

発汗による機能性スポーツ用インナーの パフォーマンスへの影響

大妻女子大学 水谷 千代美
(共同研究者) (一財)カケンテストセンター 倉本 幹也
同 奥 貴憲
日本化学繊維協会 海野 稔貴

Influence of Perspiration on Performance of Functional Sports Innerwear

by

Chiyomi Mizutani
Otsuma Women's University
Kanya Kuramoto, Takanori Oku
Kaken Test Center
Toshitaka Unno
Japan Chemical Fibers Association

ABSTRACT

The moisture-absorbing and heat-generating fibers are used in innerwear for winter sports. The moisture-absorbing and heat-generating fibers generate wet heat through reaction between insensible perspiration from the skin and the functional groups of the fibers. In this study, the parameters of thermal properties such as ΔT_{max} and heat retention index were measured using a device made according to the JIS method to measure the thermal properties of hygroscopic heat-generating fibers with different functional groups. It was found that these parameters of thermal properties depend on the types of functional groups, and that acrylate fibers had higher ΔT_{max} and heat

retention index. The subjects were asked to wear inners made of moisture-absorbing heat-generating fibers, and evaluated the comfort of the inners with regard to the feeling of warmth and moisture during the time course of a series of rest and motion activities by monitoring the micro-climate between inner and skin. A correlation was observed between the temperature within the clothing and ΔT_{max} , heat retention index.

キーワード

吸湿発熱繊維, 不感蒸泄, 最大吸湿発熱温度, 熱保持指数, 保湿性

Keyword

moisture-absorbing and heat-generating fiber, insensible perspiration, maximum temperature of moisture-absorbing and heat-generating, heat retention index thermal insulation property

要 旨

冬季スポーツ用インナーには、吸湿発熱繊維を用いられている。近年、さまざまな吸湿発熱繊維が市場に現れ、吸湿発熱特性が着目されている。吸湿発熱繊維は、皮膚から出る不感蒸泄と繊維の官能基の反応により湿潤熱が発生する。本研究は、官能基の異なる吸湿発熱繊維の熱特性をJIS法に準じた装置によって ΔT_{max} や熱保持指数などの熱特性値を測定した。官能基の種類によって、これらの熱特性値が異なり、アクリレート系繊維は ΔT_{max} や熱保持指数が高いことが分かった。さらに、被験者に吸湿発熱繊維でできたウェアを着用してもらい、安静と運動を繰り返すプロトコルで、温冷感や湿潤感などの着用感、衣服内温湿度を測定し、熱特性値との関係を検討した。その結果、衣服内温度と ΔT_{max} や熱保持指数は相関が認められ、湿潤熱を抱き込む空気層がある吸湿発熱繊維がその効果保持に有効であることが分かった。しかし、綿製のインナーは吸湿発熱効果が他のインナーと同等以上あるにもかかわらず、衣服内温度が最も低く、有効性が認められなかった。

緒 言

スポーツの種類によってウェアに求められる機能が異なり、それぞれの分野で動きやすさと同時に快適さが追求され、ウェアによるパフォーマンスの向上効果が期待されている。近年、冬季のスポーツ用インナーとして吸湿発熱繊維が使用されている。吸湿発熱繊維は、皮膚から放出される不感蒸泄とインナー中の親水性繊維が相互作用し、水和エネルギーが熱(湿潤熱)として放出されて、衣服内温度が上昇することにより保湿性が向上する。本来、羊毛が水にぬれると湿潤熱が発生することはよく知れており、スポーツ用インナーとしての吸湿発熱繊維は、天然繊維の他に、レーヨンやキュプラのような再生繊維やアクリレート系繊維が使われている。我々は、これまでにセルロース系繊維の発熱特性に着目し、湿潤熱を測定する熱量計を作り、セルロース系繊維の水分率、結晶構造、結晶化度と発熱量との関係を検討してきた¹⁾。また、吸湿発熱繊維の官能基の種類を変えて熱量計による発熱特性を測定し、官能基の種類によって発熱量が異なることを指摘し、繊維の水分率と発熱量は比例関係になることが分かった³⁾。

吸湿発熱繊維は、繊維の吸湿が飽和状態になると発熱が終わり、吸湿された水分が蒸発するとその部分はふたたび水分を吸着して発熱する。しかし、水分が蒸発する際には吸熱するために温度は下がり、皮膚から出る水分である不感蒸泄と発汗などの人間の生理反応が影響する。運動中の発汗による吸着発熱やその蒸発吸熱を制御すれば衣服内温湿度を快適な範囲に制御できると考えられ、吸湿発熱繊維をインナーウェアにした時の保温性、温冷感や湿潤感などの快適性が着目されている。

一方、さまざまな吸湿発熱繊維が市場に現れており、実際に人が吸湿発熱繊維を着用した時の吸湿発熱特性を調べる必要がある。近年、吸湿発熱繊維の最大吸湿発熱温度や熱保持指数などの吸湿発熱特性を調べるパラメーターとして標準化がなされ、吸湿発熱繊維の機能を定量的に評価する試みがJISL1952として設定された。本研究は、さまざまな吸湿発熱繊維の発熱特性を吸湿発熱温度や熱保持指数などのパラメーターを用いて評価して吸湿発熱繊維の発熱特性を明らかにし、それらのパラメーターと実際の着用感や衣服内温湿度との関係から繊維素材や構造が発熱機構に与える影響を調べることを目的とする。また、温感や皮膚と接触する布帛面の刺激と捉え、その皮膚感覚と脳活動との関係を定量化し、吸湿発熱で得られた温感と脳活動との関係を明らかにすることにより運動パフォーマンスへの影響を評価する。

1. 方法

1. 1 吸湿発熱繊維の特性評価

1. 1. 1 試料布

吸湿発熱繊維である試料A、試料B、試料Cおよび試料Dの4種類を試料布として供試した。試料布の組成、目付、厚さを表1に示す。

1. 1. 2 試料布の水分率

試料布は恒温恒湿室(20℃, 65% RH)に24時間放置して重量(W₁)を測定し、絶乾時の試料重量(W₀)から次式により試料布の水分率を算出した。

$$\text{水分率(\%)} = \frac{(W_1 - W_0)}{W_0} \times 100$$

1. 1. 3 試料布の形態学的観察

試料布の形態は電子顕微鏡(日立卓上顕微鏡 Miniscope TM4000/TM4000 Plus)を用いて試料断面の観察を行った

1. 1. 4 試料布の吸湿発熱特性

JISL1952-1に基づき、試料布を境に供給面と測定面の2つのチャンバーをもつ装置を用いた。試験布の片面(測定面)に空気(20℃, 40% RH)を供給し続け、測定面の温度を一定にし、この時の温度を初期温度とした。次に、空気(20℃, 約90% RH)を供給し続け、測定面の温度を継続して測定し、最大吸熱発熱温度および熱保持指数などの吸熱発熱特性を算出した^{6,7)}。

表1 試料布と熱特性

試料名	組成	目付 (g/m ²)	厚さ (mm)	水分率 (%)	ΔTmax (℃)	熱保持指数	半減期 (s)
試料A	ポリエステル 38% アクリル 30% レーヨン 20% ポリウレタン 12%	147.1	0.56	3.2	2.5	377	209
試料B	アクリル 41% ポリエステル 37% レーヨン 18% ポリウレタン 4%	296.1	1.56	3.0	2.9	538	258
試料C	ポリエステル 85% アクリレート系繊維 15%	228.5	1.34	5.5	3.4	1003	408
試料D	綿 100%	164.6	0.85	7.9	3.3	618	258

1. 2 サーマルマネキンによる吸湿発熱繊維を用いたウェアの熱特性評価

サーマルマネキンは、全身女性型立位座位共用17分割THM-217S京都電子製を用い、人工気候室内(15°C, 65% RH)に設置して、4種類(試料A, B, C, D)の試料インナー上衣または試料インナーに綿製のスエット上衣を重ね着させた。サーマルマネキンの平均皮膚温33°C ± 0.5°Cに設定し、供給熱量から熱抵抗値(1a)を算出した。

$$1a = \sum f_i \left[\frac{(T_{si} - T_a) \times a_i}{H_{ci}} \right]$$

$$f_i = \frac{a_i}{A}$$

a_i : マネキンの部位iの表面積 (m²)

A : マネキン全体の表面積 (m²)

T_{si} : マネキンの部位iの表面温度 (°C)

T_a : 環境温度 (°C)

H_{ci} : マネキン部位iへの供給電力量 (W)

1. 3 吸湿発熱繊維を用いたウェアの着用実験

健康な20～22歳の女性3名を被験者とし、一人あたり4種類の試料をそれぞれ2回着用し、着用感、衣服内温湿度および発汗量を測定した。吸湿発熱繊維を用いた4種類(試料A, B, C, D)の長袖丸首型デザインのインナーと、その上に綿製のスエット上下を着用し、試料ウェアとした。試料ウェアは着用実験前に50°Cで3時間真空乾燥した後に、人工気候室(15°C, 60% RH)内に一晚調湿し、実験に供試した。被験者は、人工気候室(15°C, 60% RH)内で試料ウェアを着用し、安静5分、エアロバイク運動10分、安静5分、エアロバイク運動10分、安静15分の一連の運動を行った。エアロバイク運動は、エアロバイクEZ101(combi製)を用いて負荷レベル3に設定し、回転数約45rpm、運動10分間での消費カロリー5.8kcal、走行距離約5.6kmとした。実験の間、被験者の前

デサントスポーツ科学 Vol. 45

胸と背中上部に発汗計((株)スキノス製)を装着し、不感蒸泄量を測定した。また、衣服内温湿度の測定には、コードレスの小型温湿度センサー((有)シスコム製(SHTDL-3C))を用いた。試料ウェアの裏地側の前胸と背中上部に小型温湿度センサーが入る大きさのポリエステルメッシュ製ポケットを作成し、その中に温湿度センサーを入れて皮膚とインナーの間、インナーとスエットの間の衣服内温湿度を継続的に測定した。着用時の温冷感や湿潤感などの着用感はSD法により評価した。この着用実験は、被験者の性周期や日リズムを考慮して、着用実験時刻を決めて被験者が一日に一着試料ウェアを着用することとした。

2. 結果および考察

2. 1 吸湿発熱繊維の発熱特性

吸湿発熱繊維は親水性繊維を用い、官能基の種類によって水分率が異なる。繊維の水分率と発熱量とは相関関係があり、水分率が高いほど発熱量が多いことが分かっている^{2,4)}。試料A, B, C, Dの水分率を表1に示す。試料A, B, Dを構成する素材は、主にレーヨン、キュプラ、綿というセルロース系繊維で水酸基と水分子との反応である。試料Cはアクリレート系繊維で、単量体がアクリル酸、アクリル酸ナトリウム及びアクリルアミド架橋共重合体から構成された長鎖状合成高分子からなる繊維で、標準状態で20～30%の水分率を示し、架橋した高分子の中に大量の水分子を吸着することができるために⁵⁾、試料Cは本実験で用いた試料のなかで比較的高い水分率を示す。

次に、試料布の吸湿発熱特性を比較した。JIS法に基づいたチャンバーを用いて、試料布の最大吸湿発熱温度(ΔTmax)と熱保持指数および半減期の吸湿発熱特性を調べた。試験布の片面(測定面)に空気(20°C, 40% RH)を供給し続けて測定面の温度を一定にした後に、高湿度の空気(20°C, 約90% RH)を連続供給した時の測定面の温度変

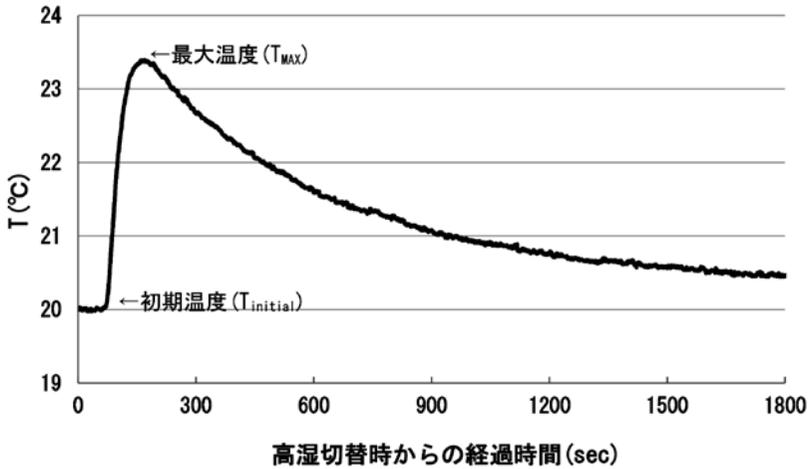


図1 試料布Dの測定面の温度変化

化を図1に示す。最大吸湿発熱温度 (ΔT_{max}) は、高湿度供給時の測定面の最大温度 (T_{max}) から初期温度 ($T_{initial}$) を引いた値である。

図1の吸湿発熱温度曲線をもとに熱保持指数を算出した。最大吸湿発熱温度 (ΔT_{max}) の時点から減衰経過時間 (S_{rd}) 0秒とし、温度減衰時における各時間の吸湿発熱温度 (ΔT_{ave}) を算出した。吸湿発熱温度平均値 (ΔT_{ave}) および減衰経過時間 (S_{rd}) から回帰曲線を求め、半減期を算出した。

図2のように半減期と回帰曲線で囲まれた面積から熱保持指数を算出した。試料布の ΔT_{max} 、半減期および熱保持指数を表1に示す。試料布の ΔT_{max} は、試料C、試料D、試料B、試料Aの順で高いことがわかった。試料Aと試料Bはレーヨンとアクリルが同程度含まれており、水分率も同程度の値を示す。 ΔT_{max} は試料Bの方が若干高い値を示した。試料Cはアクリレート系繊維が用いられており、この繊維は上述のように水分子の吸

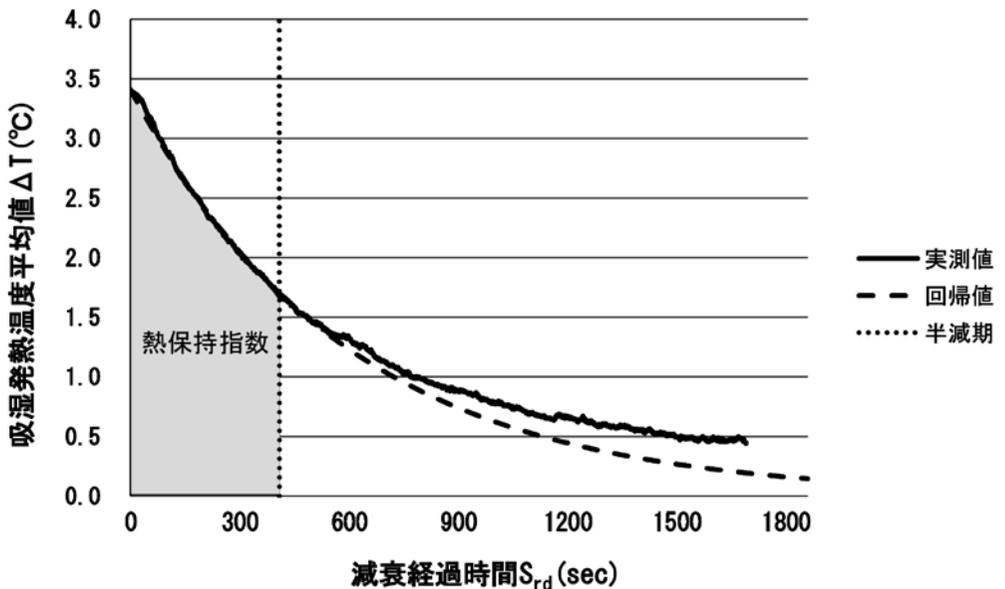


図2 試料布Dの減衰経過時間と測定面の温度変化

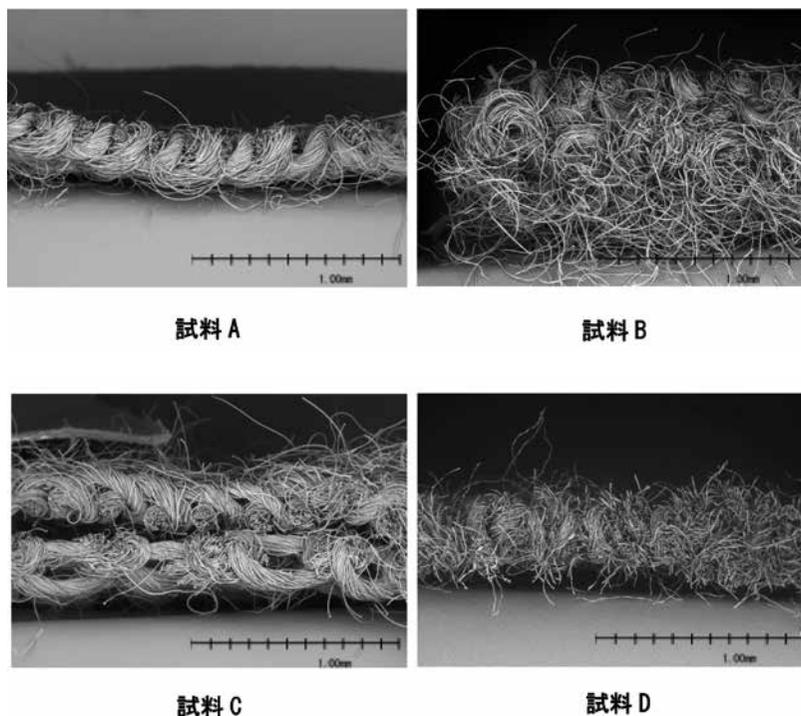


図3 電子顕微鏡による試料布の断面観察

着能力が高いため試料A, Bに比べて水分率および ΔT_{max} が高い値を示した。

さらに、熱保持指数を試料ごとに比較すると、試料C、試料D、試料B、試料Aの順で高くなっている。発生した熱の保持は空気層が大きく関係する。試料布の断面構造を図3に示す。図3のように、試料Bと試料Cは試料布が厚く、多くの孔や空間層が認められた。試料Aと試料Bは同じ組成であるが、試料Bは試料Aよりも厚く、空気層が多いため、試料Bは試料Aよりも熱保持指数が高い。繊維中の官能基と水分子の相互作用で湿潤熱が発生し、その熱を抱き込む空気層の量によって熱保持指数が影響すると考えられる。また、半減期は試料中の官能基の放熱速度を示しており、試料Cは半減期が高い値を示していることからアクリレート繊維の放熱速度が遅いことを示しており、換言するとアクリレート繊維は吸熱しやすく放熱しにくく、吸湿発熱保持特性に優れることを

意味している。一方、試料Dは綿100%で、水分率、 ΔT_{max} および熱保持指数が高い値を示した。

2. 2 吸湿発熱繊維を用いたウェアの熱特性評価と被験者による着用実験

吸湿発熱繊維は、周知のように不感蒸泄が発生しなければ発熱しない。そこで、試料インナー上衣および試料ウェア上衣の熱抵抗値を算出し、その結果を表2に示す。試料A～Dの試料インナー

表2 試料ウェアの熱抵抗値

試料名	熱抵抗値
試料A	0.135
試料B	0.141
試料C	0.143
試料D	0.133
試料A・スエット	0.195
試料B・スエット	0.205
試料C・スエット	0.208
試料D・スエット	0.193

は、試料布の厚さが厚い試料Bと試料Cは、試料Aと試料Dと比較して熱抵抗値が少し高いが大きな違いが認められなかった。また、試料インナーとスエットを組み合わせると、さらに熱抵抗値が高くなった。サーマルマネキンは発汗しないために、吸湿発熱繊維の種類による熱抵抗値の違いは認められなかった。

健康成人は、常温安静時1日に約900ml（皮膚

から約600ml、呼気による喪失分が約300ml）不感蒸泄として発散させている⁸⁾。実際に被験者が4種類の試料を着用して人工気候室内で運動し、発汗量、温冷感や湿潤感などの着用感、衣服内温湿度を測定した。被験者の皮膚から発散した不感蒸泄が試料中の官能基に吸着し湿潤熱が発生すると衣服内温度は上昇する。代表的な被験者の前胸部分の衣服内温度を図4に示した。本実験は、安静

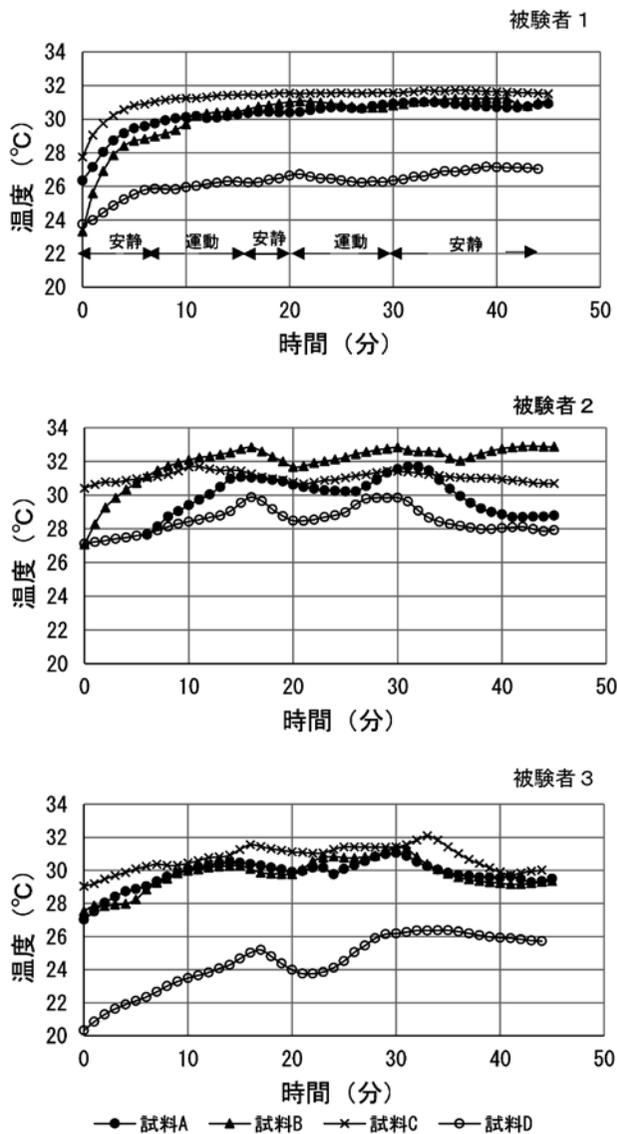


図4 被験者3名が試料ウェア着用時の衣服内温度(前胸部分)

5分、運動10分、安静5分、運動10分、安静15分のプロトコルで、被験者3名がこのプロトコルを2回繰り返した。最初の安静時は、試料Cを被験者が着用時に最も暖かいと感じ、衣服内温度の高い人が多かった。運動時は、試料Cまたは試料Bを着用時に衣服内温度が最も高いことがわかった。一方、試料Dは被験者3人ともに、安静、運動のいずれの段階において衣服内温度が最も低いことがわかった。試料Dは不感蒸泄によって吸湿発熱した湿潤熱を保持できるために、 ΔT_{max} および熱保持指数が高いことを示している。しかし、試料Dは着用実験でいずれの段階においても試料布の中でもっとも低い衣服内温度を示した。この理由として、 ΔT_{max} および熱保持指数などは、2つのチャンバーを用いて、試料を垂直に設置して水平方向から高温の空気を流しており、一定方向からの空気の流れでしか測定しない方法による可能性が考えられる。他方向から計測する必要があり、熱特性値は異なることが予想できる。また、電子顕微鏡観察でもわかるようにその他の試料に比べて試料Dは皮膚から接触する面積が大きい。試料Dは綿100%で水分率は高く、吸湿した不感蒸泄が綿の水酸基と反応して湿潤熱が発生するが、15℃という外気温により次々に発生する不感蒸泄が冷却されて衣服内温度が最も低い値を示したと考えられる。

本実験では、試料ウェアを着用時の皮膚とインナーとの間およびインナーとスエットの間の空気層の温湿度を測定したが、サーマルマネキンの熱抵抗値と同様に試料ウェアの種類による温冷感や湿潤感の違いは、皮膚とインナーとの間に空気層の温湿度が大きく影響し、インナーとスエットの間の空気層の温湿度は影響しなかった。

3. 結論

本実験は、吸湿発熱繊維の ΔT_{max} や熱保持指数などの熱特性値と着用感や衣服内温度との関係

を検討した。これらのパラメーターと実際の着用時の衣服内温度と違いが認められ、検討すべき項目が明らかとなった。また、吸湿発熱繊維が皮膚に与える温感は皮膚と接触する布帛面の刺激としてとらえることができる。人は脳内で情報を処理して伝達し、活動神経近傍の限られた領域では血管が拡張して血流量が増加する。これに従って酸素化ヘモグロビン濃度(oxy-Hb)が増加するため、近赤外線の光を利用してoxy-Hbの変化量に注目することで脳の活動状態を知ることができる。しかし、本実験ではその皮膚感覚と脳活動との関係は、まだ予備実験の範囲であり、明確な答えが得られていないために、詳細を検討する必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、研究助成金を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼を申し上げます。本研究は、大妻女子大学研究倫理委員会(受付番号2019-011)の承認を受けて行いました。また、実験にご協力いただきました大妻女子大学の学生に深く感謝申し上げます。

文献

- 1) 水谷千代美, 辻井敬亘, 福田猛, デサントスポーツ科学, 17, p.77-86 (1996)
- 2) Chiyomi Mizutani, Yoshinobu Tsujii, Noelle Bertoniere, *Textile Research Journal*, 69 (8), p.559-564 (1999)
- 3) 水谷千代美, 辻井敬亘, 宮本武明, デサントスポーツ科学, 21, p.95-102 (2000)
- 4) 松本喜代一, 呉鶯, 泉由美子, 植嶋宏元, 繊維機械学会誌, 52 (7) p.T105-T112 (1999)
- 5) 團野哲也, 衣服の百科事典, 日本家政学会, 丸善出版, p.26-29 (2015)
- 6) 生地吸湿発熱性試験方法 - 第1部: 最大吸湿発熱温度測定法, JISL1952-1 (2021)
- 7) 生地吸湿発熱性試験方法 - 第2部: 熱保持指数測定法, JISL1952-2 (2021)

- 8) 日本緊急医学会医学用語解説集 <https://www.jaam.jp/dictionary/dictionary/word/0515.html>, 閲覧日

2023年5月19日