

運動による皮膚温の変動について

斎藤重徳*・大谷和寿*

Shigenori SAITO, Kazutoshi OHTANI
Change of various skin temperature in exercise

1. はじめに

我々は、スポーツやトレーニングを行う場合、その前に必ずといっていいほどウォームアップ (Warm-up) を実施してからそれらの運動を行っている。ウォームアップの役割は、次に行う運動に対する生理的、心理的準備である¹⁾といわれている。そして、ウォームアップは最終的には運動実施者のパフォーマンスを促進するという結論に到達すると思われる。オゾリン (Ozlin) は、“有機体のシステムは休んでいると確実に不活動な状態にあり、活動を開始してもすぐには有機体の機能的効率を高めることはできない。そこには高い生理学的効率を発揮するまで、特定の時間が必要である¹⁾”といっている。実際にスポーツやトレーニングを行う前に、この状態に到達したり、アプローチすることがウォームアップの目的になるわけである。

ウォームアップに関する研究は、これまでに数多く報告されている。石河は、ウォームアップに関する従来の研究結果を紹介している²⁾。その報告に於て石河は、ウォームアップを本運動と関連した運動と関連しないものとに区分し、更に後者のうち運動によらないものを受動的ウォームアップとしている。そして関連ウォームアップの場合、効果のある場合とない場合が半々で、必ずしもウォームアップの効果がはっきりしているとはいえない。柔軟性では効果が期待されるが、これがパフォーマンスの向上につながっているとは限らないと記している。又、非関連ウォームアップについても効果が相半ばしている。そして、非関連ウォームアップのなかの受動的ウォームアップの手段として温水シャワー、入浴、ジ

アテルミー、冷水シャワー、冷水浴それにマッサージ等が行われており、その効果については、温水シャワー、入浴、冷水シャワー、冷水浴、ジアテルミーはマイナスの効果が報告され、ウォームアップとしては望ましくないとされている。又、マッサージは効果があるという報告を見ないと記している。

小川、阿久津³⁾は、ウォームアップの効果を身体柔軟度の変化から検討している。その結果、ウォームアップとして一般的に行われる程度の準備運動により、身体の柔軟性は著しく増大し、入浴による温熱刺激によっても柔軟性は向上したと報告している。

その他、飯塚は運動代謝の面から、日比は体温、筋温の変温の面により、さらに中原は中枢神経系の興奮レベルの面よりウォームアップの効果を認めているという報告がある。

運動を伴うウォームアップに効果を認めた報告が多い。運動すれば体温の上昇がみられることは周知のとおりであり、パフォーマンス促進の一要素となっていると考えられる。ウォームアップに関するこれまでの研究報告にも、体温や筋温との面からその効果をみたものもあるが、運動場面における活動部位の深部温についての報告は知らない。そこで、我々は新しい試みとして、臨床で使用される深部温モニター用コアテンプを使って身体各部の皮膚からの深部温と表面温を測定し、比較、検討することによって運動を伴うウォームアップが生体に及ぼす影響について基礎知識を得ることを目的とした。

II. 実験の方法

1) 皮膚温測定機器

深部温モニター、コアテンプ CTM-205、テルモ製
<コアテンプの測定原理>⁴⁾

* 島根大学教育学部保健体育研究室

体表面の温度は外気温の影響を受けて、深部の温度より低くなるのが普通である。しかし体表面を断熱材でおおって外気温の影響を防ぐと、体表面は深部と等しい温度になることが知られている。＜コアテンプ＞は、この原理を応用した深部温モニターである。プローブの外側はアルミニウム製の円盤形ブロックになっており、ヒーターが組み込んである。このヒーターを電子回路でコントロールすることによって、プローブ自体を皮膚表面温と等しくなるように保ち、皮膚から外気中に放散する熱を遮断する。これにより理想的な断熱材で体表面をおおったと同じ効果が得られ、深部温の測定が可能になっている。

深部体温計は1970年、Fox らによりイギリスで開発された Deep-Body Thermometer が最初とされている。これに改良が加えられ、信頼性を向上させたものが深部温モニター＜コアテンプ＞である。

今回の実験で使用したプローブは、深部温測定用の PD-31、PD-71 と、皮膚温用の PD-K161 である。その他プローブの規格等は図2、プローブの品種のとおりである。

- 2) 被験者は、8才、10才の男子小学生2名と、21～22才の男子大学生3名である。大学生については、陸上競技部に所属している運動鍛練者である。
- 3) 実験は、昭和63年2月～3月に島根大学教育学部保健実習室と体育心理実習室、それにトレーニングセンターで行った。室温は、18～19℃に設定した。
- 4) 測定部位は、前額、大腿前面、大腿後面に測定用のプローブをテーピングテープで固定し、それぞれ深部と表面の温度を測定した。皮膚温測定はコアテンプに表示される数値を1分間隔で読み取り、記録用紙に記録した。測定時間は実験によって異なった。
- 5) 心拍数の測定は、触診法と日本精密測定器の腕時計型脈拍数ジョーグメイト PU-701 を使用して、5分間隔で行った。
- 6) 運動の1つは、モナーク製の自転車 Ergometer を使用し、小学生は負荷を1 kp、速さを15km/hで10分間行い、大学生は負荷を2 kp と3 kp、そして5 kp で速さを15km/h、17km/h と全速力とで行い、実施時間も10分間、20分間と全速力の場合は all-out までの種々の条件設定で行った。

もう1つの運動として、西川鉄工所製の Treadmill を使用し、スピードを100m/min の場合は10分間、200 m/min の場合は5分間実施した。

III. 結果及び考察

ウォームアップに関するこれまでの研究で、活動部位の深部温を測定した報告を知らない。Asmusser や Boje 及び Muido 等は直腸温及び筋温の上昇により作業能の増大を認めた²⁾、という報告があるが、筋温の測定方法や測定部位等が明確でない。

今回の実験で使用した＜コアテンプ＞は、体表にプローブを装着するだけで、不快感を伴わず、長時間にわたって連続的な深部温分布の変動の記録から、一般の検温法では得にくい筋の産熱度合などの情報が得られるものとなっている。この機器は臨床の測定用機器として開発されたもので、運動場面でのデータは未だ報告されていない。この機器は、体表にプローブを簡単に装着でき、とくに、活動部位の温度測定が容易である。

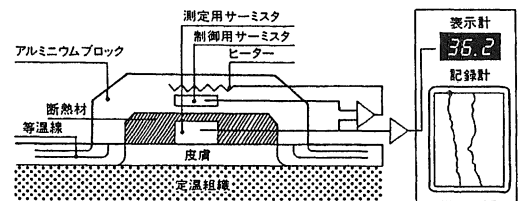
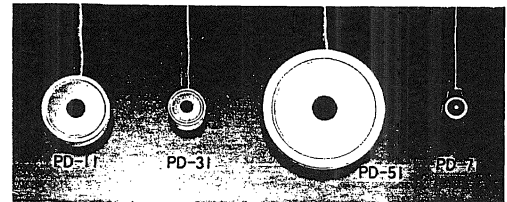


図1 深部温の測定原理



| 品 種 | 形 式 | 製品コード | 感温部寸法 | 感温部重量 | 備 考 |
|----------------|---------|-----------|--------------|-------|------------|
| 熱流補償型 プローブ | PD-11 | ME-PD11 | 45.0φ×11.0mm | 約24g | 深部温 測定用 |
| | PD-31 | ME-PD31 | 25.0φ×10.0mm | 約7g | |
| | PD-51 | ME-PD51 | 80.0φ×12.5mm | 約60g | |
| | PD-71 | ME-PD71 | 15.0φ×8.5mm | 約7g | |
| 表面型プローブ | PD-K161 | ME-PDK161 | 15.0φ×5.0mm | 約3g | 皮膚温用 |
| カテーテル型 プローブ | PD-K041 | ME-PDK041 | 3.6φ×15.0mm | 約2g | 直腸温用 |
| | PD-K061 | ME-PDK061 | 2.5φ×15.0mm | 約1g | |

図2 プローブの品種と形状

今回の実験では、前額部の表面温と深部温、活動部位の表面温と深部温、さらに心拍数を測定し、これまで報告されたデータと比較検討しながら、考察を進める。

まず、実験を始めるにあたり、使用するプローブの選

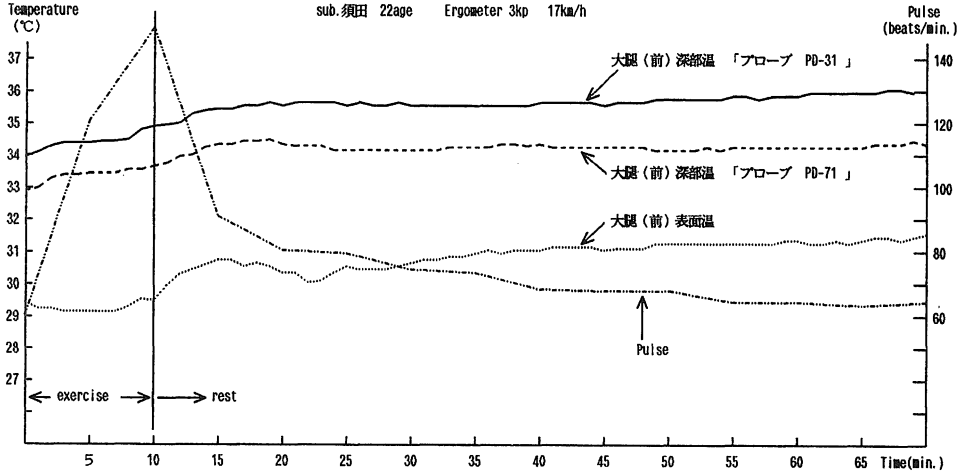


図3 プローブ PD-31 と PD-71 との比較

定について検討をした。プローブの形式 PD-51, PD-11 は形状が大きく、皮膚に接着する面が運動部位（大腿部）にうまく密着させることができないため除外した。プローブ PD-31, PD-71 は皮膚に接着する面の直径が小さく、運動部位の皮膚に接着することが容易であった。そこで、プローブ PD-31 と PD-71 を同時に並列して運動部位に接着させ、2つの性能を検討した。測定の結果は図3のとおりである。

これらの結果から、プローブ PD-31 は PD-71 より測定温が常に高いレベルに位置しており、より深部の温度を

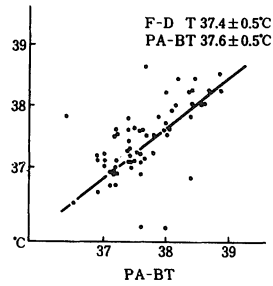
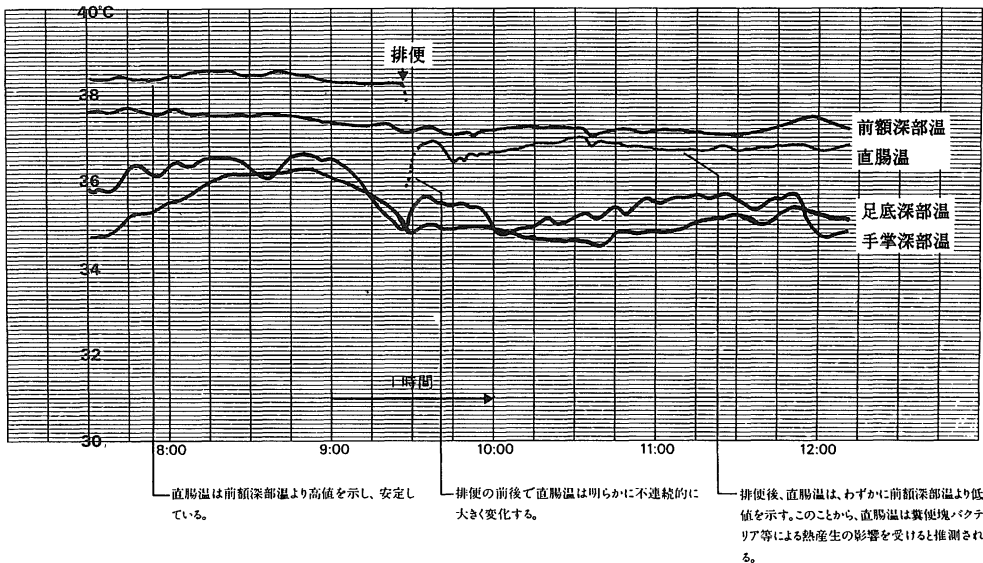


図4 前額深部温(F-TD)と肺動脈血液温(PA-BT)との関係⁵⁾



直腸温は前額深部温より高値を示し、安定している。
 排便の前後で直腸温は明らかに不連続的に大きく変化する。
 排便後、直腸温は、わずかに前額深部温より低値を示す。このことから、直腸温は糞便塊・バクテリア等による熱産生の影響を受けると推測される。

図5 術後直腸温と前額深部温との比較⁶⁾

モニタリングしたものと考えられる。そこで、本実験においてはプローブ PD-31 を使用して、各部位の深部温を測定した。

前額深部温については次のような報告⁵⁾がある。

「前額深部温 (F-DT, forehead deep temperature) は、一般に最も高い値を示した。それは、頭部表面冷却 (氷枕で頭部を冷やす) によっても、他の部分の深部温より低い値を示すことはなかった。

14例について開心術後、スワン・ガンツカテールで計測した肺動脈血液温 (PA・BT) は同時に測定した前額深部温 (F-DT) と近似の値を示した。(図4)」

したがって、前額深部温は中枢温 (core temperature) としての特徴を具えているといえる。

また、前額深部温と直腸温の関係については、次のような報告⁶⁾がある。

「直腸温は術後、中枢深部温とよく相関し、17例で前

額深部温より $0.9 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 高値を示した。しかし、直腸内サーミスタの位置の移動、排便などで温度が容易に突然変化した。16例の体外循環時、冷却最低温が14例 (88%) で前額深部温より直腸温の方が高い値を示し、かつ加温中止時には逆に直腸温の方が $1.3 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 低い値を示した。身体を中心温度として腋窩、口腔、食道、直腸、鼓膜などの温度が代用されているが、長時間安定して計測するにはいずれも若干の問題がある。

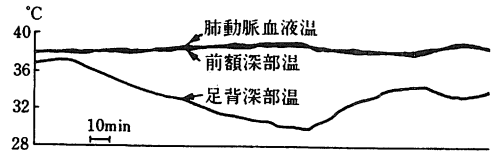


図6 肺動脈血液温と前額深部温との比較⁷⁾

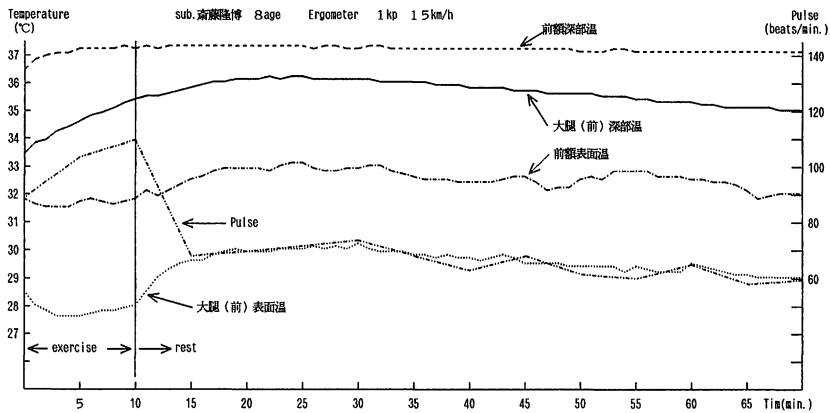


図7 身体各部位の温度と心拍数の変化

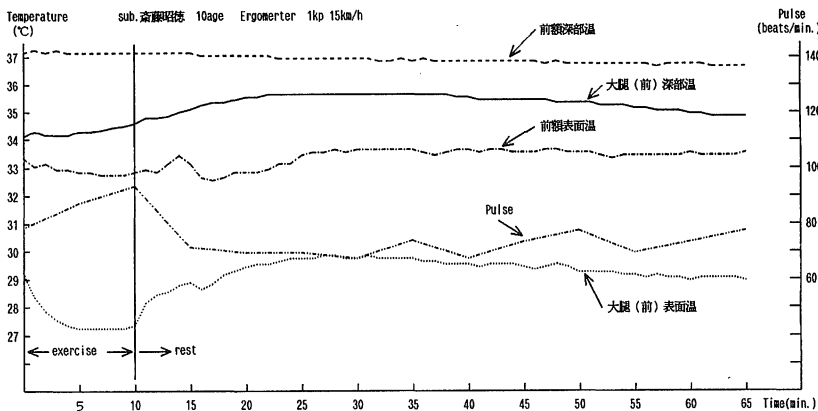


図8 身体各部位の温度と心拍数の変化

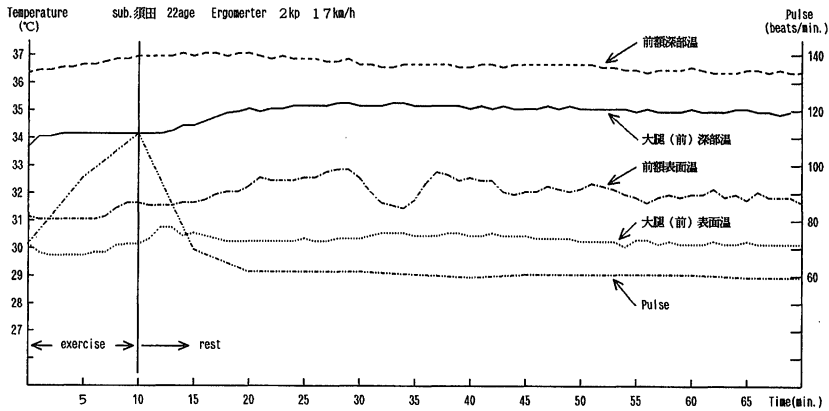


図9 身体各部位の温度と心拍数の変化

直腸温は糞便中の腸内細菌叢の発酵活動の影響を受けている可能性があり、直腸温測定時には測定前に洗腸等を行い、直腸内を空虚にする必要があると考えている。」(図5を参照)

また、前額深部温と中枢 (core temperature) としての肺動脈血液温との関係についても次のような報告⁷⁾がある。

「肺動脈の混合静脈血の温度は全身を循環した血液の温度であり、中枢温としてよりふさわしいものの1つといえる。ただ、この測定のためにはサーミスタ付きのカテーテルを肺動脈内に留意しなければならない。私達は現在までに開心術後症例30例につき延べ2,200時間に亘って血液温及び前額、足背深部温の同時連続記録を行った。血液温はエドワード社心拍出量コンピューター-9520Aを用い、同社の5 Fr, 7 Frのサーミスタ付きのカテーテルにより測定し、打点記録上に同時記録を行った。その結果は図6に代表される如く、血液温と前額部は素晴らしい一致を見せ、両者の速度変化もほとんど同一であり、その差はどの一時点をとっても0.2°C以内であった。即ち肺動脈血液温と前額深部温はほぼ同一のものとして扱って良いといえる結果であった。」

これらの報告から、我々は身体中心部の温度として前額深部温を測定し、合わせて表面温の測定も試みた。その結果は図7, 8, 9, 10のとおりである。これらの実験結果から、前額深部温は運動中も休息中においても36~37°Cのあたりで安定していることがわかる。このことから、実験で行った運動では身体の中枢温の上昇をみ

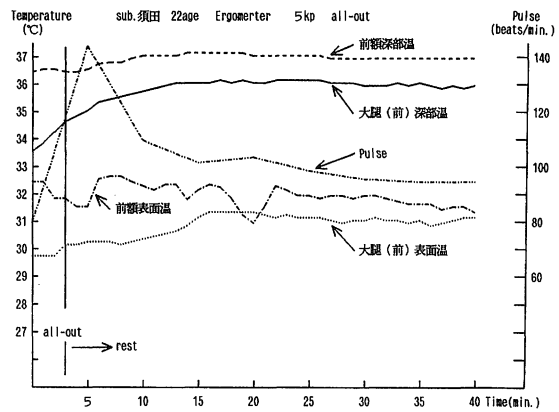


図10 身体各部位の温度と心拍数の変化

るまでには至っていないといえる。しかし、前額表面温は深部温との差が4~5°Cもあり、時間経過による変動も認められる。前額表面温は、他の表面温 (大腿の表面温) に比べると高い温度を示した。

自転車エルゴメーターを使用して運動部位 (大腿部) の皮膚温測定を始めるにあたり、大腿の前面 (大腿四頭筋) と後面 (大腿二頭筋) のどちらにより大きな温度変化を生じるかを実験によって検討した結果、被験者2名それぞれ異なる結果を示した (図11, 12)。これらの結果を踏まえ、運動部位の皮膚温測定は作業が容易と考えられた大腿部前面において行い、表面温と深部温の両温度を同時に測定した。

大腿部前面の深部温の変化を図7~図12よりみると、どの被験者もほぼ緩やかなカーブで上昇している。そして、自転車エルゴメーターで10分間運動した場合は、運

動中止後もゆっくりと上昇を続け、10~15分でピークに達している。自転車エルゴメーターの負荷を5 kpでall-out(この実験では3分間だった)まで運動した場合の温度変化は、運動実施中の深部温の上昇が他のものに比べて若干急であり、そして運動中止後は緩やかなカーブで上昇を示した(図10)。又、自転車エルゴメーターの負荷を2 kpで20分間運動した時の温度変化は、図12をみてわかるように運動を中止してから約2分後にピークに達している。この場合、大腿部前面と大腿部後面とも安静時から運動中止までにそれぞれ3.4°C、3.5°Cの上昇が認められ、深部温は36.5°Cと36.3°Cに到達している。又、本実験より一般的傾向として、深部温は細かい時間的変動は少なく、一度上昇してピークに達すると、しばらくはその温度が保たれているといえる。

次に、大腿部前面の表面温の変化をみると、運動開始直後は一時的に低下する。この低下は、運動初期に一過性に血管が収縮するためで、この低下は運動強度に比例する⁸⁾といわれている(図13参照)。表面温の低下の仕方も被験者によって異なり、最も変動の大きかった被験者; 斎藤昭徳(図8)は2°Cもの下降がみられ、運動中止後やっと上昇を始めている。一般的に、運動実施中には表面温の上昇はあまり認められない。そして、上昇を始める時期も深部温より遅れており、ピークに達するのも遅い傾向にある。そして、一度ピークに達すると深部温と同じようにその温度が保たれている。

心拍数の変化をみてもわかるように、自転車エルゴメーターにおける最高心拍数は被験者: 須田(図10)の150回である。小学生の被験者2

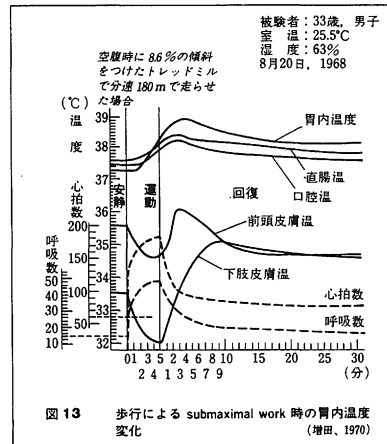


図13 歩行による submaximal work 時の胃内温度変化 (増田, 1970)

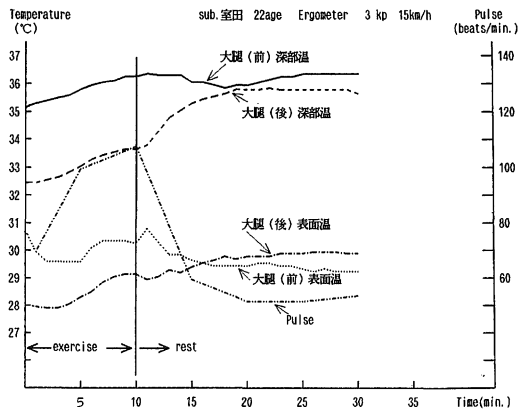


図11 身体各部位の温度と心拍数の変化

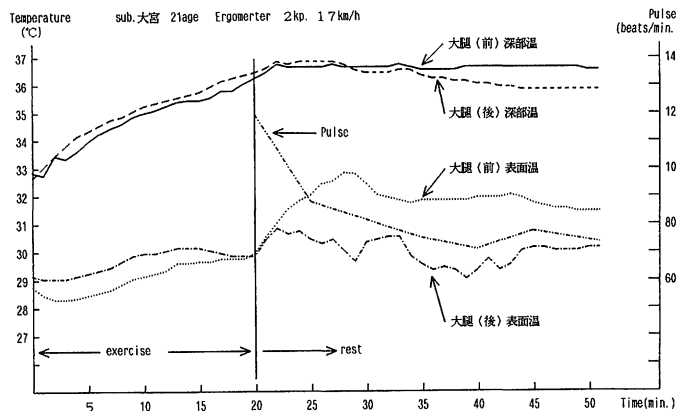


図12 身体各部位の温度と心拍数の変化

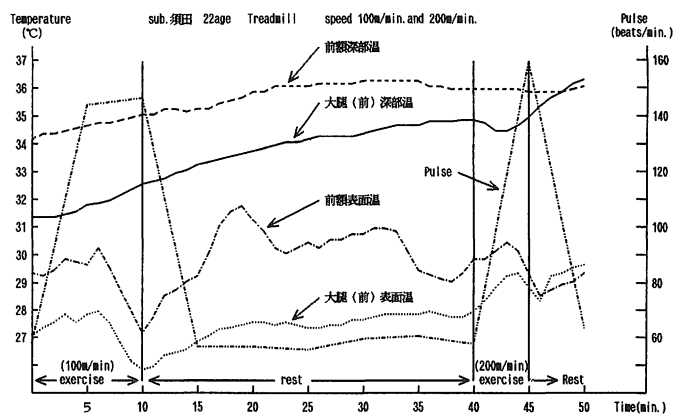


図14 身体各部位の温度と心拍数の変化

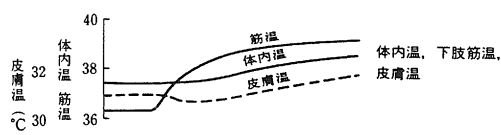


図15 運動開始時の反応 (中山, 1981)

人は、110回、94回と両者とも少ない。被験者：大宮(図12)は自転車エルゴメーターによる20分間の運動実施であったが、最高心拍数は120回と少なく、これら実験で課した運動は被験者にとってそれほど強いものでなかったといえる。

図14は、トレッドミル走による温度と心拍数の変化である。運動は先づ最初に100m/minのスピードで10分間走った後30分間安静を保ち、その後今度は200m/minのスピードで5分間走るといものである。前額深部温は自転車エルゴメーターでの実験において36~37°Cで安定していたが、トレッドミル走の実験において運動開始時が34°C台と低い。又、その他の皮膚温も低く、その原因として考えられることは、トレッドミル実験室を十分に温ためていなかったことと、測定機器の深部温モニターを18°Cの室温に十分慣らしていなかったことが考えられるが、定かではない。

大腿深部温の変化は、最初の100m/minのスピードのトレッドミル走で約1°C上昇し、そして運動中止後30分間の休息中にも上昇を続けて約2.5°Cの増加をみた。そのあと引き続き200m/minのスピードでトレッドミル走を行った結果、運動開始直後から深部温の低下がみられ、運動半ばから再び上昇し始め、その上昇速度はより大きいものであった。そして、その後の経過において、大腿深部温が前額深部温よりも高くなるという今までの逆転

現象がみられた。これは、強い運動による筋肉での熱産生が、一時的に深部体温を上まわることが報告されており、このことが原因と考えられる(図15)。

大腿表面温の変化は、前額表面温と似かよったパターンを示しており、深部温に比べると変化が大きく不規則である。自転車エルゴメーターの場合と大きく異なることは、トレッドミル走の後半部において表面温が著しく低下しており、その現象は2度のトレッドミル走の両方の場面においてその傾向が認められる。

心拍数においては、最初は走運動半ばでほぼピークに達しており、2度目の走運動ではスピードが倍増しているため心拍数は160回と急増した。

IV. ま と め

我々は、新しい試みとして深部温モニターコアテンプを自転車エルゴメーターとトレッドミルによる運動場面での身体各部位の深部温と表面温の測定に用い、その結果、次のようなことがわかった。

- 1) 前額深部温は、これまで報告されているように、今回の実験においても身体の中核温としてみることができ。実験による温度変化は、運動によって僅かな上昇がうかがえるものの、ほとんど一定の温度を維持している。
- 2) 前額表面温は、今回測定した大腿の表面温とは温度差があるものの、変動のパターンは似かよっている。
- 3) 大腿の深部温は、運動を開始すると直ちに上昇傾向を示し、運動中止後もしばらくは上昇を続け、ピークに達するとその状態を永く維持している。そして、表面温にみられるような細かな変化がみられず、環境にあまり影響を受けていないことがうかがえる。
- 4) 大腿の表面温は、運動初期に一時的に低下するが、そのあとゆっくりと上昇を始め、運動中止後もしばらくは上昇がみられる。表面温の上昇は、深部温に比べて小さく、ピークに達するのも深部温より遅くなっている。
- 5) トレッドミル走の実験において、大腿の深部温が前額深部温を上まわる現象がみられた。これは、強い運動による筋肉での熱産生が一時的に深部体温を上まわったものと考えられる。

以上のような実験結果をもとに、今後も今回使用した

深部温モニターコアテンプを活用して、ウォームアップの基礎資料の収集を行い、効果的なウォームアップの理論を確立したい。そして、学校体育の学習場面での適正なウォームアップの方法をも確立していきたい。

参 考 文 献

- 1) 魚住廣信：コーチング・クリニック，創刊号 p.47，(1987)
- 2) 石川利寛：体育学研究，ウォームアップの生理学，Vol.18，No.1 (1973)
- 3) 小川新吉・阿久津邦男：東京教育大学体育学部紀要，Warmirg-up の生理学的研究，Vol.2，(1962)
- 4) テルモ株式会社：深部温モニターコアテンプ CTM-205，パンフレット
- 5) 辻隆之：第48回「温度計測部会」資料，生体に関連した温度計測，P.9～p.15 (1981)：ラルモジャパンKK，深部体温の臨床・小児科①による。
- 6) 辻隆之・中島一己・竹内靖夫・井上健治・城間賢二・山口隆美・小山雄二・須藤幸蔵・石川達男・根本鉄；自律神経，Vol.13，No.4，p.220～p.226，(1976)：ラルモジャパンKK，深部体温の臨床，基礎①による。
- 7) 宮坂勝之：臨床体温—深部体温計とその応用—，Vol.2，(1982)：ラルモジャパンKK，深部体温の臨床，基礎①による。
- 8) 名取礼二監修：健康・体力づくりハンドブック，体温調節，p.18～p.24