

昭和52年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. XII 酸素摂取水準の維持能力に関する研究

—第 3 報—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会



# 昭和52年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

## No. XII 酸素摂取水準の維持能力に関する研究

### — 第 3 報 —

#### — 最大酸素摂取量と定常状態維持可能な % $\dot{V}O_2\text{max}$ との関係 —

報 告 者 (財) 日本体育協会スポーツ科学研究所

黒 田 善 雄      雨 宮 輝 也      塚 越 克 巳  
伊 藤 静 夫      金 子 敬 二      松 井 美 智 子

#### I はじめに

われわれはすでに日本人の一競技選手を対象に有酸素的作業能力の指標とされている最大酸素摂取量の測定を競技種目別に実施してきた<sup>1)2)</sup>。その結果持久性を必要とする競技種目であるマラソン、長距離、スキーディスタンスが高い値を示すことが判明した。このことは競技において高い有酸素的能力が決定的な要因になっていると思われる。しかしながらほぼ等しい最大酸素摂取量( $\dot{V}O_2\text{max}$ と表示)を持つ選手間においてPerformanceに差があることも事実である<sup>5)</sup>。そこで最大下の高い酸素摂取水準の維持能力に関する研究を進めてきた<sup>3)4)</sup>。この研究結果によるとほぼ等しい% $\dot{V}O_2\text{max}$ の負荷による維持能力を比較してみると、 $\dot{V}O_2\text{max}$ がことなると維持能力に差は認められるし、またほぼ同じ $\dot{V}O_2\text{max}$ をもつ両者においても、相対負荷にもかかわらず維持能力に差は認められた。

本研究はこの一連の研究の一関として $\dot{V}O_2\text{max}$ の大小により、最大下の一定の各種% $\dot{V}O_2\text{max}$ での走行から定常状態に破綻を来す分岐点を把えてみようとしたものである。

#### II 実験方法

##### 1. 被 検 者

できるだけ異った $\dot{V}O_2\text{max}$ をもつ被検者を配列する意図のもとに表1に表すごとく7名の被検者である。その内M.Mのみ女性である。

表1 被検者の身体的特性

被 検 者	性	年 齢 yr.	身 長 cm	体 重 kg	$\dot{V}O_2\text{MAX.}$		備 考
					l/min.	ml/kg.min	
K. T.	♂	42	1780	800	2821	3526	研究職
M. M.	♀	24	1600	530	2101	3965	//
K. K.	♂	25	1730	730	3654	5006	//
T. A.	♂	36	1650	678	3398	5011	//
S. I.	♂	29	1670	558	3445	6173	//
K. I.	♂	21	1673	530	3557	6749	学生 長距離選手
M. N.	♂	25	1695	524	3692	7046	//

##### 2. 最大酸素摂取量の測定

最大酸素摂取量の測定方法は傾斜5度のトレッドミル走による速度漸増法である。トレッドミルのスピード設定は各人の能力に合わせスタートから3分まで一定スピード、以後2分ごとに20mづつ増加させexhaustionに至らしめた。exhaustion前2分間の各1分ごとに呼気を採集し、酸素

摂取量を求めてその大きい値を各被検者の  $\dot{V}O_2$  max とした。

### 3. 運動強度の設定

各被検者の  $\dot{V}O_2$  max を基準にして、各被検者の最大下の各  $\dot{V}O_2$  max を設定するためにトレッドミルの傾斜をフラットの一定に保ち、3種のスピードでおのおの6分間走行を行った。走行中5分から6分の呼吸を採集し、酸素摂取量を求めた。各スピードでの走行間隔は心拍数が安静時にほぼ回復したのち走行を開始するようにした。

以上のようにしてトレッドミルのスピードと  $\dot{V}O_2$  max との関係を作成し、定常状態維持可能な分岐点の  $\dot{V}O_2$  max を求めるために負荷した運動は4種類のトレッドミル一定スピードでの15分間走とした。観察を意図した  $\dot{V}O_2$  max は60, 70, 80, 90%  $\dot{V}O_2$  max とした。

### 4. 測定項目

イ. 心拍数, 呼吸数 胸部双極誘導法により心電図を誘導し、トレッドミル走行中15分間連続記録することにより心拍数を求めた。また呼吸数については採気用マスク内にサーミスターを装置し呼吸曲線を走行中連続記録することにより心拍数と同様1分間の数をすべてかぞえた。

ロ. 換気量, 酸素摂取量 トレッドミル走行開始5分以降運動終了まで1分ごとにダグラスバックに呼吸を連続採気した。採気した呼吸は乾式ガスメーターを通して換気量を求め、一部をショランダー微量ガス分析器にて分析し酸素摂取量を求めた。

ハ. トレッドミルのスピード及びピッチの測定, トレッドミルのドラムに光電管を設置し、円周2mのドラムの2か所に光電管をさえぎる接点をつくり、ドラムが回転中接点から接点の時間を読みとり、記録した。ピッチについてはトレッドミルの走行板にストレンゲージをはりつけ、足圧からトレッドミル走行中連続記録し、1分間のピッチ数を算出した。

ニ. 直腸温, 食道温 直腸温用熱電対温度計(デンマーク・エラブ社製)を用い肛門部約8cmの深さに挿入した。

食道温の測定には食道温用熱電対温度計(エラブ社製)を鼻腔より約50cmの横隔膜直上の深部

食道まで挿入した。直腸, 食道温ともに記録は打点式自動温度記録計(デンマーク・エラブ社, Z 94-B)によって運動中及び運動終了後10分間連続記録した。

ホ. 12分走テスト 400 m トラックを使用して十分なるウォーミングアップ後ひとりづつ12分間走のテストを実施した。

ヘ. 実験の実施期日 実験は1978年9月から10月にわたり実施した。一日に一条件の走行とし、トレーニング効果の現われないように十分配慮した。実験室内は温度20℃, 湿度60%の一定に調節された温湿度調節室で実施した。

## III 結果と考察

図1~4は得られた結果の内4例について測定項目のすべてを運動開始から終了まで及び運動後10分までの値を示したものである。すなわちトレッドミルのスピード, ピッチ, 酸素摂取量, 心拍数, 換気量, 呼吸数, 食道温, 直腸温の変化である。

本実験に先立ちスピードと酸素摂取量の関係から  $\dot{V}O_2$  max を求めた中から60, 70, 80, 90%  $\dot{V}O_2$  max に該当するスピードで15分間走行を実施し、運動開始5分以降の平均酸素摂取量から  $\dot{V}O_2$  max を求めてみると表2のように各被検者

表2  $\dot{V}O_2$  max の一覧表

被検者		60% $\dot{V}O_2$ max	70% $\dot{V}O_2$ max	80% $\dot{V}O_2$ max	90% $\dot{V}O_2$ max
K. T	$\bar{x}$	60.1	69.4	80.7	95.0
	S, D	2.19	1.56	1.33	3.13
M. M	$\bar{x}$	58.8	70.3	73.8	94.2
	S, D	1.50	1.03	2.27	2.40
K. K	$\bar{x}$	60.7	70.0	80.7	90.9
	S, D	0.78	2.25	1.43	1.21
T. A	$\bar{x}$	62.5	72.8	81.1	84.2
	S, D	0.84	1.50	1.98	1.84
S. I	$\bar{x}$	57.7	67.5	83.8	95.8
	S, D	1.03	2.17	1.82	2.29
K. I	$\bar{x}$	58.3	71.4	77.7	86.4
	S, D	0.99	1.82	0.94	1.25
M. N	$\bar{x}$	59.8	66.3	82.9	89.5
	S, D	0.70	0.91	1.22	0.98

$\bar{x}$ : 平均 S, D: 標準偏差

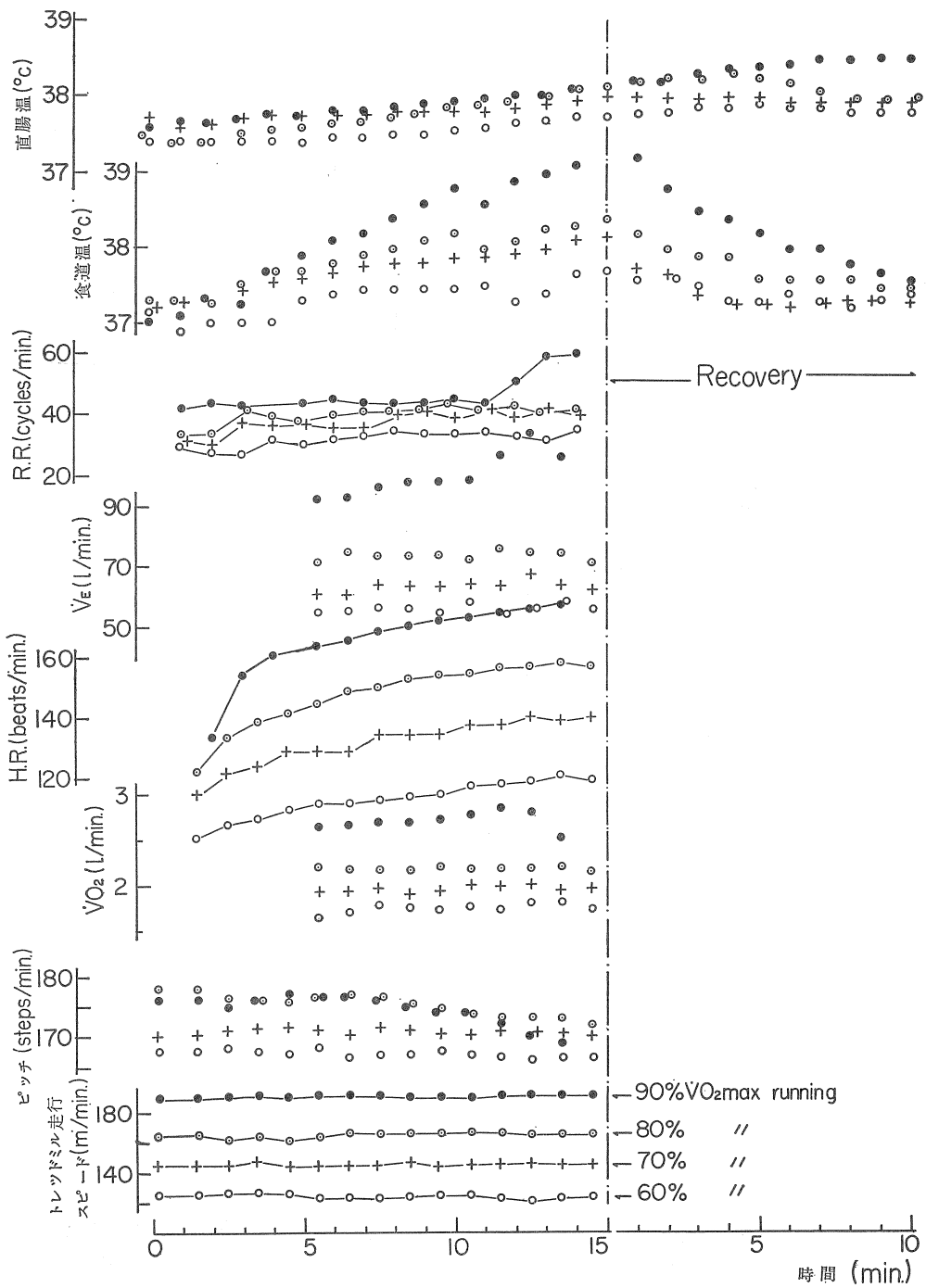


図1 4種のスピードで走行した際のスピード, ピッチ,  $\dot{V}O_2$ , H.R.,  $\dot{V}_E$ , R.R., 食道温, 直腸温の変化 (Subj. T.K.)

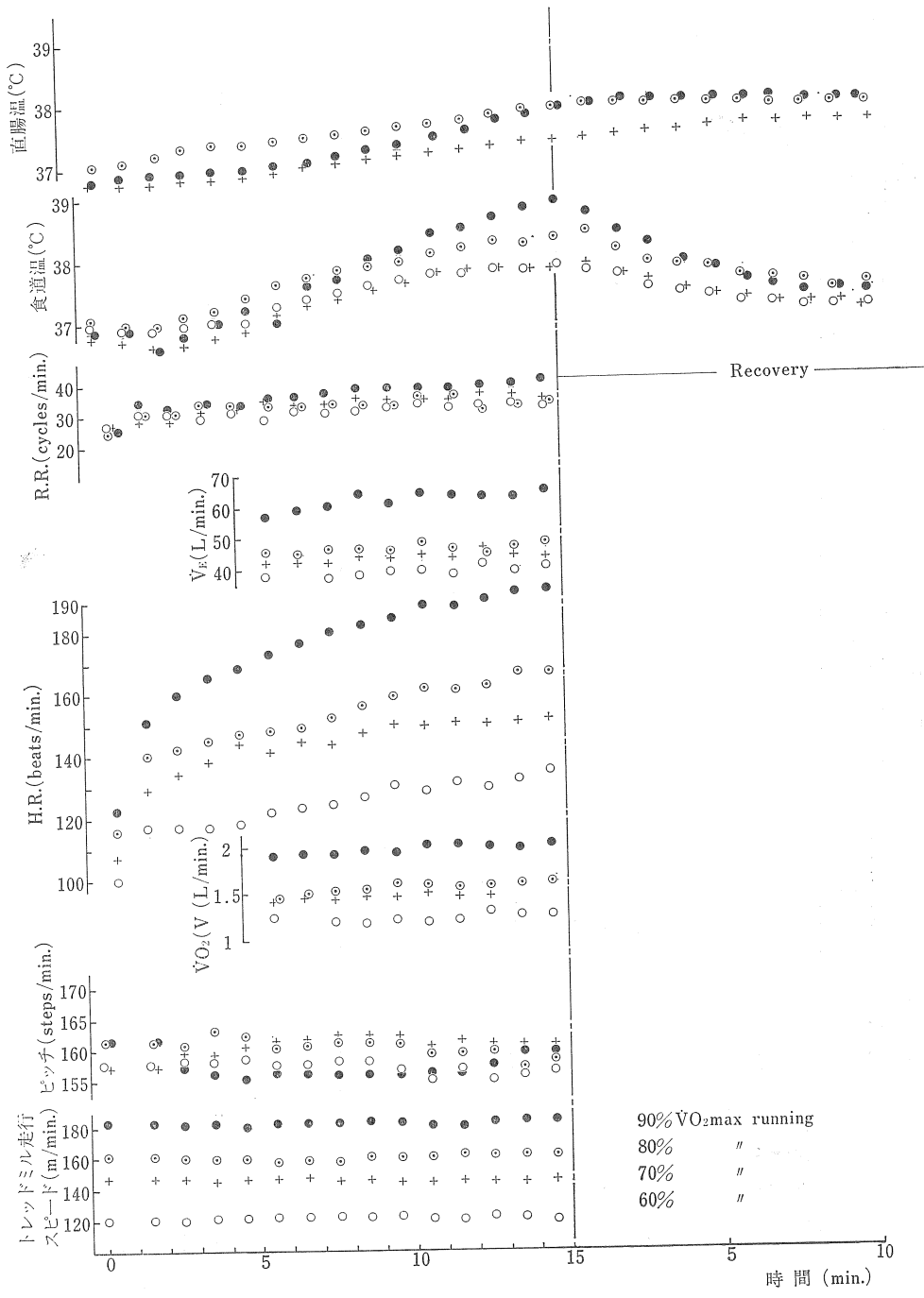


図2 4種のスピードで走行した際のスピード、ピッチ、 $\dot{V}O_2$ 、H.R.、 $\dot{V}_E$ 、R.R.、食道温、直腸温の変化 (Subj. M.M)

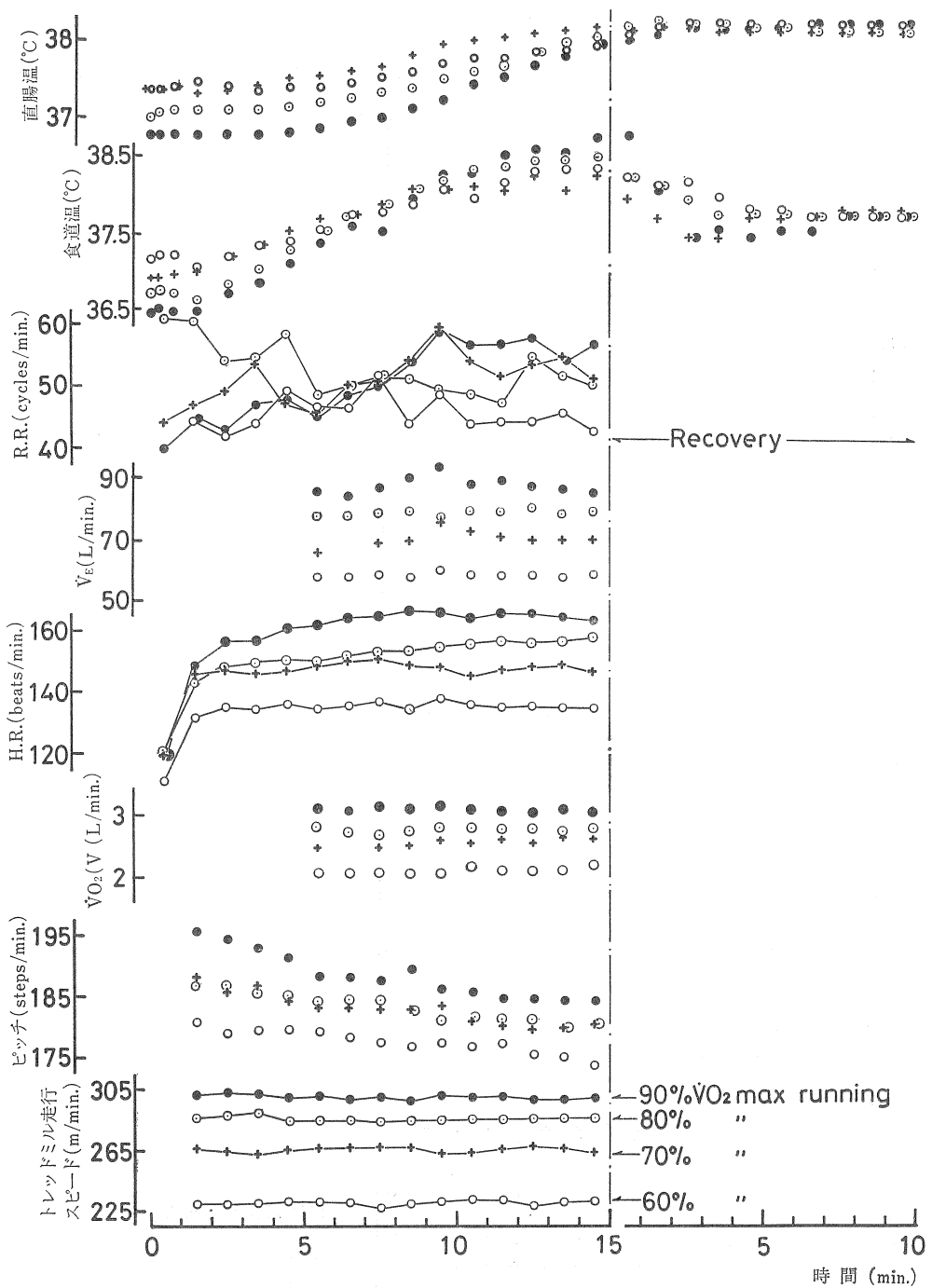


図3 4種のスピードで走行した際のスピード、ピッチ、 $\dot{V}O_2$ 、H.R.、 $\dot{V}_E$ 、R.R.、食道温、直腸温の変化 (Subj. K.I)

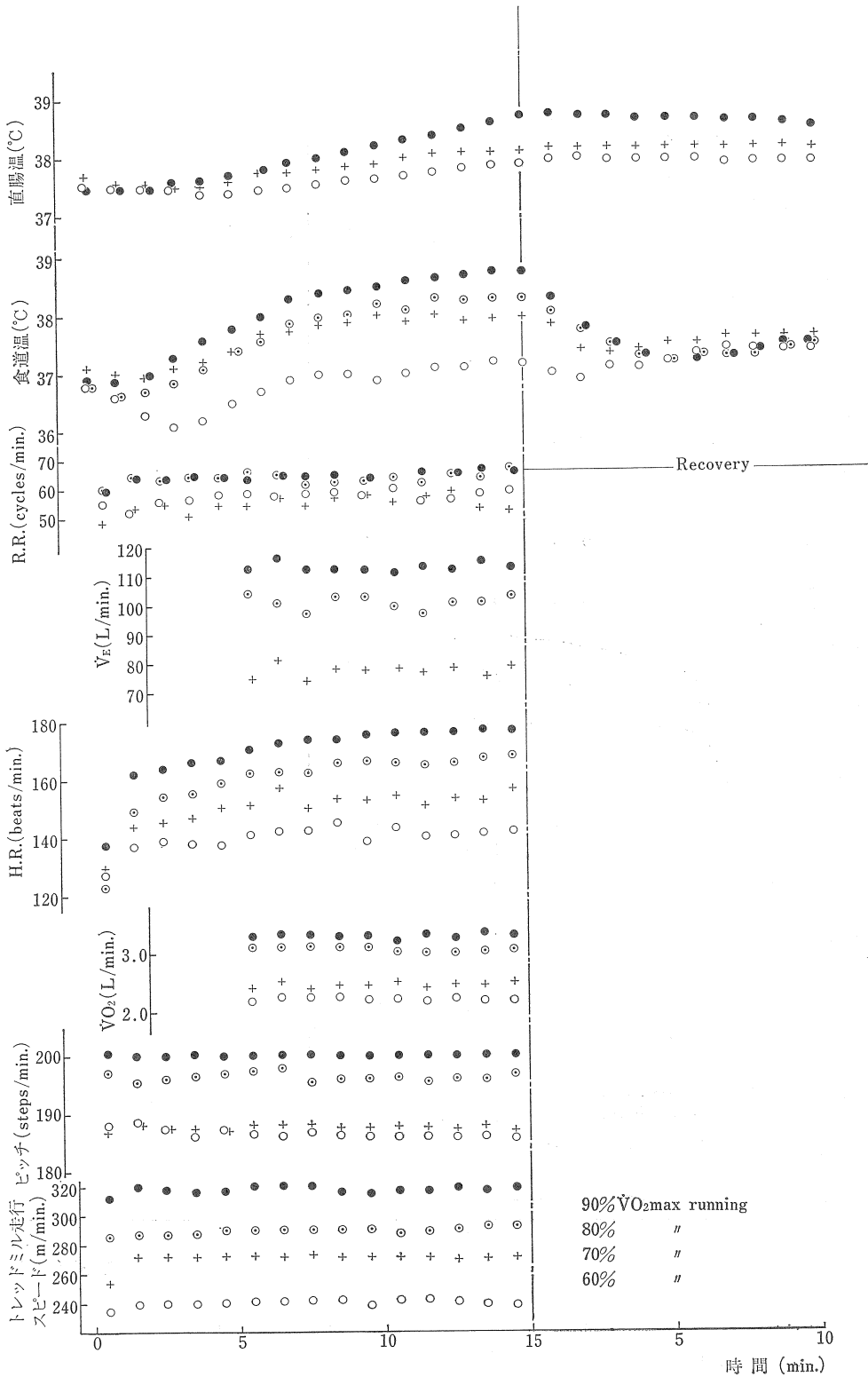


図4 4種のスピードで走行した際のスピード、ピッチ、 $\dot{V}O_2$ 、H.R.、 $\dot{V}_E$ 、R.R.、食道温、直腸温の変化 (Subj. M.N)



によって当初設定した $\% \dot{V}O_2\max$ より多少ことな  
った値を示したが、大巾な変動はみられなかった。

一般に運動を開始すると酸素摂取量は安静時に  
比べ増加する。運動開始後2~3分経過すると酸  
素運搬系が運動に適応して定常状態になるといわ  
れている。しかし運動強度が強くなると運動の  
持続に伴い酸素摂取量は徐々に上昇し、運動に見  
合った酸素の摂取が不可能になる。そこで一応定  
常状態維持可能な $\% \dot{V}O_2\max$ の分岐点を把えるた

表3 走行スピードとピッチ数

被 検 者	強 度	スピード m/min			ピッチ数 s/min		
		$\bar{x}$	SD	CV	$\bar{x}$	SD	CV
K.T	60	124,51	1,10	0,88	166,89	0,78	0,47
	70	145,11	0,77	0,53	170,69	0,60	0,35
	80	165,03	1,05	0,64	175,09	1,80	1,03
	90	190,75	1,17	0,61	174,28	2,47	1,39
M.M	60	121,41	0,77	0,63	157,09	1,13	0,72
	70	145,51	1,11	0,76	160,69	1,40	0,85
	80	160,30	1,08	0,67	160,50	1,61	1,00
	90	182,16	1,09	0,60	157,18	1,73	1,10
K.K	60	170,40	1,15	0,67	166,71	1,01	0,61
	70	195,24	1,16	0,59	176,21	1,30	0,74
	80	221,26	1,90	0,86	186,12	2,21	1,19
	90	250,90	1,33	0,53	184,70	4,58	2,48
T.A	60	170,14	1,36	0,80	173,44	1,36	0,78
	70	191,26	0,85	0,44	177,64	1,62	0,91
	80	212,06	1,38	0,65	170,91	1,52	0,89
	90	219,86	1,56	0,71	175,12	0,93	0,53
S.I	60	195,59	1,38	0,71	166,03	0,52	0,31
	70	232,52	1,73	0,74	173,63	1,51	0,86
	80	266,85	1,58	0,59	175,65	1,18	0,67
	90	299,97	2,56	0,85	176,85	4,66	2,64
K.I	60	231,37	1,51	0,65	177,84	1,85	1,04
	70	265,27	1,53	0,58	183,05	2,48	1,35
	80	286,34	1,45	0,51	183,52	2,13	1,16
	90	300,40	1,51	0,50	188,59	3,73	1,98
M.N	60	240,36	1,14	0,47	186,53	0,75	0,40
	70	271,26	0,99	0,36	187,57	0,32	0,17
	80	299,97	1,78	0,59	196,31	0,76	0,39
	90	318,26	1,74	0,55	200,41	0,70	0,35

強 度： $\% \dot{V}O_2\max$      $\bar{x}$ ：平均  
SD：標準偏差  
CV：変動係数

めに、運動開始立上りの酸素摂取量は除外し運動  
開始5分以降の変化とした。

### 1. スピードについて

トレッドミルのスピードが変化するとスピード  
の増加に伴い酸素摂取量も増加するのが一般的で  
ある。従って今回の実験のように定常状態の運動  
ではスピードは一定でなければならない。

そこでスピードの変化について各被検者が4種  
類のスピードで走行した際の一覧表を表3に示  
した。平均スピードは121 m/min から最高318  
m/min であって、標準偏差は0.77mから2.56m,  
変動係数になおすと0.36%から0.88%以内にあっ  
て、いずれのスピードでもほぼ一定のスピードで  
の走行であったと思われる。同時に測定したピッ  
チについては変動係数でみると0.31%から2.48%  
であってスピードの変化よりピッチ数の変動の方  
が大きい傾向がみられた。

### 2. 酸素摂取量と定常状態維持可能な $\% \dot{V}O_2\max$ との関連について

運動開始5分から運動終了15分までの時間経過  
に伴う酸素摂取量の増加あるいは減少量について  
5分から6分の値を基準にとって、増減の絶対量  
の変動を図5に示した。図に示された60%から95  
 $\% \dot{V}O_2\max$ までの各 $\% \dot{V}O_2\max$ については、得ら  
れたデータの中でこの $\% \dot{V}O_2\max$ に概当したもの  
についてのみ示した。

$\dot{V}O_2\max$ 35,3ml/kg. min と被検者の中で最も  
小さい $\dot{V}O_2\max$ を示したK. Tはすでに60%  
 $\dot{V}O_2\max$ においてすでに6分以降わずかつの上昇  
傾向を示し、定常状態が保たれていない。それ  
に対し、 $\dot{V}O_2\max$ 50.1ml/kg. min のK. Kおよび  
 $\dot{V}O_2\max$ が70.5 ml/kg. min のM. Nの両者とも  
60% $\dot{V}O_2\max$ では定常状態にある。しかしながら  
70% $\dot{V}O_2\max$ の強度になると50.1ml/kg. min の  
K. Kは6分以降急激な増加傾向にある。さらに  
90% $\dot{V}O_2\max$ になると9分でexhaustionに達し  
た。従って90% $\dot{V}O_2\max$ では7分まで増加してい  
るが、8分、9分は逆に減少傾向にある。このこ  
とは90% $\dot{V}O_2\max$ になると走行に必要な酸素需要  
量に見合う量を酸素摂取量で補うのが不可能にな  
ってきて酸素負債量に占める割合が増えて走行が  
なされているものと思われる。95% $\dot{V}O_2\max$ とさ

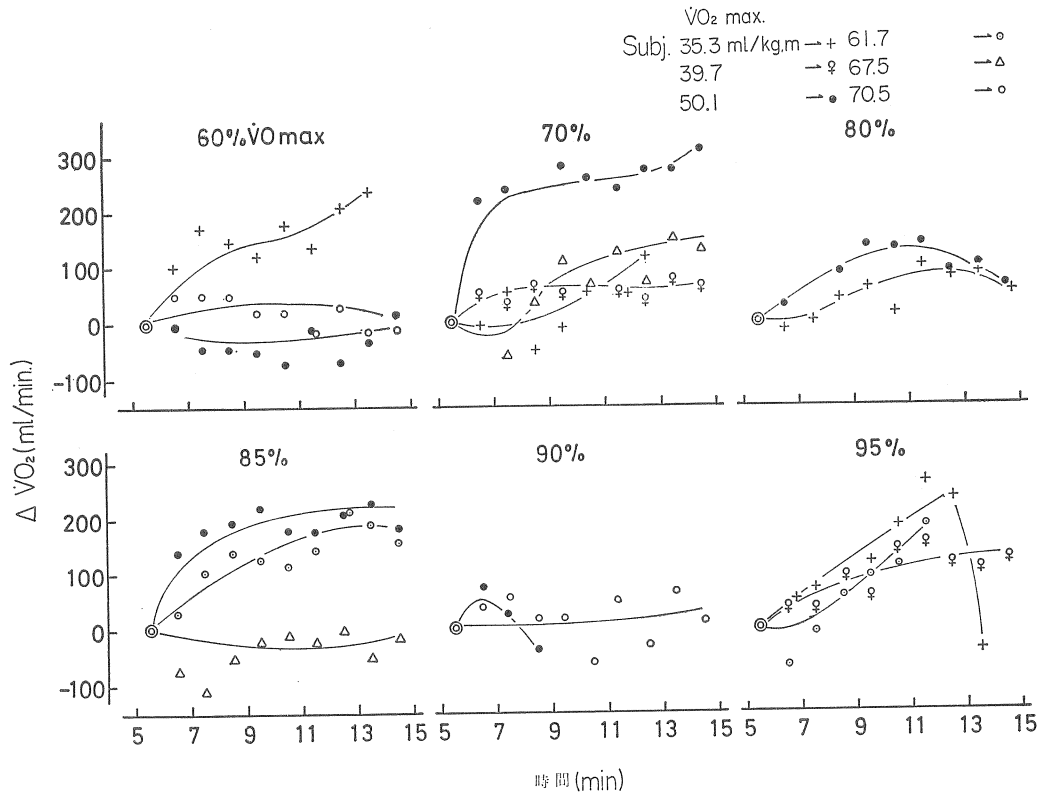


図5  $\% \dot{V}O_2$  maxと酸素摂取量の時間経過に伴う変化

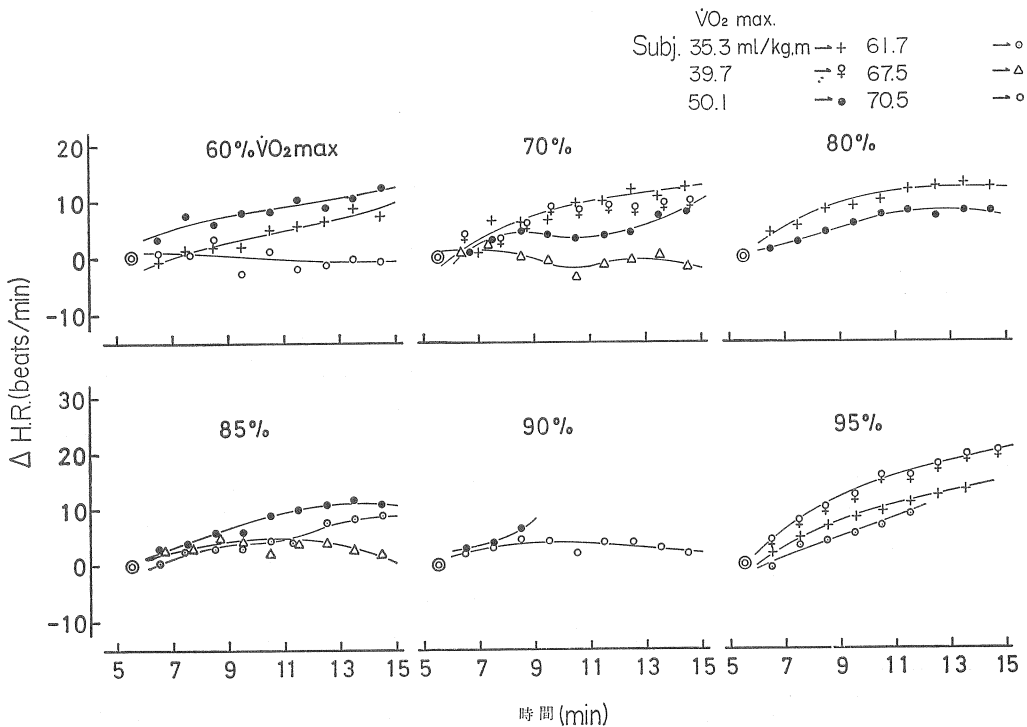


図6  $\% \dot{V}O_2$  maxと心拍数の時間経過に伴う変化

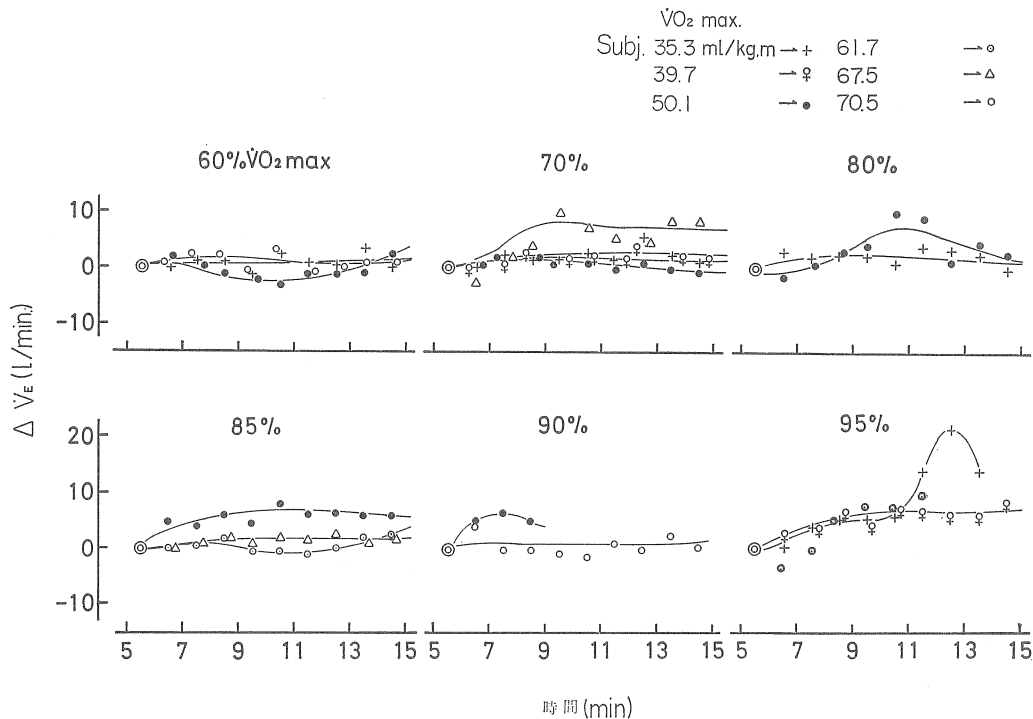


図7  $\dot{V}O_2 \text{ max}$ と換気量の時間経過に伴う変化

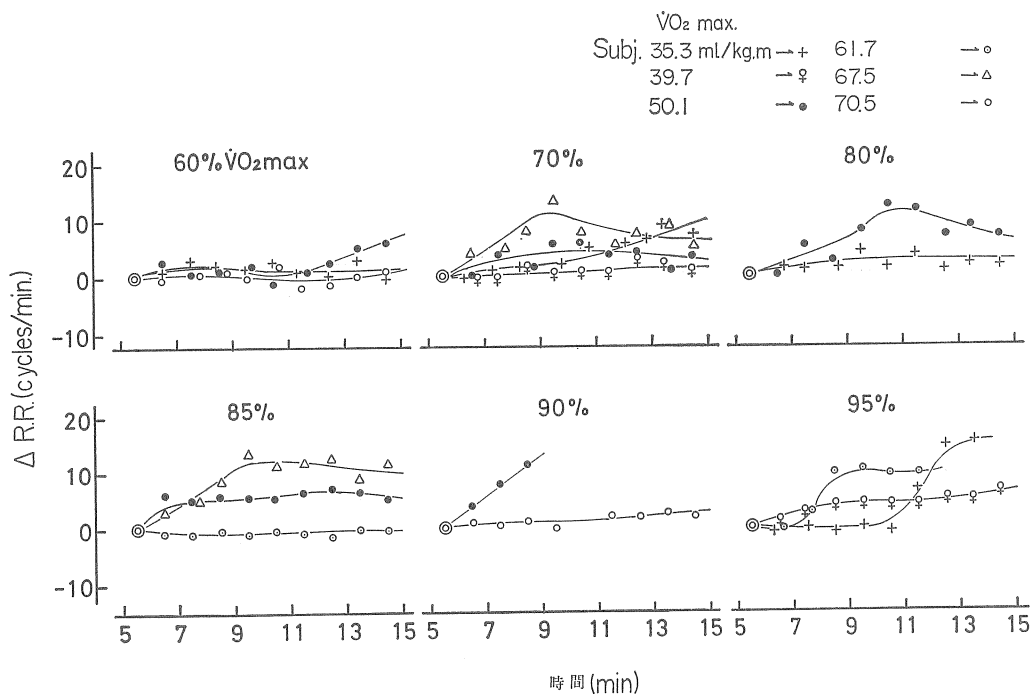


図8  $\dot{V}O_2 \text{ max}$ と呼吸数の時間経過に伴う変化

らに負荷強度が高まると  $\dot{V}O_2\max$  が61.7ml/kg. minのS. Tも12分で exhaustion に至っている。

### 3. 心拍数と定常状態維持可能な $\% \dot{V}O_2\max$ との関連について

図5で示した酸素摂取量と同一の $\% \dot{V}O_2\max$ に該当した被検者の6分以降の変動を図6に示した。

$\dot{V}O_2\max$  35.3ml/kg. minのK. Tおよび50.1ml/kg. minのK. Kにおいてはすでに60% $\dot{V}O_2\max$ において定常状態を得ることなく増加傾向を示している。 $\dot{V}O_2\max$ 50.1ml/kg. minのK. Kは酸素摂取量は60% $\dot{V}O_2\max$ ではまだ増加を認められなかったことから、心拍数の反応が早い傾向がみられる。一方 $\dot{V}O_2\max$ 70.5ml/kg. minのM. Nは60% $\dot{V}O_2\max$ での変動、 $\dot{V}O_2\max$ 67.5ml/kg. minのK. Iの70% $\dot{V}O_2\max$ では増加がなくほぼ定常状態にあった。しかしながら95% $\dot{V}O_2\max$ になる

と、 $\dot{V}O_2\max$ の大小に関係なくいずれも6分以降の心拍数の増加は著しい。従ってこのレベルになると心拍数の定常状態はありえないことが進察される。

### 4. 換気量と定常状態維持可能な $\% \dot{V}O_2\max$ との関連について

換気量についても心拍数同様 $\% \dot{V}O_2\max$ ごとの変動を図7に示した。

特に換気量の変動の中で目につくことは、90% $\dot{V}O_2\max$ の $\dot{V}O_2\max$ 50.1ml/kg. minのK. Kのように9分で exhaustion に至っている場合 exhaustionに向って増加した換気量はexhaustionの手前で逆に減少を示している。この結果と同様なパターンとしては95% $\dot{V}O_2\max$ での $\dot{V}O_2\max$  35.3ml/kg. minのK. Tの exhaustion 手前も同様である。換気量は酸素摂取量、心拍数に比べて

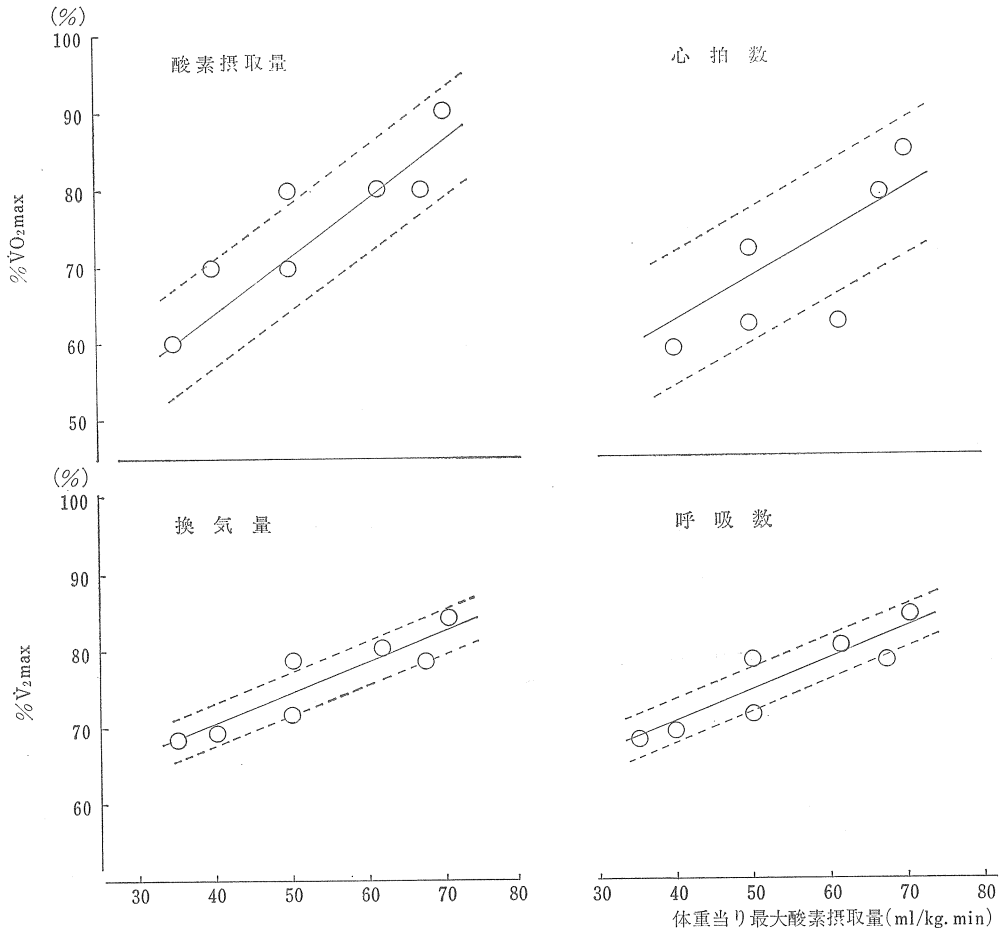


図9 最大酸素摂取量と定常状態維持可能な $\dot{V}O_2\max$ との関係

定常状態に破綻を来す% $\dot{V}O_2$ maxが高くなる傾向がみられた。

5. 呼吸数と定常状態維持可能な% $\dot{V}O_2$ maxとの関連について

呼吸数の変動については図8に示すごとくである。

60% $\dot{V}O_2$ maxでは $\dot{V}O_2$ max35.3 ml/kg. minのK. Tにおいても換気量同様6分以降ほぼ一定の値であって、70% $\dot{V}O_2$ maxの走行になると10分以降増加が著しい傾向がみられた。

特に呼吸数については90% $\dot{V}O_2$ maxでの $\dot{V}O_2$ -max50.1ml/kg. min K. Kの9分でexhaustion

の際、6分以降直線的な増加がみられたことであろう。

一定負荷の運動強度を持続するのに生体は有酸素的な過程がスムーズに働いていると、定常な% $\dot{V}O_2$ maxでの走行が可能であるが、さらに運動強度を増大させ、exhaustionに近くなると、呼吸数の直線的増大と、換気量の増大といった関係がみられる。

W. Hollmannは全身持久力の目安として、これまでの $\dot{V}O_2$ maxに代わる方法として、血中乳酸量を分析し運動強度の上昇に伴って乳酸値が4 m Molを越えると無酸素性になる<sup>6)</sup>。このような状

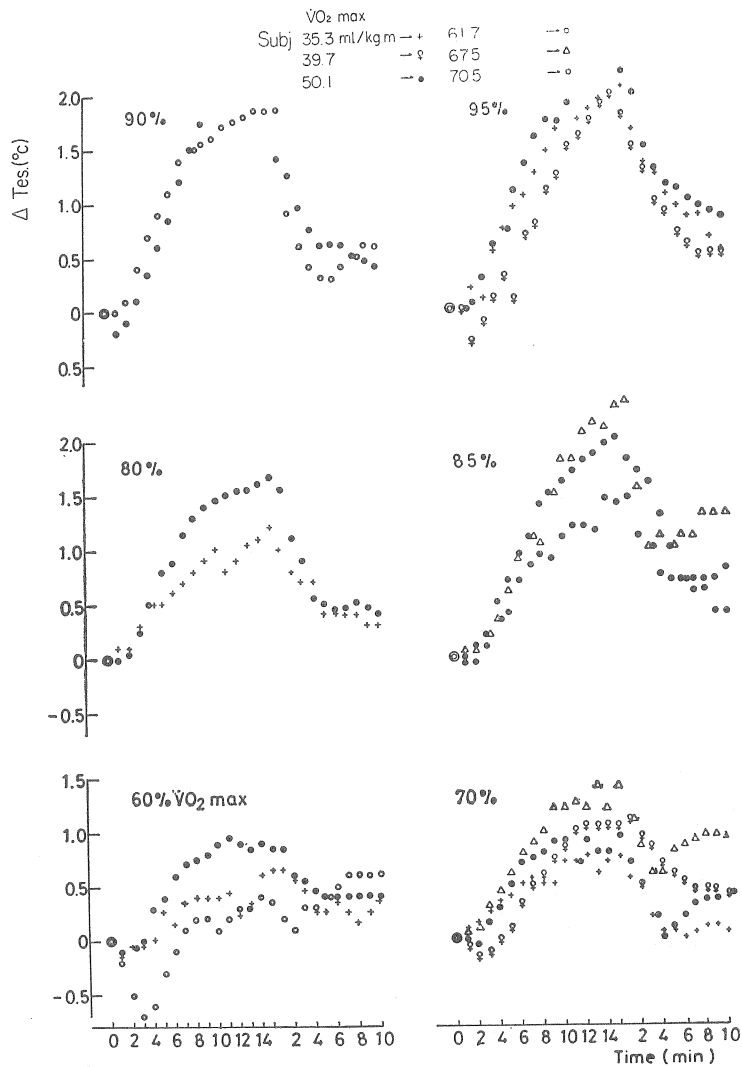


図10 % $\dot{V}O_2$ maxと食道温の時間経過に伴う変化

態では運動は長続きしないので、血中乳酸が増加を示さない状態でいかに強い運動ができるか血中乳酸値を指標にして持久性能力をみている。この有酸素—無酸素移行期は  $\dot{V}O_2\max$  が大きい者ほど運動強度が高くなってから現われることを指適し、 $\dot{V}O_2\max$  の測定によらない新しい方法を示している。

$\dot{V}O_2\max$  と定常状態維持可能な  $\dot{V}O_2\max$  について5分以降の変動から観察し、酸素摂取量、心拍数、換気量、呼吸数について  $\dot{V}O_2\max$  の大小ごとに定常状態に破綻をきたす  $\% \dot{V}O_2\max$  の分岐点を把えて図9にまとめてみた。すなわち相対的な運動強度である  $\% \dot{V}O_2\max$  の大小により、定常状態に破綻をきたす  $\% \dot{V}O_2\max$  が異なるという一定の傾向がみられるようである。しかも図9からみると、酸素摂取量、心拍数は  $\dot{V}O_2\max$  と定常状態に破綻をきたす  $\% \dot{V}O_2\max$  の分岐点がほぼ近いよう

であり、換気量と呼吸数は酸素摂取量よりも約10%  $\dot{V}O_2\max$  程度高い強度で定常状態に破綻を来す  $\% \dot{V}O_2\max$  との分岐点があるように思われた。

#### 6. 体温と定常状態維持可能な $\% \dot{V}max$ との関連について

食道温と直腸温については60~95%  $\dot{V}O_2\max$  について運動開始から運動終了後10分までの変動を連続的に図10、11に示した。

食道温、直腸温とも運動開始の値を基準にすると、開始直後の初発下降後運動終了まで順次増加の傾向がみられる。特に食道温は直腸温に比べ上昇が早く  $\% \dot{V}O_2\max$  が高くなると直線的な上昇を示し、運動が終了すると直腸温よりも減少が早いようである。それにたいし直腸温は  $\% \dot{V}O_2\max$  が低いとわずかな上昇が続き、運動が終了しても数分は増加または同じレベルの値を保ってから減少するといった傾向にある。直腸温は運動を負荷

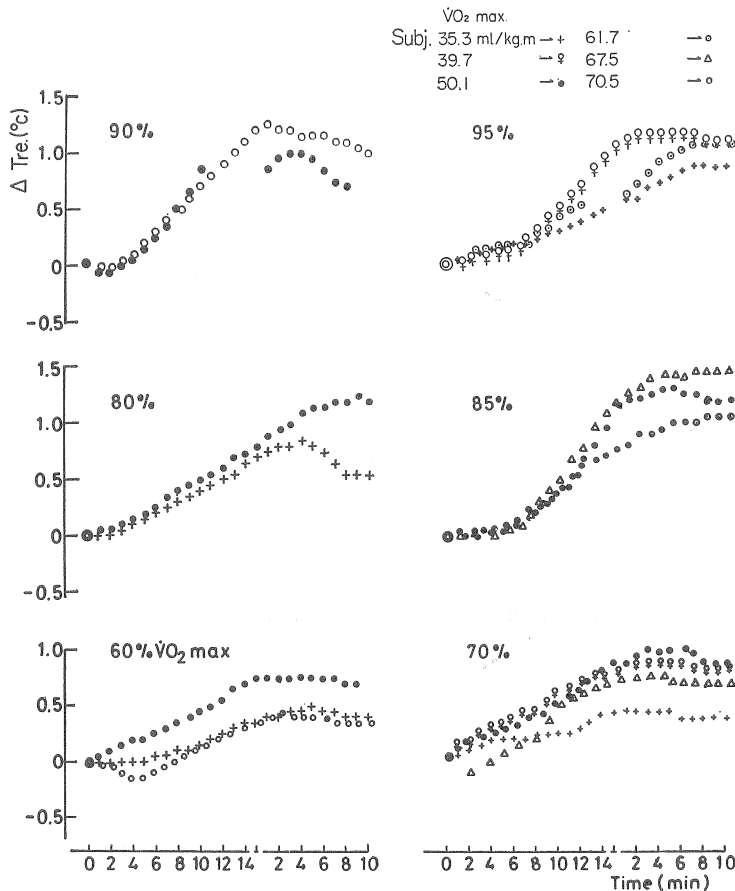


図11  $\% \dot{V}O_2\max$  と直腸温の時間経過に伴う変化

した際、生体の反応としては時間的に多少遅れて現われるといわれており、また体温と運動時間についてもこれまで少くとも30分以上は運動を継続しその反応の状況を見る必要があると述べている<sup>7)</sup>。従って体温についてはさらに運動時間と強度の面からさらに検討を加えていかなければならない点が残っていると思われる。

以上今回の実験から今後酸素摂取水準の維持能力に関する研究を進めるにあたり、被検者の $\dot{V}O_2$  maxから $\% \dot{V}O_2$  maxの設定をする資料として活用していただけるのではないと思われる。

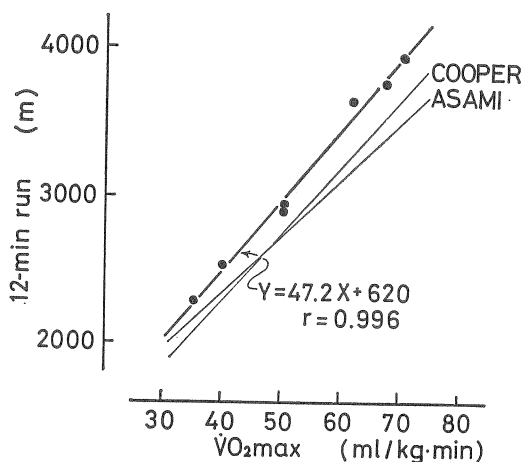


図12 12分間走テストと体重当り最大酸素摂取量の関係

表4 12分走テスト結果

被検者	記録 m
K T	2293
M M	2533
K K	2957
T A	2901
S I	3630
K I	3765
M N	3951

さらに今回7名の被検者に12分間走のテストを実施した。その結果は表4に示すごとくである。クーパー、浅見らと同様に $\dot{V}O_2$  maxと12分間走の相関をとってみると図12のように $r = 0.996$ と1%

水準で有意な結果がえられた<sup>8)</sup>。このことは有酸素的な運動処方作成にあたり、12分間走テスト値から $\dot{V}O_2$  maxを推定することは可能であり、個人の $\dot{V}O_2$  maxが推定できると図10から酸素摂取量、心拍数、換気量、呼吸数について定常状態に破綻を来す $\% \dot{V}max$ の分岐点を把握することが出来るものと思われます。

## まとめ

1.  $\dot{V}O_2$  max35.3ml/kg, minから70.5ml/kg, minまでの被検者7名を対象にトレッドミルの傾斜をフラットに保って60~90% $\dot{V}O_2$  maxに相当する4種類の負荷で15分間走行させて、 $\dot{V}O_2$  maxと定常状態維持可能な $\% \dot{V}O_2$  maxとの関係を明らかにしようとした。

2. 走行中の酸素摂取量、心拍数、換気量、呼吸数、食道温、直腸温を測定した。

3.  $\dot{V}O_2$  maxと定常状態維持可能な $\% \dot{V}O_2$  maxとの関係において、酸素摂取量は $\dot{V}O_2$  max35.3ml/kg, minでは60% $\dot{V}O_2$  max。 $\dot{V}O_2$  max70.5ml/kg, minでは90% $\dot{V}O_2$  maxにおいて定常状態に破綻を来す分岐点となった。

4. 心拍数から分岐点を見ると $\dot{V}O_2$  max35.3ml/kg, minでは60%ですでに破綻を来しており、 $\dot{V}O_2$  maxが70.5ml/kg, minでは90% $\dot{V}O_2$  maxであった。

5. 換気量、呼吸数についてはほぼ同様の傾向があり、 $\dot{V}O_2$  max35.3ml/kg, minでは70% $\dot{V}O_2$  max、 $\dot{V}O_2$  max70.5ml/kg, minでは90% $\dot{V}O_2$  maxが定常状態に破綻を来す分岐点で $\dot{V}O_2$  maxと定常状態維持可能な $\% \dot{V}O_2$  maxとの間には一定の傾向がみられた。

## 参考文献

1. 黒田善雄, 他: 日本人一流選手の最大酸素摂取量, 第1報, 日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1968.
2. 黒田善雄, 他: 日本人一流競技選手の最大酸素摂取量並びに最大酸素負債量 第2報 日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1973.
3. 黒田善雄, 他: 酸素摂取水準の維持能力に関する研究, 日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1971
4. 黒田善雄, 他: 酸素摂取水準の維持能力に関する

研究, 第2報, 日本体育協会スポーツ科学研究報告  
1975.

5. 三浦望慶, 他: 走運動における身体資源(physical  
resources)と運動成果(physical performance)  
の関係について, 体育の科学21(2) 114~119, 1971.

6. 川初清典: Prof Hollmann の運動処方理論と

実際。体育の科学, 28(10) 705~712, 1978.

7. 黒田善雄, 他: 運動時における体温の動的様相,  
日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1976.

8. 体育科学センター: 体育科学センター方式健康づ  
くり運動カルテ, 講談社, 1976





