

長距離ランニング中の疾走動作の 変容は「適応制御」なのか？

山崎 健

(新潟大学 人文社会・教育科学系フェロー)

長距離レース中の疾走動作の変容

(1991年東京世界陸上競技選手権)

- 男子10000m決勝:松尾ら(1994)

1・2位のタヌイとチェリモについて、疾走速度は前半の6.0～6.3m/sから後半5.7～6.0m/sへ低下

タヌイのピッチはほぼ3.3step/sで一定で、ストライドは1.90mから1.77mへ減少し、チェリモはスピード低下にともないピッチが3.3step/sから3.1step/s、ストライドが1.91mから1.82mへと減少

- マラソン競技:有吉(1994)

男子で優勝した谷口浩美選手のピッチやストライドの変動幅が他の選手に比べて比較的大きく4位のフルク選手はピッチが190(歩/分)で極めて安定しており、ストライドでスピードの変化に対応しており相関係数も0.919と極めて高い

女子3位入賞の山下佐知子選手は、40Km以降ストライドを明らかに短縮させピッチを上昇させてスピード低下を防いでいたことを指摘

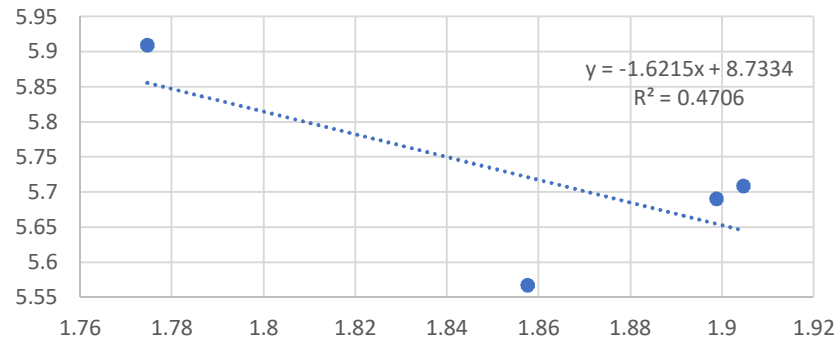
10000mレース中の各変数の推移(山崎、2013年)

	2000 m			4800 m			8800 m		
	Strd& Speed	Pitch& Speed	KnEx& Speed	Strd& Speed	Pitch& Speed	KnEx& Speed	Strd& Speed	Pitch& Speed	KnEx& Speed
Sub.A	○*	◎	○	○*	◎	×	×	◎	×
Sub.B	◎	×	×	△	◎	◎	◎	◎	◎*
Sub.C	×	○	×	×	○	×	×	◎	○*
Sub.D	○*	○	○*	×	◎	×	×	◎	◎*
Sub.E	◎	△	◎*	△	◎	△	◎	×	○
Sub.F	△	◎	×	○	◎	×	○	◎	○
Sub.G	◎*	◎	○*	×	◎	◎	×	◎	◎*
Sub.H	○*	×	×	×	△	△	○	◎	×

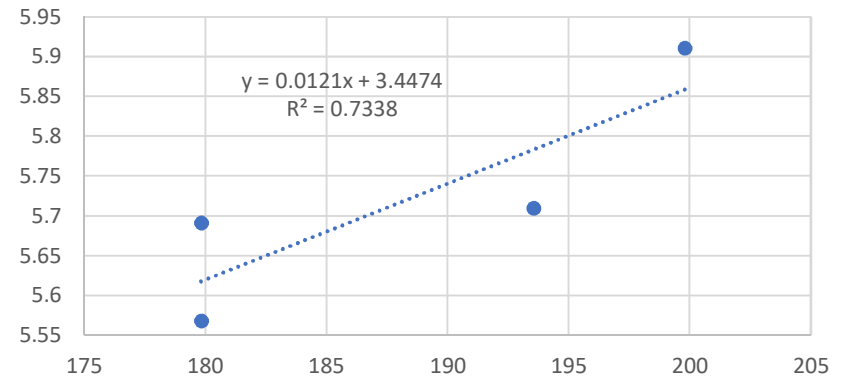
決定係数(R^2)の範囲 (*は負相関)

0.64~(◎)、0.25~0.63(○)、0.16~0.24(△)、0.15以下(×)

スピードとストライドの関係 (Sub. A)

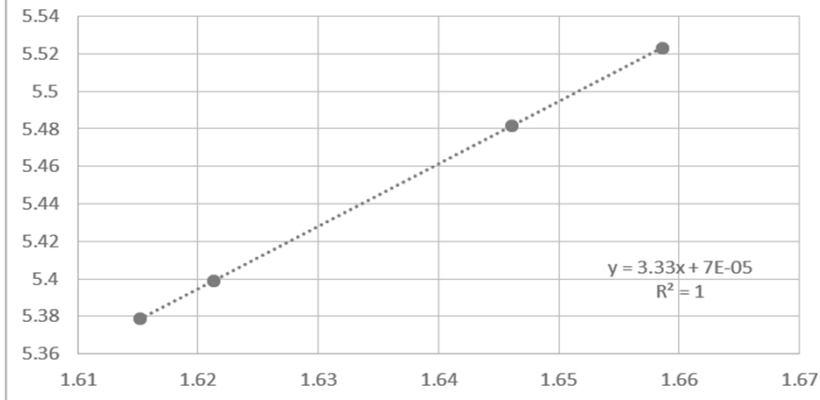


スピードとピッチの関係 (Sub. A)

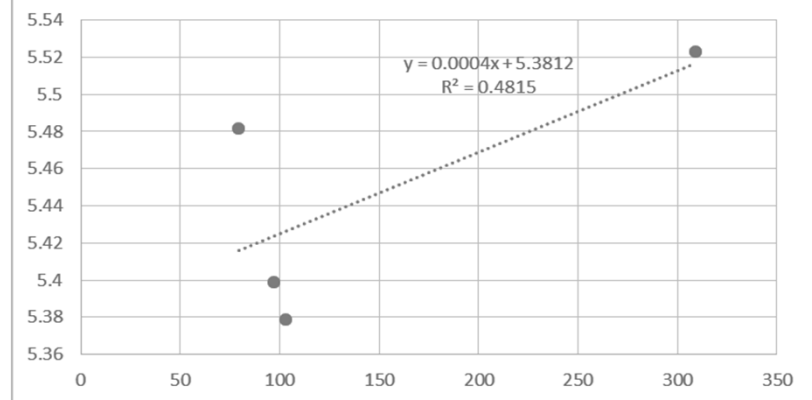


↑ ストライドは長いがピッチとの相関が強い

スピードとストライドの関係 (Sub.D)

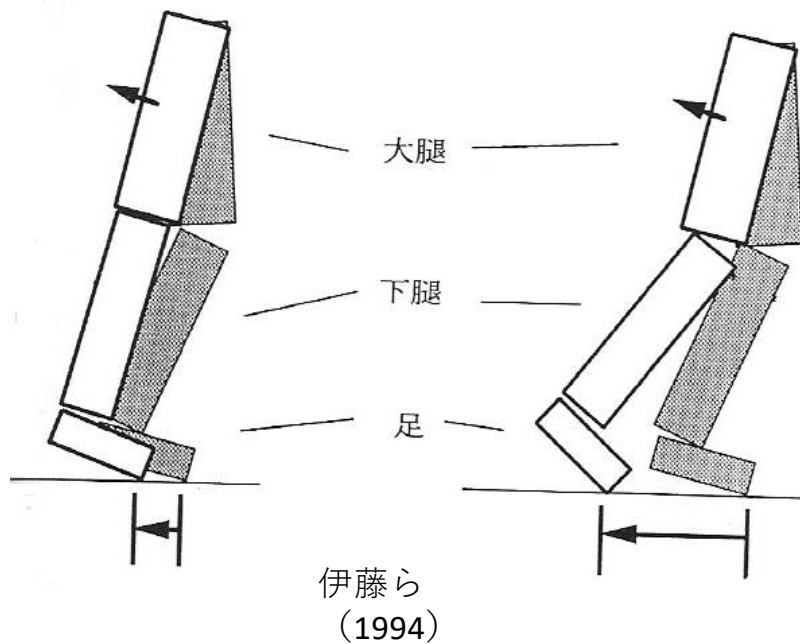


スピードと膝関節伸展速度の関係 (Sub.D)



↑ ストライドは短いが速度との相関が強い (膝関節伸展速度も同様)

膝関節伸展と股関節伸展の関連



膝関節の屈曲-伸展動作

膝関節の伸展が股関節の伸展による脚全体の後方スイング速度を阻害する

世界一流スプリンターの疾走速度と膝関節伸展速度は負相関がみられる（伊藤：2005年）

バックグラウンドは何か？

- 疲労の進行(エネルギー供給系の減少)

長距離レース中は疾走速度はほぼ一定で推移しているため、9000mまでのエネルギー系の減少が主要な要因ではない？

1000m×10本のインターバルトレーニング中の疾走速度は維持されているが、疾走速度とストライド、疾走速度とピッチの相関係数は変容する(山崎と新井、2017年)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Pitch&Speed	Pitch&Speed	Pitch&Speed	Pitch&Speed	Pitch&Speed	Pitch&Speed	Pitch&Speed	Pitch&Speed	Pitch&Speed	Pitch&Speed
Sub.A	0.925	0.8128	0.6165*	0.7444	0.9227	0.8098*	0.8191	0.8589	0.8764	0.8651
Sub.B	0.9455	0.8591	0.6142	0.3323	0.3374	0.7115	0.4769	0.7019	0.0054	0.0016
Sub.C	0.7267	0.3393	0.9391	0.9697	0.9406	0.9826	0.9352	0.5874	0.1377	0.9591
Sub.D	0.605	0.0862	0.2647	0.5955	0.5465	0.3878*	0.7578	0.7675	0.788	0.4369
Sub.E	0.532	0.8312*	0.0286	0.9579	0.4959	0.2025	0.4659	0.8417	0.468*	0.458

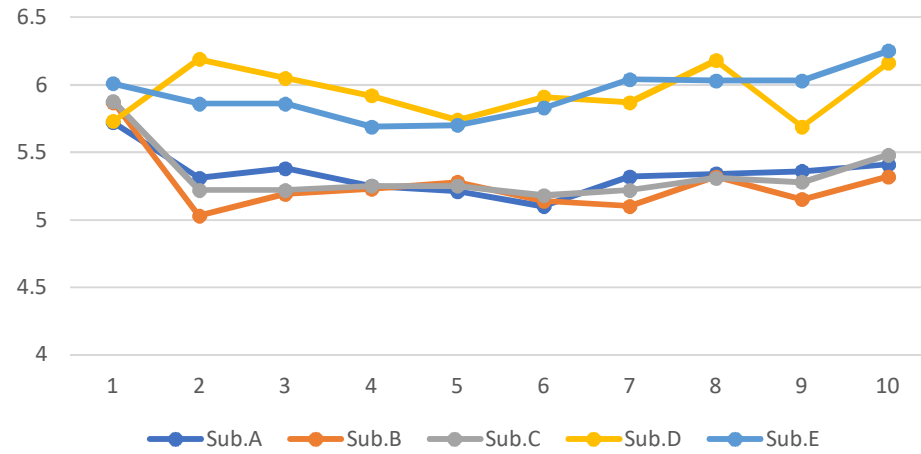
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Stride&Speed	Stride&Speed	Stride&Speed	Stride&Speed	Stride&Speed	Stride&Speed	Stride&Speed	Stride&Speed	Stride&Speed	Stride&Speed
Sub.A	0.1424	0.9652*	0.2344*	1.00E-05	0.7179	0.7583	0.0041*	0.0167*	0.0135	0.0385
Sub.B	0.8246*	0.7238*	0.072*	0.1865*	0.081	0.4396*	0.1797	0.4531*	0.0334	0.1255
Sub.C	0.7262	0.7259	0.0118	0.8863	0.2721	0.9795	0.7855	0.4949	0.8021	0.0666*
Sub.D	0.6819	0.6143	0.4466	0.3684	0.2204	0.6414*	0.4959	0.2722	0.6862	0.034
Sub.E	0.0481	0.953	0.7391	0.9644	0.1792	0.2718	0.7199	0.091	0.8974	0.0404

各回の決定係数の変化（上：Pitch&Speed 下：Stride&Speed）
 ※ *は負相関の決定係数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA
Sub.A	4.0	4.8	7.1	8.2	14.1	13.4	16.2	13.4	16.1	14.0
Sub.B	5.5	4.0	6.8	8.9	11.0	15.4	12.2	9.3	7.7	13.4
Sub.C	7.1	6.4	10.9	11.5	10.5	9.0	17.0	18.0	18.0	17.0
Sub.D	5.6	6.9	7.8	10.3	5.9	5.7	5.5	6.3	8.4	7.6
Sub.E	6.3	7.6	11.1	12.2	9.4	13.7	14.0	15.0	16.6	18.0

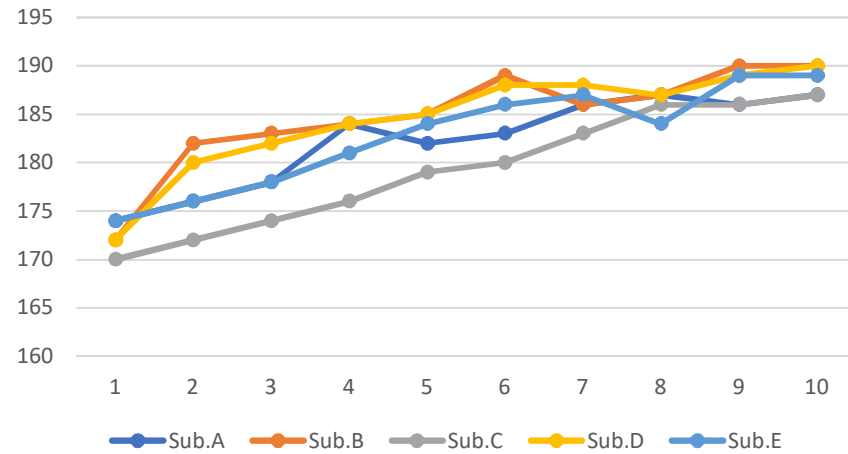
血中乳酸値の変化

疾走速度 (m/sec.) の変化

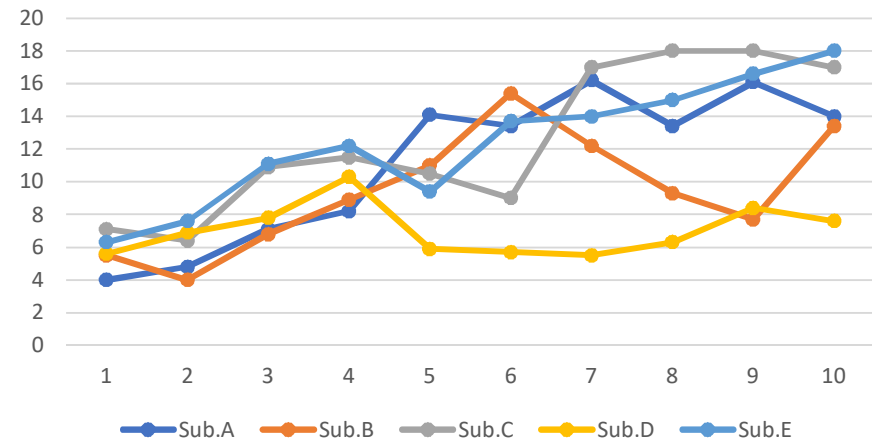


1000m インターバル走10回反復時の生理学的指標の変化
(山崎と新井、2017年)

平均心拍数の変化

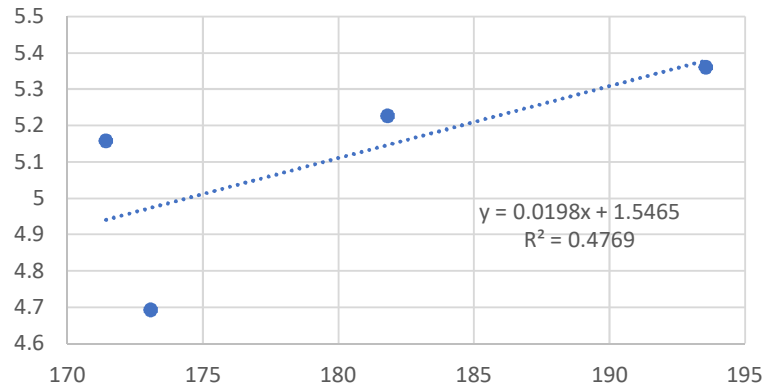


血中乳酸値の変化

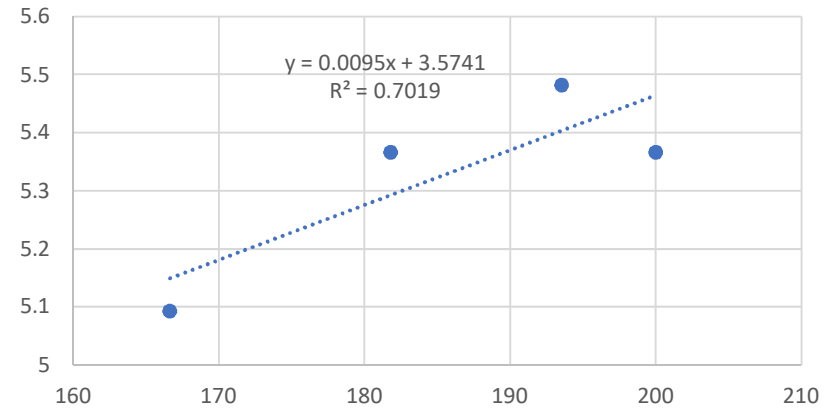


疾走スピードは上がったが乳酸値は低下した・・・動作の変化は？

スピードとピッチの相関(Sub.B:7セット)

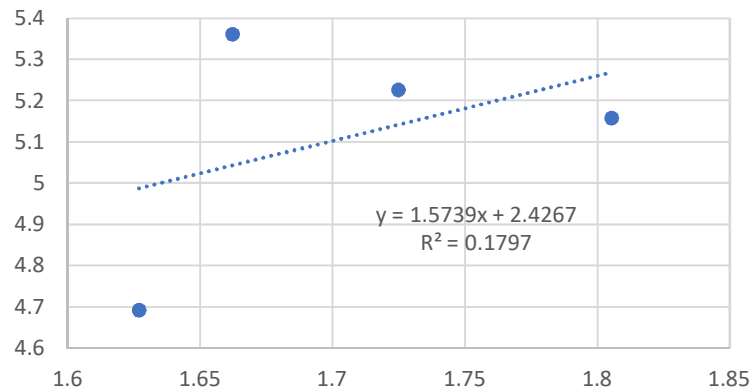


スピードとピッチの相関(Sub.B:8セット)

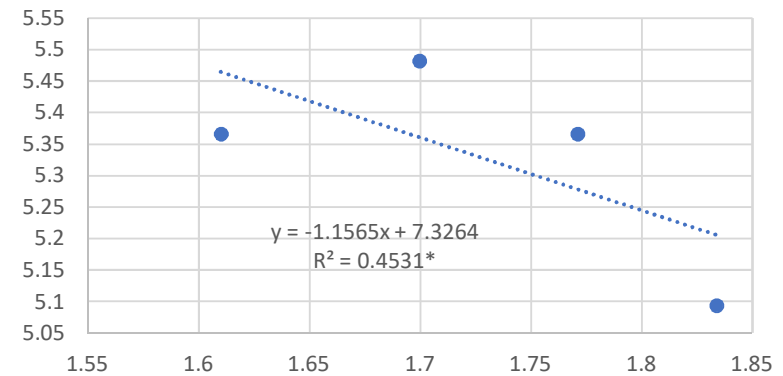


LA: 12.2mmol ⇒ 9.3mmol

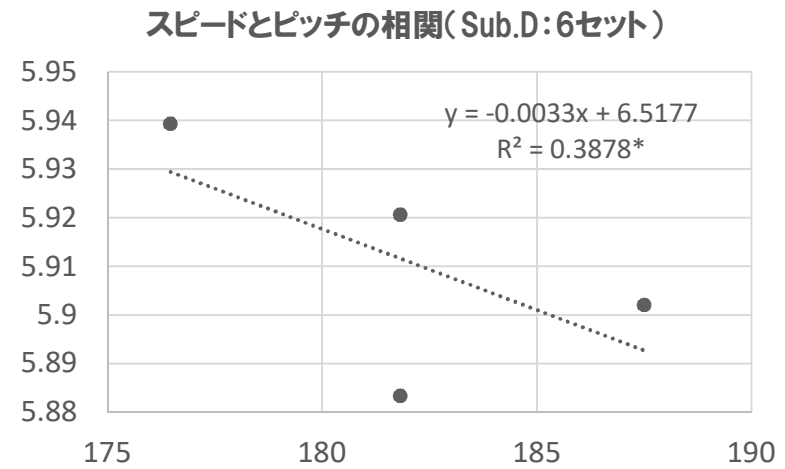
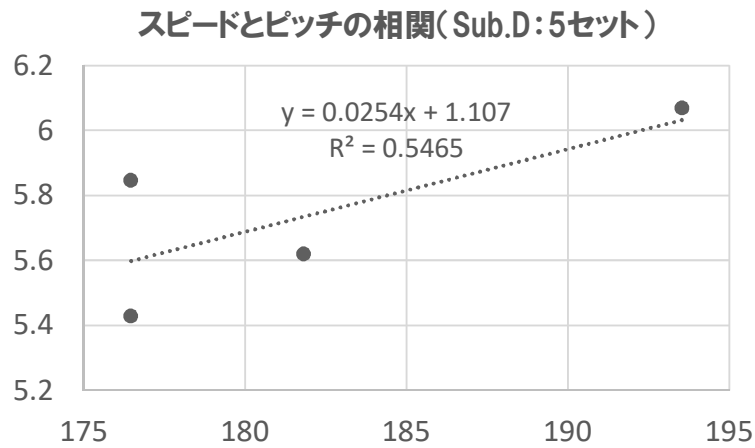
スピードとストライドの相関(Sub.B:7セット)



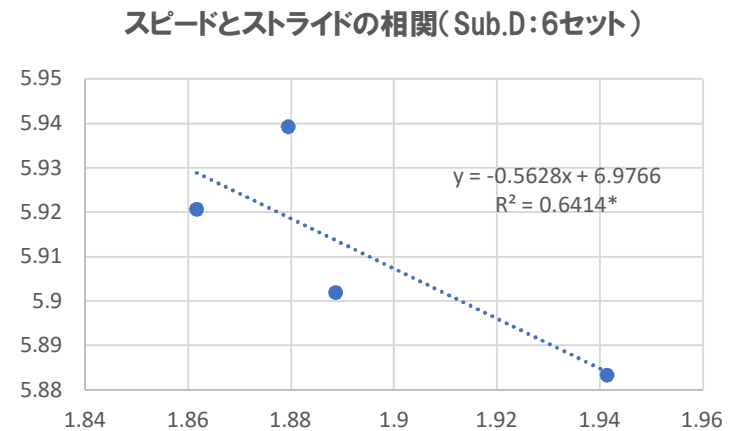
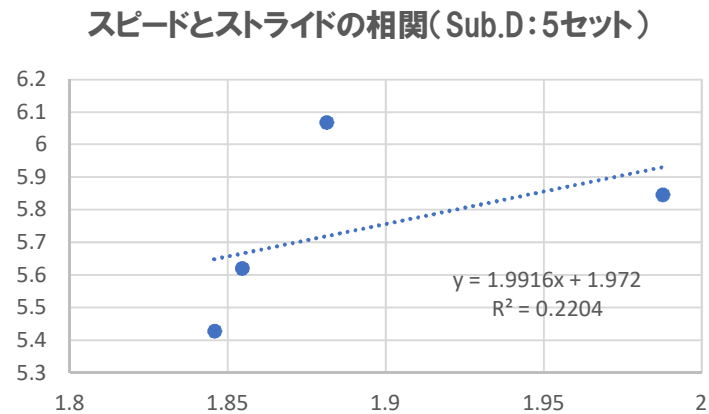
スピードとストライドの相関(Sub.B:8セット)



疾走スピードと乳酸値は変わらない・・動作の変化は？



LA: 5.9mmol ⇒ 5.7mmol



筋線維の活動様式の変容

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	◎	○	△

大腿四頭筋(伸筋側)

膝関節周りの拮抗筋(それ以外の筋も関与)

動きをつくり出すシステム

大腿二頭筋(屈筋側)

エネルギー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	◎	○	△

定本の図(1987年)を山崎が改変(2012年)

ランニングスキルには複数の筋群が関与

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

解剖学的運動方向と運動学的運動方向

- 野崎(2014)は「筋活動の冗長性」について、股関節と膝関節をまたぐ「二関節性」の大腿直筋の収縮方向を決定する至適方位(**preferred direction: PD**)のベクトルに関連して、股関節や膝関節だけに関与する「単関節性」の大殿筋や内側・外側広筋が、連動して活動する際には、本来の固有の運動方向(**mechanical pulling direction: MD**)とは異なる方向(PD)のベクトルを発揮することを指摘

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)

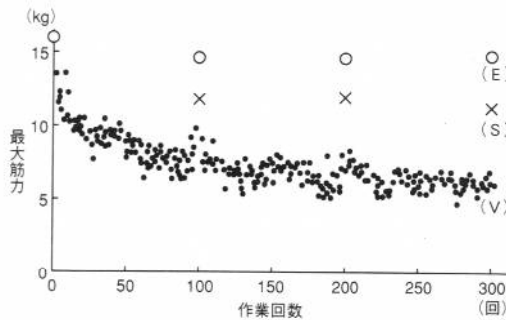
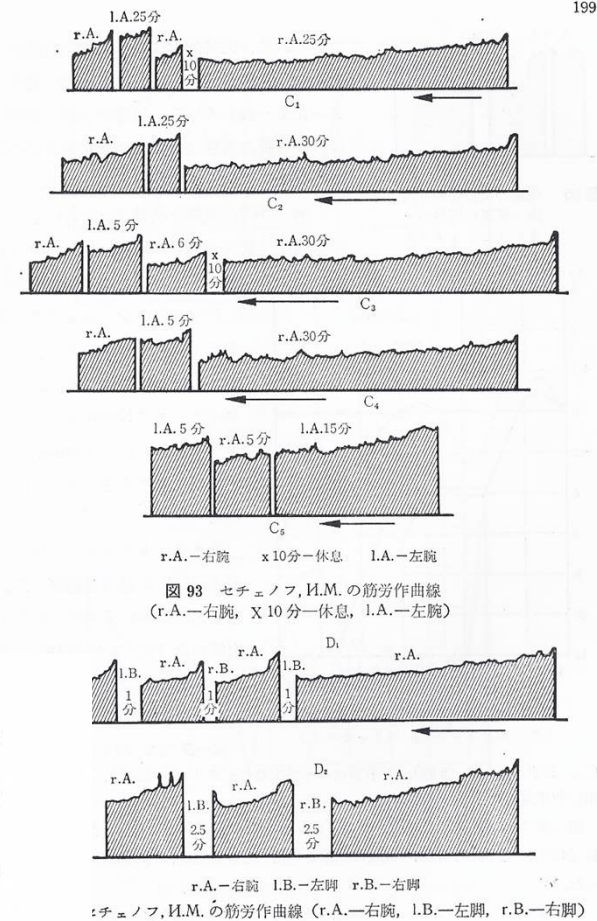


図4-7 筋活動中の心理的限界と生理的限界(猪飼・矢部、1971年)
 ○(E): 電気刺激による最大筋力
 ×(S): 自発的なかけ声とともに発揮した意志による最大筋力
 ●(V): 意志による最大筋力

随意的収縮と中枢性抑制／脱抑制
 (猪飼と矢部、1971年)



エネルギー供給モードの変容に対応してスキルモードを変えて適用制御している？

$$Y = \left[\begin{array}{c} \left[\begin{array}{c} \text{PCr0} \\ \text{PCr1} \\ \text{PCr2} \\ \vdots \\ \text{PCrN} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \text{Gly0} \\ \text{Gly1} \\ \text{Gly2} \\ \vdots \\ \text{GlyN} \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \text{Mtc0} \\ \text{Mtc1} \\ \text{Mtc2} \\ \vdots \\ \text{MtcN} \end{array} \right] \end{array} \right] \left[\begin{array}{c} \text{Sm } \alpha \\ \text{Sm } \beta \\ \text{Sm } \gamma \\ \vdots \\ \text{Sm } \omega \end{array} \right]$$

PCr: クレアチンリン酸系

Gly: 解糖系

Mtc: 有酸素系

Sm: ランニングスキルのモード

パフォーマンスのマトリクスモデル(山崎:2011年を改変)

適応制御の“トリガー”は何か？

- 自転車ロードレースでのペダリングケイデンスは「乳酸性作業閾値」に関連する（柿田と八田、2015年）
- 1000mインターバル走では運動強度が高く明確な運動生理学的指標との関連はみられなかった（山崎と新井、2017年）

これからの研究戦略

- 10000mビルドアップ走
疾走動作の変容と運動生理学的指標の関連
- 2000mインターバル走
1000mインターバル走よりも低強度での動作変容と生理学的指標の検討
- 実際の10000mレース中の動作解析と心拍変動
拘束感の少ない光学式心拍計での計測

本研究は科学研究費助成事業(学術研究助成基金助成金: 課題番号24500732及び課題番号15K01554)の一部で行われた

1. ランニングパフォーマンスを決定するマトリクスモデルの検討、ランニング学研究 Vol.23-1(2011)
2. Linkage between energy supply system and running skill during long distance running race, Advance in Exercise and Sports physiology Vol.20(1), 2014
3. 10000mレース中のランニング動作変容に関するモデルの検討、ランニング学研究 Vol.26-1(2015)
4. 10000mレース後半に見られた疾走動作の変容、ランニング学研究 Vol.27-1(2015)
5. 運動習熟とダイナミックステレオタイプの再考、陸上競技研究 No.103(2015)
6. 長距離ランニング中の疾走動作の変容は何を意味するのか、ランニング学研究 Vol.29-1(2017)