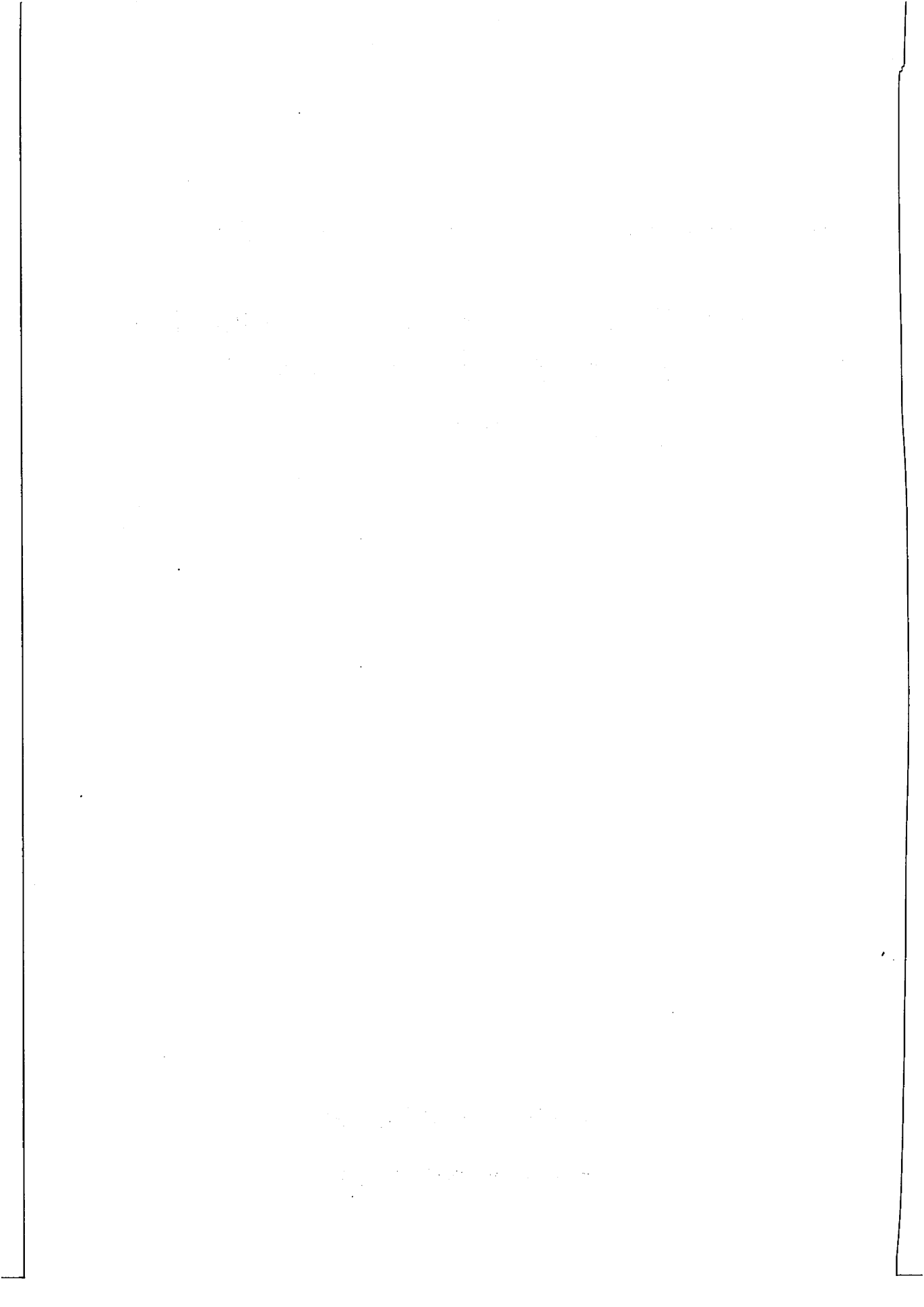


昭和57年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. X Breath by Breath による運動開始に伴う
呼吸循環系機能の応答に関する研究
—第1報—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会



昭和57年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. X Breath by Breath による運動開始に伴う呼吸循環系機能の応答に関する研究

—第1報—

報告者 財)日本体育協会, スポーツ科学研究所

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

1. 研究の目的

運動前中後の換気量, 酸素摂取量等を知る方法としては, もっぱらダグラス・バック法が使用されているが, 近年, ニューモタコ, 質量分析器, コンピュータ等を組合せ, Breath by Breath (一呼吸ごと) で換気量, 酸素摂取量等の測定が試み^{1),2)}られている。

Breaty by Breath で換気量, 酸素摂取量等が測定できるメリットは, 単にダグラス・バックを絞る作業から開放されるだけではなく, ダグラス・バック法では得られぬ生理学的に興味深いデータが得られる可能性があるからであろう。

ダグラス・バック法では, 呼吸相に関係なく三方のコックを切り換えて換気量, 酸素摂取量等の測定を行なうため, 最大, 前後2回分の呼気量にもとづく誤差が生じる可能性を有している。従ってダグラス・バック法では, 誤差のしめる割合が多くなるであろう短時間採気は事実上不可能であり, われわれは特殊な場合は除き, 一般的には30秒間を最短採気時間と考えている。従って, 刻一刻変化するであろう運動の開始や終了に伴う呼吸循環系機能の応答様相を詳細に観察することは, ダグラス・バック法では不可能である。

われわれは, Breath by Breath で換気量, 酸素摂取量等の測定が可能といわれている呼気分析用質量分析計とニューモタコ, 及びコンピュータ

との組合せせからなる WESTRON 社製・代謝システム WMBS 1300 を入手したことを契機に, 本研究に着手した。すなわち, 本研究は運動の開始とともに生じる換気量の増加や酸素摂取量の増加といった呼吸循環系機能の応答を, 一呼吸ごと, すなわち Breath by Breath で取らえ, それらが運動の強度や被験者の能力とどの様な関係にあるのか, 酸素摂取能力に優れている者は, 運動の開始に伴う呼吸循環系機能の立ち上り反応が早いのか, といった面についての知見を得る目的で本研究を開始した。

2. 研究の方法

1) 被験者

本研究に協力した被験者の特性を表1に示した。被験者3名はいずれも男子で年齢33, 40, 41歳で, 自転車エルゴメータの負荷(kp)漸増法で測定した $\dot{V}O_2\max$ は, 49.20, 37.46, 45.84 ml/kg/min であった。

表1 被験者の特性(男)

被験者	年齢 歳	体重 kg	身長 cm	最大酸素摂取量	
				ml/min	ml/kg min
I. S	33	55.1	167.0	2,711	49.20
A. T	40	70.8	164.5	2,652	37.46
S. K	41	71.4	165.0	3,275	45.84

2) 運動負荷

本研究で被験者に荷した運動は、モナークの自転車エルゴメータを使用中の、1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 4.5, 5.5 kpの5強度を毎分60回転で、いずれの強度とも3分間継続させることを目標に行なわせたペタリングであった。但し、各強度のペ

タリング作業を円滑にスタートさせることを意図し、各kpを負荷する前に、同回転数0kpのペタリングを2分間行なわせ、継続して上記の各kpを負荷した。なお、5種の運動負荷間には、十分なインターバルをとり、5種の運動負荷を3日間かけて消化した。

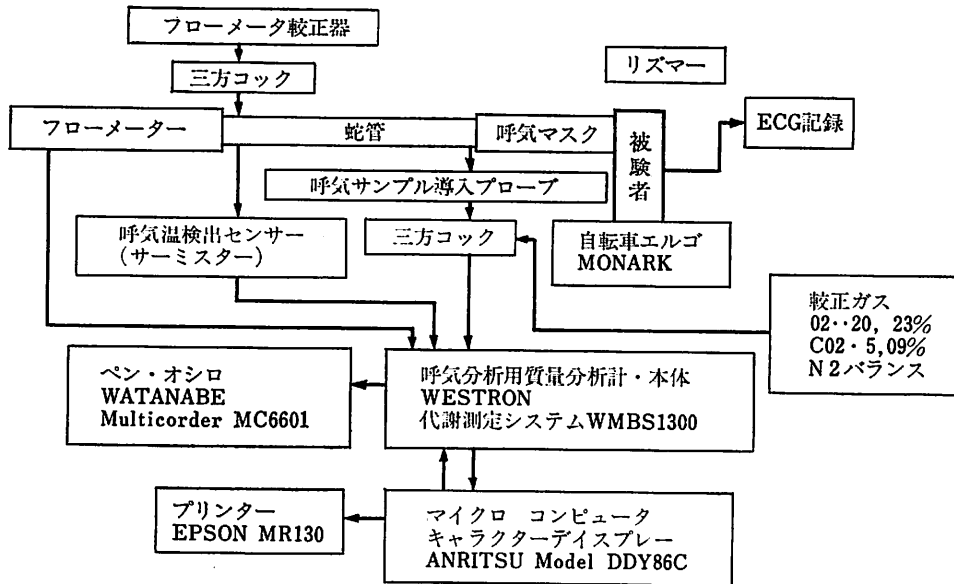


図1 実験装置ブロック・ダイアグラム

表2 測定値のデジタル・プリント・アウト例

BREATH BY BREATH							
No.	TIME	VE, BTPS	V _{O2}	VC _{O2}	O ₂ %	CO ₂ %	R
	SEC	ML	ML	ML			
38	123.0	808.5	27.0	21.0	4.08	3.17	0.78
39	126.0	694.3	23.3	16.7	4.09	2.93	0.72
40	128.0	748.1	24.2	18.4	3.94	3.01	0.76
41	130.0	915.8	31.9	22.8	4.26	3.04	0.71
42	133.0	858.1	28.1	21.0	3.99	2.99	0.75
43	135.0	756.2	23.2	17.5	3.75	2.83	0.75
44	138.0	942.1	32.9	24.6	4.26	3.18	0.75
45	141.0	1159.2	38.8	30.8	4.08	3.24	0.79
46	143.0	850.2	27.1	21.1	3.89	3.02	0.78
47	146.0	944.0	30.0	23.7	3.88	3.06	0.79
48	148.0	895.1	29.1	22.8	3.96	3.11	0.79
49	151.0	839.5	26.2	21.1	3.81	3.06	0.81
50	153.0	920.4	32.9	24.5	4.36	3.25	0.75
51	156.0	1042.4	36.9	28.2	4.32	3.31	0.76
52	158.0	947.9	34.8	25.4	4.48	3.27	0.73
53	161.0	866.0	30.9	22.7	4.35	3.24	0.74
54	163.0	1104.2	41.6	30.7	4.59	3.39	0.74
55	166.0	975.8	35.8	26.3	4.47	3.29	0.74
56	168.0	1092.3	41.6	30.6	4.65	3.42	0.74
57	171.0	1311.3	50.4	39.6	4.69	3.68	0.78
58	173.0	1091.6	40.8	30.8	4.56	3.44	0.75
59	176.0	1091.2	41.6	31.6	4.65	3.53	0.76

3) 実験装置

本研究に使用した実験装置のブロック・ダイアグラムを図1に示した。本装置を作動させる手順を記すと、まず実験の開始に先立つこと少なくとも3時間前に、呼気分析用質量分析計本体の電源を入れる。すなわち、われわれが使用した質量分析計は、最低3時間のウォーム・アップを行わなければ、安定した結果は得られなかった。質量分析計本体のウォーム・アップ後に行なったのは、フローメータの較正である。フローメータ前に設置されている三方コックを切り変え、フローメータ較正器より排出される定容量 (20l) の空気

をフローメータ内に送り込み、マイクロコンピュータを操作し、キラクターディスプレイに表示されるデジタル出力を確認しながら較正を行なった。なお、本実験に使用したフローメータは、FUKUDA SANGYO 製のメッシュ間圧差型で、メッシュ装着部の内径49mm、出口の最小径28mm、メッシュの露結防止用にフローメータ全体がヒートされているものであった。また、本実験に先立ち、このフローメータの抵抗がどの程度生体に影響を与えるか、簡単なテストを行なった。呼気マスク・蛇管・三方コックの先に、本フローメータを装着しているか否かのプラインド・テストでは、被験者は明確にフローメータ装着の有無を指摘した。すなわち、フローメータの抵抗が明確に被験者の意識下に取りえられる程度のものであることが解った。但し、本フローメータ装置の有無にかかわらず、100l/min ぐらいまで、被験者の換気量には差が認められなかったもので、とりあえず本実験には、このフローメータを使用することにした。もちろん、本フローメータの改良の必要性は強く感じた。

フローメータの較正の次は、質量分析計・ガス素成分分析値の較正を行なった。すなわち、分析サンプル導入プローブに取り付けられている三方コックを切り換え、較正ガスを質量分析計に導入し、分析計パネル面にデジタル表示される分析値を見ながら調節ツマミを操作して較正する。

以上で実験開始に先立つ本装置の較正手続きは終了するが、更に本実験装置につき特記すべきことのひとつは、呼気マスクとフローメータとを結ぶ蛇管についてである。図1にも蛇管と表示したが、実際には内径30φのビニール製パイプで、ジャバラが付いた伸縮性の高い、いわゆる蛇管ではない。もちろん、被験者の運動のしやすさからいっても、いわゆる蛇管を使用したかったのであるが、伸縮性の高い蛇管では、フローメータから安全した換気量が得られず、やむを得ず、フローメータを台上に固定するとともに、呼気マスクとの間を伸縮性の少ないビニールパイプで結んだ。なお、呼気フローと呼気成分濃度測定との位相整合、空気成分と呼気成分との差分計算、換気量の温度換算等の能力は、呼気分析用質量分析計本体

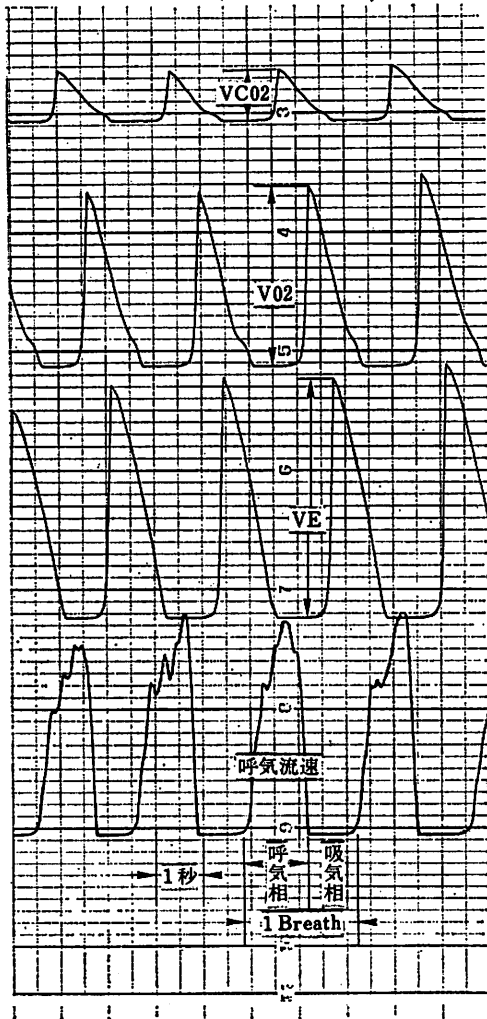


図2 Breathby Breathの呼気流速、VE、VO₂、VC0₂のアナログ出力記録例

に設置されているが、気圧条件は、実験開始直前に別に気圧計で測定し、その値をマイクロ・コンピュータよりキーインした。その他、分析計本体より Breath by Breath のアナログ出力を取り出し、それをペン・オシロにて記録したが、その見本は図2に示す通りであり、また、デジタルプリントアウトした Breath by Breath の測定値見本は表2に示す通りである。

3. 結果と考察

1) ベタリング時間と $\% \dot{V}O_2\max$

被験者3名の各負荷におけるベタリング時間を表3に示した。本実験は、各負荷とも3分間(180秒)ベタリング運動を継続させることを目標に行なわせた。15, 2.5, 3.5 kp の3負荷については、3被験者とも3分間の目標運動時間を消化したが、4.5 KPについては2被験者が、5.5 kp については3被験者とおも所定の運動時間を消化でき

ず、表3に示す時間で Exhaustion に至った。

以上の様な運動を行なった際に、3名の被験者が示した $\% \dot{V}O_2\max$ は、表4の通りであった。但し、表4に示す $\% \dot{V}O\max$ は、Breath by Breath で測定した運動終了前約1分間の平均値とその間の最大値である。もちろん、 $\% \dot{V}O_2\max$ の概念は Steady state を構成している状態時の酸素摂取量を $\dot{V}O_2\max$ で除したものであるから、表4に示す値は、 $\% \dot{V}O_2\max$ の概念からは逸脱する

表3 ベタリング時間

K P	subj	ベタリング時間 (sec)		
		I. S.	A. T.	S. K.
1.5		180	180	180
2.5		180	180	180
3.5		180	180	180
4.5		136	140	180
5.5		97	79	170

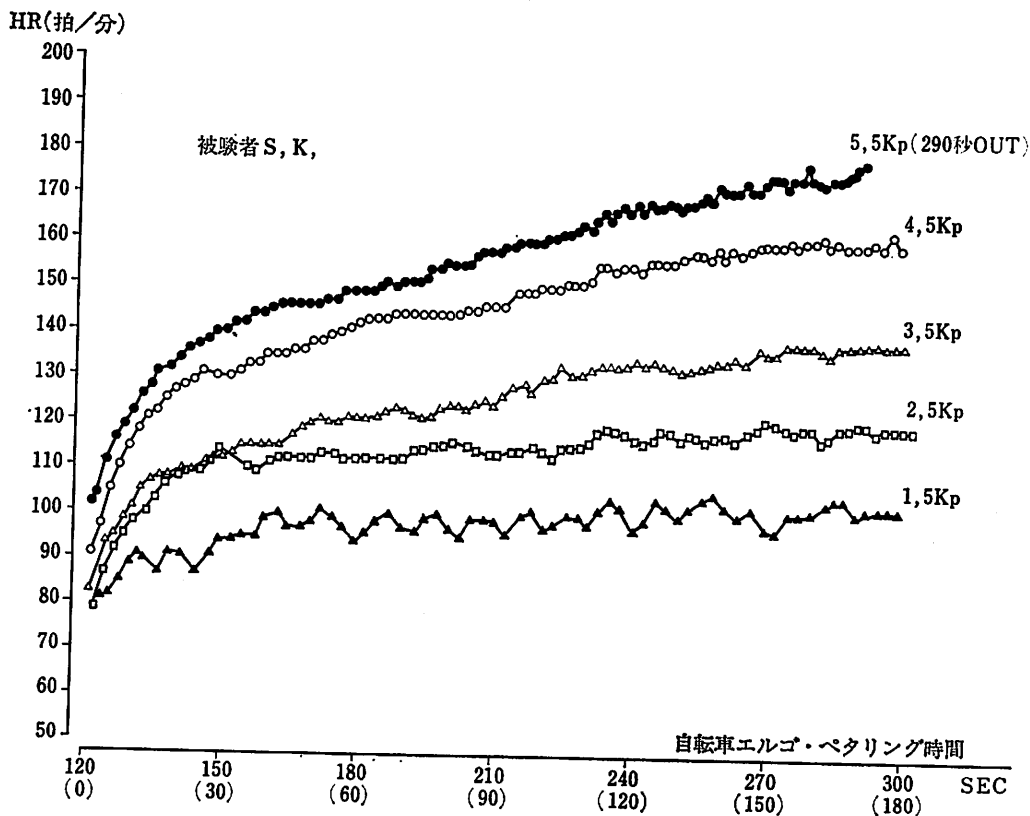


図3 被験者 S. K. の各負荷における心拍数応答

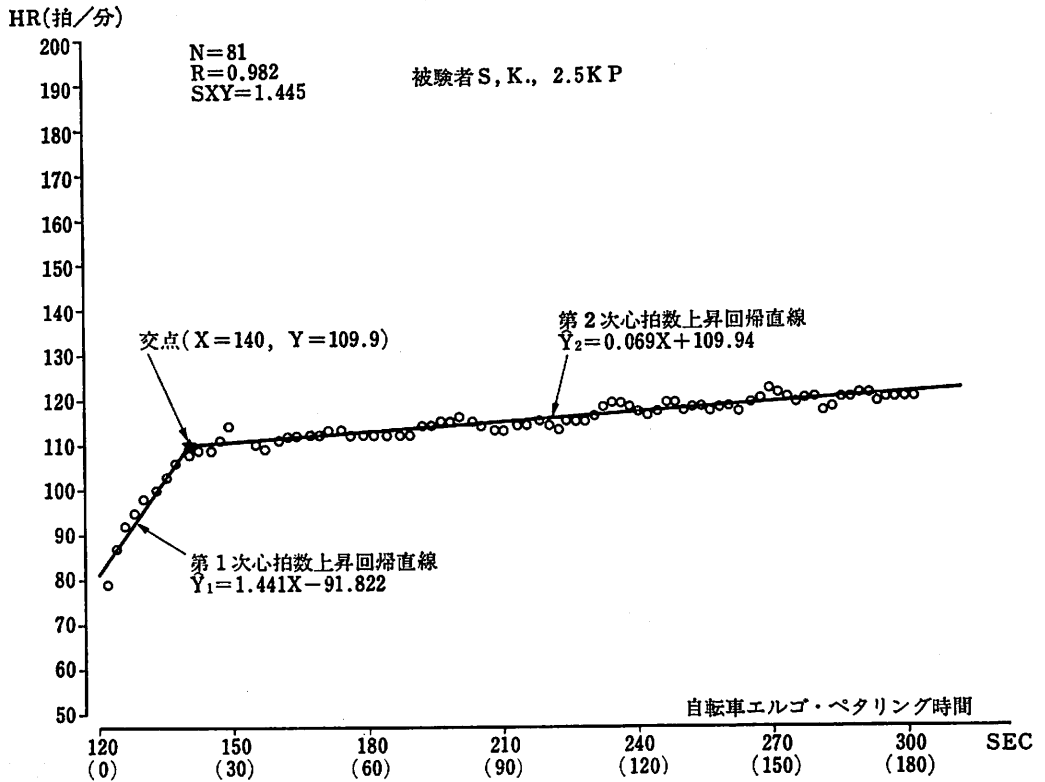


図4 第1次及び第2次心拍数上昇回帰直線と両直線の交点の求め方

表4 各負荷における% $\dot{V}O_2$ max

K P	被験者			K P	被験者				
	I. S.	A. T.	S. K.		I. S.	A. T.	S. K.		
1.5	N	28	25	24	4.5	N	38	54	33
	\bar{X}	1,106(40.8)	1,114(42.0)	1,154(35.2)		\bar{X}	2,584(95.3)	2,612(98.5)	2,558(78.1)
	S D	83.7	118.9	99.1		S D	205.0	212.8	256.4
	Max	1,245(45.9)	1,421(53.6)	1,295(39.5)		Max	2,961(109.2)	2,080(116.1)	3,045(93.0)
2.5	N	20	33	31	5.5	N	34	49	48
	\bar{X}	1,680(62.0)	1,783(67.2)	1,613(49.3)		\bar{X}	2,739(101.0)	2,513(94.8)	3,083(94.1)
	S D	85.3	85.1	104.9		S D	528.2	510.0	213.6
	Max	1,863(68.7)	1,944(73.3)	1,792(54.7)		Max	3,403(125.5)	3,260(122.9)	3,825(116.8)
3.5	N	22	46	29					
	\bar{X}	2,286(84.3)	2,315(87.3)	2,214(67.6)					
	S D	146.6	127.0	161.6					
	Max	2,636(97.2)	2,542(95.9)	2,522(77.0)					

N : 平均を求めたほぼ60秒間の呼吸数

\bar{X} とMax : $\dot{V}O_2$ ml/min, () 内は% $\dot{V}O_2$ max

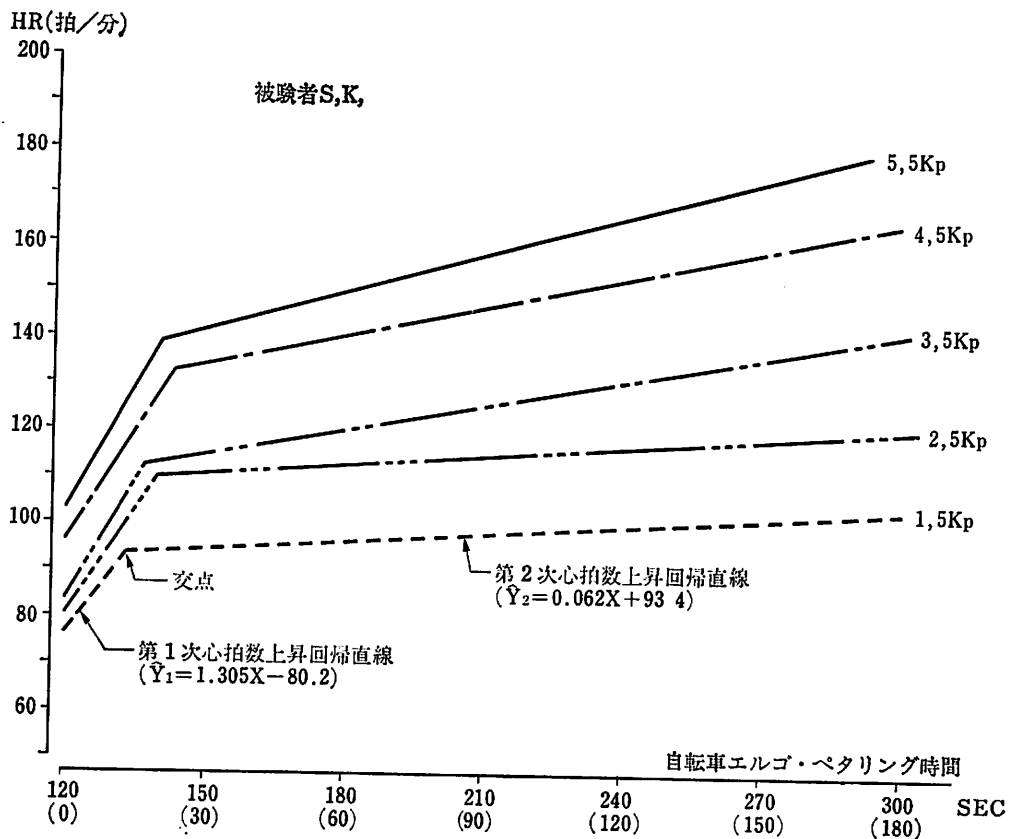


図5 被験者S.K.の各負荷における第1次及び第2次心拍数上昇回帰直線と交点

ものであるが、5種類の各負荷を相対的な運動強度に置き変えて考察したく、無理に $\% \dot{V}O_2\max$ の概念を当てはめて表現してみた。1.5, 2.5kpの2負荷は、3被験者いずれにとっても $\dot{V}O_2\max$ 以下の運動であると思われ、1.5kpについては、表4に示すMax値に近い40~54% $\dot{V}O_2\max$ 、2.5kpは55~73% $\dot{V}O_2\max$ と推想される。3.5kpについては、2被験者にとっては $\dot{V}O_2\max$ を発現するような運動であり、被験者S.K.にとっては80% $\dot{V}O_2\max$ に近い運動強度であると思われる。4.5kpと5.5kpについては、2被験者にとっては明らかに $\dot{V}O_2\max$ を上まわる運動強度であり、被験者S.K.にとっては、4.5kpは $\dot{V}O_2\max$ が発現するような運動強度であり、5.5kpはこれを上まわる運動強度であると考えられた。

2) 心拍数の応答

図3に、一例として被験者S.K.の1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5kp各負荷時における心拍数を示した。なお、本図の横軸はペタリングを開始した時点からの通し時間(秒)であり、()内が各負荷を荷してから時間(秒)である。また、本図に示す心拍数はBreath by BreathにマッチングするR-Rを抽出しての心拍数、すなわち、1呼吸ごとに1R-Rを抽出して心拍数を求めた。更に、心拍数の負荷開始にともなう立ち上り応答を観察する目的で、図4に示す様に、負荷開始直後30秒ぐらいまでに見られる急激な第1次心拍数上昇回帰直線と、以降のなだらかな第2次心拍数上昇回帰直線を求めた。図5は、被験者S.K.について求めた5負荷の第1次及び第2次心拍数上昇回帰直線の例である。以上の様にして求めた3被験者5負荷についての第1次及び第2次上昇回帰直

表5 心拍数と第1次及び第2次上昇回帰直線式と両直線の交点, 相関係数

被験者	強度 K P	心拍数の第1次 上昇: 回帰式	第1次上昇と第2 次上昇の交点	心拍数の第2次上昇: 回帰式	心拍数と運動時間と の相関
I. S.	1.5	$\hat{Y}_1 = 1.065X - 52.7$	X=138 Y= 94.3	$\hat{Y}_2 = 0.079X + 94.3$	R=0.907 S _{xy} =3.874
	2.5	1.866 -147.4	133 100.8	0.176 +100.8	0.967 2.966
	3.5	1.665 -115.1	143 122.9	0.270 +122.3	0.973 4.189
	4.5	1.808 -146.3	145 115.3	0.548 +155.3	0.994 2.992
	5.5	3.060 -283.3	130 114.6	0.735 +114.6	0.989 3.273
A. T.	1.5	0.935 - 29.0	135 97.2	0.049 + 97.2	0.901 1.826
	2.5	1.547 -105.3	139 109.8	0.070 +109.8	0.983 1.418
	3.5	1.143 - 49.5	140 111.6	0.312 +110.6	0.984 3.123
	4.5	1.701 -117.4	136 114.0	0.502 +114.0	0.985 3.759
	5.5	1.726 -110.6	136 124.0	0.750 +124.0	0.997 1.371
S. K.	1.5	1.305 - 80.2	133 93.4	0.062 + 93.4	0.880 2.513
	2.5	1.441 - 91.8	140 109.9	0.069 +109.9	0.982 1.445
	3.5	1.698 -120.1	137 112.0	0.183 +112.0	0.987 1.979
	4.5	1.592 - 94.9	143 132.8	0.210 +132.8	0.990 2.206
	5.5	1.772 -109.7	140 138.5	0.274 +138.4	0.996 1.534

線と両直線の交点ならびに相関係数を表5に示した。負荷開始後の時間軸に対する心拍数の応答を第1次及び第2次の両直線回帰式での表現を試みたが、表5の心拍数と運動時間との相関係数(R)を観察すると、最も低くてR=0.880, 他はいずれも0.9を越える高い相関係数が得られた。運動開始後の心拍数上昇過程は、よく指数関数で表現されるが、表5の相関係数を見る限りでは、われわれが試みた第1次及び第2次の両回帰直線をもって、本実験における負荷開始後の心拍数様相を表現することに大きな誤りが生ずるとは思えなかつ

表6 個人内における% $\dot{V}O_2$ max と a1, a2, X, Y, 及び KP との相関 (N=5)

被験者 項目	I. S.	A. T.	S. K.
KP	0.9891**	0.9875**	0.9974***
a1	0.8118	0.7646	0.9117*
a2	0.9368*	0.9477*	0.9803**
X	-0.0096	-0.0169	0.6592
Y	0.8344	0.9170*	0.9604**

*: 5%, **: 1%, ***: 0.1%

KP: 自動車エルゴの負荷

a1: 表5に示す第1次上昇回帰式 $Y_1 = a_1x + b_1$ の a₁

a2: 表5に示す第2次上昇回帰式 $Y_2 = a_2x + b_2$ の a₂

Xと: Yは上記2式の交点X座標, Y座標

% $\dot{V}O_2$ max は表4に示す max を使用している。

表7 被験者の有酸素的作業能 ($\dot{V}O_2$ max/W) 及び % $\dot{V}O_2$ max と a1, a2, X, Y との相 (N=3)

	K P	$\dot{V}O_2$ max/W	% $\dot{V}O_2$ max
a1	1.5	0.5610	-0.9752
	2.5	0.5339	0.5019
	3.5	0.9445	-0.4961
	4.5	0.2727	0.6870
	5.5	0.7417	0.7094
a2	1.5	0.9496	-0.4794
	2.5	0.7153	0.2879
	3.5	-0.5370	0.9278
	4.5	-0.1160	0.9127
	5.5	-0.2665	0.9483
X	1.5	0.3862	0.3480
	2.5	-0.6231	-0.4044
	3.5	0.2779	0.8933
	4.5	0.9977*	-0.5693
	5.5	-0.3862	-0.9417
Y	1.5	-0.8727	0.9709
	2.5	-0.7143	-0.2893
	3.5	0.7891	0.4591
	4.5	0.2993	-0.9729
	5.5	-0.1583	-0.9944

a1, a2, X, Y は表6に示すものと同じ

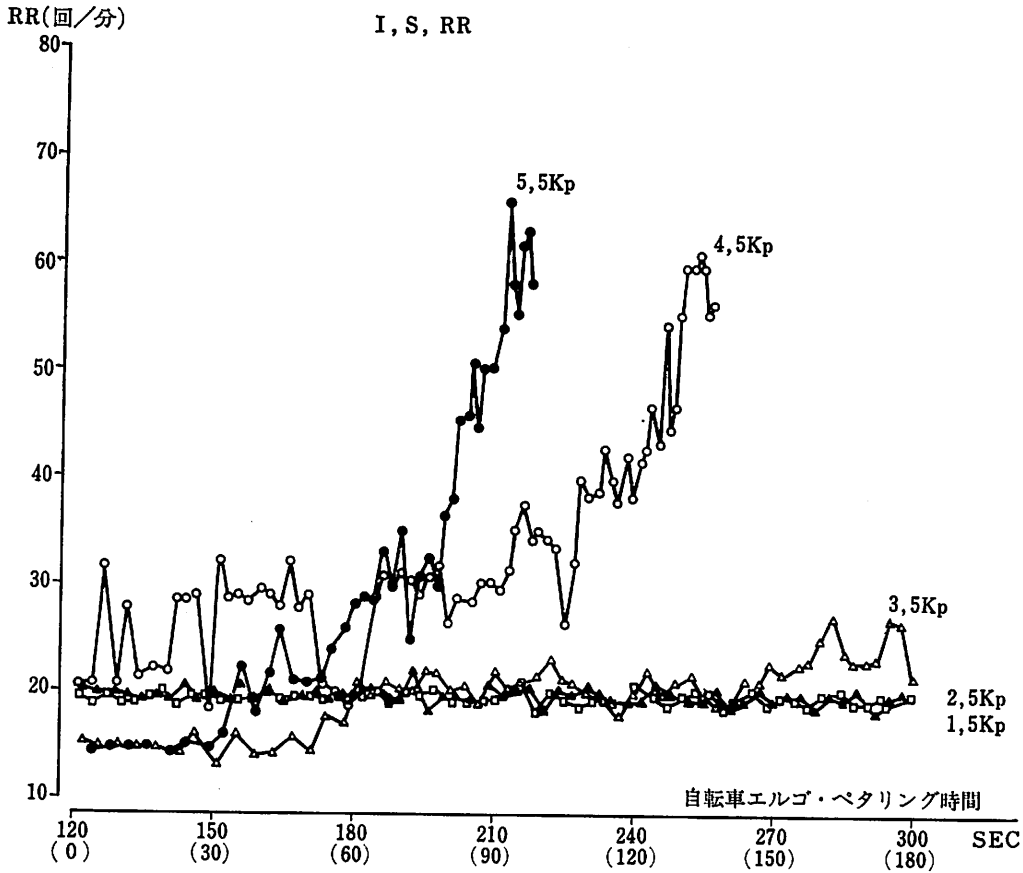


図6 被験者 I. S. の各負荷における呼吸数

た。そこで、第1次上昇回帰直線式 $\hat{Y}_1 = a_1x + b_1$ の a_1 、第2次上昇回帰直線式 $\hat{Y}_2 = a_2x + b_2$ の a_2 、ならびに両直線の交点 (X座標とY座標) が負荷強度及び被験者の有酸素的作業とどの様な関係にあるか、すなわち、心拍数の上昇勾配 (a_1 及び a_2) と $\% \dot{V}O_2 \max$ 及び $\dot{V}O_2 \max / W$ ととの相関関係を観察した。

3被験者個人内における $\% \dot{V}O_2 \max$ と心拍数の上昇勾配 (a_1, a_2)、両直線の交点 (X, Y) 及び自転車エルゴの負荷 (kp) との相関係数を表6に示した。先にも記す通り、本実における $\% \dot{V}O_2$ は、本来 $\% \dot{V}O_2 \max$ が持っている概念から逸脱するものであり、本実験にて試みた運動強度の指標でしかないが、表6に示す通り、3被験者ともにこの $\% \dot{V}O_2 \max$ と自転車エルゴの負荷との間に0.98を越える高い相関が得られ、本実験における5種類の運動負荷をこの $\% \dot{V}O_2 \max$ で表現しても、本

実験結果の考察を進める上に大きな誤りが生ずると思えなかった。そしてこの $\% \dot{V}O_2 \max$ と心拍数の上昇勾配 (a_1, a_2) 及び交点 (X, Y) との相関は、表6に示す通り、 a_2 との間には3被験者とも有意な相関を示し、 a_1 と Y については、有意な相関を示さない被験者もいたが、低くても $R = 0.764$ で N が大きくなればいずれも有意な相関が得られるであろうと推測された。但し、交点の X 座標との間には、3被験者とも有意な相関は示さなかった。すなわち、被験者個人内においては、運動強度が高くなれば、心拍数の上昇は初期の1次的な立ちあがりも、また2次的な上昇勾配も急激になるが、1次と2次の交点 X 座標 = 時間軸には大差がなく、表5に示す通り130~145秒 (負荷開始より10~25秒) であった。

被験者個人内において、負荷強度との間に以上の通りの関係が見られた a_1, a_2 及び X, Y が、

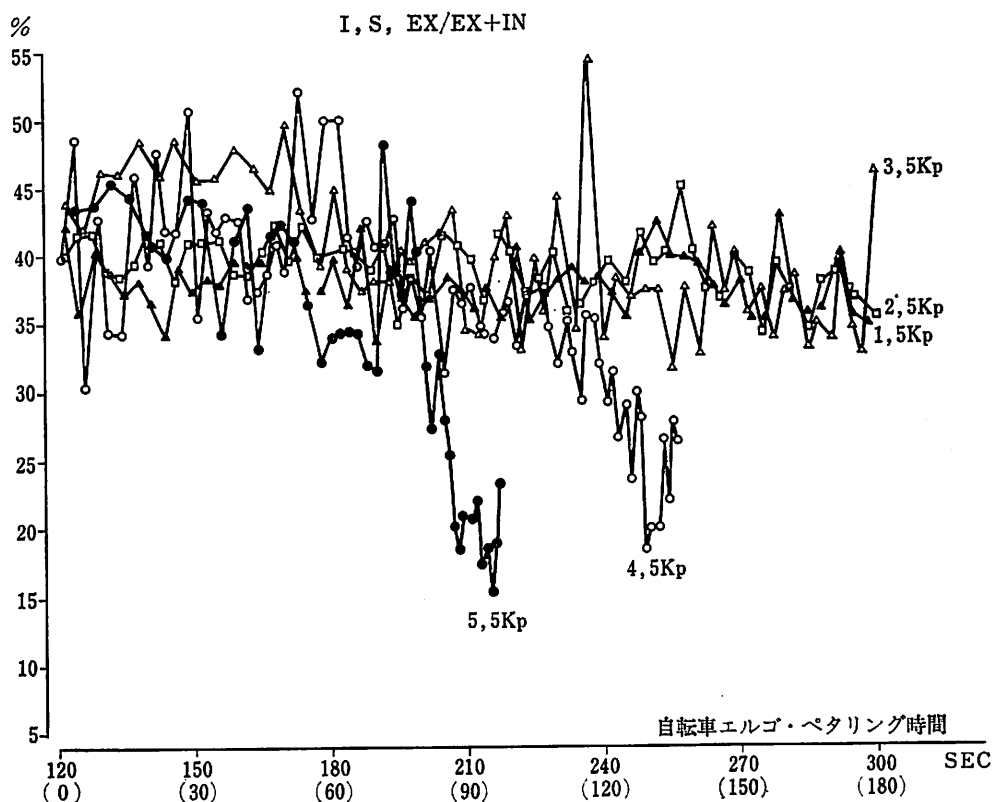


図7 被験者 I. S. の各負荷における呼気相 (EX)/呼吸相 (EX+IN)

被験者の有酸素的作業能との間にいかなる関係が見られるかを検討する目的で、自転車エルゴの負荷・kp 別に、 $\dot{V}O_2\max/W$ 及び $\% \dot{V}O_2\max$ との相関を求めた。結果は表 7 に示す通りである。従来、経験的にはであろうが、有酸素的作業能に優れている者は、運動の開始に伴う心拍数等の立ち上りが早いと言われていることを採用すれば、負荷強度により異なるかもしれないが、 a_1 あるいは a_2 と $\dot{V}O_2\max/W$ との間に正の相関が見られてもよいはずであり、2 回帰直線の交点 X, Y ともなんらかの相関が得られる可能性が考えられる。また、kp の高い無酸素的な運動の場合はその限りではないかもしれないが、同一 kp に対して $\% \dot{V}O_2\max$ が低いことは、有酸素的作業能に優れている指標になり得るから、 $\% \dot{V}O_2\max$ との間には、 $\dot{V}O_2\max/W$ とは逆の相関が見られることも考えられる。但し、結果は表 7 に示す通り、予測通りの相関を示す場合もあればそうでない場合も

あり、にわかに結論を出せない結果である。もちろん、これには $N=3$ という被験者数の少ないことも大いに関係していると思うが、被験者数を増して検討してみる価値はありそうである。

3) 呼吸数の応答

本実験における呼吸数は、フローメータにて取らえた呼気流速の変化にもとづく 1 サイクルの呼吸時間を 1 分間値の呼吸数に換算した値である。従って、図 6 に示す被験者 I. S. の各負荷における呼吸数の変化は、1 呼吸ごとに連続して取らえた呼吸数の変化ということになる。図 6 は、一例として示したものであるが、他の 2 被験とも同様の傾向ではなく、3 者 3 様で、呼吸数の応答相様は、個人差の大きいものであることが伺われた。また、本実験では図 2 に示す通り、1 サイクルの呼吸相を吸気相と呼気相とに区分して見ることができる。1 呼吸時間における呼気時間のしめる割

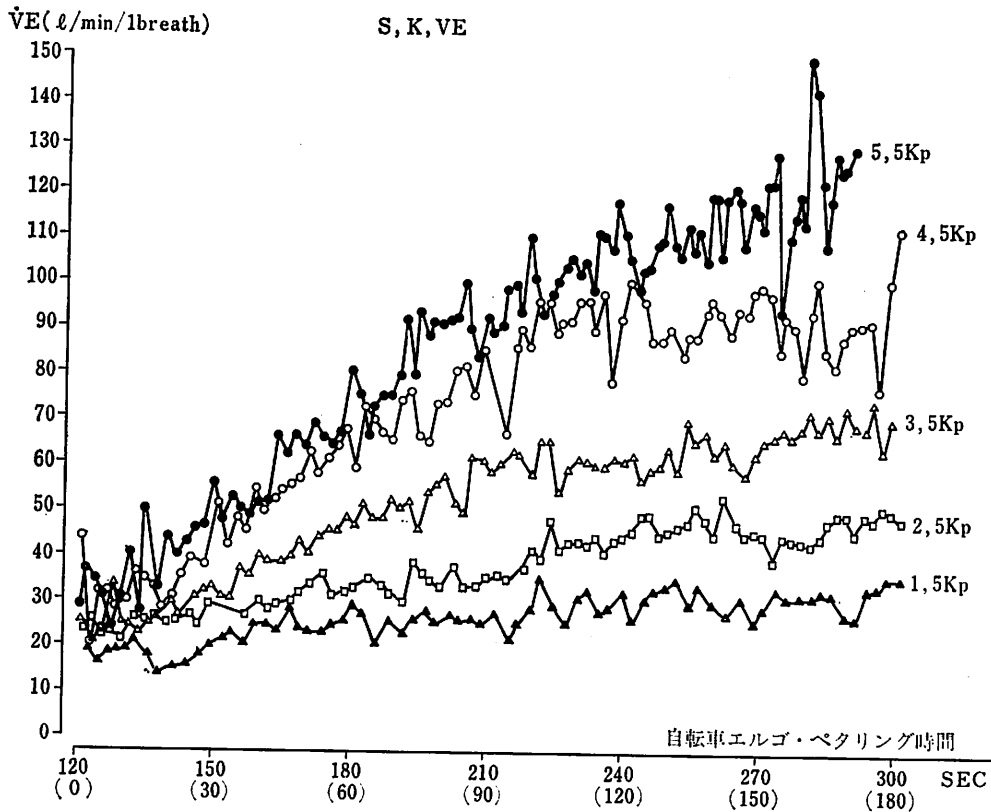


図8 被験者S. K. の各負荷における1回換気量 ($\dot{V}E$)

合=呼気相/呼吸相(%)を求めた。図7は、被験者I. S. が示した各負荷における呼気相/呼吸相の変化である。図6と図7とを対比して見ると、図6における4.5 kp及び5.5 kpの急激な呼吸数の上昇と、図7における同じく4.5, 5.5 kpの呼気相/呼吸相が急激に低下するのことが、明らかにマッチングしているのがわかる。この呼吸数の上昇と呼気相/呼吸相の低下とのマッチングは、他2の被験者についても同様に観察された。

Breath by Breathで取らえた運動負荷開始後の呼吸数の応答様相は、個人差が大きく、それが被験者の有酸素的作業能や運動負荷強度とどのような関係にあるのか、特に一定傾向の示唆は得られなかった。しかし、この個人差の由来や、呼気相/呼吸相の低下と $CO_2\%$ 、 $O_2\%$ あるいは $R(CO_2\%/O_2\%)$ 等との関係を検討してみるの必要性を感じた。

4) 換気量の応答

一例として、被験者S. K. の各負荷における換気量(l/min)の変化を図8に示した。本実験における換気量は、フローメータで取らえた呼気流速を根拠とする換気量であり、図8に示す換気量 $\cdot \dot{V}E$ は、1回換気量を1分間値の $\dot{V}E$ に換算した値の変化である。呼吸数の応答は、前記の通り3者3様の状態であったが、一例として示した図8の通り、3被験者とも、負荷強度順に急勾配の立ち上り応答を示した。目標とした運動時間3分間を消化した被験者の1.5~3.5 kpの $\dot{V}E$ は、運動開始直後より3分までなだらかに上昇し、途中Exhanstionに至った被験者I. S. の4.5及び5.5 kp、被験者A. T. の4.5及び5.5 kpについては、Exhanstionに至る10~20秒前より上昇が止まり、頭打ち状態と思える様相が観察された。そして、この頭打ち状態になった際の運動中の1回換気量、 $\dot{V}E$ が、 VO_2max 発現時の $\dot{V}E$ やMBC、

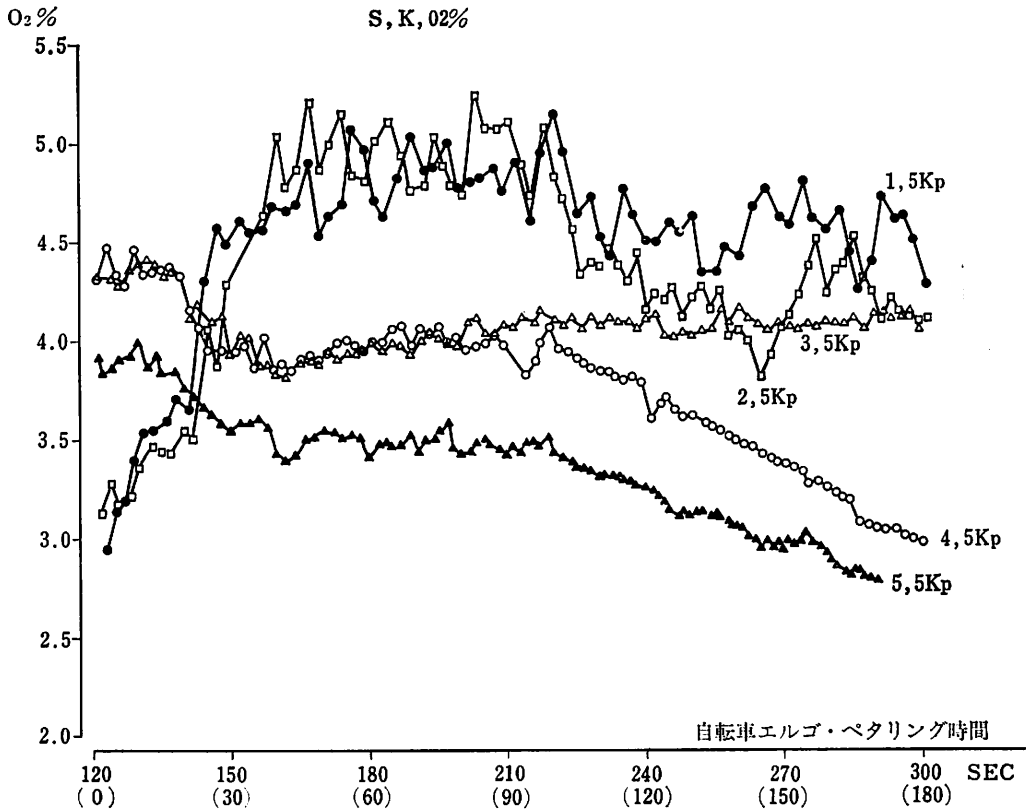


図9 被験者S. K. の各負荷における O₂ 摂取%

VC 等といかなる関係にあるか検討を加えてみる必要があると考えられた。

5) O₂ 摂取%の応答

図9に、被験者 S. K. の各負荷における O₂ 摂取%の応答を一例として示した。図中のプロットは、1 Breath の平均 O₂ %，すなわち空気中の O₂ % - 1 呼気の平均排出 % であるが、3 被験者とも 1.5 及び 2.5 kp の軽負荷については、図9に示す様に負荷開始後 40~50 秒ぐらいまで上昇し、以後平行ないしは漸減の傾向が観察された。この軽負荷に比し、無酸素的な運動と思われる 4.5 及び 5.5 kp の O₂ 摂取%は、負荷開始直後の水準が高く、以後 Exhanstion に至るまでほぼ直線に低下する傾向を示した。そして両者の中間的な強度 3.5kp の場合は、VO₂max/W が 37.46 ml/kg/min の A. T. は 4.5 及び 5.5 kp 負荷の場合に近い応答を示し、VO₂max/W が 49.20 及び

45.84 ml/kg/min の被験者 I. S., S. K. の場合は、図9に示すような中間的な応答を示した。

本実験は、約 40% VO₂max の負荷から約 80 秒で Exhanstion に至る無酸素的な運動までの負荷 5 種類を荷したが、負荷開始後の O₂ 摂取%の応答様相は、被験者の能力あるいは負荷強度により興味ある応答が伺れ、より綿密に負荷強度や負荷時間を設定し、Anaerobic Threshold 等の関係を検討してみたい興味にかられた。

6) CO₂ 排出%の応答

一例として、被験者 S. K. の各負荷における CO₂ 排出%変化を図10に示した。3 被験者とも、図9に示す O₂ 摂取%のように負荷強度による大きな変化は見られず、各負荷とも、負荷開始より 60~70 秒ぐらいまで急上昇し、以後平行ないしは漸増の応答様相を示した。但し、図6及び図7に示す呼吸数の急上昇、呼気相/呼吸相の急減に

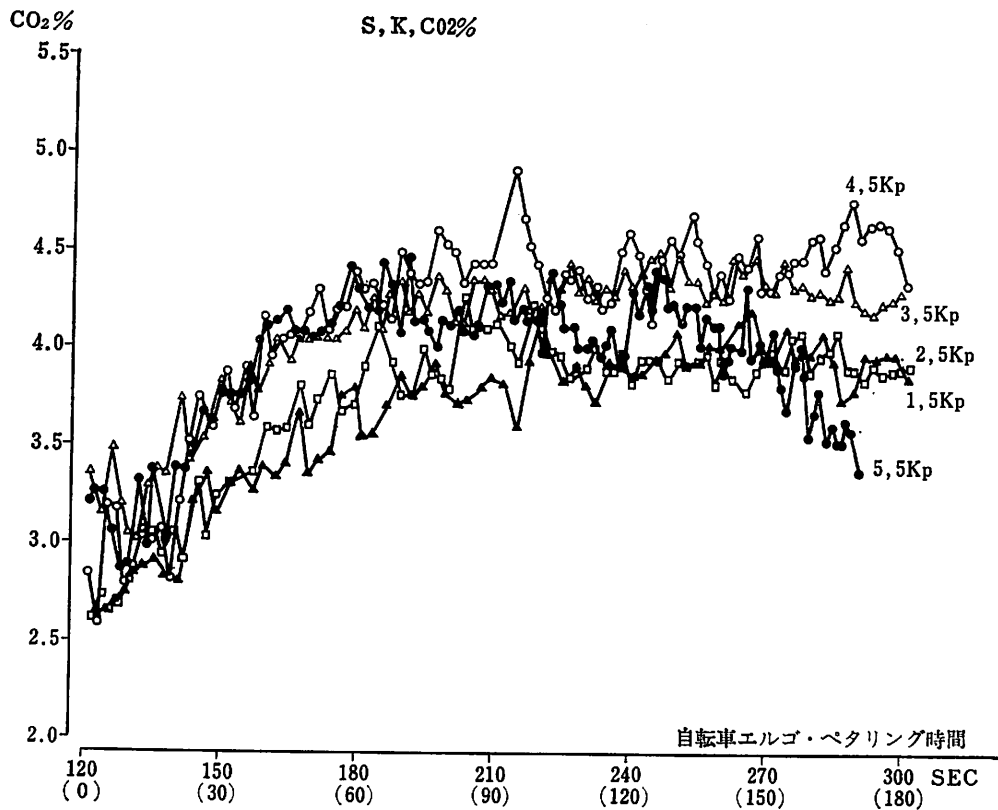


図10 被験者S. K.の各負荷における CO₂ 排出%

マッチングすると思われる CO₂ 排出%の急減が観察された。

3 被験者の中では、A. T. と S. K. が負荷の強度順に高い呼吸数を示し、被験者 I. S. は、負荷強度によりあまり呼吸数を変化させない傾向にあり、CO₂ 排出%の応答様相はその逆の傾向にある様にも観察されるので、CO₂ 排出については、呼吸数あるいは呼気相/呼吸相等との関係につき、より詳細に検討してみる必要があると思われる。

7) 呼吸商・Rの応答

Breath by Breath で取らえた各負荷における呼吸商・Rの変化を、図11に示した。いうまでもなく $R = \text{CO}_2\% / \text{O}_2\%$ であるから、図11は、図9と図10とから導き出されたものである。図11は、被験者 S. K. の例であるが、他の2被験者も類似した応答様相を示した。すなわち、1.5及び2.5kpの軽負荷については、負荷開始直後の水準から40

～50秒ぐらいは低下し、以後なだらかに上昇する応答を示した。3.5、4.5及び5.5kpの負荷の場合は、負荷開始直後30秒ぐらいは大きな変化は見られないが、以後はほぼ負荷強度順に急激な上昇が見られた。

8) VO₂の応答

Breath by Breath で取らえた各負荷における VO₂(l/min) を図12(被験者 I. S. の例)に示した。Breath by Breath で取らえた負荷開始後の VO₂ 応答は、図13に示す様に、1次的な上昇と2次的な上昇とに区分して観察されたので、自転車エルゴベタリング時間との間に、第1次上昇回帰直線式と第2次上昇回帰直線式、及び両線の交点(X及びY座標)を求めた。以上の手順で求めた負荷の2回帰直線と2回帰直線の交点の例を図14に示した。なお、図14に示す通り、無酸素的な運動と思われる4.5及び5.5kpについては、2次

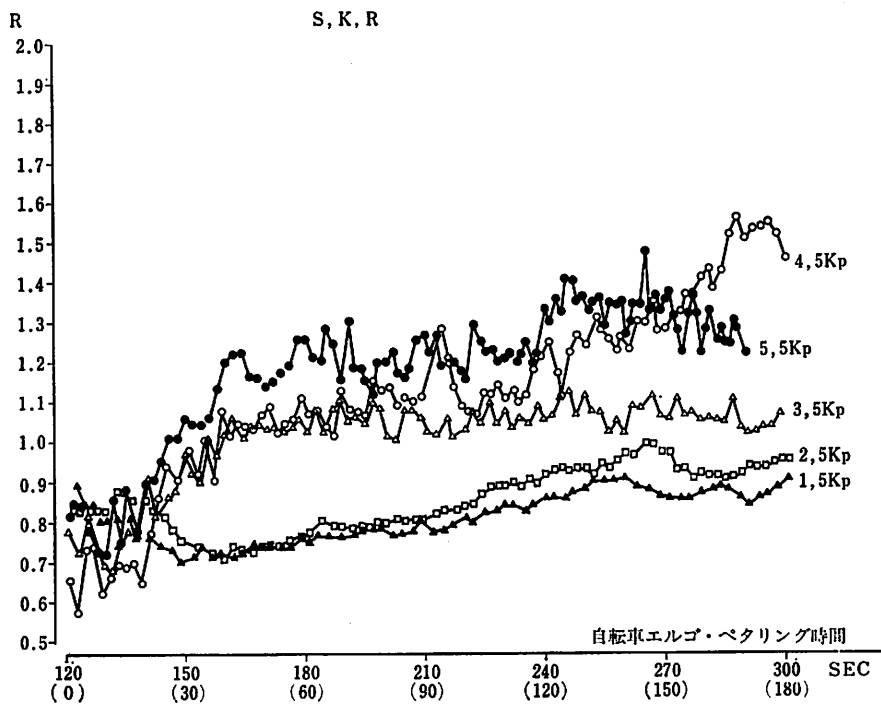


図11 被験者 S. K. の各負荷における R (CO₂/O₂)

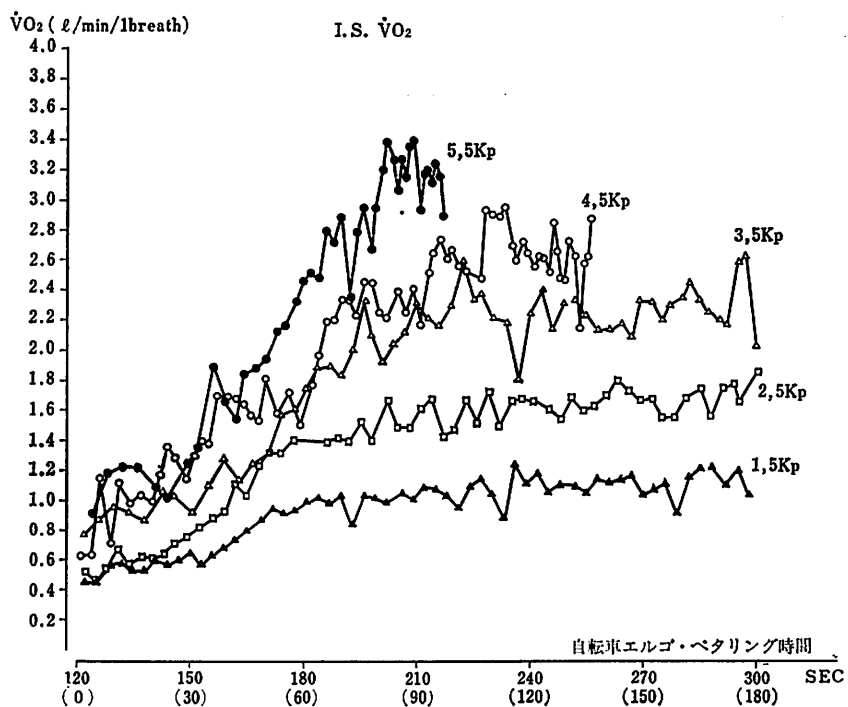


図12 被験者 I. S. の各負荷における $\dot{V}O_2$

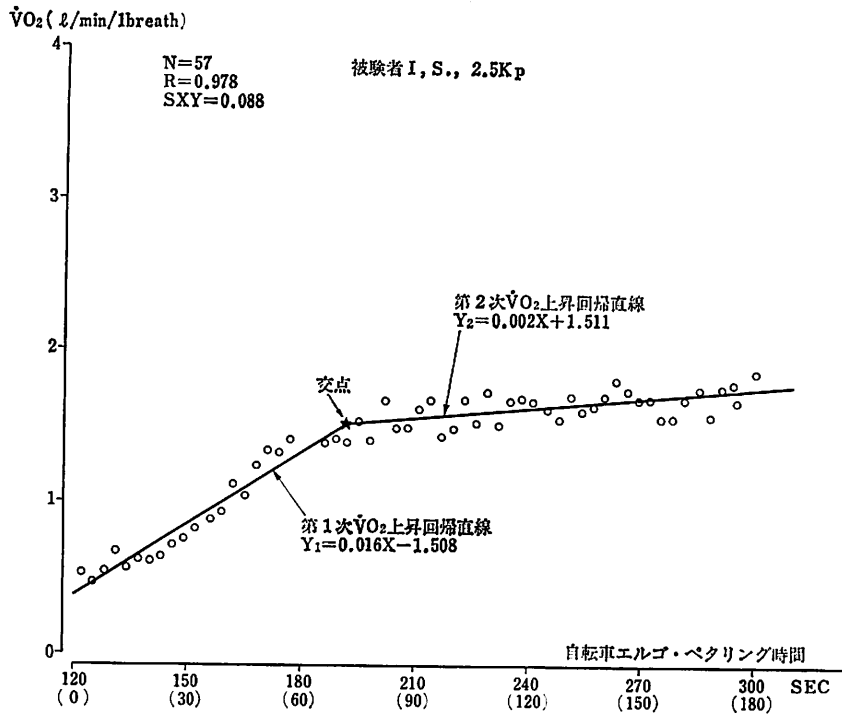


図13 $\dot{V}O_2$ の第1次及び第2次上昇回帰直線, 交点の求め方

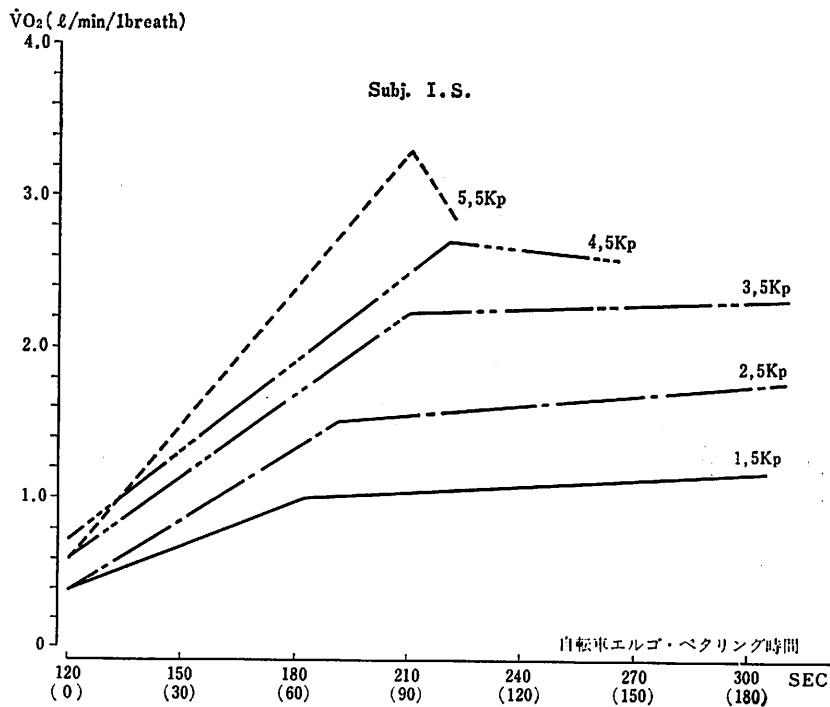


図14 被験者 I. S. の各負荷における $\dot{V}O_2$ の第1次及び第2次上昇回帰直線と2直線の交点

表8 $\dot{V}O_2$ の第1次及び第2次上昇回帰直線式と両直線の交点, 相関係数

被験者	強度 K P	$\dot{V}O_2$ の第1次上昇 回帰式	第1次上昇と第2 次上昇の交点	$\dot{V}O_2$ の第2次上昇 回帰式	$\dot{V}O_2$ と運動時間との 相関
I. S.	1.5	$\hat{Y}_1=0.010X-0.766$	X=183 Y=0.99	$\hat{Y}_2=0.001X+0.994$	R=0.951 Sxy=0.072
	2.5	0.016 -1.508	192 1.51	0.002 +1.511	0.978 0.088
	3.5	0.018 -1.556	210 2.23	0.001 +2.230	0.958 0.156
	4.5	0.020 -1.631	220 2.70	-0.002 +2.700	0.968 0.167
	5.5	0.030 -2,983	210 3.30	-0.038 +3.298	0.973 0.188
I. S.	1.5	0.014 -1,278	167 0.98	0.002 +0.984	0.910 0.102
	2.5	0.020 -1,977	173 1.52	0.003 +1.517	0.942 0.135
	3.5	0.019 -1,808	210 2.20	0.002 +2.199	0.958 0.158
	4.5	0.026 -2,700	210 2.80	0.007 +2.800	0.965 0.183
	5.5	0.037 -3,612	183 3.18	-0.031 +3.181	0.967 0.180
S. K.	1.5	0.013 -1,155	170 1.00	0.002 +0.999	0.909 0.102
	2.5	0.015 -1,258	180 1.41	0.002 +1.414	0.947 0.108
	3.5	0.013 -0,871	213 1.97	0.004 +1.974	0.976 0,111
	4.5	0.019 -1,335	230 3.02	-0.011 +3.021	0.951 0.192
	5.5	0.021 -1,593	220 3.07	-0.001 +3.073	0.962 0.197

表9 $\% \dot{V}O_2 \max$ と a1, a2, X, Y, との相関 (N=5)

被験者	I. S.	A. T.	S. K.
a1	0.9261*	0.8697	0.8607
a2	-0.6761	-0.7391	-0.4642
X	0.9052*	0.6543	0.8943**
Y	0.9935***	0.9970***	0.9626**

a1: 表9に示す第1次上昇回帰式 $Y1=a1X+b1$ の a1
a2: 表9に示す第2次上昇回帰式 $Y2=a2X+b2$ の a2
XとYは上記2式の交点X座標, Y座標
 $\% \dot{V}O_2 \max$ は表4に示す Max 値を使用

的な変化, すなわち Exhanstion に至る直前 $\dot{V}O_2$ は減少傾向を示した。また, 以上の手順で求めた第1次及び第2次回帰直線と両直線の交点, 及びベタリング時間の相関係数 (R) を表8に示した。そして, 前記心拍数 (表6, 表7) についてと同様, この Breath by Breath で取らえた負荷の開始に伴う $\dot{V}O_2$ の応答様相が, 被験者の有酸素的作業能 ($\dot{V}O_2 \max/W$) や負荷強度 ($\% \dot{V}O_2 \max$) といかなる関係にあるかを検討する目的で, 両者の相関を求めた。

表9に示す相関係数は, 3被験者個人内における負荷強度 $\% \dot{V}O_2 \max$ (表4に示す Max 値) と, 表8に示す $\dot{V}O_2$ の第1次及び第2次上昇回帰直

表10 被験者の有酸素的作業能力 ($\dot{V}O_2 \max/W$) 及び $\% \dot{V}O_2 \max$ と a1, a2 及び X, Y との (N=3)

	K P	$\dot{V}O_2 \max/W$	$\% \dot{V}O_2 \max$
a1	1.5	-0.8663	0.2768
	2.5	-0.8908	0.8154
	3.5	-0.3878	0.9773
	4.5	-0.9155	0.8150
	5.5	-0.6393	0.7338
a2	1.5	-0.7209	0.0379
	2.5	-0.9606	0.6913
	3.5	-0.0913	-0.9622
	4.5	0.3388	0.6338
	5.5	0.0630	-0.9932
X	1.5	0.8319	-0.2136
	2.5	0.9238	-0.0888
	3.5	0.2397	-0.9983*
	4.5	0.6930	-0.9744
	5.5	0.8547	-0.4729
Y	1.5	0.6930	-0.9993*
	2.5	-0.3187	0.9876
	3.5	-0.1360	0.9988*
	4.5	-0.0683	0.8214
	5.5	0.3019	0.9681

a1, a2, X, Y 相関は表9に示すものと同じ

線式 $\hat{Y} = ax + b$ の a , すなわち上昇勾配, 及び 2 直線の交点 (X 座標, Y 座標) との相関である。表 9 に示す通り, $\% \dot{V}O_2 \max$ との間に明らかな相関関係が見られた項目は, 2 直線の交点 Y 座標である。また, 交点の X 座標についても, 1 人の被験者は有意な相関を示さなかったが, 有意な相関が得られる項目と考えてもよさそうである。 $\dot{V}O_2$ の上昇勾配 a_1 については, 有意な相関を示したのは 1 人だけであるが, 他の 2 被験者の R も 0.86 を上回り, 有意な相関が得られる項目と考えられそうである。第 2 次上昇の勾配 a_2 については, 表 8 に示す通り, 無酸素的な運動と思われる 4.5 及び 5.5 kp についてはマイナスであり, 有酸素的な運動と考えられる 1.5~3.5 kp の負荷内では大きな変化が見られず, 更に負荷強度等を吟味して検討しなければ, 結論は得られそうにもない。

表 10 は, 負荷開始後の $\dot{V}O_2$ の立ち上り応答 (a_1, a_2, X, Y) が, 被験者の有酸素的な作業能力 ($\dot{V}O_2 \max/W$) 及び 相対負荷強度 ($\% \dot{V}O_2 \max$) とどの様な関係にあるか, 両者の相関を求めた結果である。

Hickson²⁾ あるいは Hagberg³⁾ の報告からも, 負荷の強度によっては, a_1 と Y とは $\dot{V}O_2 \max/w$ との間にプラスの相関が認められる可能性があり, a_2 と X についてはマイナスの相関が得られるかもしれないとの推測を持っていたが, 結果は表 10 に示す様に, どちらかといえば推測とは逆の傾向とも思えるものであった。しかし, 推測をくつがえすほどの著明な結果ではなく, 推測する様な結果が得られなかった反省点として, 被験者数が少なかったこと, 運動の開始に伴う $\dot{V}O_2$ の立ち上り反応を 2 直線式で表現したこと等が考えられ, 更にこれらの点に検討を加え, 追実験を行う必要があると考察された。

4. ま と め

1) 運動の開始に伴って生ずる $\dot{V}O_2$ 等呼吸循環器系の応答様相が, 運動強度や被験者の有酸

素的作業能 ($\dot{V}O_2 \max$) といかなる関係にあるかについての知見を得る目的の実験を行った。

2) $\dot{V}O_2 \max/w$ が 37.46~49.20 ml/kg/min の男子 3 名を対象に, 0 kp・60 回転の自転車エルゴ・ペタリングを 2 分間行なわせた後, 同回転数で 1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5 kp 5 種の負荷を 3 分間継続してペタリングすることを目標とした運動を荷した。

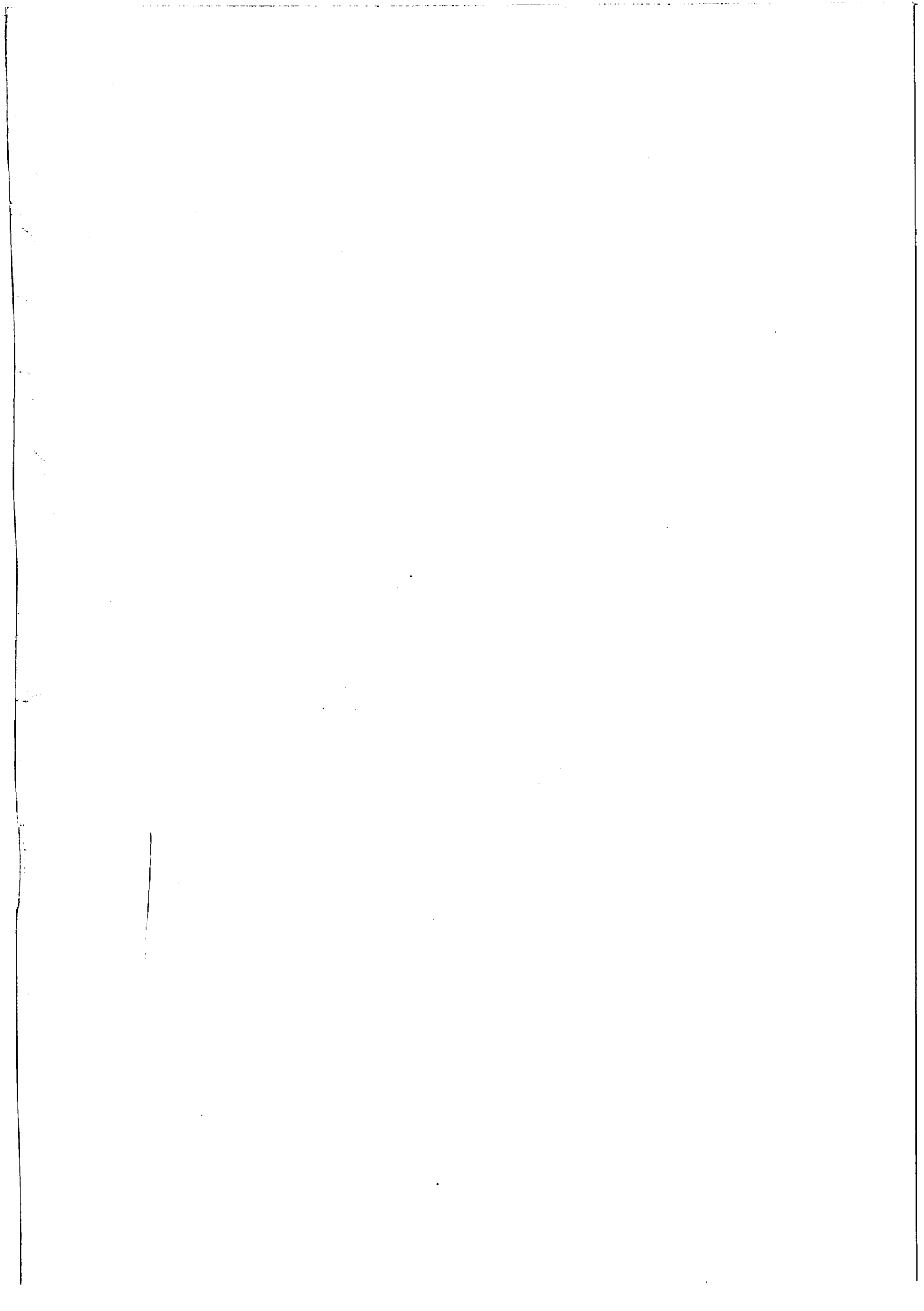
3) 運動中の $\dot{V}E, O_2$ 摂取%, CO_2 排出%, R 及び $\dot{V}O_2$ を WESTRON 社製代謝システム WMBS 1300 を使用し, Breath by Breath (1 呼吸ごと) で測定した。

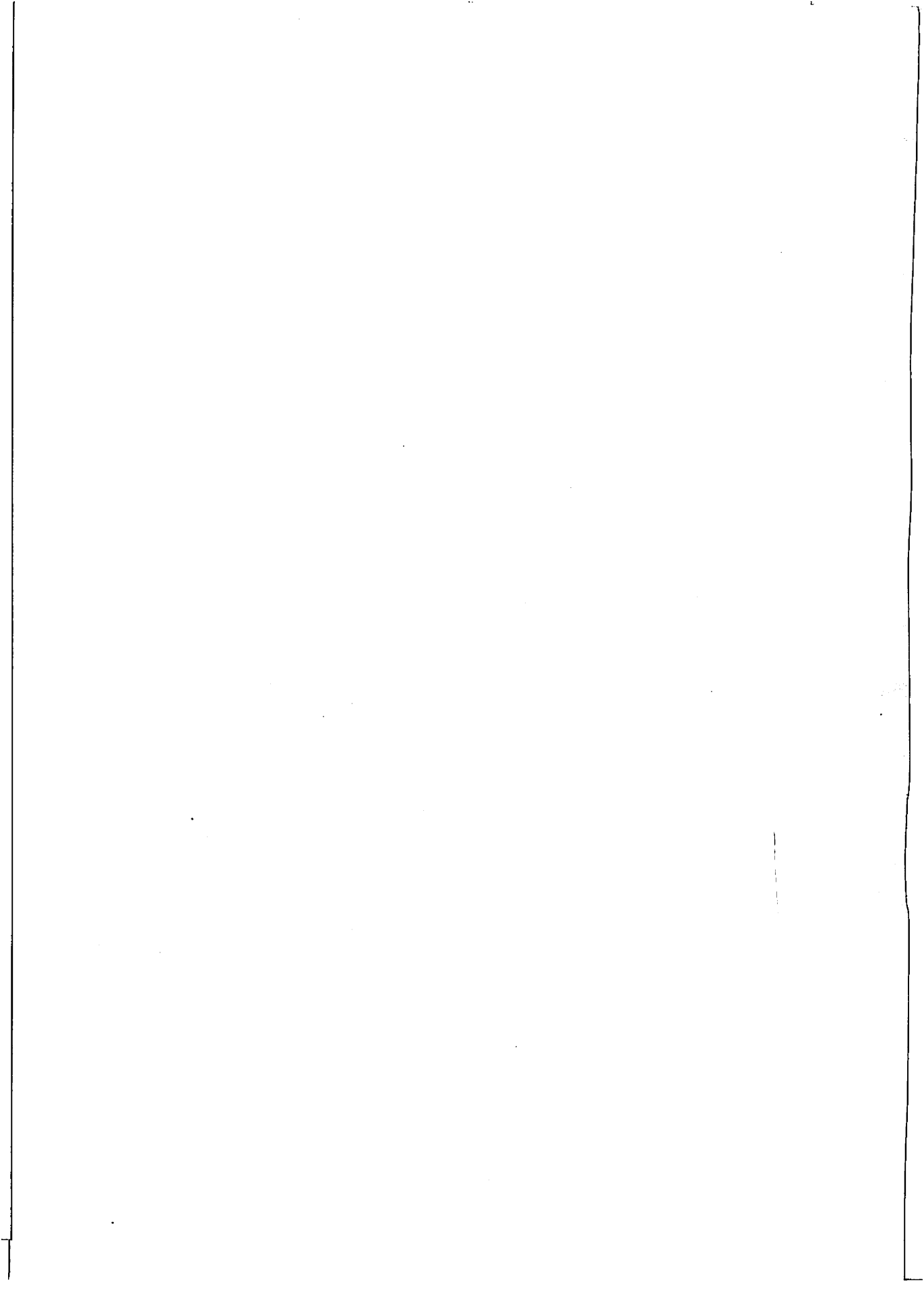
4) Breath by Breath で取らえた運動の開始に伴う $\dot{V}O_2$ の立ち上り様相を, 二つの直線式 ($Y_1 = a_1x + b_1, Y_2 = a_2x + b_2$) で表現し, それぞれの上昇勾配 (a_1, a_2) 及び 2 直線の交点 (X, Y) と運動強度 (kp, $\% \dot{V}O_2 \max$) 及び有酸素的作業能 ($\dot{V}O_2 \max/w$) との相関を求めた。

5) 3 被験者個人内においては, a_1 及び Y は運動強度との間に有意な相関が認められたが, 3 被験者間における有酸素的作業能と a_1, a_2 及び X, Y との間には有意な相関は得られなかった。

文 献

- 1) Beaver, William L., Karlman Wasserman, and Brian J. Whipp. On-line computer analysis and breath-breath graphical display of exercise function tests. *J. Appl. Physiol.* 34(1): 123-132, 1973.
- 2) Hickson, R. C., H. A. Bomze, and J. O. Holloszy. Faster adjustment of O_2 uptake to the energy requirement of exercise in the trained state. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 44 (6) : 877-881, 1978.
- 3) Hagberg, J. M., J. Nagle, and J. L. Carlson. Transient O_2 uptake response at the onset of exercise. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 44 (1) : 90-92, 1978.





昭和58年度 財団法人日本体育協会 スポーツ科学委員会

委員長	黒田 普雄 (東京大学教養学部)	委員	中嶋 寛之 (東京大学教養学部)
委員	東 俊郎 (順天堂大学附属病院)	〃	名取 礼二 (東京慈恵会医科大学)
〃	浅見 俊雄 (東京大学教養学部)	〃	鳴海 吾郎 (鳴海病院)
〃	井川 幸雄 (東京慈恵会医科大学)	〃	平木 隆三 (日本サッカー協会)
〃	石河 利寛 (順天堂大学体育学部)	〃	松井 秀治 (愛知県立大学)
〃	小野 三嗣 (東京学芸大学保健体育科)	〃	松田 岩男 (上越教育大学)
〃	桑野 豊 (筑波大学体育科学系)	〃	宮下 充正 (東京大学教育学部)
〃	高沢 晴夫 (横浜市立港湾病院整形)	〃	村山 正博 (関東逓信病院循環器内科)
〃	塚脇 伸作 (早稲田大学教育学部)	〃	山川 純 (日本女子体育大学)

財団法人日本体育協会 スポーツ科学研究所

研究員 塚越 克己 金子 敬二
雨宮 輝也 松井美智子
伊藤 静夫

昭和57年度 財団法人日本体育協会 スポーツ科学研究報告

編集代表者 黒田 普雄
発行者 鈴木 祐一

発行所 財団法人 日本体育協会
東京都渋谷区神南1-1-1 岸記念体育館
TEL (03) 467-3111

