昭和46年度　日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. V　環境温度が持久性運動に及ぼす影響

財団法人　日本体育協会

スポーツ科学委員会

環境温度と身体運動に関する研究

I

環境温度が持久性運動に及ぼす影響

(財)日本体育協会スポーツ科学研究所
黒田善雄・塚起克巳・太田裕造
雨宮輝也・鈴木洋児・成沢三雄

持久性運動能力が外的環境条件に左右されることは，日常生活においてもよく経験することである。とりわけ環境温度及び湿度の影響は重要な問題であると思われる。最大酸素摂取量の60～70％程度の持久性運動である（黒田等）マラソンの場合，君原選手（メキシコオリンピック銀メダリスト）の記録は，外気温9.5°Cで2時間13分33秒（1867.2.別府マラソン）16°Cで2時間17分11秒（1963.4.毎日マラソン）26°Cで2時間20分24秒（1964.5.毎日マラソン）33°Cで2時間33分32秒（1962. アジア大会）である。このことは外気温が高くなるに従い記録に大きな低下を来たすことを示しており，君原選手の力の安定性から考えて，外気温が最大酸素摂取量の60～70％程度の持久性運力能力に大きな影響を及ぼすことを示している。

1927年の Yaglow の報告によれば，環境温度が4.5°C～24°Cの範囲にある場合，労働生産量にはなんらの変化はきたさなかったが，24°Cを越えると生産量は低下しはじめ，30°Cになると22°Cの半分に減少するという。また，1931年のDill 等の報告でも同じような結果が示され，さらに1842年の報告で，彼は0～50°Cの6種の異った環境温度下でいろいろな強度の運動を行なわせると，酸素消費レベルには有意差は認められないが高温条件になるに従い心拍数レベルが上昇し，そのことが作業低下をもたらす原因であるとのべている。

1951年，河合の報告では放熱と産熱の関係からマラソンを分析し，熱平衡からみてマラソンに最も好適な環境温度条件は，湿度を70％とした場合10～15°Cであるとのべている。

これらのことを考え合わせればスポーツ，特に持久性運動が環境温度に影響されることは明らかである。これに対し，環境温度が，持久性運動を限定させる諸要因にどう関係するかという研究はいまだ充分であるとはいえない。本研究は，トレッドミルをもつ人工気候室で異った5条件の環境温度を設定し，運動強度を異にした4グループのそれぞれの作業量とその時の生理的諸反応を調べ，環境温度が，作業能力を規定すると思われる因子にどのような影響を与えるかを明らかにしようとしたものである。

方　法

被検者は，19歳～22歳の大学陸上競技部男子中長距離選手で，最大酸素摂取量が体重当り，69 ml/min～77ml/min であり，かつ5,000m競争の最高記録が14分50秒～15分50秒の12名である。この被検者を最大酸素摂取量の100％，90％，85％，75％と4段階の負荷強度群に分けた(表1)。なお最大酸素摂取量は，環境温度15°C，湿度60％で傾斜5度のトレッドミル漸増負荷法によって測定した。作業負荷水準の決定は，環境条件を最大酸素摂取量測定時と同一にし，トレッドミルの速度を 240ml/min と定め，傾斜度の増減によって行なった。その結果表1に示したように，100％グループでは傾斜角度が5度，90％では4度，85％では3度，75％では2度であった。

環境温度条件は各段階グループとも 0, 10, 20, 30, 40°Cの5条件とした。なお湿度は，0, 10°Cの時は90％（これは空調機の能力による），他は

表1　100% Load level group (speed・240m/min.　slop・5°)

Subject	Age	Ht	Wt	VE (BTPS)	VO_2	VO_2	HR.	R.R	15°C						Best Record	
	yr	cm	kg	l/min	l/min	ml/kg mim	/min	/min	All-Out time	VE (BTPS) l/min	VO_2 l/min	VO_2/W ml/kg min	HR. /min	R.R /min	5000m	10000m
A. K.	20	164.5	50.7	129.80	3.79	74.77	183	65	6′04″	142.28	3.77	73.70	181	65	15′43″0	32′58″0
B. N.	21	167.7	55.3	131.26	4.00	72.42	195	80	3′33″	126.19	3.72	65.76	176	64	15′44″6	33′02″8
C. O.	19	164.5	56.0	155.15	3.88	69.80	195	70	5′05″	149.11	3.88	69.96	187	69	15′42″0	32′25″0
90% Load level group (speed・240m/min.　slop・4°)																
D. O.	21	173.7	62.5	157.82	4.36	69.66	190	84	9′10″	169.21	4.32	70.29	191	92	15′31″0	32′45″0
E. A.	21	161.4	54.2	155.22	3.91	72.09	187	69	8′02″	148.95	3.73	70.03	187	67	15′49″0	33′54″0
F. J.	20	169.8	57.2	159.68	3.92	68.54	172	62	7′03″	147.37	3.71	65.00	165	62	15′58″0	33′40″0
85% Load level group (speed・240m/min.　slop・3°)																
G. T.	20	160.2	62.5	131.93	3.70	69.49	195	80	25′08″	114.68	3.01	56.70	180	86	15′28″0	32′42″0
H. Y.	20	164.4	54.2	155.75	4.04	70.65	188	70	21′03″	130.46	3.66	64.29	187	72	15′57″0	33′20″0
I. Y.	22	169.5	49.2	124.87	3.70	75.37	190	64	32′05″	103.28	3.17	64.53	179	67	15′31″2	31′50″0
75% Load level group (speed・240m/min.　slop・2°)																
J. S.	19	168.2	58.3	154.44	4.48	76.39	194	68	78′21″	101.01	3.12	54.48	162	62	14′54″6	30′55″0
K. K.	20	163.6	56.9	154.61	4.19	73.74	200	94	56′09″	105.68	3.08	53.47	177	90	14′56″6	31′03″0
L. M.	21	166.6	56.0	149.43	4.28	76.96	189	60	70′41″	111.98	3.30	58.86	176	53	15′19″0	32′09″0

いずれも60%とした。

測定項目は，持久走時間，心拍数，呼吸数，直腸温，皮フ温(額)，換気量，酸素摂取量及び運動前後の体重である。

実験はトレッドミルを設置した人工気候室に入室後ただちに3分間ウオーミングアップを行い2分間の休息後行なわれた。なお，心拍数は胸部誘導心電図法，呼吸数はサーミスター法により行ない，いずれもペン書きオシログラフに記録した。直腸温，皮フ温(額)はサーミスター法，換気量はダグラスバッグ法，呼気ガス分析はショランダー微量ガス分析器で行なった。採気時間は，負荷強度100%グループでは運動開始直後から毎分，95%グループでは1分おきに1分間，85，75%グループでは5分おきに1分間，いずれもオールアウト時まで行なった。

なお，被服はランニングパンツ，ランニングシャツ，およびランニングシューズを着用した。

結　果

表2及び図1は各グループの各温度条件における持久走時間を示したものである。負荷強度100%グループでは20°Cの時が最もすぐれた結果を示していたが，いずれの温度条件下でもその差は著明ではなかった。しかし90%以下のグループでは，いずれのグループも10°Cの時が最高値を示し，高温条件になるに従い持久走時間が短縮し，負荷の軽い方が（すなわち走行時間の長い方が）短縮の割合が大きい結果が得られた。(図2)

図3及び図4は走行中の生理的反応を示したもので，図3は被検者A.K.(100%グループ）図4は被検者J.S.（75%グループ）のものである。

表3は換気量，酸素摂取量，心拍数，呼吸数の作業中のレベルを示したものである。換気量は，負荷強度100%，90%，85%の各グループでは温度条件の違いによる差は認められなかったが，75%グループでは，30，40°Cの条件下では増加の傾向を示した。これに対し呼吸数はいずれの場合にも著明な差は認められなかった（図5)。酸素摂取量は，各グループいずれの温度条件下でもその摂取レベルには明らかな差は認められなかった（図6)。しかし心拍数は酸素摂取レベルに差がないにもかかわらず，どのグループも温度条件が高くなるに従い，増加の傾向がみられた。図7は0°Cの温度条件下の値を100%とした時の心拍数レベルの増加をパーセントで示したものである。とくに75%グループでは，20°Cの環境温度をこえると，急激な心拍数増加の傾向が明らかに認められた。

表4は，オールアウト時に示された作業中の最高直腸温と皮フ温(額)を示したものである。

直腸温では，100%っグループの場合，10°Cの時，やや低い値を示すが，他の温度条件下では差が認められない。90%グループでは，いずれの条

表2　Endurance Time in Five Different Environmental Temperatures

100%　Level group

Subj.	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C
A.K.	4′16″0	5′45″0	5′57″0	5′08″0	5′05″0
B.N.	5′07″0	5′65″0	7′34″0	5′34″0	5′52″0
C.O.	4′26″0	5′06″0	6′11″0	6′41″0	5′22″0
Mean	4′36″0	5′19″0	6′34″0	5′48″0	5′26″0

90%　Level group

D.O.	10′21″0	15′34″0	12′32″0	9′17″0	8′07″0
E.A.	8′24″0	11′01″0	11′46″0	9′17″0	4′52″0
F.J.	12′07″0	12′02″0	10′04″0	11′31″0	5′13″0
Mean	10′17″0	12′52″0	11′27″0	9′58″0	6′04″0

85%　Level group

G.T.	38′08″0	52′04″0	26′21″0	18′13″0	8′35″0
H.Y.	30′15″0	30′32″0	22′45″0	15′10″0	9′00″0
I.Y.	17′10″0	25′06″0	21′26″0	16′12″0	8′28″0
Mean	24′04″0	35′54″0	23′31″0	16′32″0	8′41″0

75%　Level group

J.S.	57′42″0	121′37″0	51′38″0	49′20″0	12′21″0
K.K.	60′37″0	71′16″0	60′20″0	33′26″0	7′30″0
L.M.	92′00″0	71′31″0	51′24″0	25′53″0	11′01″0
Mean	70′06″0	88′08″0	54′27″0	36′13″0	10′17″0

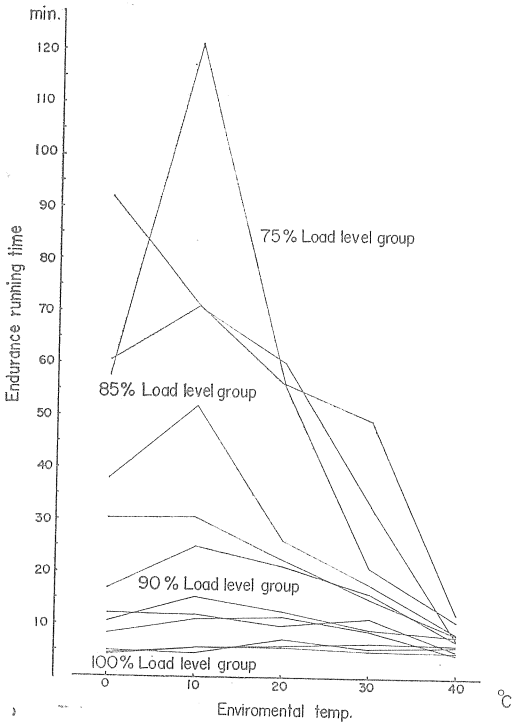

図 1 Endurance Running Time in Five Different Environmental Temperatures

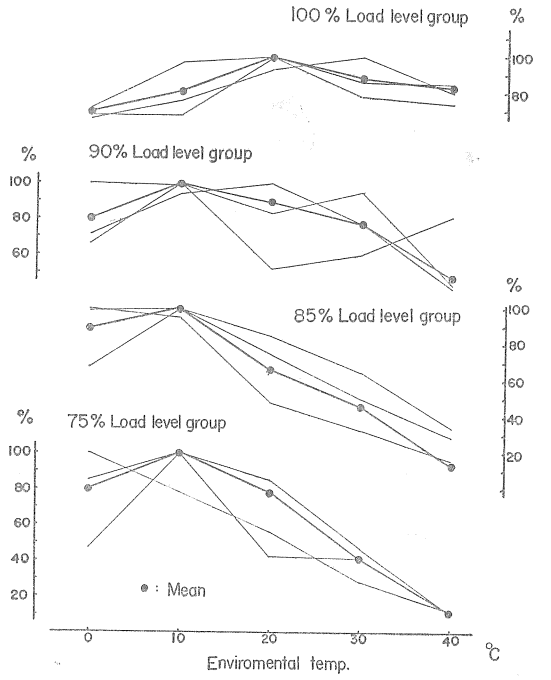

図 2 Decrease of Endurance Running Time in Five Different Environmental Temperatures to Maximum Running Time

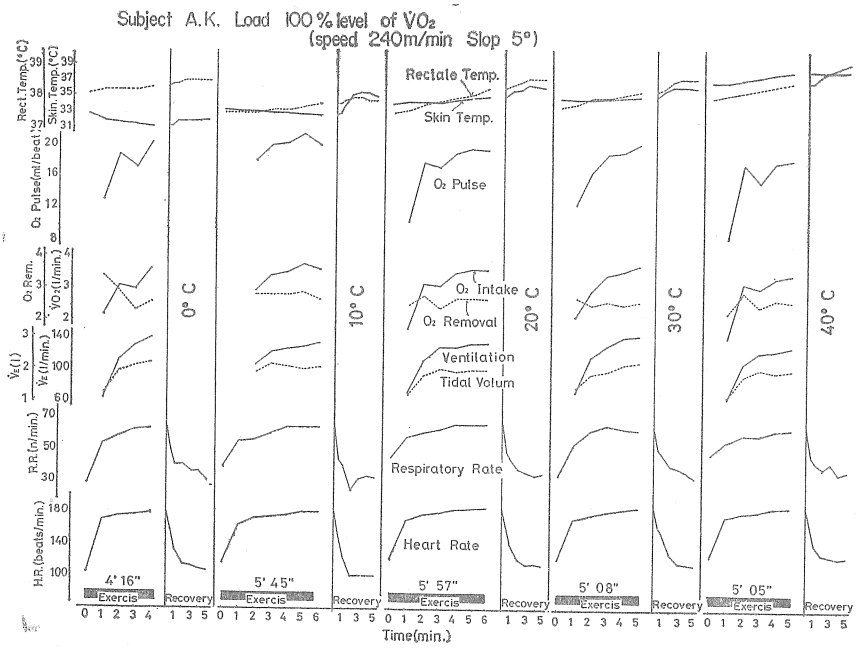

図 3 Physiological Responsis during Endurance Running in Five Different Environmental Temperatures

件下でも著明な差がないが，85%グループでは，0°C および，40°Cで低い値を示し，75%グループでは極端に持久走時間が短縮した40°Cの時，低い値を示したが，他は，いずれもほぼ等しい値を示した。一方，皮フ温は温度条件が高温になるに従い，どのグループも一様に上昇する傾向を示した（図8）。

図9は運動による体重の減少を単位時間当りにして示したものである。いずれのグループも同じ傾向を示したが，単位時間当りで最も体重減少が激しかったのは100%グループに次いで，90%，75%，85%であり，環境温度条件では40°Cの場合，体重減少の量が最も大きく，10°Cの時が最も少なかった。

考　察

5分間程度でオールアウトになるような強度の全身作業では，その作業成績に環境温度が影響するとは思われない。しかし，5分をこえるような作業では，酸素の摂取水準に差が生じないにもかかわらず，温度の影響が作業成績に著明に現われ特に高温になるに従い，また負荷が軽くなるに従

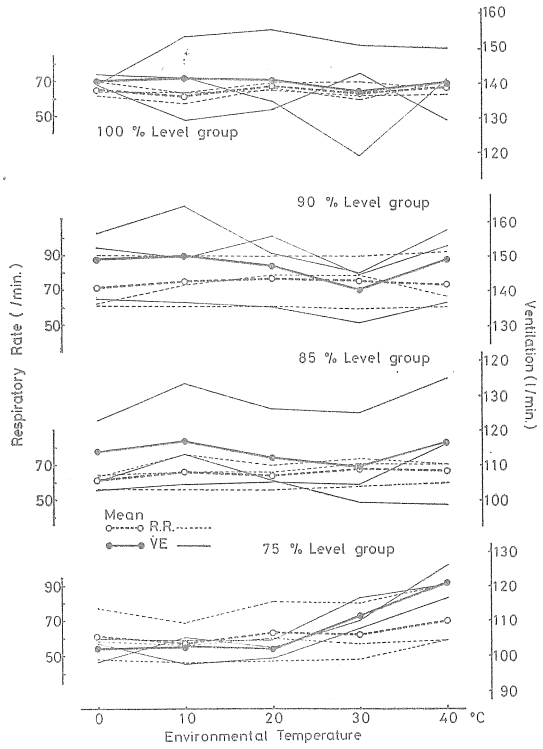

図 5　V̇E and R.R. Level during Exercis

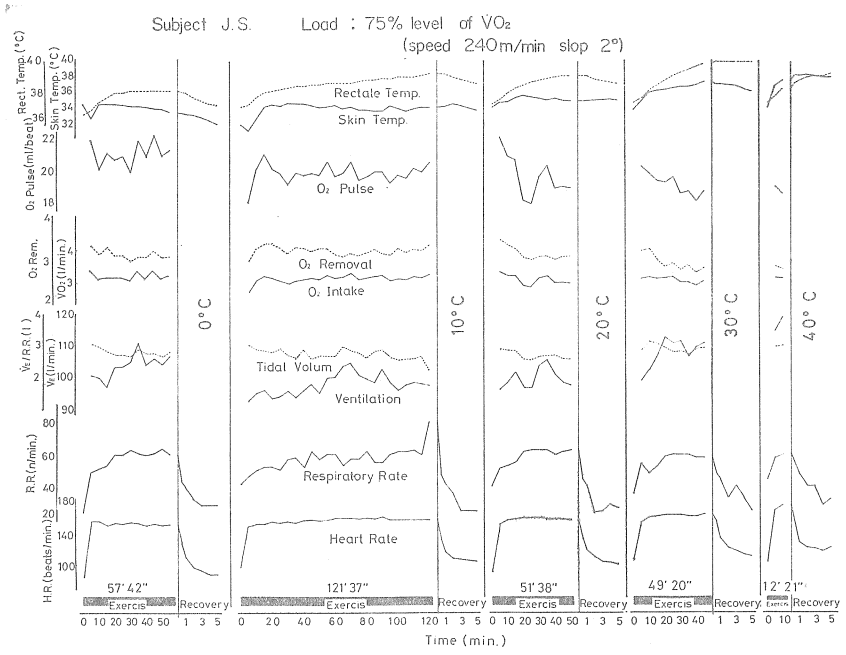

図 4　Physiological Responsis during Endurance Running in Five Different Environmental Temperatures

表 3 VE, VO_2, H.R. and R.R. Level during Exercis in Five Different Environmental Temperatures

	0° C					10° C					20° C					30° C					40° C				
	V_E (BTPS) l/min	VO_2 l/min	VO_2/w ml/kg min	HR /min	RR /min	V_E (BTPS) l/min	VO_2 l/min	VO_2/Wt ml/kg min	HR /min	RR /min	V_E (BTPS) l/min	VO_2 l/min	VO_2/Wt ml/kg min	HR /min	RR /min	V_E (BTPS) l/min	VO_2 l/min	VO_2/Wt ml/kg min	HR /min	RR /min	V_E (BTPS) l/min	VO_2 l/min	VO_2/Wt ml/kg min	HR /min	RR /min
100% Level group																									
A. K.	139.1	3.62	70.23	178	64	129.0	3.77	71.68	181	64	132.5	3.64	72.03	187	66	142.9	3.78	73.52	190	63	129.7	3.45	66.59	189	64
B. N.	142.0	3.82	68.02	188	62	141.3	3.89	68.59	181	58	134.9	4.05	73.53	191	67	119.1	3.72	67.01	190	61	141.5	3.82	68.67	191	71
C. O.	139.2	3.72	66.74	187	70	153.1	3.92	69.17	186	64	155.2	3.88	69.80	187	70	150.9	3.81	68.99	196	71	150.0	3.71	68.07	197	67
Mean	140.1	3.72	68.33	185	65	141.2	3.86	69.81	183	62	140.9	3.86	71.79	188	68	137.6	3.77	69.84	192	65	140.1	3.68	67.78	192	68
90% Level group																									
D. O.	156.3	3.84	61.95	191	90	164.0	3.98	64.47	183	90	150.8	3.90	63.83	193	90	145.3	3.50	56.22	192	90	157.8	3.36	69.66	191	93
E. A.	137.4	3.48	65.09	187	62	136.7	3.44	64.55	191	73	135.4	3.43	65.12	189	79	130.9	3.37	63.87	194	79	136.8	3.39	64.29	200	67
F. J.	152.2	3.92	67.07	161	61	149.2	3.78	67.55	168	61	155.9	3.96	67.49	166	61	144.8	3.64	62.82	170	60	153.3	3.74	64.10	171	61
Mean	148.7	3.75	64.70	180	71	150.0	3.73	65.52	181	75	147.4	3.76	65.48	183	77	140.3	3.50	60.97	185	76	149.3	3.83	66.02	187	74
85% Level group																									
G. T.	105.2	3.02	56.92	171	63	113.1	3.20	60.77	181	76	105.5	3.07	58.62	185	70	99.2	2.96	56.20	192	74	98.6	2.74	52.35	194	71
H. Y.	122.8	3.50	62.73	181	64	133.4	3.70	65.41	188	66	135.4	3.63	65.87	194	66	125.2	3.31	59.57	191	71	134.9	3.26	58.93	198	71
I. Y.	102.7	3.04	62.30	176	56	104.4	3.19	65.43	180	56	155.9	3.10	63.41	183	56	104.4	2.92	59.78	189	58	116.3	3.19	65.05	185	60
Mean	110.4	3.19	60.65	176	61	117.0	3.36	63.87	183	66	147.4	3.27	62.63	187	64	109.6	3.06	58.52	191	68	116.6	3.06	58.78	192	67
75% Level group																									
J. S.	103.6	3.21	55.88	152	58	97.6	3.11	53.21	158	56	99.3	3.10	52.36	160	60	107.7	3.08	51.31	170	57	116.6	3.22	53.92	176	59
K. K.	98.1	3.04	52.13	177	77	105.3	3.12	55.00	177	69	102.3	3.22	56.01	176	81	110.0	3.09	53.50	182	80	126.1	2.93	51.47	196	91
L. M.	104.2	3.27	59.00	160	48	104.2	3.26	58.38	170	46	104.5	3.49	62.05	167	47	116.9	3.15	56.25	180	48	120.4	3.21	57.78	182	59
Mean	102.0	3.17	55.67	164	61	102.5	3.16	55.53	168	57	102.0	3.27	56.81	166	63	111.5	3.11	53.69	177	62	121.0	3.12	54.39	188	70

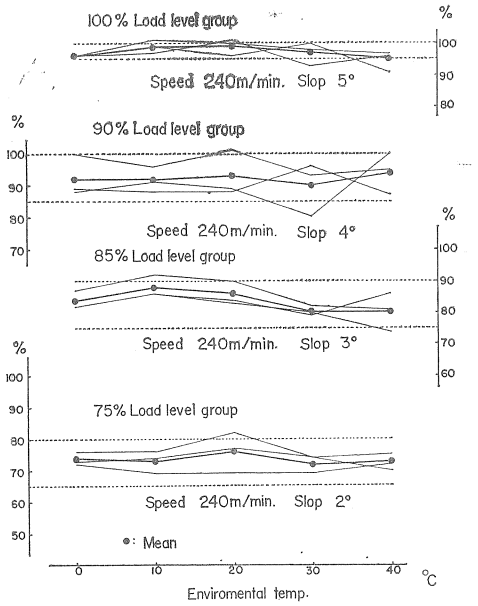

図 6 O_2 Intake Level during Exrcise in Five Different Environmental Temperatures to Max. O_2 Intake

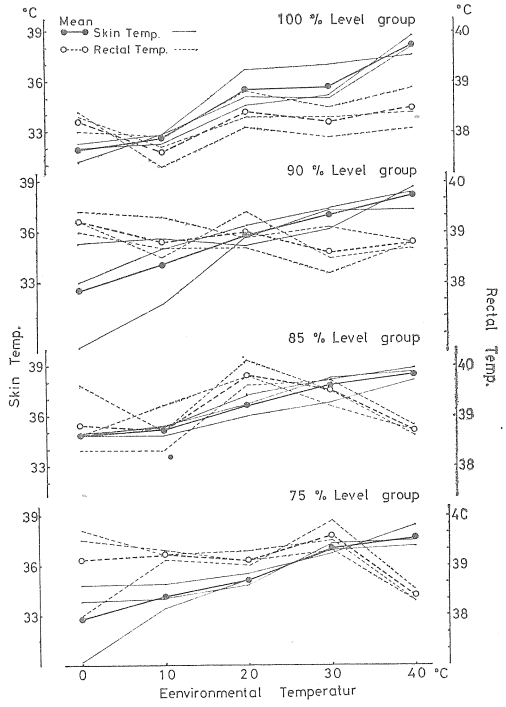

図 8 Rectal and Skin(forehead) Temperature at All-out Time of Exercise

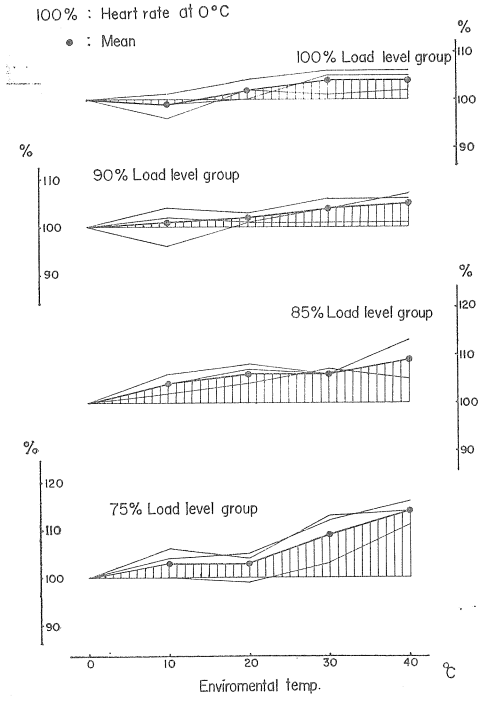

図 7 Increase of Heart Rate in Five Different Environmental Temperatures

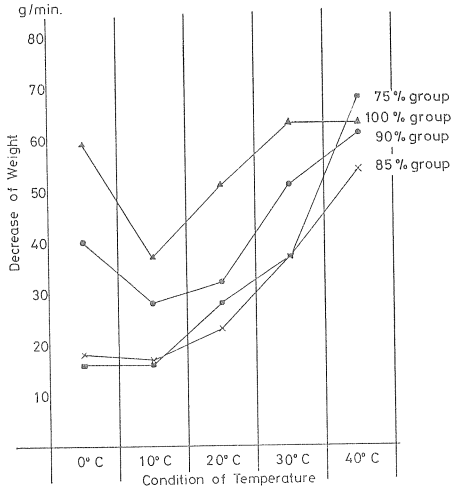

図 9 Decrease of weight in Five Different Environmental Temperatures

表 4　Rectal and Skin (forehead) Temperature at All-out Time of Endurance Running in Five Different Environmental Temperatures

100% Level group　(unit: °C)

	0° C		10° C		20° C		30° C		40° C	
Subj.	Skin	Rectal	Skin	Rectal	Skin	Rectal	Skin	Rectal	Skin	Rectal
A. K.	31.2	38.3	32.8	37.7	35.1	38.3	35.0	38.3	38.1	38.4
B. N.	32.3	38.4	32.8	37.3	36.7	38.1	37.0	37.9	37.6	38.1
C. O.	32.0	38.0	32.3	37.9	34.6	38.8	35.2	38.5	38.8	38.9
Mean	31.9	38.2	32.6	37.6	35.5	38.4	35.7	38.2	38.2	38.5

90% Level group

D. O.	35.3	39.4	35.6	39.3	35.2	38.9	36.2	39.1	38.7	38.8
E. A.	29.1	39.2	31.7	38.5	35.7	39.4	37.3	38.5	37.4	38.7
F. J.	33.0	39.0	35.0	38.7	36.4	38.7	37.4	38.2	38.4	38.8
Mean	32.5	39.2	34.1	38.8	35.8	39.0	37.0	38.6	38.2	38.8

85% Level group

G. T.	34.8	38.3	34.8	39.3	36.0	39.6	36.8	39.7	38.1	38.8
H. Y.	34.9	39.6	35.3	39.7	37.2	39.6	38.2	39.5	38.9	38.6
I. Y.	34.8	38.6	35.4	39.2	36.7	39.7	38.3	39.2	38.6	38.7
Mean	34.8	38.8	35.2	39.4	36.6	39.6	37.8	39.5	38.5	38.7

75% Level group

J. S.	33.8	38.0	34.0	39.1	34.8	39.0	37.3	39.9	37.5	38.5
K. K.	34.8	39.5	34.9	39.3	35.5	39.1	36.7	39.3	38.4	38.3
L. M.	30.2	39.7	33.4	39.2	35.1	39.3	36.9	39.5	37.2	38.3
Mean	32.8	39.1	34.1	39.2	35.1	39.1	37.0	39.6	37.7	38.4

いこの傾向が著しく現われた。このことは，短時間の激しい運動の場合には，外気温による呼吸循環機能や体温調節機能の亢進が，直接運動能力を限定する因子にはならないことを示している。これに対し，5分をこえるような作業負荷の場合，運動による生体の生理的反応に加え，外的環境温度が直接生体に作用し，その生理的働きをより一層亢進させるため，環境温度条件が作業能力の限界因子の1つになると思われる。このことは心拍数の変化によくあらわれている。100% グループでは，いちばん心拍数水準の低かった環境温度条件10°Cの時と，最も高い値を示した40°C との差は，10°Cの値を100とした場合4%程度のわずかなものであったのに対し，75%グループでは最低値を示した0°Cと最高値を示した40°Cの温度条件下での差が平均値で24拍，0°Cの値を100とした場合15%も高く，40°C での運動中の最高心拍数は最大酸素摂取量が発現するような運動中の最高心拍数に近い平均188拍/分にも達した。一方，オールアウト時に示された最高直腸温は，75%グループの温度条件 40°C の時を除けばほぼ一定の値か，温度条件が高くなるに従ってやや高くなる

傾向を示した。このことは高温条件の際，作業時間が短いにもかかわらず，作業時間の長い場合とall-out 時の直腸温に大きな差が生じなかったことであり，その原因が生体からの熱放散を妨げ体温を上昇せしめた外部環境温度にあることは明らかである。すなわち，作業強度が一定で酸素摂取量に変わりがなければ，体内における単位時間当りの産熱量には差がないはずである。したがって，体温のこの高まりは産熱作用の上昇によるものでなく，外気温の上昇による生体からの放熱効果の低下によるといえるからである。又，all-out の時皮フ温が高温条件になるに従い高い値を示しているのは直腸温に示されたような体温の上昇に加え，直接外気に触れている部位に外気温が物理的に作用しているためであろう。人体の放熱の調節は，主に皮フからの熱伝導及び皮フと呼吸器による水分の蒸発によるものである。皮フよりの放熱の調節は皮フ血管の反射性収縮，あるいは拡張によるものであるから，外気温が高くなり体温が上昇すれば，末梢血管をひらき皮膚血流量を増加させ，放熱作用を高めねばならないわけである。Allwood と Burry の報告によれば，ヒトの足の血流量は15°C で0.2ml/100ml・tissue/min にすぎなかったものが 44°C では 16.5ml/100ml・tissue/min になるという。なんとなれば，運動による生体内の産熱の上昇とともに高い外気温が生体，特に皮膚に作用し，その結果として皮膚の血管拡張が亢進し血流量が増加するのである。さらにこのことは心拍出量にもかなり関係してくるものと考えられる。

Astrand（1964）は運動と心拍出量の関係について，酸素摂取量と心拍出量の間には非常に高い相関係があり，又，1回拍出量と運動強度の関係では，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，それをこえるような強度の運動では1回拍出量は変わらないという結果を明らかにしている。したがって，心拍出量の決定にあずかるのは，1回拍出量より心拍数の関与の方が大きいとのべている。Asmussen と Nielsen（1955）は運動時の1回拍出量はほんのわずかしか増加せず，運動の強度には関係ないことを明らかにしている。猪飼等（1966）も心拍出量の最大値について，1回拍出量よりも心拍数の方が大きく関与するものであることを報告している。又，Asmussen（1940）は同一強度の運動を環境温度を異にして行なわせたところ，高温条件になると心拍出量に増加をきたものの，1回出量は同じかやや低下するとのべている。

今回のような最大酸素摂取量の75%以上の運動強度の場合，これらの報告からみれば，1回拍出量は多少減少するにしてもほとんど変わらないと考えられるから，血流量を増加するためには心拍出量を高めねばならないことになる。Asmussen（1940）は環境温度が高くなると心拍数が増加するのは，血管拡張が亢進されることによる心拍出量の増加によるもので，1回拍出量が変わらないことから，心拍出量を増加させるために心拍頻度が高められなければならなくなったためであろうとのべている。

さらに，Barcroft 等の報告によると，外界の温度上昇に伴う皮フ血流量の増加は，手でも前腕でも下腿でも同様に 29°C まで温度の上昇に伴い徐々に増加するが，30°C を越すと増加の割合が大きくなり，40°C まで急速に増加するという。この傾向は，心拍数の環境温度に伴う増加傾向と一致するものである。

しかし，皮膚の血液循環をたかめてなされる放熱量には限界があると思われる。外気温が皮フ温に近づくに従って伝導・放射などによる放熱量は当然ながら減少するからである。そのような状態では放熱作用は主として発汗および呼吸の促進による水分蒸発に頼らざるを得ないであろう。

換気量と呼吸数のレベルを見ると，75%グループを除きいずれのグループも一定の値を示す傾向があった。このことは呼吸の亢進による水分蒸発促進現象がみられないことを意味している。しかし75%では，環境温度が 30°C をこすと換気量に急な増加がみられるが呼吸数には差がみられない。このことは低酸素下における過換気状態とは異なり，1回換気量が増加する傾向を示すものである。酸素摂取量は変わらず換気量が増加していることから酸素摂取率は低下している。しかし1回換気量が増加しているということは，むしろ換気の効率が良くなり肺胞に達する空気が多くなっていることである。したがって肺循環の毛細血管

の血液と空気のガス交換の関係は良好になったことであり，生体の組織に対して酸素の供給がふえたことを意味しているのである。にもかかわらず，酸素摂取量が変わらないということは，肺胞内でのガス交換に何らかの効率低下，もしくは組織における酸素の授受の低下をうみだす原因を高い環境温度がつくりあげているのかもしれない。運動強度が一定で酸素摂取量が変わらないならば，組織での代謝に著しい変化はないと考えられる。Roddie 等は静脈血の酸素飽和度から，筋及び皮フの動脈血流量をみ，身体を加熱した時，筋はほとんど血流量は増加せず，皮フによって血流量の増加がみられることを明らかにした(1957)。又，Pernous 等（1962）は筋作業を行なわせた際，作業前後の動静脈血酸素較差は約96±1％範囲で差がないとのべている。となると酸素摂取量が，もとをただせば筋運動による筋肉のエネルギー回復過程の酸化程度を示すものに外ならないことから，組織における酸素の授受の低下であるとは考えられない。では，肺胞内の問題であろうか？Dill 等は高温の部屋で運動した際，肺胞気の炭酸ガス分圧が低下したという（正常 P_{CO_2} 44mmHg →36mmHg)。又，排泄された炭酸ガス量が増加したという。このことは明らかに呼吸機能の促進を示すものであろうが，1回換気量の増加ということを明らかにする決め手にはならない。むしろこの1回換気量の増加は，放熱作用としての呼吸器の水分蒸発とかかわりがあるように思えるのであるが，現段階では明確なことはいえない。

体重減少の主因は発汗量によるものであると考えられる。図8に見られるように，作業負荷が強い方が単位時間当りの体重減少が大きく，いずれのグループでも10°C の時が最も低い減少量を示した。当然のことながら，激しい運動の方が発汗量が多いという結果を示している。一方熱平衡という点で，10°Cの時体重減少が少なかったのは，10°Cの場合放熱作用としての発汗が充分に働かなくても，体温調節が良好に行われる環境温度であることを示している。したがって，持久走時間との関係をみても，100％グループを除き，いずれのグループでも10°C の時が最も持久走時間が良く，今回の実験結果だけをみると10°C が最も産熱と放熱の熱平衡が良く，走りやすい温度であるといえる。又，高温になるに従い体重減少量が増大するのは，発汗量の増加であり，放熱作用がより活発化していくためであろう。一方，100％グループの場合，10°Cの時より0°Cの方が，体重減少が大きかったのは，運動によるというよりは安静時および回復時に低温の為熱平衡を保とうとし，震え等による産熱作用が活発化したため代謝が高められたからだと思われる。なぜならば，このグループの場合，0°Cの時皮フ温が最も低いにもかかわらず，直腸温が，10°C の時よりも，0°Cの時の方が高い値いを示したためである。しかし，体重減少及び発汗について今回充分な実験を行ない得なかったことから，細部にわたる説明及び論議はさけたい。

以上，このように考えてくると，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。いいかえるならば，高温により皮フ血管の拡張がおこる。したがって，皮フ血流量が増加し，これに伴い心拍出量が増える。この為心拍数が高められる。一方，蒸発される水分は血液によって運ばれる。だから，放熱作用は循環機能への負担になるものであり，とりわけ心臓の働きが重要な意味を持つのであろう。高温条件になるに従い心拍数が高まるのは，このことを示しているであろう。この為，高温条件になればなるほど心臓機能に対する負荷が大きくなり，作業成績が低下するのであろう。

0°Cの低温条件下で作業成績は低下する傾向を示した。皮フ温はその作業中下降し続ける。心拍数レベルも最大下の作業では 0°C で最低値を示す。このことは，作業を行なっているにもかかわらず，低温により皮フ血管が収縮し，血管抵抗が上昇して，心拍出量が減少したことを示す(Scott 等1940）ものであろう。すなわち，体温の熱平衡という点から，運動による産熱量は増加する。しかし，低温により放熱作用はさかんになる。一方生体は，一定強度の作業を維持するに必要な体温の熱平衡を保とうとし，低温条件の場合，呼吸および皮フ血液循環（又は皮フ面）による放熱を抑制しようとする。本実験結果からすると，作業中

の呼吸数レベルは，いずれの温度条件下でも著明な差はみられないが，皮フ温の低下と心拍数の低レベルから，皮フ血液循環を抑制し，放熱量を減少させようとしているものと考えられる。一方運動強度は変らず，酸素摂取量に差が認められないことから，運動中の代謝産熱量も差がないと考えられる。しかし，作業低下の大きかった75%および85%グループの0°Cの直腸温度が，他の条件下と比較し，同じか，やや低い値を示していることから，一方において放熱作用を抑制しようとする働きがあるにもかかわらず，他方，産熱が伴なわず，したがってその運動に対する熱平衡が保持出来なくなったために作業低下が生じたものと考えるが，低温下の作業に関する研究が他にあまりみられないためため，充分な論議は出来ない。

結　論

最大酸素摂取量が発現するような5分程度でオールアウトになる運動では，その作業成績及び身体の生理的諸反応には，環境温度の影響が著明にはあらわれなかった。これは，作業による影響が温度による生体への影響より早く，強くあらわれたためである。したがって，最大酸素摂取量の測定には，特に環境条件を考慮することはないと思われる。

最大下の作業では，環境温度により作業能力が影響を受けるが，負荷が軽く，しかも作業時間が長くなる程その影響は大きい。しかし，作業負荷が最大酸素摂取量の90%，85%，75%のいずれのグループにおいても，10°Cの温度条件下での作業成績が最も良い結果を示した。これは，10°C前後が熱平衡の面から放熱と産熱の最もよくバランスのとれる環境だからで，発汗量にもこのことが現われたのであろう。

最大下の作業の場合，高温条件下における作業能力を限定する因子は，体温調節機能と関連して循環器系，とりわけ心臓機能の疲労によるものであると思われる。このことは，高温条件になるに従い，心拍数のレベルが高くなる，例えば環境温度が30°C及び40°Cといった高温になると，最大下作業でもオールアウト時の心拍数が最大酸素摂取量が得られるような強度の運動中の最高心拍数に近い値を示したことからいえる。

最大下の作業で心拍数を基準にしてPcw 170, Pcw 150などを測定する際には，環境温度により心拍数が変化するので，このことを充分考慮する必要がある。

引　用　文　献

1) Allwood, M.J. and H.S. Burry; The effect of loacal temperature on blood flow in human foot, J. Physiol. 124, 345-357, 1954.
2) Asmussen, Brling; The cardiac output in rest and work in humid heat, Am. J. Physiol. 131, 54-59, 1940.
3) Asmussen, Brling and Harius Nielsen; Cardiac output during muscular work and it's regulation, Physiol. Rev. 35, 778-800, 1955.
4) Åstrand, Per-Olof, T. Edward Cuddy, Eengt Saltin and Tesper Stenberg; Cardiac Output during submaximal and maximal work, J. Appl. Physiol. 19(2), 268-274, 1964.
5) Barcroft, H. and O.G. Edholm; The effect of temperature on blood flow and deep temperature in human forearm, J. Physiol., London 102, 5-20, 1943.
6) Barcroft, H. and O.G. Edholm; Temperature and blood flow in the human forearm, J. Physiol. 104, 366-376, 1946.
7) Barcroft, H. and H. J. C. Swan; Sympathetic control of human blood vessels, Edward, Arnold & Co., 1953.
8) Dill, D.B., H.T. Edwards, P.S. Bauer and E.J. Levenson; Physical performance in relation to external temperature, Arbeits Physiol. 4: 508-518, 1931.
9) Dill, D.B.; Effects of physical strain and high altitudes on the heart and circulation, American Heart Journal vol. 23, No. 4, P. 441-454, 1942.
10) Edholm, O.G., R.H. Fox and R.K. Macpherson; The effect of body heating on the circculation in skin and muscle J. Physiol. 134, 612-619, 1956.
11) 猪飼道夫，広田公一，金子公宥，宮村実晴，田口貞善；心拍出量からみた全身持久性の検討，体育学研究，10，141，1966.
12) 河谷正光；マラソン競走に及ぼす環境温度の影響に

就いて，体力科学，第5巻，第2号，62-66 p. 1955.
13) 黒田善雄；各種競技選手の呼吸循環機能の適応に関する研究一長距離走行中の酸素摂取水準について一，文部省特定研究〔生物圏の動態〕日本人の作業能および生長諸段階における適応能の研究 昭和44年度研究報告書。85—94，1969.
14) Pernow, B. and J. Wahren ; lactate and pyruvate formation and oxygen utilization in the human forearm muscles during work of high intesity and varying duratin Acta Physiol. 56 : 267-285, 1962.
15) Roddie, I.C., J.T. Shepherd and R.F. Whelan ; Evidence from venous oxygen saturation methods thet the incease iin forearm blood flow during body heating is confined to the skin, J. Physiol. 134 : 444-450, 1965.
16) Scott, J.C., Bazett, H.C. and Mackie, G.C. ; Climatic effects on cardiac out put and circnlation in man Am. J. Physial., 129, 102-112, 1940.
17) Yaglow, C.P. ; Temperature, humidity and air movement in industries, The effective temperature index, J. Indust. Hyg. 9 : 297-307, 1927.

補助・日本小型自動車振興会