

昭和52年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. IX 運動時における体温の動的様相

—第2報・環境温度条件を変化させた場合の動的様相—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

昭和52年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. IX 運動時における体温の動的様相

—第2報・環境温度条件を変化させた場合の動的様相—

報告者 (財)日本体育協会スポーツ科学研究所

伊藤 静夫 黒田 善雄 塚 越 克己
雨宮 輝也 金子 敬二 松井 美智子

I はじめに

昭和53年の夏季は、ここ数年に比して熱中症に起因すると思われるスポーツ実施中の死亡例の報道が多かったように思う。われわれの運動やスポーツは、様々な温度条件下で行なわれるが、この環境温度条件と運動の強度や時間を加味した体温の動的な様相に関する資料は、必ずしも充分であるとは思えない。

本報は、運動時の体温の動的様相に注目して研究に着手した報告¹⁾の第2報であるが、ある環境温度条件下で、ある種の強度の運動がステディーな状態で継続されている際に、環境温度条件を変化させた場合、運動時の体温はどのような対応を示すかに興味の視点を置いて行なったものである。すなわち、本研究の目的は、環境温度を変化させるという条件を加味した際の、運動時の体温の動的様相に関する知見を得ることであり、同時に、この様な条件を加味することにより、運動時における体温上昇の特性についても知見が得られるのではないかと意図により行なったものである。

II 方法

本研究の被検者は、表1に示す身体特性を持った年齢29歳と36歳の健康な男子2名である。

本研究の実施期間は、昭和53年7月20日～9月10日であるが、実験実施中の被検者の服装は、ショートパンツとシューズのみに統一して行なった。

本研究は、図1に示す通り、室温(温湿度調節室)を3種の条件に設定して行なった。すなわち、運動開始後20分の時点より、1)室温を漸次上昇させる、2)逆に漸次下降させる、3)変化させずに出来るだけ一定に保つ、の3実験条件である。なお、安静時及び運動開始後20分までは、

表1 被検者の特性とトレッドミル走行速度及び時間

Subject		K.S	S.I
Age	yr	36	29
Height	cm	164.7	167.0
Weight	kg	71.8	54.5
B.S.A.	m ²	1.80	1.62
VO ₂ max	l/min	3.71	3.30
	ml/kg·min	52.86	58.22
Run.speed m/min	40%VO ₂ max	100	120
	60% "	160	190
Run.time	min	60	90

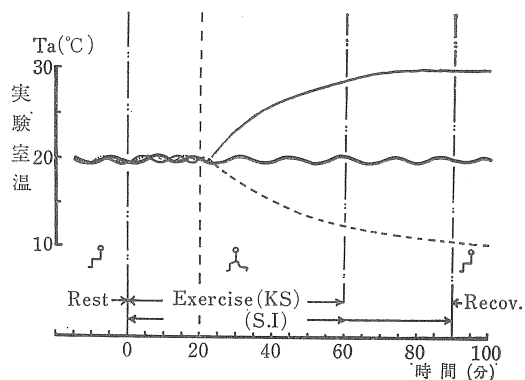


図1 実験条件の模式図

室温を 20℃ 一定に保つことを意図したが、実際には、おおよそ 20℃ ±0.5 で波状的な変動を示した (図 1)。

運動開始後 20 分より室温を上昇させる場合は、20℃ から 30℃ へ、室温を下降させる場合は 20℃ から 10℃ へ、温湿度調節装置の温度設定盤を再設定することにより室温を変化させたわけであるが、図 1 に示す通り、室温は直線的には変化せず、初期に変化量の大きい曲線的な変化で、変化速度は、上昇させる場合の方がわずかに速く、約 50 分で 10℃ 上昇して 30℃ になったが、下降の場合は、約 60 分で 10℃ 下降して 10℃ の室温になった。

なお、3 実験条件とも湿度は 60% ± 5、気流は向い風 0.5m/sec ± 0.1 に保って行なった。

運動は、傾斜なしのトレッドミル走を用い、走行時間は、被検者の有酸素的作業能を考慮し、被検者 K. S は 60 分間、S. I は 90 分間とした。運動強度は、軽運動負荷として 40% $\dot{V}O_2max$ 、強運動負荷として 60% $\dot{V}O_2max$ の 2 種類について行なった。なお、その際のトレッドミル走行速度は、表 1 に示す通りである。

測定項目は、心拍数、酸素摂取量、皮フ温、直腸温、食道温である。心拍数は胸部双極誘導による心電図から、酸素摂取量はダグラス・バック法にて採気し、ショランダー微量ガス分析器によって分析求めた。

皮フ温、直腸温、食道温は、エラブ社の熱電対、及び打点式自動温度記録計にて連続記録した。皮フ温の測定部位は、胸部、上腕、下腿であり、この 3 ケ所の皮フ温より平均皮フ温を求めた。食道温は、温度計 (熱電対エレメント) を鼻腔より挿入し、横隔膜直上の深部食道温を測定した。直腸温は、温度計を肛門部約 12cm の深さに挿入して測定した。なお、体温の測定は、前報¹⁾と同様の方法を採用しているため、皮フ温、食道温等の詳細な測定法については、前報を参照されたい。

III 結果

1. 心拍数、酸素摂取量について

3 種の室温条件における 2 種の運動負荷時の心拍数、換気量、酸素摂取量 (% $\dot{V}O_2max$ 表示) の

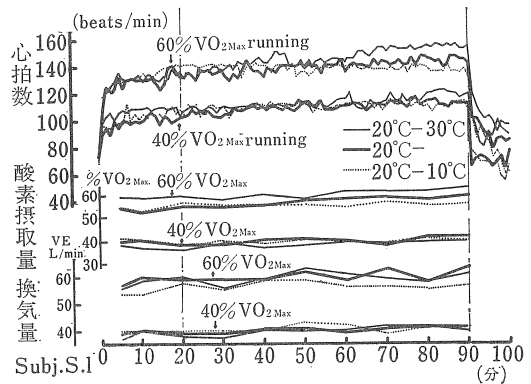
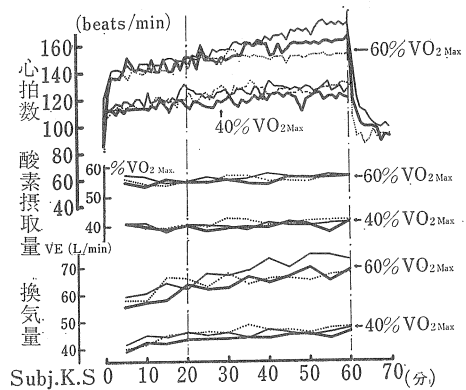


図 2 3 種の室温条件下における心拍数、換気量、酸素摂取量の変動

変動を図 2 に示した。

酸素摂取量は、両被検者とも 40% $\dot{V}O_2max$ の運動負荷条件においては、ほぼ設定条件通り 40% $\dot{V}O_2max$ であったが、60% $\dot{V}O_2max$ 運動負荷条件においては、わずかに 60% $\dot{V}O_2max$ を下まわる酸素摂取量であった。しかし、両被検者とも同様に下まわったので、両被検者の相対的運動強度は、ほぼ同一と考えられる結果であった。

運動時の酸素摂取量は、ほぼ一定水準に保たれ、室温の変化による影響は観察されなかった。換気量も酸素摂取量とほぼ同様の傾向であったが、有酸素的作業能が S. I に比して若干低い被検者 K. S につき、60% $\dot{V}O_2max$ 負荷の際、室温上昇条件において、他の 2 室温条件には見られぬ換気量の急増が観察された。

心拍数については、軽運動強度の際には、酸素摂取量と同様、室温の変化に伴う変化は観察され

なかったが、強運動負荷時の際には、室温を変化させたことによると思われる心拍数の変化が観察された。すなわち、室温上昇の際は、被検者K. Sで運動開始後40分以降、S. Iで運動開始後60分以降に2次的増加が観察され、室温を変化させない場合（コントロール）は、この2次的増加が少なく、室温下降条件においては、2次的増加が見られず、ほぼ一定水準を維持しつづける状態が観察された。

2. 皮フ温について

図3に、3室温条件における胸部、上腕、下腿の平均皮フ温を示した。図中の皮フ温は、室温の変化による影響の観察を意図に、室温条件の変化を開始した運動開始後20分の時点の平均皮フ温を基準（0）とした変化量で示した。

皮フ温は、室温の変化に対して比例的な変動を示した。温湿度調節室入室後、皮フ温は漸次低下し、運動開始により更に一過性の低下を示した後上昇に転じた。運動開始後20分で室温を変化させると、皮フ温は図1に示す室温の変化と同様のパターンで変動し、この傾向は、軽運動負荷時、強

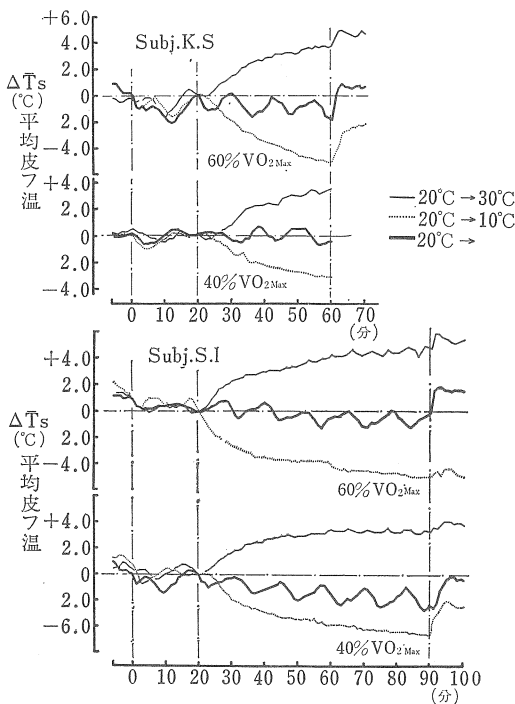


図3 3種の室温条件下における平均皮フ温の変動

運動負荷時ともに共通して観察された。

3. 深部体温について

深部体温の指標として採用した食道温、直腸温の変化を図4、5に示した。図中の体温スケールは、皮フ温と同様に運動開始後20分の値を基準（0）とした変化量で示してある。図4及び5に示す通り、食道温、直腸温は室温の変化に起因すると思われる変動、及び運動強度の差に起因すると思われる変動が観察された。

まず、軽運動負荷時に注目すると、室温を上昇させた場合は、食道温は逆に下降する傾向を示し、室温を下降させた場合は、その逆に食道温は上昇の傾向を示した。そして、コントロール条件では、両者の中間的な変動であった。このような室温の変化と逆方向の食道温の変動は、K. S, S. Iいずれの被検者においても認められた。

食道温において観察された上記の変動特性は、直腸温においては、被検者S. Iについては認められなかったが、被検者K. Sについては、明瞭に観察された。

次に、強運動負荷時について注目すると、軽運

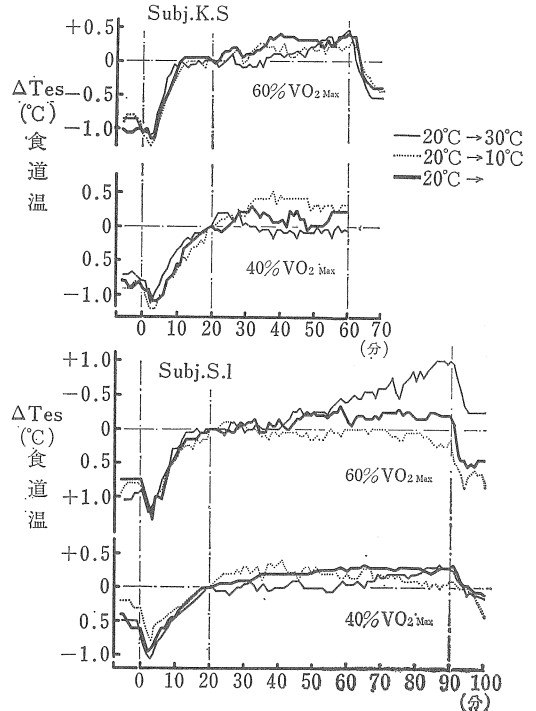


図4 3種の室温条件下における食道温の変動

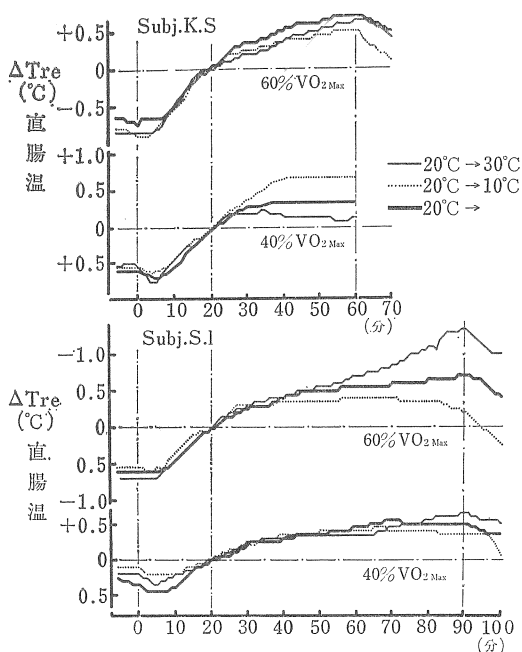


図5 3種の室温条件下における直腸温の変動

動負荷時の際に見られた室温の変化に逆向する深部体温の変化は、明瞭には観察されなかった。そして、運動の後半において、室温上昇の際には、心拍数について認められた2次的な上昇が深部体温についても認められ、室温下降の場合は、この深部体温の2次的な上昇が押えられる傾向にあった。この傾向は、特に被検者 S. I の運動開始後60分以降において顕著に認められた。

IV 考察

1. 平均皮フ温の動的様相に関して

図3に示す通り、胸部、上腕背部及び下腿後部の3カ所より求めた平均皮フ温は、40%及び60% $\dot{V}O_2\max$ いずれの運動負荷時においても、環境温度を変化させると、その変化に平行する動的様相を呈した。すなわち、環境温度の変化が、直接皮フにおける放熱条件に影響すると考えられる平均皮フ温の変化が観察された。また、運動強度との関連において、前報の結論を訂正すべき平均皮フの様相を観察した。第1報において、運動時の平均皮フ温は外気温に左右され、運動強度の影響を受けない旨の結論を述べたが、本実験においては、図3に示す通り、被検 S. I の室温を20℃よ

り30℃に上昇させた際、40% $\dot{V}O_2\max$ 負荷時の平均皮フ温は、運動開始後約60分で定常状態になり、運動開始後20分に比して約3.5℃の上昇であるのに比し、60% $\dot{V}O_2\max$ 負荷時の場合は、平均皮フ温の定常状態は観察されず、最後まで漸増し約4.5℃の上昇で、両者に明らかな差が観察された。すなわち、平均皮フ温は外気温の影響ばかりでなく、運動強度・産熱の程度にも影響を受けると考えられた。

なお、室温を変化させないコントロールの際に観察された平均皮フ温の波状的な変化については(図1)、室温が20℃を中心としてわずかに上下動するサイクルに同期しているようにもみえるが、±0.5℃のわずかな環境温度の変化が、±1℃前後の平均皮フ温の変化になって現われることについては理解しがたいので、この点に注目した再実験を試みる必要があると考えられた。

2. 深部体温の動的様相に関して

本実験は、深部体温の指標として食道温と直腸温を採用したが、図4及び5に示す通り、直腸温が比較的安定した変動を呈したのに比し、食道温には、こまかい上下動を伴った変動が観察された。

第1報と同様、直腸温より食道温の方が上昇の場合も下降の場合も、時間的に速く変化を開始する傾向が観察されたが、同様の結果を報告した例はこれまでに多くみられる。この食道温の速い反応は、食道部の方がより静脈血の影響を受け易い部位にあることで説明がつくにしても、あたかもエレメントが測定個所から離脱しかかっている際に見受けられる様な食道温のこまかな変動については、その原因を説明しがたく、確認の実験が必要であると思えた。

食道温、直腸温いずれが深部体温の指標として適切であるかは、にわかに結論づけられぬように思うが、本実験においては、いずれについても、産熱と放熱とからなる熱出納の結果としての運動時の深部体温としての動的様相が観察できたように思う。すなわち、食道温、直腸温いずれについても、40% $\dot{V}O_2\max$ の軽運動負荷時には、環境温度を上昇させると下降、逆に環境温度を下降させると上昇と、環境温度の変化の方向に逆行する

深部体温の変化が観察された。この一見矛盾した深部体温の変化は、環境温と皮フ温との関係で、環境温の上昇が皮フ血管拡張・皮フ血流の増加を招き、深部血液の表在静脈への移動が深部体温の下降に結びつき、逆に環境温の下降は、皮フ血管の収縮を招来し、また、この皮フ血管の収縮に起因する深部血量の増加が深部体温の上昇に結びつくと考えられる。しかし、この現象は必ずしも長時間定常状態で観察されないようである。運動時間が60分の被検者 K. S については見られなかったが、運動を90分継続した被検者 S. I については、運動開始後約70分の時点より、この一見矛盾した深部体温の変化は再び反転し始め、放熱を不利な方向に室温を変化(20℃→30℃)させた場合は深部体温の上昇が、そして逆の場合は下降が観察された。また、この深部体温の2次的な変化は、走行中の心拍数変動に反映して観察された。

以上は、軽運動負荷の40% $\dot{V}O_2\max$ 走時に見受けられた深部体温の動的様相であるが、強運動負荷の60% $\dot{V}O_2\max$ 走時においても、この一見矛盾した深部体温の変化は、わずかではあるが観察された。図4及び5には明瞭でないが、詳細に観察すれば、室温を変化させ始めた運動開始後20分から30分にかけて、わずかに深部体温の逆転現象を見受けることができる。すなわち、環境温の変化に逆行する深部体温の変化は、強運動負荷・産熱の程度が大であるほど少なく、短時間になる傾向があると考えられる。もちろん、環境温の変化程度にも関係すると思うが、いずれにしても、この環境温の変化に逆行する深部体温の変化が、運動時の体温調節に果たして合目的な意味があるのか、興味ある問題である。本実験においては、2次的に再度逆転する現象を観察しているが、この現象を考え合せれば、体温の恒常性にプラスに働いているように考えられる。

また、本実験の被検者は2名のみであるが、その2名の間に、相対的運動強度を採用したのにもかかわらず深部体温の反応に差が観察され、この差が、両被検者の運動時の体温調節能に如何なる関係を持つかについても興味を持たれた。

V まとめ

1. 本研究は、ある環境温下で、ある強度の運動が定常状態で継続されている際に、環境温を変化させると、運動時の体温は如何なる動的様相を呈するかについての知見を得る目的にて行なった。

2. 本研究の実験条件は、40%及び60% $\dot{V}O_2\max$ のトレッドミル走を20℃の環境温下で行なわせ、運動開始後20分の時点より環境温の変化を開始し、1)約50分で30℃に上昇させた場合と、2)約60分で10℃に下降させた場合、3)20℃のまま変化させないコントロールで、環境温度条件3種と運動強度2種につき計6条件であった。なお、被検者は、年齢29歳と36歳の健康な男子2名であった。

3. 運動開始後20分以降の酸素摂取量には、両運動強度時とも、環境温を変化させたことによる影響は観察されなかった。

4. 胸部、上腕背部及び下腿後部の3カ所より求めた平均皮フ温については、両運動強度時とも、環境温の変化に平行する動的様相が観察された。

5. 本研究は深部体温の指標として食道温と直腸温を採用したが、そのいずれについても、環境温を変化させると、その環境温の変化の方向に逆行する変化が観察された。

6. この環境温の変化に逆行する深部体温の変化は、環境温の変化が皮フ血管にもたらす収縮及び拡張に起因するものと考えられた。

7. また、この逆行する深部体温の変化は、運動強度が高いほど少なく、短時間である傾向が観察され、また、それ以降の2次的な変化、すなわち、環境温の変化に平行する変化も観察された。

8. そして、この環境温の変化に逆行する深部体温の現象が、運動時の体温調節に、あるいは被検者の体温調節能に如何なる関係を持つかに、興味を持たれた。

文 献

- 1) 黒田善雄, 伊藤静夫ほか, 運動時における体温の動的様相, 昭51, 日体協スポ研報告, No. IX

