

昭和46年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. II ハイスピード持続能力の解明
—第1次研究報告—

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

目 次

研究の概要

1. ハイスピード持続能力の定義.....	1
2. 問題の提起.....	1
(1) 生理学的な問題.....	1
(2) キネシオロジーの問題.....	2
3. 研究方法の概要.....	3

研究結果

1. パワー発揮能力・持続能力の酸素負債の面からの探求.....	4
東京大学 猪 飼 道 夫 生 田 香 明 島 岡 清	
2. 腕屈曲運動にみられるスピードの持続性.....	16
大阪体育大学 金 子 公 着	
3. 陸上競技短距離走におけるスピードと酸素負債との関係.....	24
順天堂大学 青 木 純一郎 清 水 達 雄	
4. ハイスピードの持続能力が高まるペースとフォームに関する実験的研究.....	30
東京教育大学スポーツ研究所 金 原 勇 高 松 薫 辻土名 博 司 阿 江 通 良	
5. 水泳競技におけるハイスピードの維持.....	47
名古屋大学 宮 下 充 正	
6. 自転車競技におけるハイスピードの分析.....	53
日本女子体育大学 山 川 純	
今後に残された問題.....	57

ハイスピード持続能力の解明

猪飼道夫・金原勇・山川純
宮下充正・青木純一郎・金子公宥
生田香明・高松薰

研究の概要

1. ハイスピード持続能力の定義

ここでいうハイスピードとは、特に自力で行なう移動運動において発揮できる最高スピードのことである。したがって、陸上競技や水泳競技における中長距離のような、かなり長時間にわたっての移動運動において、維持される程度のスピードではない。すなわち、時間的におよそ1分以内に終了するような、競技種目におけるスピードである。距離にして陸上競技では100mから400m、水泳競技では100m、自転車競技では500mから1000m、スケート競技では500mである。

このような、いわゆる短距離種目においては、札幌オリンピックのスケート500mで8位にしか入れない。また、陸上競技の男子で0.2秒、400mで3秒、水泳競技の男子100m自由形で2秒6というように、日本のトップレベルの選手と世界のそれを比較すると記録的にはかなりの差がある。それゆえ、その差をいかにして短縮するかという問題解決のためには、日本人という体質とそのような競技種目との関係をさまざまな観点から分析していくことが必要となる。

これを人体の機構との関連からみると、スタートの静止状態からハイスピードの運動状態にまで達するのに参加するものと、ハイスピードの運動状態を一定時間維持するのに参加するものとに分ける必要がある。1971年度のプロジェクトチームは後者の問題に主眼を置いて研究を進めてきたわけである。

2. 問題の提起（ハイスピード持続を構成するもの）

自動車にしろ、電車にしろ、船にしろすべて移動を目的とした機械では、ガソリン、電気、原子力といったいろいろなエネルギーの連続的な供給が必要である。人体の場合も同様に、移動運動を維持するためには、エネルギーが供給されなければならない。動物におけるエネルギー供給のメカニズムは、複雑な化学反応から成り立っているが全体的には、酸素の消費量をもってとらえることができる。

一方、自動車、電車、船といった機械でもその移動スピードを高くしようとするならば、そこには車体、船体とか車輪やスクリューといった部分の構造が、改良されなければならない。このことは、人体の場合にも当てはまるとしてあって、フォームとか、腕や脚の動かし方といった点が重要な要素となる。

以上のように、人体がハイスピードを持続するためには、エネルギー供給の面と型や動きの面の2つからの改良が必要となる。前者は生理学的問題として、また、後者はキネシオロジーの問題として研究されなければならない。

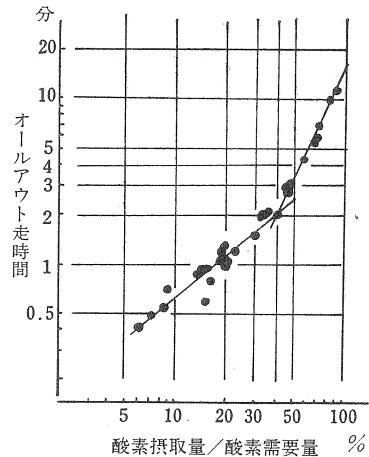
（1）生理的な問題

人体の動きに供給されるエネルギー量は、酸素で代表されると述べたが、この酸素は摂取されるものと、負債されるものとに分け、前者を酸素摂取量、後者を酸素負債量と呼ぶことは良く知られていることである。

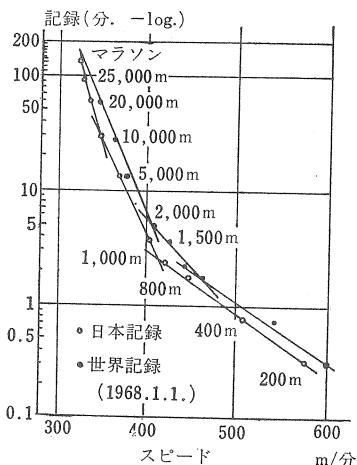
酸素摂取量は各個人に上限があり、これを最大酸素摂取量といい、同様に酸素負債の上限を最大酸素負債量という。人体の発揮し得るエネルギーは、最大酸素摂取量と最大酸素負債量の総和によって決まる。また、運動のエネルギー発現における

る酸素摂取量と負債量のかかわり合いは運動の種類によって変わる。これらの関係を図に示した。

この図から、時間にしておよそ3分間以上続く全力運動では、酸素需要量の中で酸素摂取量の占める割合が高く、3分に満たない全力運動では酸素負債量の割合が高くなることがわかる。これを陸上競技のトラック種目でいえば、図に示すように、記録が3分になるのは800mと1500mの間になる。この2種目を中距離とよび、ここでは酸素摂取量・負債量ともに大きいことが、すぐれた記録につながる。これらよりも運動時間の長い長距離種目では、酸素摂取量の大きいことが、短い短距離種目では酸素負債量の大きいことが、それぞ



オールアウト時間と酸素需要量に対する酸素摂取量の割合（加賀谷1971）



陸上競技走種目の記録とスピードとの関係（加賀谷1971）

れの競技成績決定の要因になる。本プロジェクトチームが研究していかなければならないのは酸素負債の能力である。

(2) キネシオロジーの問題

移動運動においてハイスピードとは身体の主要部分の運動方向へのスピードであり、手や足の部分的な動きのスピードではない。この運動を発現、維持するのは四肢であり、連続的な移動運動では、それらが交互に活動する。四肢が交互に活動するということは、同じ大きさの推進を連続的に発揮できないことを意味する。すなわち、移動運動に必要な力が時間とともに変化するということであって、結果的には、身体の主要部分のスピードに周期的な変動が必然的に現われるということである。

例えば、走やスケートでの1キック毎、水泳の1ストローク毎に目に見える、あるいは、目につかない程度のスピードの変化が見られる。

このように、1サイクル中にスピード変化があるということは、スピードの低下の因子とスピード増大の因子とがあり、両者が時間的には重なり合うにしろ、2つに分類して考えるのが便利である。

(1) スピード低下の因子

スピードの低下をまねく原因は、進行に対し逆方向へ加えられる力である。このスピードの低下は、一定のハイスピードで運動する際には最小限に止めることができ、エネルギー効率の面から必要であって、原因となるマイナス方向への力は分析されなければならない。

それぞれの運動様式についてあげると次のようになる。

走……………空気の抵抗、着地期の地面と足の抵抗

スケート…空気の抵抗、氷とエッジの抵抗

自転車……空気の抵抗、タイヤと地面との抵抗、車体の抵抗

泳……………水の抵抗

共通することは、空気や水の抵抗は、いわゆるフォームによって大きく影響されるが、それは、からだつきという静的な形態と姿勢という動的な

型による。また、地面と足あるいは氷とエッジとの間の抵抗は、そのときの足の着く時間、方向、力などに影響される。自動車のタイヤと地面との抵抗や車体の抵抗などは、工学的な問題として残る。

(b) スピード増大の因子

1 サイクル中のスピードの低下に対し、同じサイクル中にスピードを増大させることによって、一定のハイスピードが維持できるわけである。この力は、人体の筋肉によって発揮されるものであって、水泳の腕の筋群、その他は脚の筋群が主たる働きをする。

ハイスピードで運動状態にあるということは、非常に短時間で力を発揮しなければならないわけである。すなわち、高パワーが要求される。しかし、筋肉の性質からして速く収縮するときは小さい力しか発揮できない。このため、力の発揮の度合（グレイティング）、時間（タイミング）、方向（ディレクション）が重要な要素となる。これは一般的には技術と呼ばれ、練習によって高められるものである。

3. 研究方法の概要

ハイスピードの持続能力を解明するために、実験室での基礎的研究グループと、陸上競技、水泳競技、自動車競技という実際の競技の面から追求するグループに分けて、それぞれ研究を進めた。

先ず、実験室での基礎的研究によって、1分以内の全力運動における生体の反応を詳しく調べることにした。すなわち、自転車エルゴメーターを使用して、一定負荷で運動時間の種類を変え、それぞれの運動によって身体内部に発生する化学的エ

ネルギーと身体外部に発揮される機械的エネルギーを測定することにより、無酸素的運動 (anaerobic work) の特性を生理学的面とキネシオロジーの両面から調べた。

また、できるだけ複雑な実験条件を除外し、原理的な観点に立って、筋特性を調べるために、肘関節屈曲運動を行なわせ、スピードの遞減率からスピードの持続性の追求を行なった。そして、実際の競技の面から、ハイスピードが要求される3つの競技種目の、ハイスピード持続という特性をとらえて分析を行なった。

すなわち、陸上競技においては、現在日本のトップスプリンターを被検者として、20mから400mまでの8種類の短距離疾走を行なわせ、酸素摂取量、酸素負債量の化学的エネルギー発生の面から生理学的に追求を行なった。また、ハイスピード持続を生み出すペースとフォームについて、実験室での基礎研究と疾走フォームのフィルム分析から、キネシオロジー的に追求を行なった。

水泳競技においては、水中動作を高速度カメラで撮影することによって、1ストローク中のスピードの変化を求め、泳者の発揮するパワーについて分析し、ハイスピード持続の問題点を明らかにした。

さらに、自転車競技においては、その特質は車輪の直径(675mm)が規定されているのみで、スピードに直接関係があるギヤ比、自転車の重量、クランクの長さ、タイヤ、フレームサイズなどは規定されていない為、本研究においてはギヤ比、回転数、速度の関係とギヤ比別酸素需要量について検討を行なった。

研究結果

パワー発揮能力・持続能力の酸素負債量の面からの探求

東京大学 猪 飼 道 夫・生 田 香 明・島 岡 清

I 緒 言

筋運動が一定強度以上の時には運動の初期に無酸素的過程 (anaerobic process) が進行する¹⁾。短距離走ではスタートして数秒で速度が定常状態に達する。そして、5~6秒後にはエネルギー発生量が減少し、速度が低下する²⁾。その原因是、筋収縮の直接のエネルギー源であるアデノシン三磷酸 (ATP) とアデノシン三磷酸の再合成のためのエネルギー供給源であるクレアチニン磷酸 (CP) などの磷酸原質が減少するためであると考えられている²⁾。従って、最高速度の水準、およびそれがいかに長く持続されるかは、アデノシン三磷酸、クレアチニン磷酸の分解速度と筋の中に含まれるクレアチニン磷酸の量によってきまる。また、磷酸原質の代謝の過程がいかに速やかに進行するかは、筋の中に含まれる酵素系 (enzymatic system) によって決定される。

無酸素的過程が進行する時にはクレアチニン磷酸の消失による筋活動の減退が起るが、このとき、筋のグリコーゲンが分解されて、アデノシン三磷酸の再合成が起り、円滑なエネルギー供給が行なわれる。しかし、その際、乳酸の蓄積が進行し、筋を酸性に傾け、筋の働きを弱める。これまでの研究から最大努力の運動では40~60秒で乳酸の生成が最大に達する³⁾。従って、スプリントは40秒位までとされており、それ以上の運動になると著しくスピードが落ちる⁴⁾。

本研究においては、まず1名の被検者についてモナーク製自転車エルゴメーターを使用して最大努力で5秒から60秒までの7種類の運動を行なわせ、運動中の機械的パワーと運動中および回復期間中の酸素摂取量を測定した。そして、短時間の

全力運動時におけるそれらの経過を調べると同時に、それらを身体内部に発生する化学的エネルギーと身体外部に発揮される機械的エネルギーに換算し、7種類それぞれの全力運動時の機械的効率を求めた。

更に、100mに10秒8、10秒9の記録を持つ短距離選手4名と他の被検者5名について最大パワーを発揮する負荷(5~7kp)で10秒間と、4kpの一定負荷で50秒間運動した時のパワー、および酸素摂取量を測定して、ハイスピード持続能力の研究を行なった。

また、パワー発揮能力の特性を調べるために、いろいろの負荷でのペダルの回転速度と、ペダルにかかる平均踏力を測定して、力-速度曲線およびパワー曲線を求め検討を行なった。

II 実験方法

被検者は100mに10秒8、10秒9の記録を持つ4名の短距離選手と、以前は運動選手であったが現在はトレーニングをしていない5名、および一般人1名である。

運動は、被検者に自転車のサドルから腰をあげないようにさせ、運動開始から最大努力で自転車をこがせて行なわせた。各被検者の身体的特性および各被検者が行なった運動時間と運動負荷は、表1に示す通りである。

自転車エルゴメーターによる機械的パワーの測定および酸素摂取量の測定は、昭和44年度日本体育協会スポーツ科学的研究報告「血液乳酸からみた無酸素的パワーの研究⁵⁾」で用いた方法で行なった。

また、短距離選手3名、他の2名の被検者

表 1 各被検者の身体的特性、および実験の運動負荷と時間

被検者	年令 (才)	身長 (cm)	体重 (kg)	運動 負荷 (kp)	運動時間 (sec)	最高記録
短 距 離 選 手	E. U.	20	180	74	7 4	10 50 200m: 22''4
	S. T.	21	176	73	7 4	10 50 200m: 21''8
	H. I.	23	174	63	7 4	10 50 100m: 10''9 200m: 22''2 400m: 48''4
	Y. O.	20	174	64	7 4	10 50 100m: 10''9 200m: 22''3 400m: 50''2
トレ ーニ ング して い な い 人	K. I.	29	168	58	6 4	10 5, 10, 20, 30 40, 50, 60 (6年前)
	M. S.	27	173	71	7 4	10 50 柔道 4段
	K. K.	26	169	66	6 4	10 50 サッカー
	A. H.	34	166	73	7 4	10 50 ボクシング
	H. M.	25	161	54	5 4	10 50
	K. W.	27	168	60		剣道

について、3 kp から 8~10 kp まで最大努力で 6 秒間こがせ、それぞれの負荷の運動で発揮される最も高いパワーと、ペダルの回転速度を測定し

て、クランクにかかる平均踏力を求めた。そして力-速度関係を明かにすることにより、各被検者が発揮する最大パワーが力の要素によったパワーであるか、スピードの要素によったパワーであるかを調べた。

III 実験結果

1) 無酸素的運動の機械的効率について

1名の被検者 K. I. について、負荷を 4 kp に一定にして最大努力で 5 秒、10 秒、20 秒、30 秒、40 秒、50 秒、60 秒間の 7 種類の運動を行なわせた時に発揮されたパワーの経過を示したもののが図 1 である。いずれの運動時間においても約 4~6 秒で最も高いパワーを発揮し、それ以後は次第に低下しながら運動を終了している。

また、安静時、および運動中、回復期間中の酸素摂取量を示したものが図 2 である。この図から運動時間が長くなるにつれて、酸素需要量が多くなることがわかる。

図 3 は、図 1 から仕事量を、図 2 から酸素負債量をまとめたものである。この図から、仕事量は 60 秒まで運動時間が長くなるにつれて増加していくのに対して、酸素負債量は 50 秒の運動までは次第に増加していくが、それ以上の時間にわたる運動では、酸素負債量はあたまうちの状態になる。被検者 K. I. については、50 秒間の運動の時に最大酸素負債量が得られた。

以上の結果をまとめたものが表 2 である。表 2 の機械的効率 (mechanical efficiency) は、身体外部に発揮された仕事量 (kgm) をカロリー (Cal) に換算し、また酸素需要量は身体内部で発生した

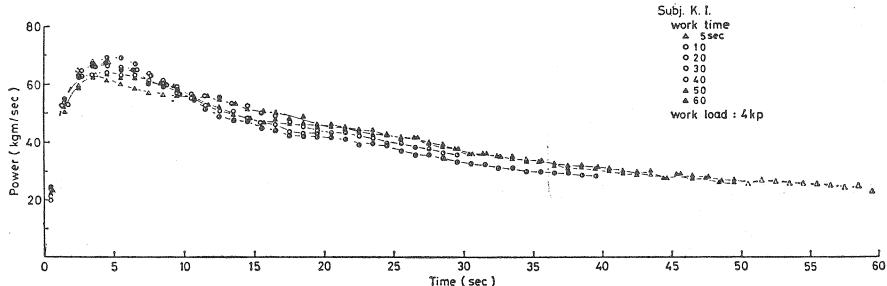


図 1 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60秒間の運動時の
それぞれのパワー経過

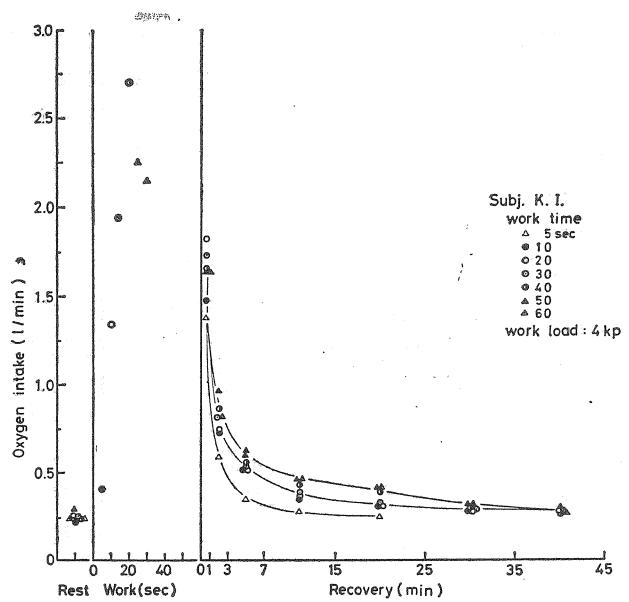


図 2 図 1 のそれぞれの運動の安静時、運動中、回復期間中の酸素摂取量

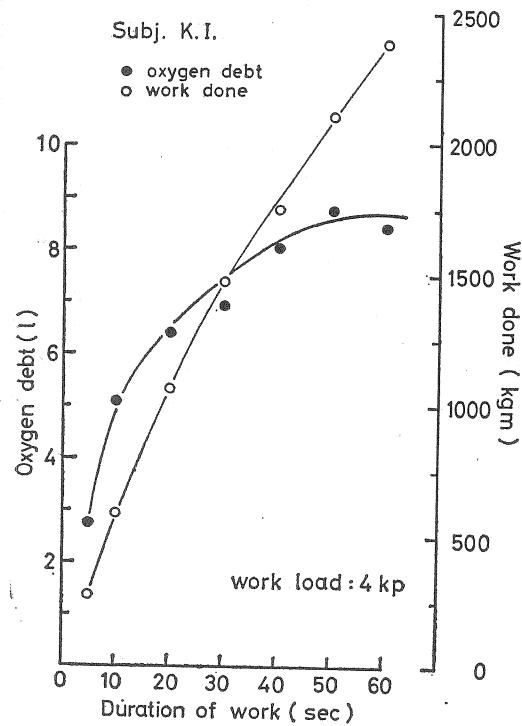


図 3 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60秒間の運動の酸素負債量と仕事量

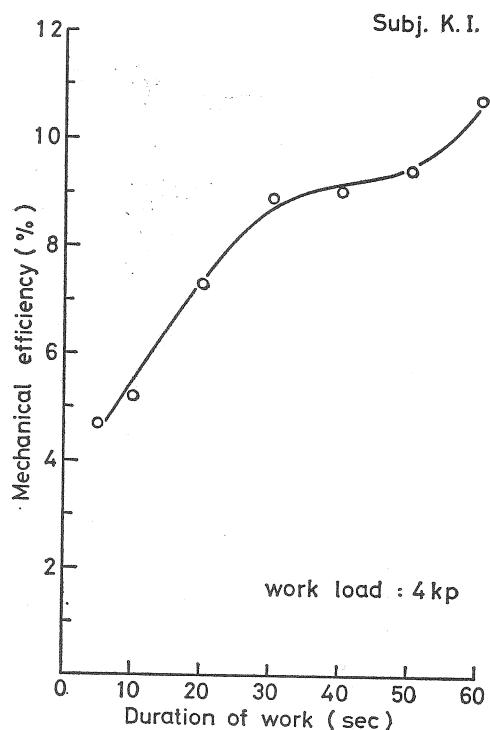


図 4 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60秒間の運動の機械的効率

表 2 5秒から60秒間の運動による酸素摂取量、酸素負債量、酸素需要量、仕事量および機械的効率
被検者 K.I.

Work load : 4 kp

運動時間(sec)	酸素摂取量 安静時(ml)	酸素摂取量 運動時(ml)	酸素 負債量(l)	酸素需要量 (l)	仕事量 (kgm)	機械的効率 (%)
5	233.3	-	2.73	2.73	273.8	4.7
10	229.8	67.7	5.19	5.22	585.5	5.2
20	248.0	447.0	6.39	6.79	1069.1	7.3
30	248.0	970.0	6.89	7.74	1484.7	8.9
40	240.2	1123.5	8.08	9.04	1746.5	9.0
50	262.2	1881.2	8.74	10.42	2103.5	9.4
60	237.9	2146.5	8.39	10.30	2381.1	10.7

エネルギーと考えられるので、酸素 $1l=5\text{ Cal}$ として同様にカロリーに換算して、前者を除して求めた値である。これらの値を図4に示した。この図から、無酸素的運動の効率は、5秒間の運動の4.7%から30秒間の8.9%の運動まで運動時間が長くなるにつれて効率の急激な上昇がみられるが、最大酸素負債量に近い値を示す30秒～50秒間の運動になると、上昇が低下していく。しかし、60秒間の運動になると再び上昇する傾向がみられた。

2) パワー発揮能力と酸素負債量について

図5は短距離選手4名の、図6はその他の4名

の被検者についてそれぞれの最大パワーを発揮する負荷で10秒間運動した時のパワーの経過と回復期間中の酸素摂取量を表わしたものである。この図から、短距離選手のなかでも立ちあがりのパワー発揮にすぐれているE.U., S.T.と立ちあがりのパワーが低いY.O.とがみられる。4名の被検者とも4～6秒で90～95kgm/secの最大パワーを記録した。E.U.とS.T.は最大パワーを4秒から7秒まで持続した。回復期間中の酸素摂取量については、高いパワー発揮とパワーの持続能力にすぐれている被検者ほど高い値を示した。

他の4名の被検者については、柔道4段の

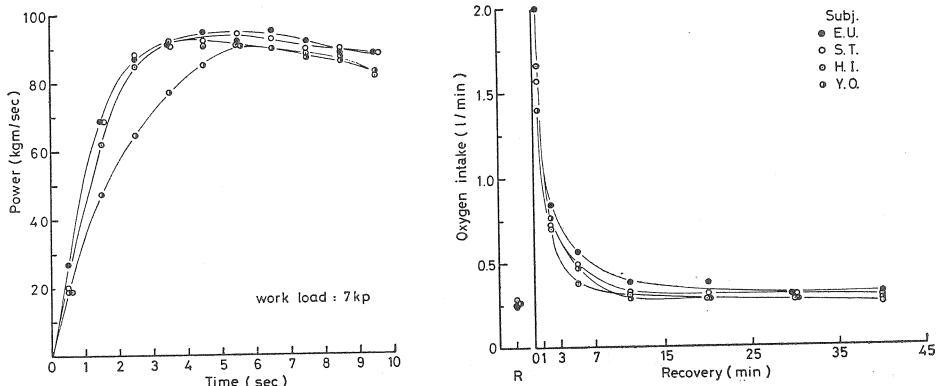


図 5 短距離選手4名の最大パワーを発揮する負荷で10秒間運動した時のパワー経過と酸素摂取量

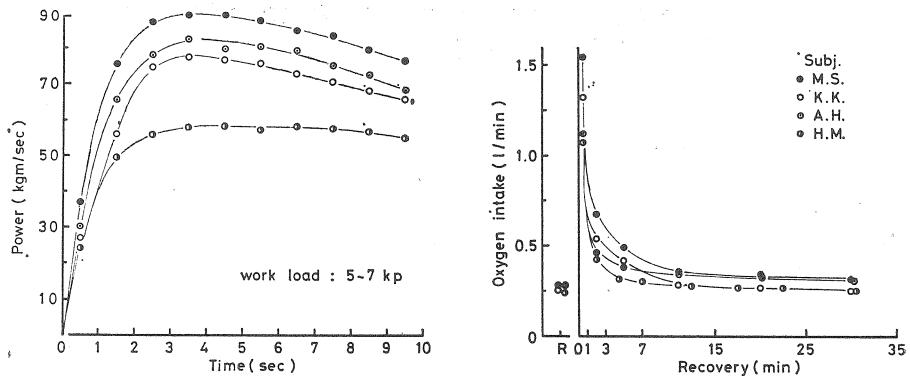


図 6 トレーニングをしていない4名の被検者の最大パワーを発揮する負荷で10秒間運動した時のパワー経過と酸素摂取量

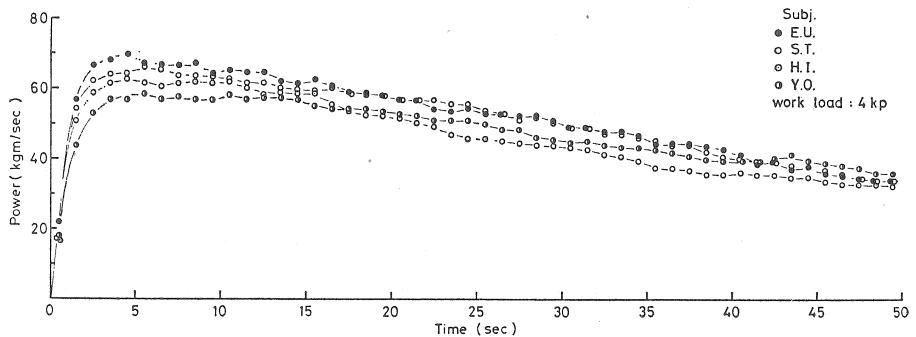


図 7 短距離選手4名の50秒間運動した時のパワー経過

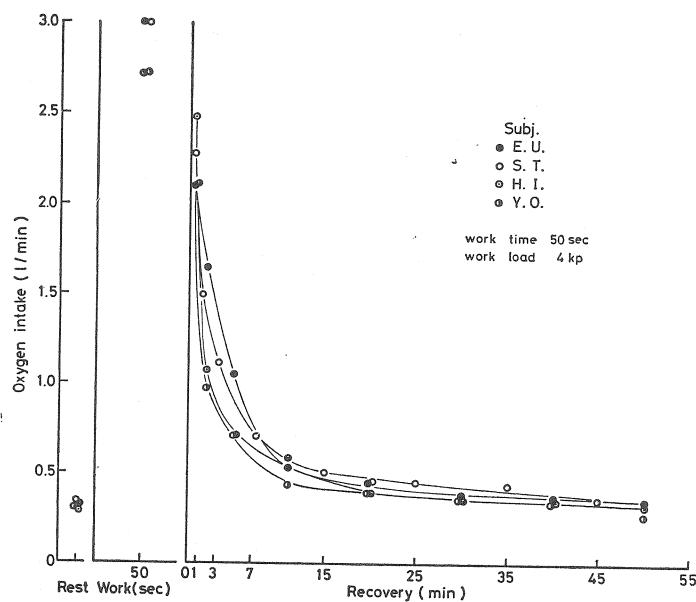


図 8 図7の運動の安静時、運動中、回復期間中の酸素摂取量

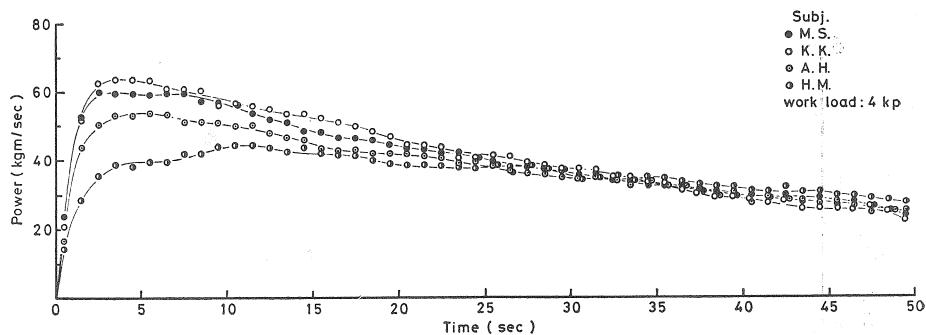


図 9 トレーニングしていない 4 名の被検者の 50 秒間運動した時のパワー経過

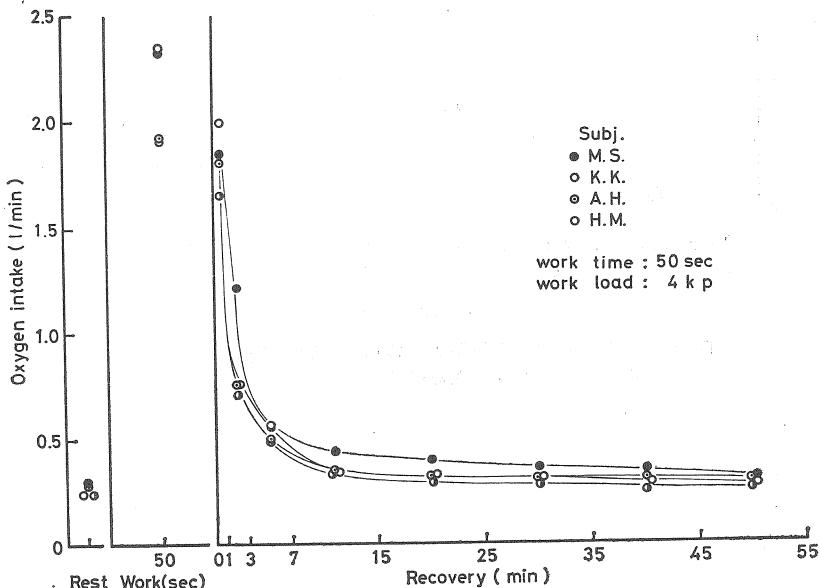


図 10 図 9 の運動の安静時、運動中、回復期間中の酸素摂取量

M.S. が短距離選手に近い最大パワー (89.3 kgm/sec) を発揮しているが、その値の持続について 5 秒以後には既に明らかなパワーの低下があらわれ、高いパワーの持続能力の面で短距離選手に劣っている。一般人の H.M. は、パワー発揮能力が低く、短距離選手の半分程度の値 (58.1 kgm/sec) にとどまっている。これらの 4 名の被検者についても最大パワーが高く、パワーの持続能力にすぐれている被検者ほど回復期間中の酸素摂取量も高い値を示した。

図 7 は短距離選手 4 名と、図 9 はその他の 4 名の被検者が 4 kp の一定負荷で 50 秒間運動した時のパワーの経過と、図 8 と図 10 はそれぞれの回復期間中の酸素摂取量を示したものである。

図 7 の短距離選手 4 名と、図 9 のその他の 4 名の被検者のパワー経過を比較してみると、両者ともスタートして 4 ~ 6 秒で最も高いパワーを示し短距離選手では $60 \sim 70 \text{ kgm/sec}$ 、その他の被検者では $40 \sim 60 \text{ kgm/sec}$ で両者に約 10 kgm/sec の差がみられる。

50 秒後の運動終了時点では、短距離選手が約 35 kgm/sec の値を示したのに対して、その他の被検者では約 25 kgm/sec の値を示し、両者に約 10 kgm/sec の差がみられた。

両者ともスタートして約 $10 \sim 15$ 秒までは、パワー発揮にかなりの個人差が認められるが、運動終了時点では、ほぼ同じパワーの値を示している。

パワー持続能力の面からみれば、短距離選手は

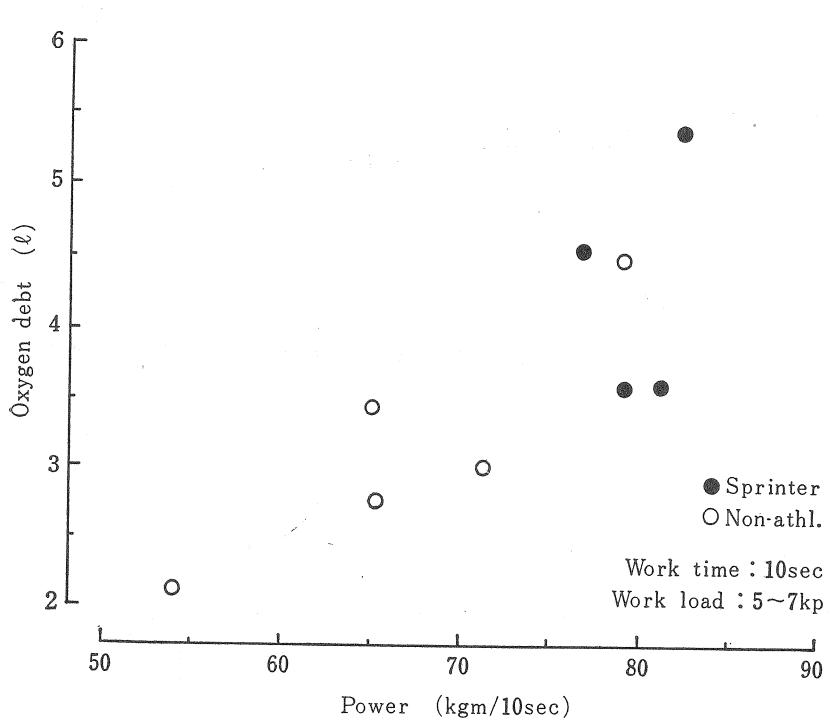


図 11 最大パワーを発揮する負荷で10秒間運動した時のパワーの平均値と酸素負債量の関係

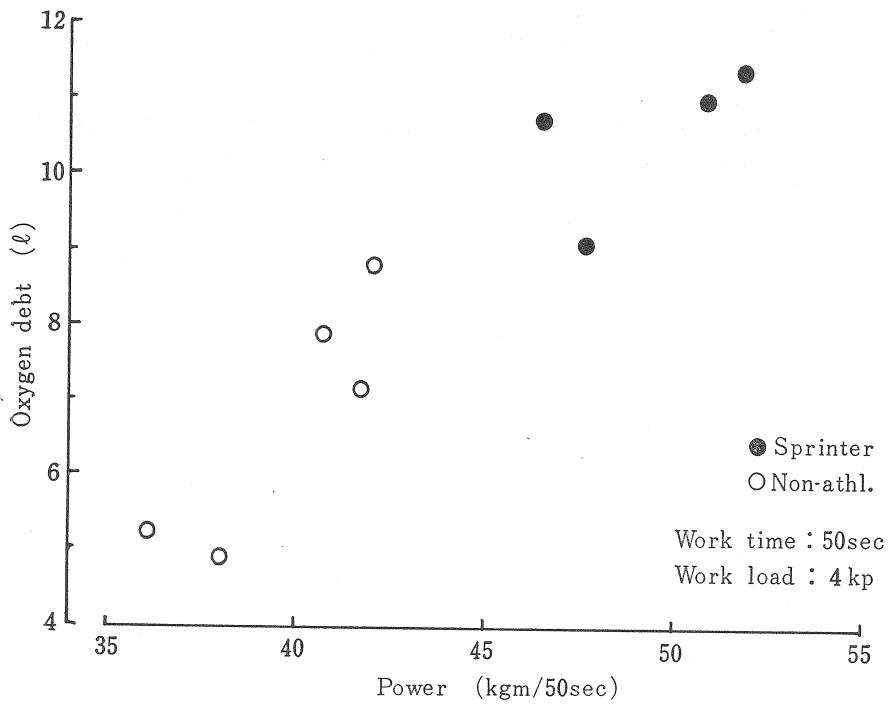


図 12 4 kp の負荷で50秒間運動した時のパワーの平均値と酸素負債量の関係

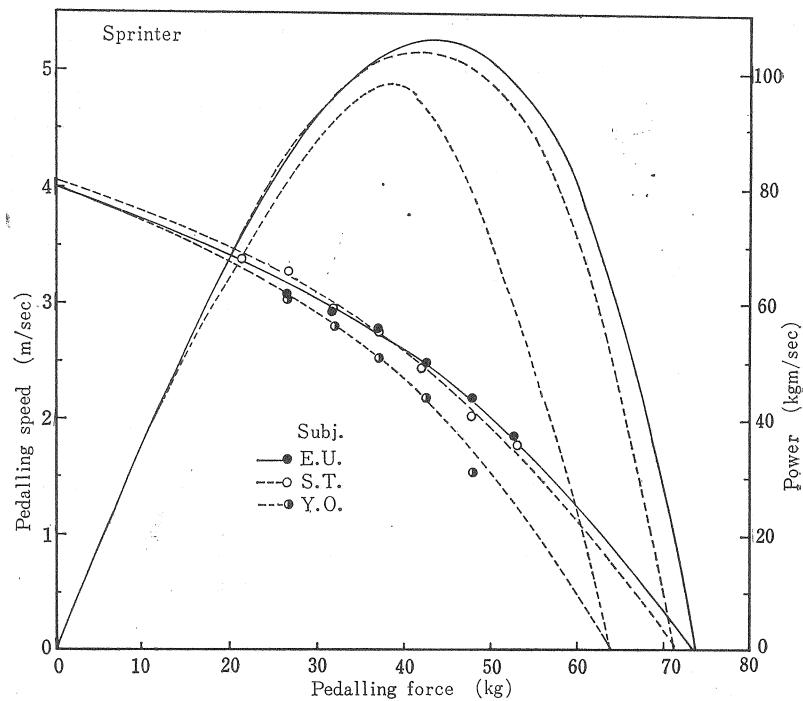


図 13 短距離選手 3 名の力一速度曲線およびパワー曲線

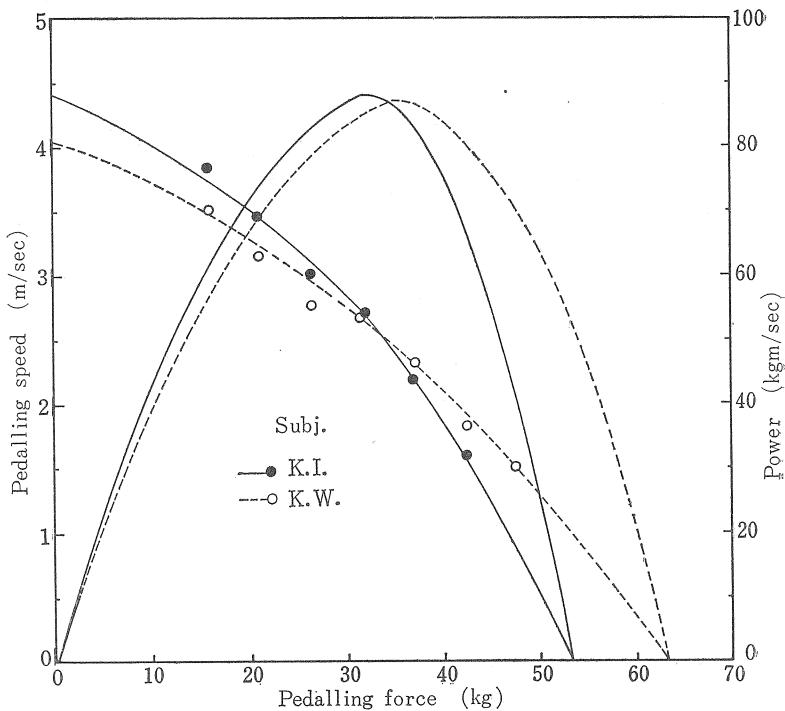


図 14 トレーニングしていない 2 名の被検者の力一速度曲線およびパワー曲線

高いパワーをよく持続しているが、その他の被検者では短距離選手に比べると5秒から20秒にかけてパワーの低下が急激である。20秒以後は両者ともほぼ同じ割合で低下している。

回復期間中の酸素摂取量については、10秒間の運動の時と同様に、高いパワー発揮と持続能力にすぐれている被検者ほど、高い値を示した。

以上の結果にもとづいて、各被検者の10秒間の運動中のパワーの平均値と、酸素負債量の関係をみたものが図11である。

また、同様に各被検者の50秒間の運動中のパワーの平均値と、酸素負債量の関係をみたものが図12である。10秒間および50秒間のいずれの運動においてもパワー発揮能力にすぐれている被検者ほど酸素負債量が高いことがわかる。

3) パワー発揮能力の特性について

図13は短距離選手3名の、図14はその他の2名の被検者について、自転車エルゴメーターのペダルを踏む運動における力-速度関係からパワー発揮能力の特性をみたものである。

図13の短距離選手について、力-速度関係の曲線からいえることは、負荷の軽い時のスピードにおいては、3名の被検者の差は小さいが、負荷が重くなるにつれて、スピードにかなりの差が認められるようになる。従って、パワー曲線をみると負荷の軽い運動においては、パワーの値にそれほど差が認められないが、重い負荷になるにつれてその差が明瞭になり、最大パワーの値(E.U.: 105.8kgm/sec, S.T.: 104.6kgm/sec, Y.O.: 98.3kgm/sec)も異なってくる。そして、Y.O.は比較的軽い負荷の時に最大パワーを発揮しておりE.U., S.T.は重い負荷の時に最大パワーを発揮している。

図14の短距離選手以外の2名の被検者については、最大パワーの値(K.I.: 89.1kgm/sec, K.W.: 87.0kgm/sec)はほぼ同じであるが、パワー発揮の特性が明瞭に認められる。即ち、力-速度曲線からいえることは、K.I.は負荷の軽い時のスピードにすぐれており、K.W.は負荷の重い方のスピードにすぐれていることがわかる。従って、パワー曲線でもK.I.は負荷の軽い時に最大パワ

ーを発揮し、K.W.は負荷の重い時に最大パワーを発揮している。

また、短距離選手とその他の被検者の比較をしてみると、最大パワーの値は短距離選手の方が断然大きく、その他の2名の被検者との間に20kgm/secの差がある。そして、最大パワーを発揮する時の負荷も短距離選手の方が重く、ペダルにかかる力でみると、約10kgの差が認められた。

IV 考 察

1) 仕事量、酸素負債量と無酸素的運動の機械的効率について

図3の被検者K.I.の結果から、仕事量は5秒の運動から60秒間の運動まで、運動時間が長くなるにつれて、次第に増加する。酸素負債量は約50秒間の運動までは次第に増加するが、60秒の運動になると低下する傾向が現われている。この現象は、およそ50秒の運動を境として、60秒以上の運動になると次第に有酸素的要素の強い運動に移っていくことを示唆している。

以前に著者らが行なった研究と、本研究の結果から、自転車エルゴメーターの全力の運動では、約50~60秒間の運動で最大酸素負債量が得られる。

効率については、図3のそれぞれの運動における酸素負債量の値に運動中の酸素摂取量の値を加えて、酸素需要量をもとめ、酸素 $1l = 5 Cal$ としてカロリーの単位に換算した。

また、それぞれの運動における仕事量も $1kgm = 0.002343 Cal$ として、カロリーの単位に換算した。そして、それぞれの運動における酸素需要量は、それぞれの運動において身体内部で発生した全エネルギーと考えられ、また、仕事量は実際に身体外部に発揮されたエネルギーと考えられるので前者で後者を除した値は、それぞれの運動の機械的効率を示す。

5秒の運動から60秒間の運動までの7種類の運動の機械的効率を示したものが図4であるが、5秒の運動(4.7%)から30秒間の運動(8.9%)まで、運動時間が長くなるにつれて効率は急激に上昇する。しかし、最大酸素負債量に近い値を示す30秒~50秒間の運動で上昇率が低下し、60秒間の

運動（10.7%）で再び急激に上昇する傾向が認められた。60秒の運動で再び効率が上昇する原因は60秒以上の運動になると次第に有酸素的要素が強くなるためと考えられる。

Dickinson¹⁾によると自転車エルゴメーターでの最大効率は21.5%である。本研究の結果から、無酸素的運動の効率はその値の約半分であった。

2) 最大パワーを発揮しうる負荷での10秒間の全力の運動におけるパワーの経過について

図5、図6の10秒間の運動において、短距離選手もその他の被検者においても、運動を開始して4～6秒で最大パワーに達する。短距離選手の最大パワーは、約100kgm/secであるのに対して、その他の被検者では50～90kgm/secであり、最大パワーの値に両者で著しい差異が認められた。また短距離選手は最大パワーに近い値を4秒から7秒まで持続しているが、特にはトレーニングをしていない被検者は、約4秒で最大パワーに達して、それ以後は著しくパワーが低下し、最大パワーを持続する能力が低いことがわかる。

3) 4kpの一定負荷による5秒から60秒までの7種類の全力の運動におけるパワーの経過について

図1の被検者K.I.の5秒から60秒までの7種類の運動におけるパワーの経過についていえることは、いずれの運動においても4～6秒で最も高いパワーに達し、それ以後は次第にパワーが低下していくが、最も高いパワーに達した6秒から以後約20秒までの間のパワーの低下はとくに著しい。約20秒以后においては、パワーの低下率はほぼ一定し、直線的に低下していくことがわかる。この現象は図9のトレーニングをしていないH.M.を除いた3名の被検者の50秒間の運動におけるパワーの経過においてもみられる。

しかし、図7の短距離選手の50秒間の運動におけるパワーの経過をみると、この現象（6秒から約20秒までのパワーの著しい低下）は全くみられず、高いパワーを最後までよく維持している。これらのことから、トレーニングは、最大パワーをより高くし、最大パワーに達した6秒以後、約20

秒までのパワーの著しい低下を防ぐことが考えられる。

50秒間の運動において短距離選手4名においても、トレーニングをしていない他の4名の被検者においても運動を開始して10～20秒まではパワーの値にかなりの個人差がみられるが、50秒の運動終了時点では、それぞれにおいてほぼ同じ値になっている。短距離選手では約35kgm/sec、その他の被検者では25kgm/secの値で運動を終了しており、50秒の運動終了時点では両者に約10kgm/secの差が認められる。

これらの結果から、運動を開始して最大パワーに達するまでの4～6秒間は、筋中に存在している磷酸原質の早急な分解によるエネルギー発生に負うところが多く、最大パワーに達した6秒以後の運動においては、再合成のメカニズムで生成された磷酸原質の分解によるエネルギー供給に負うところが多いように思われる。短距離選手では最大パワーが高く、パワーの著しい低下もみられず、高いパワーをよく維持していることから、筋収縮の直接のエネルギー源である磷酸原質を筋中に多く保持していることが考えられ、また、磷酸原質の再合成の能力にもすぐれているものと思われる。

4) 10秒間および50秒間の運動におけるパワーと酸素負債量の関係について

図11の最大パワーを発揮しうる負荷で10秒間の運動を行なった際のそれぞれの被検者の平均パワーと酸素負債量の関係および図12の4kpの一定負荷で50秒間の運動を行なった際の平均パワーと酸素負債量の関係から、いずれの運動においてもパワー発揮の高い、持続能力にすぐれた被検者、すなわち平均パワーの高い被検者ほど酸素負債量も高い値を示している。高いパワー発揮と持続のためには、筋で多くの化学的エネルギーが必要でありトレーニングをしている短距離選手では、エネルギー発生能力が非常に高いことがわかる。

50秒間の運動では両者に密接な関係が認められるが、10秒間の運動においては呼吸循環系が関与する割合が少ないためか、両者の関係はわずかに低くなることが認められた。これらの関係については、被検者をさらにふやして詳細な検討を加え

る必要があろう。

5) パワー発揮能力の特性

Kaneko⁵⁾ は上腕屈筋の単収縮における力ー速度関係からパワーを算出して、パワー発揮能力の特性をみている。

本研究においては、自転車エルゴメーターによる連続運動時のクラシクから測定した力ー速度関係よりパワー発揮能力の特性を調べた。

図13、図14から、最大パワー発揮能力の特性をみると、よくトレーニングされた短距離選手は、比較的重い負荷の時に最大パワーを発揮し、トレーニングしていない被検者は、軽い負荷の時に最大パワーを発揮している。短距離選手 E.U. と S.T. は最大パワーを発揮する負荷に幅があり、最大パワー発揮に一つの特徴がある、競技に有利である。その他の被検者では、最大パワーを発揮する負荷の幅が小さく、その前後の負荷ではパワーが著しく低い値にとどまっている。

また、力ー速度曲線からみると、被検者 K.I. は、軽い負荷の時のスピードの点では、短距離選手にまさっているが、負荷が重くなるにつれてスピードが急激に低下し、最大パワーは低い値にとどまっている。その他の4名の被検者では、軽い負荷の時のスピードは、ほぼ同じ値を示しているが、負荷が重くなるにつれて大きく異なってくる。これらのこととは、神経系の要素は4名の被検者ともほぼ同じであるが、筋力の面で大きな差がありこのような現象が現われるものと思われる。

V 結 論

(1) 1名の被検者について、モナーク製自転車エルゴメーターを用いて、4kp の一定負荷で5秒から60秒まで7種類の全力の運動を行なわせ、パワーの経過と運動中および回復期間中の酸素摂取量を測定した。

(2) 仕事量は5秒の運動から60秒間の運動まで運動時間が長くなるにつれて次第に増加するが酸素負債量は約50秒間の運動まで次第に増加し、60秒の運動になると低下する傾向を示した。

(3) 自転車エルゴメーターでは、約50~60秒の全力の運動で最大酸素負債量が得られる。

(4) 無酸素的運動の効率は、5秒の運動(4.7%)から、30秒間の運動(8.9%)まで急速に上昇するが、最大酸素負債量に近い値を示す30秒~50秒間の運動で上昇率が低下し、60秒の運動(10.7%)で再び急速に上昇する傾向がみられた。60秒以上の運動になると次第に有酸素的要素の強い運動になると思われる。

(5) 100mに10秒8、10秒9の記録を持つ短距離選手4名と、特にトレーニングをしていない4名の被検者について、最大パワーを発揮する負荷で10秒間および4kpの一定負荷で50秒間全力で運動させ、パワーの経過と運動中および回復期間中の酸素摂取量を測定した。

(6) 10秒間の運動において、いずれの被検者においても運動を開始して4~6秒で最大パワーに達した。短距離選手は最大パワーに近い値を4秒から7秒まで持続するが、トレーニングをしていない被検者では、5秒以後はパワーが低下し、最大パワーを持続する能力が低い。

(7) 50秒間の運動においても、運動を開始して4~6秒で最も高いパワーを記録した。そして、トレーニングをしていない被検者では、最大パワーに達した6秒以後、約20秒まではパワーの低下が著しく、20秒以後はパワーの低下率はほぼ一定し直線的に低下する。しかし、短距離選手ではパワーも高く、トレーニングをしていない被検者のような運動の初期の著しい、パワーの低下はみられず、パワーの持続能力にすぐれている。

(8) 運動を開始して、約10~15秒まではパワーの値にかなりの個人差が認められるが、50秒の運動終了時点では短距離選手では約35kgm/sec、トレーニングをしていない被検者では25kgm/secの値を示し、それぞれの間でほぼ同じ値を示した。

(9) 10秒間、50秒間のいずれの運動においてもパワーの高い被検者ほど酸素負債量も高い値を示した。

(10) 最大パワー発揮能力の特性をみると、短距離選手は重い負荷の時に最大パワーを発揮し、トレーニングをしていない被検者は軽い負荷の時に最大パワーを発揮している。短距離選手では最大パワーを発揮する負荷に幅があることが認められ

た。

(11) 力一速度曲線およびパワー曲線から、発揮した最大パワーが比較的力の要素によった被検者と比較的スピードの要素によった被検者がいることが認められた。

引用文献

- 1) Dickinson, S.: The efficiency of bicycle-pedalling as affected by speed and load. *J. Physiol.* 67 : 242—255, 1929.
- 2) Hultman, E., J. Bergström and N. McLennan Anderson : Breakdown and resynthesis of phosphorylcreatine and adenosine triphosphate in connection with muscular work in man. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 19 : 56—66, 1967.
- 3) 猪飼道夫 : 血液乳酸からみた無酸素的パワーの研究 昭和44年度日本体育協会スポーツ科学研究所報告。P. 1—12, 1969.
- 4) 猪飼道夫, 芝山秀太郎, 石井喜八 : 疾走能力の分析—短距離走のキネシオロジー—体育学研究, 7(3) : 1—12, 1963.
- 5) Kaneko, M.: The relation between force, velocity and mechanical power in human muscle. *Res. J. Phys. Ed.* 14(3): 143—147, 1970.
- 6) Margaria, R.: Aerobic and anaerobic energy sources in muscular exercise. *Exercise at Altitude. Excerpta Madica Foundation.* 15—32, 1967.
- 7) Margaria, R., P. Aghemo, and E. Rovelli : Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *J. Appl. Physiol.* 21(5): 1662—1664. 1966.

腕屈曲運動にみられるスピードの持続性

大阪体育大学 金子公宥

多くのスポーツや身体運動に於て、ハイスピードを持続する能力は極めて重要である。この点について猪飼(1963)⁴⁾は、エネルギーからみた体力の三次元的展開図において、「スピードの持久性」になる体力の複合要素を示唆した。その背景には、(1)Wilkie(1960)⁵⁾他によって示されたような、スピードとその持続可能時間と(2)疾走スピードを扱った幾多の研究例が示すような、同じシリーズの運動経過に伴うスピード変化の2つがあったように思われる。本研究は後者(2)に属するものであるが、出来るだけ原点から出発することを意図して、極めて単純な運動をとり上げた。すなわち肘関節屈曲運動を対象に、種々の荷重に対応するスピードないしパワー条件を設定し、それらが反復収縮過程でどのように遞減するかという遞減率を手懸りに、スピードの持続特性を探ろうとしたものである。従って、即座にスピード運動に示唆を与える得ないかも知れないが、原理的な観点からの考察には参考になるものと信ずる。

I 研究方法

a) 装置

一定の荷重に抗した肘関節屈曲運動を行なわせるために、先の筆者の報告(1970)^{5), 6)}に於けると同様の重力負荷装置を作成した(図1参照)。すなわち、それは軽金属製(中空)のアームが回転軸を同じくしてギヤー(半径10cm)に直結し、ギヤーには荷重を吊す為のチェーンが巻かれている。この機構で、前腕が屈曲運動を起すと、アームは前腕とほぼ平行状態のまま回転し、同時にギヤーが回転して荷重を牽き上げることになる。また屈曲運動が終了した瞬間にギヤー部のストップバーが作動し、ギヤーの逆回転を防いで荷重を支える仕組になっており、従つ荷重の落下に伴う腕の他動的伸展が被検者に恐怖感を与えるということはない。なお肘関節屈曲運動中、手首部とアームの連結部位置関係は、常にほぼ水平位にあり、従つて荷重はアームに対しては常に垂直方向に作用するが前腕に対しては時々刻々変化する。このよ

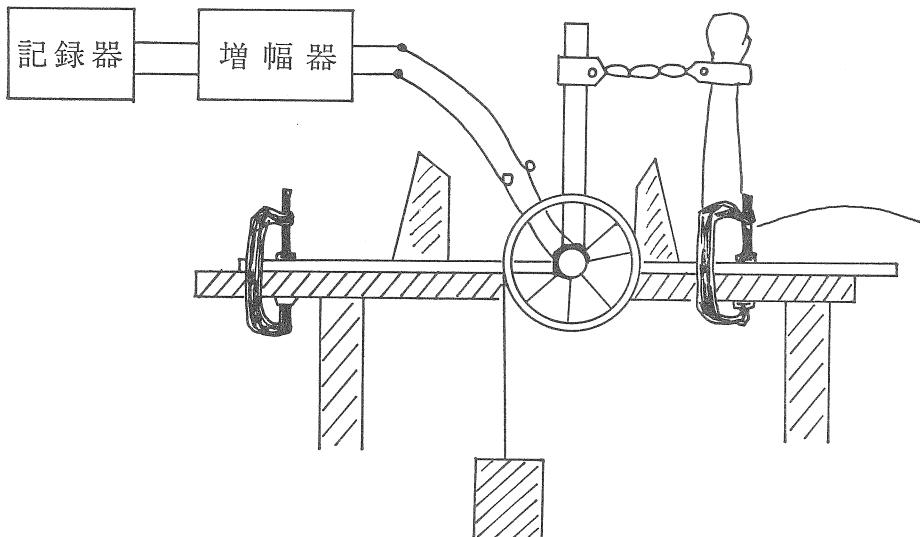


図1 実験装置の模式図：腕を屈曲するとギヤーが回転し、鎖に吊された荷重が上がる。この時のスピードをエレクトロゴニオメーターの記録から算出する。

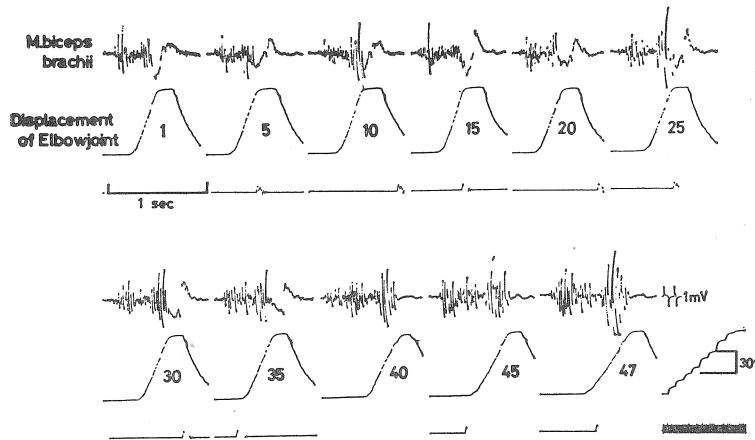


図 2 反復腕屈曲に伴う上腕二頭筋の筋電図と肘関節の角度変位・時間曲線、数字は反復回数

うな機構に於ては (Wilkie, D.R. (1950)⁷) が考慮したと同様に 力の作用方向が肘関節屈筋群の走行にほぼ一致することになり、将来、筋自体の特性を検討するのに好都合である。

スピードを評価する為に、アームの回転軸に直線性の高い可変抵抗を装着し、これをホイーストンブリッジ回路に組み、増幅・記録して角変位一時間 ($w-t$) 曲線を得た (図 2)。

b) 測定手続と評価方法

先ず肘関節を 90° 位置でアームと垂直に硬パネの力量計を連結し、等尺性筋力 (F_0) を測定し、これを 100% とした 10(または 15%), 20, 30, 40, 50, 60% の荷重条件を設定した。被検者は 1.5 秒に 1 回のテンポで最大努力の腕屈曲を反復するの

であるが、1 回毎の腕屈曲後に検者が素速くアームをスタート位置に戻し、被検者には Positive Work のみをさせるようにした。スピードは、角変位曲線 (図 2) の後半部から最大角速度 (ω) を読みとり、これに前腕長 (l) を剩じてスピード ($v = l\omega$) とした。なお、パワー (力 × 速度) は最大角速度時点のスピードがほぼ一定であるところから、力 = 荷重として算出した (金子 1970)⁵。被検者は成人男子 5 名である。

II 結 果

図 3 は被検者 (KK) が各荷重条件で腕屈を反復した際のスピードの変化を示したものである。30% 以上の負荷では疲労困憊に至るまで続けたが 20% 以下では長時間持続する事が予測された為約

表 1 各負荷条件に対するスピード平均遞減率 (K), 初期最大速度, 反復持続回数, 及び等尺性最大筋力 (F_0) を示す

被検者	F_0 (kg)	K ($-\Delta V/\Delta n$)				初期最大速度 (m/sec)				反復持続回数 (n)			
		20%	30%	40%	50%	20%	30%	40%	50%	20%	30%	40%	50%
KK	23.8	0.019	0.024	0.025	0.028	2.62	2.18	1.70	1.31	51+ α	48	48	27
KS	30.0	0.013	0.020	0.018	0.045	2.31	1.93	1.81	1.22	51+ α	38	38	14
SH	22.7	0.009	0.012	0.021	0.018	2.88	1.85	1.56	1.04	51+ α	51	34	18
KO	19.5	0.012	0.018	0.030	0.044	2.62	1.86	1.66	1.14	47+ α	34	21	12
KM	20.9	0.004	0.017	0.020	0.024	2.32	2.19	1.81	1.32	51+ α	36	30	18
Σ	23.4	0.011	0.014	0.023	0.031	2.55	2.00	1.70	1.20	51+ α	41.4	32.4	17

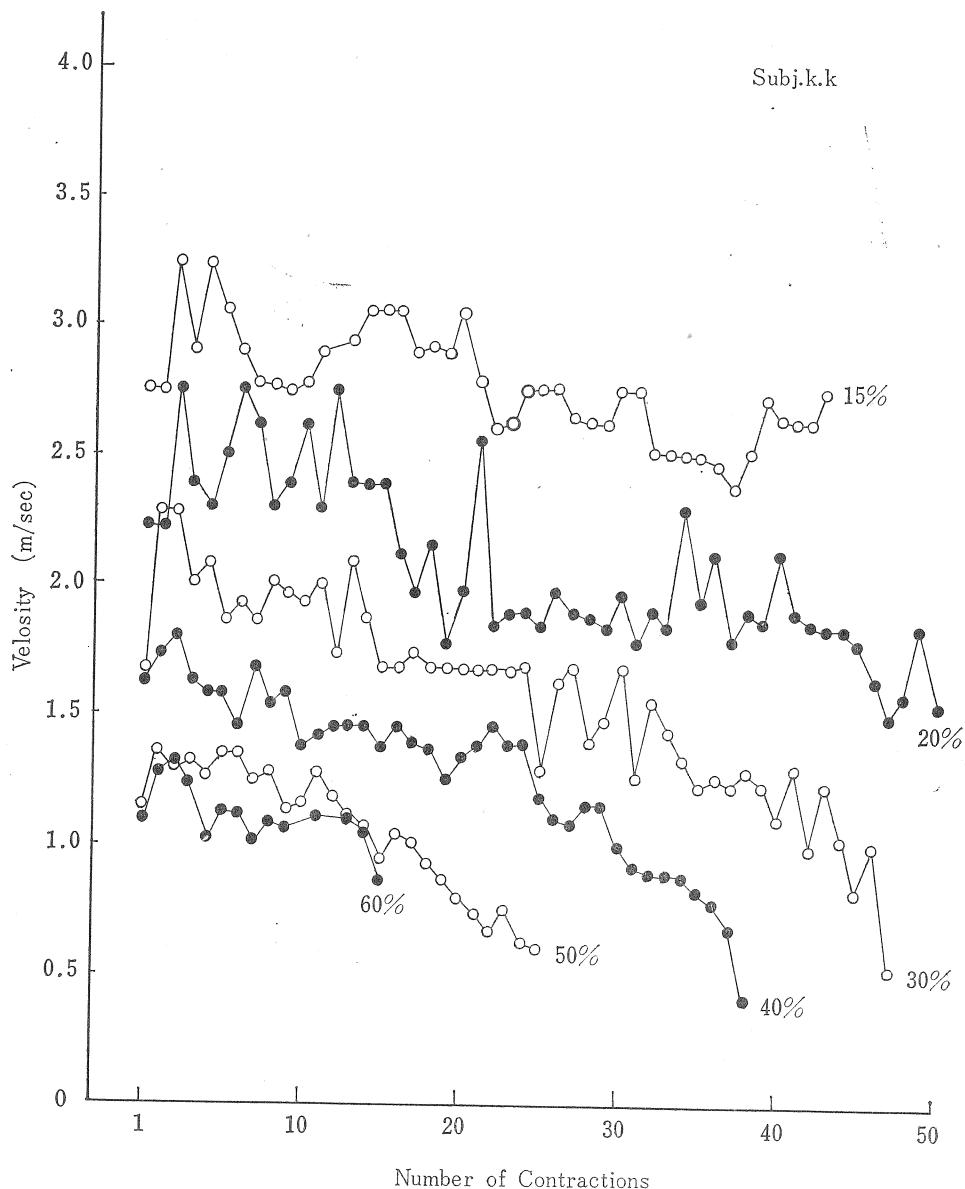


図 3 反復収縮に伴うスピード変化例（%は筋力比で処方した荷重の割合）

50回で中止させた。

スピードの変化に注目すると、各負荷条件ともかなりの変動を伴いつつ、全体的には徐々にスピードが低下する。細かな変動は個人によって様々であるが、全般的には、「持続過程でスピードが低下する」という点に関する限り各被検者に共通している。そこで平均遮減率に着目して各人につきその値を求めた結果が表1である。同表には、

各負荷条件下での各人の平均スピード遮減率(K)及び初期の最大スピードと持続回数が示されている。スピード遮減率は1回の腕屈曲運動毎にどれ程のスピード低下が起るかを示すものであって、単位は $(-ΔV/1\text{回収縮})$ である。負荷条件に対する遮減率も、図4に示した通り、個人によってその傾向を異にし、負荷の増加と共に直線的に遮減率が高くなるものや指数函数的に変化するもの

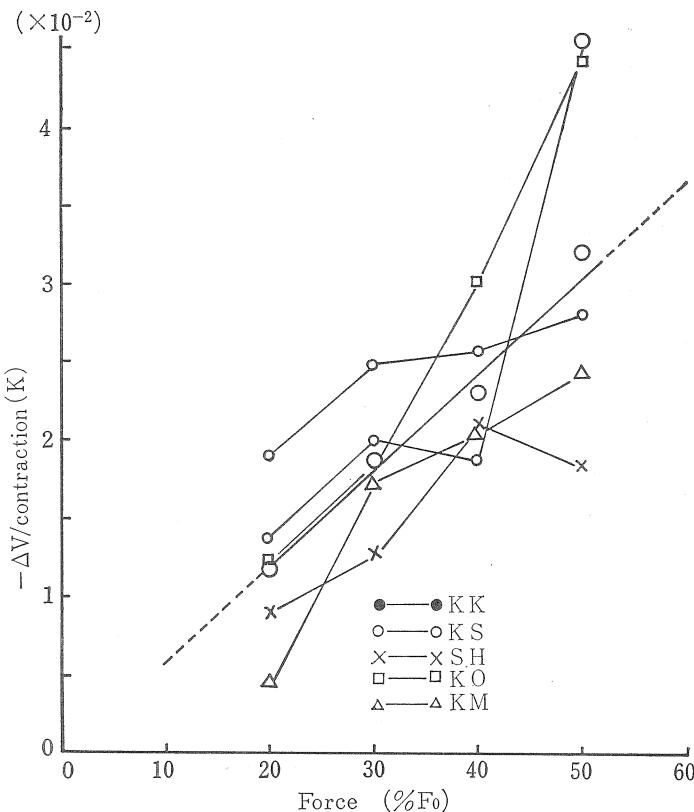


図 4 異った荷重(%)に対するスピードの平均減少率
(5名の値とその平均)

などがあつて一定しない。しかしながら、更にこの中で各人に共通な特徴を探してみると、それは「負荷が増す程、スピード遞減率が高くなる」ということである。そこで全被検者の値を平均した遞減率(○印)とそれに対する回帰直線(図中の太い実線)を求めた。更に反復回数と最大スピード等についても5名の平均値を得て、各負荷条件でのスピード遞減率直線を描いたものが図5である。更に、各負荷での初期速度を100%として表わすと図6となり、負荷の増大に伴うスピード遞減率の増大が明らかになる。

次に図5のように、平均化された持続特性を手懸りに(飽くまでも本研究の実験条件という制約の中ではあるが)作業の能率という観点から1, 2, 3……nという反復回数の過程で、パワーがどのように累積されるかを考えてみた。先に述べたように、本研究におけるパワーは荷重×スピー-

表 2 n回目までのパワー総量による作業能率
(中央欄内の数字は能率的負荷順位)

回数n 時間 sec	~14	15~19	20~27	28~43	44~
	負荷(%F₀)	~21	22~29	30~40	41~65
10	6	5	4	3	2
20	4	3	3	2	1
30	2	2	1	1	不能
40	1	1	2	不能	不能
50	3	4	不能	不能	不能
60	5	不能	不能	不能	不能

ドであるから、スピードの遞減率は絶対値を異にするだけで傾向は変わらない。すなわち、パワーの遞減率 $k = \text{荷重} \times K$ (但し K は $-\Delta V / \ln n$) でありここで荷重は反復収縮中一定ということになる。いま n 回目のパワーを P_n とすると、

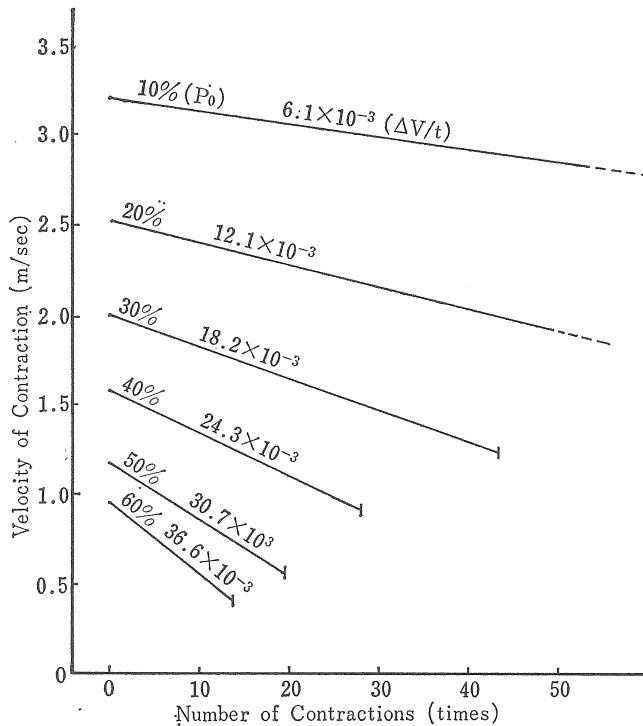


図 5 前図(図4)より求めた5名の平均値に基くスピード遞減直線

$$P_n = P_1 + (n-1)k, \quad (n=1, 2, 3, \dots n) \quad \text{---(1)}$$

但し、遅減率は負で $k = \Delta P / \Delta n$ である。そこで

n 回目までのパワー総量 (P_T) を求めると、

$$P_T = P_1 + (P_1 + k) + (P_1 + 2k) + (P_1 + 3k) + \dots + \{P_1 + (n-1)k\}$$

となり、これは初項 P_1 、公差 k （負）の等差数列である。従って、

$$\begin{aligned} P_T &= \sum_{n=1}^n [P_1 + (n-1)k] \\ &= \frac{n[2P_1 + (n-1)k]}{2} \\ &= nP_1 + \frac{n(n-1)}{2}k \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

となる。これをグラフに表わしたものが図7である。たとえば、14回目($n=14$)までのパワー総量は、40%負荷の場合が最も多く、30%，20%，50%，60%，10%負荷の順になり、それ以上の回数では、先ず60%負荷が持続不能になる。同様に43回以上では20%と10%負荷だけが持続可能で、しかも20%負荷を用いた方が作業能率が高いということになる。この様な結果をまとめたものが表2で

中央欄内の数字は各条件内での作業能率順位を示している。

次に収縮回数を重ねるにつれて、筋肉の特性がどのように変化するかを、力（または荷重）対スピードの関係（force-velocity-relationship）で考えてみる。図7は、全被検者の平均値を求めた結果（図5）に基き、各負荷条件に対する1回目のスピードと30回目（持続不能の負荷については理論的に扱った）のスピードの関係を図示したものである。第1回目の値は Hill の特性方程式

$$(F+a)(v+b) = (Fo+a)b$$

(但し, F は力, V はスピード, F_o は等尺性筋, a , b は定数) よく適合する。しかしながら、30回目の力対スピード関係は著しく直線的傾向に近づき、もはや直角双曲線型の特性式には適合しない。すなわち、適合するには図 7 の右側図に示したような F 対 $\frac{F_o - F}{V}$ 関係が直線になる必要があるが、それが彎曲してしまうのである。この様な F - V 特性の変化の原因は図 7 に於て明らかなように、荷重が大きい場合のスピードの減少

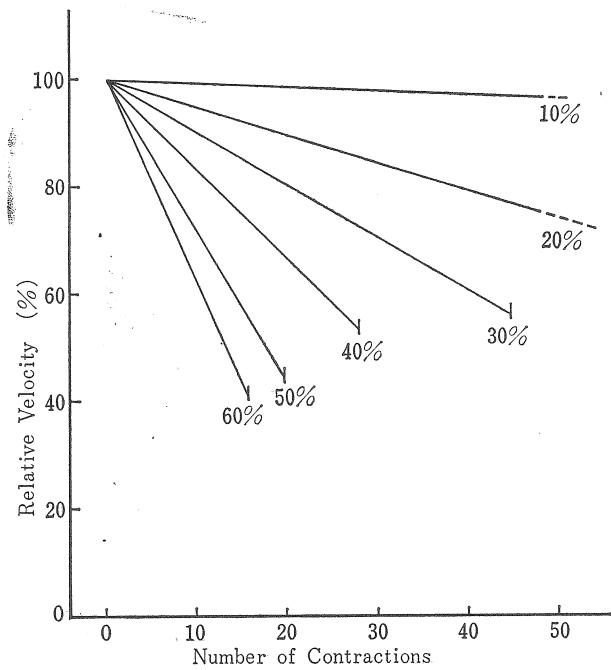


図 6 前図(図 5)の初期速度を 100% とした場合のスピード遅減直線

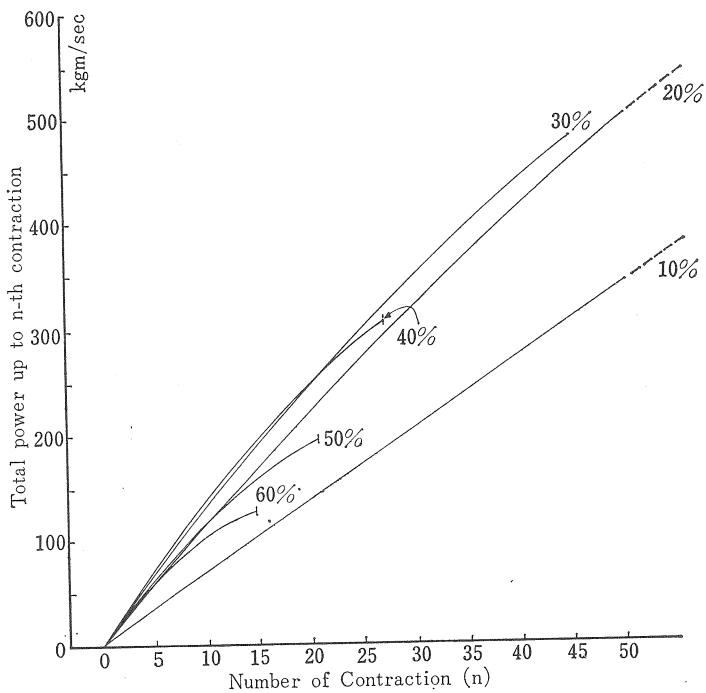


図 7 スピード遅減直線をパワーの遅減直線に変換したのち、それらの n 回目までの総パワーを求めたもの。

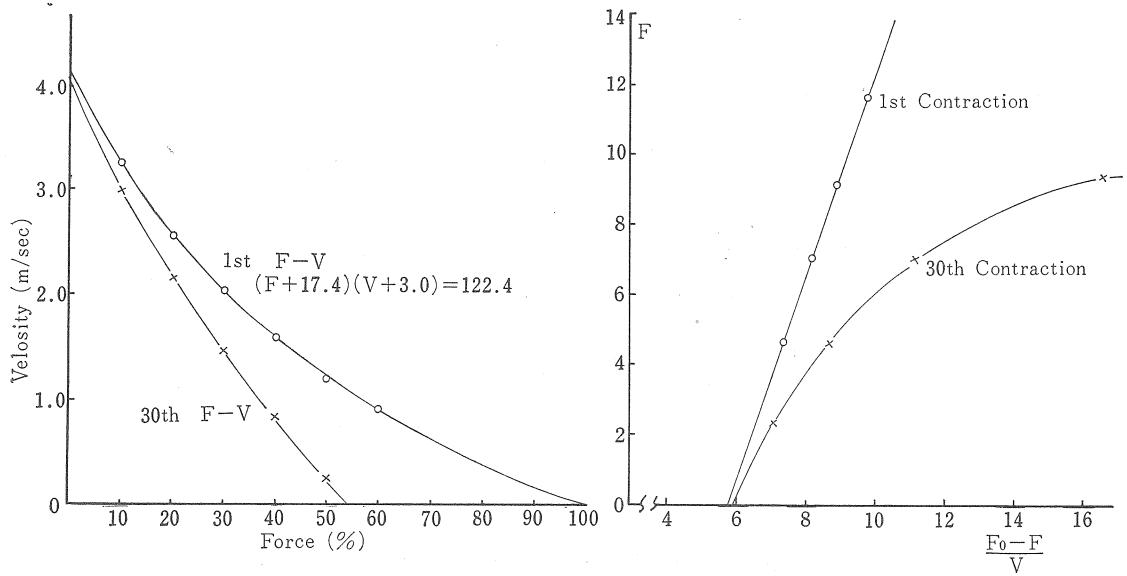


図 8 最高と30回目の測定値について。力対比速度関係を求めたもの。反復収縮に伴う筋の特性変化を示す。(右図は Hill の特性式への適合条件、即ち直線なら適合を示す)。

が荷重の小なる場合より一層著るしい事に因っている。30回目の $F-V$ 関係が Hill の特性に合致しないため、定数 a , b を求め得ないが、その傾向からみて、定数 a , b 共に 1 回目より減少していると言える。

III 論 議

スピードの持久性なる課題については、本研究のような基礎的資料が皆無であるために、第一段階としてスピードの平均遞減率に着目し、各被検者に明らかに共通な特徴のみを抽出した。その結果（当然なことながら）(1)収縮の回を追ってスピードが減少し、(2)荷重が大きい程スピードの遞減率が大きい。そして同じ負荷条件でスピードが減少すれば必然的にパワーの減少が起る。人々がスピードの持続性に关心をもつ理由の一つは、機械的パワーの減少に伴う作業能率の低下にあると考えられる。 n 回目までのパワー総量を算出したのもその為であり、或る限られた時間ないし限られた収縮回数で作業をする場合に、どのような負荷を用いたらよいかという間に對し、図 6, 表 2 は一つの興味ある示唆を与えるものである。最大筋力 (F_0) の 30% と 40% 負荷は、1 回収縮の場合

最大パワーを示す負荷条件である（金子 1970）⁵⁾が、これに持続性という要因を考慮すると、30%の方が 2 倍の作業量を成し得る有利な負荷条件であると言える（図 6 参照）。また 50%, 60% 負荷は、極めて短時間内の作業であれば、10~20% 負荷より有利であるが、余りにも持続可能な回数が少ないのである。持続性を考慮すると 20% 負荷が予想外に有利な負荷条件と言える。

Hill の特性式に照らした力（荷重）対速度関係に於て、30回目に於ける筋の特性変化は、力を要する運動のスピードに著るしい低下がみられる事である。特性式の定数 a は、無負荷条件で筋が収縮するに必要な力を意味し、それが減少したことは筋の機械的効率の低下を示唆するものと解される。また定数 b の減少は、無負荷での筋短縮速度の低下を意味することになり、またそれは、Fenn と Marsh (1935)²⁾, Hill (1938)³⁾, Close (1965)¹⁾ たちの考え方を参考にすれば、エネルギー（または力）の最大発現速度が減少しているということを示唆するものである。従って両定数の減少は反復収縮の結果、筋の効率と短縮限界スピードの減少という筋の質的低下が起ったことを意味する。

IV まとめ

肘関節屈曲運動を対象に、最大筋力 (F_o) に対する異った割合の負荷条件を設定し、40回/分 のテンポで最大努力の反復収縮を課した。その結果 (1)スピードの平均遞減率 ($-ΔV/Δn$) は 6.1×10^{-3} $\sim 36.6 \times 10^{-3}$ m/sec/n の範囲にあり、それは負荷の増大と共に大きくなる。(2)反復収縮 n 回目までのパワー総量を算出した結果、 $n = 14$ までは 40% 負荷が、また $n = 43$ に至れば 30% 負荷がそれぞれ最も大きい。更にそれ以上の回数では 20% 負荷が有利な作業負荷になる。(3)力-速度関係から反復収縮に伴う筋の特性変化をみると、強い力を要する運動スピードの低下が著しく、 $F-V$ 関係は双曲線型から直線型に移行する。すなわち「負荷の大きな条件でのスピードが、著しく鈍る」という性質の筋肉に変化する。

引用文献

- 1) Close, R. : The relation between intrinsic speed of shortening and duration of the active state of muscle. *J. Physiol.* 180 : 542-559, 1965
- 2) Fenn, W.O. and B.C. Marsh : Muscular force at different speeds of shortening. *J. Physiol.* 85 : 277-297, 1935
- 3) Hill, A. V. : The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc. Roy. Soc. B*, 126 : 136-195, 1938
- 4) 猪飼道夫 : 運動生理学入門 (第 5 版) p. 147, 体育の科学社, 1969
- 5) Kaneko, M. : The relation between force, velocity and mechanical power in human muscle. *Res. J. Physical Ed.* 14(3) : 143-147, 1970
- 6) 金子公宥 : 筋収縮の力、スピード、パワー 体育の科学, 20(6) : 368-373, 1970
- 7) Wilkie, D.R. : The relation between force and velocity in human muscle. *J. Physiol.* 110 : 249-280, 1950
- 8) Wilkie, D.R. : Man as a source of mechanical power. *Ergonomics* 3 : 1-8, 1960

陸上競技短距離走におけるスピードと酸素負債との関係

順天堂大学 青木 純一郎
清水 達雄

陸上競技における競走距離を変数として、たとえばそれぞれの世界最高記録をプロットすると、両者の間には指數函数的な関係がみられ、スピードは、距離が長くなるに従って減少する (A. V. Hill 1925)。この現象は走だけではなく、ポート、水泳、スピード・スケートなどスピードを競う種目や馬の trotting, running, pacing においてもみられる (A. E. Kennelly 1906)。

100m 競走だけに限っても、スタートしてから3秒ぐらいで最高速度に達し、以後は徐々に減少する (H. Gertz 1929, 芝山ら 1963)。このように短時間の非常に激しい運動で用いられるエネルギーは、最大酸素摂取量の8倍にもなる (R. M. Sargent 1926)。このため、短距離走者の資質として酸素負債能力の大きさが非常に重要になってくる。吉岡隆徳の 15.489 l (知久ら 1936) という最大酸素負債量はそのあらわれである。ところがこれまで報告してきた最大酸素負債量はいずれ

も各選手の最大容量 capacity を示したものである。そのため必ずしも競技成績 performance と結びつかないものがあった。すなわち、capacity が大きいことは高速で走るための必要条件ではあっても十分条件ではない。そこで、ハイスピードの持続は単位時間当りの高エネルギー出力の持続であると考え、3秒から60秒間の全力疾走における酸素負債をパワーの概念で検討した。

I 実験方法

1) 被験者

順天堂大学体育学部陸上競技部の短距離選手で100mを10秒台または200mを21秒台で走る能力を持つ8名を被験者とした。彼等の身体特性および競技記録を Table 1. に示した。

2) 疾走距離

測定の対象となった疾走距離は、20, 30, 50,

Table 1. Physical characteristics and performance of subjects.

Subject	Birthday	Stature cm	Weight kg	Best performance		
				100 m	200 m	400 m
Susumu	Simizu	2 6 Nov '50	171.0	66.3	10"6	21"5
Tetsumi	Shintai	2 2 Jan '52	173.0	69.0	10"6	21"9
Kazuo	Shinma	5 Feb '52	170.0	59.6	10"6	21"6
Ryoichi	Setoguchi	5 Feb '52	170.0	66.6	10"8	22"1
Shinichi	Kamiyama	2 Jun '50	174.0	69.0	11"0	21"7
Fumio	Miura	1 6 Mar '51	173.0	64.5	11"0	22"4
Norio	Shimazu	1 8 Mar '52	175.1	70.0	10"9	—
Masahiro	Sudo	1 7 Jan '53	173.9	72.0	10"9	22"4
						56"0

On 14 Nov '71

80, 100, 200, 300および400mで、各被験者は無作為に1日1種目に限ってこれら8種目すべてを全力疾走した。

3) 実験手順

安静時、運動中および回復過程の呼気の採集はすべて Douglas bag 法によった。ただし、ゴール時のコックの切換え操作は、無線技術によった（清水ら 1969）。

ゴール後はできるだけ早く pull up するように指示し (K. Furusawa et al. 1927), 20~80mまでの場合は30分間, 100~200mは40分間, 300mは45分間および400mは50分間それぞれ椅子座位で採氣した。

運動時の呼気はすべて1つの bag に集め、ゴール後ははじめ1分間、ついで4分間をそれぞれ1つの bag に集め、以後測定終了まで5分間ずつ採氣した。

bag に採集した呼気は湿式実験用ガスマーテー（品川製作所製10l/回）で計量し、その一部を労研式大型呼気ガス分析器（柴田製作所製）で分析した。

疾走スピードは、スタート合図用ピストルと光電管を電子ストップウォッチ（小松測器製）に接続し、1 msec の単位で計測した。なお、本装置を前述の無線操作コックとも連動させた。

本実験は、昭和46年11月15日から12月5日にかけて、順天堂大学体育学部陸上競技場で行なわれ、測定時の気温は $15.5 \pm 2.6^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度は $51.1 \pm 11.0\%$ であった。

II 実験結果

1) 疾走距離と平均スピード

各疾走の平均スピード（疾走距離÷所要時間）は、20mから100mまでは距離が長くなるに従って 5.94, 6.79, 7.64, 8.39, 8.46m/sec の順に増加した (Fig. 1.)。一方、200, 300および400mでは、それぞれ 8.24, 7.74 および 7.21m/sec であった。

個人的に見た最高平均スピード出現距離は、競技能力の最もすぐれた S. Shimizu が 80m (9.46 m/sec), 100m 11秒台の S. Kamiyama と F. Miura がともに 200m (8.45, 8.40m/sec) で、残り5名はいずれも 100m (8.33~8.54m/sec) であった。

2) 疾走距離と酸素摂取量

石河ら (1968) によれば、100m 疾走中に40~50回/分 ぐらいの呼吸がなされているという。しかしながら、少なくとも20, 30および50m疾走の場合には、特に疾走中に呼吸がなされているかどうかには疑問の余地がある。それゆえ、bag に採

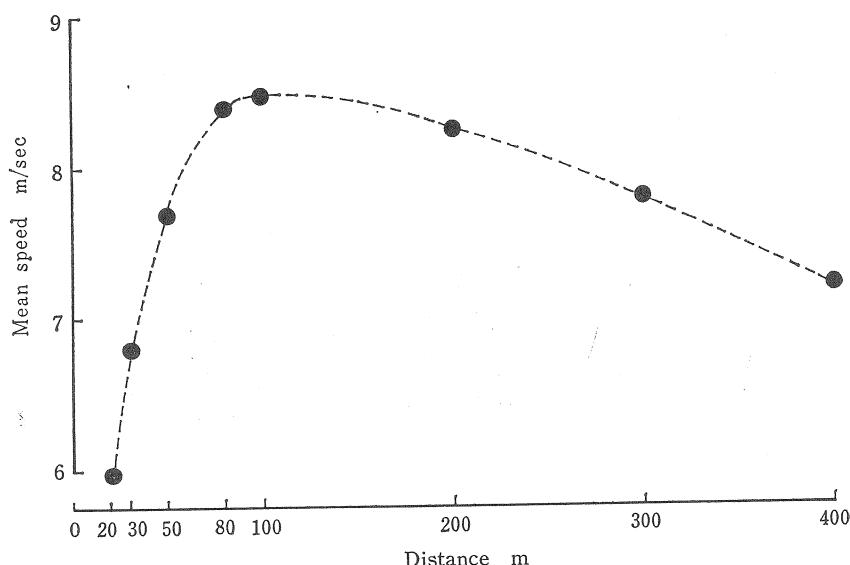


Fig. 1. Relationship between the distance dashed and the mean speed.

Table 2. Oxygen intake during sprinting.

	Distance (m)							
	20	30	50	80	100	200	300	400
	Absolute value (ml)							
$\bar{x} \pm SD$	62 ± 46	92 ± 37	115 ± 51	315 ± 51	403 ± 55	1065 ± 56	2063 ± 222	2878 ± 489
	Relative value (ml/min)							
$\bar{x} \pm SD$	1107 ± 823	1237 ± 525	1061 ± 468	1960 ± 459	2048 ± 298	2616 ± 98	3191 ± 341	3098 ± 451

Table 3. Oxygen debt in each sprint.

a) Oxygen debt — absolute value (ml)

subject \ distance	20m	30m	50m	80m	100m	200m	300m	400m
S. S.	2 7 5 4	4 0 2 8	2 9 2 1	5 4 7 8	7 5 4 1	8 4 9 3	9 1 4 6	1 1 4 8 3
F. M.	3 5 6 3	2 3 8 7	3 9 4 5	—	7 5 2 1	6 9 2 9	7 6 2 1	1 0 3 6 1
S. K.	2 9 6 1	4 1 8 9	—	—	6 9 3 1	8 4 0 9	1 0 1 0 1	8 5 4 2
M. S.	3 5 1 4	5 3 5 0	5 1 1 1	5 2 7 1	6 2 5 0	8 5 3 5	1 2 0 2 8	1 2 7 4 7
R. S.	1 5 9 0	2 4 5 5	3 5 9 6	6 5 6 0	6 5 1 8	9 6 1 5	6 4 0 4	8 7 4 7
K. S.	1 2 0 8	3 6 4 7	3 7 7 8	3 5 9 5	5 3 3 5	8 2 5 3	6 1 2 4	8 1 8 6
T. S.	3 3 5 6	3 7 8 6	5 5 4 9	5 9 0 0	6 8 6 7	9 1 3 2	9 7 3 8	9 2 7 6
N. S.	3 9 9 2	4 7 7 0	4 7 3 9	4 9 7 9	8 6 5 4	8 3 7 4	9 5 9 5	1 0 7 9 7
\bar{x}	2 8 6 7	3 8 2 7	4 2 3 4	5 2 9 7	6 9 5 2	8 4 6 8	8 8 4 5	1 0 0 1 7
SD	9 2 3	9 6 0	8 6 0	9 1 2	9 2 7	7 2 4	1 8 7 2	1 5 0 1

b) Oxygen debt — relative value (ml/sec)

subject \ distance	20m	30m	50m	80m	100m	200m	300m	400m
S. S.	8 3 7	9 4 3	4 6 0	6 4 8	6 8 2	3 6 0	2 5 0	2 2 5
F. M.	1 0 2 7	5 2 8	5 8 1	—	6 2 4	2 9 1	1 9 2	1 8 6
S. K.	8 8 4	9 3 5	—	—	5 7 7	3 5 5	2 6 4	1 5 8
M. S.	1 0 4 6	1 2 3 3	7 9 5	5 4 3	5 2 0	3 4 8	3 1 0	2 2 6
R. S.	4 4 7	5 5 8	5 6 1	6 7 1	5 4 3	3 9 7	1 5 9	1 5 9
K. S.	3 6 2	8 0 5	5 6 2	3 5 4	4 5 2	3 2 1	1 5 5	1 4 4
T. S.	1 0 2 9	8 5 9	8 5 0	6 1 0	5 8 6	3 7 4	2 5 4	1 6 4
N. S.	1 1 9 9	1 0 8 2	7 1 5	5 1 5	7 2 3	3 4 4	2 4 6	1 8 3
\bar{x}	8 5 4	8 6 8	6 4 6	5 5 7	5 8 8	3 4 9	2 2 9	1 8 4
SD	2 8 0	2 2 5	1 3 2	1 0 6	8 2	3 0	5 1	2 9

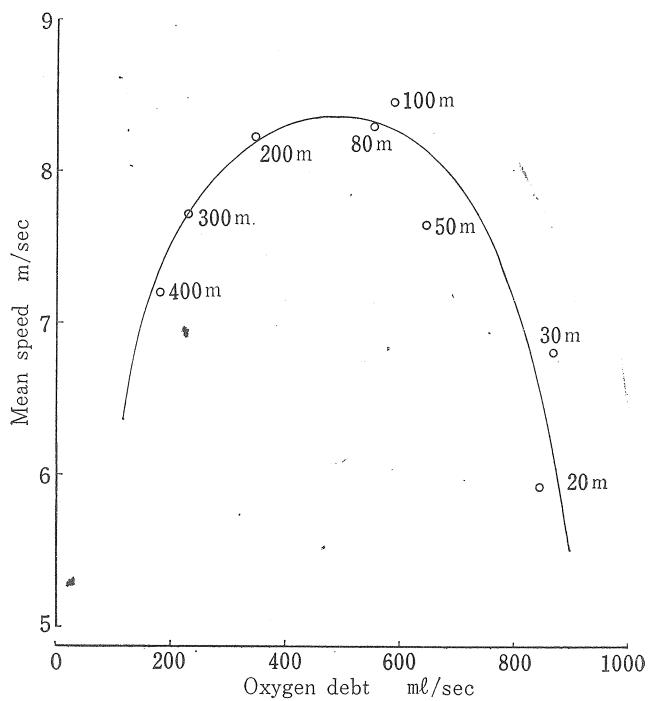


Fig. 2. Relationship between oxygen debt and mean speed.

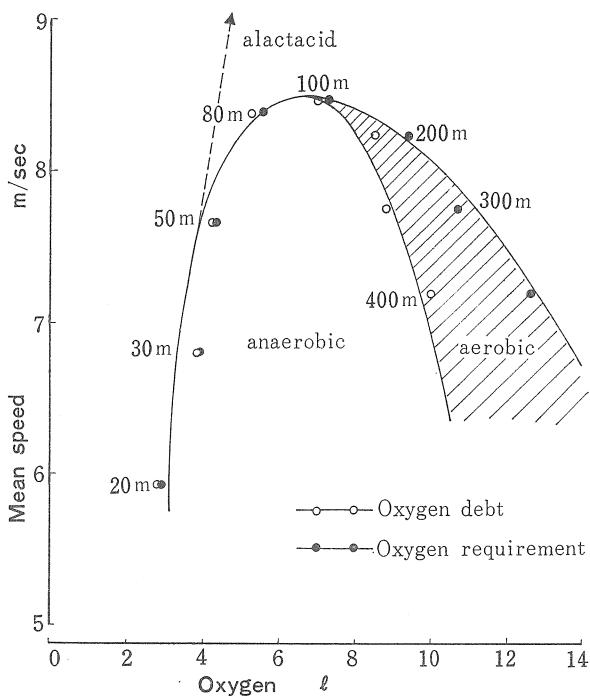


Fig. 3. Mean speed in function of oxygen debt and requirement.

集された呼気はいわゆる “呼吸” の呼気ではなく、 “呼” だけの呼気であるかもしれない。しかし本実験においては、1つの bag に各疾走ごとに集められた呼気を所定の手続で分析・計算することによって求められた消費酸素量を疾走時の酸素摂取量とした (Table 2.)。

各疾走時の酸素摂取量の絶対量は当然のことながら、距離が長くなるに従って増加した。しかし毎分当たりに換算して相対値として見ると、(1)50m 以下、(2)80m と 100m、(3)200m および (4)300m と 400m がそれぞれ他と異なる酸素摂取量を示した。

3) 疾走距離と酸素負債

全被験者の各疾走における酸素負債を絶対量および相対量で Table 3. に示した。すなわち、酸素負債の絶対量は疾走距離が長くなるにつれて、ほぼ指数函数的に増加するのが見られた。しかし絶対量を疾走時間で除した単位時間当たりの相対量は、全く逆のパターンを示して減少した。それゆえ、毎秒当たりの酸素負債量を変数として、平均スピードをみると、80, 100あるいは200mをほぼ頂点として放物線的な関係が見られた (Fig. 2.)。

III 考察

20mから 400m までをそれぞれ全力疾走したときの各平均速度は、100m までは距離の増加に伴ない早くなるが、100m 以後はしだいに低下する (Fig. 1.)。酸素負債量は距離に対して指数函数的に増加するが、毎秒当たりで表わすと、20m走のときを最高として、平均速度に対して放物線的な関係をもって変化する (Fig. 2.)。したがって、最大酸素負債量という capacity は、スピードに対して必要十分条件とはなっていない。

酸素負債量 (x^l) を変数として、平均スピード (ym/sec) をみると (Fig. 3.), 両者の間にはほぼ放物線的関係、すなわち、 $y = -a(x-p)^2 + q$ が成立つ。 a を比例定数として、酸素負債量 p^l のとき、最高平均スピード qm/sec が得られる。Fig. 3. からこの p は最大酸素負債量ではないことが理解される。

Fig. 3. には、酸素負債量のほかに、酸素摂取

量も示してある。100m までは酸素需要量において占める酸素負債の割合 (anaerobic) が極めて大きいのに対して、それ以後ではスピードの低下とともに次第に酸素摂取量の占める割合 (aerobic) が大きくなってくる。したがって、 $0 < x < p$ の範囲でのハイスピードは、生体のエネルギー発生過程 (R. Margaria 1968) からみると、筋肉中の高エネルギーりん酸化合物の分解 (ATP-CP 系) に非常に依存性が高いものと考えられる。また $x > p$ でのスピードは、糖の無気的分解による乳酸発生過程 (乳酸系) に依存し、距離が長くなるにつれて運動中摂取した酸素による呼吸鎖の働き (酸素系) に規定されるようになる。

ATP-CP 系は、他の 2 つの系に比べてはるかに大きいパワー (13 cal/kg/sec) を持つが、capacity が少ない (100 cal/kg) ので、きわめて短時間に枯渇してしまう (R. Margaria 1968)。80~100m の平均スピードが 20m から 50m を直線的に結んだ延長上にないのは、このためであろう。さらに詳細なディスカッションのためには、少なくとも乳酸の測定が必要であろう。しかし、ATP-CP 系の測定として、開発された段階からアガリ法から得た無気的パワー (R. Margaria 1966) は、400m あるいは 200m の競技記録より 100m の performance との間に高い相関関係が見られている (未発表)。

結局、60秒以内の全力疾走におけるハイスピードの持続能力を向上させるためには、少なくとも筋における高エネルギーりん酸化合物の分解によるエネルギー発生反応機構の改善が必要であると思われる。

なお、前述の $y = -a(x-p)^2 + q$ は、

$$y = -a\left(x - \frac{b}{2a}\right)^2 + \frac{b^2 + 4ac}{4a}$$

と同値である。 a , b および c は、ATP-CP 系、乳酸系、酸素系の capacity や power などによって規定される定数であろう。これらの定数が明らかにされることによって、 p の制限因子や競技成績におよぼす q の意義が明らかとなり、その結果がハイスピードの持続能力の解明の手掛かりとなり、さらにそれを高める方策が創り出される糸口となるのではないかと考えられる。

IV 要 約

60秒以内の全力疾走におけるスピードと酸素負債量との関係を明らかにするために、順天堂大学体育学部陸上競技部員の中から、100m11秒1未満の記録を持つ8名を対象として、20, 30, 50, 80, 100, 200, 300および400mをそれぞれ全力疾走中の酸素摂取量および回復過程における酸素負債量を測定した。

(1) 各疾走の平均スピードと毎秒当りの酸素負債量との間には、放物線的関係があり、酸素負債量 500ml/sec で、最高速度 8.4m/sec が得られた。

(2) 平均スピードと酸素負債量との間にも、放物線的関係があり、最大酸素負債量はスピード決定の必要十分条件とはならなかった。

(3) 以上の結果から、平均スピード $y(m/sec)$ と酸素負債量 $x(l)$ の間には $y = -ax^2 + bx + c$ の関係がなりたち、 a , b , c を生理的パラメーターで置換することによってハイスピードの持続能力が解明されることが示唆された。

引 用 文 献

- 1) 知久源次郎、佐々木進、松山竜一(1936)：本邦一流短中距離 runner の極大酸素負債量=就テ。日本生理誌 1, 189—196.
- 2) Furusawa, K., A. V. Hill and J. L. Parkinson (1927) : The energy used in "sprint" running. Proc. Roy. Soc. B102, 43—50.
- 3) Gertz, H. (1929) : The working power in the 100 metres' race. Skand. Arch. f. physiol. 55, 131—143.
- 4) Hill, A.V. (1925) : The physiological basis of athletic records. Science Monthly 21, 409—428.
- 5) 石河利寛、池田紀子、中川旭子、伊藤幸子(1968)：定運動中の呼吸数の変化。日本生理誌 30, 608.
- 6) Kennelly, A.E. (1906) : An approximate law of fatigue in the speeds of racing animals. Proc. Am. Acad. Arts & Sciences 42, 275—331.
- 7) Margaria, R. (1966) : Measurement of muscular power (anaerobic) in man. J. Appl. Physiol. 21, 1662—1664.
- 8) Margaria, R. (1968) : Capacity and power of the energy processes in muscle activity : Their practical relevance in athletics. Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 25, 352—360.
- 9) Sargent, R.M. (1926) : The relation between oxygen requirement and speed in running. Proc. Roy. Soc. B100, 10—22.
- 10) 斎山秀太郎、猪飼道夫、森下はるみ(1963)：光導電セル回路による疾走速度の分析。体育学研究 8, p. 326.
- 11) 清水達雄、帖佐寛章、栗本閑夫、青木純一郎、前嶋孝、吉儀宏、沢木啓祐(1969)：ダグラス・バッグ法における呼気採取のための三方コック操作の無線化。順天堂大保健体育紀要 第12号, 79—81.

ハイスピードの持続能力が高まるペースと フォームに関する実験的研究

東京教育大学スポーツ研究所 金原 勇・高松 薫
辻土名 博司・阿江通良

I 緒言

1. ハイスピードの持続能力とは

ここでハイスピードの運動というのは、大きなスピードが要求され、約60秒間で著しく疲労した状態に追い込まれるような運動をいう。

陸上競技・水泳競技・自転車競技・スケート競技などの中の、ハイスピードを競う種目では、それぞれの種目に要求される動きの中で大きなスピードを出すことができるのみでなく、ハイスピードの持続能力にすぐれていなければすぐれた成績をあげることはできない。このようなハイスピードの持続能力にすぐれていることは、バスケットボール・サッカーなどの集団スポーツ、ボクシングなどの対人スポーツなどにおいてよい成績をあげるのにも重要な要因の一つとなる。

2. ハイスピードの持続能力の構成要因

ハイスピードの持続能力が重要なスポーツにおいてすぐれた成績をあげるには、この能力の素質にすぐれていること、この能力をトレーニングによって効果的に高めることなどが要求される。この能力の素質の優劣を調べたり、この能力をトレーニングによって合理的に開発していく方法を明らかにするには、まずハイスピードの持続能力を構成要素に分析してとらえておくことが必要である。

たえずなんらかの抵抗が働く場でハイスピードを持続するには、要求される力の大きさに着目して、比喩的にとらえて、トップギアあるいはセカンドギアのパワーが必要であると言えよう。このような運動におけるハイスピードの持続能力は、大きく分けて、およそ次の3つの要因によって構成されていると考えられる(表1)。

第1の要因には、それぞれの運動に使い得るエネルギーを出す基礎的能力があげられる。

表1 ハイスピードの持続能力の構成要因

要因	要因を支える諸要素
1. 競技距離あるいは競技時間にエネルギーを出す基礎的能力	(1) 一時的・集中的(きわめて短い時間内に)にエネルギーを出す能力 (2) 競技距離あるいは競技時間内にエネルギーを出す能力
2. 出し得たエネルギーを効果的に使ったり、使い得るエネルギーを効果的に出ししたりする能力	(1) フォーム (2) ペース
3. 出し得たエネルギーを効果的に使えるからだ	(1) 脚、腕が長く、しかも末長になっていること (2) 筋の骨への付着部位がスピードを出すのに有利であること (3) 筋の内部抵抗が少ないと (4) めざす運動に向くバランスで筋が必要なだけ発達していること

ハイスピードにすぐれるには、ハイスピードの要求される運動において一時的・集中的に、きわめて短い時間、たとえば1~3秒単位にとらえて、単位時間あたりのエネルギーを出す基礎的能力にすぐれていることが要求される。また、その持続能力にすぐれるには、さらに、その競技距離あるいは競技時間内に出し得るエネルギーの総量の多いことが要求される。

第2の要因には、出し得たエネルギーを効果的に使ったり、使い得るエネルギーを効果的に出ししたりする能力があげられる。

ハイスピードの持続能力が高まるようなペースとは、出し得たエネルギーを効果的に配分して使えるのみでなく、使い得るエネルギーを効果的に出し得るようなものであることが要求される。合理的なペースは、両者のバランスにいかかっている

と考えられる。

合理的なフォームはエネルギーが効果的に使えるのみでなく、エネルギーを効果的に出せるようなものであることが要求される。合理的なペースは、スピードの合理的な変化の流れであるが、動きについて見ると、フォームの合理的変化の流れであるとも言えよう。このように吟味してみると、ハイスピードを出すためのるべきフォームを知ることが重要であるが、ハイスピードを持続するという観点からも、るべきフォームを探る必要のあることがわかる。

第3の要因には、エネルギーが効果的に使えるからだの特性があげられる。

すぐれたスプリンターやジャンパーは、一般に、脚が長く、とくに上腿に比べて下腿が長い¹⁾。筋が骨に付着している位置がハイスピードが出る動きをするのに有利であること、各種目に向くバランスで、必要なだけ発達した質のよい筋を身につけていること、なども重要な要因の一つになってくると考えられる。

このように考えてみると、この能力の素質にすぐれた競技者を発見するには、表1の1と3—(1)・(2)・(3)の要因に着目して診断することが役立つであろう。また、この能力をトレーニングによって効果的に高めていくには、表1の1と2、3—(3)・(4)の要因に着目して、それぞれのより合理的なトレーニング法を開発していく必要がある。

3. ペースとフォーム

ハイスピードの持続能力が高まるペースについての研究は、これまでおもに各競技種目のレースに用いられてきたスピード配分と記録との関係から研究され¹⁰⁾、実験的研究は少ない²⁾。

ハイスピードのできるフォームについては、これまで各種目にわたって多くの研究が行なわれてきている。しかし、ハイスピードの持続能力の高まるようなフォームに関しては、フォームの種目差に関連する研究の中で取り扱われているにすぎない³⁾⁴⁾。

(1) ペースについて

わずか約10秒間で終る陸上競技の100mレースにおいてもペースの重要であることが、古くから

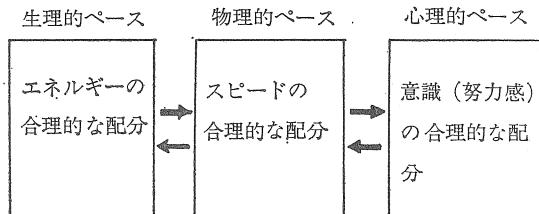


図1 ペースのとらえ方

表2 ねらいからとらえたペースの種類

1. 最高あるいは最高に近い成績が確実に出せるペース
2. 失敗の危険が多いが最高の成績が出せる可能性のあるペース
3. あるレベルの記録が確実に出せるペース
4. 勝つためのペース

世界の名コーチたちによって指摘され⁵⁾、しかもそのための特別のトレーニング手段さえ示唆されている。すでに、1952年に Henry は、スタートから文字どおり全力を傾けて疾走するとき、全速疾走スピードは最高度に鍛練された400m走者の場合でも、ほんの約3秒間しかつかないことを報告している⁶⁾⁷⁾。このような傾向を知ることのできる研究は、わが国においても短距離疾走についてはいくつか行なわれている⁸⁾。金原らは、実験運動として座位でのステッピングや自転車のペダリングを用い、最大の成績、あるいは最大の成績と見られるものは、ほんの約3～5秒間しかつかないことを報告している⁹⁾。

上述した諸資料は、わずか約10秒間のハイスピードの運動においても、ペースを考える必要のあることを示唆していると言えよう。

ペースと言えば、一般に、物理的にとらえた実際のスピードの変化の流れを指している。しかし、ペースは、一般に、使い得るエネルギーの合理的な配分としてとらえるべきであるから、合理的ペースを明らかにするにはエネルギーに着目してとらえる必要がある。たとえば、短距離レースのスタートダッシュの区間では、スピードは遅いが、使われるエネルギーが少ないわけではない。

このように考えてみると、ペースとは、エネルギー配分が合理的になるようにスピード配分をす

ることにあると言えよう。しかも、このような合理的なスピード配分も、これを競技者の意識の変化（いわゆるコツ）として身につけたときに、はじめて現実のものとなる¹⁰⁾。この研究では、ハイスピードの持続能力が高まるペースを、図1に示すように、三つのとらえ方と関連づけて実験的に究明していくこととする。

よい成績をあげると言っても、ねらいに着目すると表2に示すように、およそ4種類のペースが考えられる。われわれの研究では、最高あるいは最高に近い記録が確実に出せるペースを明らかにすることを中心課題としながらも、他の3種のペースに応じた知見を引き出すことをも研究のねらいとしていくこととする。

(2) フォームについて

先にも述べたように、最大スピードはほんの数秒しかつかないとすると、実際の競技の中でハイスピードの持続能力を発揮するには、技術的に見て、出し得るスピードはいくらか小さいが、エネルギー消費の経済的な動きをすることが必要になってくる。したがって、たとえば最大スピードのできる全速疾走フォームと最大スピードをわずかに下まわる、上述した要求にそぐ持久疾走フォームについても、どこがどのように違うのが合理的か、疲労している状態と疲労していない状態では、同じスピードを出すのにもそれぞれの合理的動きに違いがあるなどと究明しなければならない。

この研究では、全速疾走時のフォームと持久疾走時のフォームの違いを明らかにし、ハイスピードの持続能力が高まる動きを探ろうとしている。

II 実験

実験1 実験運動および実験ペースの特性の分析

(1) 実験運動としての座位でのステッピングおよびペダリングの特性について

ア 実験運動

両者とも、はじめから終りまで全力を傾けて50秒間行なわせた。自転車のペダリングにはモナーク社製の自転車エルゴメーターを用い、3kpの負荷をかけた。

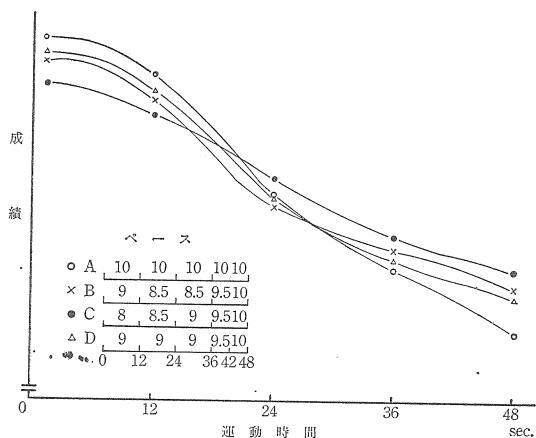


図2 ペースの心理的条件（心理的ペース）に期待されるスピードの変化（物理的ペース）一模型図

それぞれの実験運動を2回ずつ、日を変えて実施した。

イ 被験者

男子400m走者（最高記録48秒8）1名を用いた（表3・No. 15）。

ウ 測定項目

実験運動の成績は、ペダリングでは車輪の回転数を、ステッピングでは両脚を踏みかえる回数を、それぞれ運動開始後1秒毎の変化としてとらえた。同時に運動中の酸素摂取量と実験運動によって生じた酸素負債量を測定した。酸素負債量は運動終了後の40分間をいくつかに分け、それぞれの局面における酸素摂取量を測定して得た資料をもとに算出した。ガスの分析には、労研式ガス分析器とフクダイリカ製レスピライザーを用いた。なお、運動中・運動後の心拍数の変化を測定した。

(2) 実験ペースの特性の分析

ア 実験運動

実験運動として3kpの負荷による、48秒間の自転車のペダリングを用いた。

図2の中に表示する心理的条件の違う4種（A・B・C・D）のペースを用いた。ペースは全体を大きく四つの局面に分け、数字は、それぞれの局面における努力感の程度を示す。このような努力感の変化は、物理的スピードの変化が、模型的

には、それぞれ図2に示すようになるように考慮した。努力感を下げる場合でも、心理的にはスピード感・リズム感などは下げないように、また努力感の切換えをスムーズに行なうように注意させた。これらのペースについて、実験に先立って十分に練習させた。

実験試技は、1日1回ずつにとどめ、いずれの場合も調子を十分に整えてから実施した。

イ 被験者

男子400m走者（最高記録50秒2）1名を用いた（表3・No. 16）。

ウ 測定項目

実験運動の成績、運動中の酸素摂取量、酸素負債量、心拍数などの測定法は前項の場合と同じである。このほか、酸素摂取率を測定した。

これらの実験は、1972年1月から3月にわたって行なった。

実験2 12秒間の運動、24秒間の運動、48秒間の運動におけるペースと成績

(1) 12秒間の運動の場合

ア 実験運動

実験運動には座位でのステッピング、3kpの負荷による自転車のペダリングの2種の運動を用いた。

図8・9・10の中に表示する3種（A・B・C）の実験ペースを用いた。ステッピングの場合には1日に各ペースについてそれぞれ3回、全体で3日間を使って各ペースとも9回ずつ実施した。ペダリングの場合には、3種のペースについて、1日にそれぞれ1回ずつ、6日間をかけて各ペースそれぞれ6回ずつ実施した。

試技順序が成績に影響しないように、順序を組み変えた。

イ 被験者

中程度に鍛錬されている20～30歳台の男子を、ステッピングでは4名、ペダリングでは3名用いた。

(2) 24秒間の運動の場合

ア 実験運動

3kpの負荷による自転車のペダリングを用い

た。

表3 実験3における被験者の特性

No.	氏名	記録	身長(cm)	体重(kg)
1	鎌倉光男*	110mH— 14.4	177	70
2	新常哲美	100m — 10.6 200m — 21.9	173	68
3	三浦文雄	100m — 11.0 200m — 22.4	173	66
4	瀬戸口良一	100m — 10.8 200m — 22.1	170	66
5	神山心一	100m — 11.0 200m — 21.7	174	67
6	高橋 悟	100m — 10.8 200m — 21.8	176	73
7	山田恵子*	100m — 12.0 200m — 24.8 400m — 57.8	158	53
8	重野英子*	100m — 12.1 200m — 25.2	158	48
9	飯岡美雪*	100m — 12.5 200m — 25.6	166	59
10	友永義治*	100m — 10.6 200m — 20.7 400m — 46.8	179	71.5
11	生田正範*	400m — 48.8	179	69
12	水野利夫*	400m — 47.7	171	65
13	島田 清*	100m — 10.7 200m — 21.6 400m — 48.0	170	68.5
14	清水 進*	100m — 10.7 200m — 21.5 400m — 47.7	171	67.5
15	伊藤 宏	100m — 10.8 200m — 21.9 400m — 48.8	174	64
16	奥沢康雄	100m — 10.9 200m — 22.3 400m — 50.2	174	64
17	河野信子*	400m — 55.6 800m — 2.09.6 1,500m — 4.45.3	158	46
18	渡辺暁美*	200m — 25.4 400m — 57.0	166	60

- 備考 1. * はミュンヘンオリンピック強化選手
 2. No. 1～9 の被験者は持久疾走に 200m 疾走を、No. 10～18 の被験者は 400m 疾走を用いた。
 3. No. 15, 16 の被験者は実験1の被験者として用いた。

図11・12の表に示すA・B・C・Dの4種の実験ペースを用いた。AB, BC, CD, DA, の組合せで、1日に2試技、4日間にわたって実施した。なお、被験者には、実験に移る前に、予め実験ペースの感覚をつかむための練習をさせておいた。

イ 被験者

大学段階における男子陸上競技者（短距離走者と跳躍競技者）8名を用いた。

(3) 48秒間の運動の場合

ア 実験運動

3 kp の負荷による自転車のペダリングを用いた。

図5・13・14・15中の表に示す4種（A・B・C・D）の実験ペースを用いた。1日に1ペース、8日間にわたって各ペースとも2回実施した。

被験者には、からだのコンディションをある程度整えて実験に臨ませた。なお、実験に移る前に、予め実験ペースの感覚をつかむための練習をさせた。

イ 被験者

大学段階における、男子短距離走者3名を用いた。

12秒、24秒、48秒の運動の成績は、いずれも車輪の回転数を運動開始後1秒毎の変化としてとらえた。

これらの実験は、1971年7月から1972年2月にわたって行なった。

実験3 全速疾走フォームと持久疾走フォームの分析

ア 実験運動

① 全速疾走フォームをとらえるために、100mレースと同じようにクラウチングスタートし、全速疾走スピードに達したと見られる約50mを越えて、さらに約30m（約80mまで）全力疾走させた。

② 持久疾走フォームをとらえるために、100m、200mを専門とする走者では、200mレースと同じようにクラウチングスタートし、200m疾走の典型的な局面と見られる約100mを越えて約50m（約150mまで）を200mレースのスピードで疾

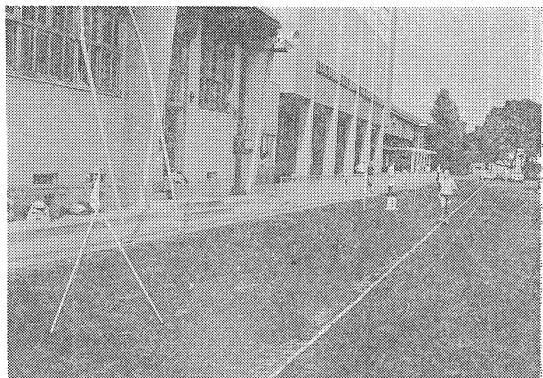


写真1 実験風景

走させた。400mを専門とする走者では、400mレースと同じように走り出し、約200mを越えて約50m（約250mまで）、400mレースのスピードで疾走させた。

イ 被験者

ミュンヘンオリンピック強化の対象となつてゐるわが国の代表的な短距離走者、男子6名、女子5名、このほか東京教育大学、順天堂大学の代表的な短距離走者、男子7名を用いた（表3）。

ウ 測定項目

全速疾走フォームと持久疾走フォームの違いを知るためにスピード、ピッチ、ストライド、空中時間、地上時間などにわたって測定した。

全速疾走フォームのためには、スタート後約50m～70mの疾走フォームを、持久疾走フォームのためには、スタート後約100m～120mまたは200m～220mまでを、ボレックス社製16ミリムービーカメラで、前方と側方から、望遠レンズを用い、1秒間64コマのスピードで撮影した。このほか、ミリケン社製高速度カメラによって、側方から望遠レンズを用い、1秒間250コマまたは500コマのスピードで撮影した。

疾走スピードがフィルムを手がかりにして測定できるように、フィルムに1/100秒毎にシグナルを入れ、2m幅のコースに2mおきに1対ずつの目印をおいた（写真1）。

実験は、オリンピック強化選手の場合は、1971年7月20日、順天堂大学競技場で、東京教育大学、順天堂大学の選手の場合は、1971年12月5日、東京教育大学競技場で実施した。両日とも無

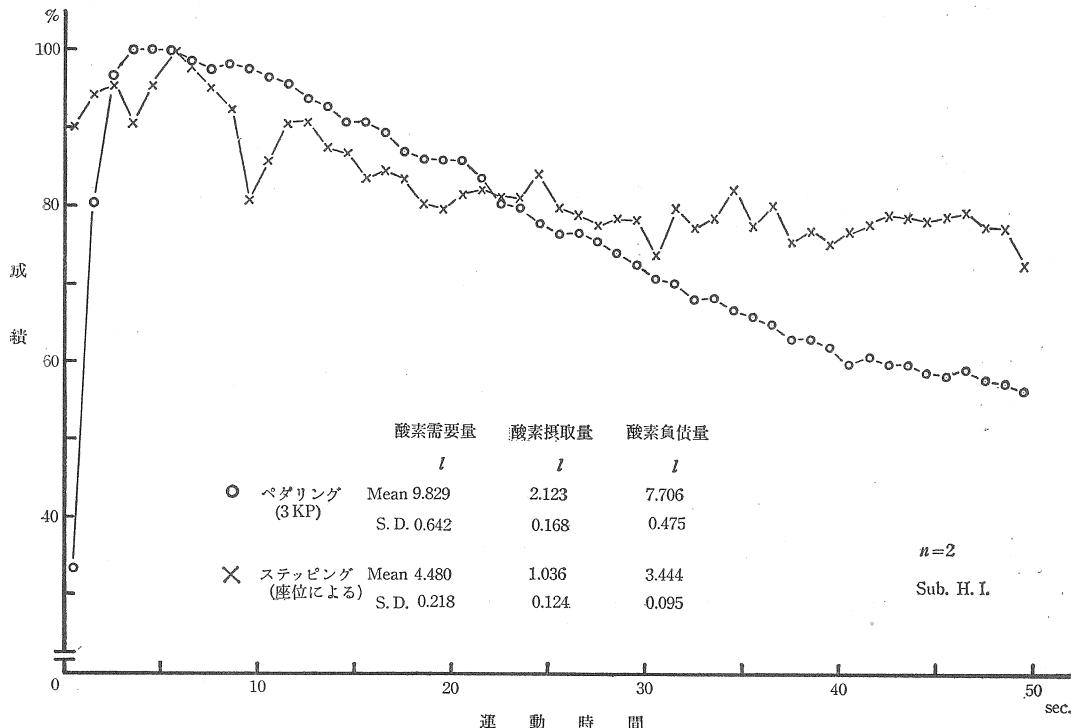


図 3 実験運動の特性（その 1）—スピード（成績）の変化、酸素需要量について—

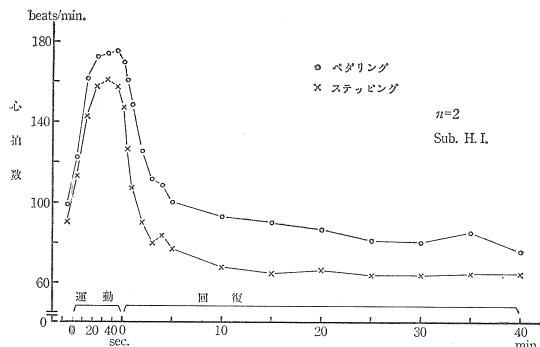


図 4 実験運動の特性（その 2）—心拍数の変化について—

風・晴天で、後者の実験日も暖かい小春日和であった。

III 結果と考察

1. 実験運動および実験ベースの特性について

(1) 実験運動の特性について

図 3 は、3 kp の負荷によるペダリングおよび座位でのステッピングを、48秒間にわたって、初めから終りまで全力を傾けて行なった場合の、1

秒単位にとらえた成績（ペダリングは車輪の回転数、ステッピングは両脚を踏み換える回数）の変化を、それぞれの最大値を 100 としてその % で表わしたものである。また、図中の表には、それぞれの運動の酸素需要量を示した。図 4 は、運動中および運動後の心拍数を示す。これらの資料から次のことがわかる。

① 心拍数の変化、酸素需要量などからペダリングは全身的なはげしい無気的運動であるのに対して、ステッピングはより負荷の弱い運動であると言える。

② ステッピングの場合には、前半の約20秒間に成績が急速に低下していくが、その後低下は急にゆるやかになり、約30秒をすぎてからは横ばい状態になる。

ペダリングとほぼ同じ筋群が使われているとみられるステッピングは、動きの幅が小さく、動きに大きな力がいらないので、酸素需要量が少ない。にもかかわらず、前半ではかなり著しい下降傾向が現われるのは、①と後述する③の結果と関連づけて考えると、次のような原因によるものと

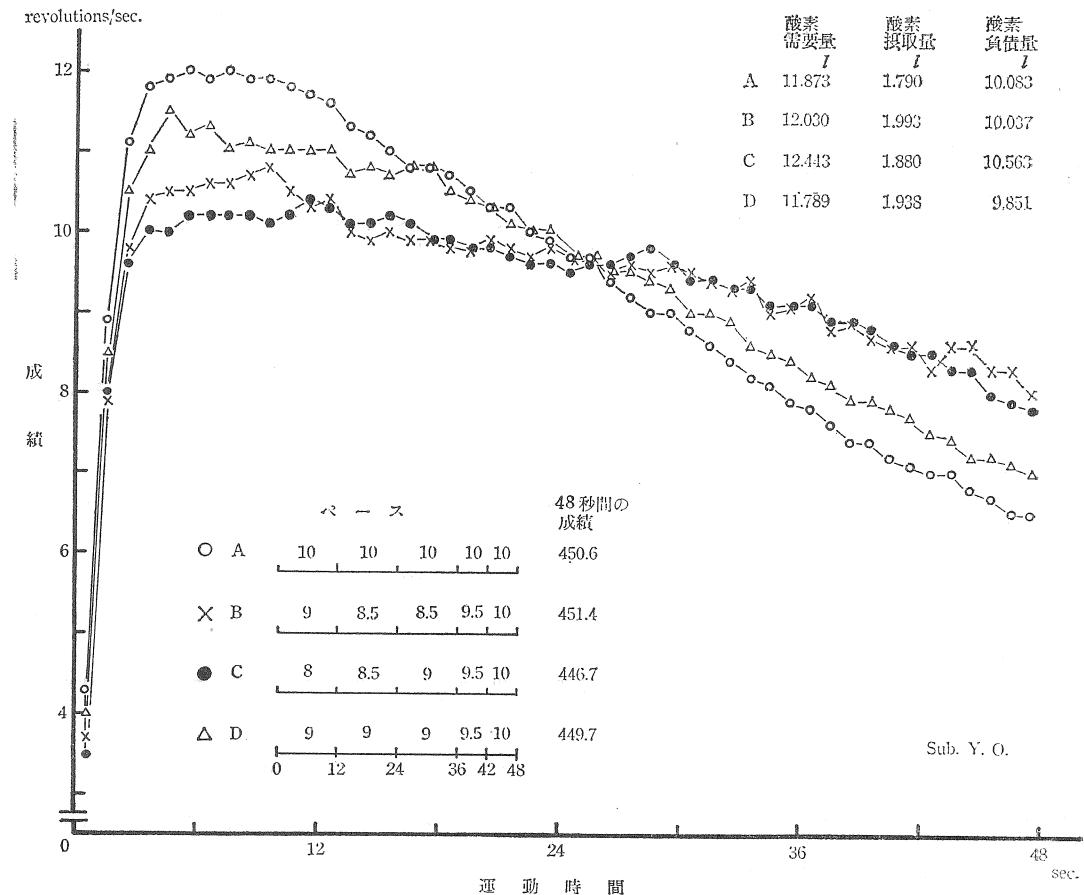


図 5 実験ペースの特性(その1) —スピード(成績)の変化、酸素需要量について—

推測される。

前半の約20秒間での成績に著しい下降現象があらわれるのは、おもに神経疲労(この運動に使われる神経での酸素負債が大きくなること)が急速に高まってくるためと考えられる。また、20秒を越えてから、定常状態ともみられるような成績がつづくのは、このあたりからこの運動に使われる神経への酸素の供給などに見合う有気的な運動に変わっていくためと考えられる。このような推測が正しいとすると、力の負荷の小さい、きわめて大きいスピードの要求される運動でのハイスピードの持続能力には、神経における無気的持久力が重要な要因になると考えられる。

③ ペダリングでは、はじめの数秒間の加速局面を除けば、約20秒まではステッピングと同じように成績が低下している。しかし、それ以後も同じように低下している点がステッピングの場合と

相違する。

酸素需要量の大きいペダリングにおいて、初めの約20秒までにステッピングの場合と同じような下降現象がみられるのは、神経性の疲労のほかに筋肉性の疲労も原因していると推測される。20秒をすぎてから、なお下降が著しいのは、更に筋肉性の疲労が高まっていくためと考えられる。力の負荷の小さい3kpのペダリングをさらにつづけた場合に、ステッピングの場合と同じように、定常状態が現われるかどうかは、筋力や筋の有気的持久力の水準の高低にかかっているのではなかろうか。

上述した①と③の結果から、一般に、最大のハイスピードが出しやすいと見られる3kpのペダリングは、力の負荷・酸素需要量・動きのスピードなどから吟味して、全速疾走と同じような性質をもつ運動と考えられる。

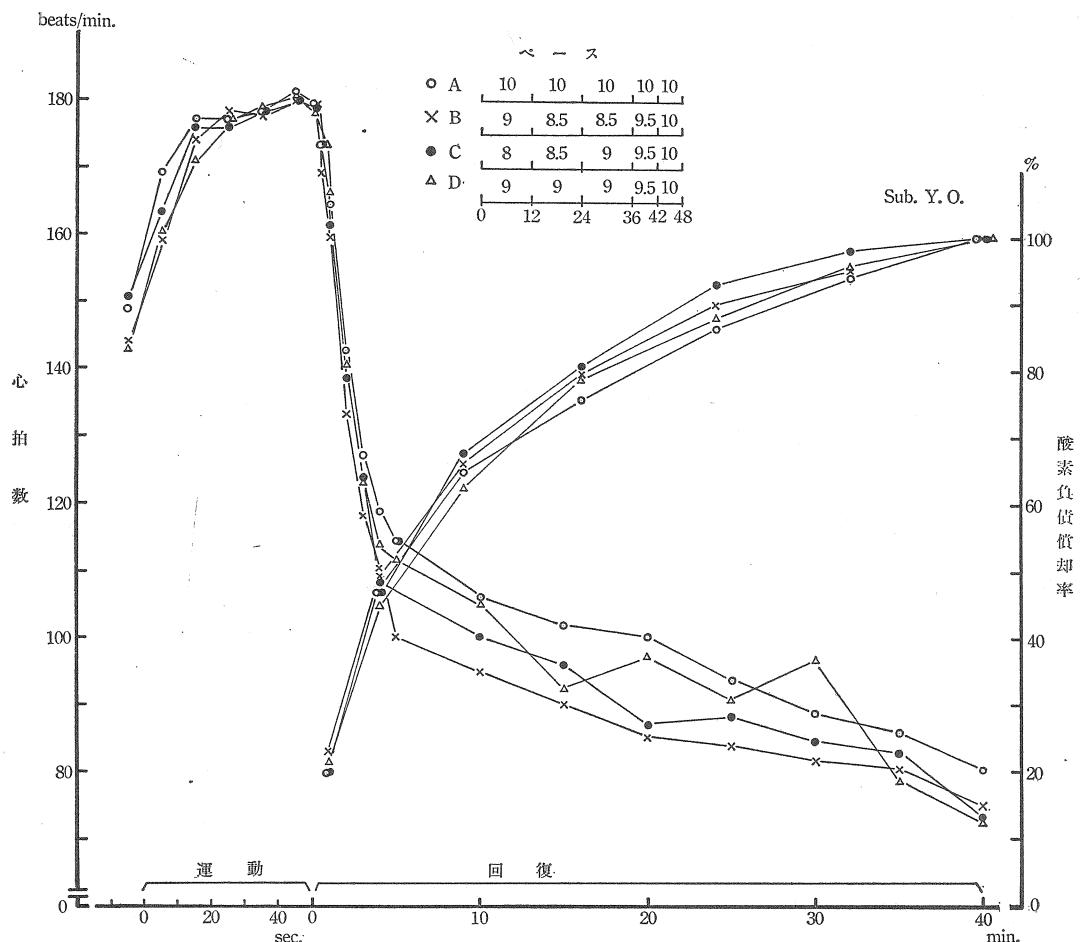


図 6 実験ベースの特性（その2）一心拍数の変化、酸素負債の償却過程について一

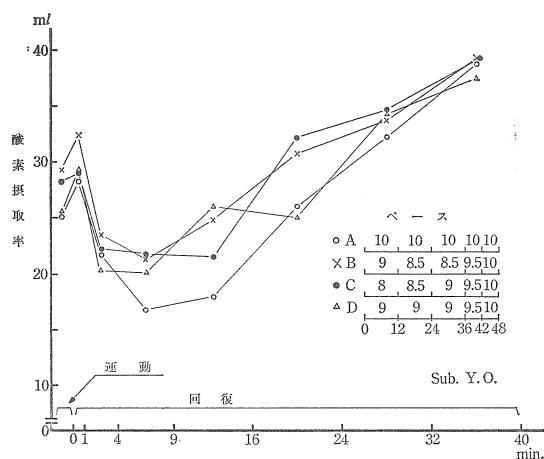


図 7 実験ベースの特性（その3）
—酸素摂取率の変化について—

(2) 実験ベースの特性について

図 5・6・7 は、実験ベースの特性に関する実験結果をまとめたものである。

図 5 は、実験ベース A・B・C・D における 1 秒単位にとらえたスピード（成績）の変化と全体としての成績、酸素需要量などを示す。図 6 は、運動中、運動後の心拍数の変化と運動後における酸素負債の償却過程を、図 7 は、運動中および運動後における酸素摂取率の変化を示す。これらの資料から次のことがわかる。

① 全体としての成績は B・A・D・C のペースの順になっている。しかし、相互間には有意の

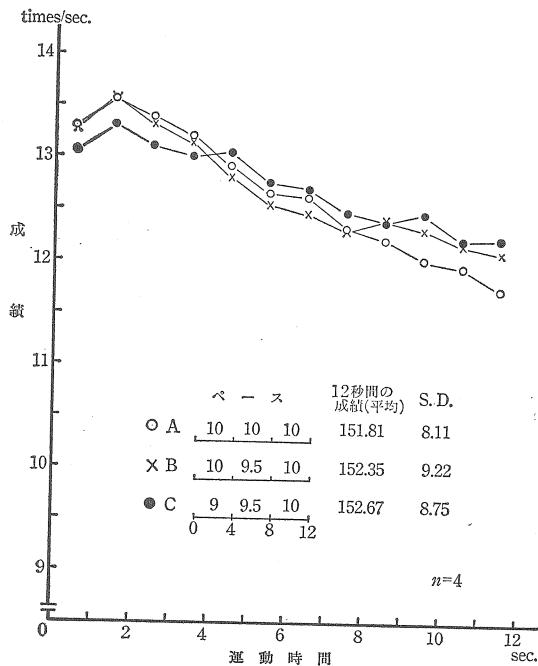


図 8 実験ベースと成績(その1)
—12秒間のステッピングの場合—

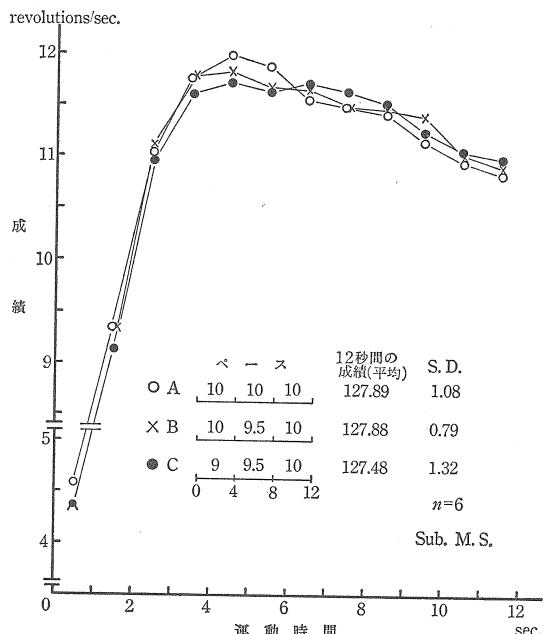


図 10 実験ベースと成績(その3)
—12秒間のペダリングの場合(例)—

差が認められないとみてよい。

② A, B, C, Dのいずれのペースにおいてもスピードの変化は、図2に示すような実験条件に十分にそっていると言えよう。

③ Aペースでは、初めの局面でのスピードは高いが、全体にわたって、特に終りの局面でのスピード(成績)の低下が著しい。これに対して、BやCでは、初めの部分でのスピードがAに比べていくらか小さいが、終りの局面でのスピードの低下が少ない。Bに比べてCは、初めの局面でのスピードが遅い。Dペースは、AとBの中間的な傾向を示している。

AおよびDのペースでは、前半のスピードを出しすぎたことが原因して運動終了時のスピードが著しく低下したとみられる。

BおよびCのペースでは、前半でスピードをセーブしたことが、運動終了時のスピードの低下を少なくしたとみられる。

④ 運動中の酸素摂取量、運動後40分間に得られた酸素負債量には、いずれのペース間にも、差は認められなかった。しかし、Aペースでは、他のペースに比べて運動終了後の40分間の最後の局

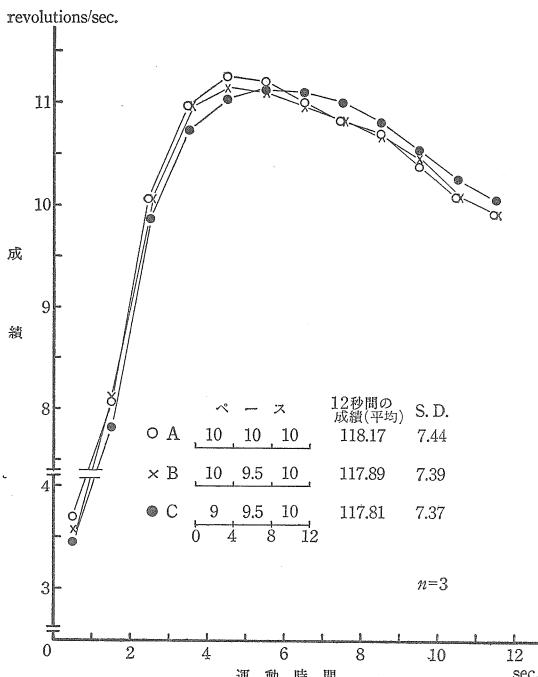


図 9 実験ベースと成績(その2)
—12秒間のペダリングの場合—

面で得られた酸素摂取量が大きかったことから、残存酸素負債量は最も多いと考えられる。このことから、Aペースの酸素需要量は最も大きいと推測することができる。また、40分間に得られた酸素負債の償却過程、心拍数の回復過程、運動後の酸素摂取率に着目すると、BとCのペースにおける回復がAとD、特にAペースに比べて速いことがわかる。

これらのことから、AとD、特にAペースでは同じ成績をあげた場合でも、BとCのペースよりもより著しく疲労していること、しかも運動中のエネルギーの使い方（効率）の悪いことなどが推測できよう。

2. 12秒間の運動、24秒間の運動、48秒間の運動における実験ペースと成績

(1) 12秒間の運動の場合

図8は、ステッピングについての実験結果をまとめたもので、図中の各印は1秒単位にとらえた両脚の踏み換え回数の、4人の被験者の平均を示す。図9は、ペダリングについての実験結果をまとめたもので、図中の各印は1秒単位にとらえた車輪の回転数の、3人の被験者の平均を示す。図8、9とも図中の表に12秒間の全体としての成績を掲げた。図10は、ペダリングについての典型的な事例である。これらの資料から、ステッピング、ペダリングに共通して、次のいくつかの傾向が認められる。

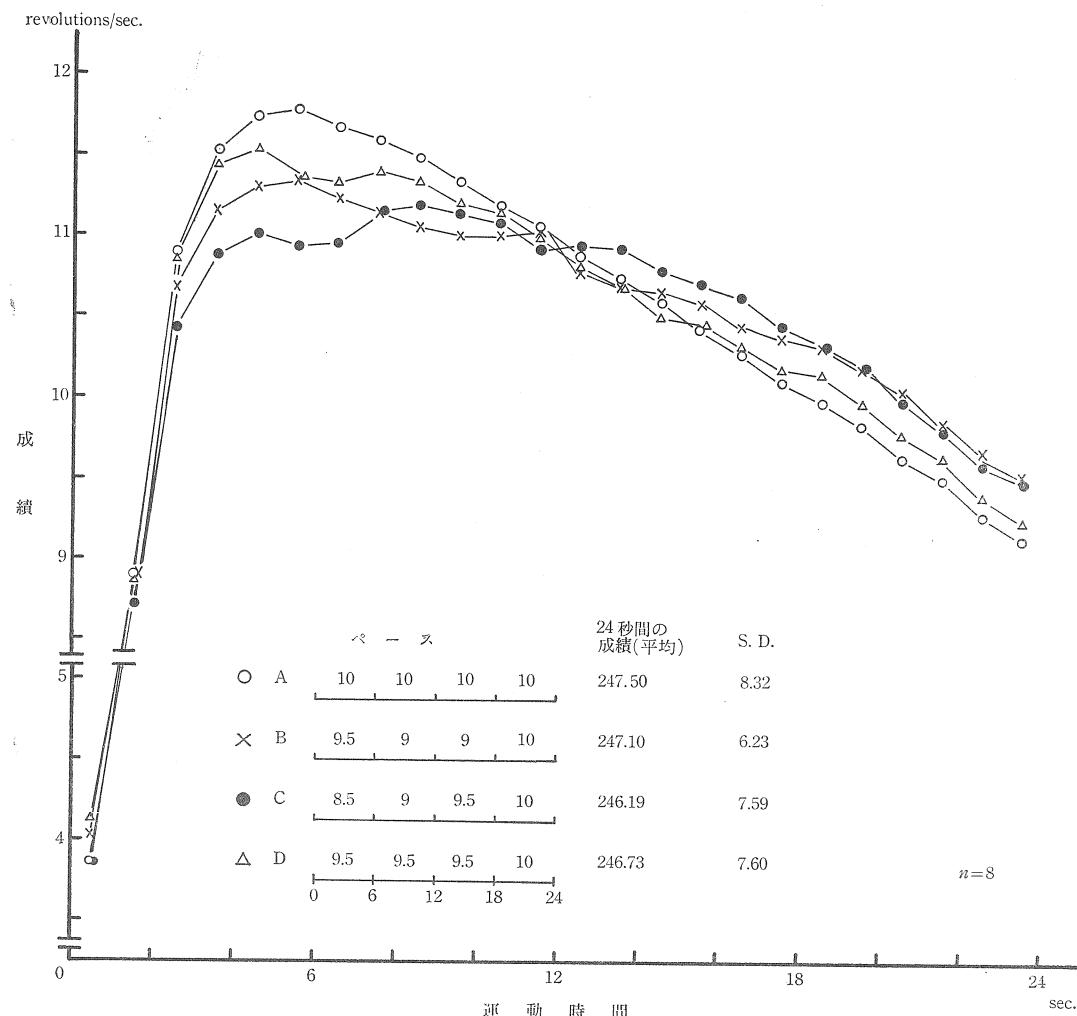


図 11 実験ペースと成績（その4）—24秒間のペダリングの場合—

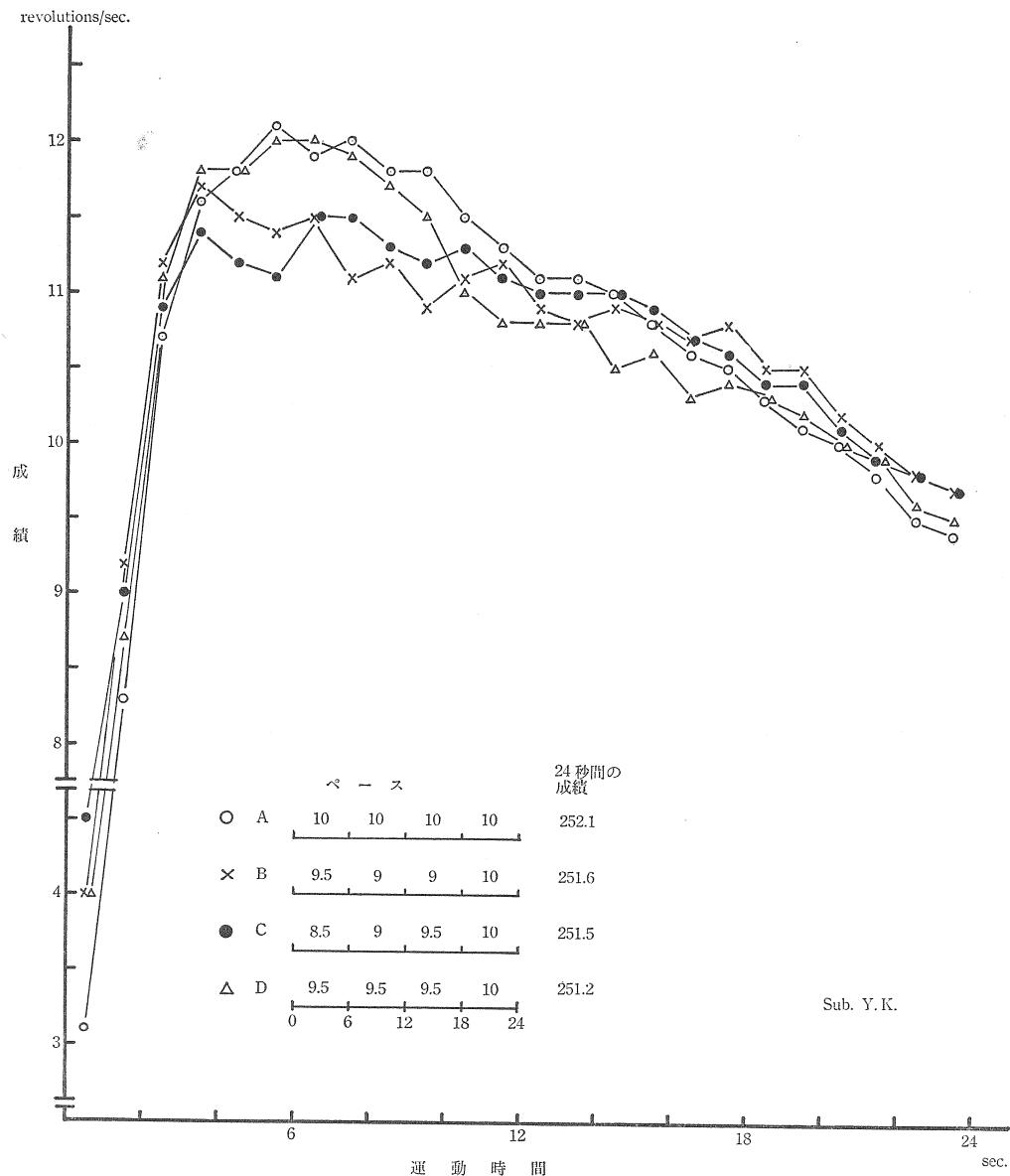


図 12 実験ベースと成績(その5) —24秒間のペダリングの場合(例)—

められる。

① 3種のいずれのベースとも、図2に示唆したような実験で意図した条件にあてはまっている。

3種のベース間には、全体としての成績に優劣は認められない。

② Aベースは、初めの局面でのスピードが大きく、中の局面でもすぐれているが、終りの局面におけるスピードの低下が著しい傾向がある。

Bベースは、中の局面でのスピードはAベースに劣るが終りの局面での低下がより少ない傾向が認められる。

Cベースでは、初めの局面でのスピードは最も劣っているが、終りの局面でのスピードの低下はBベースの場合よりも少ない傾向がある。

これらの結果や先に述べた実験ベースの特性に関する研究結果などから、次のことが示唆されよう。

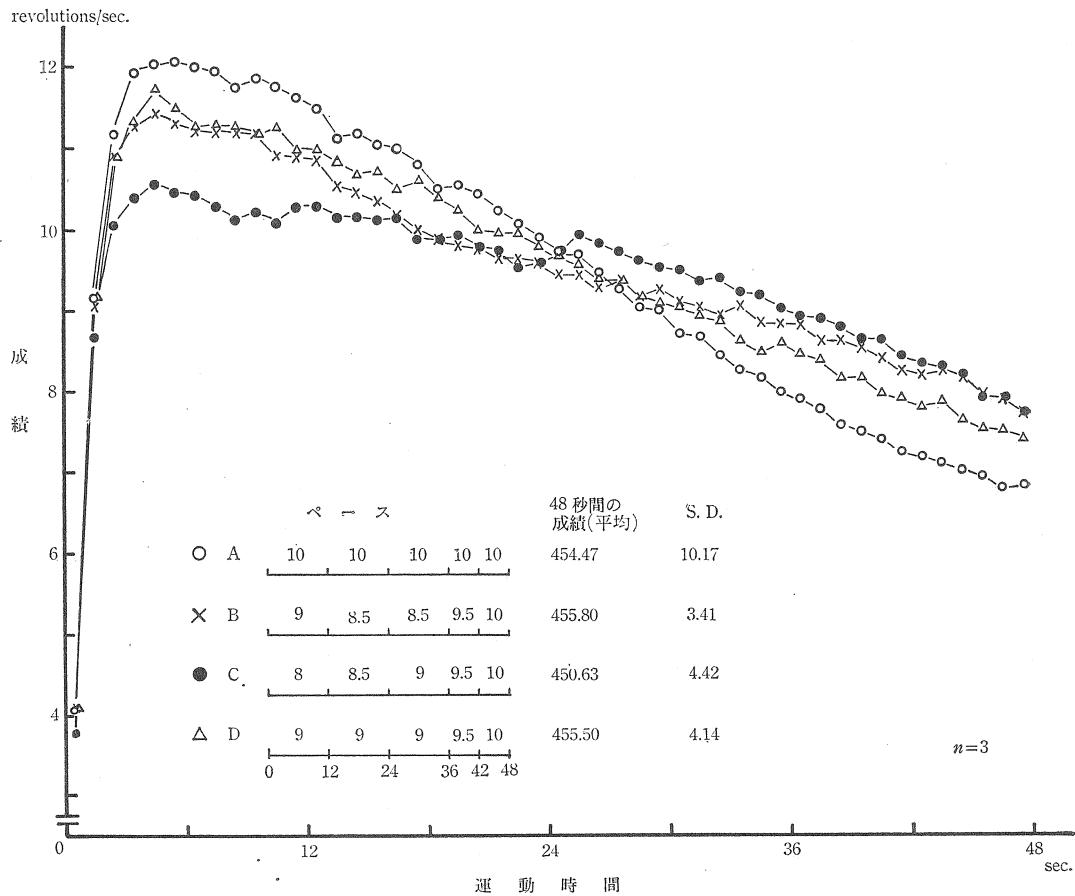


図 13 実験ペースと成績（その 6）—48秒間のペダリングの場合—

① わずか12秒の運動においても、その運動が動きの幅の大きい、力のいる、筋肉性の疲労が著しい運動の場合だけでなく、動きの幅の小さい、あまり力のいらない、神経性の疲労が著しい運動の場合にもペースを考える必要がある。

② 大きな緊張をきたしやすい競技会で確実に良い成績をあげるには、BあるいはCのペースが有利であろうと考えられる。

③ Aペースは失敗の確率が大きいが、とくに調子が良い場合には、大きな成功が得られる可能性もあるとみられる。

(2) 24秒間の運動の場合

図11は、4種のペースによる24秒間のペダリングに関する8名の実験結果を、12秒の場合と同じ方法によってまとめたものであり、図12は典型的

な事例である。

これらの資料から、A・B・Cの3つのペースでは、24秒の運動の場合にも、12秒の場合と同じような傾向が認められる。ただし、12秒の場合よりも、終りの局面でのスピードの低下がより著しい。これらA・B・Cの3つのペースが図2に示す実験条件にあてはまっているのみでなく、A・Bの中間的なものとして設定したDペースも、めざす実験条件としたAとBの中間的なペースになっていたことがわかる。

上述した結果から、12秒の場合より疲労の著しい24秒の運動では次のことが示唆されよう。

① 競技会で確実に良い成績をあげるにはBあるいはCのペースが有利であると考えられる。

② 失敗の可能性が少なく、しかも大きな成功の可能性があるペースとしては、一般にAペース

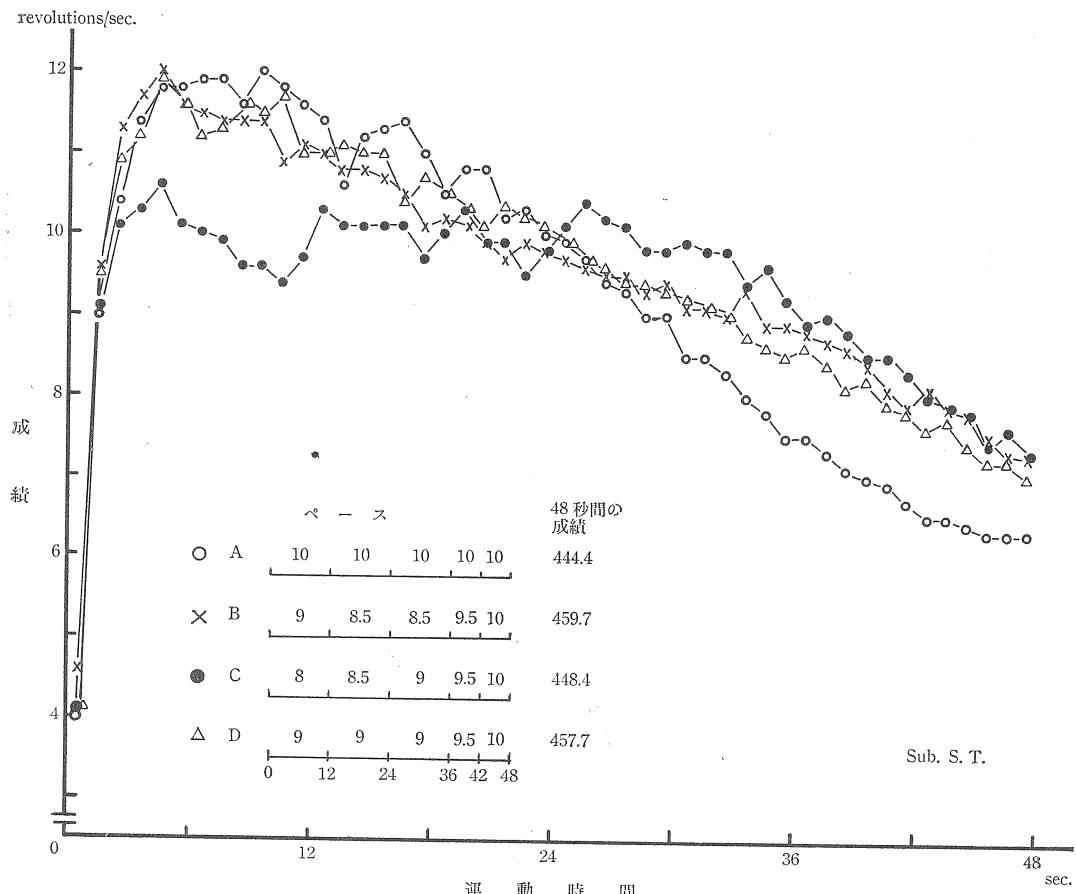


図 14 実験ペースと成績(その7) —48秒間のペダリングの場合(例)—

を変型したDペースを使うべきであろう。

⑨ 12秒の場合より、初め・中の局面での努力感の程度を、いくらか下げる必要がある。

(3) 48秒間の運動の場合

図13は、4種のペースによる48秒間のペダリングに関する3名の実験結果を、12秒の場合と同じ方法によってまとめたもので、図5・14・15には三つの事例を全て掲げた。

これらの資料から、A・B・Cの3つのペースでは、12秒や24秒の運動の場合と、ほぼ同じ傾向が認められる。また、DペースはA・Bの中間的な傾向を示している。

48秒の場合では、24秒の場合よりも、終りの局面では、疲労のため成績がより著しく低下していることがわかる。

被験者 H. N. (図15) では、Aペースで最も良い成績があげられているのは、スピードの変化の過程からみて身体の調子が特別に良かったためと見られる。

上述した結果から、次のことが示唆されよう。

① 競技会で確実に良い成績をあげるには、BあるいはCのペースが、24秒の場合よりも一段と有利になろう。

② 失敗の可能性が比較的少なく、大きな成功の可能性があるペースとして、一般にDペースがすすめられる。

③ 24秒の場合より、さらに、初め・中の局面での努力感の程度を下げる必要がある。

3. 全速疾走フォームと持久疾走フォームの分析

われわれは、この研究では、まず両者のフォーム

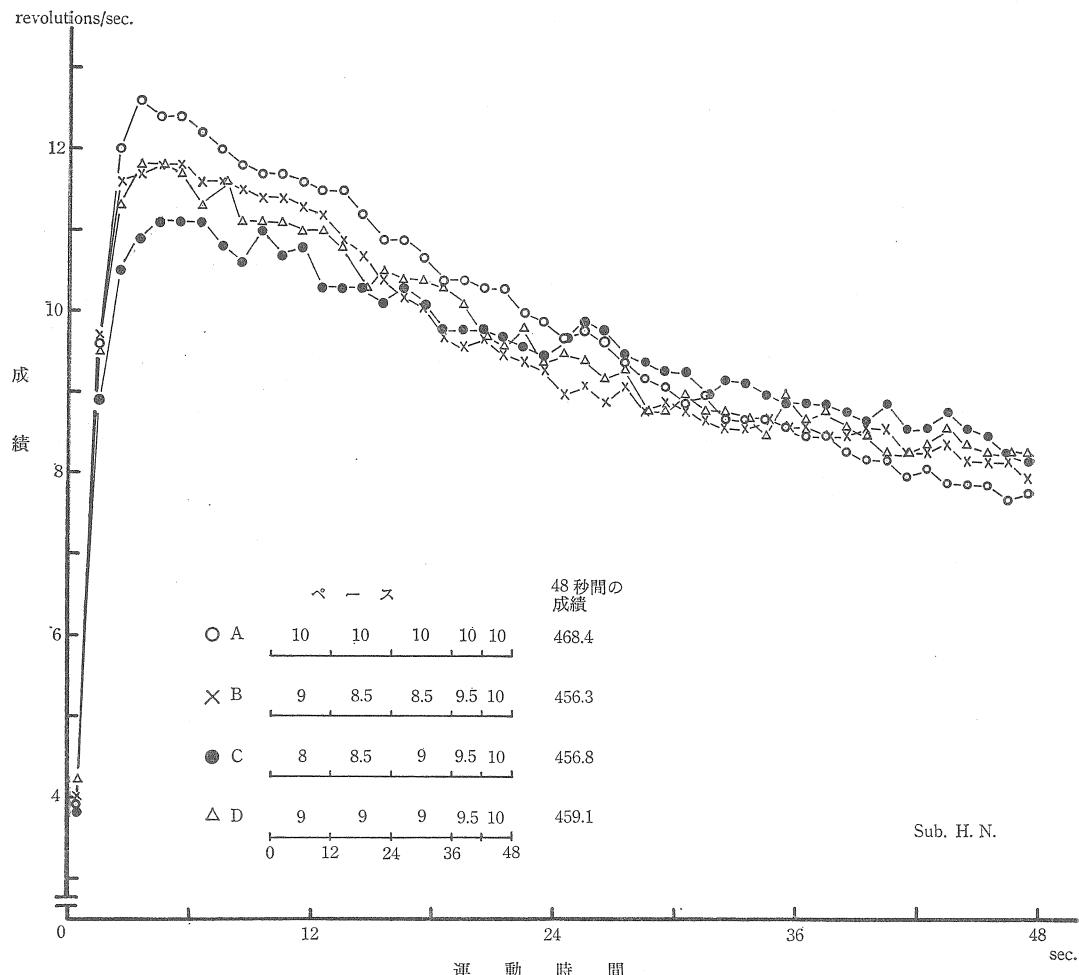


図 15 実験ペースと成績(その 8) —48秒間のペダリングの場合(例)—

持久疾走時の速度(全速疾走時と比較して)

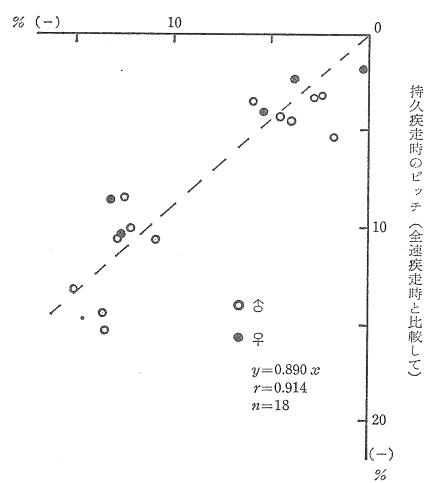


図 16 全速疾走フォームと持久疾走フォームの相違点(その 1)
—速度とピッチの関係について—

持久疾走時の速度(全速疾走時と比較して)

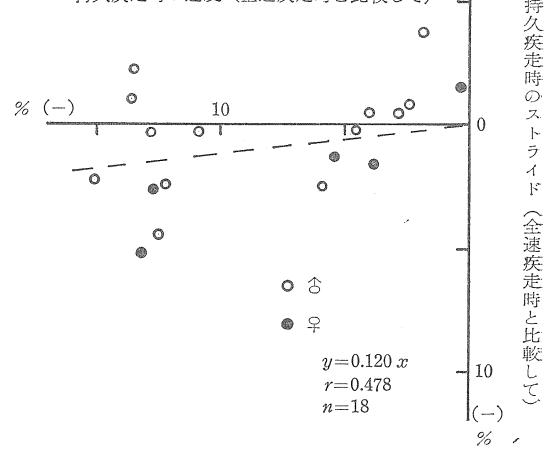


図 17 全速疾走フォームと持久疾走フォームの相違点(その 2)
—速度とストライドの関係について—

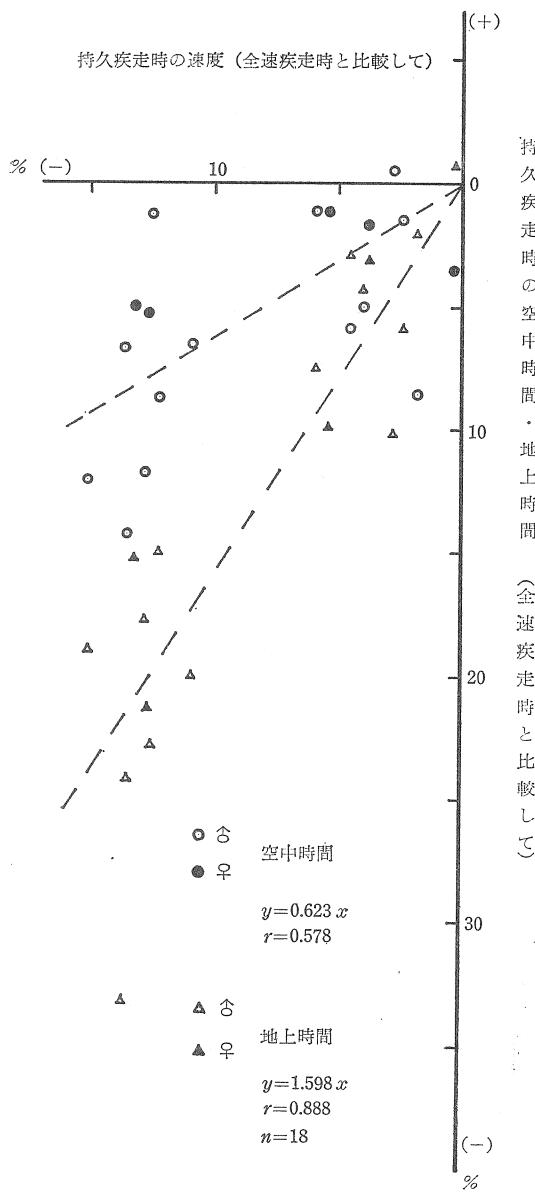


図 18 全速疾走フォームと持久疾走フォームの相違点 (その3) —速度と空中時間・地上時間の関係について—

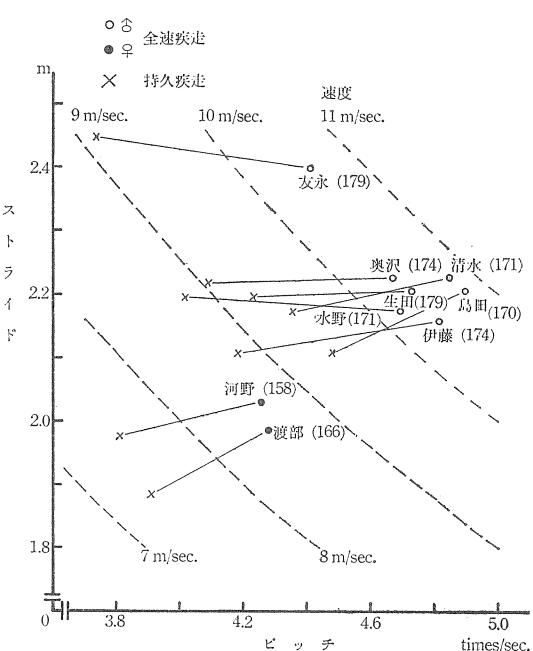
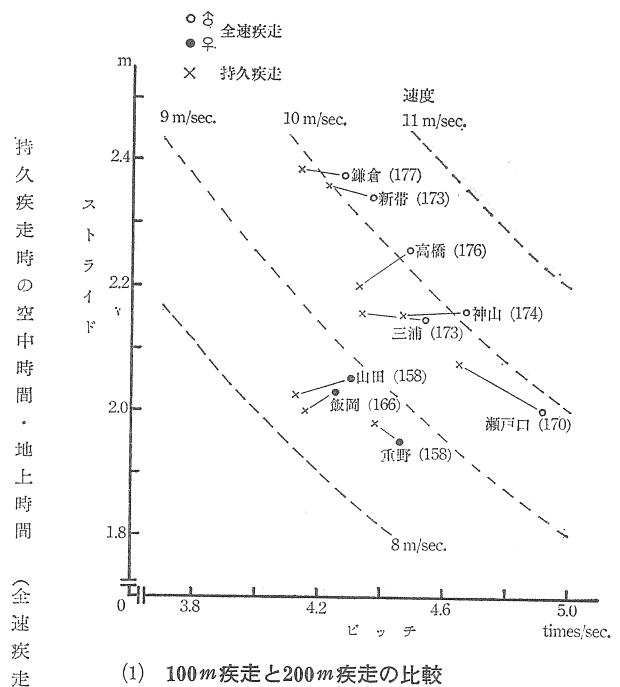


図 19 全速疾走フォームから持久疾走フォームへの変化 (その1) —各走者の速度、ストライド、ピッチの変化について—

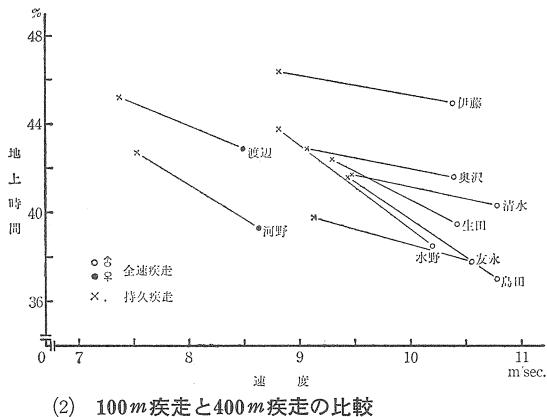
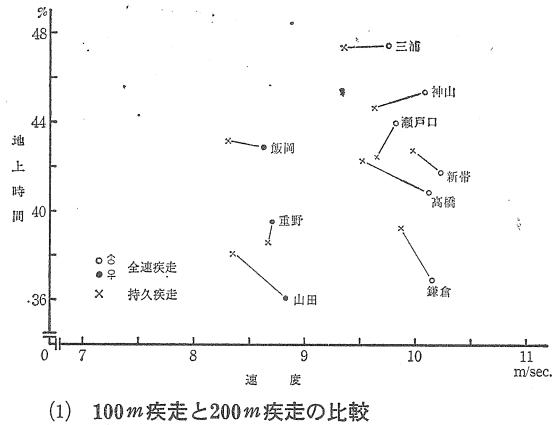


図20 全速疾走フォームから持久疾走フォームへの変化(その2) —各走者の地上時間・空中時間について—

ムについて、速度をストライド、ピッチ、地上時間と空中時間などと関連づけて吟味し、両者間に、どのような類似点や相違点があるかを探ろうとした。そして、これらの資料をもとにして、わずかにスピードは低下するが、エネルギー消費の経済的なフォーム(持久疾走フォーム)のあるべき姿を明らかにしようとした。このような望ましい持久疾走フォームが実際の動きとしてどのようなものになるかについての詳細な検討は、今後の課題としていくことにする。

図16は、全速疾走における速度とピッチを100とした場合、持久疾走では速度とピッチがその何%低下しているか、両者の低下のしかたにはどのような相関があるかなどを示した。右の一群は、200m疾走のスピードの場合であり、左の一群は400m疾走のスピードの場合である。

図17は、同じような方式でストライドとの関係を示したものであり、図18は、速度と空中時間および地上時間との関係を示したものである。

図19-(1)・(2)は、各走者の全速疾走フォームが持久疾走フォームに移ると、速度・ストライド・ピッチなどがどのように変わっていくかを、また図20-(1)・(2)は地上時間と空中時間の比がどのように変わっているかを示す。いずれの図においても(1)は持久疾走に200m疾走のスピードを、(2)は400m疾走のスピードを用いたものである。これらの資料をもとにすると次のことがわかる。

(1) 類似点について

持久疾走においては、速度が低下するとストライドもいくらか低下する傾向が認められる。しかしストライドが変わらないのみか、逆に広くなる場合もかなりある。(図17、図19-(1)・(2))

(2) 相違点について

- ① 持久疾走においては、速度が低下していくほど、ピッチが低下している(図16)。
- ② 持久疾走においては、速度が低下していくほど、地上時間・空中時間とも長くなるが、その長くなるなり方は地上時間がより著しい(図18、図20-(1)・(2))。

持久疾走においては、速度が低下してもストライドには必ずしも変化が認められない。しかし、ピッチが低下していくことから、一般に、速度の低下はピッチの低下によって生じていると言えよう。

持久疾走においては、速度の低下に伴なって、地上時間の増加が空中時間よりも大きいことは、ランニングフォームが変わっていくためである。脚の動きを片脚だけとり出してみると、回復の段階とキックの段階に分けることができるが、スピードの低下とともに、回復段階の動きはいくらか小さくなるが、キックの段階の動きは、足先の動きの幅に関するかぎり小さくならない¹⁰⁾ことがその原因になっていると考えられる。

代表的スプリンターの友永には、上述した傾向が典型的に表われていると言えよう(図19-(2)、図20-(2))。

IV 示唆としての結論

ハイスピードの持続能力が高まるペースやフォームに関連して、われわれの研究をもとにすると、次のいくつかの実用的な示唆を引き出すことが許されよう。

1. ペースに関連して

① ハイスピードの要求される約10秒間の短い運動においても、ハイスピードが効果的に持続できるようなエネルギーの配分あるいはスピード配分をする必要があろう。

② いろいろの努力感に伴なう実際のエネルギー配分量あるいはスピードは、レースの局面によって、また個人によっても相違する。したがってペースのこつとして、合理的なエネルギー配分あるいはスピード配分になるような意識の変化をつかむ必要があろう。

③ 最高あるいは最高に近い成績を確実にあげるには、レースの初め、あるいは中の局面、またはこれらの両者において努力感を下げ余力を残すようにする必要があろう。これらの部分での努力感の下げ方は、レースの時間が短かい場合ほど少なくする必要があろう。

一般に、初めと中の局面での努力感を高めすぎることは、終りの局面でより著しいスピードの低下をきたして失敗することが多いであろう。しかし、予想に反してきわめて調子のよいときには、最高の成績が得られる可能性が生れる。

各競技者の調子に見合う最高の成績の得られるペースは、前半と後半でのエネルギーの配分差が比較的少なく、しかも、エネルギーの配分あるいはスピード配分が疲労に応じて、徐々に少なくなっていくものであろう。

2. 疾走フォームに関連して

① 最高スピードをわずかに下まわる持久疾走フォームでは、全速疾走フォームの場合よりもビ

ッチを落とすがストライドは落とさないことが望ましいであろう。

② 持久疾走フォームでは、全速疾走フォームに比べて、地上時間の占める割合がより大きく、キック足の動きの幅は小さくならないことなどから、両者のフォームの相違は、単に動きの大きさの大小としてではなく、全体としての動きの構造の違いとしてとらえておくべきであろう。

稿を終わるにあたって、16mm 映画撮影に、御指導、御協力を頂いた東京教育大学スポーツ研究施設・渋川侃二教授、斎藤慎一助手に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 金原 勇, 古藤高良: 跳躍の要因について, 体育学研究, 第5巻第1号, P. 113, 1959.
- 2) 金原 勇, 高松 薫, 関岡康雄: 短距離走のペースに関する実験的研究, 体育学研究, 第14巻第5号, P. 139, 1970.
- 3) Dyson, Geoffrey H.G.: The Mechanics of Athletics, P. 109~124, University of London Press Ltd, 1967.
- 4) 金原 勇, 渋川侃二, 三浦望慶, 小松邦江: 短距離疾走フォームの実験的研究, 東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 5, P. 43~55, 1967.
- 5) Cromwell, D.B.: Championship Technique in Track and Field, P. 57~58, McGraw Hill Book Company Inc., 1949.
- 6) Henry, F. M.: Research on Sprint Running, The Athletic Journal, Vol. XXXIII, No. 10, 1952.
- 7) 金原 勇: 短距離の研究(ヘンリー教授の論文を中心として), 陸上競技マガジン, 第3巻10月号, P. 26~30, ベースボールマガジン社, 1953.
- 8) 猪飼道夫, 芝山秀太郎, 石井喜八: 疾走能力の分析, 体育学研究, 第7巻第3号, P. 59~70, 1963.
- 9) 金原 勇, 高松 薫, 小松邦江, 三浦望慶: 敏しょく性トレーニングに関する基礎的研究(その1) —最大敏しょく性の得られる諸条件について—, 東京教育大学体育学部スポーツ研究所報, 6, P. 25~45, 1968.
- 10) Jordan, P. and B. Spencer: Champions in the Making, P. 32~39, P. 41~51, Prentice-Hall, 1968. (小田海平訳: アメリカ陸上競技の技術, 講談社, 1970)

水泳競技におけるハイスピードの維持

名古屋大学教養部 宮下充正

水泳競技におけるハイスピードは他の陸上種目と異なり、実際の値は低い。それは抵抗の大きい水中を移動するために起因することであって、陸上競技の走の場合の毎秒10mの約5分の1の2m/秒程度がハイスピードということになる。

このようなスピードを分析するために次のような要素に分けて考えることが便利である。すなわち、スピードは、1ストロークで進む距離(Pd)を1ストロークに要する時間(Pt)で除することによって決定される。したがって、スピードの増大は Pd の増大または Pt の減少によってもたらされることになる。ここでは第1の問題として Pd と Pt が実際の選手においてどの程度であるかを調べる必要がある。

次に、スピードの増大は、水の抵抗の増大となって泳者にはね返ってくる。このため、水から受ける抵抗ができるだけ少なくするようなフォームの形成が重要となる。すなわち、宮下がすでに明らかにしているように、水の抵抗は毎秒2mのスピードで約4kgの個人差が見られる。そこで第2の問題として、 Pd の増大と Pt の減少を泳ぎ全体のフォームと脚と腕のコンビネーションといった面から考慮する必要がある。

I 1ストロークで進む距離(Pd)と1ストロークに要する時間(Pt)の関係

① 測定方法

実際の競技会における選手の泳ぎを観察することによって、 Pd 及び Pt を計測した。すなわち1泳者に対し、3名の観察者を当て、1名は、25m毎のラップタイツの計時を行ない、1名はストローク数を数え、他の1名が記録するという手順である。測定者は過去にそのような測定を経験した熟練者で、例えば100mの記録で正式計時と、0.1秒以上の差が認められない程度である。

主たる観察を行なった競技会は、1971年度の全

日本選手権大会(於・大阪プール)で、比較として、すでに測定した1969年度の全日本選手権大会での結果を参照した。各年令での最優秀選手の結果を今回は報告する。

② 測定結果と考察

a) 年齢別にみた Pd と Pt (100mバタフライの場合)

第1表にバタフライ100mの結果を示す。年齢の高い選手ほど、100m記録は良く、また各25m毎の時間も短いことがわかる。すなわち、年齢の高い選手は初めから終りまで、水泳スピードが高いわけである。 Pd についてみると、17歳のIshidaを除いて、年齢の高い選手の方が長い傾向にある。そして、 Pt はIshidaを除いてほとんど年齢の差が認められない。このように、年齢にかかわりなく Pt がおよそ1.13秒から1.34秒であるということは、泳ぎのリズムは、ほとんど低年齢で固定されるのではないかと予想される。また、 Pd が年齢の増加とともに長くなるのは、腕の長さや太さ及び手のひらの大きさといった形態面と、筋力といった機能面の充実が影響するものと思われる。また、17歳のIshidaは Pt が極端に長く、したがって、 Pd が長くなっているのは、バタフライに時々みられる泳法の違いによるものであって、1964年当時の佐藤選手(当時日本記録保持者)が最も良い記録をマークしている。

b) Pd または Pt を変化させることによる記録向上の予想

自由形選手の実際の測定結果から、 Pd あるいは Pt を変化させることによって、どの程度記録が向上するか予想してみた(第2表)。すなわち、Waseda(23歳)は、50m~75mにおける Pt が最も短かく0.6秒である。このようなりズムで泳げるはずであるので、他の区間に当てはめてみる

第1表 バタフライ 100m における、Pd 及び Pt の個人差

Maruya (Boy, 23)	12.3 sec.			14.7 sec.			14.8 sec.			16.7 sec.			58秒 5
	Pd	Pt	V										
	2.500	1.230	2.032	1.923	1.130	1.701	2.083	1.233	1.689	1.785	1.192	1.497	
Ishida (Boy, 17)	13.4 sec.			14.8 sec.			15.6 sec.			18.1 sec.			1分02秒 9
	Pd	Pt	V										
	3.571	1.914	1.865	2.272	1.345	1.689	2.777	1.733	1.602	2.272	1.645	1.381	
Oka (Boy, 14)	13.6 sec.			16.2 sec.			16.2 sec.			18.5 sec.			1分04秒 5
	Pd	Pt	V										
	2.272	1.236	1.838	1.785	1.157	1.542	1.923	1.246	1.543	1.562	1.156	1.351	
Ajiyo (Boy, 10)	15.8 sec.			19.7 sec.			20.2 sec.			22.1 sec.			1分17秒 8
	Pd	Pt	V										
	1.666	1.053	1.582	1.388	1.094	1.268	1.470	1.188	1.237	1.388	1.227	1.131	

第2表 自由形 100m における Pd 及び Pt の個人差及び予想記録

0 ~ 25 m			25 ~ 50 m			50 ~ 75 m			75 ~ 100 m			total	
Waseda (Boy, 23)	12.4 sec.			14.8 sec.			13.8 sec.			15.7 sec.			56秒 7
	Pd	Pt	V	Pd	Pt	V	Pd	Pt	V	Pd	Pt	V	↓
	1.315	0.652	2.016	1.041	0.616	1.689	1.086	0.600	1.810	1.041	0.654	1.591	
Iida (Boy, 17)	0.600			0.600			13.8 sec.			0.600			54秒 0
	12.4 sec.			14.4 sec.			13.8 sec.			14.4 sec.			↓
	Pd	Pt	V	Pd	Pt	V	Pd	Pt	V	Pd	Pt	V	
Matsuo (Boy, 15)	12.0 sec.			15.0 sec.			13.8 sec.			15.2 sec.			56秒 0
	Pd	Pt	V	Pd	Pt	V	Pd	Pt	V	Pd	Pt	V	↓
	1.136	0.545	2.084	0.892	0.535	1.667	1.041	0.575	1.810	0.892	0.543	1.654	
	12.0 sec.			1.000			13.4 sec.			1.000			52秒 8
	12.7 sec.			15.0 sec.			14.4 sec.			15.9 sec.			58秒 0
	Pd	Pt	V	Pd	Pt	V	Pd	Pt	V	Pd	Pt	V	↓
	1.250	0.635	1.968	1.000	0.600	1.666	1.086	0.626	1.734	0.925	0.588	1.573	
	0.588			0.588			13.5 sec.			15.9 sec.			
	11.8 sec.			14.7 sec.									55秒 9

第3表 発育・発達が Pd 及び Pt に及ぼす影響

		0 ~ 50 m						50 ~ 100 m						total	
		Pd			Pt			Pd			Pt				
		'69	'71	'71/'69 (%)	'69	'71	'71/'69 (%)	'69	'71	'71/'69 (%)	'69	'71	'71/'69 (%)		
Yanagidate (Boy, 14)	背泳	0.980	1.111	+13.4	0.716	0.702	+2.0	0.962	1.087	+13.0	0.756	0.761	-0.7	1'15''8 1'06''6	
Matsumura (Girl, 14)		0.820	0.962	+17.3	0.602	0.646	-7.3	0.806	0.909	+12.8	0.644	0.646	-0.3	1'16''6 1'09''1	
Shibata (Girl, 18)	平泳	1.316	1.282	-2.6	1.029	0.975	+5.2	1.220	1.163	-4.7	1.066	0.991	+7.0	1'22''8 1'20''6	
Komasaki (Boy, 18)		2.000	2.083	+4.2	1.127	1.159	-2.8	1.786	1.852	+3.7	1.160	1.159	+0.1	1'00''7 59''1	

と、全体で54秒0となる。

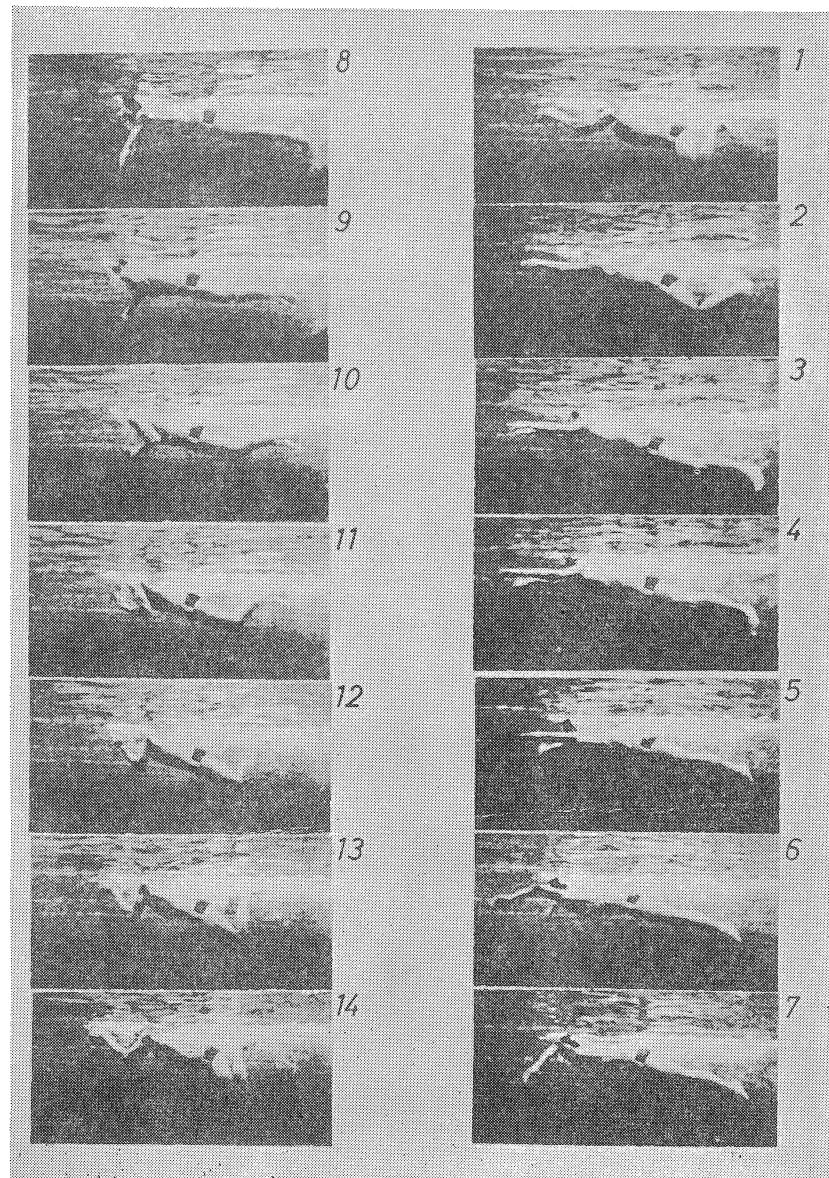
同様に、Matsuo(15歳)についてもPtの最も短かい0.588秒を他の区間に当てはめると55秒9となる。一方Iida(17歳)については、25m~50m及び75~100mでのPdが短かいのでこれを1.00mで泳ぐとすれば52秒8という記録となる。

100mを25mずつの4区分に均等に分けることは、スタートあるにはターニングといった異なる動作の影響を受け一律に処することは危険であ

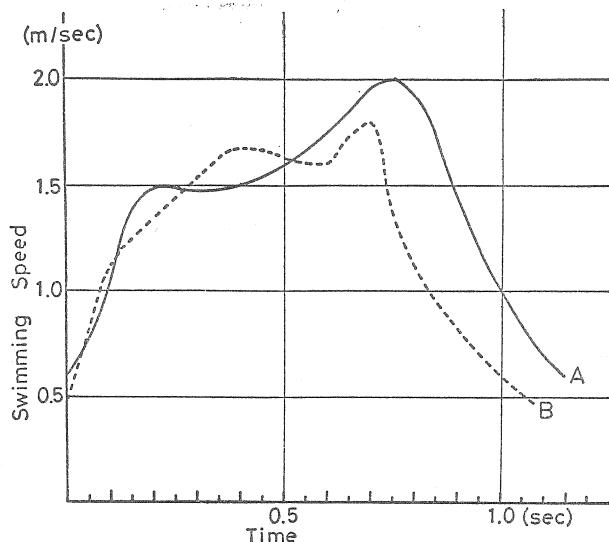
るが、多くの観察例を統計的に処理したり、同一選手の発育過程を比較する場合には、指導のために有効な示唆をあたえるものと思われる。

c) 発育・発達が及びに及ぼす影響

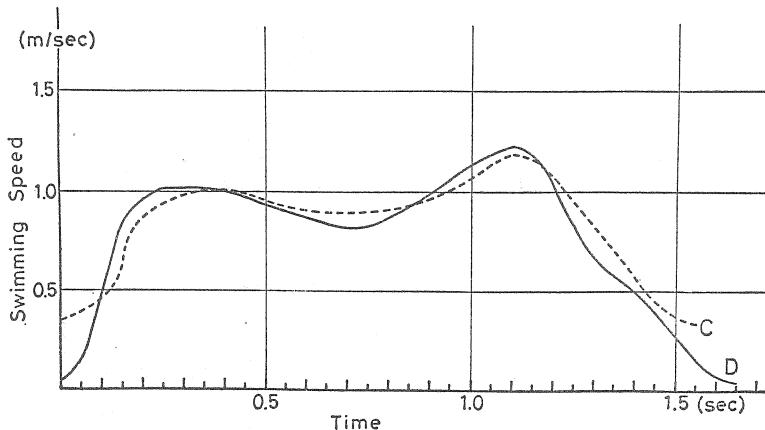
1969年から2年間で記録の向上のみられた4選手について、Pd及びPtの比較をしてみた(第3表)。まず、14歳の男子(Yanagidate背泳)と女子(Matsumura、背泳)についてみると、100



第1図 平泳の16mm水中写真



第2図 1ストローク中のスピード変化
(鍛練者の場合)



第3図 1ストローク中のスピード変化 (非鍛練者の場合)

mの記録は7~9秒程度の著しい向上がみられるが、それは主にPdの増大(12~17%)によるものであって、Ptは逆にわずかではあるが増大していることがわかる。一方、18歳の男子(Komazaki, バタフライ)と女子(Shibata, 平泳)についてみると、記録の向上は1~2秒程度であってKomazakiの場合はPdの増大によるが、ShibataはPtの増大によっていることがわかる。

このような傾向をまとめてみると、先きに述べたように、12歳以下でそれまでのトレーニングによりすでに泳ぎのリズムが完成する。すなわち、

Ptがほとんど一定の値となる。その後の数年間に、形態と機能の発育・発達によって、Ptの変化はみられないが、Pdに著しい増大がみられ結果的に大幅な記録の向上となる。16歳頃からはおそらく、身体の充実にともない、それぞれの泳者の特徴に応じてPtあるいはPdの改善をもたらすようなトレーニングを続けることにより、記録の短縮が計られているようと思われる。

II 1ストローク中におけるスピードの増大と減少

① 測定方法

水中窓（横2m、縦0.7m）のあるプール中を4人の被験者が泳ぎ、泳者の側面を高速度用16mmカメラ（ミリケン）で撮影した。レンズから被写体までの距離はおよそ5mで、泳者の両側に目盛りを均等に設け、距離の測定に際し補正した。撮影は毎秒64コマで行なったが、フィルムの各コマ毎にタイムが同時に記録できるようにし、時間間隔の正確を期した。

被験者は、世界一流の泳者（A）、かなり速く泳げる者（B）、うまく泳げる者（C）、下手な者（D）の4名である。泳法は平泳ぎで各泳者とも最高速度で泳いだ。

② 測定結果

16mmフィルムに撮影された映像は、第1図に示すように、引き伸ばしても明瞭のように、分析するに十分であった。このフィルムを、NAC社

製モーションアナライザーにより分析した。

0.5秒おきに、腰部の前進移動距離を算出し、各被験者ごとに1ストローク中の前進速度変化を求めたのが、第2～第3図である。図は脚のキックの開始時点からの1周期を表わしているが、共通的な傾向は、キックによって速度が増大し、キックの後ややあって腕のかきが始まる。この時間間隔は、速く泳いた者は時間的に短かく、反対に速度の低い者は長い。腕のかきが終了する頃から足のひきつけが行なわれ、速度が、著しく低下する。1周期の時間経過は、被験者A及びBは比較的短かく、1.07～1.15秒であり、C及びDは長く、1.55～1.65秒であった。また、平均速度は、Aが1.40m/sec、Bが1.26m/sec、Cが0.87m/sec、Dが0.78m/secであった。

速度変化から水泳運動のパワーを算出するため次のような計算を行なった。

$$F = m\alpha + R$$

第4表 1ストローク中の各測定値

		キック	グライド	プル	リカバリー
A	時間経過(sec)	0	0.20	0.33	0.75
	平均速度(m/sec)	1.03	1.49	1.73	1.29
	平均加速度(m/sec ²)	4.50	-0.25	1.25	3.50
	抵抗(kg重)	2.93	5.33	7.93	4.63
	推進力(kg重)	34.1	3.6	16.6	-19.7
B	時間経過(sec)	0	0.38	0.61	0.70
	平均速度(m/sec)	1.08	1.65	1.71	1.14
	平均加速度(m/sec ²)	3.18	-0.31	2.06	-3.50
	抵抗(kg重)	3.28	7.32	7.29	3.75
	推進力(kg重)	24.1	4.7	20.6	-19.2
C	時間経過(sec)	0	0.36	0.74	1.11
	平均速度(m/sec)	0.68	0.95	1.04	0.76
	平均加速度(m/sec ²)	1.86	-0.31	0.80	-1.92
	抵抗(kg重)	1.30	2.33	2.73	1.53
	推進力(kg重)	13.7	-0.3	8.1	-11.4
D	時間経過(sec)	0	0.24	0.71	1.10
	平均速度(m/sec)	0.55	0.93	1.02	0.63
	平均加速度(m/sec ²)	4.00	-0.43	1.07	2.20
	抵抗(kg重)	0.90	2.20	2.76	1.32
	推進力(kg重)	28.7	-0.8	10.2	-13.9
	パワー(kg重m/sec)	15.8	-0.7	10.4	-8.8

F: 推進力, m: 游者の質量,
 α : 加速度, R: 水の抵抗

α については第1図に示す1～4(kick), 4～5(glide), 5～9(pull), 9～14(recovery)の4つの期間に分け、それぞれ平均値を求めた。すなわち、上記の各期間は α が一定であるとした。Rについては、宮下の抵抗の式から $R = 2.5V^2$ という近似式を当てはめ算出した。このようにして算出して算出した推進力(F)は、水中率引力として増告されている値とほぼ一致した。このFに速度Vを乗じてパワーとした。各計算値は第4表に示す通りである。

このようにして、4人の被験者を比較してみると、いわゆるトレーニングされた游者のAとBはそうでないCとDとに比べ2～3倍パワーが大きいことがわかる。すなわち、大きな速度を生むためには大きいパワーが必要であることがわかる。

Ⅲ まとめ

今回の研究結果を総合して、水泳におけるハイスピードの維持というものを考えてみると、次のようなことがわかる。すなわち、水泳スピードの増大は、1ストロークで進む距離の増大と1スト

ロークに要する時間の短縮という2つのことによってもたらされるが、1ストロークに要する時間は良くトレーニングされた場合、比較的低年齢である一定の値となる。その後、1ストロークで進む距離の増大が、水泳スピードの増大となって現われてくる傾向にある。しかし、このようなスピードの増大は、平泳のような場合、リカバリーの面で多大のマイナス方向への抵抗を受けることになり、結果的には、1ストローク中に大きなパワーを発揮しなければならなくなることがわかった。従って、ハイスピードの維持には、リカバリーでの抵抗を減少させるようなフォームを身につけることと合わせて、十分なエネルギーの供給がなされなければならない。後者の問題については、有機的なエネルギーの供給については、すでにある程度の実験結果を得ているが、無機的な供給については残念ながら十分な資料が得られなかった。この点については、今後、研究をすすめていかなければならぬところである。

参考文献

- 1) 宮下充正(1970): 水泳の科学, 杏林書院

自転車競技におけるハイスピードの分析

日本女子体育大学 山川 純

I 自転車競技について

自転車競技の特質は次の通りである。

1) 競技に使用される自転車については特に規定がなく、スピードに直接関係があると思われるギヤ比、自転車の重量、クラシックの長さ、タイヤ、フレームサイズ等が自由に選択できる。

2) 自転車のクラシック一回転による車輪の走行距離は、ギヤ比により異なる。一般に使われるギヤ比の範囲では、一回転走行距離 6.5m~7.5m である。ギヤ比は、選手が当日の condition により選択し、競技の作戦の一つとされる。

3) 陸上競技と比較すると表1の通りである。すなわち、自転車ではクラシック回転数（陸上の歩数と等しい）から見ると陸上競技とほぼ等しいが走行距離（陸上の歩幅）は約2倍に近く、したがって自転車の 1000m タイムトライアルは、陸上競技の 500m 走に相当すると思われる。

II 自転車競技の速度について

1) 自転車競技における速度の増大には、次のことが考えられる。

$$V \text{ の増大} = \frac{Pd(\text{一回転距離の増大})}{Pt(\text{一回転時間の短縮})}$$

2) Pd の増大

自転車の場合、一回転距離の増大は、ギヤ比によって機械的に増大させ得る。ギヤ比は、前ギヤ

表1 自転車競技と陸上競技の比較

自転車競技	陸上競技
一回転距離(2歩)約 7 m クラシック 3回(6歩)/sec 回転数	歩幅(2歩) 約3.5m 歩数 5.5~6歩/sec
記録 { 200m 10"79 1000m 67"27	記録 { 100m 10"0 400m 43"7
速度 { 200m 18.54m/sec 1000m 14.87m/sec	速度 { 100m 10.0m/sec 400m 9.15m/sec

表2 ギヤ比と回転数の関係

ギヤ比	一回転走行距離	1000m回転数	200m回転数	48×20を100として(%)
48×20	2.40	5.09	196.46	39.29
48×19	2.53	5.36	186.56	37.31
48×18	2.66	5.64	177.30	35.46
48×17	2.82	5.98	167.22	33.44
48×16	3.00	6.36	157.23	31.45
46×15	3.07	6.51	153.61	30.72
50×16	3.13	6.63	150.83	30.17
48×15	3.20	6.78	147.49	29.50
49×15	3.27	6.93	144.30	28.86
46×14	3.29	6.97	143.47	28.69
50×15	3.33	7.06	141.64	28.33
47×14	3.36	7.12	140.44	28.09
51×15	3.40	7.20	138.88	27.78
48×14	3.43	7.27	137.55	27.51
52×15	3.47	7.35	136.05	27.21
49×14	3.50	7.42	134.77	26.95
50×14	3.57	7.56	132.27	26.46
51×14	3.64	7.71	129.70	25.94
52×14	3.71	7.86	127.22	25.45

と後輪のギヤとの比率で、ギヤ比の大きい程、クラシック一回転による走行距離は増す。その結果 1000m タイムトライアル等一定距離を走る種目では、回転数が減少する。

ギヤ比と一回転距離及び 1000m 回転数の関係は、表2の通りである。一般によく使われているのは、48×15(3.20) から 52×14(3.71) の間であるが、後者の一回転距離は前者の 13.4% 増になっている。

ギヤ比により、機械的に Pd を増し得るとはいえる、大きいギヤ比の自転車を踏むためには、より大きい筋力を必要とすることはもちろんであり、これを踏みこなした時、始めて Pd を増大させることができるのである。

3) Pt の短縮

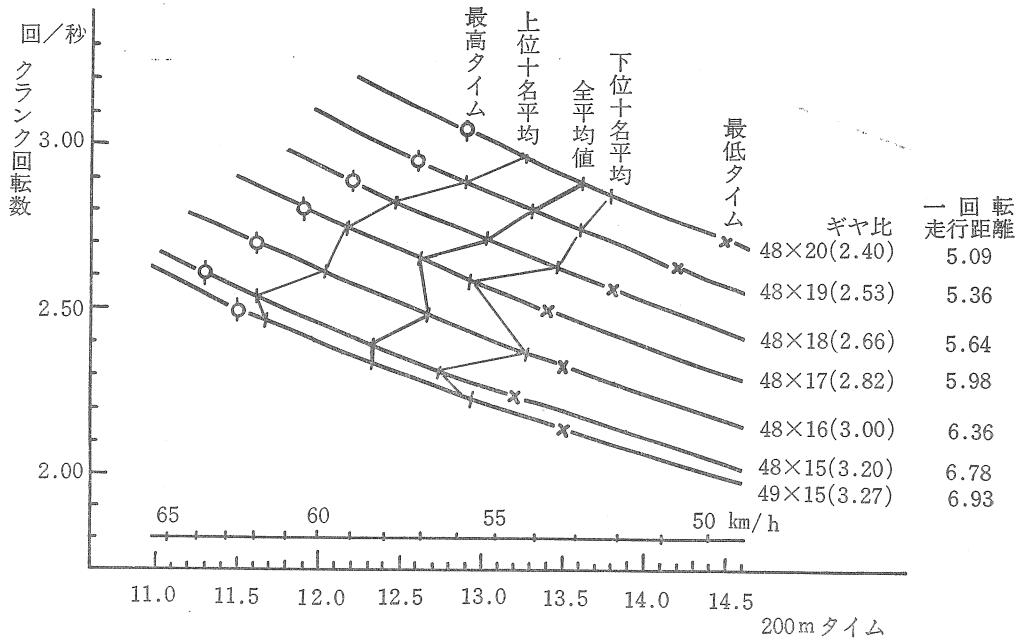


図 1 ギヤ比別、回転数一速度の関係

自転車の場合、1回転所要時間はギヤ比の大小と著しく関係が深い。ギヤ比が大きくなると回転時間は増す傾向がある。

毎秒当り回転数について見ると、 $48 \times 20(2.40)$ のギヤ比で 200m ダッシュの際に得られた、3.05 回/sec (0.328秒) が最大であった。もしこの回転時間で 1000m を走行しようとすれば、ギヤ比 2.4 で、

$$V = \frac{5.09 \text{ (距離)}}{0.328 \text{ (時間)}} = 15.52 \text{ m/sec}$$

となり、1000m を 1分02秒9 の記録となる。この記録から見ると、一回転所要時間の限界は、0.328秒前後と思われる。したがってギヤ比を大きくして、この回転時間を維持することが、自転車の速度を増大する方法と思われる。

III 実験結果について

A. ギヤ比・回転数・速度の関係 方 法

日本自転車振興会競輪学校では、選手養成のための訓練を行なっているが、8カ月の訓練期間中に各種のギヤ比の自転車を使っている。また毎週 200m ダッシュ及び 1000m 走のタイム計測を行な

表 3 ギヤ比、回転数、速度の比較

	48×20	48×17	変化率
回転数(回/sec)	2.89	2.65	91.7%
ギヤ比	2.40	2.82	117.5
タイム	13"61	12"61	107.9
	48×17	49×15	変化率
回転数(回/sec)	2.65	2.34	88.3%
ギヤ比	2.82	3.27	116.0
タイム	12"61	12"32	102.4

っているので、この記録を利用して、回転数、ギヤ比、速度の関係を分析した。被検者は第26回生 100名である。

結果及び考察

200m ダッシュ時における回転数、ギヤ比、速度の関係は図 1 の通りである。基線はそれぞれのギヤ比について、速度回転数を算出したものである。100名の平均値、タイム上位者及び下位者各 10 名の平均値、最高タイム及び最低タイムについて記入した。

- 1) 最もギヤ比の小さい 48×20 から 48×17 迄

は、ギヤ比が大きくなるのに反して回転数は減少しているが、速度は比較的直線的に早くなっている。そこで 48×20 と 48×17 の各値について比較検討した（表3参照）。

全平均値について見ると、 48×20 に対して 48×17 ではギヤ比の増大は 17.5% であるが、回転数が 8.3% 減少しており、その結果速度は 7.9% 増している。つまりギヤ比 1% の増大に対して、回転数は 0.5% の減少を示している。速度の増加分は両者の差に相当する。

2) ギヤ比 48×17 から更にギヤ比が大きくなると、速度の増大は直線的でなくなる。 48×17 と 49×15 を比較して見ると、次の通りである。

この両者の間におけるギヤ比の増大は、16.0% であるのに対して、回転数は 11.7% も減少しており、この間の速度の増大は 2.4% に過ぎない。つまりギヤ比 1% の増大に対して回転数は 0.73% も減少しており、ギヤ比を増した効果が、回転数の減少によって消されている。

3) タイムの良い者と悪いものを比較すると、タイムの良い者では 48×15 のギヤ比迄、やや直線的に速度が増大している。これに対してタイムの悪い者では 48×17 を越えると、回転数の減少が著しくなり、速度は殆んど増大していない。

表4 被検者一覧表

	氏名	身長 (cm)	体重 (kg)	200m タイム (自己最高)	1000m タイム (自己最高)
1	岩元	172.8	77.5	11"9	1'11"8
2	秋田	163.1	63.5	12"0	1'12"7
3	棚橋	170.1	64.0	12"0	1'13"3
4	山下	172.8	61.5	12"1	1'14"5
5	中野	179.0	86.0	12"3	1'15"3
6	山崎	171.5	62.5	12"1	1'14"9
7	永原	172.0	64.5	12"5	1'19"4
8	久米	174.9	71.5	12"7	1'18"7

1～4番は29回生 1971.12測定

5～8番は30回生 1972.3測定

表5 ギヤ比別運動中 O_2 摂取量

氏名	O_2 摂取量		増加率 (%)
	$46 \times 14(l)$	$48 \times 14(l)$	
岩元	2.42	2.34	96.7
秋田	2.24	2.34	104.5
棚橋	2.25	2.24	99.6
山下	2.55	—	—
中野	2.51	2.78	110.8
山崎	2.42	2.39	98.8
永原	2.28	2.25	98.7
久米	2.48	2.70	108.9
平均値	2.371	2.434	102.6

結論

ギヤ比を増すと回転数が減少する。したがってギヤ比の選択については、個人の Pt と Pd の関係を明らかにした上で、選択する必要があると思われる。

B. ギヤ比別 O_2 需要量

目的

Aにおいて、ギヤ比が大きくなると回転数の減少の割合が大きくなり、速度の増加の割合が小さくなつた。そこでギヤ比別の O_2 需要量を測定しギヤ比増大の意義を明らかにしたいと考えて、本実験を行なつた。

方法

今回は 46×14 (3.29) 及び 48×14 (3.43) の 2 種のギヤ比について測定した。測定は人体出力測定機により、両ギヤ比ともに 50km/h の速度で 1 分間踏ませ、その後椅子座位で 41 分迄安静状態を保たせた。安静座位、運動中、回復期の全過程を通じて、ダグラスパックに呼気を採氣して、換気量、 O_2 及び CO_2 濃度の分析を行なつた。

被検者は自転車に習熟した日本競輪学校の生徒であり、表4はその一覧表である。

結果及び考察

1) 運動中 O_2 摂取量

2種のギヤ比による運動中の O_2 摂取量は、表5の通りである。 46×14 では平均 $2.371l$ に対し 48×14 は $2.434l$ で、ギヤ比の大きい方が運動中

表6 ギヤ比別 O_2 負債量

氏名	O_2 負債量		増加率(%)
	46×14(l)	48×14(l)	
岩元	4.07	5.22	128.3
秋田	5.04	7.45	147.8
棚橋	5.99	8.46	141.2
山下	4.43	—	—
中野	5.35	6.11	114.3
山崎	5.02	7.20	143.4
永原	5.70	6.28	110.2
久米	3.47	5.81	167.3
平均値	4.949	6.647	136.07

表7 ギヤ比別 O_2 需要量

氏名	O_2 需要量		増加率(%)
	46×14(l)	48×14(l)	
岩元	6.49	7.55	116.4
秋田	7.28	9.79	134.4
棚橋	8.24	10.70	129.9
山下	6.97	—	—
中野	7.86	8.89	113.2
山崎	7.44	9.59	128.9
永原	7.97	8.53	107.0
久米	5.95	8.51	143.1
平均値	7.319	9.079	124.7

の O_2 摂取量は約2.6%多いが、統計的に有意の差を示めさなかった。つまりギヤ比が変わっても、50km/h 1分間という同一作業量の場合には、運動中の O_2 摂取量は、ほぼ等しいと云うことになる。

2) O_2 負債量

O_2 負債量については、表6の通りである。46×14については平均 4.946 l に対して、48×14では 6.645 l で、全員においてギヤ比の大きい方が O_2 負債量が大きかった。増加率は平均36.1%で5%の危険率で有意の差を示した。

3) O_2 需要量

自転車における 50km/h の速度で1分間の O_2 需要量は、表7の通りである。46×14の 7.317 l に対し、48×14では 9.079 l となり、平均24.7%の増大を示した。

一回転走行距離は、46×14は 6.97m、48×14は 7.27m であるから、ギヤ比の増大により一回転距離は4.3%増している。しかし1分間回転数は46×14は119.56回転、48×14は114.62回転で、回転数は4.3%減少となるわけであり、機械的仕事量は一定であるのに、 O_2 需要量は約25%増した。

このことは、ギヤ比が増すと一回転に要する筋力の増大の割合が、かなり大きいことを示している。つまり一回転毎に筋の消費するエネルギーの増加の方が、回転数5回の減少によるエネルギーの減少を上回っていることを意味している。特に O_2 需要量の差は、 O_2 負債量の増加によるもので筋の無酸素的活動の部分が大きくなっていると考えられる。

III 論 議

以上の点から考えると、自転車競技において Pd の増大、すなわち1動作による走行距離の増大は、自転車のギヤ比により機械的に可能ではあるが、しかし自転車を動かす人間側に問題がありそうである。Pd の増大としてギヤ比を大きくする場合は、各人の筋力や O_2 負債能力と見合わせる必要がある。筋力の小さい者では、むしろ小さいギヤ比で回転速度を高め、Pt の部分で速度を大きくするように考えた方がよい場合も考えられる。

しかし Pt 回転時間の短縮には限度がある。したがって速度を高め、かつこれを維持するためには、次のことが考えられる。

①脚筋力を高める。②最大酸素負債能力を高める。ことにより、大きいギヤ比で、回転力を落さないことが可能になると思われ、これによりハイスピードを維持することが可能になると思う。

今後に残される問題

本プロジェクトチームが1971年度において行なった研究結果をまとめ、反省してみると、以下に示すような、いくつかの未解決の問題が残った。

① ハイスピード持続能力のエネルギーという面での基盤となる酸素消費量については、猪飼、生田、青木らの研究によれば、最高スピード、あるいは最大パワー発現にいたる6～7秒までの間での酸素需要量が極めて多いことが明らかとなった。本プロジェクトチームが当初考えていたのはその最高スピードの持続という点であったが、その持続という面も、そのスピードを発揮するまでの経過と連続的であるため、やはり、今後、研究されなければならないであろう。

② 猪飼、生田らの自転車エルゴメーターによる50秒間の全力の運動の仕事量の経過からみて、鍛練者といえども、かならず低下していくことが明らかとなった。このことは、最大パワーを発揮した後、そのパワーの低下をいかに止めるかという問題であるが、これは50秒間という時間内になされる全仕事量によって、改めて検討されるべきである。すなわち、運動の初期に最大パワーより

も低い水準から続行することの方が、その後のパワーの低下の度合を少くし、ひいては全仕事量の増大につながる可能性があるからである。

③ ②の問題はペースの問題として、金原、高松らによって反復の速さという点で追求され、いくつかの結論が示されたが、これを実際の場面へ応用する実験的研究が必要であろう。

④ 次いで金子は、同様に部分運動について発揮する力の違いが運動遂行のスピードの低下にどのように影響するかを実験的に明らかにした。この場合、さらに反復の頻度、すなわちピッチを変えることによって、どのような影響を受けるかを明らかにする必要がある。

⑤ 山川、宮下らはこの点を自転車競技や水泳競技の実際から検討を加えたが、さらに資料を増加させることによって、一層明確なものとなるであろう。

⑥ 金原、宮下らは走及び泳運動を写真分析により、ハイスピード持続能力をキネシオロジー的に解明しようと試み、運動の特徴をそれぞれ指摘した。今後これらの結果を前述の生理的な面での分析結果を統合し、結論を得る方向に向う必要があろう。

