

# 昭和48年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

## No. VII 環境温・湿度が持久性運動に及ぼす影響

—その 1 環境温度と持久性運動に関する研究

第 4 報, 環境温度が最大下作業中の循環機能に及ぼす影響

—その 2 環境湿度と持久性運動に関する研究

第 1 報, 湿度の Performance への影響について

—その 3 3 温度条件下 ( $10^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ ) における運動中の心拍数

と %  $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$  との関係

財団法人 日本体育協会

ス ポ ー ツ 科 学 委 員 会



## その 1

# 環境温度と持久性運動に関する研究 第4報

## 環境温度が最大下作業中の循環系機能に及ぼす影響について

財) 日本体育協会スポーツ科学研究所

黒田 善雄, 鈴木 洋児, 塚越 克己

雨宮 輝也, 伊藤 静夫

### はじめに

我々は、これまでの研究で、いろいろな環境温度のもとで、同一負荷の全身的作業を行なう場合、作業成績が10°Cの時最も優れており、これより高温でも低温でも低下することを人工気候室内におけるトレッドミル走あるいは自転車エルゴメーターによるペダリング作業による実験によって報告した<sup>11)12)</sup>。又、この作業成績を限定する最も重要な因子の一つは、心臓を中心とした循環系機能の優劣であろうと考察してきた<sup>13)</sup>。すなわち、心拍出量を心臓機能の最も優れた指標とみなすならば、快適な環境温下での作業中、心拍出量は、活動筋が必要とする酸素の量により決定される<sup>2)3)8)</sup>。というのは、筋の収縮によって生じる末梢での代謝産物が、活動筋群中の抵抗血管(resistance vessels)を拡張させ、筋に酸素を送り込む。筋での酸素の授受は、主に流れる血液の量に比例し、酸素をより必要とすれば、それだけ血流量を増加させねばならない<sup>9)10)16)20)</sup>。一方、筋収縮に伴い、腹部内臓及び活動しない筋群中の抵抗血管の反射的収縮がある<sup>4)5)18)21)</sup>。したがって、心室から送り出される血液は優先的に活動筋群に流れ送られることになる。しかし、高温下作業のような場合は異なる。生体は、作業中代謝をスムーズにする為、ある一定の体温を維持しようとする<sup>17)</sup>。これに対し、外部からの高温は、この体温維持を乱そうという作用をする。この際、生体は体温を維持しようと放熱を盛んにするため皮膚血流量を増加させねばならない。その結果、心拍出量は、内臓諸器官に必要な最少限の血液量を除いた量を活動筋群と皮

膚で分配することになる。こうなると、作業持続能は、活動筋に必要な血液量と、体温調節に必要な血液量の両者をどれだけ充たすだけの血液量を拍出可能かという心臓の機能に規定されると考えられる<sup>21)</sup>。

本研究では、環境温度を異にする条件下での作業中及び作業後の循環系機能の変動を知ることにより、環境温度が心拍出量に与える影響と、それにより作業成績に及ぼす影響を知ろうとするものである。

### 方 法

#### 1. 被検者と実験条件

表1は、被検者の特徴を示したものである。被検者は、年令19才2名、20才3名の計5名で、大学陸上競技部に所属し長距離走を専門とする男子選手である。最大酸素摂取量は、体重当り 62.55 ml/分～73.47 ml/分の範囲にありいずれも優れた有酸素的能力を有している。

被服は、これまでの一連の実験と同様、綿製ランニングパンツとゴム底布製シューズのみを着用させた。

環境条件としては、温湿度調節室内に大気圧のもとで、温度0～3°C—湿度約75%，温度10°C—湿度約75%，温度20°C—湿度60%，温度30°C—湿度60%，温度40°C—湿度60%の5条件を設定した。なお、当科学研究所の温湿度調節室の許容力については、当報告の第3報に記したので参照されたい。

作業は、モナーク社製自転車エルゴメーターを仰臥位でこがせ、負荷強度は720kpm/分(2kp・

表1 Characters of Subjects and Their Max.  $\dot{V}O_2$ Uptake

	Age yrs	Ht cm	Wt kg	Max. $\dot{V}O_2$ Uptake & Max. H. R. & R. R.				
				$\dot{V}E$ 1/min. (BTPS)	$\dot{V}O_2$ 1/min.	$\dot{V}O_2/kg$	H. R. /min.	R. R. /min.
A. K.	20	175.3	62.4	155.42	4.36	69.81	187	67
B. A.	20	171.2	61.2	166.75	4.50	73.47	198	78
K. K.	20	169.0	55.9	167.00	3.50	62.55	198	67
S. K.	19	172.3	56.7	147.49	3.95	69.73	190	63
A. S.	19	168.2	60.1	154.12	4.03	67.06	198	67

60回転/分)と1080kpm/分(3kp・60回転/分)の2種類とし、前者は30分間、後者は1時間(但し1時間持続出来ない場合は、作業の持続が不可能となるまで)行なわせた。

## 2. 測定種目と方法

測定種目は、直腸温、皮膚温(額、下腿、胸部上)、心拍数、呼吸数、換気量、酸素摂取量、血圧、心拍出量、運動後下腿血流量である。

各種体温の測定は、サーミスター法で行ない、直腸温の測定は、肛門部より8cmの深さとした。心拍数は、胸部誘導心電図法で行ない、呼吸数は、呼吸に伴う胸廓運動をラバーストレンゲージでとらえ、いずれもインク書きオシログラフに記録した。換気量はダグラスバック法で呼気を採集し、乾式ガスマーテーで計量した。酸素摂取量を測定するため呼気ガスの一部を10cc注射筒で取りショランダー微量ガス分析器で分析した。血圧測定はRiva-Rocci型水銀血圧計を用い、Korotokovにより判定した。測定位置は上腕部で、最小血圧は4点及び5点を記録し、採用値は、これまでと同様第4点の値とした。心拍出量は、CO<sub>2</sub>再呼吸法で測定した。CO<sub>2</sub>濃度4.5%前後のものを5ℓ入り用ゴム製閉鎖バックに入れ、安静時3秒に1回、作業時3秒に2回のテンポで再呼吸させた。1回ごとの換気は、5cc注射筒で行ない、それをショランダー微量ガス分析器で分析した。心拍出量の算出は、CO<sub>2</sub>排泄量と肺胞ガス中のCO<sub>2</sub>含量(end-tidal Sompling)から計算された動脈血中のPCO<sub>2</sub>からと、さらに再呼吸中の1回肺胞ガス中のCO<sub>2</sub>含量から計算された混合静脈血のPCO<sub>2</sub>から、フィックの原理に従い行なわれた<sup>14)</sup>。

$$\text{すなわち}, \dot{Q} = \frac{\dot{V}CO_2}{CvCO_2 - CaCO_2}$$

$$\left. \begin{array}{l} \dot{Q} = \text{心拍出量 } \ell/\text{min}, VCO_2 = CO_2 \text{ 排泄量 } \\ \text{CaCO}_2 = \text{肺胞血中の CO}_2 \text{ 含量 } \text{m}\ell/\text{min.} \\ CvCO_2 = \text{混合静脈血中の CO}_2 \text{ 含量 } \text{m}\ell/ \\ \quad \quad \quad \ell. \text{Blood} \end{array} \right\}$$

下腿血流量の測定は、フォイツトニーのラバーストレンゲージ法で行ない、ストレンアンプを通し、インク書きオシログラフに記録した。ゲージの較正は、測定時と同一の環境下で、マイクロメーターを利用し行なった。これら測定方法は、いずれも、これまでの一連の研究と同一である。

## 3. 実験手順

実験手順は、これまでの研究とまったく同様で、被検者は、あらかじめ必要な電極等を装着し、気温25°C±1°Cに調節された部屋で30分間の座位安静後温湿度調節室に入室し、仰臥位安静を15分間保つ。仰臥位の姿勢は、下肢部が、心臓の位置よりやや高くなるよう配慮した。安静時測定は、入室後10分より行なったが、血圧と血流量の測定は入室後13~14分、心拍出量の測定は14~15分の間に行なった。運動は、図1に示したように、仰臥位の姿勢のまま自転車をこぐ様式である。

測定の時間間隔は、各種体温及び心拍数・呼吸数は毎分とし、呼気の採集は作業中5分ごとに1分間とした。血圧は、運動開始から5分まで、出来るだけ1分間隔で記録し、その後5分ごととした。心拍出量は、運動終了1分前に測定した。

運動後、下腿血流量は、30秒以内、1分、1分30秒、2分、5分、その後5分ごとに計10回測定した。回復期呼気は運動終了時から3分間、次いで7分間、その後10分間づつ計4回に分け30分間の

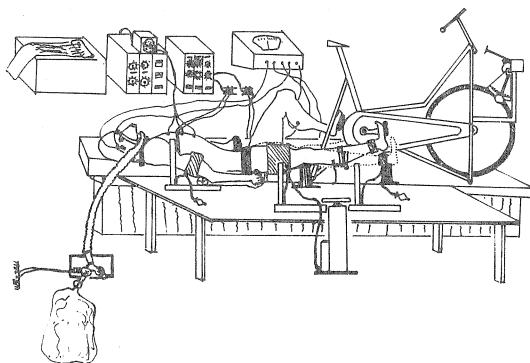


図 1

全時間採集した。血圧は、運動終了時、3分後、5分後、その後5分ごとに30分まで計8回計測した。

## 結 果

図2は、被検者 A.S の作業中の心拍数と酸素

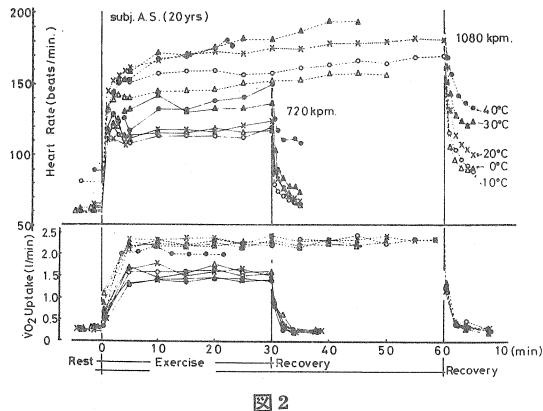


図 2

摂取量を示したものである。心拍数は、一定強度作業中負荷の軽重にかかわりなく、温度の差による、明らかな水準の差が認められ、高温になるに従い高い値を示した。しかし、酸素摂取量は、40°Cの高温下でやや低い値を示すものの他は、いずれも温度条件による差はなく、その影響は認められなかった。これらの傾向は、20分ないし30分の短時間のしかも負荷の軽い作業で行なわれたこれまでの実験結果と一致する。

図3は、同被検者 A.S の作業中の血圧と心拍

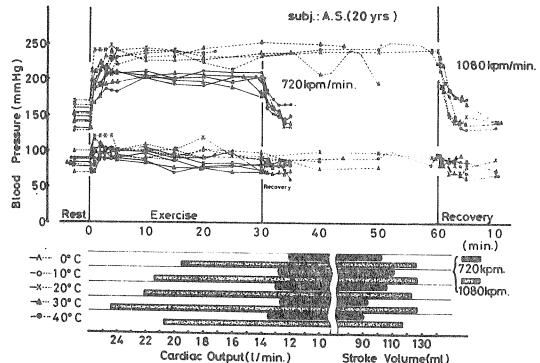


図 3

出量の変動を示したものである。血圧値は作業強度による差は認められるが、温度条件による差は認められない。ただ、720kpm/分の軽作業で40°Cの高温下の場合、最大血圧値はわずかに高い。20分の短くしかも負荷の軽い作業で最大血圧値は高温になるに従い高くなると報告したが、本実験では有意差はなかったもののその傾向を示した。特に20分時値は明らかにその傾向が認められた。720kpm/分の軽負荷時、心拍出量は高温になるに従い増加する傾向を示すが、一回拍出量は10°Cの際最大値を示し高温条件になるに従い減少する。1080kpm/分の重負荷の場合、心拍出量は、0°C~30°Cまで、高温になるに従い増加する。これに対し1回拍出量は変わらない。他の温度下と比較して作業時間が極端に短かかった40°Cの条件の際、心拍出量は、0°Cの時より高かったものの、30°Cに比べ大きく減少し、1回拍出量も他の温度条件下に比較し減少した。これらの傾向は、他の被検者についても、ほぼ同様にみられ、Asmussen<sup>1)</sup>、Rowell等<sup>18)</sup>の報告とも一致するものであった。

図4は、被検者 A.S. の作業後の下腿血流量を示したものである。最大値は、高温条件になるほど高い値を示す。ただ A.S. の場合、他の被検者と異なり、40°Cの際、血流量の最大値が、30°Cよりも低く、その他の温度条件の場合とほぼ等しい値を示した。

表2及び表3は、720kpm/分と1080kpm/分の負荷作業終了1分前の環境系機能の測定値を各被検者につき示したものである。被検者5名の内、全実験条件を消化したのは、S.K. を除く4名で、

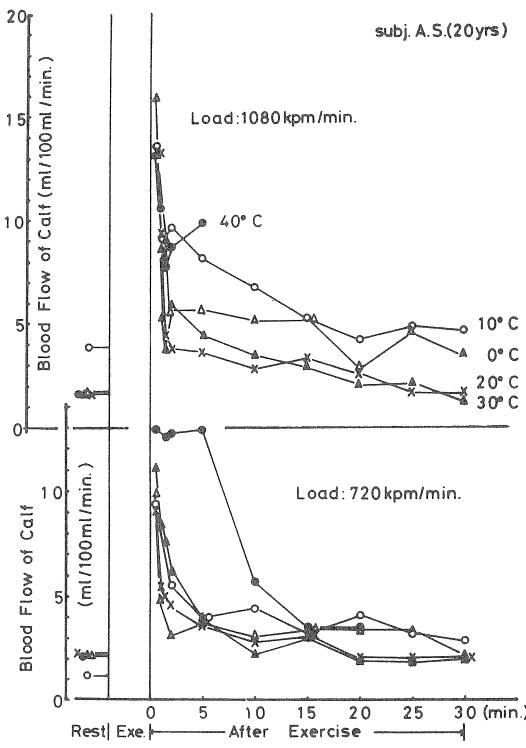


図 4

平均値は、この4名の値より算出した。なお、下腿血流量は、作業後の最大値である。作業持続時間は、軽負荷の場合、B. A. が 40°C の時15分間であったのを除けば、いずれも所定の30分間であった。しかし、重負荷の場合、所定の60分間の作業持続時間を完遂したのは、0°C, 10°C, 20°C の3条件下で5名中2名、30°C, 40°C の高温下では、4名中誰れも完遂できなかった。特に、B. A. と A. K. は高温になってからの作業持続時間の低下は大きい。

図5は、表2、表3に示した結果のうち、酸素摂取量、心拍数、直腸温について図示したものである。白印は720kpm/min、黒印は1080kpm/minの強度の場合であり、4名の平均値とその最大・最小値及び個人値を示してある。酸素摂取量は、軽い負荷の場合、高温になるとやや低下する傾向がみられる、その差は1.62~1.49 l/minの0.13 l/minであった。重い負荷の場合、30°C以下の条件では差はないが、40°Cの時低下する。最大値との差は、0.24l/minで、どの被検者にもこの低下傾向は認め

られた。これまでの研究結果からすると、酸素摂取水準は外部環境温度に影響されない。絶対値では、10%以内の差であるがいずれの被検者も同じように低下傾向を示したことから、統計的に有意な減少と認められる。

心拍数は、平均値で比較すると、軽負荷の場合、0°C~20°C の温度下では差が認められないが、30°C, 40°C と高温になるに従い増加する。重い負荷の場合は30°Cまで高温になるに従い増加し、最大・最小値の巾は広がる。しかし 40°C では、30°C に比較し心拍数には差がみられず、約166拍/分であった。0°C と 40°C の平均心拍数の差は軽作業で33.1拍/分、重作業で20.7拍/分とともに大きな差が認められる。これらの結果は、これまでの研究結果と一致するものであった。

直腸温は、30°C以下の温度条件では、作業負荷の軽重による差が認められるものの、温度条件による差は、平均値で 0.2°C 以内である。しかし、40°Cの場合、他の温度条件に比較し明らかに高い値を示し、しかも負荷の軽重による差がほとんど認められなくなる。

図6は、前図同様表の値を図示したものである。横軸には心拍数を取り、たて軸には1回拍出量、平均血圧、心拍出量、下腿血流量を取り、心拍数と他の循環系機能との関係を示したものである。黒印は720kpm/minで、白印は1080kpm/minの強の作業を示し、各温度条件下の平均心拍数に対し、それぞれの平均値とその巾を示した。

心拍出量は、軽作業の場合、温度が高くなると心拍数の増加が認められるにもかかわらず、その増加傾向は認められず、平均値で11.26l/min~12.02l/minの範囲であった。これに対し、重作業の場合、0°Cの低温と40°Cの高温で心拍出量は少なく、10°C~30°Cではほぼ等しい19.31l/min~20.13l/minの平均値を示した。Asmussen は<sup>1)</sup>、環境温度を異にし、同一負荷の歩行作業を行なわせると、心拍数は高温になると増加するが、心拍出量は、低温下と比較し変らないかやや低下すると報告し、Rowell 等<sup>8)</sup>は、4種の異った負荷を持つ作業を25.6°Cと43.3°Cの2温度条件下で行なわせた場合、心拍出量は、軽作業では温度による著明な差は認められないが、重作業では、26.5°Cに比較し43.3°C

表2 Several Measurements during Exercise and Maximum Blood Flow of Calf during Recovery Load ; 720 kpm/min.

0°C	Work T.	H. R.	$\dot{V}O_2$	Q	SV	A $\dot{V}O_2$ -D	C. B. F.	M. B. P.	Trec.
A. S.	30' 00	119.4	1.61	12.12	101.5	133.2	9.96	123.0	37.6
B. S.	30' 00	101.4	1.59	11.05	109.0	143.9	9.89	125.0	37.5
A. K.	30' 00	100.2	1.65	12.49	124.7	132.4	9.02	113.0	36.8
K. K.	30' 00	118.8	1.61	11.00	92.6	146.3	6.73	136.0	37.5
Average		110.0	1.62	11.67	106.9	139.0	8.90	124.3	37.4
S. K.	30' 00	115.2	1.63	11.22	97.4	144.8	8.50	121.0	37.8
10°C									
A. S.	30' 00	115.2	1.60	12.81	111.2	124.6	9.38	142.0	37.7
B. A.	30' 00	113.4	1.53	10.16	89.6	150.1	9.44	108.0	37.6
A. K.	30' 00	99.0	1.59	13.00	131.3	122.5	8.74	110.0	36.8
K. K.	30' 00	108.8	1.42	9.07	83.4	156.3	6.20	120.0	37.5
Average		109.1	1.53	11.26	103.9	138.4	8.44	120.0	37.4
S. K.	30' 00	119.4	1.68	14.04	117.6	119.3	8.71	132.0	38.0
20°C									
A. S.	30' 00	123.0	1.51	13.04	106.0	122.0	9.19	140.0	37.8
B. A.	30' 00	103.2	1.44	9.24	89.5	155.5	7.88	115.0	37.6
A. K.	30' 00	102.0	1.63	12.36	121.2	131.9	8.25	110.0	36.9
K. K.	30' 00	120.0	1.76	13.42	111.8	131.4	6.99	125.0	37.5
Average		112.1	1.61	12.02	111.8	135.2	8.08	122.5	37.5
S. K.	30' 00	123.0	16.3	14.16	115.1	11.48	8.64	125.0	37.5
30°C									
A. S.	30' 00	135.0	1.43	12.63	93.1	113.0	11.15	125.0	37.7
B. A.	30' 00	118.8	1.41	10.56	88.9	133.5	11.82	112.0	37.7
A. K.	30' 00	110.4	1.72	12.19	110.4	140.7	12.68	114.0	37.1
K. K.	30' 00	123.0	1.58	12.50	101.6	123.0	8.80	131.0	37.7
Average		121.8	1.52	11.97	98.5	127.6	11.11	120.5	37.6
S. K.	30' 00	135.6	1.54	12.38	91.3	124.6	8.86	128.0	37.6
40°C									
A. S.	30' 00	150.0	1.41	13.50	90.0	104.6	12.92	142.0	38.8
B. A.	15' 00	134.4	1.45	11.75	87.4	123.4	15.17	120.0	37.9
A. K.	30' 00	132.0	1.57	11.26	85.3	139.1	12.54	116.0	38.0
K. K.	30' 00	156.0	1.52	11.46	73.4	132.2	15.53	122.0	38.4
Average		143.1	1.49	11.99	84.0	124.8	14.04	125.0	38.3

Work T ; Work Time, H. R. ; Heart Rate beats/min.,  $\dot{V}O_2$  ; Oxygen Uptake 1/min. Q ; Cardiac Output 1/min., SV ; Stroke Volume ml/beat, A $\dot{V}O_2$ -D ; Arterio-mixed Oxygen Difference ml/l, C. B. F. ; Calf Blood Flow ml/100 ml/min. M. B. P. ; Mean Blood Pressure mmHg, Trec. ; Rectal Temperature °C

表3 Several Measurements during Exercise and Maximum Blood Flow of Calf during Recovery  
Load ; 1080 kpm/min.

0° C	work T.	H. R.	$\dot{V}O_2$	$\dot{Q}$	SV	A $\dot{V}O_2$ -D	C. B. F.	M. B. P.	Trec.
A. S.	49' 00	154.8	2.32	19.52	126.1	118.9	13.07	134.0	38.1
B. A.	60'+ $\alpha$	148.2	2.34	16.90	114.0	138.4	11.34	127.0	37.9
A. K.	60'+ $\alpha$	132.6	2.35	16.57	125.0	141.8	11.88	134.0	38.0
K. K.	45' 00	144.0	2.38	16.98	118.1	140.2	11.08	153.0	37.8
Average		144.9	2.35	17.49	120.8	134.8	11.84	137.0	38.0
S. K.	35' 00	145.2	2.40	20.15	138.8	118.9	12.20	146.0	38.2
10° C									
A. S.	60'+ $\alpha$	168.6	2.36	21.39	126.9	110.4	13.51	158.0	38.1
B. A.	44' 00	138.0	2.28	18.57	134.6	122.9	11.30	133.0	37.6
A. K.	60'+ $\alpha$	147.6	2.45	20.38	138.1	120.4	12.74	135.0	38.0
K. K.	30' 00	157.8	2.30	18.66	118.3	123.3	11.78	147.0	37.7
Average		153.0	2.35	19.75	129.5	119.3	12.33	143.3	37.9
S. K.	35' 30"	139.8	2.15	16.13	115.4	133.5	13.14	155.0	38.1
20° C									
A. S.	60'+ $\alpha$	178.8	2.37	22.14	123.8	107.0	13.28	165.0	38.3
B. A.	45' 30"	159.0	2.37	17.16	107.9	138.3	10.92	118.0	37.9
A. A.	60'+ $\alpha$	144.0	2.37	18.50	128.5	128.1	12.72	124.0	38.0
K. K.	30' 00	169.0	2.29	19.44	114.9	117.7	11.63	130.0	38.1
Average		162.7	2.35	19.31	118.8	122.8	12.14	134.3	38.1
S. K.	30' 00	157.8	2.61	19.36	122.7	134.9	13.91	153.0	37.7
30° C									
A. S.	44' 00	192.6	2.22	24.45	127.0	90.8	15.91	170.0	38.6
B. A.	20' 30"	159.0	2.23	18.56	116.7	120.1	16.98	128.0	37.9
A. A.	20' 00	148.2	2.33	19.05	128.5	122.5	15.32	120.0	37.6
K. K.	20' 00	162.0	2.46	18.47	114.0	133.4	12.78	138.0	37.7
Average		165.5	2.30	20.13	121.6	116.7	15.25	139.0	38.0
40° C									
A. S.	22' 00	176.4	2.11	20.68	117.2	102.0	13.08	166.0	38.5
B. A.	14' 00	162.0	2.10	17.57	108.5	119.7	18.29	132.0	38.3
A. A.	15' 15"	146.4	2.11	16.04	109.6	131.7	15.17	141.0	38.4
K. K.	20' 00	177.6	2.12	15.23	85.8	139.3	13.34	148.0	38.5
Average		165.6	2.11	17.38	105.3	123.2	14.97	146.8	38.4

Work T. ; Work Time, H. R. ; Heart Rate beats/min.,  $\dot{V}O_2$  ; Oxygen Uptake 1/min.  $\dot{Q}$  ; Cardiac Output 1/min. SV ; Stroke Volume ml/beat, A $\dot{V}O_2$ -D ; Arterio-mixed Oxygen Difference ml/l, C. B. F. ; Calf Blood Flow ml/100ml/min. M.B.P. ; Mean Blood Pressure mmHg, Trec. ; Rectal Temperature °C

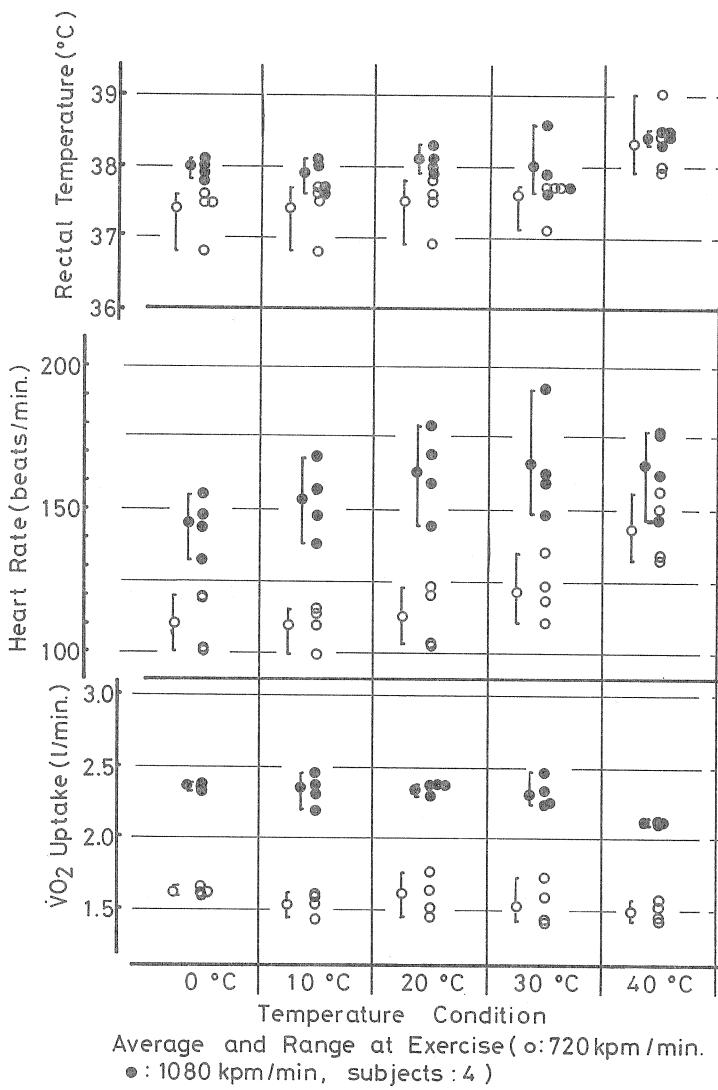


図 5

の方が12.5~15.0%低くなると報告しており、本研究結果は、これらの結果とほぼ一致する傾向を示した。

1回拍出量は、高温になるに従い低下する。軽作業では、0°Cの時106.9ml/拍であったのが40°Cで84.0ml/拍、重作業では、0°Cの時120.8ml/拍であったのが40°Cでは105.3ml/拍となる。

動脈酸素較差は、軽作業の場合、30°C及び40°Cといった高温でわずかに低下しているが著明な差ではなく、有意な差であるとは認められない。平均値の最小・最大値は124.8ml/l, ~139.0ml

/lで約10%の差である。重作業の場合、0°Cの低温で、平均134.8ml/lと高かったものの、他の温度件の時は、116.7ml/l~123.2ml/lと平均値で条比較して温度による差は認められなかった。Asmussenのトレッドミル歩行による実験での30分時点では、高温が116ml/l、低温が113ml/lと絶対値で本研究結果より低いが、傾向は一致する。

平均血圧は、軽作業の場合、平均値で120.0mmHg~125.0mmHgの範囲にあり、温度による著明な差が認められない。重作業の場合、20°Cの時最低値の134.3mmHgを示し、それより低温でも

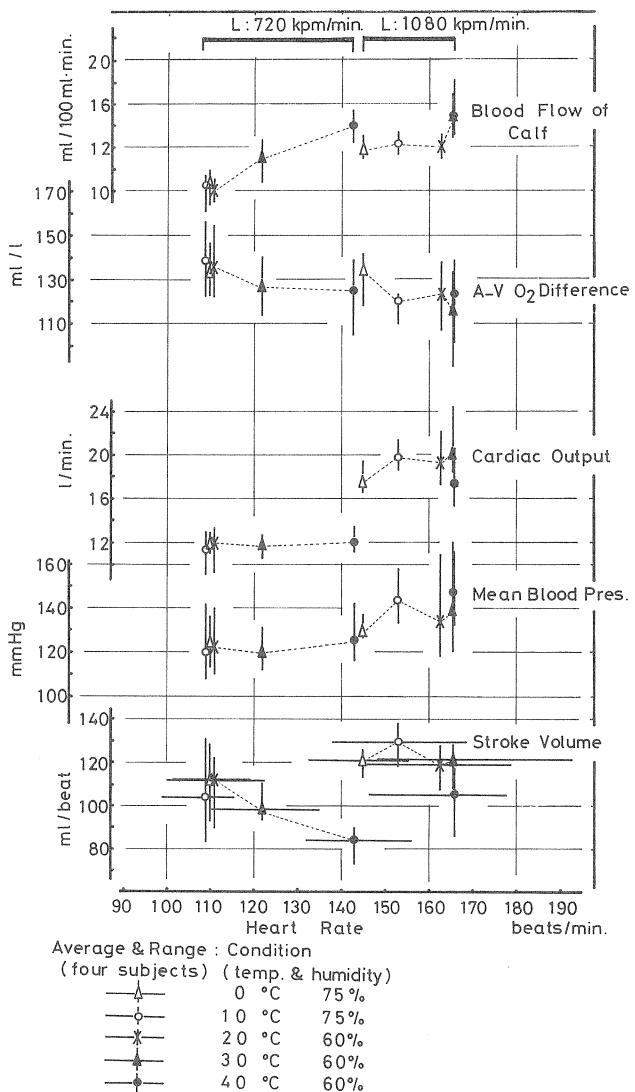


図 6

高温でも高くなる。又、最高値は40°Cの時の146.8mmHgで、最低値との差は12.5mmHgと大きい。これまでの研究結果では、低温でやや高く10°Cないし20°Cで最低値を示し、高温になるに従いやや高くなるか変わらない。本結果はこの研究結果と一致するものである<sup>9)</sup>。

下腿血流量は、20°C以下の温度条件では、心拍数が温度により変動しても変わらない。しかし、軽負荷の場合、30°C、40°Cと高温になるに従い心拍数は増加し、下腿血流量も増加するが、重負荷の

場合、高温になるといずれも増加する傾向を示すが30°Cと40°Cでは、心拍数が約166拍/分と差がない、下腿血流量も平均値で、30°Cが15.25ml/100ml/分、40°Cが14.97ml/100ml/分と差が認められない。ここで特記すべき結果は、40°Cの時、軽負荷で平均が14.04ml/100ml/分、重負荷で14.97ml/100ml/分と、負荷の軽重にかかわりなく、下腿血流量がほぼ等しい値を示したことである。

図7は、心拍出量と下腿血流量及び動静脈血酸素較差の関係を示したもので、縦軸に下腿血流量

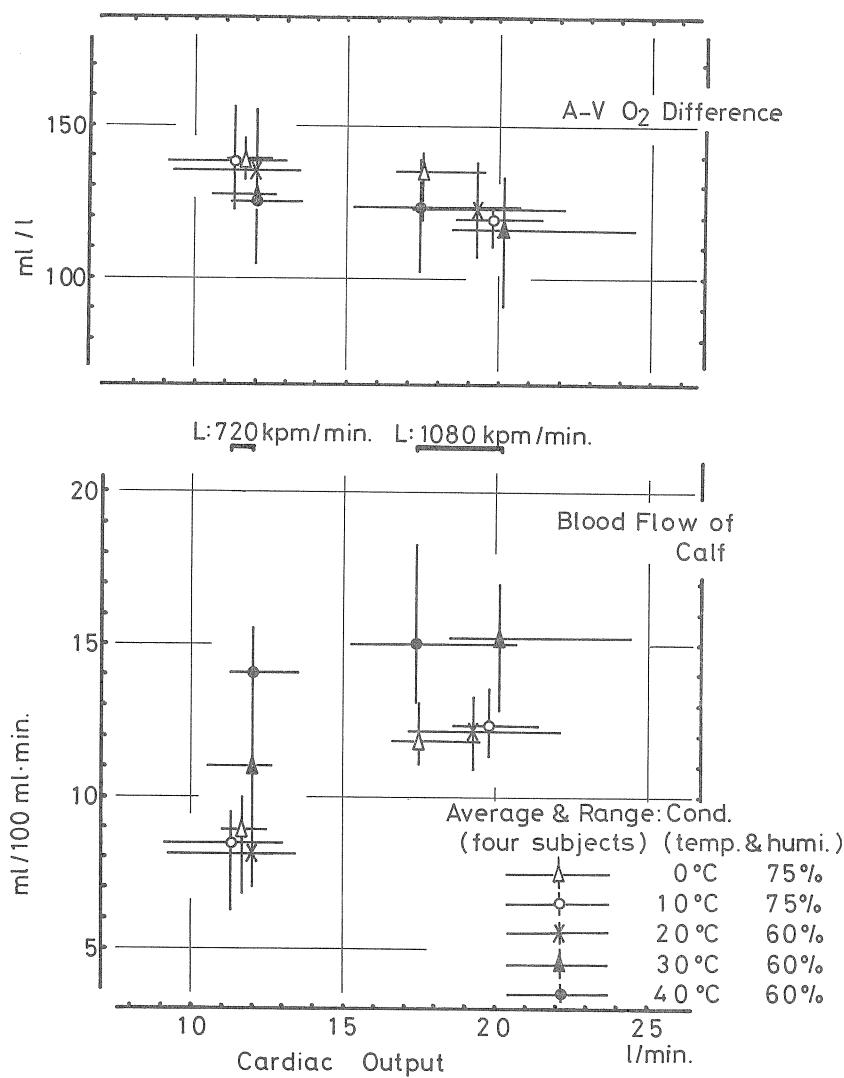


図 7

と動静脈血酸素較差、横軸に心拍出量をとり、値は被検者 4 名の平均とその範囲である。

軽作業の場合、心拍出量は、0°C 及び 10°C の時わずかに低い値を示すが温度条件に影響されない。下腿血流量は 30°C 及び 40°C と高温になると増加し、逆に動静脈酸素較差は高温になるに従い低下する。重作業の場合、40°C の条件を除き、心拍出量の増加に伴い下腿血流量は増加し、動静脈酸素較差は低下する。40°C の時は、心拍出量が減少するのに、下腿血流量は増加し、動静脈酸素較差は高くなる。

## 論 議

作業の筋収縮によってもたらされる定常的な体温上昇は、作業負荷の強さに応じたエネルギー代謝を充分亢進させるのに必要な体温であるとともに<sup>17)</sup>、循環系機能とりわけ、洞房結節の律動的興奮発生の頻度を高める要素を物理的に直接刺激する重要な役割をもっている<sup>18)21)</sup>。

この上昇した体温を恒常的に保持する上で、快適環境 (10°C~20°C) 条件以外の外部環境温度は、生体に対し体温調節機能を働かせねばならないと

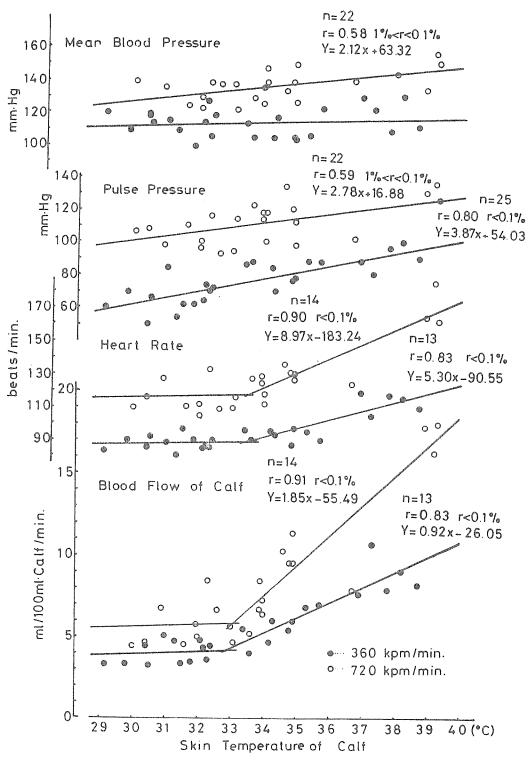


図 8

いう生理的に余分な負荷をもたらす。とりわけ、外部環境温に素早く反応する皮膚温とその変動に伴う末梢循環系機能の活発化は、心臓を中心とした循環系機能の働きに大きな影響を及ぼす。図 8 は、第 3 報ですでに報告した結果より引用したもので、皮膚温の変動と循環系機能の関係を示している。つまり、一定時間（20分間）同一負荷の作業を行なわせた際、皮膚温（この場合下腿皮膚温）が上昇するに従い平均血圧も脈圧もわずかに上昇し、33°Cを越すと心拍数は急激に増加する。又運動後の最大局所血流量（この場合下腿部）は心拍数とほぼ同様の傾向を示す。この皮膚温と循環系機能の関係は、先の第 2 報<sup>12)</sup>で示したように、1 時間の安静暴露実験でも同様の結果を示した。これらのこととは、高皮膚温の刺激により末梢の皮膚血管抵抗の低下がもたらされ、血管拡張が起きて、血流量が増したことによる中心循環系機能の変動を表わしていると思われる。

Asmussen によれば、高温下の長時間作業による皮膚循環の亢進は、中心血管 (Central veins)

と心臓の充満度の低下をもたらすであろうし、これによる心拍出量と血圧の低下は、反射的な心拍数上昇を引きおこす。仮に、適当な心拍出量の保持に失調をきたすならば、血圧は低下し、その結果作業の持続は不可能となる、と述べている。この Asmussen<sup>1)</sup> の意見に対し、Dill<sup>6,7)</sup>、三浦等は<sup>15)</sup>、高温下で同一作業を行なわせると快適条件下より、生体の生理機能のうち心拍数だけ最高水準に達する。このことから、心筋自体が能力の限界にまで達したので、作業が不能になるという説を示した。我々のこれまでの実験結果からは、一應高温による心拍数増加が心臓の仕事量の増大を招きその結果機能低下をもたらすという立場をとつて来た。

この二つの高温下作業に対する見解は、循環系機能の失調が作業持続を不能にするという点で同じである。しかし、直接原因が、心拍出量の低下によるのか、心筋疲労によるのかという点では、異なる見解を示したし、Cardiac Function の低下とする我々の見解とも異なる。

したがって、これらの見解に焦点を合せ、作業強度も作業量も等しい場合と、作業負荷が等しいのに、環境温度が異なることにより作業量に差が生じた場合のそれぞれの循環系機能の変動から、作業能を規定する因子、とりわけ高温下における作業持続の限界因子として循環系機能をどう位置づけるかが問題となろう。

まず、作業の負荷 (720kpm/分) と量 (30分) が等しい場合、30°C 及び 40°C といった高温下では、酸素摂取量にわずかな減少傾向がみられ、特に 40°C では 20°C 以下の温度条件下的値に対し間明らかに差が認められる。心拍数は温度条件が高くなるに伴い増加し、心拍出量及び平均血圧は変わらない。算出上の 1 回拍出量は高温になるに従い低下する傾向を示す。又、作業後の最高下腿血流量は、高温下で著明に増加している。この結果からすると、末梢での皮膚血流量が体温調節の有効な反射的作用として増加したと考えられるに、心拍出量は、その増加分を補なうことなく、拍出された血液が活動筋に流入すべきところ、皮膚に多量に流入したという、拍出量分配の比率変動を示している。つまり、長い時間、筋収縮をく

り返えし続けるには、相応の酸素が必要であり、摂取される酸素量は保持し続けねばならない。この筋の酸素需要量は流入する血液量に比例する。これ故、作業負荷が一定であれば、活動筋群に配分される血液量は常に一定量保持されねばならないはずである。では、皮膚血流量の増加は、活動筋群以外の組織や器官へ流れるはずの血液が皮膚に配分されたのであろうか。はじめに述べたように、確かに、活動筋群の収縮に伴い、腹部内臓及び収縮しない筋群中の抵抗血管が反射的に収縮するだろうし、心室内の血液の収縮予備量も動員されるであろうから、かなりの血液量が活動筋群に流入のみならず皮膚にも流入可能であることは充分に考えられる。しかし、作業が長時間に及ぶ場合、この反射的な心拍出量配分は持続されず、腹部内臓、非活動筋群の機能的活動が、ある程度回復されるに伴い、血液分配量もこれらの器管へわずかながら増すだろう。だから、結局は皮膚血流量の増加は、筋血流量を減少することにより補償されると考えざるを得ない。酸素摂取量が高温になると低下する傾向は、この活動筋群への血液量減少によるものであるとするのが妥当であろう。では、酸素摂取水準が低下しても作業を一定時間持続可能な理由であるが、おそらく、筋の持つ酸素負債能力によるものであろう。これまでの報告からすれば、長距離選手の最大酸素負債量は、少ない人でも $4\sim 5l$ である。 $20^{\circ}\text{C}$ と $40^{\circ}\text{C}$ の酸素摂取量の平均値での差は $0.22l/\text{分}$ であるから、30分の運動時間では約 $3.6l$ の総量の差がある。これは最大酸素負債能からすれば余裕があると考えられる。では心拍出量の配分比の変動は、中心血管と心臓の充満度にどのような影響をもたらすであろうか。

活動筋群に流入した血液は、筋ポンプ作用により還流静脈血として速やかに心臓へもどるが、皮膚に流入した血液は、高温により抵抗血管が拡張し、通常より多量となり、水分蒸発により粘性度が高まるあるいは、筋ポンプ作用で押し上げ切れない等、幾つかの条件が重なり皮膚での血液残留量が増し、循環時間も遅れることから、大静脈に還流する量が減少する<sup>18)</sup>。だから、心臓への還流血液量は皮膚血流量が増加すればするほど減少することになる。一方、高温刺激は、洞房結節の

律動的興奮の頻度を早め、心拍数の上昇を招くことは、これまでに多くの研究者により示されてきたとうりである<sup>15)23)24)</sup>。この心拍数の増加は、相対的に心室の弛緩期を短縮させ、収縮期を延ばす、又、筋運動により心拍数は高められるが、これい多くの場合交感神経が興奮させられるためで、この興奮は心室の等容性（等尺性）収縮期における内圧の上昇を早める。この上昇は、Laplace の法則に従えば、効率を悪くしても心室内径を小さくすることで左室内を素早くしかも軽微な圧より高くさせねばならない必然性を伴う。したがって、還流血流量の減少が血液の流入圧を低下させ、弛緩期が短縮し、心室内径が小さくなることから、心室は拡張末期容積を縮小せざるを得なくなる。一回拍出量は、拡張末期容積から収縮末期容積を差引いたものであるから、高温による一回拍出量の低下は、たとえ、心筋の収縮力で、心室中に残っている血液予備量（収縮予備量）を全て拍出しても防ぐことが出来ない。つまり、中心血管と心臓の充満度の低下が一回拍出量の低下として現われたのである。

しかも、活動筋群はある程度の酸素負債能をもっていたとしても、血液による酸素運搬を必要とし、一定の血流量は確保しなければならない。この為、さらに心拍動の頻度を増すことにより、血流量を保持しようとする働きを心臓はおこなう。だから、心臓が機械的に成す仕事量に著明な差がないにしても、効率の悪い収縮頻度の増加により、心筋が大きな負荷を漸次強いられることは、充分に考えられることである。

次に、高温において作業持続が不可能になった際の循環系機能の変動について考察しよう。典型的は一例として、被検者 A. S. の場合を上げると、A. S. は、 $1080\text{kpm}/\text{分}$ の負荷を有する作業を $10^{\circ}\text{C}$ 及び $20^{\circ}\text{C}$ の温度条件下で、60分間の作業停止指示が示されるまで余裕をもって持続したが、 $30^{\circ}\text{C}$ 及び $40^{\circ}\text{C}$ といった高温になるに従い、60分間の作業が持続できなくなり作業時間が短縮した。この作業持続が不能となる際と、60分間作業を完遂した際の測定結果を比較すると、作業時間が短縮し酸素摂取量が減少したのに心拍数、心拍出量、平均血圧及び運動後の最大下腿血流量は、温度条

件の上昇に伴い増加する傾向を示し、30°Cで最大値となり、40°Cではほぼ20°Cの値にまで減少する。30°Cで、作業時間が短縮し、酸素摂取量が減少したのに、循環系機能の測定値が最大を示したのは、皮膚血流量の增加分を心拍数の増大で心拍出量をふやすことにより補おうとしたのに、心拍数が193.0拍/分とほぼ最高心拍数に達してしまい、結局は充分な心拍出量を提供できず、その配分比が皮膚に大きくなることによる活動筋群への血流量の減少をきたしたためと思われる。しかし1回心拍出量は、A.S.の場合、軽作業では30°Cの時低下したのに、重作業では最大値を示した。これは作業負荷と30°Cという温度条件によるもので、直腸温にも示されるように、体温の熱平衡は30°Cでは保たれ、定常値を示すことから、皮膚血流量の増加はある限定された範囲内にとどまっていると思われるのに対し、作業強度が増加されて、筋収縮が強まり筋ポンプ作用がより有効になる。このため静脈血還流が早められ、したがって還流血流量の減少に伴う中心血管及び心臓の充満度の低下が認められなかったためであろう。又、平均血圧値の上昇傾向からみて、心筋の収縮張力が増し、血液の収縮予備量の充分な拍出も1回心拍出量の増加に結びついているのである。すると、作業短縮の原因是、皮膚血流量の増加と酸素摂取水準の低下から心拍出量の配分比による活動筋群への血流量減少による酸素運搬能の低下と心拍頻度による心臓の機械的仕事量（心拍数×1回心拍出量×平均血圧）の増加にあると思われる。

これに対し、さらに高温（40°C）になると、作業時間も20分前後と極度に短縮し、作業持続不能時の酸素摂取量は30°Cに比較しさらに減少する。一方循環系機能の測定値は30°Cに比較し低い水準を示し、20°Cと比較すると心拍数、下腿血流量は変らず、心拍出量、一回心拍出量は低く、平均血圧は高い。作業量が極度に減少したのに下腿血流量に差が認められなく心拍出量が減少したのは、皮膚血流量の増加を示している又、一回心拍出量の減少傾向は還流血流量の減少によるのであり、心臓充満度の低下をもたらす。これらのことから、作業時間の短縮は、活動筋群にとって心拍出量の配分比が不利となり、充分な血液量が得られず、

酸素摂取水準の低下をもたらし、さらに、酸素負債能も限界に達し、ついに筋収縮に必要な酸素不足を来たしたためであろう。だが、心拍数はまだ最高値に余裕があり、心拍頻度の上昇により心拍出量の増加は見込めるはずであるのに、心拍出量の減少がみられたことはなぜか。Rowell等の報告によれば、25.6°Cと43.8°Cの環境温度下で同一負荷の作業を12分間行なわせると、作業負荷が大きくなるほど心拍出量は高温下の方が減少する。又、Asmussen<sup>1)</sup>も高温下における長時間、作業では、心拍出量が低下していることを示している。しかし、いずれも心拍数は最高値に達していない。このことは、おそらく心筋の収縮張力と幹動脈血圧に關係してくるのであろう。

心筋の収縮張力の調節は、筋長の変化を要するものと、これを要しない自己調節とがあり、いずれも、物理的条件（例温度、姿勢、pH等）、各種イオン、薬物作用、とりわけ自律神経及びその伝達物質の作用により著しく影響されることは周知の通りである。身体作業の場合、酸素需要量の増大が心拍出量の増加を要求するが、これに交感神経が興奮し心拍数を上昇させ、心室筋の等容性（等尺性）収縮期の内圧を幹動脈血圧の上昇に伴い高め、速度を早めてこれを補っていることはすでに述べた。

ところが、高温下における作業では、還流血流量が減少することにより心室への静脈流入圧が低下する。又、心拍数の上昇は心室の弛緩期短縮をもたらし、幹動脈血圧を高くし、これに伴い心室筋の等容性（等尺性）収縮期の内圧上昇が要求される。そしてこれらが総合され、結果的には一回出量が減少することになる。このことは先に述べた通りであるが、心臓から幹動脈へ血液を拍出するため、動脈弁を押し開くだけのこの心室内圧上昇とともに、心筋の収縮張力を強めるため、血液流入圧（流入量）で心室の弛緩末期容積を一定程度に保つことにより、心筋長を引き伸さねばならない。このため、一定量の静脈流入が必要となる。だから、幹動脈血圧にみあう心室内圧上昇に必要最小限の心室内径で、しかも一定の心筋長が得られるまで常に血液は左室内に満されることになるので、一回心拍出量は極度に減少することはない。そ

れ故、心拍頻度が急な上昇を生じる前に、環流血液量の減少で心臓の充満度が低下し、一回拍出量が減少する。この結果、心拍出量が減少して、酸素運搬能が低下し、活動筋群は作業持続が不能になってしまふのである。心拍数が最大値に達していないのに一回拍出量も心拍出量も $40^{\circ}\text{C}$ 下の作業で低下し、作業時間が短縮したのは、こうした理由によるものと思われる。

もちろん、高温下の作業では、循環系機能が作業持続不能の到来を招く主要因でなく、生体の体温バランスの失調、高熱ストレスによる運動意欲の減退、発汗による脱水現象等体液バランスの不調などが原因であるとか、作業時間の短縮が酸素摂取水準の低下によるにしても、それをもたらしたのは、呼吸系機能の低下によるものだとする説もあるであろう。しかし、本研究結果からすると、直腸温値にみられる深部体温が、室温 $40^{\circ}\text{C}$ の時、上昇速度は早いが作業停止時他の温度条件と比較してわずかに上昇するだけで、特別に高い値を示さなかったこと、発汗量の指標となる作業前後の体重減少が、作業時間の短縮も影響し、いずれの被検者も $1.0\text{kg}$ 以下でわずかであったこと、被検者が良くトレーニングされた長距離選手であったこと等から、体温バランスの失調、運動意欲の減退、体液バランスの不調等は、一応無視できる。又、呼吸数、換気量、動静脈酸素差から、呼吸系機能が特に亢進したり、異常性が示されなかったことから、酸素摂取量の減少は、呼吸系機能の低下によるものとは考えられない。

以上のことから、高温下における作業能力の低下は、循環系機能の低下に由来しており、 $30^{\circ}\text{C}$ 前後の高温では、心拍数の上昇による心臓の機械的仕事量の増大と、皮膚血流量の増加に伴い心拍出量の配分比が活動筋群に不利となり筋血流量の減少をもたらしそれが酸素摂取水準を低下させたためであろう。しかし、さらに高い温度条件下では、心拍出量の配分比が極度に皮膚に片寄り活動筋群への血流量を減少させ、これが還流血液量の減少を招く、一方動脈血圧は上昇するから心室内圧は上昇する同じに心筋の収縮張力を増さねばならない。この為、心臓充満度はある範囲ないで保持しようとし、静脈流入圧が一定以上必要となる。し

かし、還流血液量の減少でこれが困難になり、心拍出量は減少し、活動筋群への酸素供給が不充分となり作業持続不能を引き起こすものと思われる。

## ま　と　め

(1)  $0^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{C}$ の環境温度下で、 $720\text{kpm}/\text{分}$ の作業を30分迄、 $1080\text{kpm}/\text{分}$ の作業を60分迄(但し、60分持続出来ない場合、all-outまで)行なわせた。測定項目は、心拍数、呼吸数、換気量、酸素摂取量、各種体温、血圧、心拍出量、作業後下腿血流量である。被検者は5名で、いずれも大学陸上競技部長距離走選手である。

(2) 心拍数、呼吸数、換気量は高温条件になるに従い上昇するが、 $1080\text{kpm}/\text{分}$ の $40^{\circ}\text{C}$ の時、 $30^{\circ}\text{C}$ と比較し平均値ではほとんど差が認められず、被検者によっては、 $20^{\circ}\text{C}$ の値まで低下する。皮膚温は、高温になるに従い高くなるが、直腸温は、 $40^{\circ}\text{C}$ の時やや高い値を示すが他の条件下ではほぼ等しい。酸素摂取量は高温になると減少し、血圧は高くなる。作業後下腿血流量は高温になるに従い高くなるが、 $1080\text{kpm}/\text{分}$ の $40^{\circ}\text{C}$ の時の値は、 $30^{\circ}\text{C}$ の時より低い。一回拍出量は、作業強度による差が認められ、さらに高温になるに従い減少する。心拍出量は、軽作業の場合高温条件によって減少したが重作業の場合 $30^{\circ}\text{C}$ で最高値を示したが、 $40^{\circ}\text{C}$ では、逆にわずかな減少を示した。

(3) 以上の結果から、環境温度が上昇するに従い皮膚血流量が増加する。これが心拍出量の配分比を変え、還流血液量の減少をきす。上昇す幹動脈圧に対し、心内圧を高め、身体各部の要求する血液量を送りだすためには、ある範囲内以下に心臓充満度を低下させることはできない。したがって一回拍出量の極度な減少はないものの、心拍数の急上昇が望めないだろうから、心拍出量は減少する傾向を示す。これが、心拍出量の配分比の変動と結びついて、活動筋群への血流量減少をもたらし、酸素供給不足から、高温下では作業の持続不能をもたらす原因となるものと思われる。

## 文　　献

- 1) Asmussen Erling : The cardiac output in rest and work in humid heat, Am. J. Physiol. 131, 54-59,

- 1940.
- 2) Asmussen, E and Nielsen, M. : Cardiac output during muscular work and its regulation, *Physiol. Rev.* 35, 778-800, 1955.
  - 3) Åstrand, P. O., Cuddy, T. E., Saltin, B., and Stenberg, J. : Cardiac output during Submaximal and maximal work. *J. Appl. Physiol.* 19(2) : 268-274, 1964.
  - 4) Bervegård, B. S. and Shepherd, J. T. : Reaction in man of resistance and capacity vessels in forearm and hand to leg exercise. *J. Appl. Physiol.*, 21 : 123-129, 1968.
  - 5) Castenfors, J. : Renal function during exercise : with special reference to exercise proteinuria and the release of renin. *Acta Physiol. Scand.* 70 (Suppl. 293), 1967.
  - 6) Dill, D. B., H. T. Edwards, P. S. Bouer and E. J. Levenson : Physical performance in relation to external temperature, *Arbeits Physiol.* 4 : 508-518, 1931.
  - 7) Dill, D. B. : Effects of physical strain and high altitude on the heart and circulation, *Am. Heart. J.* Vol. 23 (No. 4) 441-454, 1942.
  - 8) 猪飼道夫, 宮村実晴 : 心拍出量からみた全身持久性 (III) 体育の科学 17, 6 : 344-349, 1967.
  - 9) 猪飼道夫, 田口貞善 : 筋の酸素摂取量と作業能力 (III) 体育の科学 18, 4, 265-269, 1968.
  - 10) Krammer, K., Obal, F. and Ouensel, W. : Untersuchungen über den Muskestoffwechsel des warmblütigen Tieres. III. Mitteilung. Die Sauerstoffaufnahme des Muskels während rhythmischer Tätigkeit. *Pflüg. Arch. Ges. Physiol.* 241, 717-729, 1938.
  - 11) 黒田善雄他 : 環境温度と持久性運動に関する研究 = I = 環境温度が持久性運動に及ぼす影響, 昭和46年度日本体育協会スポーツ科学研究報告. No. V. 1973.
  - 12) 黒田善雄 : 環境温度と持久性運動に関する研究 = II = 環境温度が安静状態にある生体に及ぼす影響について. 昭和47年度日本体育協会スポーツ科学研究報告. No. X. 1974,
  - 13) 黒田善雄他 : 環境温度と持久性運動に関する研究 = III = 環境温度が最大下作業中及び回復過程の生体に及ぼす影響について. 昭和47年度日本体育協会スポーツ科学研究報告. No. X. 1974.
  - 14) Magel, John R. and Anderson, Klange ; Cardiac Output in Muscular Exercise Measured by CO<sub>2</sub> Rebreathing Procedure, *Ergometry in Cardiology*, 147-157, 1967.
  - 15) Marsrall, J. M. : Effect of low temperature on transmembrane potentials of single fibers of the rabbit atrium, *Cise. Ros.*, 5 : 664-669, 1957.
  - 16) 三浦豊彦, 斎藤博隆 ; 高温環境下の労働が循環機能に及ぼす影響について—高温の忍耐度についての考察—労働科学 28 (10), 727-738, 1952.
  - 17) Mottram, R. F. : The relationship between blood flow, arterio-venous oxygen difference and oxygen uptake of human skeletal muscle. *J. Physiol.* 130, 42-48, 1955.
  - 18) Nielsen, B. : Thermoregulation in rest and exercise ; *Acta Physiol. Scan. Supplementum* 323, 1969.
  - 19) Rowell, L. B., Blackman, J. R. Martin, R. H. Mazzarella, J. A. and Bruce, R. A. : Hepatic clearance of indocyanine green in man under thermal and exercise stress. *J. Appl. Physiol.* 20 : 384-389, 1965.
  - 20) Rowell, L. B., Marx, H. T. Bruce, B. A., Donn, R. O. and Kasumi, F. : Reductions in cardiac output, central blood volume, and stroke volume with thermal stress in normal men during exercise. *J. Clin. Invest.* 45 : 1810-1966.
  - 21) Stainaly, W. N. and Otis, A. B. : Blood flow, blood oxygen tension, oxygen uptake and oxygen transport in skeletal muscle. *Amer. J. Physiol.* 206, 858-866, 1964.
  - 22) Shepherd, John T. and Webb-Peploe, Michael M. : Cardiac output and Blood Flow Distribution During work in Heat, physiological and Behavioral Temperature Regulation ; Chapter 18, 237-253, 1970.
  - 23) Yamagishi, S. and Sano T. ; Effect of temperature on pacemaker activity of rabbit sinus node. *Amer. J. Physiol.*, 292 : 829-834, 1967.
  - 24) West, T. C. : Effect of chronotropic influence on subthreshold oscillations in the sino-atrial node. In the Specialized Tissues of the Heart. Ed. by A. Paes De Carvalho, W. C. Oe Mello, and B. F. Hoffman, Elsevier, N. Y ; PP. 81-94, 1961.

## 環境湿度と持久性運動に関する研究 第1報

## 湿度の performance への影響について

財団法人 日本体育協会スポーツ科学研究所

黒田善雄、雨宮輝也、塚越克己

鈴木洋児、伊藤静夫

外部環境がひとの運動能力に種々な影響を及ぼすことはすでにいくつかの研究によって知られている<sup>1)2)3)</sup>。気象因子の中で気温、湿度、風、日射などは生体の熱出納に大きな影響を与える「生命にかかわる因子」であるといわれている。特に気温は一番主要な役割を果しているといえよう。湿度の変動もまた熱出納に対し、重要な影響をおよぼす。生体に運動を課すと安静時の数倍から数十倍の熱産生が起り、体温調節機能は活発な放熱作用が働く。

そこで我々は今回、温度を一定に保って、湿度を 50%, 60%, 80% の 3 段階に変えた条件下で全身の持久性運動を行ない湿度の performance への影響を調べ、その際の生体の生理的反応がどのような様相を示すか見ようとした。

## 研究方法

1. 被検者は20才、21才の大学生で陸上競技、長距離選手男子 5 名で最大酸素摂取量は体重当り 63.6ml~68.1ml で 5,000m の最高記録は15分20秒から15分59秒の範囲にある。なお最大酸素摂取量を測定する際の温・湿度条件は温度 20°C、湿度

60% に保ちトレッドミルで傾斜 5 度 (8.7%) にして速度漸増法によって実施した。

2. 湿度条件は 50%, 60%, 80% の 3 条件に設定し、温度は 30°C の一定に保った。図 1 は温度、湿度調節室の温度と湿度について自記温度計、毛髪自記湿度計によって連続的に記録したものである。

3. 実験の手順は当研究所にある「温度湿度調節室」を利用し、調節室内に設置されているトレッドミルを使用し、図 2 に示したように、運動負荷はトレッドミルの傾斜 3° で 180m/min のスピードでのウォームアップとして 2 分間走行し、休息 3 分後に速度 230m/min の一定スピードでオールアウトまで走行した。走行後は 5 分間の座位回復を保ってから温湿度調節室の室外に出た。

## 4. 測定項目とその方法

## イ. 心拍数、呼吸数

心拍数は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連続記録することにより心拍数を求め、呼吸数は採氣用マスク内にサーミスターを装着し温度変化による呼吸曲線を連続記録して求めた。

表 1 Characteristics of Subjects

Subjects	Age yrs.	Wt. Kg	Ht. cm	Max. O <sub>2</sub> Intake 1/min.	ml/kg/min.	Best record of 5,000m running
A. O	20	57.2	165.7	3.89	68.1	15' 20"
B. A	20	59.8	170.6	3.82	63.9	15' 59"
C. S	20	56.8	172.8	3.61	63.6	15' 45"
D. K	21	52.2	165.2	3.41	65.3	15' 43"
E. K	21	59.6	165.3	3.81	64.0	15' 40"

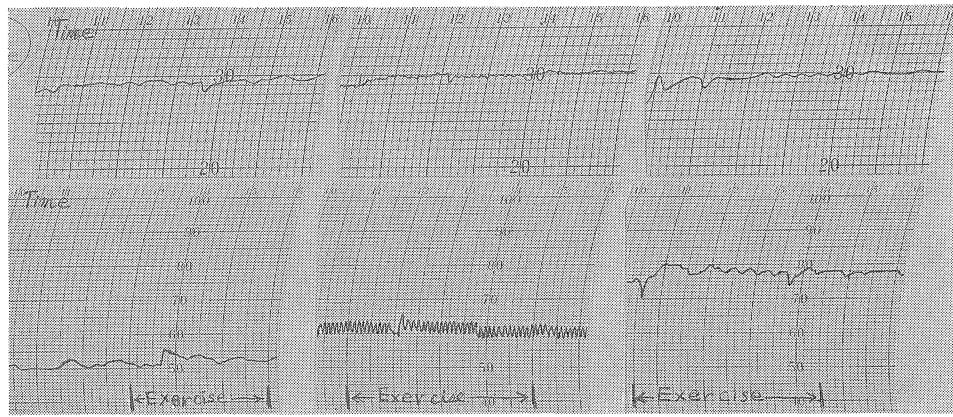


図 1

Program of the treadmill test

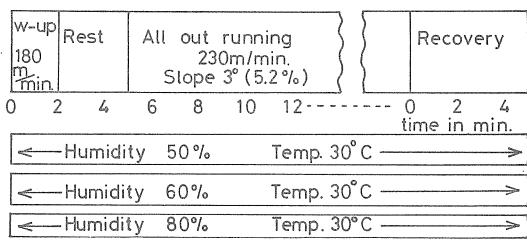


図 2

#### ロ. 換気量、酸素摂取量

トレッドミル走行中の呼気を、走行開始より5分ごとに1分間ダグラスバックに採氣した。採氣した呼気は乾式ガスマ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. 直腸温、皮膚温

直腸温は棒状サーミスターを直腸内に挿入し、皮膚温は額、左上腕背部、左下腿部の3カ所にサーミスターをつけて、メーターの指針を読みとった。なお温度更正是標準温度計を使用しておこなった。

#### ニ. 体重

走行開始前と走行後「台手動はかり（最小目盛100g）」で裸体になって計測した。なお走行中の被検者は上半身裸体でパンツとシューズのみ着用した。

5. 実験の実施期日は1972年（昭47）5月17日

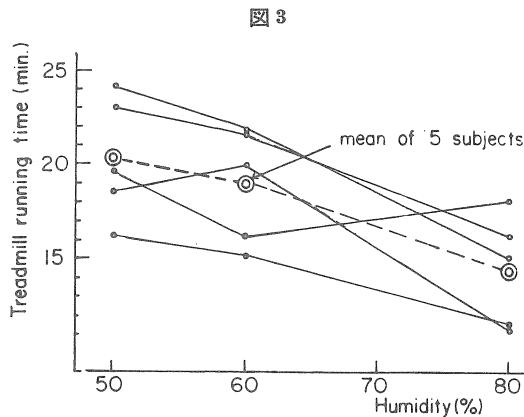


図 3

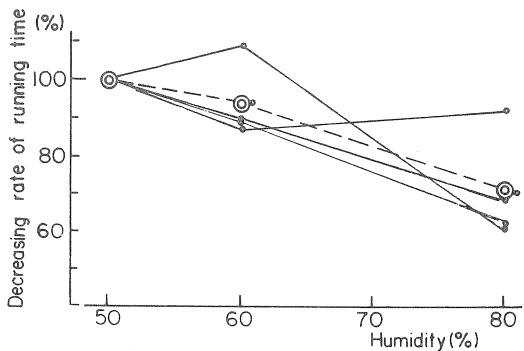


図 4

から24日の間に実施した。

## 結果

### 1. オールアウトタイムについて

表2に温度30°C、湿度50%, 60%, 80%における

る走行時の持久走時間を示した。図 3 はそれをグラフ化したものである。

表 2 Endurance time

Subjects \ Humidity	50%		60%		80%	
	m	s	m	s	m	s
A. O	17.05		15.16		11.44	
B. A	19.40		17.11		18.19	
C. S	18.31		20.08		11.15	
D. K	23.04		21.33		16.31	
E. K	24.17		21.38		15.24	
Mean	20.31		19.09		14.39	

表 3 Heart Rate

Subjects \ Humidity	50%		60%		80%	
	m	s	m	s	m	s
A. O	188.00		186.00		189.00	
B. A	179.00		182.00		179.00	
C. S	185.00		191.00		187.00	
D. K	191.00		185.00		191.00	
E. K	185.00		182.00		186.00	
MEAN	185.6		185.2		186.4	
S. D	3.97		3.31		4.07	

表 4 %VO<sub>2</sub> Max

Subjects \ Humidity	50%		60%		80%	
	m	s	m	s	m	s
A. O	86.40		84.70		85.10	
B. A	86.00		87.10		89.20	
C. S	88.70		91.30		89.80	
D. K	85.40		85.70		85.70	
E. K	93.20		87.90		88.50	
MEAN	87.94		87.34		87.66	
S. D	2.85		2.26		1.90	

湿度50%の時が最も走行時間が長く 5 名の被検者の平均は20分31秒であった。湿度60%では19分09秒、湿度80%では14分39秒で湿度の上昇とともに早くオールアウトにいたっており、湿度が上がると持久走時間が短縮する傾向がみられる。しかしながら各個人ごとに湿度変化に伴う持久走時間の変化を調べてみると、被検者 B, A は湿度60%

で17分11秒に対し湿度80%で18分19秒、被検者 C, S では湿度50%で18分31秒に対し湿度60%で20分08秒のように、湿度が各10%高い場合に於て長く走行した例が 2 例認められた。

湿度50%の際の持久走時間を 100 %として他のふたつの湿度条件における持久走時間をグラフにしたのが図 3 である。

被検者 5 名の平均値でみると湿度60%は93.3%，湿度80%は71.4%であって、これは湿度50%に対し湿度60%は 6.7%，湿度80%は 28.6%の減少率であった。

## 2. 心拍数と呼吸数について

心拍数、呼吸数について図 4 に各湿度条件ごとに各被検者の時間経過に伴う変化をグラフにした。

心拍数の変動は運動が開始されると急激に増加し、2 分から 3 分以降は 1 分間に 2 ~ 3 拍程度の緩慢な増加を続けてオールアウト時に最高心拍数を示した。しかしながらいずれの湿度条件においても心拍数の変動パターンはほぼ同様でオールアウト時の心拍数もほぼ同じであった。運動開始時の急激な増加の時期からゆるやかな増加の時期に移行した 2 分から 3 分以降の値を平均すると表 3 のようになる。

被検者 5 名の平均値は湿度50%では186拍/分、湿度60%では185拍/分、湿度80%では186拍/分とほぼ等しい心拍数水準であった。

一方呼吸数は湿度50%では運動開始後15分、湿度60%では14分、湿度80%では10分までは各被検者とも60回前後の回数を保って運動を継続していたが、それ以降は急な呼吸数の増加が認められる。各被検者ともこの呼吸数の増加が始まる時期は、湿度が高くなるにしたがい、早く現われる傾向がみられる。

## 3. 換気量、酸素摂取量について

換気量、酸素摂取量の変動については図 5 に示すごとくである。

換気量は走行開始後 4 分の時湿度50%では90l/分~118l/分、湿度 60%では 100l/分~122l/分、湿度 80%では 98l/分~118l/分といずれの湿度条件においてもほぼ同じように急激な増加を示しそれ以降は時間経過に伴いオールアウト時まで直線的にゆるやかな増加を示している。換気量の最大

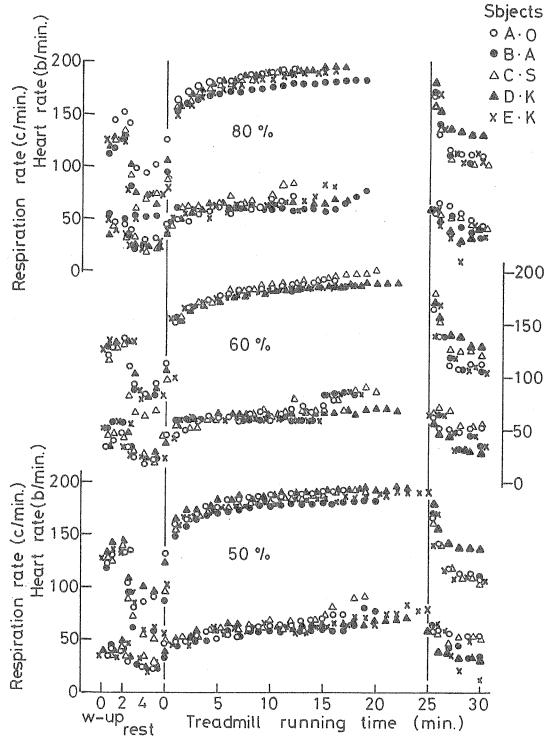


図 5

値は湿度50%では147.5ℓ/分、湿度60%では162.8 ℓ/分、湿度80%では158.0ℓ/分であってこの値はいずれの湿度条件においても被検者E. K. によって示された。

酸素摂取量は運動開始4分以降はいずれの湿度条件でも換気量のような著明な増加は認められずほぼ一定の値を保った。4分以降の5名の平均は湿度50%では3.26ℓ/分、であり湿度60%では3.24 ℓ/分、湿度80%では3.25ℓ/分であり湿度を変えても酸素摂取量はかわらなかった。今回の実験における各温度条件下的5名の運動強度を%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  で表わすと表4ならびに図6に示すごとく、いずれの湿度条件においても約88%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  であった。

#### 4. 直腸温、皮膚温について

直腸温は走行中棒状サーミスター元素が直腸よりはずれた例が湿度50%で3名、湿度80%で3名あった。したがって同一被検者について湿度3条件における最高直腸温値を測定することができなかつたが、得られた各湿度条件における最高直腸温値の平均は表5に示すように、湿度50%

表5 Maximum Rectal and Skin temperature

Humidity Subj.	Rectal temp.			Forehead temp.		
	50%	60%	80%	50%	60%	80%
A. O	—	38.3	38.6	38.7	38.1	38.7
B. A	—	39.0	39.0	37.4	37.3	38.5
C. S	—	39.3	—	37.7	38.2	38.3
D. K	39.0	38.8	—	38.2	37.5	39.0
E. K	39.2	39.0	—	39.3	—	39.4
MEAN	39.1	38.9	38.8	38.3	37.8	38.8
S. D	0.10	0.33	0.21	0.68	0.38	0.38
	Upper arm temp.			Calf skin temp.		
	50%	60%	80%	50%	60%	80%
A. O	36.2	37.2	37.4	35.0	34.0	—
B. A	35.9	36.3	37.6	33.8	34.8	—
C. S	37.4	37.6	37.0	35.5	36.4	—
D. K	38.7	38.7	38.5	34.4	37.1	—
E. K	38.4	38.9	38.2	—	35.3	—
MEAN	37.3	37.3	37.7	34.7	35.5	—
S. D	1.12	0.96	0.54	0.63	1.11	—

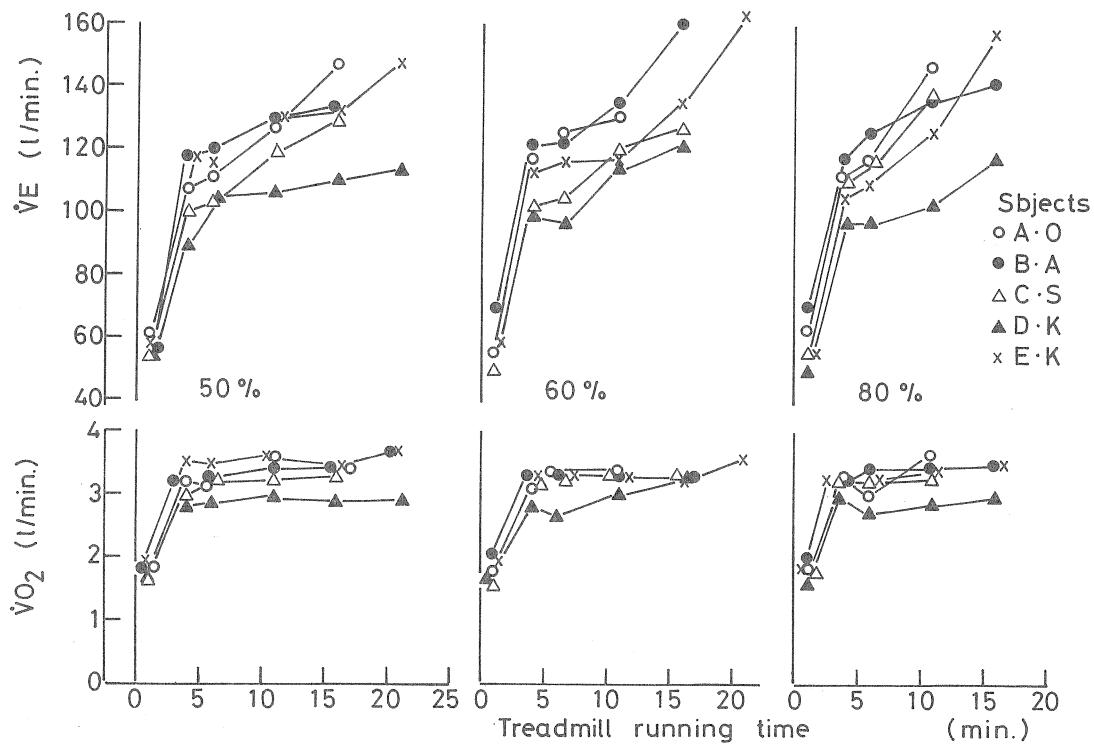


図 6

では  $39.1^{\circ}\text{C}$ , 湿度 60% では  $38.9^{\circ}\text{C}$ , 湿度 80% では  $38.8^{\circ}\text{C}$  であった。

皮膚温については額, 上腕, 下腿部での測定の最高値を表 5 に示した。3 か所の皮膚温では額が最も高く 5 名の平均は湿度 50% では  $35.3^{\circ}\text{C}$ , 湿度 60% では  $37.8^{\circ}\text{C}$ , 湿度 80% では  $38.8^{\circ}\text{C}$  であった。次は上腕部で湿度 50% では  $37.3^{\circ}\text{C}$ , 湿度 60% では  $37.7^{\circ}\text{C}$ , 湿度 80% では  $37.7^{\circ}\text{C}$  であった。下腿部

の皮膚温は最も低く湿度 50% では  $34.7^{\circ}\text{C}$ , 湿度 60% では  $35.5^{\circ}\text{C}$  であった湿度 80% は発汗が著しく汗が皮膚表面を多量に流れたため, 下腿部での測定ができなかったが, 皮膚温についても直腸温同様, 湿度条件の差による最高値に著しい差はなかった。1 例として被検者 C, S の各湿度条件における直腸温, 皮膚温の変化を図 7 に示した。

##### 5. 体重の変動について

表 6 Decrease of weight in three different environmental humidity

Subjects \ Humidity	50%	60%	80%	50%	60%	80%
	(g)			(g/min)		
A. O	410.00	400.00	490.00	24.00	26.20	41.80
B. A	790.00	700.00	840.00	40.20	40.70	45.90
C. S	760.00	800.00	520.00	41.00	39.70	46.20
D. K	920.00	850.00	1,130.00	39.90	39.40	68.40
E. K	1,060.00	1,000.00	860.00	42.90	46.20	55.90
MEAN	788.0	750.0	768.0	37.60	38.44	51.64
S. D	216.8	200.0	238.1	6.87	6.59	9.57

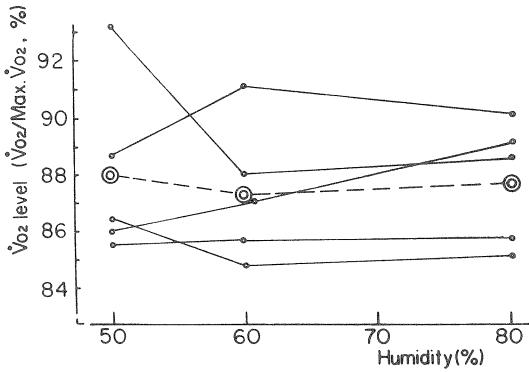


図 7

各湿度条件でのオールアウト走による体重減少量を表 6 に示した。

5 名の平均は湿度50%では 788g, 湿度60%では 750g, 湿度80%では 768g で湿度による体重減少量には大きな差はみられなかつたが、単位時間当たりの減少量をみると湿度50%では37.6g/分、湿度

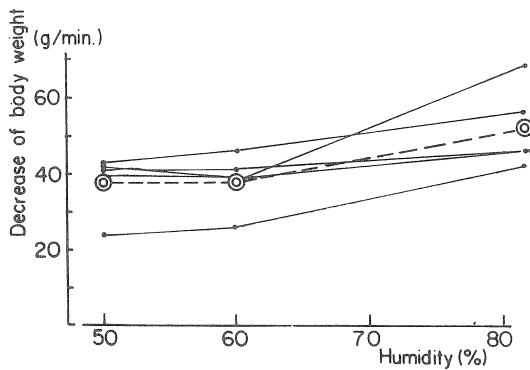


図 9

60%では38.4g/分とほぼ等しい値であるが湿度80%では 51.64g/分になった。

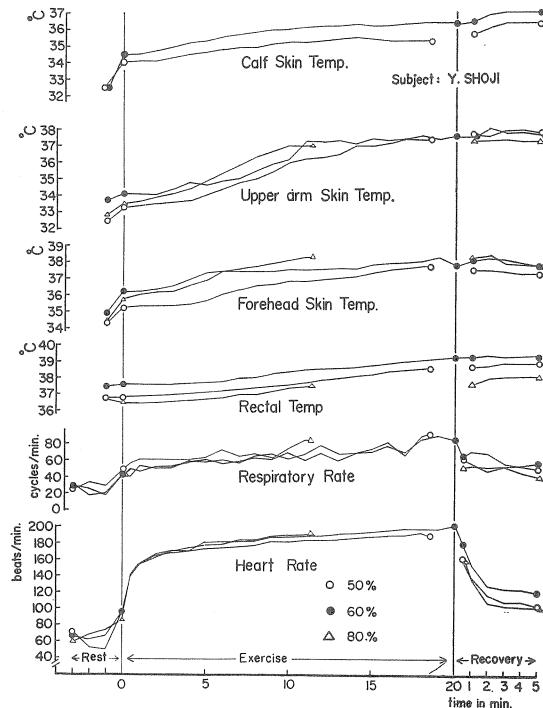
## 考 察

環境温度を 30°C の高温に保つて、湿度条件を変えてオールアウトまで走行する全身作業では湿度の相違によって走行中の酸素摂取水準に差が生じないにもかかわらず、作業成績(Performance)にあきらかな差が現われてくる。

今回の実験で温度 30°C、湿度50%での 5 名の持久走時間の平均は20分31秒、湿度60%では19分09秒、湿度80%では14分39秒であった。これは湿度50%に対し湿度60%では6.7%，湿度80%では 28.6%の減少率であった。

生体は運動を開始すると骨格筋からの産熱が著しく増加してくる。このため体温の上昇が起り熱の出納バランスを保つために、熱の放散を行う。体熱の放散は輻射、伝導、対流、蒸発などの物理的な機転によって行われている。外気温が15°C以下では放熱の大部分は輻射、伝導、対流によってまかなわれ蒸発による部分は少ない。ところが高温になるに従い蒸発による放熱の割合が増大して38°Cでは全く蒸発のみによって放熱が行われている。

今回の実験条件である温度 30°C は比較的高温条件であり、高温条件の際の体温調節には湿度が重要な意味をもってくる。すなわち皮膚表面および呼吸器系からの水分の蒸発は外気の湿度が高まるにしたがい低下し、体温の上昇が早まってくる。



Physiological responses during endurance running in three humidity of 30°C external environmental temp

図 8

各湿度条件における5名の持久走時間の有意差検定をしてみると湿度50%と湿度60%については有意な差がなかったが、湿度50%と湿度80%は5%水準、湿度60%と湿度80%は10%水準でそれぞれ有意な差が認められた。このことは明らかに温度30°Cにおいてヒトの全身持久性のPerformanceに湿度が影響していることを示すものである。

作業強度（トレッドミルの傾斜3°、スピード230mの一定）が一定で5名の平均酸素摂取量は湿度50%では3.26ℓ/分、湿度60%では3.24ℓ/分、湿度80%では3.25ℓ/分とほぼ等しい値を示した。（これは%  $\dot{V}O_{2\max}$  になおすと約88%  $\dot{V}O_{2\max}$  に相当する）

したがって湿度3条件下での体内からの単位時間当り産熱量には差がないといえよう、とすれば、放熱の良し悪しが持久走時間の長短に関係していると考えられる。

運動による生体の産熱の増加にともない皮膚表面からの放熱を高めるために、皮フ血管が拡張し、皮フ血流量を増加させる必要がある。皮膚血流量の増加は心拍出量に関係してくることはこれまでの報告にもみられる<sup>1)</sup>。

最大酸素摂取量の40%、心拍数では約120拍程度までは1回拍出量は増加するが、それ以上の強度になると1回拍出量は変わらない。そのため心拍出量は心拍数を増加して行なわなければならない。皮膚面への血流量増大に伴って循環系の負担は増大していくといえよう。

各湿度条件における運動開始にともなう心拍数増加以後の平均心拍数は湿度50%では186拍/分、湿度60%では185拍/分、湿度80%では186拍/分と等しい。オールアウト時の最高心拍数についてもほぼ同じであって190拍/分以上（被検者B、Aを除く）に達し、最大酸素摂取量測定時の値かそれよりも2～3拍高い値を示していた。

しかしながら同一の運動強度遂行に対し湿度条件が加わったことにより、運動開始から最高心拍数に到達する時間が湿度が高まるにつれて早まっていく傾向がみられる。このことはおそらく放熱作用として働く循環系が湿度が高くなるに従って運動開始から早い時期にその負担が増大しているのであろう。しかも今回の実験における酸素摂取

水準は約88%  $\dot{V}O_{2\max}$  で呼吸循環機能に対する負担は大きい。

換気量と呼吸数についてみると換気量は運動開始初期に急激な増加をその後オールアウトまで直線的にゆるやかな増加傾向を示し、いずれの湿度条件においてもオールアウト時が最高値であった。一方呼吸数については運動開始の初期上昇以後しばらくほぼ一定の呼吸数であるが、湿度50%では14分、湿度60%では13分、湿度80%では9分以後急激な増加を示した。表7は最大酸素摂取量測定時の最高呼吸数と温度30°Cで各湿度条件下における走行後の最高値を比較したものであるが、湿度条件が变っても最高呼吸数には差はないが最大酸素摂取量測定時よりも高い傾向にある。

表7 Maximum Respiration Rate

Subjects	Max $\dot{V}O_2$ Measurement	50%	60%	80%
A. O	74.00	75.00	78.00	72.00
B. A	70.00	81.00	84.00	79.00
C. S	87.00	93.00	90.00	85.00
D. K	69.00	72.00	72.00	70.00
E. K	94.00	84.00	86.00	84.00
MEAN	78.8	81.0	82.0	78.0
S. D	9.94	7.34	6.32	6.09

このことは生体の体熱放散のために呼吸器からの水分蒸発をさかんにしているものと考えられる。湿度80%においては他の湿度条件と同様発汗は促進されるが蒸発が悪いため呼吸器系からの放熱に依存する割合が増大してくるものと思われる。

我々がこれまで行った湿度を60%の一定に保つて温度条件を20°C、30°C、40°Cに変えて85%  $\dot{V}O_{2\max}$  の運動強度の全身持久性運動による実験では持久走時間が20°Cでは23分31秒、30°Cでは16分32秒、40°Cでは8分41秒であった。この時の心拍数と呼吸数の平均は20°Cではそれぞれ187拍/分、64回/分、30°Cでは191拍/分、68回/分、40°Cは192拍/分、67回/分で、温度の上昇によって呼吸数には差がないが心拍数は高くなる傾向がみられた。高温環境条件下で行なわれる最大下の運動能力を限定するのは体温調節機能すなわち放熱作用である。高温により皮膚血管の拡張がおこり、し

たがって皮膚血流量が増加しこれに伴って心拍出量が増加する。高温条件で心拍数が高いのは放熱作用による循環機能への負担の増大のためであり、これが作業成績を低下させるのである。

今回の湿度条件を変える実験においても体温調節機能のために循環機能に加わる負担が大きい。温度 30°C の条件下では湿度に関係なく皮膚血流量は増加しこれに伴って心拍出量が増加する。心拍出量を高めるには心拍数を増加させなければならない。湿度を高めても運動開始初期増加以後の平均心拍数には変りがないが、最高心拍数に到達する時期が早まる傾向がみられるのである。これはおそらく外気の湿度上昇に伴い皮膚から発汗は促進されているが、皮膚表面からの蒸発が十分でないことのために放熱が十分に行なわれないためと思われる。体温の上昇を防ぐには、同時に呼吸数を増加させて肺胞および気道の粘膜面からの蒸発を活発にして放熱をさかんにしている<sup>6)</sup>。いずれの湿度条件でも走行の途中からオールアウト時まで換気量、呼吸数の増加が認められる。しかし一般に吸気は水蒸気に不飽和であるが呼気はほぼ体温またはこれに近い温度の水蒸気でほとんど飽和されているので100%に近い<sup>5)</sup>。それ故、湿度80%の条件では他の湿度条件50%、60%よりも1回の呼吸による体熱の放散は少い。

湿度が高まるにしたがい作業成績が低下するのは体温調節機能すなわち放熱作用としての蒸発が活発でなくなつて、体熱が十分に放散されないためであろう。

体重減少量は主に発汗量によるものと思われる。単位時間当たりの体重減少量をみると湿度50%では37.60g/分、湿度60%では38.44g/分、とそれ程差はないが、湿度80%になると51.64g/分と湿度50%時の約1.4倍に相当した。発汗とその水分の蒸発については外気の湿度が影響している。湿度80%では汗は多量に皮膚から出ても放熱としては十分に働くかない。しかし湿度80%においては他の湿度条件よりも運動開始後ただちに発汗が認められ、汗が皮膚表面を多量に流れているのが観察された。

## 要 約

### 1. トレッドミルを設置した温・湿度調節室を利

用して、温度を30°Cに保ち湿度を50%、60%、80%に変えて、オールアウト走をおこない湿度のPerformanceへの影響を調べた。

2. 被検者は大学の陸上競技部長距離選手5名で体重当たりの最大酸素摂取量は64~68mlであった。
3. 持久走時間は湿度50%が20分31秒、60%が19分09秒、80%が14分39秒で明らかに湿度が上るにしたがい、早くオールアウトに到った。湿度50%を100%にすると60%では93.3%，80%では71.4であって減少率はそれぞれ6.7%，28.6%であった。
4. 酸素摂取量はいずれの湿度条件ともほぼ同じで5名の平均では湿度50%では3.26ℓ/min、60%では3.24ℓ/min、80%では3.25ℓ/minであった。
5. 運動開始初期増加以後の5名の平均心拍数は湿度50%では186拍/分、湿度60%では185拍/分、湿度80%では186拍/分と湿度条件による差はなかったが、オールアウト時の最高心拍数に到達する時間が湿度が高まると早い傾向がみられた。このことはおそらく放熱作用として働く循環系の機能が湿度の高まりにしたがい、運動開始から早い時期にその負担が増大しているためであろう。
6. 換気量は運動開始からオールアウトまで順次増加してオールアウト時に最高値を示した。呼吸数は運動開始から湿度50%では15分、湿度60%では14分、湿度80%では10分まで運動の立上りの増加からほぼ一定の呼吸数であるが、以後急激に増加しオールアウト時に最高値を示した。生体の体熱放散のために呼吸器からの水分蒸発も活発になっている。しかし湿度80%では呼気と吸気との湿度差が小さいので発汗はしても蒸発は他の2湿度条件よりも低下している。
7. 最高直腸温はいずれの湿度条件においてもほぼ等しい値を示した。また最高皮温についても湿度を変えることによって変化は認められなかつた。測定3か所の皮温は額、上腕、下腿部の順に最高値が高い値であった。

## 参考文献

- 1) 黒田善雄他：環境温度が持久性運動に及ぼす影響、昭和46年度日本体育協会スポーツ科学研究報告、No. V, 1971.

- 2) 黒田善雄他：環境温度と持久性運動に関する研究，  
第2報，第3報，昭和47年度日本体育協会スポーツ  
科学研究報告，No. X, 1972.
- 3) 朝比奈一男：高温高湿環境の生体に及ぼす影響，オ  
リンピック東京大会組織委員会競技特別委員会，第  
一，二回報告，昭和35。
- 4) 朝比奈一男，中川功哉：運動生理学，現代保健体育  
学大系7, 292～299, 大修館書店。
- 5) C. E. A. Winslow, L. P. Herrington,  
北 博正，竹村 望訳：温度と人間，1966. 医歯薬  
出版。
- 6) 緒方雅弘他：体温とその調節，生理学大系 VI-I.  
代謝の生理 No. VI, 1970. 医学書院。

附表 1

Heart rate and respiratory rate during sub-max. Work and recovery in 50% humidity

		Heart Rate					Respiratory Rate				
Subj.		A. O	B. A	C. S	D. K	E. K	A. O	B. A	C. S	D. K	E. K
W-UP	.30	123	118	127	133	128	35	38	36	39	34
	1	130	130	125	142	132	41	43	34	39	32
	2	133	135	139	143	131	40	41	43	49	47
Rest	.30	105	95	88	108	96	28	27	34	33	28
	1	81	62	72	93	84	27	29	25	26	32
	2	86	52	54	100	59	24	21	34	24	19
	3	92	57	51	95	62	22	21	29	26	22
Exercise	0	132	87	96	123	103	47	33	49	39	57
	1	159	148	154	165	157	45	45	47	51	44
	2	165	157	165	173	166	49	45	52	51	54
	3	170	165	168	174	167	54	60	53	58	58
	4	177	168	170	178	170	57	59	58	58	62
	5	176	170	173	183	175	51	60	61	58	54
	6	183	172	175	183	175	54	59	56	65	61
	7	184	173	176	187	176	53	54	59	65	58
	8	186	176	179	183	180	60	58	64	61	61
	9	187	178	182	186	180	61	59	61	62	64
	10	188	177	182	188	180	63	59	69	63	62
	11	186	178	184	190	183	64	58	60	62	57
	12	190	180	184	190	184	64	59	69	60	56
	13	192	180	185	191	183	68	58	60	65	62
	14	129	180	187	191	184	69	59	70	65	62
	15	193	181	188	193	184	71	60	74	65	64
	16		180	190	194	182	75	59	82	60	65
	17		181	190	193	187	75	59	66	65	64
	18		182	193	194	185		63	90	68	72
	19		183	190	196	185		81	93	65	72
	20			183		193	190		78		69
	21					193	190				68
	22						196	192			75
	23							197	190		72
	24								190		84
	25									191	79
Recovery	.30	167	171	161	180	171	58	65	62	58	65
	1	142	146	140	156	140	59	59	56	39	59
	2	118	114	118	142	118	57	42	47	37	35
	3	114	109	109	138	108		45	53	33	21
	4	114	108	110	138	111	54	33	54	33	49
	5	109	111	104	137	107	54	35	50	30	11

附表2

Heart rate and respiratory rate during Sub-max. Work and recovery in 60% humidity

		Heart Rate					Respiratory Rate				
Subj.		A. O	B. A	C. S	D. K	E. K	A. O	B. A	C. S	D. K	E. K
W-UP.	.30	120	126	116	129	126	34	51	44	33	38
	1	127	134	126	132	133	38	57	46	43	47
	2	136	133	130	132	143	46	56	42	47	43
Rest	.30	110	110	82	107	112	33	33	35	32	32
	1	92	87	66	102	65	25	27	29	32	32
	2	82	78	63	80	82	17	24	27	24	34
	3	93	82	68	89	81	21	23	18	28	25
Exercise	0	113	98	97	106	102	44	42	43	37	45
	1	152	155	156	153	153	44	59	54	53	56
	2	164	165	167	163	160	50	60	51	58	56
	3	168	167	171	167	164	59	60	51	60	48
	4	173	170	170	171	166	61	60	59	62	58
	5	176	174	179	175	172	61	59	58	65	66
	6	178	174	182	176	173	62	60	61	64	66
	7	182	176	182	178	174	58	59	57	64	66
	8	183	178	183	178	175	65	59	65	64	57
	9	183	180	187	181	177	67	59	68	66	64
	10	183	181	188	182	178	59	59	62	64	68
	11	186	182	189	182	180	65	61	68	65	64
	12	188	183	189	183	182	70	59	79	65	55
	13	189	184	192	185	182	73	59	68	66	59
	14	190	184	192	186	182	67	59	69	65	57
	15	192	185	194	185	183	73	83	70	66	67
	16	192	185	196	188	183	78	84	78	66	70
	17		186	198	187	185		86	69	69	73
	18		187	198	190	184		84	86	65	75
	19			198	188	188			90	69	78
	20				202	189	187		86	70	84
	21					189	189			70	93
	22					189	188			68	92
	23					197				72	
Recovery	.30	166	169	180	172	157	63	64	65	56	66
	1	139	139	154	157	127	52	65	71	46	59
	2	112	119	127	140	111	51	48	69	44	14
	3	109	108	125	138	108	49	32	55	32	20
	4	113	110	125	129	112	52	45	54	30	10
	5	113	106	121	129	109	54	35	57	29	11

附表3

Heart rate and respiratory rate during Sub-max. Work and recovery in 80% humidity

Heart Rate						Respiratory Rate					
Subj.		A. O	B. A	C. S	D. K	E. K	A. O	B. A	C. S	D. K	E. K
W-UP.	.30		112		120	125		55		35	49
	1	146	118	125	128	122	46	44	43	41	38
	2	153	128	135	132	125	45	50	45	44	36
Rest	.30	142	81	91	102	78	40	33	30	31	30
	1	99	54	60	75	51	39	23	32	25	24
	2	95	52	69	72	73	30	25	18	24	20
	3	103	53	74	64	72	32	25	20	23	28
Exercise	0	127	96	87	106	80	45	46	43	35	38
	1	164	153	157	158	149	50	62	61	49	51
	2	171	161	163	170	161	47	56	62	56	54
	3	178	165	171	173	166	55	58	62	58	60
	4	181	169	175	179	170	57	60	61	64	50
	5	183	170	178	182	175	61	60	64	65	63
	6	183	173	179	182	177	55	60	73	60	56
	7	186	172	183	187	180	64	60	65	60	64
	8	189	175	183	188	183	60	60	68	64	62
	9	190	175	189	189	184	60	59	63	64	64
	10	191	177	190	192	186	70	60	75	64	64
	11	193	178	190	189	187	67	60	85	62	65
	12	194	180	193	191	189	72	59	85	66	59
	13		180		193	190		60		64	68
	14		180		193	191		60		65	72
	15		181		196	191		58		66	84
	16		182		196	193		60		70	80
	17		183		196			66		68	
	18		184					72			
			184					79			
Recovery	.30	169	173	160	182	171	57	60	53	59	60
	1	133	143	138	154	138	66	63	54	50	40
	2	118	112	108	138	114	64	54	52	39	33
	3	115	107	105	135	108	57	43	53	29	11
	4	114	105	104	132	114	50	38	46	33	45
	5	113	103	103	132	107	44	33	41	41	35

## 3 温度 ( $10^{\circ}$ , $20^{\circ}$ , $30^{\circ}\text{C}$ ) 条件下における運動中の心拍数と % $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ との関係

財) 日本体育協会スポーツ科学研究所

黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也  
鈴木洋児, 伊藤静夫

### I. はじめに

ある範囲内の心拍数と %  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  とは、互いに正の相関関係にあることはすでに知られ<sup>1)2)</sup>ている事実であり、この事実を利用した運動处方に関する研究もすでにいくつか報告<sup>3)4)</sup>されている。しかしながら、また一方では心拍数は環境温、湿度条件に影響を受けることもよく知ら<sup>5)6)</sup>れるところであり、われわれも同一強度の運動を、異なる温度<sup>7)8)</sup>、湿度<sup>9)</sup>の条件下で行わせ、%  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  は影響を受けないにもかかわらず、その際の心拍数はこれらの環境条件の影響を受け、異なる値を示すといった結果を得ている。

本研究は、環境温度を $10^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$  の3条件を設定し、それぞれの環境温度条件下で各種強度の有酸素的作業を行なわせ、その際の心拍数－%  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  はいかなる関係を示すか、また環境温度が変ることにより、この関係はどのような影響を受けるかについての示唆を得るために行なったものである。

### II. 実験の方法

#### 1) 実験の実施期日

本実験は、1973年9月6日より9月18日の間、13日間に渡って行なった。なお、実験スケジュールは以下の通りであった。

9月6日} 環境温度  $30^{\circ}\text{C}$  条件のテスト  
7日 }  
8日 環境温度  $30^{\circ}\text{C}$  条件のリテスト  
9日 休み  
10日} 環境温度  $20^{\circ}\text{C}$  条件のテスト  
11日 }

12日 環境温度  $20^{\circ}\text{C}$  条件のリテスト

13日 } 環境温度  $10^{\circ}\text{C}$  条件のテスト  
14日 }

15日 環境温度  $10^{\circ}\text{C}$  条件のリテスト

16日 }  
17日 } 被検者の  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  測定  
18日 }

#### 2) 被検者

本研究に協力した被検者は、いずれも某大学陸上競技部に所属する健康な男子大学生である。表1にこれら被検者の特徴を示した。表1に示す通り、 $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  67.96~78.31ml/kg. min. の酸素摂取能力を有し、5000m のベスト記録が15分18秒4~14分35秒4の競技力を持つ長距離走を専門種目とする者9名、400m 走ないしは400m ハードルを専門種目とし、 $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  51.73~58.87ml/kg. min. の者7名、それに  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  44.66~58.21ml/kg. min. の跳躍選手7名の計23名が本実験の被検者である。

#### 3) 最大酸素摂取量 ( $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ ) の測定法

本実験で採用した  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  の測定法は、いわゆるトレッドミルの速度漸増法である。採気はダグラス・バック法による1分間づつの連続採気であり、分析はショランダー微量ガス分析器によった。

なお、23名の被検者のほとんどの者は、この速度漸増法にて測定した値が文字通り最大酸素摂取量であったが、2~3の被検者については、以下に記す走行中の心拍数ならびに%  $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$  を得るテスト中に、僅かではあるが速度漸増法にて測定したいわゆる最大酸素摂取量より大なる値を示したので、その被検者については大なる方を  $\dot{V}\text{O}_2$

Male

表1 被検者一覧表

Subjects	Age	Height em	Weight kg	$\dot{V}O_2$ Max 1/min.	$\dot{V}O_2$ Max/Weight ml/kg. min.	Events and best record
D. Ko.	22	174.5	59.90	4.691	78.31	5000 m Running 14'35"4
D. Si.	22	168.2	58.90	4.517	76.69	" 14'56"2
D. Os.	22	164.5	56.93	4.154	72.97	" 15'42"0
D. Sa.	24	170.0	58.80	4.288	72.93	" 14'18"6
D. Ta.	22	160.2	56.15	3.955	70.43	" 15'28"0
D. Na.	22	172.0	61.72	4.317	69.95	" 15'54"0
D. Tn.	24	164.0	53.15	3.592	69.61	" 14'46"0
D. Ka.	22	173.0	62.34	4.291	68.83	" 15'05"0
D. Ha.	21	165.4	62.33	4.236	67.96	" 15'18"4
Mean		167.9	58.91	4.227	71.96	
S. D.		4.5	2.92	.298	3.39	
S. Un.	20	162.0	57.40	3.379	58.87	400 m Running 52"4
S. Ak.	20	168.1	61.40	3.556	57.92	" 50"2
S. Ur.	19	167.4	59.50	3.382	56.83	" 51"8
S. Tk.	20	181.3	65.50	3.677	56.13	400 mH Running 58"2
S. Ok.	20	172.8	62.50	3.246	51.94	400 m Running 51"2
S. Yo.	20	168.0	60.40	3.124	51.73	" 54"8
Ya.	21	165.0	52.57	2.841	54.05	
Mean		169.2	59.89	3.315	55.35	
S. D.		5.79	3.79	.257	2.62	
J. Ys.	19	177.2	65.70	3.825	58.21	Pole vault 4 m 20
J. Ho.	20	170.0	60.90	3.544	58.20	Long jump 7 m 08
J. Ts.	20	173.2	66.00	3.637	55.43	High jump 1 m 98
J. Ma.		172.2	65.75	3.458	52.55	Long jump
J. Sa.	21	182.6	70.90	3.273	46.17	High jump 1 m 80
J. Oi.	21	170.2	56.70	2.532	44.66	Long jump
J. Ow.	20	170.3	61.95	2.756	44.67	Pole vault
Mean		173.7	63.94	3.289	51.41	
S. D.		4.3	4.24	.441	5.71	

max とした。

#### 4) 各種心拍数、% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ を得た運動負荷と環境温・湿度条件

各種レベルの心拍数、%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  を得るため採用した運動負荷は、トレッドミルの走ならびに歩であり、図1に示す通りに行なわせた。すなわち、運動開始より5分間は、トレッドミルに傾斜をつけずフラットな状態で毎分80mの速さの歩行、5分より10分は登り勾配3°で速度80m/minの歩行、10分より15分は登り勾配5°で速度80m/minの歩行、以後は登り勾配を5°のままで速度

を5分ごとに20m/minづつ増して行き、歩行より走に変り、ついにはExhaustionに至るまで継続して運動を行なわせた。なお、傾斜5°、速度100m/minの条件時が歩行と走行のわかれめであり、被検者は走ったり歩いたりの状態であった。

以上の通りの運動を温・湿度が調節可能なトレッドミルを内設する実験室で、1) 温度30°C、湿度55%，2) 温度20°C、湿度55%，3) 温度10°C、湿度70%の3条件を設定し、それぞれの条件下で各1回づつ行なわせた。なお、設定温・湿度条件の維持精度は温度±0.5°C、湿度±2.5%以内で

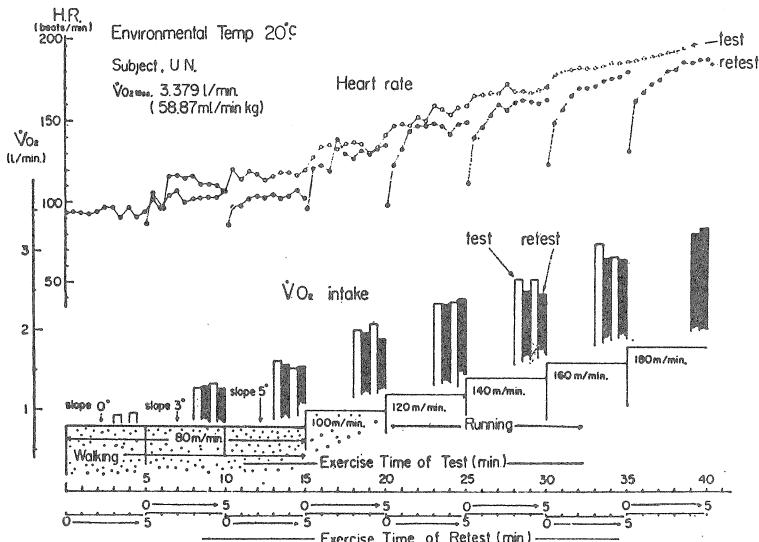


図1 実験の方法

あった。

#### 5) % $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ならびに対応する心拍数の決定方法

図1に示す通り、オール・アウトに至った条件の運動を除き、継続的にではあるが、いずれの条件の運動も5分間行なわせた。そしていずれの運動についても、運動開始後3分～4分、4分～5分と1分づつ2回採気して各1分間の酸素摂取量を求め、更に両者を平均して3分～5分の平均酸素摂取量を算出し、この値をその被検者の $\dot{V}O_{2\text{max}}$ で割って100を乗じた値をその運動の%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ とした。

以上の方法により求めた%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  に対応する心拍数は、胸部双極誘導法により被検者の心電図を導出して運動中連続記録し、呼気ガスの採気を行なった3分～5分につき30秒間隔ごとに連続して心拍数を計測し、更にこれを平均として各%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  に対応する心拍数とした。

#### 6) 連続的に得た% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ —心拍数（テスト）と個々に得た% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ —心拍数（リテスト）との比較

本実験では上記の通り、各種条件の運動を順次継続させながら%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  ならびに対応する心拍数を得る方法を採用したが、この方法では、得

られた心拍数・%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  に運動を連続的に行なったことによる影響が加わることも考えられたので、各条件の運動の間に完全休息をはさんで%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、心拍数を得るリテストを行なった。すなわち、図1に示す通り運動負荷の条件、採気時間、心拍数の測定方法、環境温・湿度条件いずれも同じにし、各負荷条件の運動を順次継続させた場合と完全休息をはさんで運動を行なった場合との%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、心拍数を比較した。但し、リテストを行なった被検者は、表1に示す被検者より任意に抽出したS. Un ( $\dot{V}O_{2\text{max}}$  58.87 ml/kg. min.), S. Tk (56.13 ml/kg. min.), S. Ok (51.94 ml/kg. min.), S. Yo (51.73 ml/kg. min.), J. Ys (58.21 ml/kg. min.) の5名であった。

### III. 実験の結果と考察

#### 1) リテストの結果と考察——連続的に得た% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ・心拍数と個々に得た% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ・心拍数との比較

リテストによって得た被検者5名の%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ・心拍数ならびにテストによって得た同一被検者5名の%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、心拍数を環境温度条件別に表2～4に示した。表2～4にみる通り、テスト、リテストによって得られた%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、心拍数は、

表2 環境温度 10°C 時の Test - %  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ・心拍数と Retest - %  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ・心拍数 (H. R.; Heart Rate (beats)

Slope Speed Subjects	3° 80 m	5° 80 m		5° 100 m		5° 120 m		5° 140 m	
		H. R.	% $\dot{V}O_2$	H. R.	% $\dot{V}O_2$	H. R.	% $\dot{V}O_2$	H. R.	% $\dot{V}O_2$
S. Un	Test	111.0	40.3	118.2	47.6	137.8	63.4	153.2	69.4
	Retest	100.2	38.4	106.4	46.1	124.8	57.3	144.4	70.1
S. Tk	Test	96.8	33.3	112.4	41.0	131.2	52.3	147.2	65.6
	Retest	99.8	34.3	106.4	40.5	128.0	51.1	140.4	65.2
S. Ok	Test	107.2	36.3	118.8	43.6	144.6	57.8	161.6	72.4
	Retest	106.6	35.3	110.0	40.8	138.6	59.2	157.4	72.6
S. Yo	Test	101.2	39.4	117.0	46.5	152.2	74.2	159.3	86.0
	Retest	110.0	38.7	118.0	52.8	140.6	65.3	154.8	71.8
J. Ys	Test	90.0	37.0	103.0	42.9	120.8	58.4	138.0	68.0
	Retest	92.0	34.6	103.0	44.4	119.6	54.2	142.2	66.7
Test-mean -SD		101.2 7.44	37.2 2.62	113.9 5.88	44.2 2.51	173.3 10.81	60.8 5.02	155.3 5.60	71.9 4.06
Retest-mean -SD		101.7 6.21	36.2 1.84	109.6 5.01	44.8 3.80	130.3 8.06	57.1 2.13	149.3 7.05	69.1 2.84

表3 環境温度 20°C 時の Test - %  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ・心拍数と Retest - %  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ・心拍数

S. Un	Test	5° 80 m		5° 100 m		5° 120 m		5° 140 m	
		H. R.	% $\dot{V}O_2$	H. R.	% $\dot{V}O_2$	H. R.	% $\dot{V}O_2$	H. R.	% $\dot{V}O_2$
S. Tk	Test	109.4	33.7	128.4	42.1	141.2	56.5	155.2	65.0
	Retest	104.2	35.7	111.3	41.8	128.2	53.9	142.8	63.1
S. Ok	Test	125.8	38.4	144.2	50.1	169.0	61.8	177.4	74.7
	Retest	112.4	45.3	124.0	36.7	146.0	55.7	163.6	70.6
S. Yo	Test	111.8	39.6	129.4	49.6	152.0	66.5	170.0	76.5
	Retest	110.2	37.2	119.2	47.1	145.4	62.9	154.8	73.2
J. Ys	Test	117.6	37.1	130.4	45.8	153.2	60.9	170.8	70.2
	Retest	103.2	32.2	117.4	40.7	136.6	57.12	157.6	66.0
Test-mean -SD		113.6 7.55	37.4 2.03	130.0 8.40	46.7 2.23	150.2 11.53	61.0 3.35	166.2 8.47	71.0 3.52
Retest-mean -SD		108.2 3.75	37.8 3.01	115.1 7.10	42.2 3.95	137.6 7.16	56.9 3.69	153.1 7.47	67.8 2.75

表4 環境温度 30°C 時の Test - %  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ・心拍数と Retest - %  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ・心拍数

S. Un	Test	5° 80 m		5° 100 m		5° 120 m		5° 140 m	
		H. R.	% $\dot{V}O_2$	H. R.	% $\dot{V}O_2$	H. R.	% $\dot{V}O_2$	H. R.	% $\dot{V}O_2$
S. Tk	Test	124.0	36.1	134.2	45.2	157.4	60.5	167.6	68.9
	Retest	106.2	36.0	133.2	46.0	147.8	55.0	156.6	68.1
S. Ok	Test	127.4	40.9	145.6	50.1	174.4	67.8	182.8	75.5
	Retest	142.2	35.1	160.4	47.5	172.2	60.3	180.4	75.7
S. Yo	Test	120.2	40.2	142.6	47.6	165.6	62.4	181.4	77.1
	Retest	136.4	37.8	150.0	49.9	153.8	61.7	170.2	74.2
J. Ys	Test	114.2	35.8	125.2	42.8	164.8	62.1	178.0	69.0
	Retest	129.6	36.8	125.2	46.9	161.0	59.4	163.8	70.8
Test-mean -SD		120.2 5.08	38.1 1.10	137.7 6.80	46.5 1.78	163.6 6.70	62.4 4.34	176.6 5.56	72.4 2.35
Retest-mean -SD		126.9 12.69	37.0 2.92	141.6 14.62	47.2 2.82	159.0 8.15	59.1 3.56	168.4 7.91	71.5 4.03

/min.) % $\dot{V}O_2$ ; % $\dot{V}O_2$  max. (%)

5° 160 m		5° 180 m	
H. R.	% $\dot{V}O_2$	H. R.	% $\dot{V}O_2$
180.6	90.8		
170.0	85.7	184.4	96.6
171.4	85.2		
165.6	80.5	176.6	88.0
186.8	89.1		
176.2	89.9	184.6	94.5
186.6			
179.0	91.3	187.4	97.3
	85.8		
173.8	86.4	179.4	88.2
181.4	89.7		
6.26	4.02		
172.7	87.5		
5.23	4.82		

185.2	89.3		
175.8	86.6	186.6	93.3
179.2			
169.4	82.5	183.0	91.0
188.6	89.6		
180.2	89.9		
188.8	88.7		
180.0	81.5	188.4	

194.6	89.3		

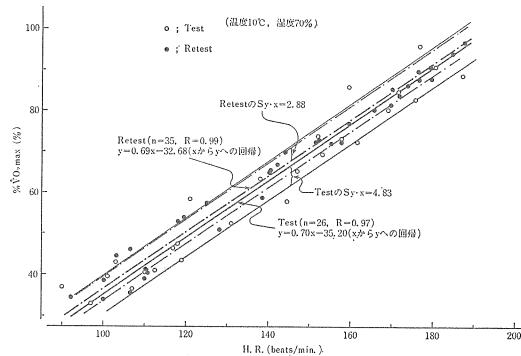


図 3-1 環境温度 10°C 時のテスト、リテストの% $\dot{V}O_2$  max-心拍数関係

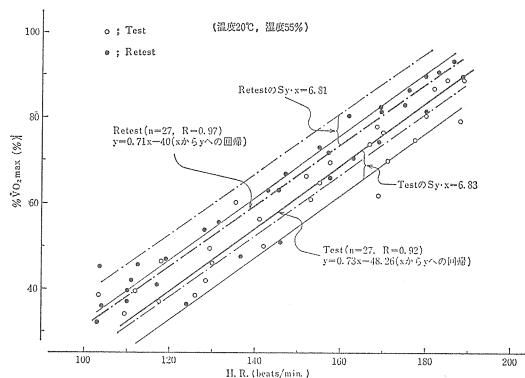


図 3-2 環境温度 20°C 時のテスト、リテストの% $\dot{V}O_2$  max-心拍数関係

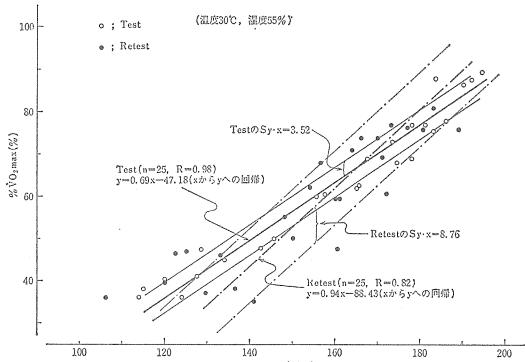


図 3-3 環境温度 30°C 時のテスト、リテストの% $\dot{V}O_2$  max-心拍数関係

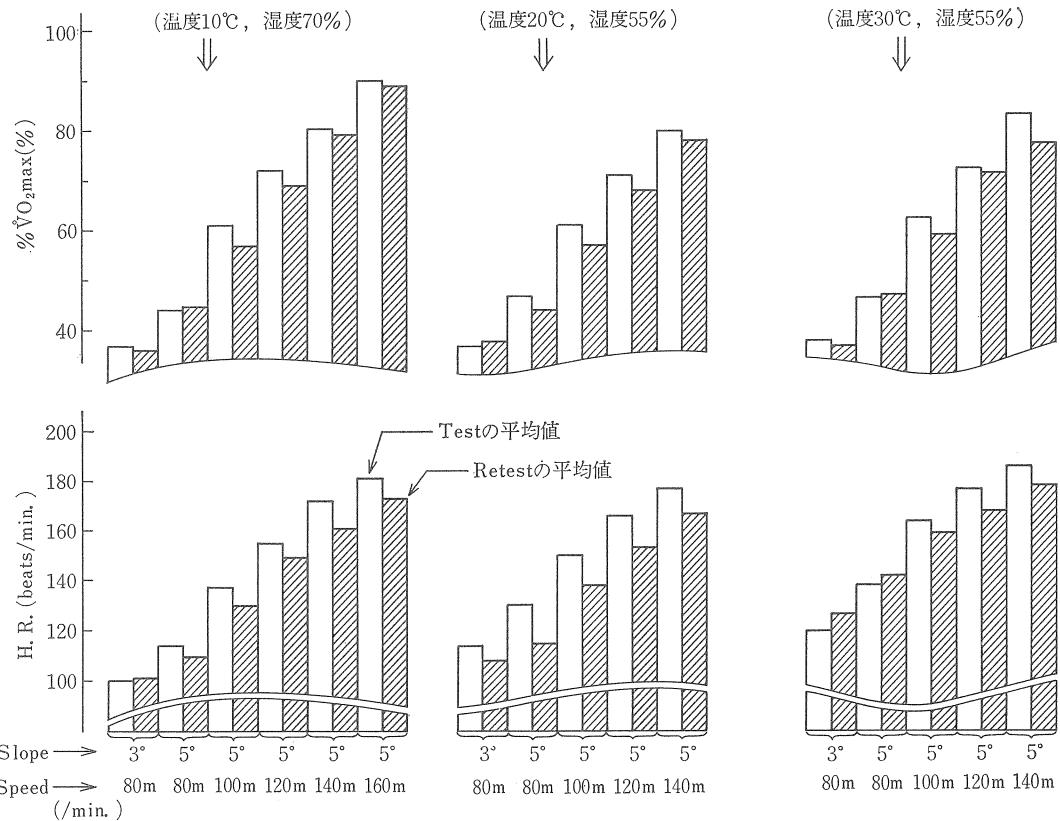


図2 TestとRetestとの比較同一運動強度に対する%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  と心拍数

環境温度によっても若干異なるが、心拍数については90 beats/min 前後より180 beats/min 前後までの心拍数であり、%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  については、40%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  弱より約90%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ までの各種%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  であった。そして同一運動強度におけるテストの%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、心拍数とリテストの%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、心拍数とを比較する意図から図2を作図した。図2に示す棒グラフは、いずれも被検者5名の平均値である。運動強度の比較的低いトレッドミルの傾斜3度、スピード80m/minの際の%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、心拍数については温度条件によってはテストとリテストとの間に明確な差認めがたいが、運動強度が増すと、心拍数において5~10拍、%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ において5%前後の差が認められた。

%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、心拍数それぞれを個々に見た場合は確かにテストとリテストとの間に上記の差を認めたのであるが、両テスト間における%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ・心拍数の関係は、図3-1~3-3の通りであった。

図3-1~3-3は、いずれも横軸に心拍数、縦軸に%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  をとり、テストによって得られた結果を白丸でプロットし、リテストによって得た結果を黒丸で示している。図3-1、環境温度条件10°Cの際の両テストにおける心拍数%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  関係は極めて類似したものであった。図3-1に見る通り、両テストによって得たプロットは相互に入り混じり両テストの回帰直線を見ても、両者は互いに接近した平行状態にあり、また両者の回帰からの標準偏差を見ても、同一心拍数に対して、テストの%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  の方が約3%下方に広がるだけであった。すなわち、同一心拍数に対して僅かにテストの方が低い%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  を示す傾向が見られたものの、両者はほぼ同様に取扱ってもさしつかえないであろうと考えられた。しかしながら環境温度条件が20°Cになると、図3-2に示す通り、両テストの回帰直線は同一心拍数に対して5%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  前後の開きを見せ、回帰からの標準

偏差もそれぞれ上下に約5%のずれが見られた。すなわち、両テストの心拍数% $\dot{V}O_{2\max}$ 関係は同一視できず、明らかに同一心拍数に対してテストの% $\dot{V}O_{2\max}$ はリテストに比して5%ほど低いと考えられる実験結果であった。一方、環境温度条件30°Cの際の両テストの比較は、図3-3に示す通り、温度条件10°Cならびに20°Cの際に見られた一定傾向はなく、両テストの回帰直線は互いに差し交た。また、この温度条件時には、他の温度条件時に見られなかったリテストのプロットの分散があり相関係数も低下した。結果的には、リテストの回帰からの偏差が広がり、テストの回帰はその大半が、リテストの回帰偏差内に含まれてしまい、両回帰の検定を行なうまでもなく両者を同一視してもさしつかえないと思われた。

先に実験の方法で記した通り、われわれは各種% $\dot{V}O_{2\max}$ -心拍数を得る方法として、各種強度の運動を5分ごとに継続して与える方法(テスト)を採用したが、この方法を採用したのは、完全休息をはさんでひとつづつ各種強度の運動を行なわせる方法(リテスト)よりは、より短時間に実験を消化できるからである。また、与える運動の大半は100% $\dot{V}O_{2\max}$ 以下の強度の運動であり、5分間の運動中には酸素摂取量、心拍数とともにステディーな状態となり、継続して次の強度の運動を行なわせても、単独に運動を行なわせた場合と大差のない% $\dot{V}O_{2\max}$ -心拍数関係が得られるであろうと考えたが、これについてのデーター・文献が見当らないので、連続負荷と独立負荷との比較を行なった。両者比較の結果は、前記の通りもとも両者の差が開いた場合でも、同一心拍数に対して5% $\dot{V}O_{2\max}$ 前後の差であったので、 $\dot{V}O_{2\max}$ 自体にも5%程度の個人内変動<sup>10)</sup>があることを考え合せ、テスト・データーの補正是行なわず、テストによって得た心拍数、% $\dot{V}O_{2\max}$ をそのまま採用し、検討することにした。

## 2) テストの結果——3環境温度条件下で得た運動中の心拍数% $\dot{V}O_{2\max}$

10°C、20°C、30°Cの3環境温度条件下でトレッドミル走・歩を荷し、それぞれの温度条件下で得た心拍数% $\dot{V}O_{2\max}$ を表5～7に示した。

表5～7に示す通り、それぞれの被検者によ

り、また環境温度によっても若干異なるが、被検者につき多くて10～11種、少なくて5～6種の心拍数% $\dot{V}O_{2\max}$ を得た。そして得た心拍数、% $\dot{V}O_{2\max}$ のレベルは、もちろん被検者や温度条件によって異なるのであるが、心拍数については、80 beats/min.以下の測定値は僅か数例で、他は全て80beats/min.を越えるものであり、高い方は200beats/minまで的心拍数であった。% $\dot{V}O_{2\max}$ については、20%を下まわる測定値は6例のみで、他は全てこれを越え100%までの% $\dot{V}O_{2\max}$ であった。なお、本実験で検討する心拍数% $\dot{V}O_{2\max}$ の範囲を明確にする意味からも、僅かな測定例しか得られなかった80beats/minに達しない心拍数、ならびにこの心拍数と対になる% $\dot{V}O_{2\max}$ を検討の対象から除外した。すなわち、本実験で検討した心拍数、% $\dot{V}O_{2\max}$ の範囲は、80 beats/min以上200 beats/min前後までの心拍数と20%前後より100%までの% $\dot{V}O_{2\max}$ であった。

### 3) テスト結果についての考察

#### ① 環境温度条件別にみた心拍数-% $\dot{V}O_{2\max}$ 関係

環境温度条件別に得た被検者全員の心拍数% $\dot{V}O_{2\max}$ を図4-1～4-3にそれぞれ示し、更に各温度条件別に得たプロットを、プロットの印を変えて1図にまとめて図5に示した。加えて、各温度条件別に得た回帰直線を重ねて図6に示した。なお、図4-1～4-3に示す心拍数と% $\dot{V}O_{2\max}$ の相関図は23名の被検者から得た心拍数% $\dot{V}O_{2\max}$ をそれぞれ温度条件別に作図したものであり、同様に相関係数ならびに回帰を算出している。そして図5は、温度条件別に得た心拍数-% $\dot{V}O_{2\max}$ 全てをひとつにまとめて相関係数、回帰を算出している。

図4-1～4-3に示す通り、10°C、20°C、30°Cいずれの温度条件においても心拍数と% $\dot{V}O_{2\max}$ とは極めて高い相関( $r=0.943 \sim 0.961$ )を示した。また図5、3温度条件をひとまとめにしてみた場合においても、同様に $r=0.945$ の高い相関を示した。心拍数と% $\dot{V}O_{2\max}$ とに相関関係があることは、従来から報告<sup>1,3)</sup>されているところであり、あらためて報告することもないと思うが、この両者の相関関係をいくつかの異なる温度条件

表5 環境温度条件 10°C のテストで得た心拍数 - %  $\dot{V}O_{2\max}$ .

被検者 Speed	0°			3°			5°			5°		
	H. R. beats/min.	80 m/min. % $\dot{V}O_{2\max}$	H. R. beats/min.	80 m/min. % $\dot{V}O_{2\max}$	H. R. beats/min.	80 m/min. % $\dot{V}O_{2\max}$	H. R. beats/min.	100 m/min. % $\dot{V}O_{2\max}$	H. R. beats/min.	120 m/min. % $\dot{V}O_{2\max}$	H. R. beats/min.	120 m/min. % $\dot{V}O_{2\max}$
D. Ko	67.7—17.3	80.7—28.6	95.0—32.6	109.7—40.9	114.7—45.0							
D. Si	91.3—22.8	101.7—29.2	111.3—35.0	116.0—40.1	127.0—46.7							
D. Os	99.0—28.6	107.3—31.5	116.3—35.4	129.7—42.1	141.7—52.0							
D. Sa	92.7—22.9	115.0—35.0	120.0—41.5	143.7—48.3	148.0—52.0							
D. Ta	100.5—24.5	116.3—38.4	123.7—41.8	134.3—51.8	150.3—60.4							
D. Na	106.7—30.1	123.3—35.2	124.7—40.3	150.3—54.7	150.7—57.9							
D. Th	84.7—26.2	95.7—35.4	106.3—39.5	118.3—47.3	128.3—55.4							
D. Ka	87.3—29.6	100.3—36.6	108.3—40.7	118.7—48.1	131.7—50.6							
D. Ha	96.3—23.6	112.3—26.7	122.7—41.1	126.7—47.1	138.7—53.7							
Ya	118.7—43.6	131.3—52.8	143.7—54.2	159.3—65.6	169.0—78.3							
S. Un	97.2—31.3	111.0—40.3	118.2—47.6	137.8—63.4	153.2—69.4							
S. Ak	82.2—26.7	93.0—34.9	103.4—42.7	127.6—58.9	146.2—68.0							
S. Ur	99.0—30.5	112.4—39.4	118.4—46.4	154.0—64.1	168.2—74.8							
S. Tk	87.0—24.5	96.8—33.3	112.4—41.0	131.2—52.3	147.2—65.6							
S. Ok	96.6—28.8	107.2—36.2	118.8—43.6	144.6—57.8	161.6—72.4							
S. Yo	89.2—29.6	101.2—39.4	117.0—46.5	152.2—64.8	159.3—74.2							
J. Ys	89.7—27.4	103.3—37.0	120.8—42.8									
J. Ho	116.8—28.4	130.2—37.4	140.4—43.5	168.0—57.5	176.0—69.9							
J. Ts	101.8—26.9	109.4—33.6	123.2—42.9	150.0—58.8	163.6—70.8							
J. Ma	98.8—29.8	109.6—38.8	120.0—47.7	144.8—61.3	162.6—76.8							
J. Sa	107.6—27.6	119.2—39.9	130.2—49.2	153.0—64.9	172.0—80.6							
J. Oi	100.0—37.4	114.8—50.8	130.8—60.5	170.2—81.7	179.4—93.3							
J. Ow	104.2—34.2	116.6—47.2	127.8—59.7	152.4—80.4	162.8—91.5							

表5のつづき

140 m/min. H. R. beats/min.	% $\dot{V}O_{2\max}$	5°			5°			5°		
		160 m/min. H. R. beats/min.	180 m/min. H. R. beats/min.	% $\dot{V}O_{2\max}$	200 m/min. H. R. beats/min.	% $\dot{V}O_{2\max}$	220 m/min. H. R. beats/min.	% $\dot{V}O_{2\max}$	240 m/min. H. R. beats/min.	% $\dot{V}O_{2\max}$
132.7—52.2		142.3—61.8	155.3—72.1		168.0—79.5		175.3—87.6			
138.0—54.7		146.0—60.9	153.3—69.1		162.3—74.6		168.7—76.8		177.7—86.8	
156.0—59.9		165.7—66.2	174.7—74.1		181.7—79.7		186.0—86.2			
159.3—59.5		166.0—67.4	175.7—71.6		182.0—79.3		192.7—87.9		200.3—97.2	
159.7—67.8		171.0—74.6	179.3—87.0		187.0—89.5		194.3—88.0			
167.3—68.1		178.7—77.1	188.3—91.5		195.3—98.3					
134.3—59.4		147.0—68.4	156.3—78.2		169.3—82.2		179.0—93.3			
140.7—59.9		157.0—70.5	169.0—76.7		185.0—83.9		192.7—88.5			
146.7—59.7		157.0—64.1	172.3—76.6		180.7—81.9		185.3—87.6			
178.7—89.4		187.0—88.0								
169.0—80.4		180.6—90.8								
159.0—77.5		169.0—86.9								
178.4—83.1		187.2—93.9								
157.4—73.7		171.4—85.2								
175.6—83.1		186.8—89.1								
176.6—86.0		186.6—95.6								
185.4—79.0		193.0—91.4								
173.2—80.0		177.6—89.2								
174.4—84.6		181.0—95.2								
185.8—92.9		199.6—96.4								
189.8—100.0										
175.0—100.0										

表6 環境温度条件 20°C のテストで得た心拍数 - %  $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 

初 檢 者 Speed	傾 斜 Speed	0°			3°			5°			5°		
		H. R. beats/min.	80 m/min. % $\dot{V}O_{2\text{max}}$	H. R. beats/min.	80 m/min. % $\dot{V}O_{2\text{max}}$	H. R. beats/min.	80 m/min. % $\dot{V}O_{2\text{max}}$	H. R. beats/min.	100 m/min. % $\dot{V}O_{2\text{max}}$	H. R. beats/min.	120 m/min. % $\dot{V}O_{2\text{max}}$	H. R. beats/min.	
D. Ko		80.0	—25.8	90.3	—30.9	98.3	—35.8	112.3	—45.0				
D. Si	83.0	—22.1	94.0	—27.9	105.3	—33.0	118.7	—42.3	124.7	—45.8			
D. Os	82.7	—23.1	99.7	—30.8	112.7	—35.6	126.3	—47.4					
D. Sa	100.0	—21.0	114.4	—32.6	125.0	—36.4	146.3	—45.9	149.7	—47.3			
D. Ta	94.3	—23.5	105.3	—31.9	111.3	—31.9	123.3	—47.0	132.0	—50.8			
D. Na	86.3	—21.8	100.3	—26.6	118.7	—36.4	137.7	—44.0	150.7	—54.7			
D. Tn	77.0	—22.6	93.0	—32.3	101.3	—37.6	119.7	—45.4	123.0	—51.8			
D. Ka	85.7	—23.7	102.0	—31.9	115.7	—40.5	127.7	—47.3	135.3	—54.1			
D. Ha	78.7	—21.2	95.0	—33.1	106.7	—36.8	117.3	—46.5	133.3	—47.9			
Y a	89.7	—30.6	125.0	—45.1	141.0	—50.3	158.0	—66.2	171.7	—74.3			
S. Un	94.0	—28.1	103.6	—38.6	117.8	—46.5	135.4	—60.3	157.4	—69.5			
S. Ak	89.2	—28.1	100.8	—38.1	113.0	—46.1	137.4	—58.9	152.0	—68.8			
S. Ur	99.8	—29.7	116.4	—40.7	134.0	—49.8	154.6	—59.4	170.8	—75.7			
S. Tk	94.6	—24.6	109.4	—35.0	128.4	—44.8	141.2	—54.0	155.2	—68.2			
S. Ok	98.4	—24.7	125.8	—38.4	144.2	—50.1	169.0	—61.8	177.4	—74.7			
S. Yo	94.8	—28.1	111.8	—39.6	129.4	—49.6	152.0	—66.5	170.0	—76.5			
J. Ys	102.4	—27.2	117.6	—37.1	130.4	—45.8	153.2	—60.9	170.8	—70.2			
J. Ho	129.0	—28.8	149.6	—37.3	159.2	—45.5	180.0	—62.6	185.9	—68.6			
J. Ts	117.8	—29.8	123.4	—39.0	136.6	—46.8	154.6	—61.3	167.4	—76.1			
J. Ma	105.0	—28.7	117.4	—40.9	133.6	—50.8	153.6	—65.8	171.2	—79.8			
J. Sa	124.2	—29.3	139.2	—39.8	152.6	—49.7	177.6	—65.6	188.4	—81.2			
J. Oi	103.8	—36.5	115.6	—47.6	130.1	—57.7	168.0	—76.5	181.0	—88.9			
J. Ow	104.6	—34.7	117.0	—46.9	135.2	—59.6	156.2	—77.7	169.8	—90.3			

表6のつづき

140 m/min. H.R. beats/min	5°			5°			5°		
	160 m/min. H.R. beats/min	160 m/min. H.R. beats/min	180 m/min. H.R. beats/min	200 m/min. H.R. beats/min	220 m/min. H.R. beats/min	240 m/min. H.R. beats/min	%VO <sub>2max</sub>	%VO <sub>2max</sub>	%VO <sub>2max</sub>
%VO <sub>2max</sub>	%VO <sub>2max</sub>	%VO <sub>2max</sub>	%VO <sub>2max</sub>						
125.3—49.0	136.3—53.7	144.7—63.5	167.0—72.5	177.3—79.9	186.0—85.9				
133.0—51.6	142.3—57.6	152.7—66.0	161.3—72.8	171.7—79.9					
153.0—59.5	164.0—68.1	175.0—73.4	182.0—78.7						
157.3—57.4	168.0—66.5	182.0—71.8	189.7—74.2	197.3—85.3					
148.3—60.2	163.0—66.0	175.7—69.5	185.3—80.2	191.0—81.9	196.0—81.4				
163.0—63.5	175.3—71.6	183.3—79.4	192.0—95.0						
134.0—58.7	146.0—70.4	169.0—72.7	168.7—76.3	177.7—88.8	187.0—99.1				
147.0—63.8	158.7—67.3	170.7—72.4	182.3—86.2	191.3—89.5					
146.7—58.1	155.7—67.3	169.0—72.7	178.3—76.1	185.3—86.4					
180.0—78.8	188.3—84.5								
168.6—78.2	185.2—89.3								
165.4—79.5	172.4—93.5								
183.0—85.0	193.2—92.5								
166.8—78.4	179.2—90.5								
188.4—79.6									
181.8—86.8									
180.2—80.5									
194.6—82.5									
175.4—86.1									
182.4—86.3									
197.2—90.8									
188.8—100.0									
181.4—100.0									

表7 環境温度条件 30°C のテストで得た心拍数 - %  $\dot{V}O_{2\max}$ 

被検者 Speed	傾斜 Speed	0°			3°			5°			5°			
		H.R. beats/min.	% $\dot{V}O_{2\max}$	80 m/min. % $\dot{V}O_{2\max}$	H.R. beats/min.	% $\dot{V}O_{2\max}$	80 m/min. % $\dot{V}O_{2\max}$	H.R. beats/min.	% $\dot{V}O_{2\max}$	80 m/min. % $\dot{V}O_{2\max}$	H.R. beats/min.	% $\dot{V}O_{2\max}$	120 m/min. H.R. beats/min.	% $\dot{V}O_{2\max}$
D.Ko		94.0	—26.2		97.3	—30.5		118.0	—40.0		126.3	—43.9		
D.Si	84.0	—17.5		99.3	—26.3		107.0	—31.2		118.0	—40.1		129.3	—43.2
D.Os	93.0	—21.4		108.3	—29.1		120.6	—33.9		143.0	—40.7		153.7	—53.0
D.Sa	93.7	—19.4		109.3	—29.6		122.7	—36.8		141.7	—43.1		151.3	—52.7
D.Ta	81.0	—20.5		98.7	—30.8		109.3	—36.4		128.7	—49.3		142.3	—53.9
D.Na	87.3	—23.6		108.7	—34.0		117.3	—39.4		139.3	—53.3		157.7	—59.6
D.Th	83.3	—20.0		99.0	—29.5		105.7	—38.0		120.3	—47.7		131.0	—52.3
D.Ka	86.0	—18.4		102.3	—31.9		114.7	—37.3		128.7	—48.4		140.3	—52.9
D.Ha	92.7	—22.9		111.7	—31.9		125.0	—39.0		138.0	—48.0		143.3	—52.6
Y.a	112.7	—28.2		125.7	—37.7		145.3	—49.6		166.0	—66.5		176.0	—75.7
S.Un	97.0	—29.3		115.0	—38.1		128.4	—47.6		155.6	—60.1		173.4	—72.7
S.Ak	89.4	—29.1		100.4	—37.9		120.2	—47.5		147.0	—59.8		164.2	—72.4
S.Ur	124.2	—29.9		137.4	—40.9		150.0	—45.9		175.2	—63.8		182.8	—76.2
S.Tk	112.2	—25.6		124.0	—36.1		134.2	—45.2		157.4	—60.5		167.6	—68.9
S.Ok	106.2	—28.8		127.4	—40.9		145.6	—50.1		174.4	—67.3		182.8	—75.5
S.Yo	101.8	—28.8		120.2	—40.2		142.6	—47.6		165.6	—62.4		181.4	—77.1
J.Ys	90.4	—27.1		114.2	—35.8					164.8	—62.1		178.0	—69.0
J.Ho	126.8	—29.7		147.6	—40.6		159.6	—49.5		180.8	—65.3		188.4	—77.5
J.Ts	121.2	—18.8		130.4	—40.2		139.8	—59.2		161.8	—65.0		169.4	—76.5
J.Ma	118.4	—31.5		126.2	—42.4		147.8	—51.0		173.4	—66.5		183.2	—79.9
J.Sa	123.0	—31.6		135.8	—42.3		154.0	—52.9		178.2	—69.0		189.6	—82.6
J.Oi	106.8	—37.1		122.2	—48.2		144.6	—58.2		176.0	—73.0		189.4	—88.9
J.Ow	124.5	—38.2		136.8	—49.2		154.5	—63.3		172.2	—81.7		182.2	—97.6

表7のつづき

H. R. beats/min	% $\dot{V}O_{2\text{max}}$	5°			5°			5°			5°					
		140 m/min.	160 m/min.	H. R. beats/min	% $\dot{V}O_{2\text{max}}$	180 m/min.	H. R. beats/min	% $\dot{V}O_{2\text{max}}$	200 m/min.	H. R. beats/min	% $\dot{V}O_{2\text{max}}$	220 m/min.	H. R. beats/min	% $\dot{V}O_{2\text{max}}$	240 m/min.	H. R. beats/min
141.0—52.6		153.3—58.8		163.0—65.0		176.0—74.8		184.3—82.2								
139.7—51.6		149.0—59.6		159.0—66.6		169.3—73.7		175.0—79.3								
165.0—61.4		172.3—68.4		180.0—77.0												
159.0—54.6		171.3—61.3		180.7—70.0		190.0—79.1		197.3—84.4								
157.0—60.9		168.7—69.5		180.3—79.9		186.3—82.7										
164.7—58.8		179.7—77.7		189.7—86.2		182.7—89.6										
141.3—60.1		155.7—69.3		165.6—75.7		176.0—77.4										
152.3—57.0		166.3—68.7		178.7—76.2		192.0—83.5										
159.7—62.0		169.0—66.6		177.7—66.9		182.3—80.5										
182.0—82.7		192.0—91.5														
183.6—79.8		194.6—88.3														
173.8—80.5																
191.2—85.5		199.3—93.3														
178.0—77.2																
190.4—86.5																
192.0—87.6																
186.0—78.2																
196.8—82.9																
178.2—75.4																
188.6—89.2																
202.8—97.7																
198.0—100.0																

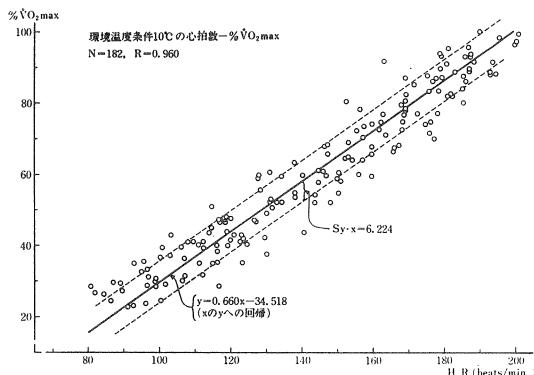


図 4-1 環境温度条件 10°C における心拍数-%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  の相関

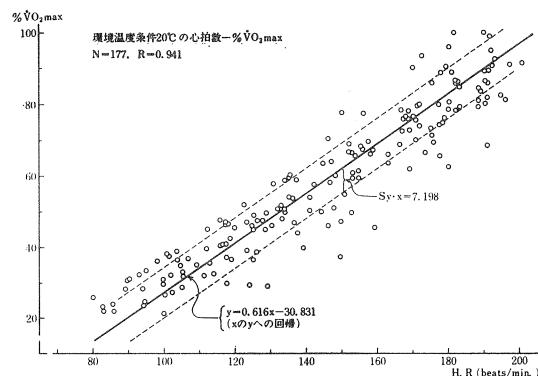


図 4-2 環境温度条件 20°C における心拍数-%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  の相関

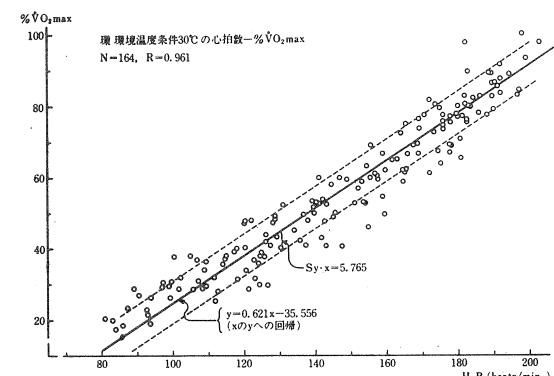


図 4-3 環境温度条件 30°C における心拍数-%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  の相関

下で見たところに本実験の意義があると思う。すなわち、この高い相関関係にある心拍数-%  $\dot{V}O_2$

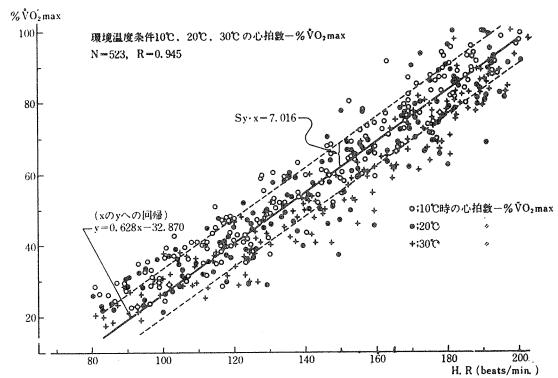


図 5 3 温度条件における心拍数-%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  の相関

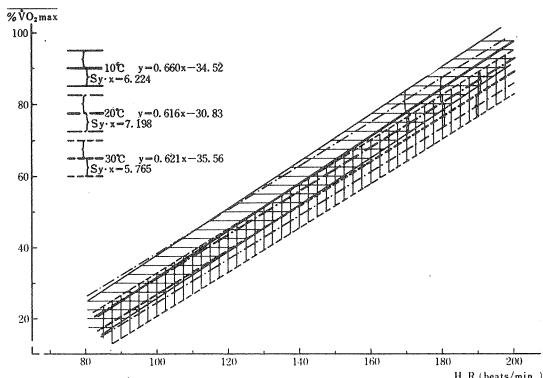


図 6 環境温度条件別に得た回帰直線（x の y への）の比較

$\text{max}$  関係に、環境温度条件がどのような影響を与えるかを検討することが本実験の大きなねらいであった。結果は、上記の通り 3 種の異なる温度条件下いずれにおいても高い相関が得られ、また 10°C~30°C と環境温度が高くなるに従い、両者の相関関係がなくなるといった傾向もみられなかった。心拍数-%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  間に高い相関を認めていた従来の報告には、必ずしもその資料を得た環境温度条件の記載はないが、本実験の結果からして、少なくとも 10°C~30°C の環境温度条件下においては両者に高い相関関係があると言ってよいと考えられ、また、この間の環境温度は、相関関係そのものについても影響を与えないと考えられた。

しかしながら、10°C~30°C の環境温度条件が心拍数と%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  との相関係数に影響を与えた

かったとはいものの、両者の関係のあり方、すなわち回帰については確実に影響を与えた。図6、環境温度条件別に得た回帰直線の比較で示す通り、3種の異なる温度条件により、それぞれ異なる回帰直線がひかれ、共分散分析法により3種の回帰の有意差検定を行なうと、3種はいずれも1%水準で有意な差を示した。すなわち、本実験にて得た心拍数%  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の関係は、10°C、20°C、30°Cの環境温度条件により、それぞれ明らかに異なるものであった。そしてその異なり方は、同一心拍数につき、10°C、20°C、30°Cの順に高い%  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  を示し、%  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  を同一にすれば10°C、20°C、30°Cの順に高い心拍数を示すものであった。このような結果が得られたことについては、環境温度条件と運動に関するこれまでの実験結果<sup>5)7)</sup>からすれば当然考えられたことであり、その背景として、%  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の方は比較的単純な運動強度の従属変数であるのに比し、心拍数の方は、加えて体温調節もからむ環境温度条件にも敏感な変数であることが考えられ、従って、心拍数と%  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  とに直線的な比例関係にあることを利用し、一方から一方を推定する際には、少なくとも環境温度条件に10°Cを越える差がある場合には、温度による差を無視できないことを銘記すべきである。

## ②レベル別にみた心拍数-% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の関係

先きにも記した通り、本実験にて検討する心拍数-%  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  の関係は、運動中の、しかも心拍数80 beats/min. を越えるものについての心拍数-%  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  関係であると限定した。そして図4～6に示す通り、3種の環境温度条件において、心拍数については80以上 200beats/min 前後まで、%  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  については20%前後より100%の範囲内において相関係数0.9を越える高い相関関係を認めた。しかしながら、この高い相関関係は、心拍数 80beats/min. 以上、あるいは20%以上の%  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  全てを通してみた場合に得られた相関であり、その間のどのレベルをとっても同様に高い相関が得られるか否かについての結論は得られていない。そこで、以下の通りの操作を行なってみた。すなわち、心拍数を基準とし、心拍数80～99.9 beats/min., 100～119.9, 120～139.9,

120～139.9, 140～159.9, 160～179.9, 180beats/min～, と20拍づつ区分し、それぞれの区間ににおける心拍数と%  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  との相関を求めた。結果は、表8に示す通りであった。すなわち、心拍数 80beats/min を越えるどのレベルにおいても相関係数は一様に低下し、全体を通してみた場合に得られた高い相関係数は、いずれの区間においても見られなかった。そして、10°C 条件時の80～99.9 beats/min., 30°C 条件時の 100～119.9, 20°C 条件時の 140～159.9, 同じく 20°C 条件時の 160～179.9, 30°C 条件時の 180beats/min 以上についても、5%水準の相関も得られなかった。

以上の結果、ならびに図4～5に見るプロットの分散状態からして、更に心拍数を10拍ごとに区

表8 心拍数 20 beats/min ごとに区切ってみ心拍数と%  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  との相関

H. R. beats/min	温度 条件	% $\dot{V}O_2 \text{ max}$	N	R
80. 0～ 99. 9	10°C	22. 8～ 35. 4	19	0. 339
	20°C	21. 8～ 35. 8	19	0. 596***
	30°C	17. 5～ 30. 8	16	0. 728***
	Total		54	0. 523****
100. 0～119. 9	10°C	24. 5～ 50. 8	39	0. 551****
	20°C	21. 2～ 47. 6	31	0. 640****
	30°C	25. 6～ 40. 4	21	0. 310
	Total		91	0. 533****
120. 0～139. 9	10°C	35. 2～ 63. 4	26	0. 645****
	20°C	28. 8～ 60. 3	30	0. 463**
	30°C	28. 8～ 53. 3	31	0. 556***
	Total		87	0. 529****
140. 0～159. 9	10°C	43. 5～ 74. 2	32	0. 604****
	20°C	37. 3～ 77. 0	31	0. 350
	30°C	40. 6～ 69. 3	30	0. 516***
	Total		93	0. 462****
160. 0～179. 9	10°C	66. 2～100. 0	40	0. 551****
	20°C	61. 8～ 93. 5	34	0. 338
	30°C	58. 8～ 81. 7	33	0. 498***
	Total		107	0. 423****
180. 0～	10°C	79. 0～100. 0	26	0. 590***
	20°C	62. 6～100. 0	32	0. 778****
	30°C	65. 3～100. 0	33	0. 236
	Total		91	0. 463****

t \*\*\*\* ; 0.1% \*\*\* ; 1% \*\* ; 2% \* ; 5%

切って上記と同様の操作を行なった場合、両者の相関度はより一層の低下を示すことは容易に想像できるところであり、従って、心拍数より%  $\dot{V}O_2$  max を推定する際の精度につき、20拍差の%  $\dot{V}O_2$  max は推定できたとしても、10拍以内の%  $\dot{V}O_2$  max を推定することは極めて困難なことといえるであろう。

#### ③ $\dot{V}O_2$ max の能力別にみた心拍数-% $\dot{V}O_2$ max 関係

本実験は、 $\dot{V}O_2$  max が 44.66 ml/kg. min. から 78.31 ml/kg. min の被検者23名を対象としているが、これを  $\dot{V}O_2$  max 高群；67.96～78.31 ml/kg. min. (長距離選手 9名) と  $\dot{V}O_2$  max 低群；44.66～58.87 ml/kg. min (その他の種目選手14名) の 2 群にわけ、両群の温度条件別・心拍数-%  $\dot{V}O_2$  max 関係を比較した。結果は、下記の通りであった。すなわち、両群を比較すると  $\dot{V}O_2$  max 高群の方に、若干ではあるが高い相関係数が得られた。また、回帰式の勾配を示す定数についても  $\dot{V}O_2$  max 高群の方が、僅かではあるが小さい値であった。すなわち、 $\dot{V}O_2$  max 高群の方が僅ではあるが同一心拍数につき、低い%  $\dot{V}O_2$  max が得られる傾向がみられた。しかしながら、環境温度条件 10°C を除けば、両群の回帰式は極めてよく類似していた。そして、10°C 条件時においても、両群の差は、同一心拍数につき 5 % 弱であった。

温度条件 10°C

$$\dot{V}O_2\text{max} \text{高群 } y = 0.644x - 34.04 \quad (r = 0.967)$$

$$\text{〃} \quad \text{低群 } y = 0.675x - 34.83 \quad (r = 0.960)$$

温度条件 20°C

$$\dot{V}O_2\text{max} \text{高群 } y = 0.585x - 26.75 \quad (r = 0.965)$$

$$\text{〃} \quad \text{低群 } y = 0.649x - 35.60 \quad (r = 0.924)$$

温度条件 30°C

$$\dot{V}O_2\text{max} \text{高群 } y = 0.596x - 31.54 \quad (r = 0.9735)$$

$$\text{〃} \quad \text{低群 } y = 0.655x - 41.30 \quad (r = 0.9597)$$

#### ④ 平均的心拍数-% $\dot{V}O_2$ max 関係と個人的心拍数-% $\dot{V}O_2$ max

本実験は、定期的なトレーニングを実施している年令19～24才の健康な男子23名を対象として行なった。そしてこれまでに述べた結果と考察は、いずれも被検者23名をこみにした場合の平均値であり、平均的心拍数-%  $\dot{V}O_2$  max 関係についてで

あった。

%  $\dot{V}O_2$  max は被検者それぞれの最大酸素摂取量にて除した相対的な値であるから比較的問題は少ないにしても、心拍数については、いうまでもなく被検者個々の特色を持った絶対的な値である。従って、心拍数-%  $\dot{V}O_2$  max 関係についても平均値的なもので論議してしまうことには問題があると考えられる。もちろん、被検者個々に特徴を持つ心拍数といえども、本実験で対象とした被検者達の持つ特性の範囲内で、概略ではあるにせよ共通性も考えられるから、平均的な心拍数-%  $\dot{V}O_2$  max 関係と被検者個々の心拍数-%  $\dot{V}O_2$  max 関係とに大差がないならば、すなわち平均的な関係が利用し得るならば、この平均値には大きな利用価値があるといえよう。これらの点を検討するために23名の被検者それぞれにつき、環境温度条件別に心拍数-%  $\dot{V}O_2$  max 関係を求め、図 4-1～4-3 に示す平均的心拍数-%  $\dot{V}O_2$  max 関係との比較を行なった。

表 9 に、温度条件別に求めた被検者個々の心拍数と%  $\dot{V}O_2$  max との相関を示し、図 7-1～7-3 に、平均的回帰直線と被検者個々の回帰直線を温度条件別に重ねて示した。

表 9 に示す通り、各被検者はいずれの温度条件においても極めて高い相関を示し、その大半が R = 0.99 を越えるものであり、また回帰からの偏差も、明らかに平均的な回帰の偏差より小さい傾向を示した。すなわち、平均的な回帰より心拍数から%  $\dot{V}O_2$  max を推定するよりは、明らかに被検者個々に求めた回帰より推定した方が高精度であるといえる。また、図 7-1～7-3 を見れば、温度条件 10°C の際がもっとも平均的回帰に各被検者の回帰が添い、また多くの被検者の回帰が平均的回帰の ±1S<sub>y-x</sub> 内におさまり、30°C 条件の際は、とくに低レベルの方で、平均的回帰からずれる被検者が多くなる温度条件別の特色があった。いずれにしても、平均的な回帰から推定する場合は、同一心拍数につき、被検者によっては 10%  $\dot{V}O_2$  max を越える誤差を生ずる恐れがあるといえる。

#### ⑤ 被検者個々の回帰からみた環境温度条件別心拍数-% $\dot{V}O_2$ max

表9 各被検者別、環境温度別に求めた心拍数と% $\dot{V}O_{2\max}$ との相関

被検者	20°C						30°C								
	N	R	Sy·x	a	b	N	R	Sy·x	a	b	N	R	Sy·x	a	b
D.Ko	9	0.991	2.975	0.634	-26.94	10	0.997	1.701	0.559	-19.39	9	0.996	1.735	0.570	-26.45
D.Si	11	0.998	1.356	0.740	-46.21	10	0.997	1.548	0.661	-35.18	10	0.997	1.677	0.675	-40.77
D.Os	10	0.993	2.626	0.652	-39.46	8	0.997	1.683	0.566	-25.44	8	0.978	4.199	0.620	-39.92
D.Sa	11	0.986	3.962	0.664	-42.03	10	0.990	3.091	0.627	-42.09	10	0.992	2.912	0.605	-38.64
D.Ta	10	0.993	2.770	0.711	-45.47	11	0.991	3.056	0.574	-28.10	9	0.997	1.701	0.580	-26.93
D.Na	9	0.988	4.012	0.772	-57.36	9	0.980	5.245	0.650	-39.70	8	0.983	4.222	0.580	-28.89
D.Th	10	0.997	1.846	0.698	-33.54	11	0.992	3.284	0.665	-30.21	10	0.995	2.264	0.660	-33.83
D.Ka	10	0.997	1.627	0.568	-20.43	10	0.996	2.119	0.634	-32.06	9	0.997	1.802	0.597	-30.97
D.Ha	10	0.992	2.937	0.730	-48.80	10	0.991	3.014	0.568	-23.05	9	0.988	3.079	0.600	-34.36
Ya	7	0.972	4.682	0.667	-35.86	7	0.989	3.280	0.565	-23.61	7	0.997	2.164	0.792	-62.73
S.Un	7	0.997	1.926	0.697	-35.76	7	0.996	2.141	0.641	-29.39	7	0.997	1.794	0.596	-29.73
S.Ak	8	0.998	1.543	0.675	-28.22	7	0.988	3.960	0.709	-35.22	6	0.995	2.135	0.576	-21.76
S.Ur	7	0.994	2.812	0.670	-35.64	7	0.994	2.597	0.670	-38.84	7	0.989	3.860	0.830	-75.33
S.Tk	7	0.997	1.919	0.700	-36.67	7	0.993	3.060	0.772	-51.04	6	0.999	1.095	0.766	-59.18
S.Ok	7	0.998	1.517	0.673	-36.61	6	0.991	2.903	0.610	-36.94	6	0.990	3.534	0.648	-41.85
S.Yo	7	0.994	2.994	0.647	-28.44	6	0.999	1.146	0.665	-35.27	6	0.987	4.117	0.628	-37.28
J.Ys	3	0.977	2.334	0.488	-15.26	7	0.997	1.797	0.690	-44.22	5	0.994	2.818	0.519	-21.68
J.Ho	8	0.982	5.254	0.819	-70.83	7	0.978	5.371	0.875	-90.36	6	0.990	3.332	0.781	-72.54
J.Ts	8	0.994	3.017	0.764	-51.51	7	0.990	3.576	0.980	-85.54	6	0.986	3.674	0.838	-69.83
J.Ma	7	0.996	2.532	0.748	-43.86	7	0.996	2.490	0.775	-52.15	6	0.981	4.873	0.732	-54.34
J.Sa	7	0.996	2.731	0.762	-51.57	6	0.991	3.524	0.821	-74.54	6	0.992	3.605	0.791	-66.92
J.Oi	6	0.996	2.601	0.666	-27.61	6	0.992	3.179	0.680	-32.89	6	0.984	4.884	0.637	-31.96
J.Ow	6	0.998	1.624	0.931	-61.31	6	0.999	1.049	0.841	-52.96	5	0.993	3.181	0.995	-87.34

N ; 個数 R ; 相関係数 Sy·x ; 回帰 Y=aX+b の a (Y ; % $\dot{V}O_2\max$ , X ; 心拍数)  
 b ; XのYへの回帰 Y=aX+b の b

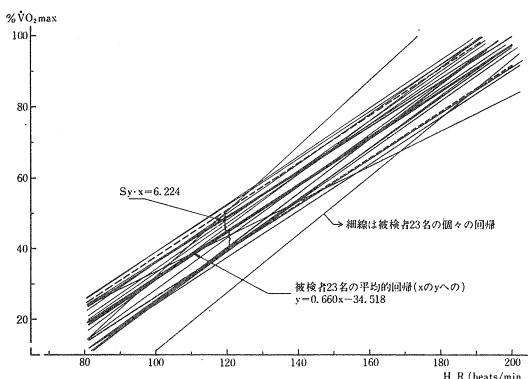


図 7-1 環境温度条件 10°C の心拍数-%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$   
—平均的回帰と個々の回帰—

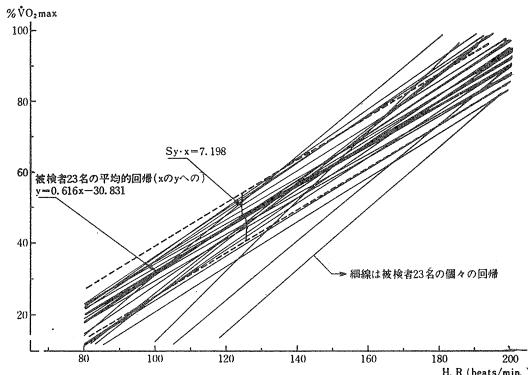


図 7-2 環境温度条件 20°C の心拍数-%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$   
—平均的回帰と個々の回帰—

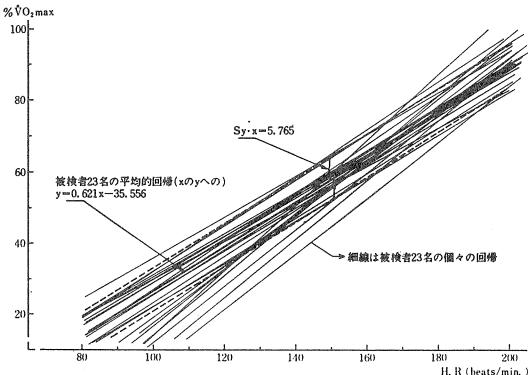


図 7-3 環境温度条件 30°C の心拍数-%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$   
—平均的回帰と個々の回帰—

表 9 に示す通り、いずれの温度条件においても 23 名の被検者は極めて高い心拍数-%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  の相関を示した。この事実を尊重し、環境温度条件

別にそれぞれの被検者について求めた回帰式を利用し、再度環境温度条件別の心拍数-%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  を検討した。

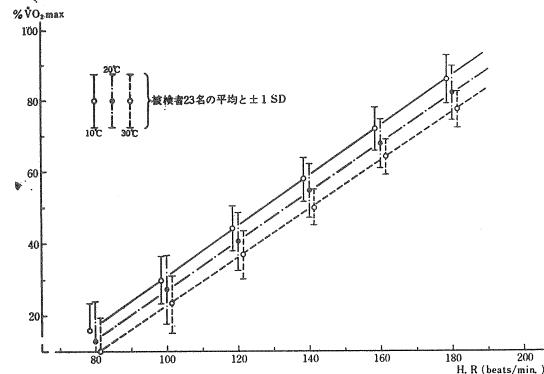


図 8 被検者個々の回帰から求めた一定心拍数に対する  
温度条件別 %  $\dot{V}O_{2\text{max}}$

図 8 は、表 9 に示す温度条件別、被検者別の回帰式それぞれに、心拍数 80, 100, 120, 140, 160, 180 beats/min を代入し、各心拍数に対応する%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  を求め、心拍数のレベル別、温度条件別に被検者23名の平均値と  $\pm 1\text{SD}$  を示している。そして表10は、同一心拍数につき、3種の温度条件別に求めた%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  の平均値の差の検定を示している。

先に求めた図 6・環境温度条件別の平均的な回帰においても温度条件による差は認められたわけであるが、図 8・被検者個々の回帰を使用して求めた心拍数-%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  関係においても、同様に温度条件による明確な差が認められた。また、図 8 における平均値のプロットを直線で結べば、やはり被検者23名の温度条件別の平均的な回帰が得られるので、図 6 の平均的な回帰との比較を行なってみれば、被検者個々の回帰を使用して求めた図 8 の方が、同一心拍数につき若干高めの%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  を示した。そしていずれが平均的な回帰として適当であるかと考えるならば、やはり被検者個々の回帰とその精度を尊重し、図 8 の方を取りあげるべきであろう。そしてまた、平均的な回帰を使用する限りは、本実験で対象としたうような比較的しばられた被検者の中においてさえも、同一心拍数につき各被検者の%  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  は図 8、表

表10 温度条件別、被検者別回帰式に同一心拍数を代入して求めた  $\% \dot{V}O_{2\max}$  の平均値の差の検定

心拍数 beats/min	温度 °C	$\% \dot{V}O_{2\max}$ 平均	SD	$t_a$	$t_b$
80	10	15.94	7.53	0.95	
	20	13.28	11.09		2.47**
	30	9.39	10.28	1.23	
100	10	29.94	6.58	1.21	
	20	27.02	9.53		3.15***
	30	22.97	8.32	1.54	
120	10	43.90	5.96	1.48	
	20	40.76	8.26		3.98***
	30	36.55	6.55	1.92*	
140	10	57.88	5.79	1.73*	
	20	54.50	7.40		4.79***
	30	50.13	5.18	2.32**	
160	10	71.85	6.09	1.85*	
	20	68.23	7.12		5.12***
	30	63.71	4.59	2.56**	
180	10	85.83	6.81	1.83*	
	20	81.97	7.49		4.83***
	30	77.28	5.07	2.49**	

$t_a$  ; 温度条件 10°C と 20°C, 20°C と 30°C の差の検定

$t_b$  ; 温度条件 10°C と 30°C の差の検定

\* ; 10% \*\* ; 5% \*\*\* ; 1%

10に示す偏差程度のバラツキがあることを考慮しなければならぬであろう。

なお、表10に示す通り、80, 100, 120 beats/min といった低レベルの心拍数に対応する  $\% \dot{V}O_{2\max}$  については、必ずしも温度条件 10°C ごとに有意な差を認めなかったことから、心拍数 120 beats/min 以下のレベルであるならば、そして 10°C 前後の環境温度の違いならば、この違いは必ずしも心拍数-%  $\dot{V}O_{2\max}$  関係に現われてこないと考えられた。また、80 beats/min に対応する  $\% \dot{V}O_{2\max}$  の平均値と SD を見れば、平均値に対してあまりにも SD が大きく、平均値の意味が薄れるとともに、このレベルの心拍数-%  $\dot{V}O_{2\max}$  関係を

表11  $\dot{V}O_{2\max}$  を発現した際の実測心拍数を温度条件別、被検者別回帰式に代入し際の  $\% \dot{V}O_{2\max}$

被検者	H. R beats/ min.	10°C $\% \dot{V}O_{2\max}$	20°C $\% \dot{V}O_{2\max}$	30°C $\% \dot{V}O_{2\max}$
D. Ko	185	90.35	84.02	79.00
D. Si	185	90.69	87.10	84.10
D. Os	198	89.63	86.62	82.84
D. Sa	203	92.76	85.19	84.17
D. Ta	198	107.18	85.55	87.91
D. Na	200	97.04	90.30	87.11
D. Tn	192	100.47	97.47	92.89
D. Ka	193	89.19	90.30	84.25
D. Ha	186	86.98	82.59	77.29
Ya	190	90.87	83.74	87.75
S. Un	196	100.85	96.24	87.08
S. Ak	180	93.28	92.40	81.92
S. Ur	196	95.68	92.48	87.35
S. Tk	192	97.73	97.18	87.89
S. Ok	199	97.31	84.45	87.10
S. Yo	193	96.43	93.07	83.92
J. Ys	183	74.04	82.05	73.29
J. Ho	206	97.88	89.89	88.34
J. Ts	199	100.52	109.48	96.93
J. Ma	189	97.51	94.32	84.00
J. Sa	199	100.06	88.83	90.48
J. Oi	184	104.25	101.75	94.16
J. Ow	186	111.85	103.46	97.73
平均		95.76	91.23	86.41
S D		7.48	7.03	5.67

H. R は  $\dot{V}O_{2\max}$  を発現した際の実測心拍数

平均的な回帰より指定することは不可能のように思えた。すなわち、概略であるにせよ平均的な回帰より推定し得るのは、心拍数レベル 100 beats/min 以上のものであろうと考えられた。

最後に、心拍数と  $\% \dot{V}O_{2\max}$  とに比例関係があることを利用し、100%  $\dot{V}O_{2\max}$  すなわち最大酸素摂取量を求めた場合のことについて考察を加えてみたい。表9に見る通り、各被検者は3温度条件において極めて高い心拍数と  $\% \dot{V}O_{2\max}$  との相関を示した。一方、本実験は表1に示す通り各被検者につき  $\dot{V}O_{2\max}$  の測定を行なうとともに、 $\dot{V}O_{2\max}$  を発現した際の心拍数を測定している。そこで、 $\dot{V}O_{2\max}$  を発現した際の心拍数を、

表9に示す温度条件別、被検者別の回帰式に代入し、%  $\dot{V}O_2$  max は、はたして100%を示すか否かを検討してみた。結果は、表11に示す通りであった。 $\dot{V}O_2$  max を発現した際の心拍数の計測方法と、心拍数-%  $\dot{V}O_2$  max の回帰を求めた際の心拍数の計測方法とに相違があるので若干問題はあるが、明らかに回帰を使用して求めた値は低めであった。そして環境温度条件別の回帰よりも推定できることであるが、高温条件時の方がより低めであった。表11に見る通り、10°C 条件時には最も高い値が 111.85%，最も低い値が 74.04% であり、20°C 条件時は 109.48~82.05%，30°C 条件時は 97.73~73.29% であり、3 温度条件中では 10°C 条件時の回帰で求めた%  $\dot{V}O_2$  max が 100%，すなわち  $\dot{V}O_2$  max に近かった。それでも回帰を使用しての  $\dot{V}O_2$  max の推定には、10%を越える誤差が入る可能性があるといわざるを得ないようである。すなわち、5%程度の個人内変動として知<sup>10)11)</sup>られている  $\dot{V}O_2$  max の実測値には、必ずしも近い値とは考えられなかった。

#### IV. 要 約

- 1) 某大学の陸上競技部に所属し、定期的にトレーニングを行なっている年令19~24才の健康な男子23名 ( $\dot{V}O_2$  max 44.66~78.31 ml/kg·min.) を対象とし、トレッドミルを内設する温・湿度調節室で 10°C, 20°C, 30°C の3環境温度条件を設定して、それぞれの温度条件下における運動中の心拍数と%  $\dot{V}O_2$  maxとの関係を検討した。
- 2) 10°C, 20°C, 30°C いずれの環境温度条件下においても運動中の心拍数 (80beats/min 以上) と%  $\dot{V}O_2$  max とは相関係数0.9を越す高い相関を示した。そして3環境温度条件別に求めた回帰直線は、いずれも1%水準にて有意差が認められ、心拍数-%  $\dot{V}O_2$  max 関係には環境温度条件を無視できないと考えられた。

3) 23名の被検者をこみにした平均的心拍数-%  $\dot{V}O_2$  max も高い相関を示したが、23名の被検者が3環境温度条件別に示した個々の心拍数-%  $\dot{V}O_2$  max はより高い相関と偏差の少ない回帰を示し、できれば被検者個々に心拍数-%  $\dot{V}O_2$  max の回帰を求めた方が、より精度の高い相互の推定ができると考えられた。

#### 参考文献

- 1) Astrand, P., T. E. Cuddy, B. Saltin, and J. Stenserg. Cardiac Output During Submaximal and Maximal work. *J. Appl. Physiol.* 19(2): 268-274. 1964.
- 2) Lars Hermansen. Oxygen Transport During Exercise in Human subjects. *Acta Physiologica Scandinavica Supplementum* 399 1973,
- 3) 猪飼道夫, 山地啓司, 心拍数からみた運動強度-運動処方の研究資料として-. 体育の科学, 第21巻第9号: 589-593, 1971.
- 4) 塩野入孝徳, 柳 正明, 栗田憲昭, 小・中・高校生の運動時心拍数の酸素摂取量の関係について, 日本体育学会, 第25回大会号: 608, 昭49.
- 5) Dill, D. B. Effects of Physical Strain and High Altitudes on the Heart and Circulation. *American Heart Journal* vo 123, no 4, p 441-454. 1972.
- 6) Kamon, Eliezer, and Harwood S. Belding. Heart rate and Rectal Temperature Relationships during work in hot Humid Environments. *J. Appl. Physiol.* 31(3): 472-477. 1971.
- 7) 黒田善雄, 他. 環境温度が持久性運動に及ぼす影響. 日本体育協会スポーツ科学研究報告. NO. V. 昭46.
- 8) 黒田善雄, 他. 環境温度と持久性運動に関する研究-2報-, 3報-. 日本体育協会スポーツ科学研究報告. NO. X. 昭47.
- 9) 黒田善雄, 他. 環境温, 湿度が持久性運動に及ぼす影響. 日本体育協会スポーツ科学知究報告. NO. VII. 昭48.
- 10) Bengt Saltin. Aerobic work Capacity and Circulation at Exercise in man with Special Reference to the of Prolonged Exercise and/or heat Exposure. *Acta Physiologica Scandinavica* vol. 62 Supplementum 230. 1964.
- 11) 猪飼道夫編著. 身体運動の生理学. P357-386. 杏林書院. 昭48.