

乳酸シヤトルとトレーニング

アスリートの知るべき原理？

山崎 健

例えば・・・

- 同等の“持久的能力(最大酸素摂取量)”をもつと推定される2人のランナーの5000mの持ちタイムが・・・
 - A: 14' 45”
 - B: 15' 15” という場合
- 「運動効率」が異なると考えるのが定説・・・
- ところが後半でタイム差がついたとすると
 - 「戦略(ペース配分)」を間違えた？
 - 走法(ランニングスキル)の問題？
- “持久的能力”は「何」で測るのが妥当なのか？

筋収縮のエネルギーは・・・

- すべての筋収縮は・・・
アデノシン三リン酸(ATP)が、
アデノシン二リン酸(ADP)とリン酸基(Pi)に分かれたエネルギーで収縮する
- これを補填するのに・・・
 - ①クレアチンリン酸からATPへ(ハイパワー系)
 - ②グリコーゲンからピルビン酸を経て乳酸へ(解糖系:ミドルパワー系)
 - ③有酸素的にミトコンドリアで乳酸を酸化し、さらに炭水化物や脂質を利用(有酸素系:ローパワー系)

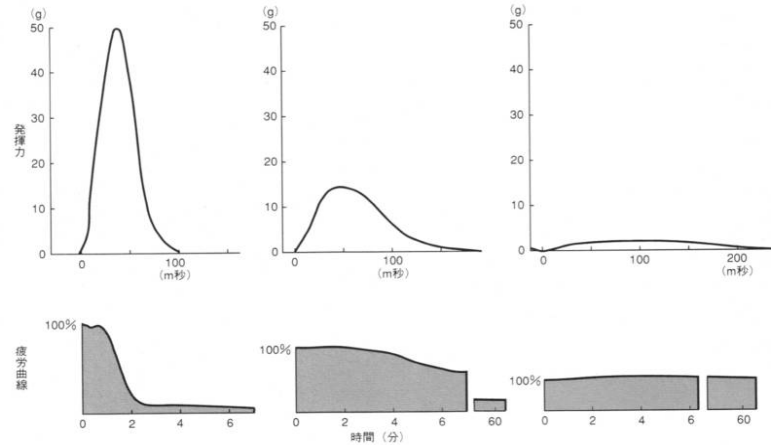
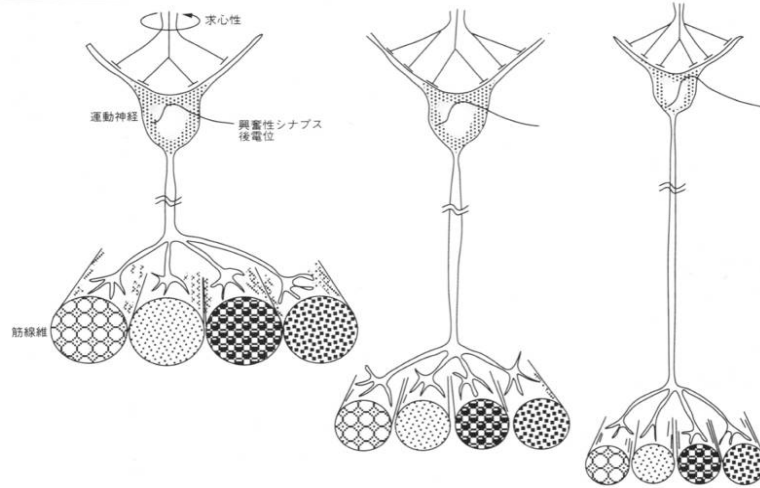
継続可能時間は・・・

- ATP-PCr系(ハイパワー系)は最速7秒で終わり
クレアチン燐酸からのATP再合成
- 解糖系(ミドルパワー系)も+33秒でおしまい
グリコーゲンからの解糖系(ピルビン酸から乳酸へ)、でも乳酸
処理が間に合わない

乳酸は筋肉量の0.3%蓄積すると運動遂行制限

- 乳酸の85%は再利用されるエネルギー源
- 乳酸を生成する速筋系線維と酸化して利用する遅筋系線維
- 運動を継続するには酸素が必要なので心拍数が上昇する

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。
- F→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: さらにFG1、FG2・・・?
 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

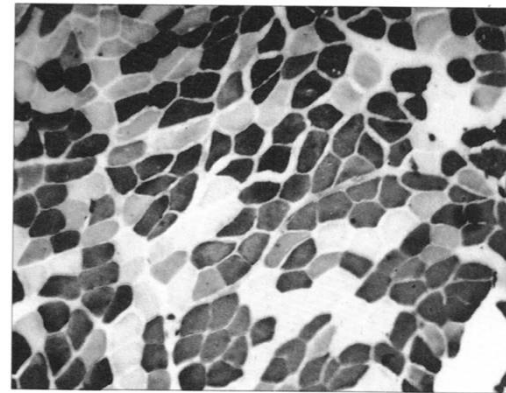


写真5-2 筋線維の分布 (武藤ら, 1983年)
 黒くみえるのは遅筋線維 (タイプI)、白っぽくみえるのは速筋線維 (タイプII a と II b)。

運動強度と乳酸濃度

- 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
運動強度の臨界点
- OBLAの際の走行
スピードでパフォーマンスを推定

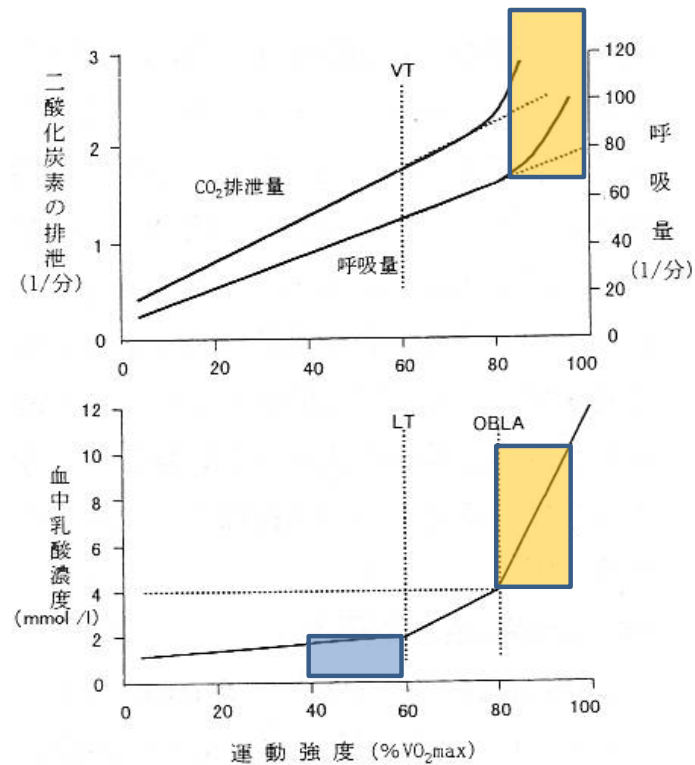


図9-I-12 漸増運動負荷法テストにおける呼気ガスおよび血中乳酸濃度の変化

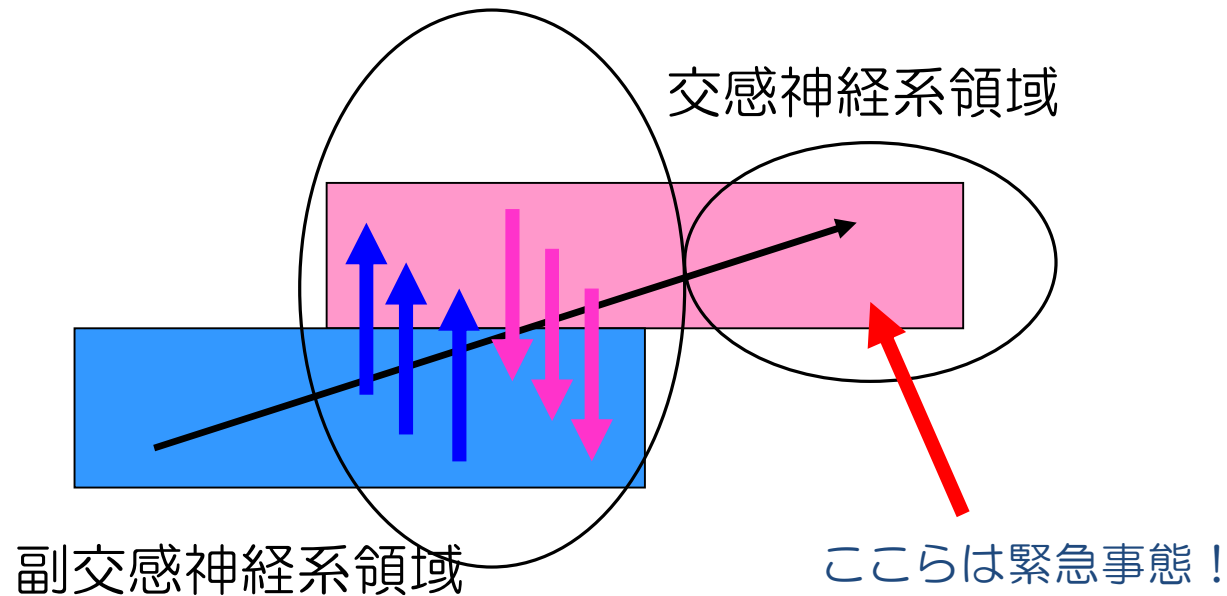
表 2-2 運動処方のための運動強度のとりえ方

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	18		90%	145	155	165	170
きつい	続かない、やめたい、のどがかわく、 がんばるのみ	16	80%	135	145	150	160	165
ややきつい	どこまで続くか不安、緊張、汗びっしょり	15		70%	125	135	140	145
やや楽である	いつまでも続く、充実感、汗が出る	14	60%	120	125	130	135	135
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	13		50%	110	110	115	120
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	12	40%	100	100	105	110	110
最高に楽である	じっとしているより動いたほうが楽	11		30%	90	90	95	95

(体育科学センター資料およびRPEより 1987, 伊藤改変)

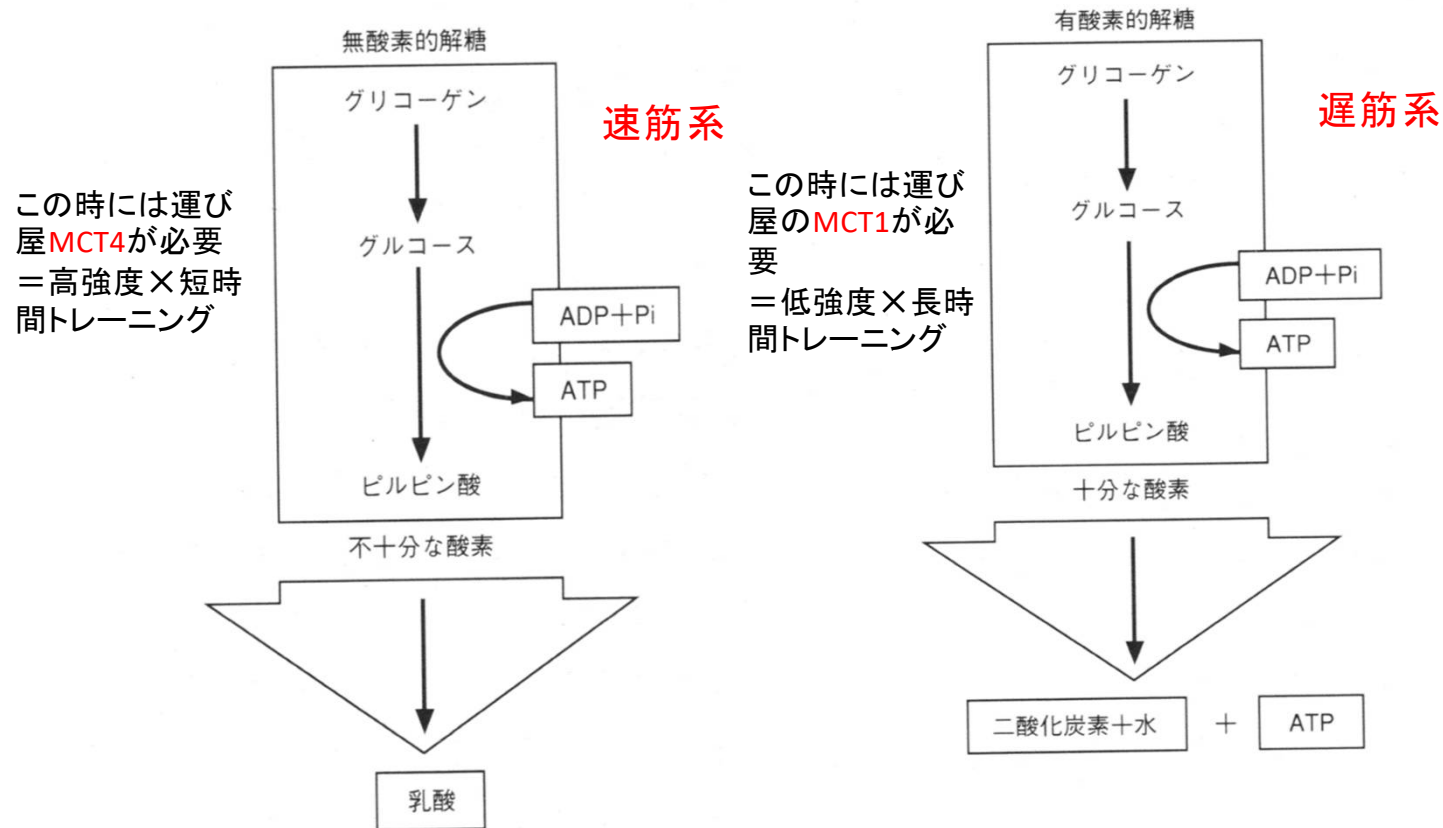
○年齢40歳代で、60% $\dot{V}O_2\max$ 強度の運動処方の場合、自覚的運動強度は「やや楽である」であり、RPE点数だと11点、脈拍数だと130拍がめやすとなる

Defense-arousal system という考え方 (個人によって臨界スピードは異なる)



Hilton(1982) 及び 中村と山本(1991) の概念より山崎が作製、2005

有酸素的解糖と無酸素的解糖 (フォックスとマティウス:1981)

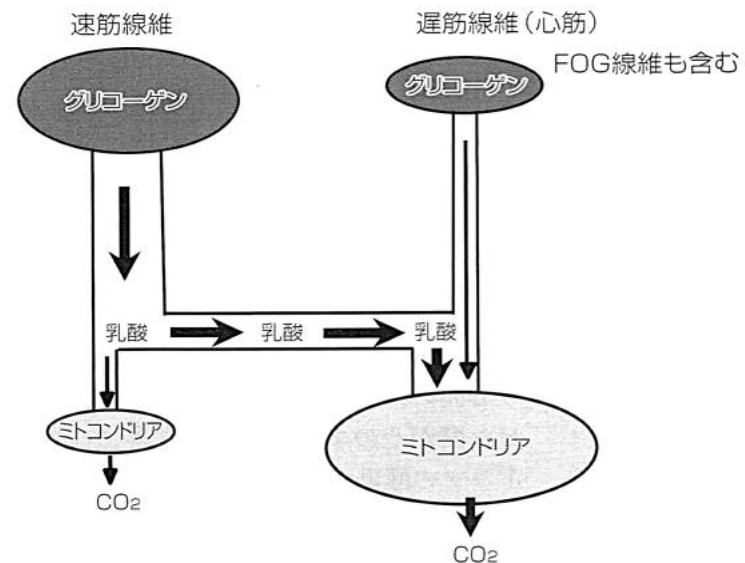


「乳酸シャトル」の意味するもの・・・

並列で「同時進行」している3×3システム

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)
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

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	◎	○	△

定本ら(1987年)の図を山崎が改変

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？

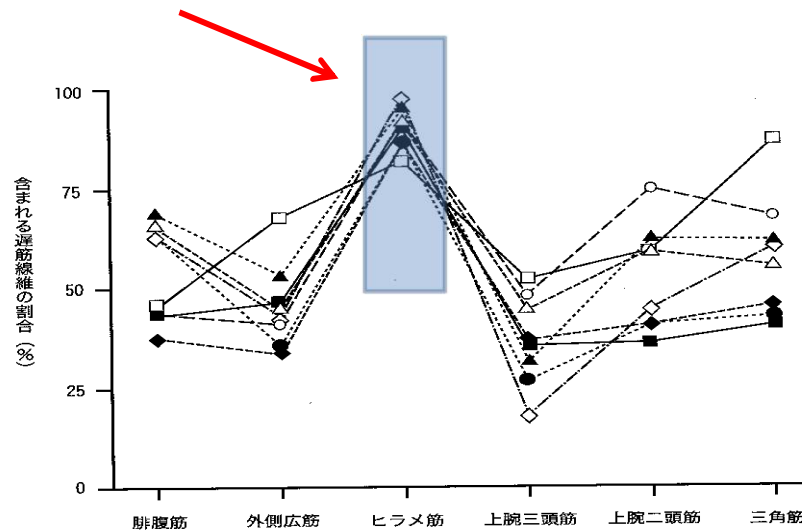


図 4-11 ヒト骨格筋の筋線維組成

ランニング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？

お手伝いの遅筋系線維

⇒ 補完的張力発揮とミトコンドリアによる乳酸利用？

マルチレイアシステム

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	◎	○	△

上腕二頭筋(屈筋側)
F/T線維比 54:46

肘関節周りの拮抗筋

上腕三頭筋(伸筋側)
F/T線維比 68:32

エネルギー
をつくり出す
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	◎	○	△

マルチレイアシステム

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	◎	○	△

大腿二頭筋(屈筋)

F/T線維比 33:67

動きをつくり出すシステム

股関節周りの拮抗筋

内側広筋(伸筋)

F/T線維比 47:53

エネルギー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	◎	○	△

速筋系と遅筋系の役割分担

- 主要な張力と運動方向(スキル)決定に関与する速筋系 (FG:Type II b)
- 補完的張力を発揮しながら「乳酸シャトル」でミトコンドリア工場をフル稼働する遅筋系 (Type I 、 FOG:Type II a、心筋も?)
- 問題は「**どうやって使うのか**」ということ

そんなうまい話はあるのか・・・

- 元世界最高記録保持者のマカウ(ケニア)
 - キ_□2分56秒でも血中乳酸 3.6mMol/L(！)
 - フォアフット(フラット系)接地の効果？
- 同一運動強度でも・・・
 - 毎分40回転と80回転では動員される筋線維が異なる
 - トルク(キック力)を軽減したハイピッチペダリング(ランニング)？
 - 血中乳酸濃度は上がるが「使える乳酸」？

マカウの乳酸レベル

持久力の限界に挑む

MIRACLE BODY
マラソン最強薬



フラット接地とリアフット接地の違い





マカウのフォアフット(フラット)接地



00:49



膝関節や足関節でエネルギーを吸収

膝関節伸展速度は“疾走速度”には
貢献しない？



NHK放映、進化する義足(2008年)より

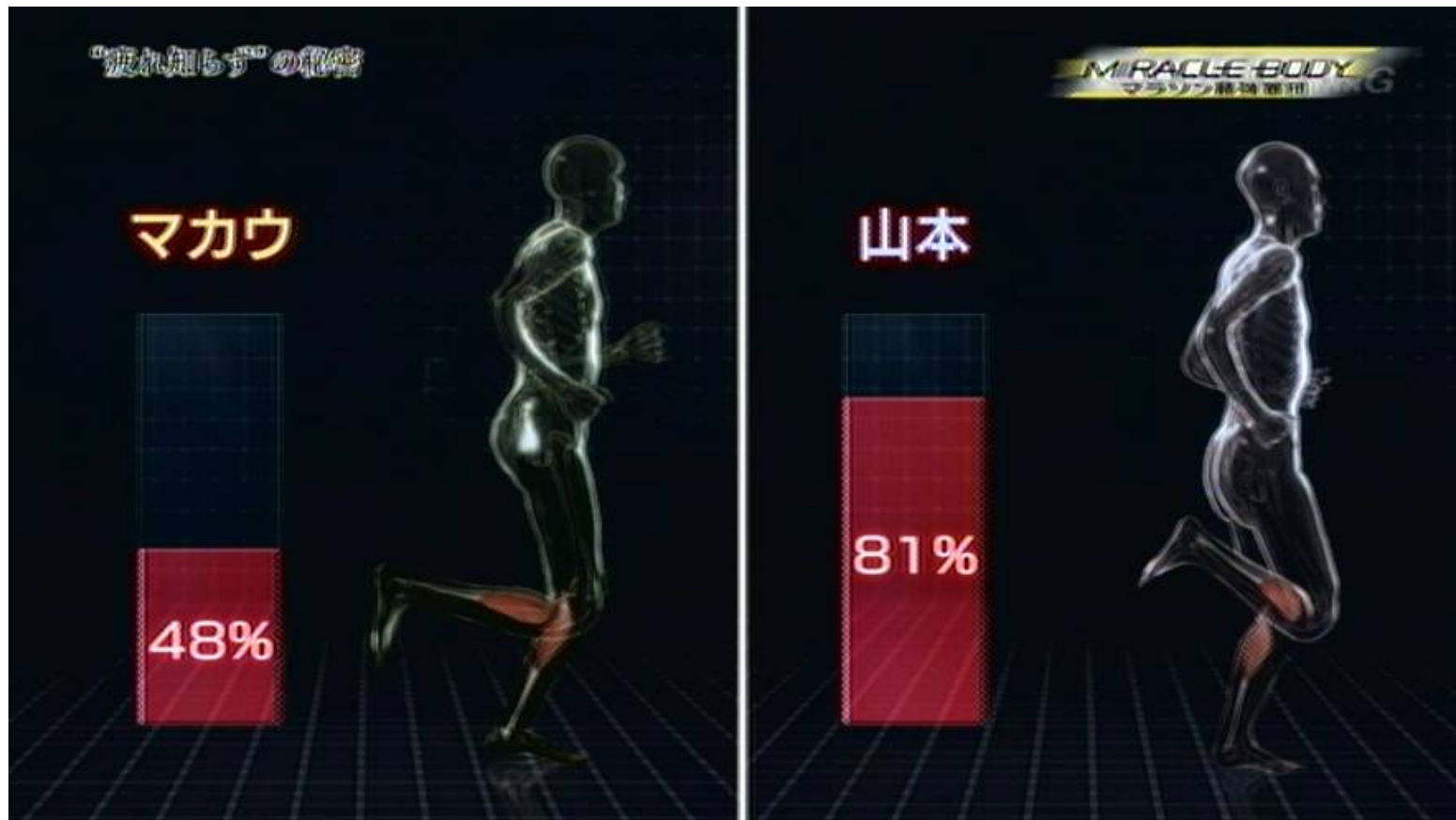
膝関節や足関節を固定している？

足首の角度		
		変化
大学選手 (平均)	75° → 110°	(35°)
ルイス	84° → 104°	(20°)
バレル	87° → 117°	(30°)

キック動作	
角度	ルイス
速度	バレル
スウィング	速い
膝	遅い(伸びない)
足首	大きくない (伸びない)

大学陸上選手に対して

接地の仕方では腓腹筋の筋活動量も異なる



ワラッチで走るから？



子どものころからの生活？



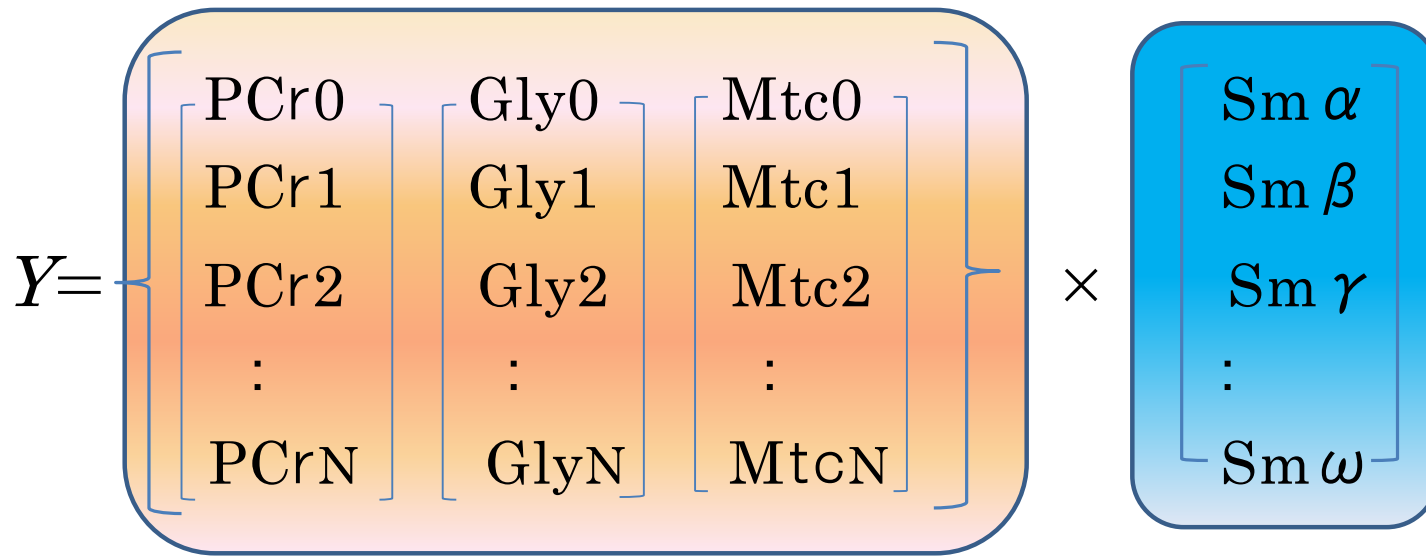
トレーニングのプロセスでは・・・

$$\begin{aligned} Y = & [\text{PCrN}] \times [\text{SkN}] \quad (\text{ATP-PCr系とスキル}) \\ & + [\text{GlyN}] \times [\text{SkN}] \quad (\text{解糖系とスキル}) \\ & + [\text{MtcN}] \times [\text{SkN}] \quad (\text{有酸素系とスキル}) \\ & + b \quad (\text{残差:その他の要因:賞賛や褒章}) \end{aligned}$$

[N] はその時点でのエネルギーレベルの変数
スキルも個別的に対応してトレーニングが行われる

ただし「ランニング」というスキルは共通の性質を持つので

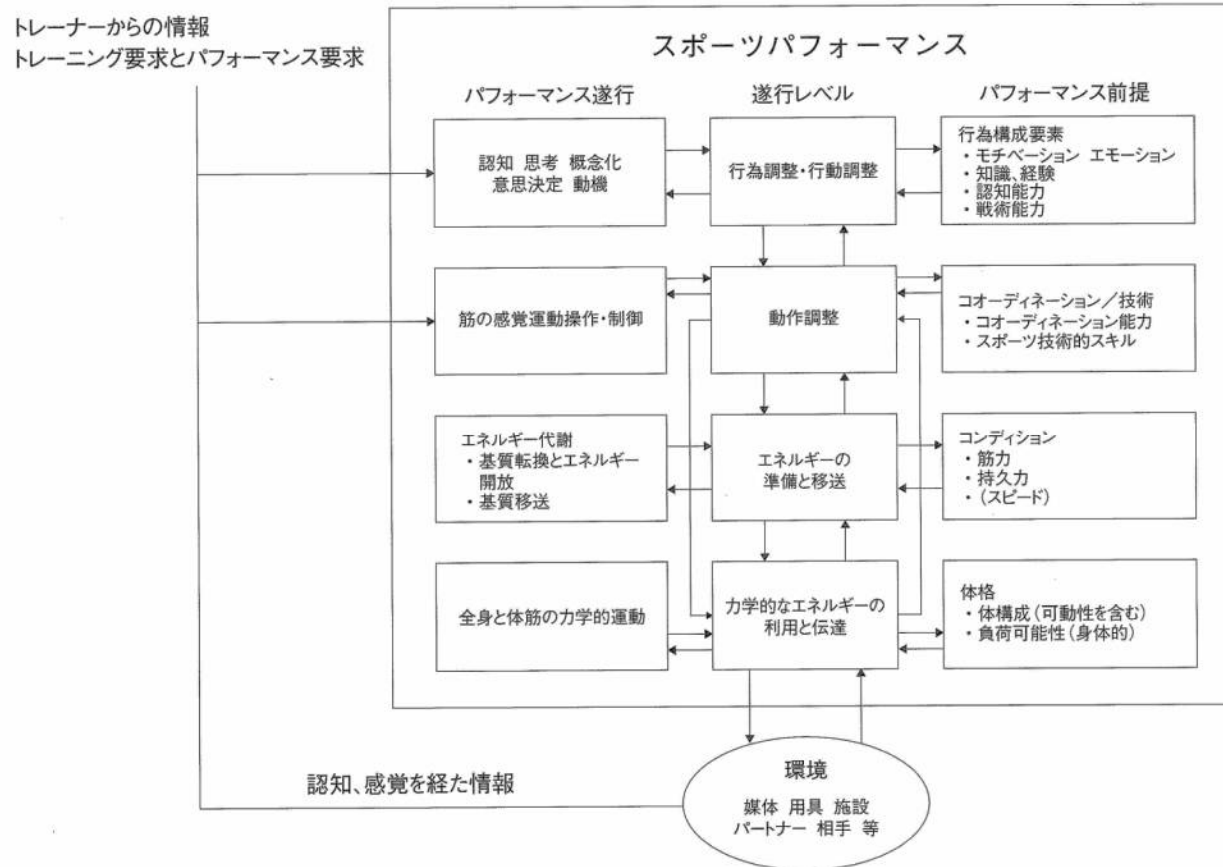
運動習熟によるスキルモード複合体の独立

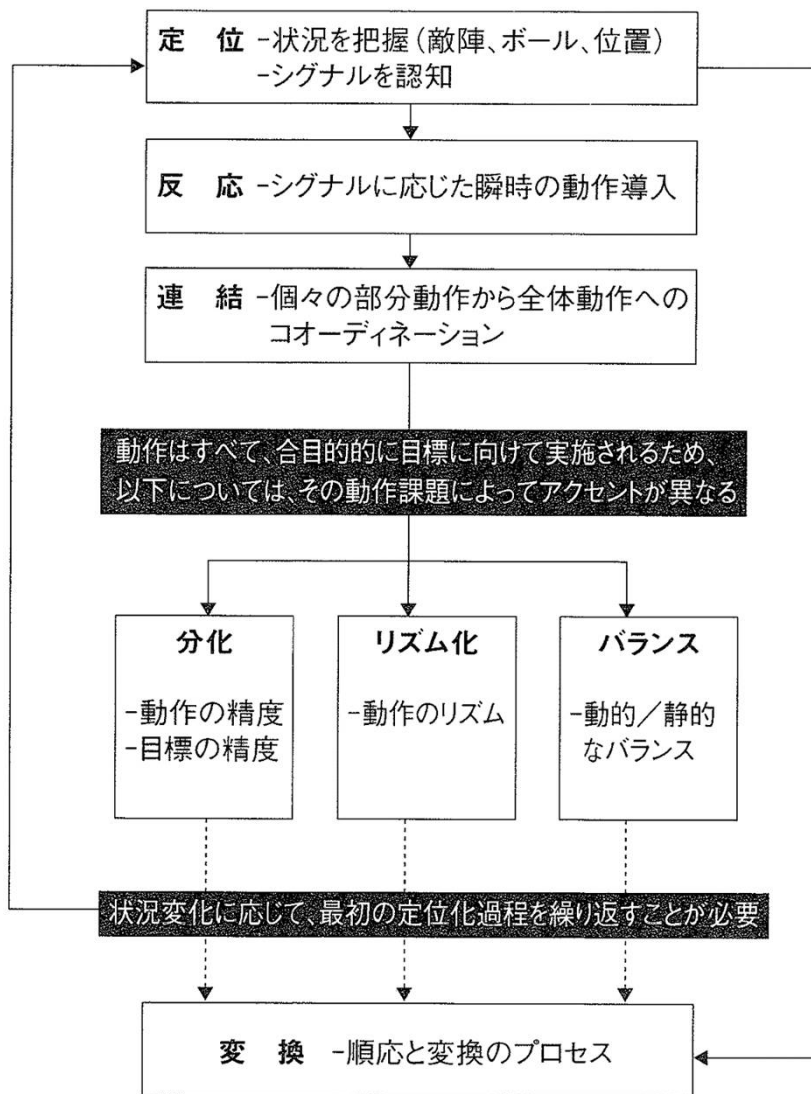


“エネルギー系残存レベル(モード)に対応したスキルモード”
 (“パワードライブモード”や“エコドライブモード”などの切替え)

“コーディネーション”という概念：

独・ハルトマン(ライプツヒ学派)、2009年



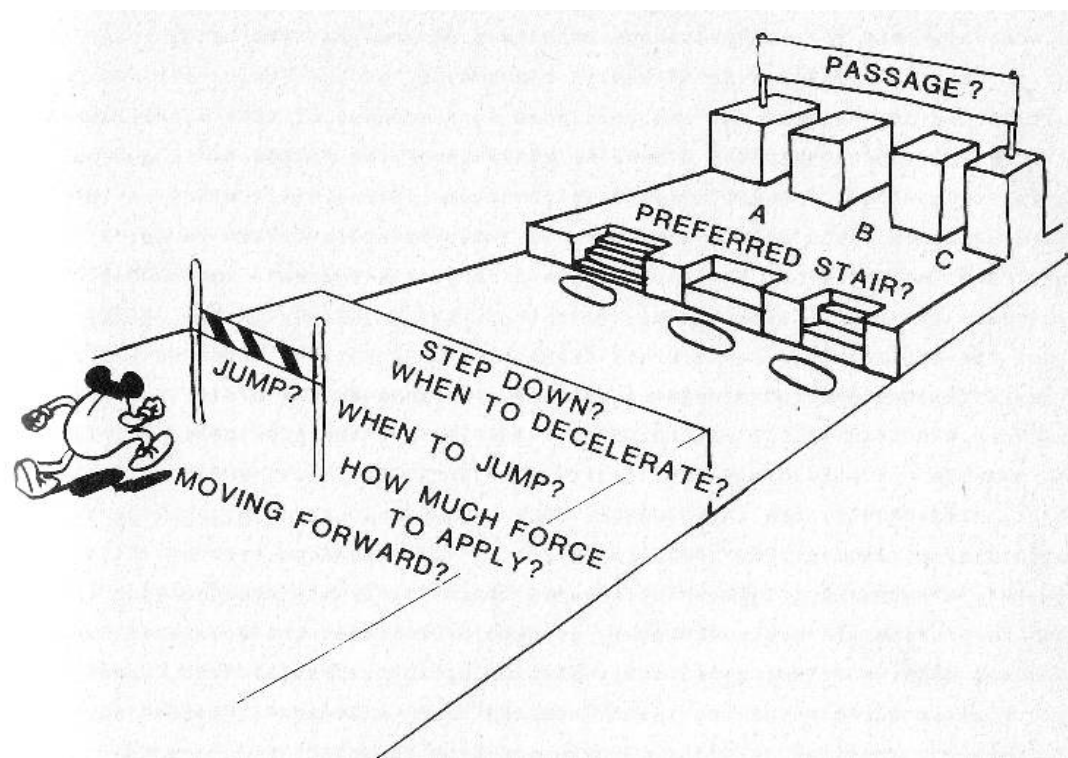


“コーディネーション”
にかかわる7つのカテゴリー
(ハルトマン:2009)

“インテグレイション(統合)”
という概念も

しかしこのモデルには
“エネルギー供給系”
が入っていない・・・?
「系」の外側は入れない・・・?

“場当たり”で決定しているわけではないらしい・・・



M.T.Turvey,P.N.Kugler(1984):AN ECOROLOGICAL APPROACH TO PERCEPTION AND ACTION, (In "Human Motor Action:Bernstein Reassessed")pp.375

賢く動けば後半も粘れる？

動作を変えるためには・・・
日常の動きから変えていくこと