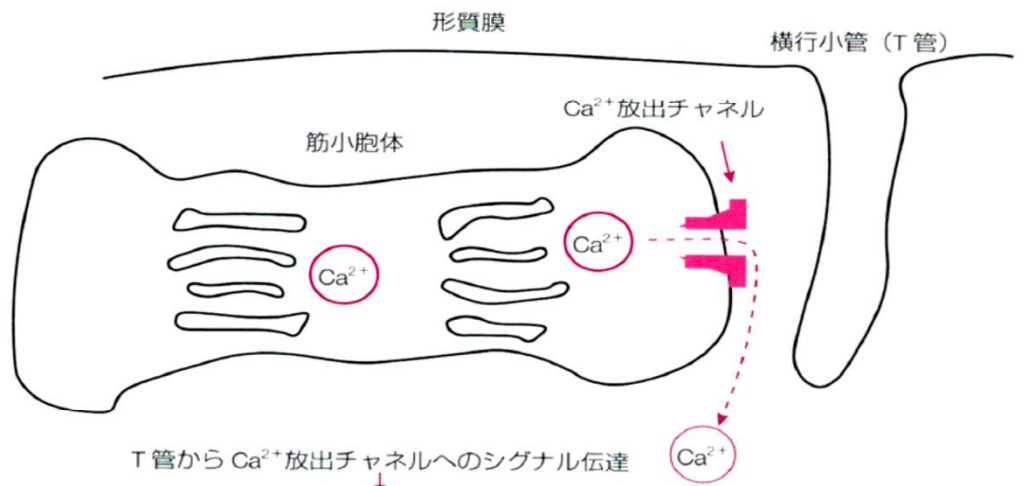
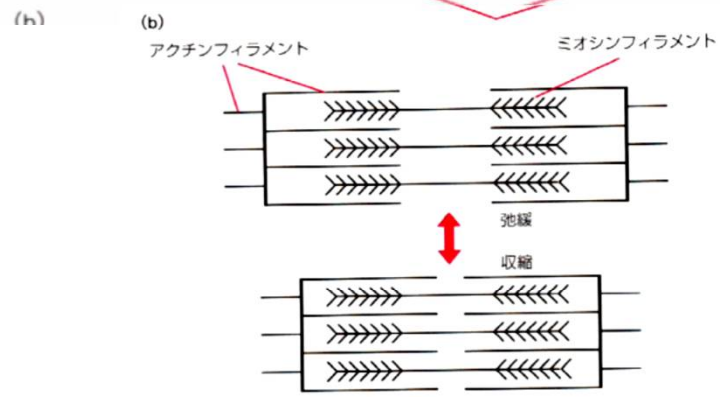


図 8.1 神経情報の伝導・伝達において機能低下の起こる部位



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Ca²⁺との結合



T管からCa²⁺放出チャネルへのシグナル伝達
 ↓
 Ca²⁺放出チャネル開口
 ↓
 Ca²⁺放出
 ↓
 細胞内のCa²⁺濃度の上昇
 ↓
 筋原線維の収縮

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

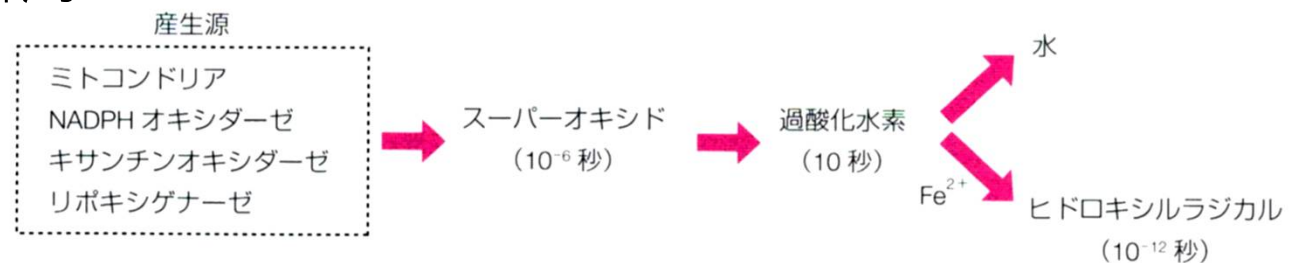


図 8.7 筋細胞内での活性酸素種の生成経路

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。

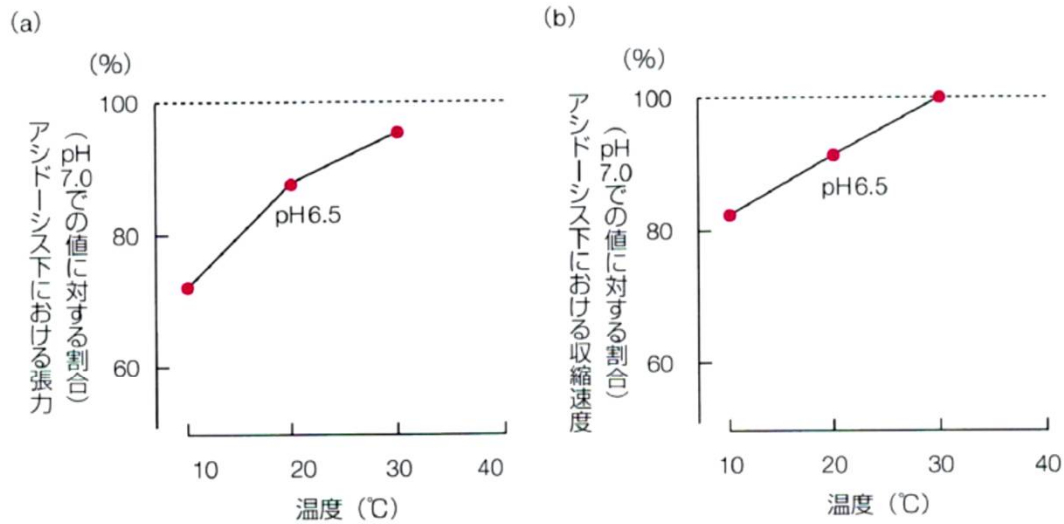


図 8.2 アシドーシス条件下 (pH6.5) における張力 (a) および最大収縮速度 (b) の変化 (Westerblad ら, 2002 を改変)

↑ アシドーシス (酸性度の上昇と筋温)
 10°C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?

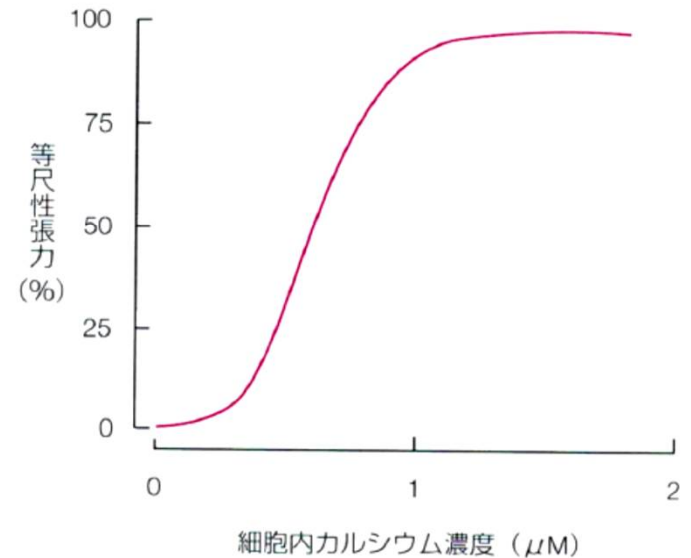


図 8.4 細胞内カルシウム濃度と張力の関係 (Allen ら, 2008 を改変)

筋グリコーゲン量とグリコーゲンローディング

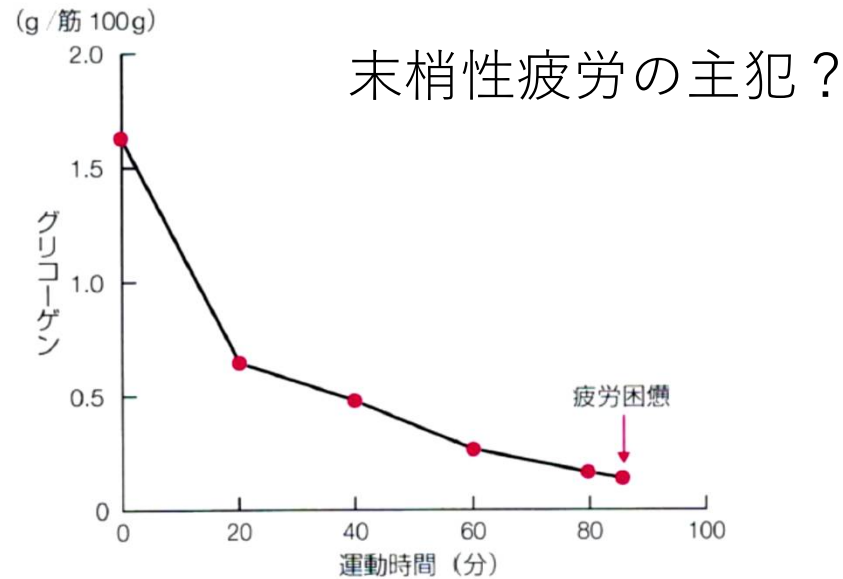


図 8.5 持久的運動に伴う筋グリコーゲンの変化 (Hermansen ら, 1967)

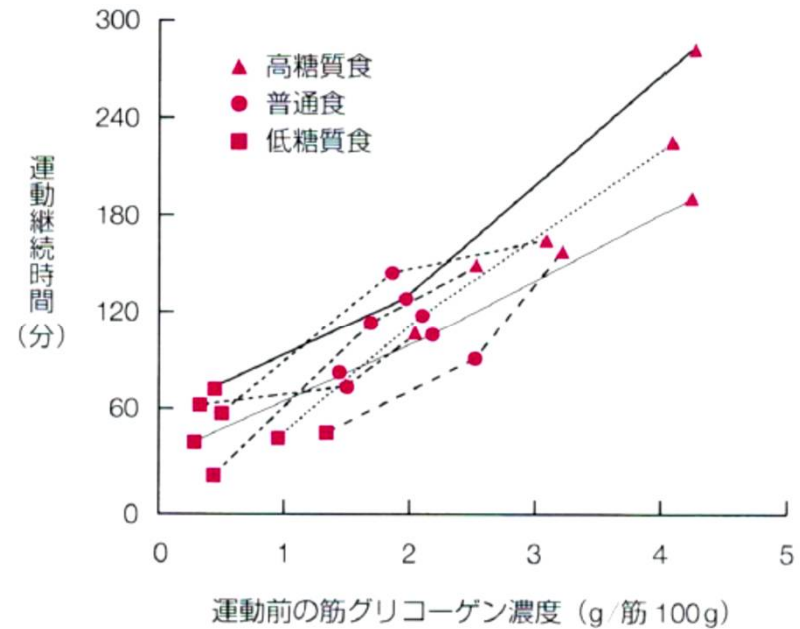


図 8.6 運動前の筋グリコーゲン濃度と運動継続時間との関係 (Bergström ら, 1967)

グリコーゲン消費を抑えるランニング

持久力の限界に挑む

MIRACLE BODY
マラソン最強体質



HUMANIENCE

有酸素エネルギー生産のミトコンドリア

認知機能に対して負荷の高い競技



末梢性疲労と中枢性疲労

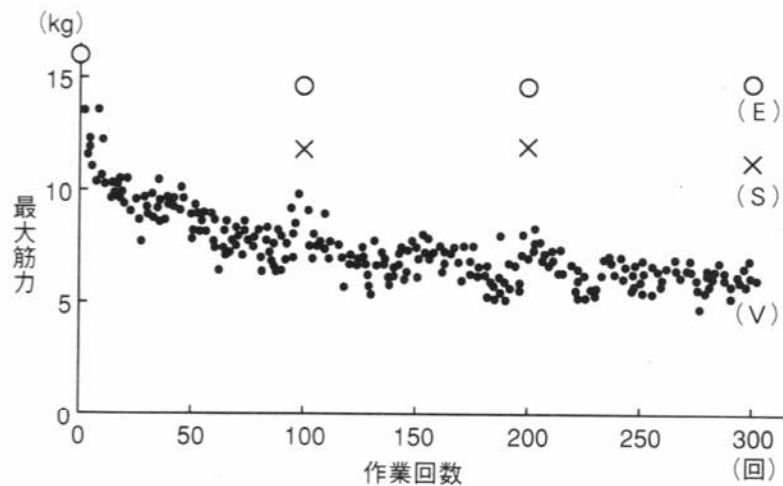


図4-7 筋活動中の心理的限界と生理的限界 (猪飼・矢部, 1971年)

- (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)

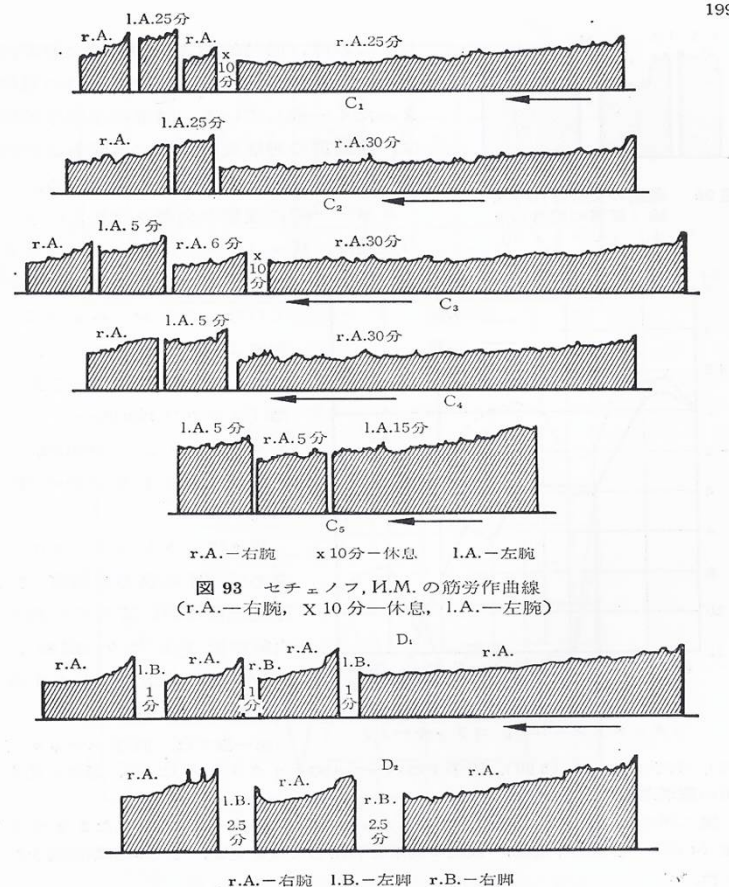


図 94 セーチェノフ, И.М. の筋労作曲線 (r.A.—右腕, l.B.—左脚, r.B.—右脚)

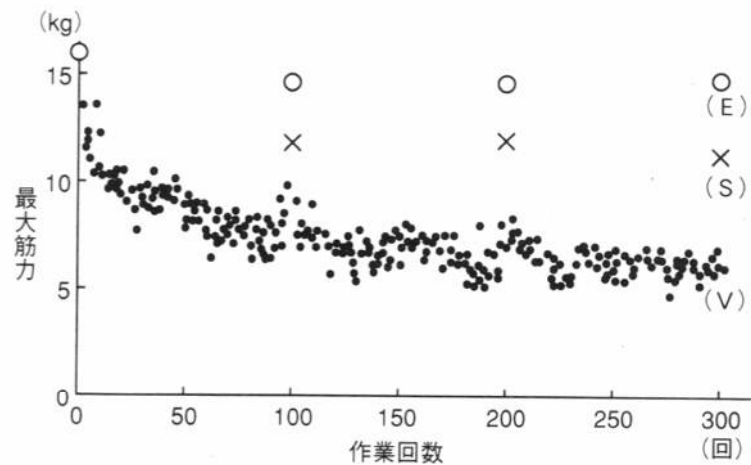


図4-7 筋活動中の心理的境界と生理的境界 (猪飼・矢部, 1971年)

- (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 | | |
|-----------------|----------|--------------|-----------|-------------|
| | | Type I | Type II a | Type II d/x |
| 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 | ◎ | ○ | △ |

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（低速連続収縮）

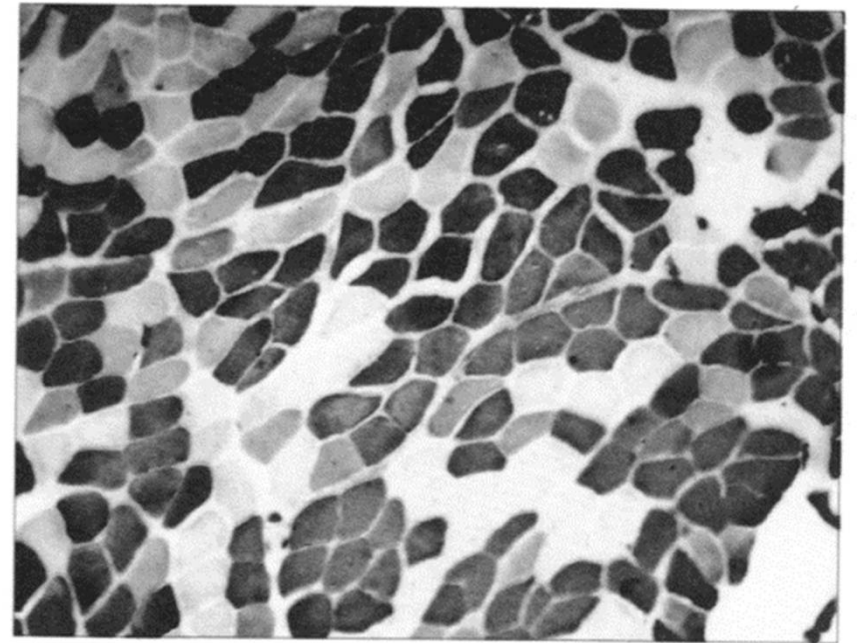
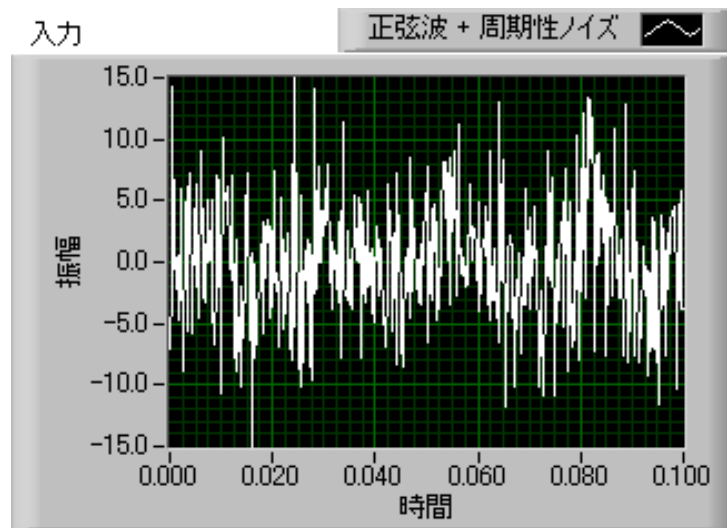
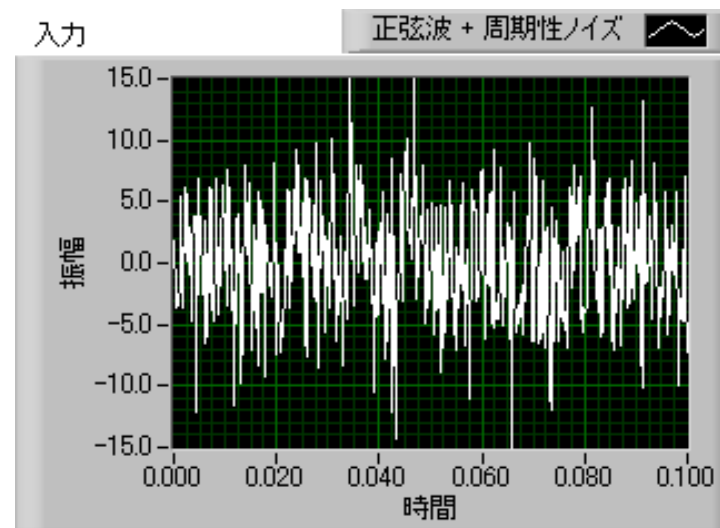


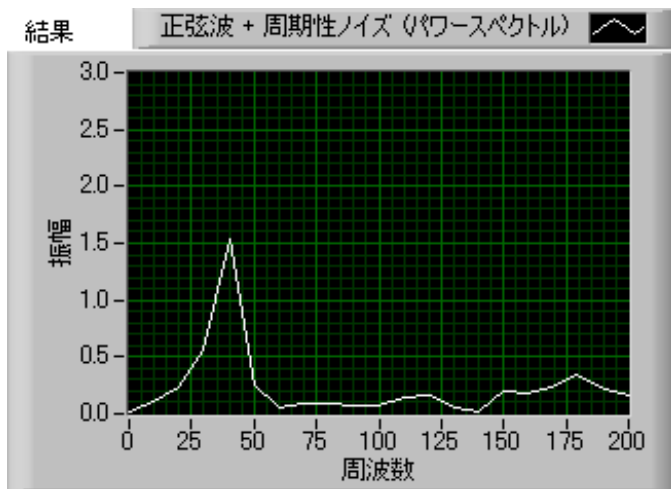
写真5-2 筋線維の分布（武藤ら，1983年）
黒く見えるのは遅筋線維（タイプⅠ）、白っぽく見えるのは速筋線維（タイプⅡ aとⅡ b）。

筋電図のシミュレーション



どちらも似たような波形だが・・・





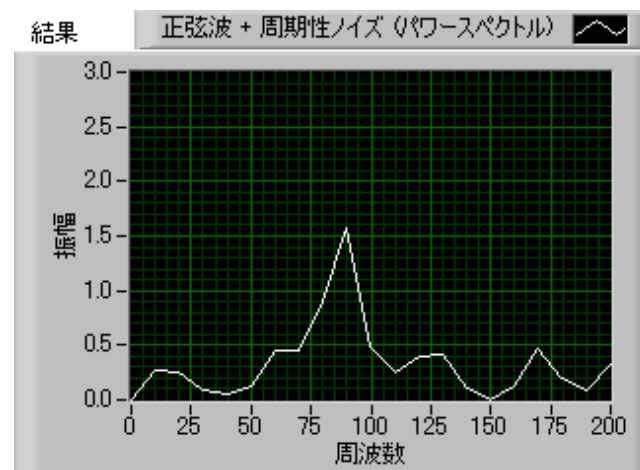
40Hzにピークパワーがある
(遅い成分が優位)

- 持続性の収縮だった

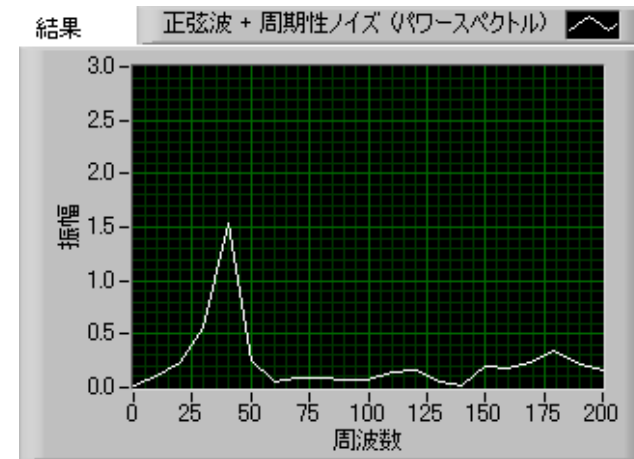
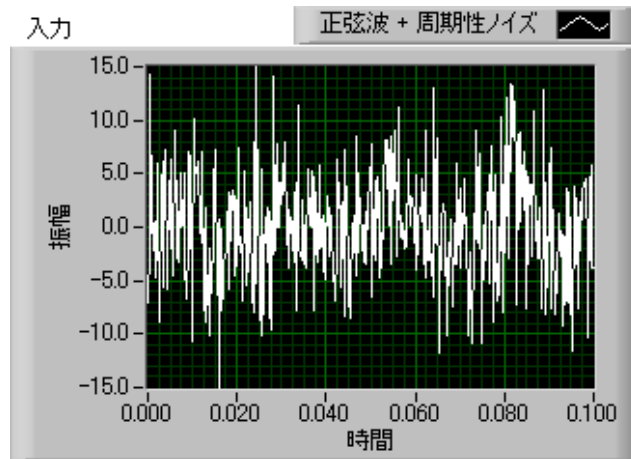
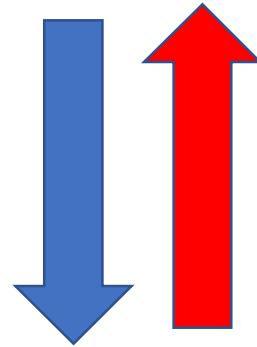
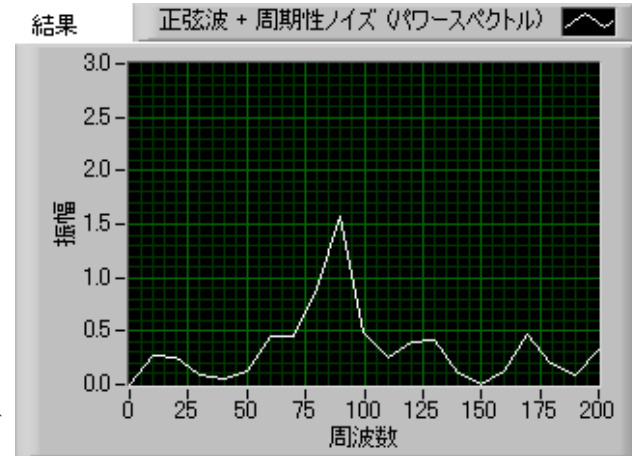
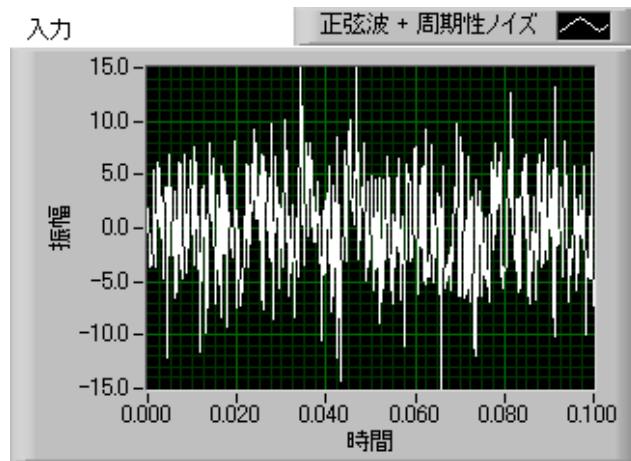
(Hz : 1秒間の活動数)

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



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）

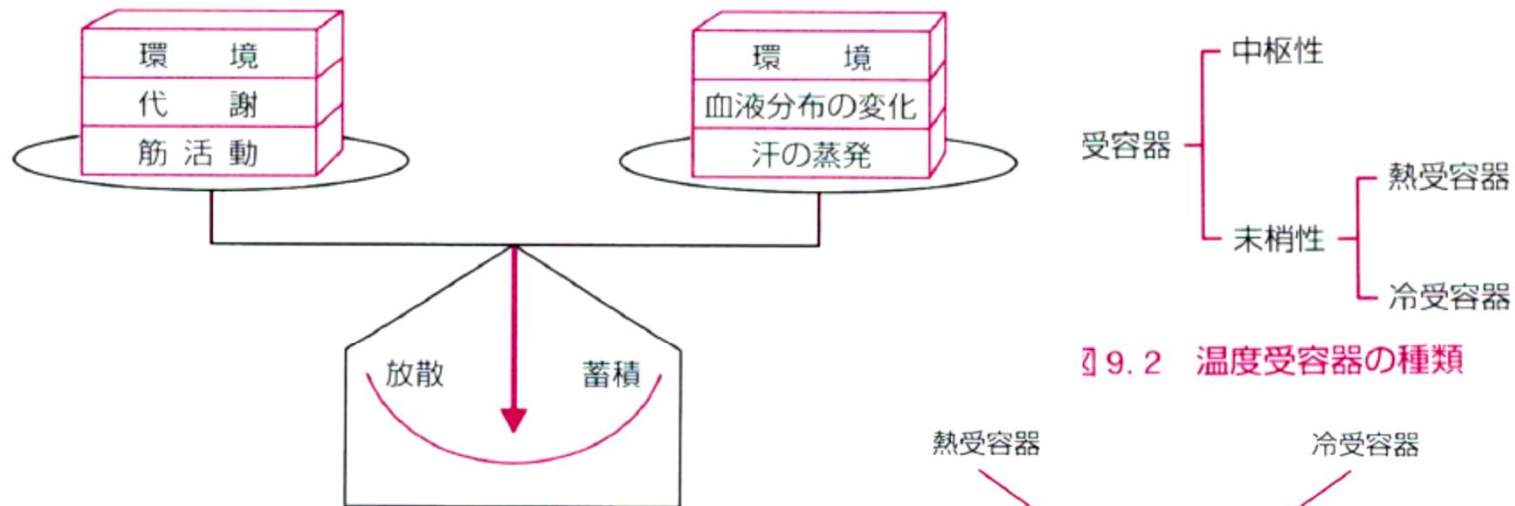


図 9.1 体温に影響する要因

9.2 温度受容器の種類

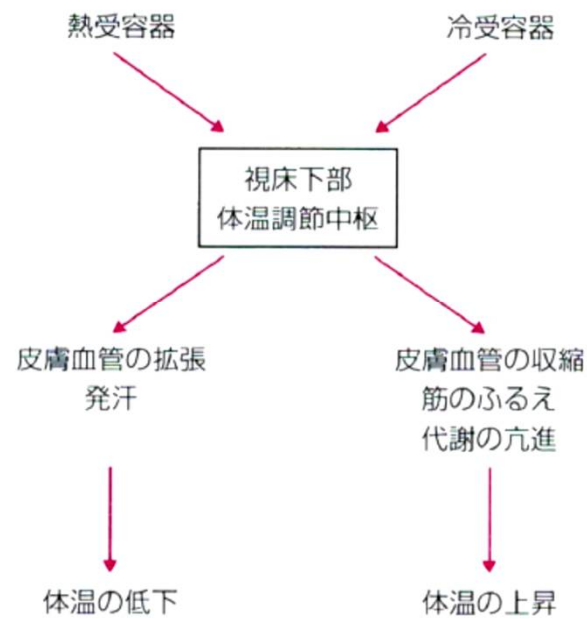


図 9.3 体温調節のしくみ

運動中の熱動態

⇒ 追風の危険性

⇒ ゴール後の危険性

(ファンベルトの切れた空冷エンジン)

表 9.1 からだの大きさと体表面積の例

| | 体重 (A) (kg) | 身長 (cm) | 体表面積 (B) (m ²) | B / A |
|-----|----------------|------------|-------------------------------|-------|
| 成人 | 75 | 178 | 1.82 | 0.024 |
| 子ども | 25 | 100 | 0.77 | 0.031 |

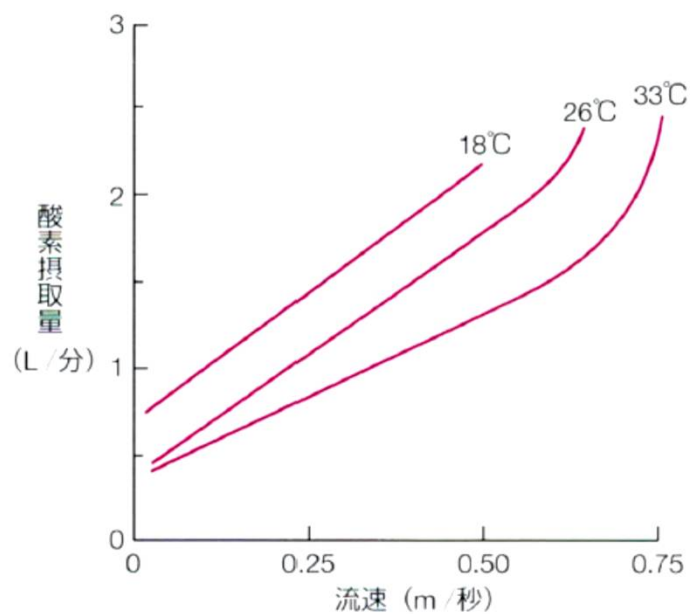


図 9.5 水泳における流速、水温と酸素摂取量の関係 (Nadel ら, 1974)

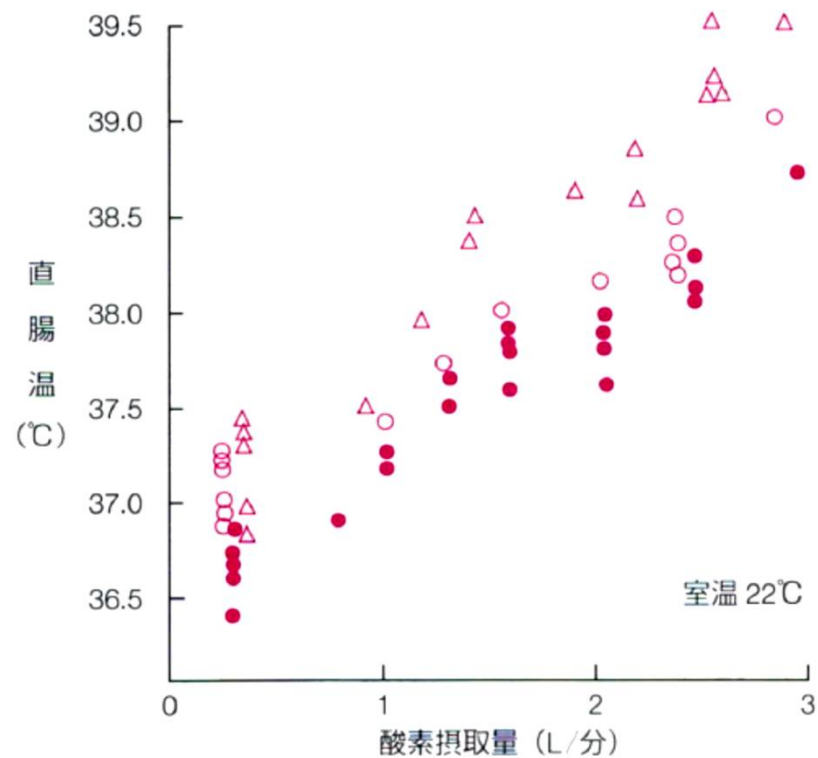


図 9.4 酸素摂取量と体温の関係 (小川, 1985)

熱中症の予防

再生

体温調節機能の破たん

熱産生 Vs 熱放散

高温環境でなくとも・・・

⇒ 高湿度で蒸散低下

⇒ 暑熱環境への未適応

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 ^{*1)} | 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 ^{*2)} | 上昇 | III度 |

※1) 39℃程度にまで上昇する. ※2) 40度を超える.

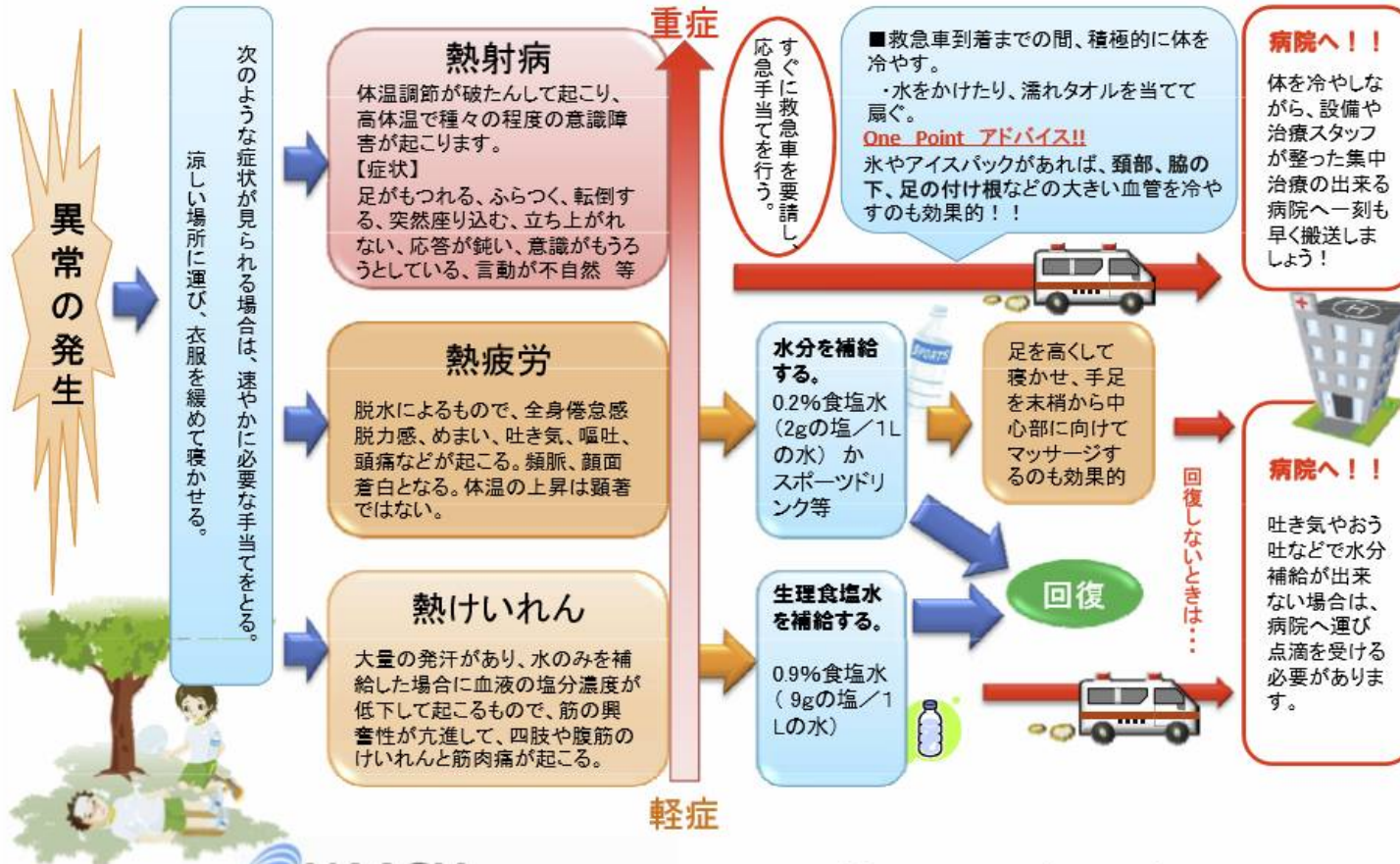
- 救急車の要請
- 衣服をゆるめる
- 体温を下げる (水・氷・送風)

表 9.3 熱中症予防の運動指針 (川原ら, 2013 を改変)

| 暑さ指数 | | |
|-------------|--------------------|--|
| 31℃以上 | 運動は原則中止 | 皮膚温より気温のほうが高くなり、体から熱を逃がすことができない。特別な場合以外は運動を中止する。特に子どもの場合は中止すべき。 |
| 28℃以上 31℃未満 | 厳重警戒 (激しい運動は中止) | 熱中症の危険性が高い。激しい運動や持久走など体温が上昇しやすい運動は避ける。運動する場合には、頻繁に休息をとり水分・塩分の補給を行う。体力の低い人、暑さになれていない人は運動中止。 |
| 25℃以上 28℃未満 | 警戒 (積極的に休息) | 熱中症の危険性が増す。積極的に休息をとり適宜、水分・塩分を補給する。激しい運動では、30分おきくらいに休息をとる。 |
| 21℃以上 25℃未満 | 注意 (積極的に水分補給) | 熱中症による死亡事故が発生する可能性がある。熱中症の兆候に注意するとともに、運動の合間に積極的に水分・塩分を補給する。 |
| 21℃未満 | ほぼ安全 (適宜水分補給) | 通常は熱中症の危険は少ないが、水分の補給が必要である。市民マラソンなどではこの条件でも熱中症が発生するので注意。 |

応急処置のポイント！

～熱中症の症状によって、処置の仕方がちがいます。あわてず対応をしましょう！～



そして「低体温症」も・・・

- 冬のマラソンやロードレースで最近報告される「低体温症」
リタイアや救急搬送の例も
深部体温が35度以下（28度以下は重症とされる）
- 厳しい環境要因（低温・雨や雪による濡れ・強い風など）
ペース低下（発熱量減少）＋
過度の放熱（対流・伝導・輻射など）
⇒ 寒さ・ふるえ・悪心・嘔吐・意識障害等の症状
⇒ 医療機関への緊急搬送例も報告
（本年4月8日の新潟市開催の北陸実業団陸上大会でも）

最近では認知向上による対策も・・・

- 最近では選手も「アームウォーマー」「帽子」「タイツ」などで冬のレースに備える
 - ⇒ かつてはランニングとパンツという軽装だった
- いわゆる「30Kmの壁（筋グリコーゲンの枯渇）」
 - 疾走速度が低下して低体温症を併発して苦しんでいる例も
- 熱生産のエネルギー源である糖質摂取（たんぱく質も食後の熱生産効率が良い）が重要
 - ⇒ 冬のレースに「空腹」で参加するとトラブルの原因となる