

## 時間走の Thermogram からの考察

永井 純・吉村 篤司\*・関岡 康雄  
藤田 紀盛・渡辺 章\*\*・石原 昭彦\*\*

### An Examination on Running by Using Thermograph

Jun NAGAI, Atsushi YOSHIMURA, Yasuo SEKIOKA, Tatsumori FUJITA,

Akira WATANABE and Akihiko ISHIHARA

A thermography is applied to the study of physical exercise to record the temperature on the surface of the body which is produced by running (jogging). This record is called the thermogram.

It is also recorded consecutively that the temperature and the humidity in the shoes, and heart-rate. The subject for the study of the thermogram is the changing temperature of the leg, especially foot.

The healthy 10 runners are chosen, including 1 woman in this experiment.

They are asked to run at a pace of 200m/min. Which is faster than the usual jogging pace and to run three times : for 10 ; 20 ; 30minutes. The thermogram reveals the following :that the temperature on the surface of the plantar arch is higher than that on the heel; that the temperature rises after jogging, especially after 30-minute-run ; that 30-minute-rest after 10 or 20-minute-run gives runners their normal condition, however it is not effective after 30-minute-run.

The temperature in the shoes also rises with time and it returns to the primary temperature after 20 minutes. The humidity shows over 80% at 10-minute-run; 85% at 20-minute-run ; 85~90% at 30-minute-run in the shoes. The 30-minute-rest can't dry the air in the shoes.

#### 要約

Thermographyを運動の分野に応用し、走運動(JOG)によって生じる体表温度をThermogramとして記録し、また、靴内の温度・湿度と心拍数も継続的に測定した。Thermogramは下肢部とくに足底のThermogramの温度変化について考察した。

走運動負荷は走行としてやや弱い200 m/minの速さとした。負荷時間は10, 20, 30分の3段階とした。足底のThermogramから、踵部の温度が低く、土踏まずの温度が高く、負荷時間によって、運動直後の温度が上昇するが20分負荷でその変

化が明らかであり、10分20分負荷では30分後に自然環境で安静時温度にもどるが、30分走ではもどらなかった。

靴内温度も走運動負荷時間に伴って上昇し、運動後20分で環境状態にもどった。靴内温度は走行10分で80%をこし、20分で85%、30分で85~70%とをしめし、30分後も環境状態にはもどらなかった。

#### 目的

臨床医学において、表在性腫瘍の診断に用いられているThermography<sup>3)</sup>が、近年末梢血行とくに循環障害の機能的診断に応用されてきている<sup>6)</sup>。運動時の生理的機能検査は数多くの方法が開発

注 米名工大(元技官)米者, 研究科, 大学院生

改良されて用いられているが、温度体温にしても多要素の変化を短時間で非接触型で測定しえる方法は数少く、その一つの方法として、Thermography 2.3.4.7)がある。体表の温度変化は内部の腹部臓器や筋肉の代謝温度や異常熱産生によって一部は影響されるが、組織の器質的变化に致らない状態や、生理的機能変化の範囲でも体表温度の変化に現われてくるものであり、手指の寒冷反射や thermal venography として、刺激反応系として現われるものでありこれらを Thermogram として記録することができる<sup>6)7)</sup>。

この循環機能の検査主として皮膚血行末梢血流と体表温度の関係を身体運動、走によってどのように反応が現われるかを検査し応用しえるかを試みた。

被験者は長距離走者であり、この走行運動において、10分、20分、30分の間の各走行が下肢筋の表面、および足底部の体表温度にどのような温度変化をおこし回復するかについて実験を試みた。今回は右足底の温度変化、心拍数、靴内温・湿度の変化を主として報告する。

走運動によって体表温度は変化することが予測されるが、下肢前面および後面の体表温度変化と、走運動という体重負荷を支える足底の温度変化を計測することによって、その温度分布から着地接触圧による血流反射によって温度変化がえられるであろうとした。また、走運動の足の操作と大腿部および下腿の体表温度に変化が現われるかを、さらに、走運動時の運動靴内部の「むれ」について長距離走と「まめ」という観点から温度・湿度変化に着目し計測した。温度とくに体表温度は非接触型で数秒(2~4秒)で全身(全面または後面)または、部分を計測しえるものは Thermography しかなく、また、本装置は運動中の計測ができないのが測定限界である。発汗を強く伴うと赤外線は吸収されてしまうので30℃近い環境での計測も不可能となる。

#### 実験方法

1. 被験者は、筑波大学大学生で健康な男子9名と女子1名であり、長距離ランナーであって経験年数が1年末満が男女各一名で、他は3年以上であった。身体特徴は、平均身長170cm、平均体重は58kgである。

2. 測定環境、体表温度・湿度を測定する際にその環境が一番問題となるところであり、実験時期を5、6、9月の外気温22℃~27℃の範囲で外気湿度43~63%の範囲とし、測定室内および被験者控室温度は、23~26.5℃、湿度は42~61%の範囲内である。岩谷<sup>3)</sup>も室内温度23~28℃および高温度をさけて計測している。

3. 測定項目、心拍拍数(瞬時値心拍計を用いて、安静時、回復時)靴内温度、湿度(エース鋭感温湿度計)、時定数小さく最小型である。外気温・湿度もエース鋭感温湿度計を用いた。室内温湿度もこれを用いた。体表温度は Thermography を用いた。

4. 運動負荷 走行は10分間、20分間、30分間とし、そのペースは200m/minとして、走路は400mトラックを用いた。運動に用いた靴は各自の使用している靴で底はゴム表面は布製であった。靴下は着用しなかった。

5. 測定手順

室内に15分間安静椅坐位とし、心拍数を椅坐位で測定し、使用する靴の温・湿度を計り、次に下肢部および足底の thermogram の撮影を立位で行った。足底部撮影は右足前脛部を台上に固定し足底を Thermograph のカメラレンズ面に向けた。立位ではカメラまで1.5m、足底部は左足下腿と右足底部が入る距離とした。その後、走行させ、実験室内とグラウンドとの距離を合せて、各10、20、30分間走とし、各自は時計をセットして走行時間を一定とした。走行後、先づ Thermogram を撮影、心拍数と靴内温・湿度を同時に測定した、温・湿度計は2台用いた。

6. 記録法 Thermography は富士通製の INFRA-EYE-150 を使用した。Thermograph での体表温度画像はブラウン管面にあり、それをポラロイドカメラで SX-70 フィルムで撮影記録した。記録フィルム左側に温度巾20℃を25分画した補正色温度帯域がしめた体表温度像が色区分で記録され一色の温度は0.8℃である。フィルは陽画でありこれを自黒焼にしたものを図1にしめす。図は被験者の左右下肢および右足底をしめている。写真撮影は、安静時、運動終了直後、1、2、5、10、20、25、30分まで経時的に記録した。被験者は運動終了後椅坐位にて通風のない室内にて安静椅坐位を保たせた。

### 7. 測定上の留意点

瞬時値心拍測定は椅坐位で第II誘導法による心電位の5心拍の間隔から計算されデジタル表示される。両足裸足になりスリッパ電極をはき右手腕部に大型クリップ電極を装着して誘導した。靴内

の温・湿度測定は走行後、室内に入り Therogram 撮影時にすぐ靴を脱ぎ、撮影と同時に測定を実施した。測定部位は足母指種子骨の靴底に接着する部位にセンサー部のケースを軽く置き、温度は30秒後値、湿度は1分間後値を測定値とした。左右

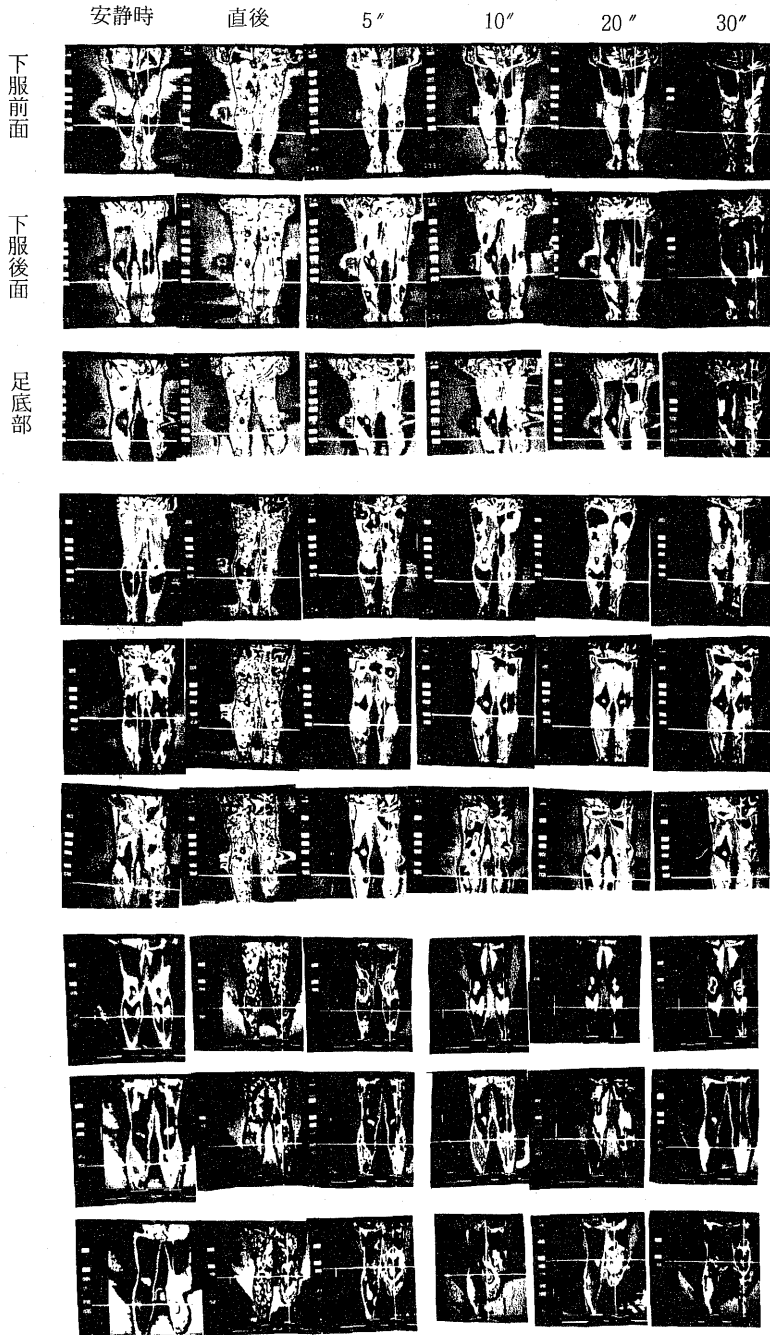


図1A

B

C

同時に行ない、温度から湿度の順とした。運動後の Thermogram の撮影では発汗に気をつけ、発汗時には汗をふいて撮影した。安静位中は椅坐位とし足底を床に直接つけないようシールドマット上で足を保持させた。

8. 研究の限界、本実験における測定上の限界は、運動中の記録ができないことである。体表温度、体表面湿度、心拍数等、現在はいづれもテレメーター化が可能となっているが、今回は使用しなかった。生体に負荷となる刺激は、環境温・湿度と走行ペースということにしたためである。そのため、各測定は短時間に測定しえる最良の方法を用いた。非接触型温度測定法として下肢前面・後面、足底部を1分間以内、心拍も瞬時値心拍計を考案し使い、温湿度計も小型時定数の短い器具を用いた。

実験方法として、目的として長距離走という視点から屋外走を用い室内のトレッドミル走を用いなかった。走行に違いがあると推測したが今後実験検討比較する。

走者を未経験者群と経験者群にわけ比較検討しえなかったことも今後の課題である。

**実験成績**

走運動の Thermogram による実験的考察であるので次の点より実験成績をまとめる。

1. 各走行時間によって体表下肢温度変化について、
2. 走行によっての足底部温度の変化について、
3. 走行によっての足底温度帯域の変化と時間経過について、
4. 足底部温度と環境要因について、

5. 足底部「土踏ず」温度の時間経過と、足指指腹温度の変化、

6. 体表下肢温度パターンよりの動作性の推測、各時間走行を行なった後の下肢体表に現われた温度変化の経過例各走行1例づつを図1のA, B, Cにしめす。走者の走行姿勢や走技術、筋肉の使い方は同じではなく、各個人の体表下肢および足底部の温度変化の全体的傾向をまとめると表1にしめすごとくである。

下肢の体表温度で安静時ととくに差の現われる部位は、走運動の主動筋表面部位と、腱部および膝の皮膚の薄い所、膝窩部のように血管の多い所である。10分20分30分走直後(1分以内撮影)は体表面の温度は安静時より3度の低下をしめしている。10分走後では体前面で5分後もやや低下をしめし、後面では回復傾向で、20, 30分走後では5分後では安静時に近い温度をしめした。下腿前面では前脛骨筋と腓腹部外側部にまた大腿の前面内側に温度の高い部位が観察され、後面では腓腹部に温度の対称的な上昇がみられるがその時間的経過をみると同一筋部でも部分的な違いが各個人によって観察された。

各時間走において、特徴ある温度変化は足底部であり、運動直後より30分後も一部の温度の上昇と持続、温度分布帯域の輪状構成が全例において観察され、図2は1例として安静時足底部の Thermogram と10分走後の時間経過で白黒濃淡で温度帯域をしめしており、最高温度35℃、最低25.4℃である。運動直後より土踏まず部が最高温となり20分後まで維持されている。踵は温度の上昇が多くのでみられなかった。

図3 は20分走後の足底温度分布帯域をしめ

表 I. 走行後の下肢体表の温度変化の推移

		直後	5分	10分	20分	30分
10分間走	前面	低下	低下	上昇	やや上昇	やや上昇
	下肢後面	低下	やや低い	回復	やや低下	やや低下
	足底	上昇	やや上昇	やや上昇	やや上昇	やや上昇
20分間走	前面	低下	やや上昇	回復	低下	低下
	下肢後面	低下	やや上昇	やや上昇	上昇	上昇
	足底	上昇	上昇	上昇	上昇	上昇
30分間走	前面	低下	やや上昇	やや上昇	やや上昇	やや上昇
	下肢後面	低下	やや上昇	やや上昇	やや上昇	やや上昇
	足底	上昇	上昇	上昇	上昇	上昇

したものであり、時間経過をもしめず。温度帯域は Fig. 2 より細かい帯域であるが、やはり高温部

は土踏まずの部位であり、踵は低温であったが30分後に温度とやや上昇がみられた。各走行運動後

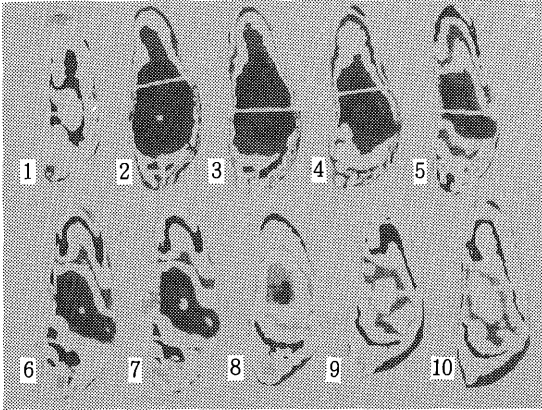


図-2 足底面の温度分布の時間経過  
 1. Control 2. JOG 10' after~1' 3. 1' 4. 2' 5. 4' 6. 6' 7. 10' 8. 20' 9. 25' 10. 30'

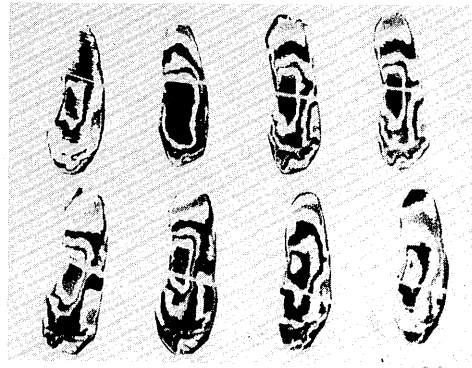


図-3 足底部の温度分布と時間経過 (走行20分後)  
 1. Control 2. JOG 20' after~1' 3. 2'30" 4. 5' 5. 8' 6. 10' 7. 25' 8. 30'

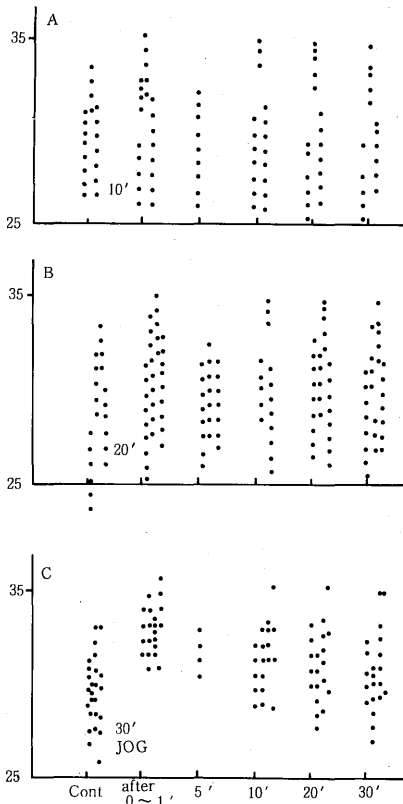


図-4 10, 20, 30分走後の足底温の経過

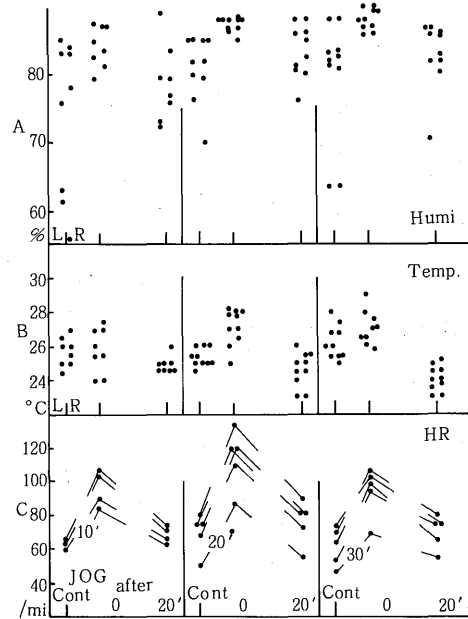


図-5 10, 20, 30分走後の心拍数・靴内温度・靴内湿度。

の足底温度の温度帯域分布と時間経過をまとめたのが、図4である。各縦の点の一連の継がりは足底の温度帯域の数と温度をしめすものであり、10分走 20分走では30分後には安静時温度に回復する傾向をしめしているが、30分走では30分後も足底温度は安静時温度に回復していないことをしめしている。最高温度は2.5~3℃も高く持続されている。このような足底の温度は走行によって生ずる靴内の摩擦や発汗、さらに体圧などの影響によるものであり、このことは「まめ」の発生の原因ともなるのであろう。運動靴内の湿度を測定した値を図5Aにしめす。左右の靴を同時に測定したが各走行直後の値は80%を越えた。10分走では最低5%から25%の上昇をしめし、20分走では5%から最高15%の変化をしめし、30分走では5%から25%の変化をしめした。各走行時間後靴を室内に放置し20分経過しても環境温度にまで下がらなかった。足底部温が高温持続であることから運動靴の保温性、材質に関係があるであろうことから、運動靴内の温度の測定、各時間走後の靴内温度と安静時、運動後20分後の値をしめしたのが図5のBである。10分走後では温度の変化はみられないが、20分走後では平均で2℃の温度の上昇がみられ、30分走後では有意な温度変化はみられなかった。走行後20分後室内放置状態で環境温度近くに低下した。走運動の生体負荷の現われとして体表下肢や足底部の温度変化として計測し

たが、循環系がどのような状態であるかを瞬時心拍計を用いて安静時と各走行終了直後および時間経過の心拍数を測定した。その値を図5Cにしめす。10分走と30分走では安静時に比して、直後の値に差はないが、20分走後では30分走よりも著しい変化がみられた。各走行後の20分後の心拍数は10分走では平均30±2拍の増加で、20分走では平均50±5拍の増加、30分走では20±3拍の増加であった。

走運動の Thermogram の解析であるので温度変化を中心とし、足底部の温度中「土踏ず」部のみの温度経過をしめしたのが表IIである。また足指指腹部の温度上昇状態を写真から読み取ってまとめたのが表IIである。走り方によって筋温の影響をうける温度変化は違ってくることがわかる。指腹数は走行時「けり」によって変化する。10分走では、走行後5分後より上昇が現われ、20分30分走では運動持続靴内温湿度の影響が運動直後から上昇が現われた。

このような体表下肢の温度変化その経過とから各被験者の動作性を推測し、長距離走指導者の被験者走の観察と下肢温度変化からの観察の一致性をしめしたのが表IIIである。

考 察

Thermogram による体表温度の測定は、医療での診断過程と循環系の皮膚血行および末梢血行障

表II 足底温度の経過と指腹温度上昇経過

走時間	温度		安静時	直後	5'	10'	20'	30'	指腹温上昇経過
	被験者								
10分間走	1	Ko	29.8℃	33.0	32.0	29.1	29.0	29.3	5'後より 36~
	2	N	28.0	30.8	30.8	29.8	29.8	29.2	
	3	Ka	23.3	30.8	32.0	31.6	29.2	31.0	5'後より 30'
	4	Kami	30.9	31.7	30.0	29.6	27.9	27.7	5'後より 30'
20分間走	5	A	27.1	30.5	30.6		31.9	30.5	20'~
	6	F	30.3	33.3	30.8	30.8	31.0	31.5	5'~
	7	Kami	32.0	33.2	32.0	30.8	31.9	31.3	直後~
	8	Kon	29.1	31.9	33.5	30.3		28.3	直後~
	9	Na	30.1	32.5	31.4	32.4	31.3	31.4	直後~
30分間走	10	Ta	29.4	33.8	32.6	32.5	31.5	30.4	直後
	11	Ya	30.4	32.3	32.1	31.7	32.0	31.1	直後
	12	Ka	29.9	32.8		32.9	31.9	30.4	直後
	13	Ma	28.2	33.1	31.7	30.7	32.0	31.3	直後
	14	F	27.5	34.7	31.0	31.3	31.0	30.9	直後

害の診断や治療の経過、薬物投与の反応の観察と記録に用いられているが、末梢循環の血行を多面的にしかも経時的に変化過程を写真で記録しまたは等温帯域でしめすことによって血行の状態を判断しえている。

体表の皮膚血行は筋肉—皮膚反射、内臓—皮膚反射、腺—皮膚反射、等にしめるごとく反射的影響もあるが、慢性的な血行障害による血行の変化もある。また、筋肉や、骨、関節の異常に伴う筋肉の緊張からくる皮膚血行の変化が知られている。このような静的状態での記録は多いが生体の動きによって生ずる体表温度変化を Therogam から報告した例は少なく、今回健康な大学生を被験者として選び（主として長距離走者）走運動を行わせた時、走運動によって基本的に下肢・足底部にどのような温度変化が現われるかを観察記録した。従来の温度測定は接触型であるが Thermo-graphy は非接触型であり、温度測定範囲も 2 mm から誘導できる。10℃、20℃を 25 分割で温度測定は可能で 10℃ 25℃ 40℃の黒体を用いて温度補正を行なうことができる。

走運動を長距離走に近い状態で観察記録するため、また、走の個人的な違いも観察できるのではないかとシトレッドミル走は用いなかった。

走運動後の体表温度経過の thermogram を Fig. 1 にしめてあるが同じ走行であっても下肢左右の使い方はその温度変化の経過から観察され

る。下肢大腿前面の内側および外側での違い個体によってはいづれかの側の温度が高く維持されえている。後面でも同じことが観察される。下腿では前脛骨と腓腹筋内側の温度変化が観察されるが全体的な筋温上昇よりも部位的な変化が細かく現われるが 10 分後には筋全体温の上昇として観察される。安静時は下肢体表温は Thermogram からは、左右対称的な温度像であるが走運動によって著しい変化が現われることが観察された。一番変化の現われた部分は膝蓋部であり温度の低下をしめし、各走行とも 30 分後も安静時温にまで回復した例は少なかった。

足底部温度について、足底部温度を右足だけであるが全体的に記録したのは始めてである。足底部経過から 2 つの過程が理解しえる。土踏ずの部位の温度が足底部で一番高く、時間経過とともに高温部が外側に拡がっていくこと、踵の温度が一番低いことである。足立<sup>1)</sup>によれば、足底部の動脈および静脈の毛細血管像の構成は個人差が多いとしているがこの血管像と温度変化との間には直接的な関係は見られない。走によるリズムカルな圧と血行が考えられるこれも靴という環境とも合わせて考察しなければならない。走は単なる足の搬びではなく、キックが必要である。その一つの機能的働きは足指であり、この温度も、キックの強い走者の方が指腹部の温度上昇が早く温度維持も長かった。踵の部位は走行時に必然的に圧迫が加え

表III 体表下肢の温度経過から動作性の考察

被験者	足底部の温度から	温度の左右対称性 (大腿部中心)	経験年数	指導者の観察との一致
1 Ko	左足キック走	有	5	○
2 N	ベタ足走、踵踏強し	左腓腹筋外側温度高い	7	○
3 Ka	キック走	有	5	○
4 Kami	はねる様な走りでキック走	左にやゝ傾むく姿勢	6	?キック走は合う
5 A	左足キック走	有	1	○
6 F	ベタ足走	有	4	○
7 Kami	ベタ足踵つかづ右キック強し	有	6	○
8 Konf	足先での走り、踵あまりつかない	有	1	○
9 Na	右外けり強い上手な走り	有	5	△上手な走りをする。
10 Ta	左外けり走	有	6	○
11 Ya	右外けり、左内けり	有	5	○
12 Ka	けり強い走り	有	5	○
13 Ma	指のけり強く、内側性	有	9	○
14 Fu	ベタ足走、右外側つき	有	6	○

られるため反射的に運動後一過性の血行の増加による温度上昇が現われると予測していたが、実際には低い温度であった。踵部は足底部で一番厚くしかも体表での代謝は盛んであるがまた血管像も他の足底部位と違いはみられないことから温度の低いことは理解しえなかった。

長距離走において足底部の障害はその走行に思はぬブレーキとなることが多い、その一つの原因が「まめ」であり、足のむれである。走行後の運動靴内湿度は図5 Aに示されているように使用中の運動靴を用いたため完全乾燥状態ではなかったが、運動後は10分20分走で85%近くとなり30分走では比較してその上昇は少なかった。靴重量の計測をしておけばその発汗量による重量変化が求められたのではあるが次回に計測し靴材料や発汗による湿度について検討考察を加えたい。湿度変化からの距離走者を選んだことと、走の早さが負荷として少なかったためであろうか、30分走で心拍増加が少なかったことは、体温上昇が異なることから発汗による循環適応が20分から30分の間に生じたのでないか、この期間の観察記録によって今後検討する。室内でのトレッドミル走と走行条件に違いが生じることは当然ありえることであってトレッドミル走時の体表温度も今後の課題として検討実験する。野外での走行は風を無視できないし、自己のペースも各走者によって異なるので同一条件で行なうことは実験としてであり、その条件で各個体間に共通する反応と異なる反応を考察することに意義があるのである。

走運動の Thermogram からの考察は、体表温度分布の非対称性を観察することと、経時的写真記録によってその温度変化の状態から機能的特質を見いだすことであり、その変化が内部的な機能障害か、器質的な変化か、機能的なものかを判断し、運動技術の指導に活用していけるかを考察したのが表IIIである。大腿部では左右対称性が多かったが、下腿の前面後面では温度変化は同一筋の表面と思はれても細かな温度変化が現われ、特にキックに関する筋や足底部でも部位によって温度変化が現われている。足底部の温度と腓腹筋の温度変化から各被験者の走特徴を推測したのが表IIIの左側であり、この推測に対して長距離走指導者の一致をしめしたのが右側である。温度変化の経過から走技術を簡単に説明することも多くの問

題を残してはいるが、今回、温暖期の実験として走運動の Thermogram から走運動者の機能分析のできる可能性をみいだした。

今後の課題としては走行中の温度パターンがえられることであるが、前記した諸条件と実験を追加することによって走運動の Thermogram 解析を完全なものにしたい、走技術との対応については走行中の写真撮影と、走り方を変えた方法とを組合せて今後検討し指針とする。

#### ま と め

1. 10分20分30分の走運動後の下肢および右足底部の Thermogram を経時的に記録し、安静時の温度との変化を記録した。

2. 運動前、運動後に、心拍数、靴内湿度、靴内温度も経時的に記録しその変化を考察し、心拍数は30分間走で心拍の増加はやや低くなり適応現象が本被験者群ではみられた。湿度は10分走で85%、30分走で90%をしめし、しかし、靴内温度の上昇は著しくなかった。

3. 足底部温は30分走で著明に上昇し運動後30分後でも安静値に回復しなかった。また、温度分布帯域が土踏ずから外側に時間とともに拡がるのがわかった。

4. 下肢・足底部の Thermogram から運動技術の指導上に走行技術と筋肉の使い方が体表温度に現われて来るので、温度経過から走行姿勢（筋肉の使い方、足のケリ）膝、腰の状態等を間接的に観察指適しえ、また、内的状態をも指適しえることが考察しえた。

5. 走運動前後の体表温度変化を Thermography で記録分析したのは本報告が最初である。

#### 文 献

- 1) 足立文太郎 日本人体解剖学 vol. 3. 南山堂 P 182~183.
- 2) 渥美和彦 「サーモグラフィの生物学・医学への応用、テレビジョン」 P 698~704 (1975)
- 3) 岩谷真宏 熱流解析による皮膚血流量の算の算定 「医用電子と生体工学」 vol. 20. No. 4 P 249~254 (1982)
- 4) 藤 正敏 その他「サーモグラフィは使い方で生きる」医療と産業, vol. 2. No. 9 P64~102.
- 5) Nakayama, T & at al. Tall in Skin Temperature during Exercise observed by Thermo-



- graphy Japanese journal of physiology vol. 31 No. 5 P 757~762 (1981)
- 6) 大橋和彦 「乳癌の診断」 臨床成人病 4 卷 4 号 P 355~362 (1974)
  - 7) 坂口周吉, その他「Thermography と末梢循環障害」 vol. 1. No. 1 P 37~44 (1973)
  - 8) 桜井靖久, その他「サーモグラフィ」臨床 ME P 66~71 (1978)
  - 9) Winsor. J. and Winsor. D : "Disorder of the Cardiovascular System" acta thermographica, vol. 1. No. 3 (1976)