

22~34℃環境下における足部の温熱生理特性

岩崎 房子, 斜木 祐里*, 小柴 朋子, 田村 照子*

(文化女子大学短期大学部, *文化女子大学家政学部)

原稿受付平成 11 年 9 月 24 日; 原稿受理平成 12 年 4 月 14 日

Thermo-Physiological Responses of the Foot under 22-34℃ Thermal Conditions

Fusako IWASAKI, Yuri NANAMEKI, * Tomoko KOSHIBA and Teruko TAMURA *

Junior College Division, Bunka Women's University, Shibuya-ku, Tokyo 151-8523

** Faculty of Home Economics, Bunka Women's University, Shibuya-ku, Tokyo 151-8523*

This study was performed to investigate the thermo-physiological responses of the foot in order to obtain fundamental data for designing footwear. The skin temperature, skin blood flow of the foot and rectal temperature of 20 healthy female students were measured in a climatic chamber controlled at an ambient temperature (T_a) of 22, 28 or 34℃ and a relative humidity of 50% RH. The results are as follows.

1) The mean of skin temperatures of the foot were 29.9 ± 1.2 , 33.3 ± 1.0 and 36.1 ± 0.5 ℃ at T_a 22, 28 and 34℃, respectively. The regional and individual differences of skin temperature tended to become large in exposed cold environments, while they were small in exposed hot environments. The skin temperature of the toes and the heel decreased remarkably while exposed to T_a 22℃.

2) The skin blood flow was almost constant under the conditions of 22 and 28℃, while it increased in all subjects when they were exposed to the 34℃ condition.

3) Physiological responses of the foot are classified into three types in a cold environment. Type I is of good vasoconstriction which causes the skin temperature to fall but the rectal temperature to remain constant. Type II is of strong vasoconstriction, which causes both the skin temperature and rectal temperature to decrease. Type III is of poor vasoconstriction, which causes the rectal temperature to decrease.

The results suggested that thermo-physiological responses of the foot influenced temperature-regulation of the whole body and heating or cooling of the foot would be an important factor in determining the health and comfort sensation of the whole body.

(Received September 24, 1999; Accepted in revised form April 14, 2000)

Keywords: footwear 履き物, skin temperature 皮膚温, skin blood flow 皮膚血流量, rectal temperature 直腸温, foot 足部, thermo-physiological responses 温熱生理特性.

1. 緒 言

近年, 靴着用による足部の変形や皮膚障害が問題となり, 履き心地のよい快適靴や快適靴下への要求が高まっている. このような快適履き物を設計するためには足部を形態と生理の両機能面から捉える必要がある. 靴設計のための足部形状把握の研究報告は数多くみられ, マルチン計測法などの直接法 (Baba 1975; 馬場 1979; 岡田等 1990; 山本 1990 a, b; 岩崎 1996) や三次元計測法 (山崎 1988, 1990; 河内 1989; 河内と山崎 1992) を用いた計測が行われ足部形状の詳細な

分類が提案されている. 一方, 履き物を実生活の中で快適に着用するには足部形状だけでなく, 靴や靴下などの履き物と足部の関わりから生じる圧迫, これに伴う血流障害, 熱・水分移動特性, 靴内気候, 靴内の蒸れ・汚れから生じる細菌増殖がもたらす皮膚障害など生理特性にも着目する必要がある. しかし, 履き物に関するこのような生理学的研究はまだ少なく, 成瀬 (1990), Kawabata and Tokura (1993 a, b, c), 三ッ井と辻 (1994), 三ッ井等 (1999) による靴内気候に関する研究がみられるが, いずれも着用靴の比較を行

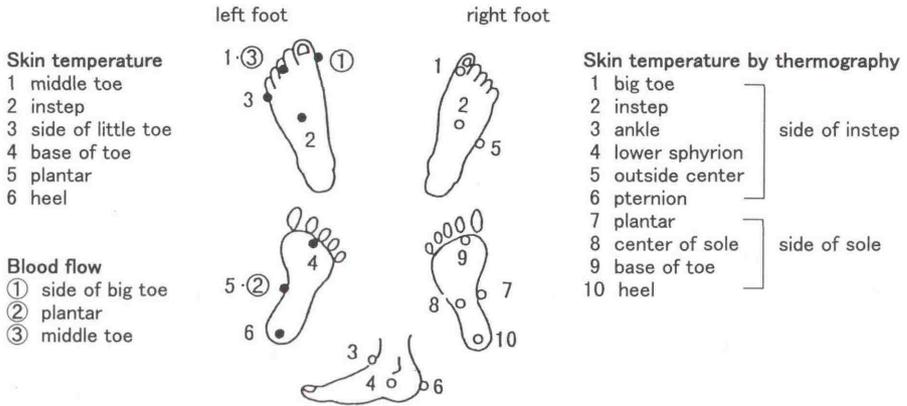


Fig. 1. Measuring regions for each measurement

った消費科学的な研究である。足部の生理機能については長谷部と入来 (1991) の報告があるが、さらに基礎データの集積が求められている。

本研究は 22, 28, 34℃環境下における足部の温熱生理特性の検討を行ったもので、二、三の知見を得たので報告する。

2. 実験方法

(1) 被験者

被験者は 20~29 歳の健康な女子学生 20 名である。その身体特性を平均値と標準偏差で示すと身長 158.3 ± 4.8 cm, 体重 50.5 ± 7.1 kg, BMI 20.2 ± 2.8 となり、日本人の 20 歳代女子の成績 (人間生活工学研究センター 1996) とほぼ同様であった。測定時刻は被験者のサーカディアリズムを考慮し、同一被験者については午前または午後の同一時間帯になるよう配慮した。しかし、全被験者の測定日を月経周期に合わせることは困難であり、本研究では月経周期との関係を記録するにとどめた。

(2) 実験条件

1) 環境条件

実験は 1997 年 11~12 月にかけて文化女子大学人工気候室内で行った。人工気候室の環境条件は温度 22・28・34 ± 0.5℃ の 3 条件、相対湿度 50 ± 5% 一定、気流 0.2 m/s 以下とした。予備室の環境条件は、温度 28 ± 1℃, 湿度は成り行きとした。

2) 着用条件

供試着衣は、環境条件 22℃ ではショーツ, ブラジャー, 綿半袖 T シャツ, 綿・アクリル混紡スウェット上下, 28℃ ではショーツ, ブラジャー, 綿半袖 T

シャツ, 綿ショーツパンツ, 34℃ ではショーツ, ブラジャー, 綿ショーツパンツと、各被験者の着衣を統一した。各着衣の保温力は 20℃・50% RH 環境下において、文化女子大学サーマルマネキン AYA で測定したところ、それぞれ、0.70 clo, 0.26 clo, 0.15 clo であった。

3) 姿勢

姿勢は椅座安静とし、測定中の動作の影響を少なくするために籐の回転椅子を使用した。また、足部は床面への伝熱を考慮し、常にメッシュの台座上に置くこととした。

(3) 測定項目および実験手順

測定項目 (測定器機) は、足部の皮膚温 (熱電対温度計, サーモグラフィ), 血流量 (レーザドップラー血流計), 及び直腸温 (熱電対温度計) である。測定部位は Fig. 1 に示す通りで、左足で皮膚温, 血流量の経時変化を, 右足でサーモグラフィによる皮膚温の測定を行った。

実験手順を Fig. 2 に示す。

被験者はまず 28℃ における着衣をし、直腸温のセンサーを装着して予備室に入室、皮膚温, 血流測定用センサーを装着した後、入室 10 分目から皮膚温及び直腸温の測定を開始する。予備室への入室 30 分経過後各実験条件に応じた着衣に着替え、22, 28, 34℃ いずれかに設定された人工気候室に入室、60 分の椅座安静を保った。その間直腸温, 皮膚温, 血流量を連続測定した。また、入室 30 分目から足背, 内側, 外側, 足底, 踵後面の計 5 画面のサーモグラフィの撮影を行った。なお、足底部のサーモグラフィの撮影に当たっては踵を前述の台座上に置き、趾先部を上方に向け足

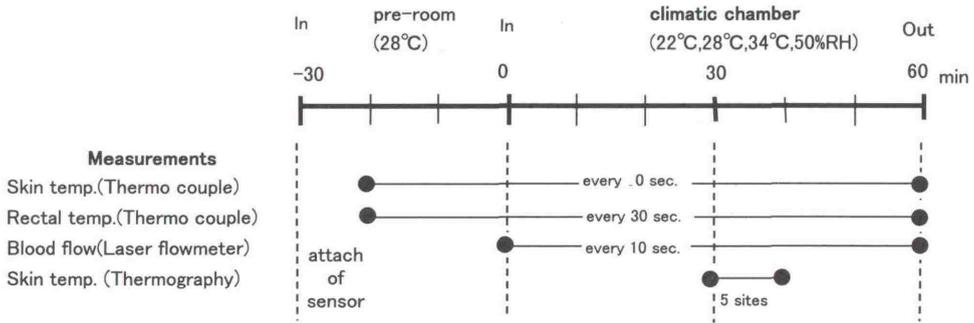


Fig. 2. Details of the procedure and of the measurements

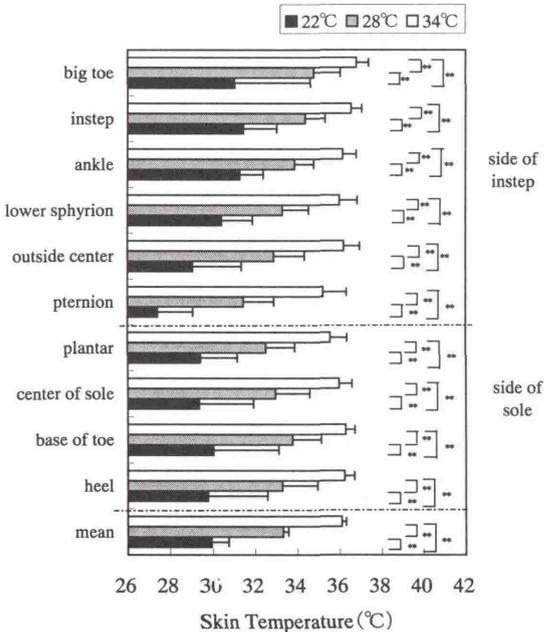


Fig. 3. Regional relationship of skin temperature over the foot as measured by thermography under three different conditions of air temperature

Values are means ($n=20$) \pm SD. ** $p < 0.01$.

底面をサーモピュアに向けて垂直に立てた状態で実施した。

3. 結果および考察

(1) 足部皮膚温

Fig. 3は、各環境条件に設定された人工気候室入室30分後に撮影したサーモグラムから読みとった、足部10点の部位別皮膚温及びその単純平均値（以下足

部の平均皮膚温とする）を20名の平均値と標準偏差で示したものである。足部の平均皮膚温は約29.9℃(22℃), 33.3℃(28℃), 36.1℃(34℃)と気温上昇とともに上昇し、 t 検定の結果、各気温間に1%の危険率で有意な差が認められた。部位別皮膚温をみると、34℃環境下での足部皮膚温は35.2~36.8℃の範囲にあり、部位差、個人差ともに小さい。一方、28℃, 22℃では同様の分布を示すが気温が低下するほど部位差、個人差が大となり、28℃では31.4~34.8℃, 22℃では27.4~31.4℃の範囲にあり、特に足部外側部、踵部で低温を示した。Fig. 4はある被験者の足背・内側・外側・足底のサーモグラムである。前述した環境温度の変化による足部皮膚温分布の相違が良く示されている。

人体の手足部皮膚温は環境気温に支配され、特に、外気温が20℃以下に低下すると、皮膚温は急激に低下することが吉村(1977)により報告されている。また、渡辺等(1980)、田村(1983)は28℃以下の気温では手足部ほど低温を示し、中でも皮下に骨と腱を有する踵骨部が低温を示すこと、31℃以上では手足部ほど高温を示すことを報告している。本実験はほぼ快適着衣状態での測定結果であり、測定値そのものを比較することは出来ないが、環境温度に対する反応は同様の傾向がみられた。22℃環境下での足底部の皮膚温が足背部のそれより低いのは、足底と足背部の蒸散量の違いが影響しているものと考えられ、足部の蒸散量の分布について今後検討する必要性が示唆された。

(2) 皮膚血流量

Fig. 5はレーザードップラー血流計で10秒毎に連続測定したある被験者の中趾血流量の経時変化を1分毎に平均し、環境条件別に示したものである。これによると28℃の予備室から34℃の環境への暴露により

血流量は変動を繰り返しながら漸次増加を示し、一方、28℃、22℃環境暴露では血流量の減少がみられる。無加圧時で測定したこの結果は外気温の違いによる皮膚血管の収縮・拡張を反映したものと考えられる。Fig. 6は各環境暴露55～60分の5分間の平均血流量を部位別、環境条件別に20名の平均値及び標準偏差で示したものである。図中の数字は、28℃中立温の血流量を1とした時の割合であるが、これが22℃では母趾脇で0.6倍、中趾で0.8倍、土踏まずではほぼ変化なしとなり、34℃では母趾脇で1.3倍、中趾で1.4倍、土踏まずで1.6倍となっている。平均的にみると、足部の血流量は低温環境でやや減少、高温環境では有意に増加することが示された。一方、足先の血流量特に22℃下のそれには大きな個人差が認められた。そこでこの血流量の個人差が皮膚温にどのように影響を及ぼしているかについて検討を行った。Fig. 7は28℃の予備室から34℃（上段）、28℃（中段）、22℃（下段）の各環境へ暴露した時の各被験者の中趾皮膚温の経時変化を示したものである。34℃では暴露40分ではほぼ35～36℃に収束している。28℃では低下傾向を示す者が二、三みられるが大半は一定に推移している。これに対し、22℃暴露ではほとんど変化のみられない者、上下変動を繰り返しながら1時間後には低下する者、22℃暴露直後から低下を示す者と個人差が極めて大となっている。一般に四肢部皮膚温は他の部位に比べて変動が顕著であり、血流はその変動の最も重要な体内因子と考えられている（戸川1958）。また、皮膚温に影響する皮膚血流の主な要因としては皮膚血管に入る血液の温度と皮膚血管を流れる血液量が指摘されている。（中山と入来1987）。長谷部と入来（1991）は冷気暴露中及び暴露中止後の足部皮膚温の変化には著しい個人差がみられ、この差は皮膚血流量の違いによるものと考察している。今回の結果もこれら皮膚温と皮膚血流量との関係を裏付けるものである。

(3) 足部皮膚温・血流量の温熱生理反応と体温との関連

戸川は四肢部皮膚温は体温と密接な関係を有すると共に皮膚血流とも深い関係を有することを指摘している。また、山本と田村（1998）は28℃環境下での手足末梢部皮膚温は黄体期において卵胞期より低下するが、これは黄体期に体温維持のために末梢部皮膚血管の収縮が著しいことによると指摘している。本実験における直腸温はいずれの実験中にも 37.3 ± 0.3 ℃と比較的安定した状態を示したが、低温暴露中に血管収縮

による皮膚温低下を示さない被験者で体温の低下が観察された。そこで中趾血流量・皮膚温の温熱生理反応の違いが全身性の体温にどのように影響しているかの検討を行った。その結果、低温環境下における足部の温熱生理反応と体温調節との関係は、Fig. 8が示すように大きく次の3型に分類された。すなわちI型は血管調節反応が良く、低温暴露と共に血流量が減少し、皮膚温が低下し、その結果直腸温が一定に保持される群で、大半の被験者がこれに属した。III型は血管調節反応が悪く、低温暴露でも血流量が減少せず、皮膚温も低下せず、その結果直腸温の低下がみられる群で、5名の被験者がこれに属した。II型は28℃の予備室で既に血管収縮が起こり血流量の減少、皮膚温の低下を示すが、直腸温も低下する群で2名の被験者がこれに属した。この2名の被験者については実験中やや寒かったと申告している。本実験では測定時刻、月経周期を被験者間で統一することが困難であったが、これらの変動要因を含めた温熱生理反応の個人差が上述の3型に分類され、いずれにしても、足部の温熱生理反応が全身性の体温に影響を及ぼすことが示唆された。

以上の結果、足部の温熱生理反応は部位差、個体差、気温差が大きく非常に複雑であるが、足部の保温・冷却が体温調節と関連し全身性の快適感や健康を左右することが示唆された。従って足部に着用する履き物の健康への影響は大きく、履き物設計のためには各種環境気候と足部及び全身の温熱生理特性や履物内気候との関係について十分な検討が必要であると考えられる。

4. 要 約

履き物設計の基礎資料を得ることを目的として、22・28・34℃、50% RHの温熱環境下、着衣状態下において足部の皮膚温、皮膚血流量及び直腸温の測定を行った。被験者は20～29歳の健康な女子学生20名で、着衣の保温力は0.7 clo (22℃)、0.26 clo (28℃)、0.15 clo (34℃)で、各被験者共通着衣とした。主な結果は次の通りである。

(1) 足部の平均皮膚温は 29.9 ± 1.2 ℃ (22℃)、 33.3 ± 1.0 ℃ (28℃)、 36.1 ± 0.5 ℃ (34℃)であり、低温環境ほど部位差、個人差が大となった。22℃の低温暴露により皮膚温は趾先、踵で著しく低下する一方、34℃の高温暴露では皮膚温の上昇が部位差、個人差ともに小であった。

(2) 皮膚血流量は34℃で全被験者とも増加するが、

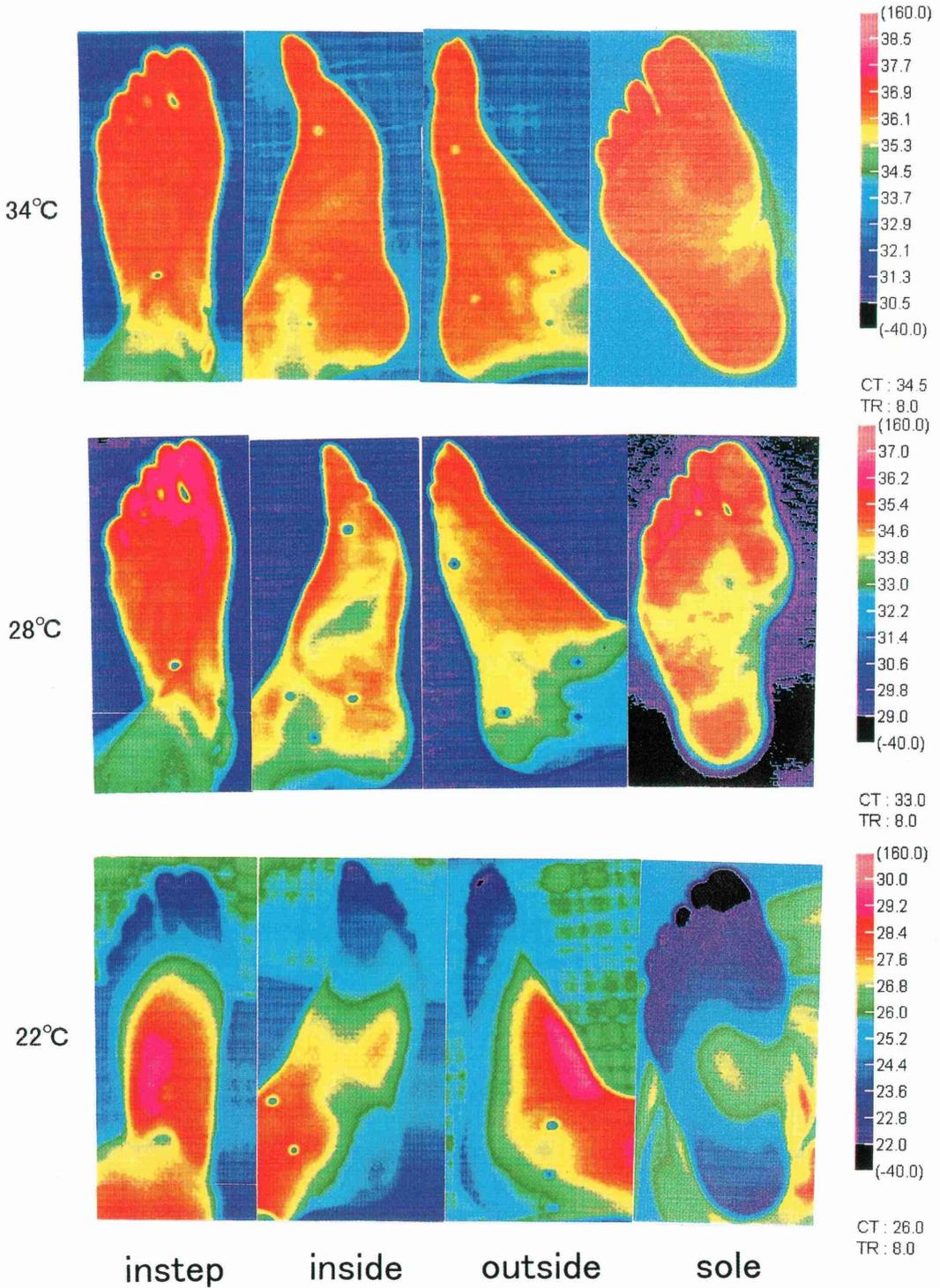


Fig. 4. The thermogram over the foot for one subject under three different conditions of air temperature

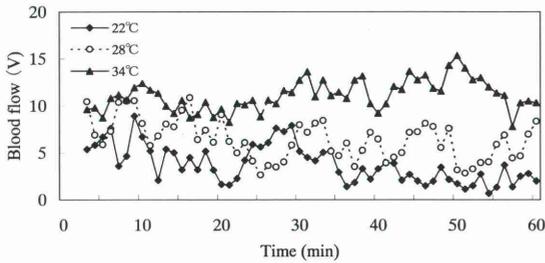


Fig. 5. Change of skin blood flow of middle toe for one subject under three different conditions of air temperature

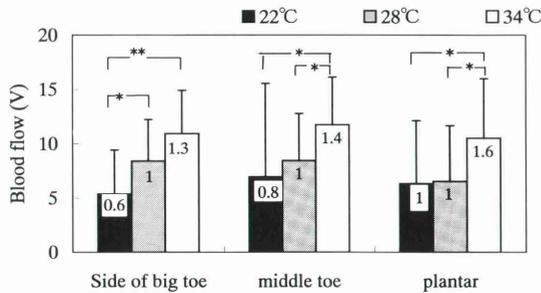


Fig. 6. Regional relationship of skin blood flow over the foot under three different conditions of air temperature

Values are means ($n=20$) \pm SD. * $p<0.05$, ** $p<0.01$.

22°Cと28°C間では顕著な差はみられず、特に22°C下では個人差が大であった。

(3) 直腸温はいずれの環境下においても 37.3 ± 0.3 °Cと比較的安定しているが、低温暴露中に血管調節反応が悪く皮膚温の低下がみられない被験者では体温の低下が認められた。

(4) 低温環境下における足部の温熱生理反応と体温調節との関係は大きく次の3型に分類された。I型は血管収縮反応が良く、低温暴露と共に皮膚温が低下し、直腸温が一定に保持される群。II型は28°C予備室ですでに血管収縮が起こり血流量の減少、皮膚温、直腸温共に低下する群。III型は血管収縮反応が弱く、低温暴露でも皮膚温の低下が見られず、直腸温が低下する群。

(5) 足部の温熱生理反応が全身性の体温調節に影響を及ぼし、足部の保温・冷却が全身性の快適感や健康を左右することが示唆された。

本論文の要旨は、第50回日本家政学会総会におい

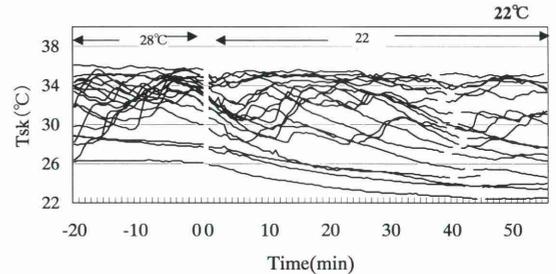
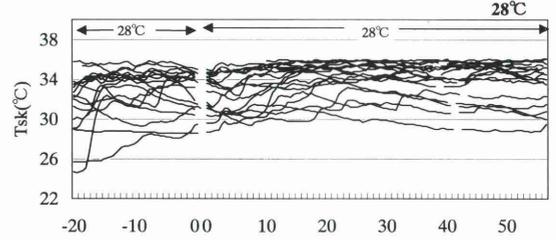
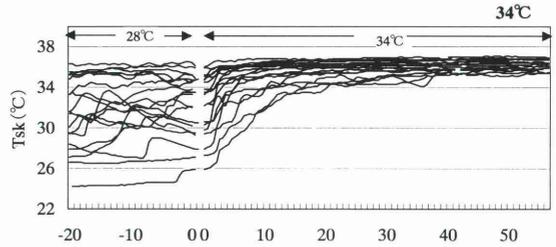


Fig. 7. Change of skin temperature (T_{sk}) of middle toe under three different conditions of air temperature

て発表した。本研究は文部省科学研究補助金によったことを記して深謝する。

引用文献

Baba, K. (1975) Foot Measurement for Shoe Construction with Reference to the Relationship between Foot Length, Foot Breadth and Ball Girth, *J. Human Ergol.*, **3**, 149-156
 馬場和朗 (1979) 日本人の足部形態に関する統計学的研究, *久留米医学誌*, **42**, 505-558
 長谷部ヤエ, 入来正躬 (1991) 足部の冷気暴露による局所皮膚温の変化とソックス着用の影響, *日生氣誌*, **28** (1), 1-9
 岩崎房子 (1996) 若年女子および中高年女子の足部形態比較, *靴の医学*, **9**, 89-93
 Kawabata, A., and Tokura, H. (1993a) Effects of Two Kinds of Sports Shoes with Different Structure on Thermoregulatory Responses, *Ann. Physiol. Anthropol.*, **12** (3), 165-171
 Kawabata, A., and Tokura, H. (1993b) Effect of Shoe Type on the Thermoregulatory Respose and Clothing Microclimate in Women during Walking and Resting, *J.*

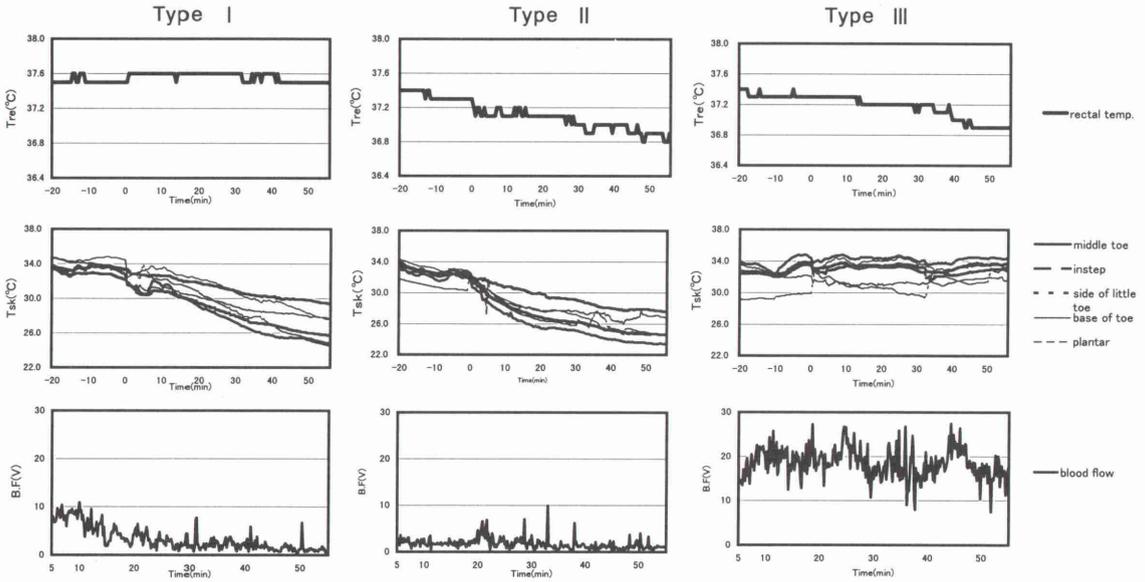


Fig. 8. Change of rectal temperature (top), skin temperature (middle), and skin blood flow (bottom) of middle toe when the air temperature was 22℃

Home Econ. Jpn., **44** (8), 665-670

Kawabata, A., and Tokura, H. (1993c) Effects of the High- and Low-Heeled Shoes on the Skin Temperatures during Walking, *Jpn. Res. Assn. Text. End-Uses*, **34** (12), 627-632
 河内まき子 (1989) 日本人の足型の個人差の分析, *人類誌*, **97** (3), 373-388
 河内まき子, 山崎信寿 (1992) 足と靴型のアロメトリー, *人類誌*, **100** (1), 101-118
 三ッ井紀子, 辻 和江 (1994) 靴内気候の快適性に与える影響, *日本家政学会第46回大会要旨集*, 189
 三ッ井紀子, 吉田和江, 石井泰博, 白井邦郎, 長南康正, 岡村 浩 (1999) 靴の衛生学的検討 (第1報) —靴素材による靴内気候と着用感—, *織消誌*, **40** (5), 333-341
 中山昭雄, 入来正躬 (編) (1987) 『新生理学大系22』, 医学書院, 東京, 108-121
 成瀬正春 (1990) 靴内気候と快適性の指標, *繊維製品消費科学会第7回快適性シンポジウム報告集*, 29-34
 人間生活工学研究センター (編) (1996) 『人体計測データベース構築に関する報告書』, 人間生活工学研究センター, 大阪
 岡田守彦, 小久保秀子, 進藤正雄, 森本光彦 (1990) 小・中学生の足部多項目生体計測値とその年齢推移, *人類誌*,

98, 75-90

田村照子 (1983) 裸体健康成人女子の皮膚温分布, *お茶の水医誌*, **31** (4), 225-241
 戸川 潔 (1958) 四肢末梢部皮膚温に関する研究, *東京医学*, **66** (4), 306-333
 渡辺ミチ, 田村照子, 松岡真理子 (1980) 22~34℃環境温度条件下における成人女子の全身および体区分別平均皮膚温の変動, *家政誌*, **31** (10), 742-746
 山崎信寿 (1988) 足型計測機の開発と評価, *人間工学*, **24**, 302-303
 山崎信寿 (1990) 靴の適合性向上のための工学的アプローチ, *義肢装具誌*, **6**, 334-337
 山本昭子 (1990a) 履物設計の為の足型研究 (第3報) —若年層女子の足部・下腿部計測値の主成分分析における項目選択の影響—, *織消誌*, **31** (9), 437-444
 山本昭子 (1990b) 履物設計の為の足型研究 (第5報) —若年層との比較による高年層女子の足型特性—, *織消誌*, **31** (12), 585-590
 山本顕子, 田村照子 (1998) 体温調節の月経周期変動, *日生氣誌*, **35** (1), 45-52
 吉村寿人 (1977) 『環境科学叢書』, 共立出版, 東京, 40