

昭和50年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VIII 環境湿度と持久性運動に関する研究

—第3報—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和50年度日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VIII 環境湿度と持久性運動に関する研究

— 第 3 報 —

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学研究所

黒田 善雄 伊藤 静夫 塚越 克己
雨宮 輝也 鈴木 洋児 北嶋 久雄

目 的

生体と環境との間の熱平衡の状態は一般に次式で表現できる。

$$M \pm S = E \pm R \pm C \pm W$$

ここで、M=代謝産熱、S=体熱蓄積、E=蒸発、R=輻射、C=対流を表わす。運動時には代謝産熱(M)の増加による熱産生があり、これに対する熱放散も増大しなければならない。熱放散のルートは蒸発(E)・輻射(R)・対流(C)であるが、環境温度が皮膚温(約33°C)を上回るならば、放熱の大半は蒸発によるものとなる。このような状況にあって、大気湿度は放熱量を規定することになり、生体の体温調節にとって極めて重要な因子と考えられよう。

このような観点から、我々は環境湿度が持久性運動に及ぼす影響について研究を行ってきた。

第1報¹⁾では、環境湿度と Performance time の関係について注目した。室温30°Cにおいて80% $\dot{V}O_2$ max以上の強度によるトレッドミル・オールアウト走を行なったとき、湿度条件の高い場合ほど走行時間が短縮することを観察している。し

かしながら、そのときの生理的諸測値には著明な変動はみられない。第2報²⁾では運動強度に着目し、40、60、80% $\dot{V}O_2$ maxの3条件での走行時の生体に対する湿度の影響を検討した。室温は同じく30°Cである。直腸温・心拍数・酸素摂取量は運動強度に比例し、環境湿度の相違による著明な影響は認められなかった。しかし、被検者の1人は、湿度が高い場合ほど皮膚温・発汗量が高値を示し、直腸と皮膚との温度勾配が減少する例をみている。

本研究の目的は、上記の室温条件を更に皮膚温を上回る35°Cに高め、1)湿度条件が運動中の体温調節反応に及ぼす影響を明らかにする、2)高温高湿環境における作業能低下の機序を明らかにすることにある。また、実際に高温高湿環境での重労働あるいはトレーニングを実施する際に役立つ有用な資料を得ることも本研究の狙いとするところである。

研究方法

1. 被検者

被検者は19才~21才の健康な青年男子5名であ

表1 被検者の身体特性、最大酸素摂取量及び60% $\dot{V}O_2$ maxでのトレッドミル走行スピード

Subj.	Age	Ht, cm	Wt, kg	B. S. A, m ²	$\dot{V}O_2$ max.		Run. speed m/min
					l/min	ml/kg•min	
1	21	164.2	54.1	1.596	3.46	73.2	145
2	23	167.9	60.0	1.697	4.11	68.5	135
3	20	167.5	58.8	1.690	3.84	65.3	135
4	21	163.3	53.5	1.582	3.47	64.9	135
5	21	167.7	66.1	1.760	4.20	63.5	115

る。被検者の身体特性は表1に示した。彼らは大学陸上競技長距離選手であり、ほぼ毎日持久性トレーニングを行なっている。体重当りの最大酸素摂取量は63.5~73.2ml/kg・minの範囲にあり、比較的高い有酸素性作業能力を示している。

2. 実験条件

実験はすべて当研究所の人工気候室内において、12月中旬から1月上旬にかけて行なった。人工気候室の環境条件については、室温を乾球温度10°C並びに35°Cの2条件に設定し、湿度は室温10°Cについて相対湿度60%と80%の2条件、室温35°Cについて50, 60, 80%の3条件を設定した。また、生体前面の気流は毎秒0.3~0.6mの範囲とした。

運動は、傾斜3度のトレッドミル走を用いた。運動強度については、最大酸素摂取量の測定及び4種の最大下による走行中の酸素摂取量の測定から、走行スピードの酸素摂取量に対する回帰方程式を求め、各個人の最大酸素摂取量の60%に相当する走行スピードとした。走行時間は90分間とし、走行中の心拍数・直腸温の値を監視して、被検者の疲労の状態あるいは被検者自身の訴えに応じて、途中で走行を停止させた。

3. 測定項目

測定項目は、心拍数・肺胞換気量・酸素摂取量・皮膚温・直腸温・走行前後の体重である。心拍数は胸部双極誘導による心電図から計測した。換気量はダグラスバッグ法により採気し、乾式ガスマーター（西独ゲッチェンゲン社製、レスピレーションガスマーター59型）により計量した。酸素摂取量は、呼気の一部を10cc注射筒で採取し、ショランダー微量ガス分析器にて分析して求めた。皮膚温並びに直腸温は熱電対式アプリケーションを用い、打点式自動温度記録計（デンマーク・エラブ社製自動温度記録計、Z94-B）によって、実験中連続的に記録した。直腸温の測定では、直腸温用アプリケーションを肛門部約8cmの深さにそう入した。皮膚温測定部位は胸部・上腕・大腿・下腿の4カ所であり、平均皮膚温は前報と同様、次式のRamanathan¹⁶⁾の簡易式から算出した。

$$\begin{aligned} \text{平均皮膚温} &= 0.3 \times (\text{胸部} + \text{上腕}) \\ &+ 0.2 \times (\text{大腿} + \text{下腿}) \end{aligned}$$

走行前後の体重は、最小目盛20gの台ばかりによって測定した。

4. 実験手順

被検者は裸体になり十分に汗をふき取り体重を測定する。続いて、ショートパンツとシューズのみ着用し、電極及び体温測定用アプリケーションを装着して15分間の安静をとる。次に、人工気候室に入室し再び15分間の安静を保った後、走行を開始する。

被検者の走行中、心電図・体温を連続的に記録し、また被検者の表情等を監視し、被検者が苦痛を訴えれば直ちに走行を停止させた。

走行終了後、速やかに電極等を取りはずし汗を十分ふきとって体重を測定した。

本実験条件は、温度条件と湿度条件の組合せによる5条件である（環境条件参照）。実験日程は、以上の5条件を無作為に配置し、被検者1名につき1日1実験とし、2日連続しないよう心掛けた。実験日以外の被検者の日常生活については特に規制していない。

結 果

本実験は室温35°C並びに室温10°Cにおいて、異なる湿度条件下における運動時の体温調節反応の様相を調べたものである。その内、心拍数・直腸温・平均皮膚温の経時的变化を、被検者全員について図1に示す。

室温10°Cでは、心拍数・直腸温・平均皮膚温はいずれも異なる湿度条件下においても、ほぼ類似した変化傾向を示す。すなわち、心拍数は走行開始2~5分で定平状態に達し、以後90分まで安定している。直腸温は走行開始5分からゆるやかに上昇し、40~50分で定常状態に達し以後その水準を維持している。平均皮膚温は被検者によって温度差がみられるが、変化の傾向は類似している。走行開始とともに平均皮膚温は一旦下降する。この下降は5~10分間続き、その後再びゆるやかな上昇を始め、20~30分でほぼ安静時の水準に戻り定常状態を保つか、あるいはゆるやかな下降を示す。

室温35°Cでは、図からも明らかなように、湿度の違いによって生体反応も異なる様相を示す。

走行時間については、室温10°Cでは両湿度条件

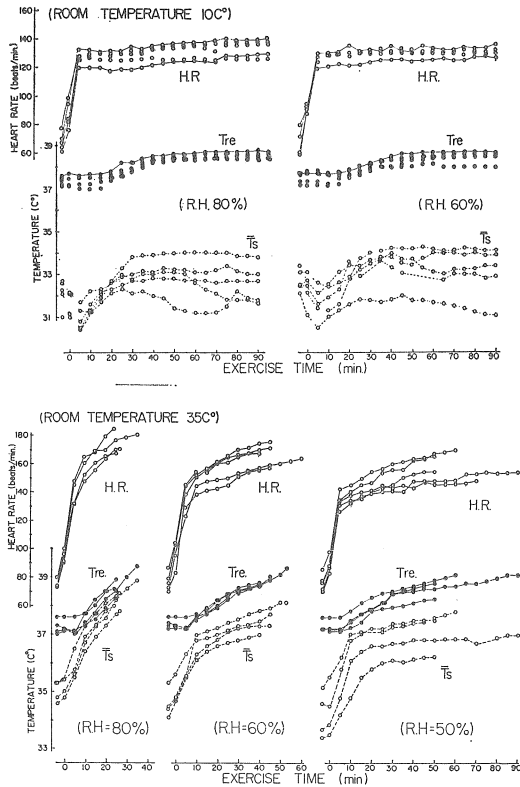


図1 走行中の心拍数(○—○), 直腸温(●—●), 平均皮膚温(○…○)の変化。運動強度はいずれも60% $\dot{V}O_{2max}$ 。

とも被検者の全員が無理なく90分間完走することができた。室温35℃においては、相対湿度50%の条件で被検者1が完走したのを除いて、いずれも途中で苦痛を訴え、走行を停止している。走行時間は、相対湿度50%で64±15分、60%で49±7分、80%で30±6分であった。湿度の高い場合ほど走行時間が短くなっている。以下、室温35℃における各湿度条件下の走行中の生理的諸測値の反応を記す。

心拍数は走行開始とともに急激な増加を示し、走行終了時まで漸次増加する。湿度の高い場合ほどその増加傾向が著しく、また走行終了時の値も高くなっている。直腸温も定常状態に達することなく増加を続ける。走行終了時の直腸温はどの湿度条件においても変わらないが、その上昇速度は湿度の高い場合ほど早くなっている。室温10℃で走行直後一過性の低下を示した平均皮膚温は、室

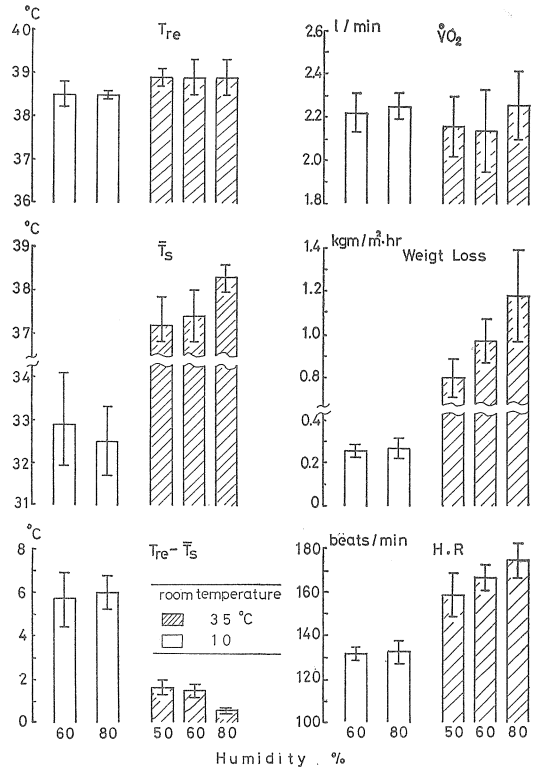


図2 走行終了時の直腸温・平均皮膚温・(直腸温—平均皮膚温)・酸素摂取量・体重減・心拍数。値は、5人の被検者の平均値並びに標準偏差。

温35℃では走行開始後直ちに上昇する。相対湿度50%では、走行後10~15分まで急速な上昇を示し、それ以後ゆるやかな増加を続ける。相対湿度60%では、走行後10~15分以後の平均皮膚温の上昇が相対湿度60%に比べより大きくなる。相対湿度80%になると、走行開始から走行不能に至るまで平均皮膚温は急速に上昇を続けている。湿度の高い場合ほど平均皮膚温の上昇の割合が大きいため、直腸温と平均皮膚温との温度勾配は高湿になるほど減少している。

次に、走行終了時における直腸温・平均皮膚温・(直腸温—平均皮膚温)・酸素摂取量・体重減少量・心拍数及び室温35℃における走行時間を、被検者全員について表2に示した。また、図2には各実験条件ごとに平均値並びに標準偏差を棒グラフで表わした。

直腸温は温度による差が認められる。室温35℃

表2 走行終了時の直腸温, 平均皮膚温, (直腸温-平均皮膚温), 体重減少量, 心拍数, 酸素摂取量, 酸素摂取水準, 及び室温35°Cにおける走行時間

subj	room temperature °C					
	35			10		
	relative humidity %					
	80	60	50	80	60	
	rectal temperature °C					
1	38.9	38.9	39.1	38.4	38.5	
2	39.4	39.3	38.8	38.7	38.7	
3	38.6	39.0	39.1	38.4	38.6	
4	39.1	38.7	38.2	38.6	38.6	
5	38.4	38.7	38.5	38.5	38.0	
\bar{X}	38.9	38.9	38.7	38.5	38.5	
S	0.35	0.32	0.35	0.12	0.25	
	mean skin temperature °C					
1	38.4	37.3	37.0	31.6	31.7	
2	38.9	38.1	37.5	33.7	34.1	
3	38.0	37.7	37.8	33.0	34.0	
4	38.3	37.0	36.2	31.6	31.1	
5	37.8	37.5	36.7	32.7	33.4	
\bar{X}	38.3	37.5	37.0	32.5	32.9	
S	0.38	0.37	0.57	0.82	1.23	
	T _{re} - T _s °C					
1	0.5	1.6	2.1	6.8	6.8	
2	0.5	1.2	1.3	5.0	4.6	
3	0.6	1.3	1.3	5.4	4.6	
4	0.8	1.7	2.0	7.0	7.5	
5	0.6	1.2	1.8	5.8	4.6	
\bar{X}	0.6	1.4	1.6	6.0	5.6	
S	0.11	0.31	0.34	0.78	1.27	
	weight loss kgm/m ² ·hr					
1	1.58	1.13	0.96	0.32	0.36	
2	1.13	0.99	0.82	0.25	0.29	
3	1.02	0.83	0.75	0.25	0.25	
4	0.99	0.94	0.69	0.23	0.22	
5	1.16	0.98	0.77	0.23	0.24	
\bar{X}	1.18	0.97	0.80	0.26	0.27	
S	0.21	0.10	0.09	0.03	0.05	

subj	room temperature			°C	
	35			10	
	relative humidity			%	
	80	60	50	80	60
	heart rate		beats/min		
1	164	157	155	124	131
2	178	172	165	136	135
3	185	175	175	140	136
4	180	167	154	135	131
5	170	163	148	129	127
\bar{X}	175	167	159	133	132
S	7.5	6.4	9.5	5.6	3.2
	oxygen uptake		l/min		
1	2.26	2.00	2.22	2.17	2.16
2	2.54	2.34	2.22	2.35	2.36
3	2.20	2.30	2.29	2.20	2.21
4	2.05	1.84	1.90	2.28	2.14
5	2.27	2.24	2.17	2.26	2.22
\bar{X}	2.26	2.14	2.16	2.25	2.22
S	0.13	0.19	0.14	0.09	0.09
	% maximal oxygen uptake		%		
1	57.1	50.5	56.1	54.8	54.5
2	61.8	56.9	54.0	57.2	58.2
3	57.3	59.9	59.6	57.3	57.6
4	59.1	53.0	54.8	65.7	61.7
5	54.0	53.3	51.6	53.8	52.9
\bar{X}	57.9	54.7	55.2	57.8	57.0
S	2.6	3.3	2.6	4.2	3.1
	runnine time		min		
1	25	45	90	90	90
2	34	53	50	90	90
3	24	45	60	90	90
4	39	40	50	90	90
5	28	60	70	90	90
\bar{X}	30	49	64		
S	5.7	7.1	15.0		

は38.7℃（相対湿度50%）～38.9℃（相対湿度60・80%）であるが、室温10℃では38.5℃（相対湿度60・80%）であり、0.2～0.4℃の差がみられる。しかしながら、両室温においても湿度の相違による直腸温の差は認められない。

酸素摂取量の平均値は2.14～2.26 l/minの範囲にあり、温度条件、湿度条件の相違による差は認められない。最大酸素摂取量に対する割合は54.7～57.9%の範囲にあり、60%をやや下回った。

一方、平均皮膚温・心拍数・体重減少量では、温度条件による差は歴然としている。また湿度による影響も、室温10℃では各測定値に差が認められないが、室温35℃では湿度の高い場合ほど各測定値とも高値を示す傾向が認められる。これに対して、直腸温と平均皮膚温との温度勾配は高温になるほど減少している。

体重減少量は、走行中における総発汗量を表わすものである。被検者5名の総発汗量と運動終了時の平均皮膚温・（直腸温－平均皮膚温）・直腸温・心拍数及び室温35℃での走行時間との関係を図3に示した。本実験結果に加え、前回の第2報¹²⁾の実験における室温30℃、運動強度60%VO₂maxで30分間走行したときのデータを同時に図中にプロットした。プロットした値はいずれも被検者5名の平均値である。

平均皮膚温と発汗量の関係では、平均皮膚温が

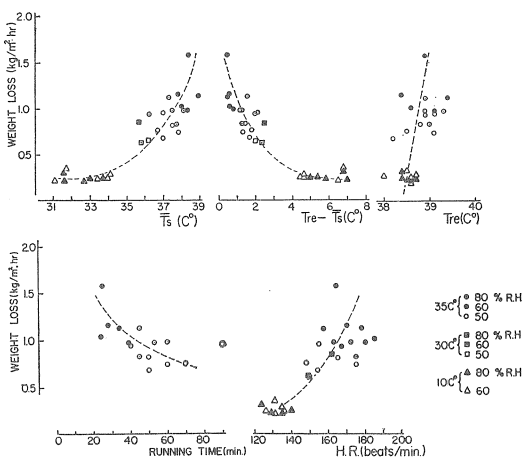


図3 体重減と、運動終了時の平均皮膚温・（直腸温－平均皮膚温）・直腸温・心拍数並びに室温35℃での走行時間との関係

31～34℃の範囲にあるとき総発汗量は0.2～0.3 kg/m²·hrで変わらない。平均皮膚温がおおよそ35℃以上のとき、総発汗量は平均皮膚温に比例して増加する。

これと対照的なのが、（直腸温－平均皮膚温）値と総発汗量の関係である。（直腸温－平均皮膚温）値が8℃～4℃の範囲では、総発汗量は同一水準にある。これが4℃～3℃を下回ると、総発汗量は逆比例的に増加する。

本実験における直腸温は同一運動強度を用いているため測定値に大きな開きが見られないが、直腸温と総発汗量の関係は、直腸温が高くなるほど発汗量も高値を示す傾向がうかがわれる。

心拍数も総発汗量の増加と比例関係にあった。心拍数が140～150拍/分を越えるあたりから、総発汗量もこれと比例して増加する。

室温35℃における走行時間では、走行時間が短くなるほど総発汗量は高値を示す傾向が認められる。

以上、同一運動強度（60% VO₂ max.）による走行であっても、環境条件の相違によって各測定値は大幅に変動する。そして、発汗量の変動と、体温変化・心拍数・Performanceは互いに関連していることが認められた。

考 察

液体表面からの蒸発は液体の蒸気圧と空気の蒸気圧との差に比例する。したがって、汗の蒸発は大気の水蒸気圧（湿度）の増加によってさまたげられることになる。

ところで、Winslow²³⁾の指摘するところによれば、発汗による生体の放熱量を決定する因子は大気の湿度ではない。それは wetted area の増加によって代償されるからである、と説明している。彼の実験成績では、この代償作用による蒸発調節領域は安静状態において温度35℃の場合であれば、相対湿度は70%あたりにある。この場合の wetted area は100%になり、体表面は汗の薄層で完全におおわれることになる。運動時の被検者では代謝産熱ははるかに大きく、同一温度でも更に低い湿度で wetted area は100%に達する。

環境条件が蒸発調節領域を越えると、湿度も体

熱放散を限定する重要な因子となろう。実際、Robinson ら¹⁸⁾は気温50℃の環境においてトレッドミル歩行実験を行なったところ、湿度の増加による蒸発量の減少を観察している。本実験は、このような蒸発調節領域を越えるあたりの環境条件（室温35℃、相対湿度50～80%）を設定し、高温環境下における持久性運動中の体温調節反応並びにその作業能力に環境湿度が及ぼす影響を検討したものである。また、高温環境の対照条件として室温10℃による実験をあわせて行なっている。

過去の我々の実験によると、作業成績に対して最も至適な環境温度は10℃であることが確められている⁹⁾¹⁰⁾。本実験における10℃の温度条件では、直腸温は走行後30～40分でおおよそ38.5℃に上昇し、以後走行を終了するまで定常状態を維持する。平均皮膚温は走行後半にあっても安静水準を大きく上回ることなく、体内と体表との温度勾配は5～6℃に保持されている。心拍数も走行開始数分で定常状態に達しそれ以後大きな変動を示さない。室温10℃において60% $\dot{V}O_2$ maxの運動強度によるトレッドミル走では、体内温度は38.5℃にセットされ、蒸発・伝導・輻射・対流のルートを通じて適切な放熱が確保されている。このような状態にあって、環境条件が持久性運動の限定因子になることはない¹³⁾。湿度の増加も、汗そのものの蒸発を減少させてはいるが、対流・輻射による放熱ルートのしめる役割が大きく蒸発による放熱の割合が少なくなっており、wetted areaの増加によって十分代償し得る。

室温35℃の環境条件での体温調節反応は、室温10℃のそれとは著しく異なる（図1、図2）。また、湿度の相違による体温調節反応の差も明確に認められる。以下に、本実験結果のうち室温35℃における結果について考察する。

Winslow²³⁾によれば、蒸発による放熱率の最もよい指標は皮膚温である。本実験結果においても、平均皮膚温は湿度条件の変化に敏感に反応している。走行中の皮膚温の経時的変動は汗の蒸発による放熱率を良く反映していると言えよう（図1）。室温35℃相対湿度80%では、平均皮膚温は走行開始とともに急速に上昇を続けそのまま走行不能になっている。相対湿度60%では走行開始10

分前後で皮膚温の上昇は緩慢になり、相対湿度50%ではこの時点ではほぼプラトーに近くなる。このことは、環境湿度が汗の蒸発による放熱率を限定しており、皮膚での蒸発性冷却に差が生ずる結果と解釈される。

皮膚温と発汗に関する研究について多くの報告がみられるが、Robinson¹⁷⁾によれば、運動時の皮膚温は運動の強さによるものではなく外気温によって一義的に決定され、一定作業時の定常状態における皮膚温と発汗量とは比例関係にある。Nielsen ら¹⁴⁾も同様に、一定負荷運動時で発汗量は5～30℃の環境温度（および皮膚温）と比例関係にあることを報告している。

本実験においては、環境温度は同一（35℃）であっても、環境湿度が50～80%に変化するとき、走行終了時の平均皮膚温は37～38℃に変動する。すなわち、環境湿度の増加は環境温度の増加と同様に、生体に対する温熱ストレスを高め皮膚温を上昇させる。この皮膚温の上昇は、皮膚温度受容器の求心性刺激を通して視床下部の発汗中枢を刺激し、湿度の高い場合ほどより多くの発汗が生ずるものと考えられる。図2に示されたように、平均皮膚温と発汗量は比例関係にあり、Robinson ら、Nielsen らの結果と類似した傾向が認められた。

運動時の発汗が何に由来しているかは、広く論議されるところであるが、現在のところ次の因子が考えられている。すなわち、1) 皮膚に存在する温度受容器からの求心性刺激、2) 中枢自体の直接的な温度変化、3) 筋・神経系活動に由来する刺激、4) 筋あるいは関節の受容器反射等が上げられる¹³⁾¹⁶⁾。

本実験においては、湿度の増加による蒸発性放熱の減少が上述のように皮膚温を上昇させ、これが皮膚温度受容器の求心性刺激を高めていることが考えられる。さらに、走行終了時の直腸温は相対湿度80及び60%で共に38.9℃であるが相対湿度50%では38.7℃とわずかに低い、また、走行開始から終了までの上昇の割合についても高温環境ほど著しいことが認められる（図1）。直腸温が直ちに視床下部温を表わすものとは言難いが、その目安になると仮定するならば、高温環境における放熱の減少は中枢をより早く加温し、走行初期におい

てより多量の発汗を生ずるものと推察される。結局、本実験結果の範囲内では皮膚と中枢の両面からの効果を考えるのが妥当であろう。

高温高湿環境での身体運動は直腸温・皮膚温の上昇を早める。特に皮膚温の上昇は顕著になり、その結果直腸と皮膚との温度勾配は走行終了時に著しく減少している(図1, 2)。皮膚温の上昇と体内と体表との温度勾配の減少は組織熱伝導度(組織コンダクタンス)の増加を表わしていると考えられる。Robinson¹⁷⁾の実験結果では、組織コンダクタンス値は平均皮膚温、平均体温と比例関係にあり、(直腸温-平均皮膚温)値とは逆比例の関係にある。本実験においても、湿度の増加による温熱ストレスの増加は(直腸温-平均皮膚温)値を減少させ、組織コンダクタンスの上昇を示唆している。また、組織コンダクタンスは皮膚血流量の指標としての意義を持つ¹⁹⁾。すなわち、組織コンダクタンスの増加は、循環器系からみれば、体内の熱を体表へ運搬するために皮下血管が拡張され、皮膚血流量が増加していることを意味する。以上の循環器系の代償作用は、作業筋への血流配分を減少させる¹⁰⁾¹⁹⁾。その結果作業筋では酸素負債を生じ、作業能の低下をもたらすと考えられている⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾。事実、Williamsら²²⁾は高温環境での身体運動中に血中乳酸量の増加を観察している。

皮膚温の上昇及び体内と体表との温度勾配の減少(あるいは組織コンダクタンスの増加)は心拍数の増加を伴っている(図1)。図4は、走行終了時の心拍数と(直腸温-平均皮膚温)値の関係を表わしたものである。図2に示したように、前報の結果も同時にプロットした(結果を参照)。(直腸温-平均皮膚温)値がおおよそ3℃を下回るにつれて、心拍数は急激に増加する。高温高湿環境で要求される多量の皮膚血流量は、心拍数の増加を伴う。この状態においても心拍出量に大きな変化はないと言われ¹⁹⁾、心拍数の増加は一回拍出量の減少につながり、心臓・循環系への負担度を増している¹¹⁾¹²⁾¹⁹⁾。

次に、本実験のうち直腸温と平均皮膚温のデータから、Burton²⁾の式により、各実験条件での走行中の体熱蓄積量を求めた。

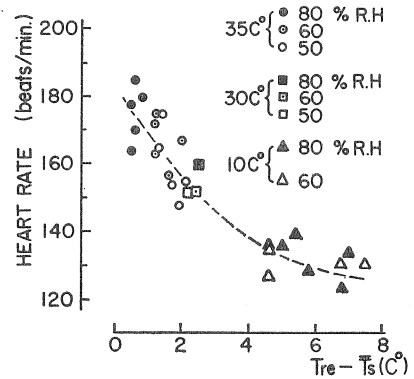


図4 運動終了時の心拍数と(直腸温-平均皮膚温)の関係

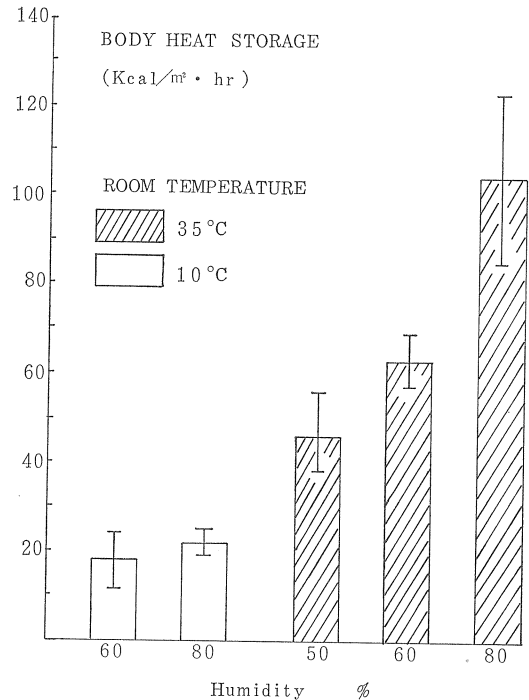


図5 各実験条件における体熱蓄積量

$$S = 0.83W (0.9\sqrt{Tre} + 0.14Ts)$$

ここで、Wは体重(kg)を表わし、人体の比熱を0.83とした。また、平均体温については、皮膚温への重みづけを0.1とした(Nielsen)。図5は上記の式より求めた体熱蓄積量と環境湿度との関係を表わしたものである。図に示された値は走行中の平均値である。室温35℃の条件では湿度条件の違いによる体熱蓄積量の差が明確に認められる。すな

わち、相対湿度50%で45.6kcal/m²・hr、相対湿度60%で63.2kcal/m²・hr、相対湿度80%で103.9kcal/m²・hrと湿度の高くなるほど体熱蓄積量も増加している。特に、相対湿度80%の条件では著しい体熱蓄積量がみられる。このときの直腸温は、安静時の37.3℃から走行終了時38.9℃に上昇し、わずか30分間で1.6℃の増加を示している。

結局、高温高湿環境での持久性運動は、蒸発による放熱が減少することから、循環器系への負担を増加させていると同時に身体への熱蓄積量も増している。この両面の生体へのストレスが高温高湿環境での持久性運動の limiting factor になっているものと思われる。

最後に、温度と湿度の組合せによる温熱ストレスと、持久性運動時の生体反応との関係について触れる。図6は、本実験結果と前報の室温30℃での実験結果を加え、60% $\dot{V}O_2$ max 負荷による30分間トレッドミル走時の直腸温・平均皮膚温・心拍数・体重減少量の応答を示したものである。室温10℃と30℃の中間に当る室温20℃のデータが不足しているが、本図から次のことが推察される。同一強度により持久性運動時の心拍数・皮膚温・発汗量は環境温度に応じて変動するが、環境温度の影響を受けるのはおよそ温度30℃を上回るころからである。また、環境温度35℃になると直腸温のわずかな増加が認められ、湿度が高くなるほど著明である。このような環境条件での強度60% $\dot{V}O_2$ maxの持久性運動では、体温調節機能は限界に達しているものと考えられる。

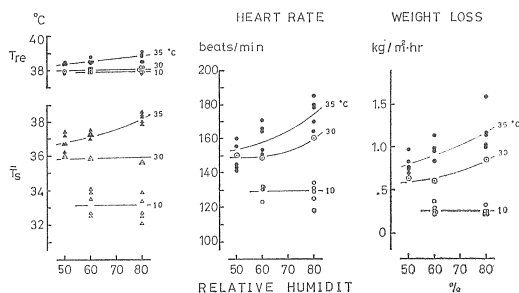


図6 相対湿度と、走行開始20分時の直腸温・平均皮膚温・心拍数・体重減との関係。室温30℃での走行(60% $\dot{V}O_2$ max)は、前回の第2報の値をプロットした。

以上のことから、環境温が30℃を越えような条件での身体運動では、温度のみならず湿度の影響を十分考慮する必要がある。前述のように、心拍数・発汗量は環境条件の変動に対して敏感に反応をし、また測定が容易なところから、実際の高湿労働や身体トレーニングに当って、生体への温熱ストレスを評価するために、良い指標として用いられるものである。今後の広範な資料集積が必要である。

総括

(1) 本研究の目的は、高温環境において環境湿度が運動中の体温調節反応および作業能力におよぼす影響を明らかにしようとするものである。

(2) 被検者は大学陸上競技部長距離に所属する健康な青年男子5名である。環境条件は、室温35℃と10℃の2条件、湿度は室温35℃で相対湿度80, 60, 50%の3条件、室温10℃で80%, 60%の条件を設定した。運動は、60% $\dot{V}O_2$ max強度によるトレッドミル走で、走行時間は最高90分間とした。測定項目は、直腸温・皮膚温・発汗量・心拍数・酸素摂取量である。実験時期は冬期12月中旬～1月上旬である。

(3) 湿度条件の相違による体温調節反応への影響は室温10℃ではみられず、室温35℃において認められた。平均皮膚温・心拍数・発汗量は湿度条件の高い場合ほど高値を示し、(直腸温—平均皮膚温)値は逆に湿度条件の高い場合ほど低値を示した。酸素摂取量・直腸温は湿度条件の変化による著明な差は認められない。

(4) 本実験条件下において、発汗量は平均皮膚温・心拍数と比例関係にあり、(直腸温—平均皮膚温)値・室温35℃の走行時間と逆比例の関係にあった。

(5) (直腸温—平均皮膚温)値と心拍数とは逆比例の関係にあり、皮膚血流量の増加と心拍数の増加が比例関係にあることが推察される。

(6) 体熱蓄積量は高湿になるほど増大し、心拍数の変化・発汗量の変化と比例関係にあった。心拍数・発汗量の変化は、高温環境での身体運動に対する温熱ストレスを評価する上で、有効な指標となることが示唆される。

(7) 以上の結果から、高温多湿環境における作業能力の低下は、次のような機序によるものと推察される。すなわち、湿度の増加は汗の蒸発による放熱をさまたげ、皮膚温・直腸温の上昇が早まり、それに伴う多量の発汗を生ずる。同時に、皮下血管拡張並びに皮膚血流量の増加が生じ、心拍数の増加を伴う。最終的には、循環器系への負担増加と体熱蓄積量増加が高温多湿環境における作業能力の低下に起因しているものと考えられる。

文 献

- 1) Adams, W. C, et al., Thermoregulation during marathon running in cool, moderate, and hot environment. *J. Appl. Physiol.* 38(6) : 1030-1037 1975
- 2) Burton, A. C., The application of theory of heat flow to the study of energy metabolism, *J. Nutr.* 5 : 497, 1934.
- 3) Costill, D. L. Physiology of marathon running *J. Am. Med. Assoc.* 221 : 1024-1029, 1972.
- 4) Fox, R. H., et al. Heat acclimatization by controlled hyperthermia in hot-dry and hot-wet climates. *J. Appl. Physiol.* 22(1) : 39-46. 1967.
- 5) Gonzalez, R. R. et al. Heat acclimation and decline in sweating during humidity transients. *J. Appl. Physiol.* 36(4)419-425. 1974.
- 6) Hall, J. F., Jr. Effect of vapor pressure on physiologic strain and heat storage. *J. Appl. Physiol.* 18(4) : 808-811. 1963.
- 7) Kamon, E, and H. S. Belding. Heart rate and rectal temperature relationships during work in hot humid environments. *J. Appl. Physiol.* 31(3)472-477, 1971.
- 8) 桐原葆見, 種々の大気条件に於けるタイプライティング作業の実験的研究 (温度及び湿度の身体的精神的機能に及ぼす影響, 第5回報告), 労働科学研究, 5(2)281, 1928.
- 9) 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.
- 10) 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-, 昭和47年度日本体育協会スポーツ科学研究報告No. X.
- 11) 黒田善雄他, 環境温・湿度が持久性運動に及ぼす影響, 昭和48年度スポーツ科学研究報告No. VII.
- 12) 黒田善雄他, 環境温・湿度が持久性運動に及ぼす影響, 昭和49年度スポーツ科学研究報告No. VIII.
- 13) 中山昭雄, 体温とその調節, 中外医学双書, 1970.
- 14) Nielsen, Thermoregulation in rest and exercise. *Acta Physiol. Scand. suppl.* 323 1969.
- 15) Piwonka, R. W., and Sid Robinson, Acclimatization of highly trained men to work in severe heat. *J. Appl. Physiol.* 22(1) : 9-12 1967.
- 16) Ramanathan, N. L., A new weighting system for mean surface temperature of human body *J. Appl. Physiol.* 19. 531, 1964.
- 17) Robinson, S., and D. L. Wiegman, Heat and humidity. *in* "Environmental Physiology" edited by N. B. Slonim. the C. V. Mosby company. 1974.
- 18) Robinson, S., Physiological adjustments to heat. *in* "Physiology of heat regulation and the science of clothing." edited by L. H. Newburgh. Hafner publishing co. 1968.
- 19) Rowell. L. B., Human cardiovascular adjustment to exercise and thermal stress. *Physiol. Rev.* 54(1) 1974
- 20) Shvartz. F. et al. A comparison at three methods of acclimatization to dry heat. *J. Appl. Physiol.* 34(2) : 214-219, 1973.
- 21) 渡辺明彦他, 中等度環境気温における湿度の人体に及ぼす影響 (第1報), 労働科学, Vol. 52 No.11 P635, 1976.
- 22) 渡辺明彦他, 中等度環境気温における湿度の人体に及ぼす影響 (第2報), 労働科学, Vol. 53. No. 3, p. 187, 1977.
- 23) Williams, C. G., et al. Circulatory and metabolic reaction to work in heat. *J. Appl. Physiol.* 17. 625-638, 1962.
- 24) Winslow. C. E. A. and L. P. Herrington, 温度と人間一温熱の生理衛生学一, 北博正, 竹村望共訳, 医歯薬出版, 1966

