

衣服着用時の湿度感覚評価方法の解明

福山市立女子短期大学 潮 田 ひとみ

The Method of Sensory Evaluation of Humid Sense in Clothing

by

Hitomi Ushioda

Fukuyama City Junior College for Women

ABSTRACT

We feel discomfort sense in summer and after exercise. This discomfort sense is caused by high humidity. So Sensory Tests were done using circle patches($\Phi 5\text{cm}$) which were made in four kinds of terry towel. At the same time, finger blood flow was measured every 0.1 second.

Two methods were used for evaluation of the relation of the senses and finger blood flow. One is the summation of the every data of blood flow during humid stimulus. The other is the frequency analysis by FFT.

In case of the using of frequency analysis, subjects felt colder, wetter, more uncomfortable, the slope of the frequency analysis was bigger.

In the future, we will be able to use the slope of frequency analysis of finger blood flow as the index of evaluating comfort sense.

要 旨

夏やスポーツの後、われわれは、しばしば不快感を生じる。この不快感は、湿度によって引き起こされると思われる。そこで、円形試料を貼付して、官能検査を行った。同時に指先血流量を測定し、感覚と血流量との関係を調べた。貼付刺激に

よって、生じた指先血流量の減少をそのまま加算する方法と、血流量のFFT解析を行い、周波数解析を行う方法の2つを用いた。

その結果、周波数解析では、被験者が冷たいと感じれば、血流量の傾きが大きくなる傾向が見られた。濡れ感覚、快適感覚でも同様に不快感が増加するにつれて、傾きが大きくなった。加算する

方法では、一定の傾向は見られなかった。

以上より、指先血流量を周波数解析し、データの処理方法や測定可能な条件を整備することによって、快適感の指標として用いることの可能性を見いだした。

緒 言

夏の暑い日やスポーツ終了時などに、しばしば引き起こされる衣服着用時の不快感、もっぱら蒸れる、濡れる、べとつくといった湿度によって引き起こされる不快感である。

平田らは、被覆面積が異なるスポーツウェアを着用し、2種類の環境湿度が異なる環境下で運動した場合の快適感を、温冷感および湿潤感とで比較したが、この4種類のどの場合にも、快適感は温冷感よりも湿潤感と関係が深いことを報告している¹⁾。

しかし、この湿度感覚は、対応する皮膚の感覚受容器が解明されていないため、重要でありながら、研究が遅れているのが現状である。

この湿度感覚の変化には、温度に関する受容器と触や圧に関する受容器の反応が関係すると推測でき²⁾、杉山は、柔軟処理したタオルと柔軟処理していないタオルのおのおののテクスチャーの分析を行った場合に、皮膚上の感覚受容器であるマイスナー小体とルフィニ小体のインパルス発射パターンを測定し、この発射パターンをスペクトル解析した場合に、柔軟処理タオルでは、その傾きに1/f ゆらぎが観察されたことを報告してい

る³⁾。

また、皮膚毛細血管では、交感神経の一過性の興奮によるため、情動的な刺激で一過性に収縮が起こることが知られており、これは、とくに耳たぶでは反応がないが、指先の血管で顕著であるとされている⁴⁾。さらに稲葉らは、四肢末梢の皮膚血流量の変化をレーザードップラー血流計を用いて測定し、その皮膚血流低下をSFRと定義して、指先部には、交感神経系の支配を受ける動静脈吻合が豊富に存在するため皮膚血流量の変化は交感神経活動の影響を受けると考えられるため、SFRが、交感神経遠心路系の評価法として臨床応用が可能であるとしている⁵⁾。

そこで、本研究では、指先の血流量を測定し、温度刺激および湿度刺激を皮膚に与えた場合の快適感、湿度感覚とこの指先血流量の変化との関係を明らかにし、この指先血流量の測定が湿度感覚の評価の指標として適用できるかどうかを検討した。

1. 実験方法

1. 1 試料布

素材や織構造の異なる4種類のパイル地を用いた。おのおの煮沸精練を行ってから、物性値の測定を行った。従来タイプの柔軟剤と、吸水性の高い柔軟剤の2種類を用いて柔軟処理を行い、官能検査に用いた。

1. 2 物性値の測定

使用した5種類のパイル地の平衡吸水率、厚さ、

表1 Physical Properties of Test Towel Fabrics

material	absolute dry mass (g/m ²)	thickness (mm)	hygroscopicity (%)	equilibrium water absorbency (%)
cotton-silk	474	2.456	12.06	258
linen	260	1.012	9.65	188
cotton A	397	2.131	10.21	346
cotton B	326	2.284	9.76	422

絶乾重量、吸湿率を表1に示す。平衡吸水率は、ラローズ法によって測定した10分後の吸水量から算出し、厚さは、通常織物測定用厚さ測定器を用いて、初加重 $240\text{gf}/\text{cm}^2$ で測定した。絶乾重量は五酸化二リンデシケータ中に1週間以上保存した各試料の重量から、また、吸湿率は五酸化二リンデシケータに保存した各試料の重量と塩化カリウム飽和塩デシケータに保存した各試料の重量からおのおの算出した。塩化カリウム飽和塩デシケータは環境温度 25°C および 30°C では相対湿度 84% 近辺に調整されている⁶⁾。

1. 3 被験者

被験者には、福山市および近隣に在住する健康な19歳の女性2名を用いた。被験者は実験の内容を理解したうえで実験に参加した。測定時には、所定の長袖シャツと半ズボン（約 0.35clo ）を着用させた。

1. 4 測定

1. 4. 1 実験環境

環境温度 $24.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 10\% \text{RH}$ に調整した室内で血流量と官能値の測定を行った。試料は測定の一晩以上前に、所定の水分率に設定した後、チャック付きポリ袋に入れ

て密閉した後、測定室内に放置して温度調整した。また、被験者は、測定の1時間以上前に測定室に入室した。1時間以上経過し、被験者が測定環境に慣れた後に、測定を開始した。

1. 4. 2 血流量の測定

皮膚血流量の測定のために、レーザードップラー血流計（ALF-21、アドバンス）を用いた。このレーザードップラー血流計をAD変換ボード（（株）コンテック）に接続し、連続測定とデータの取り込みを可能にした。AD変換ボードをパーソナルコンピュータ（PC-9821Ae（株）NEC）に差し込み、0.1秒間隔で測定された血流量（V）をコンピュータに取り込み保存した。測定装置と実験の概要を図1に示す。

血流量の測定箇所は、左手人差し指内側の先端と第1関節との間である。ここに直径 10mm の血流計センサープローブC型を所定の両面テープで装着した。

1. 4. 3 測定

被験者に血流計センサープローブを取り付け、血流計が動作することを確認した後、0.1秒間隔で血流量の測定とデータの取り込みを開始した。血流量の測定を開始して、1分後に、直径 5cm

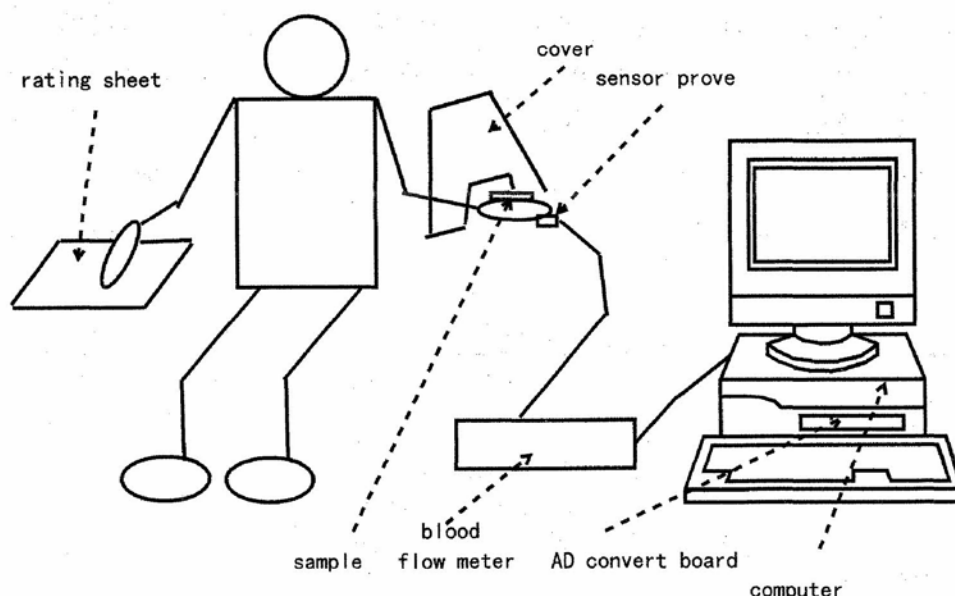


図1 Experimental Devices

の柔軟処理を施していない乾燥状態にある綿タオル試料を、左手甲に30秒間貼付し、貼付時の手甲部位の快適感覚、濡れ感覚、温度感覚、圧迫感覚、ざらつき感覚の5種類の感覚を貼付時間内に記入させた。測定に用いた感覚のスケールと語彙を表2に示した。

次に、表3に示したような、重量調整することによって数段階の吸水率に設定した、被験者にとっては、柔軟剤の種類や素材や吸水率が未知である吸水試料を試料を取り去った30秒後に貼付した。このように、30秒間の貼付時間内に、貼付によって引き起こされた手甲部分の感覚を申告させ、30秒間放置後、別の試料を貼付し、アンケート記入後、放置するという操作をサンプル数だけ繰り返した。

表3 Regain (%) of Samples

material	I	II	III	IV
cotton-silk	0	86	172	258
linen	0	63	125	188
cotton A	0	115	231	346
cotton B	0	141	281	422

第1回目の柔軟処理を施していない綿乾燥試料は、被験者に対して、未処理の綿乾燥試料であることを告知したが、第2回目以降の試料については告知せず、また、2回目以降の試料の貼付順序は、乱数表を用いて含水率や素材、処理方法がランダムになるように設定した。すべての貼付が終了した後、血流量の測定を終了した。

1. 4. 4 解析方法

この0.1秒間隔でとりこまれた血流量を、FFT分析処理するために、LABTECH NOTEBOOK (98) ((株) コンテック) を用いた。

2. 結果・考察

測定された血流量を図2に示した。ここでは、貼付前の安静時の56秒間の血流量を示したが、図中の0秒から3秒の間と35秒から38秒の間、54秒以降の3カ所で血流量の急激な低下が起きていることが確認できる。指先部には、交感神経の支配を受ける動静脈吻合が豊富に存在するため、交感神経系の影響を受けて急激な低下が起きていると考えられ、たとえば、深呼吸などを行った

表2 Rating Scales

Temperature Sensation	Pressure Sensation	Sandy Sensation
— 6 very cold	— 6 very heavy	— 6 very sandy
— 5 cold	— 5 heavy	— 5 sandy
— 4 slightly cold	— 4 slightly heavy	— 4 slightly sandy
— 3 neutral	— 3 neutral	— 3 neutral
— 2 slightly warm	— 2 slightly light	— 2 slightly smooth
— 1 warm	— 1 light	— 1 smooth
— 0 very warm	— 0 very light	— 0 very smooth
Soaking Sensation	Comfort Sensation	
— 4 dripping wet	— 3 very uncomfortable	
— 3 wet	— 2 uncomfortable	
— 2 slightly wet	— 1 slightly uncomfortable	
— 1 moist	— 0 comfortable	
— 0 dry		

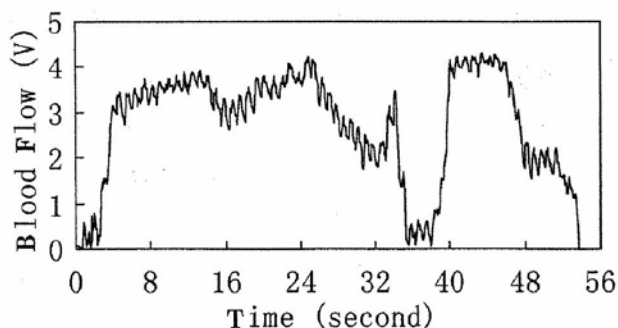


図2 Blood Flow under the Steady State

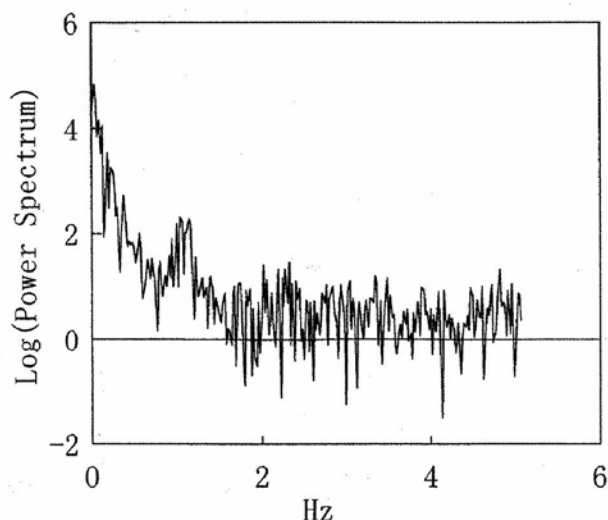


図3 Logarithm of Power Spectrum under the steady state

場合に、このような低下が見られるとされている。

そこで、この結果をFFT解析し、パワースペクトルの対数と周波数との関係を算出して、図3に示した。ここでは、貼付前の55秒間の定常状態と考えられる状態での値を示した。1 Hz 近辺に1つのピークがみられるが、これは心拍によって発生するピークと考えられる。

一般に、人体や生物においては、周波数の対数とパワースペクトルの対数との傾きが $1/f$ のことが多く、 $1/f$ ゆらぎとして知られている。人体が快適な状態である場合に、 $1/f$ ゆらぎが見られることが多いとされている。また、中島らは高性能の発汗カプセルを用いて発汗頻度を測定し、ここでも $1/f$ ゆらぎがみられることを確認している⁷⁾。そこで、図3を両対数でプロットしたものを図4に示した。図中の太い実線は $1/f^2$ ゆら

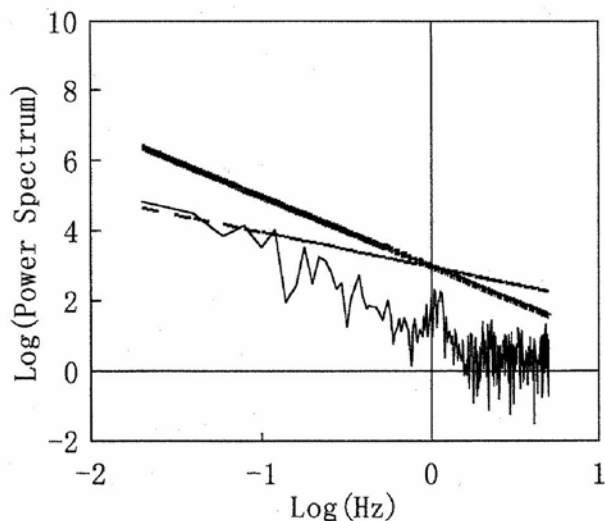


図4 Log-Log Plot of Power Spectrum

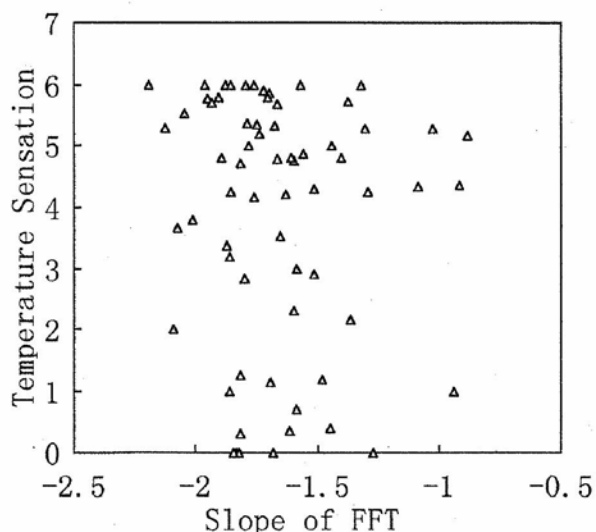


図5 Relationship of Temperature Sensation and Slope of FFT

ぎの場合の傾き (-2)、図中の細線は $1/f$ ゆらぎの場合の傾き (-1) を表している。このようにして得られた被験者の安静時の直線の傾きは、被験者 a で -1.790 、被験者 b で -1.776 とほぼ等しい値を示した。そのため、各試料を貼付する5秒前から貼付30秒、試料放置後の25秒間の計60秒間の血流量のデータを、各サンプルごとのデータとして、おのおのをFFT解析し、傾きを求めた。この傾きが、快適感覚の指標として用いられるかどうかを確認するため、官能検査によって得られた感覚官能値とこの傾きとの関係を図5～図7に示した。

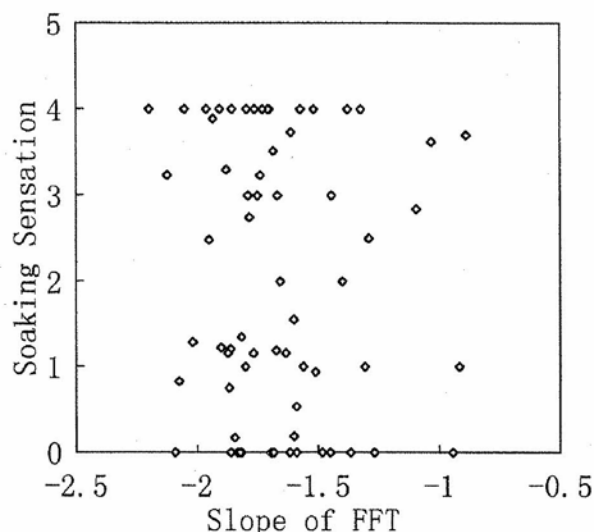


図6 Relationship of Soaking Sensation and Slope of FFT

図5に示した温度感覚は、表2に示したように、6が非常に冷たい、0が非常に温かいを示すが、やや冷たいと感じられる4以上の官能値でFFTの傾きが負に大きい傾向を示した。また、いくつかの例外は見られるものの、全体として温度感覚の数値が増加し、冷たいと感じられるようになるほど、FFTの傾きが負に大きくなることがわかった。

また、図6の濡れ感覚は、0が乾燥している、4がびしょり濡れていると被験者が感じていることを示すが、ここでも、試料が濡れていると感じられるほど、FFTの傾きが負に大きくなる傾向が見られた。同様に、図7の快適感覚は、0が快適、3が非常に不快であることを示すが、ばらつきがみられるものの不快であると感じられるほど、FFTの傾きが負に大きくなる傾向が見られた。

以上のように、指先血流量のFFT解析を行い傾きを算出することによって、この傾きを快適感覚評価の指標として使用できる可能性が見出された。そこで、比較のために先の稲葉らの報告を元に、血流量の測定値そのものを用いた場合には、この血流量を快適感の評価の指標として用いることが可能かどうかを検討した。

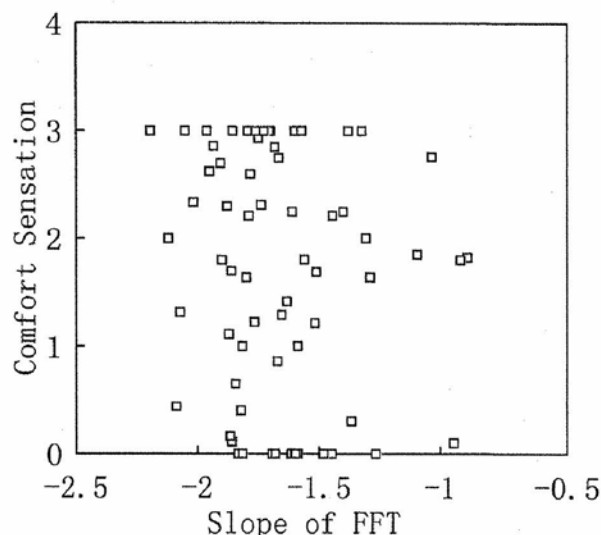


図7 Relationship of Comfort Sensation and Slope of FFT

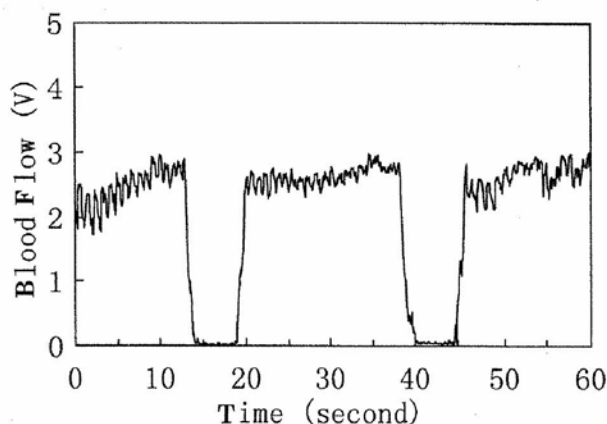


図8 Blood Flow of Putting the Sample on Hand

稲葉らの報告によると、冷水刺激を与えた場合に、非浸水側の手足で急激な皮膚血流の低下が見られ、浸している間血流低下は持続し、さらに、浸水終了後、穏やかな血流の回復が見られ、浸水から皮膚血流低下が見られるまでの潜時は上肢で2～5秒であると報告されている⁵⁾。

図8に柔軟剤未処理の乾燥した綿タオルを左手甲に貼付した場合の、貼付5秒前から60秒間の血流量変化を示した。この図より、15秒近辺で第1回目の低下、40秒近辺で第2回目の低下が起こっていることがわかる。第1回目の血流量低下は、タオル貼付後約10秒後に生じているが、これはタオル貼付による刺激の結果生じた反応で

あり、第2回目の低下は、官能検査終了後、タオルを手甲から除去する刺激によって生じた反応であると考えられ、タオルを除去した直後に生じている。稲葉らは、冷水刺激を与えた場合に、上肢では2から5秒後に反応が起こるとしているが⁵⁾、この場合は貼付したタオルが乾燥試料であったため、刺激としては小さく、反応が遅れたと考えられる。

また、稲葉らは血流量の定常値をa、刺激による最小値をbとして、 $(1 - b/a)$ をSFR (sympathetic flow response) と定義し、刺激に対する血流の減少率によってSFRの評価を行ったが、ここでは血流量が低下し続けている時間も重要であると考え、0.1秒ごとに測定した血流量を、貼付5秒前から貼付中の35秒間で加算したものを指標として用いた。先のFFT解析では、貼付試料除去後の血流量の低下も含めて試料による反応としたが、ここでは、貼付時と貼付直前の35秒で評価した。以上のような方法で、個々の試料ごとに試料の貼付によって生じた血流量の変化を加算したデータと、測定した感覚官能値との関係を図9～図11に示した。

図9は、温度感覚と加算した血流量との関係を示したものである。貼付刺激によって交感神経が活動し、その結果、指先の血流量が減少するとすれば、刺激が大きければ大きいほど、加算した血流量の量は少なくなると考えられるため、貼付によって非常に冷たいと感じた場合には、血流量は少なくなるものと推測される。いくつかのサンプルでは、試料を貼付することによって冷たいと感じるほど血流量が減少するケースもみられたが、図5よりも、ばらつきが大きいことがわかった。

図10では、濡れ感覚と加算した血流量との関係を示したが、図9と同様に図6と比較すると、ばらつきが大きく、濡れ感覚が増加するにつれて血流量が減少するという傾向は、とくに見られなかった。図11は、快適感覚と加算した血流量との関係

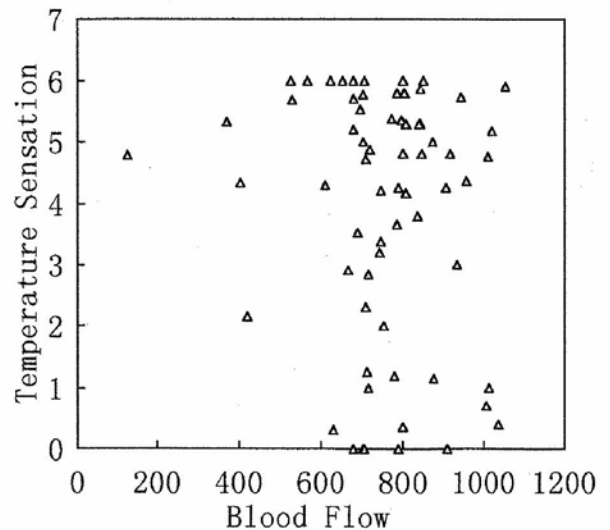


図9 Relationship of Temperature Sensation and Blood Flow

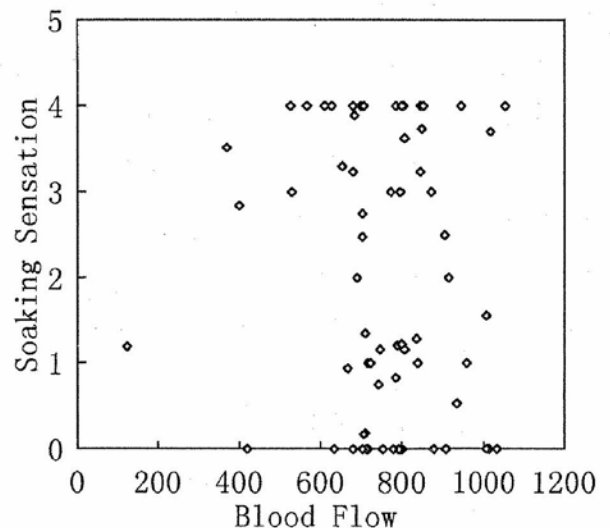


図10 Relationship of Soaking Sensation and Blood Flow

を示しているが、温度感覚、濡れ感覚と同様に、図7よりも、ばらつきが大きく、不快になるにつれて血流量が減少する傾向は見られなかった。

以上のように、血流量を連続測定し、温度刺激または湿度刺激を与えた場合の感覚官能値との関係を比較した場合に、血流量をそのまま用いて減少量を比較する場合よりも、この血流量をFFT解析することによって、パワースペクトルを求め、傾きを算出し、この傾きを使用した場合の方が、感覚官能値をシミュレートしていることが、定性的ではあるが明らかになった。

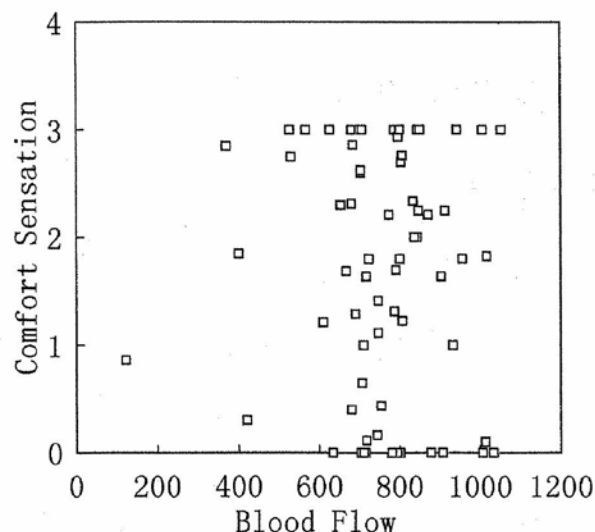


図11 Relationship of Comfort Sensation and Blood Flow

稲葉らの報告によると、皮膚温が 29°C 以上の場合のみにSFRは出現し、 29°C 以下では出現しないとされている。そのため、環境温度 24.5°C に調整された試料を貼付した場合に、乾燥試料では急激な皮膚温の低下を招くことは少ないと思われるが、吸水率の高い試料の場合には、表面が濡れているために測定部の皮膚温が 29°C 以下に下がったと考えられ、必ずしも稲葉らの報告と一致しなかったものと思われる。さらに、今回の場合は、柔軟処理を行うことによって吸水性の低くなった試料を使用して、貼付試料を作成している。そのために、表面の水分が皮膚に残る場合もあり、結果として、皮膚温を低下させる原因となったと考えた。

現在の段階では、指先血流量を用いた快適感覚の評価は、非常に定性的で、実用段階には遠いが、脳波測定等と比較すると、被験者の負担も軽く、非侵略的で被験者、測定者ともに安全であり、しかも簡便である。そのため、実験条件や処理方法を整備することによって、快適感の簡便な指標として指先血流量が使用可能であるならば、非常に有益な情報となると考える。

3. まとめ

含水試料を手甲に貼付することによって、温度刺激または湿度刺激を与えた場合の、指先血流量と感覚官能値を測定した。指先血流量をFFT解析し、パワースペクトルと周波数とを両対数プロットして、傾きを算出した。この傾きと感覚官能値との関係を表した結果、定性的ではあるが、冷たい、濡れている、不快であると被験者が知覚した場合には、傾きが負に大きくなる傾向が見られた。

今回は、この指先血流量を用いた快適感の評価の可能性を定性的に示したにすぎないが、このような簡便で安全で被験者の負担が少ない方法で、快適感が評価できるならば、非常に有益で有用な情報となると思われる。

謝 辞

本研究に対して、研究助成を賜った、財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝いたします。また、本実験にご協力いただいた被験者諸姉に深謝いたします。

文 献

- 1) 平田耕造, 増田茅子, 湯谷 操; 身体運動時の快適性とスポーツウェア, デサントスポーツ科学, 12, 12-32(1991)
- 2) 潮田ひとみ, 中島利誠; むれ感覚に及ぼす天然繊維布の影響, 繊維製品消費科学, 36(1), 44-52(1995)
- 3) 杉山由樹; 繊維学会シンポジウム予稿集1994(S), S125-S128(1994)
- 4) 高木健太郎; 「生体の調節機能」中公新書中央論社, pp.53-54(1972)
- 5) 稲葉 彰, 横田隆徳; 健康成人におけるSympathetic Flow Response(SFR), 自律神経, 30, 1-9(1993)
- 6) 高分子学会編; 「高分子と水」共立出版, p220(1995)
- 7) 中島利誠, 薄 奈保子, 山野春子, 鎌田伸佳; 繊維学誌, 48, 556-558(1993)