セリシン加工スポーツウェアが人体生理および疲労抑制に及ぼす影響

富山大学人間発達科学部 諸岡晴美
セーレン (株) 不破順清・長田勝栄
奈良女子大学生生活環境学部 諸岡英雄

Effects of Sericin Processed Sportswear on Physiological Response and Fatigue.

Harumi Morooka^{*1}, Naozumi Fuwa^{*2}, Katsue Osada^{*2} and Hideo Morooka^{*3}

^{*1} Faculty of Human Development, Toyama University, 3190, Gofuku, Toyama 930-8555, Japan

^{*2} SEIREN Co., Ltd., 10-1, Keya 1 Chome, Fukui 918-8560, Japan

^{*3} Faculty of Life and Environment, Nara Women's University, Kita-uoya Nishi-machi,
Nara 630-8506, Japan

Abstract: Wear experiments were conducted to examine clothing temperature (T_{cl}), clothing humidity (H_{cl}), oral temperature (T_{co}), sweat rate (SW), heart rate (HR), subjective feelings, and body reaction time. A Kraepelin test was performed using a sericin processed sportswear and a regular one as a control.

1. The sericin processed garment had lower values of T_{co} , HR and SW than the regular one. From these results, it was considered that subjects that were wearing the sericin processed garment would have a lower physiological load than subjects of the regular garment.
2. From the correlation analysis, it was found that H_{cl} is a very important factor in the results mentioned above. That is, it was considered that sericin processed on wear makes the moisture and water performance of the wear increase, and then the wear can make sweat evaporate smoothly. Further, the smooth evaporation can reduce the H_{cl} , consequently, the lower H_{cl} can restrain the T_{co} , HR and SW. Because this tendency was remarkable during and just after exercise, it was suggested that the sericin processed wear is useful when sweating.
3. Subjects who wore the sericin processed wear felt lower fatigue. However, the results of the reaction time and Kraepelin test were not significant statistically.

(Received 21 June, 2005 ; Accepted 22 September, 2005)

1. 緒 言

蚕 (*Bombyx mori*) が吐き出すシルクは、フィブロインというたんぱく質の周囲をセリシンが覆った構造となっている¹⁾。シルクを用いた加工については、諸岡らが疎水性である PVC レザーにシルクの微粉末を配合することによって吸湿性が高まり使用性能が向上したと報告している²⁾。また、フィブロインのみを用いた綿の防しわ加工に関する研究もみられる^{3,4)}。一方、シルクを衣料素材として利用する場合、その独特の光沢や風合いを生み出すために、セリシンは不要成分として除去され、廃棄されてきた。フィブロインは衣料素材の有効成分であるため、

できれば廃棄成分を利用することが環境面からも望ましいと考えられる。近年、シルクの精練廃液からセリシンを回収する技術が確立し⁵⁾、また、セリシンが優れた保湿性⁶⁾と抗酸化作用⁷⁾を有することが明らかになってきている。

本研究では、セリシンを定着させたスポーツウェアを用いた着用実験を行い、運動中および運動前後の衣服内温湿度、生理反応としての口腔温、発汗量、心拍数の測定および主観評価を行った。また、疲労の指標として全身反応測定およびクレペリン検査を行い、セリシン加工ウェアの人体生理および疲労抑制に及ぼす影響を明らかにすることを目的として行った。

2. 実験方法

2.1 実験用ウェア

実験用ウェアとして、市販のスポーツウェア上衣（半そで丸首シャツ，ポリエステル94％／ポリウレタン6％）および下衣（8分丈ズボン，ポリエステル83％／ポリウレタン17％）の表面にセリシン加工を施したものと，コントロールとしてレギュラー品を用いた。

2.2 セリシン加工法

セリシン加工法については，三宅らによって生糸からセリシンを分離回収した高分子量のセリシンを他の加工剤を併用することなく繊維に定着させたという報告がみられるが⁸⁾，本報では以下のようにして加工を行った．セリシンは，「セリシンパウダー S」（セーレン[®]製）を用いた．セリシン加工前に，市販のスポーツウェアに付着している繊維加工剤や汚れを落とすため，0.1% ポリオキシエチレンオレイルエーテル 60℃ で 20 分間，浴比 1：30 の条件で洗浄し，水で充分すすいだ後脱水し，室内乾燥した。

セリシン加工は，1.3% セリシンパウダー S，1.3% ポリエチレングリコールジグリシジルエーテル，0.05% ジエチレントリアミンの水溶液を調製し，洗浄後のスポーツウェア上衣・下衣を浴比 1：20 で浸漬した．次にピックアップ率 75～80% となるようにマングルで脱水処理し，100℃ で 10 分間乾燥，160℃ で 30 秒間キュアリングを行った．さらに 80℃ で 10 分間湯洗後，水で充分すすぎ，100℃ で 10 分間乾燥した．セリシン付着量は，1.3% の水溶液の 75～80%ピックアップで約 1% 付与となるが，ドライキュア後の洗浄で 10～20% 脱落し，最終的には試料重量あたり約 0.8%～0.9% であった．なお，セリシンの定着は強固であり，30 回洗濯後も 80% 以上の残存量であることを確認している。

2.3 加工ウェアの厚さ，重さと水分特性

レギュラーおよび加工布の厚さ，重さを表 1 に，SEM 写真を図 1 に示す．厚さに大きな違いはみられないが，重さは加工布で約 10% 程度重くなっている．これは，若干の収縮が生じたためと考えられる．また，SEM 写真からはセリシンが繊維表面に付着している様子がわかる．また，水分特性として，吸湿性（水分率）および吸水性（吸水面積）の測定を行った．吸湿性については，標準状態（20℃65%RH）に加え，20℃93%RH の高湿状態での水分率を測定した．吸水性は，アクリル板上にマイク

Fig. 1 SEM micrographs of Regular fabric (a) and Processed fabric (b).

Fig. 2 Moisture regain (under 20℃ 65%RH and 20℃ 93%RH) and water absorption of samples.

ロシリンジで蒸留水を 0.3ml 滴下し，その上に試料を設置し 5 分後の吸水面積を測定した．結果を図 2 に示す．上衣・下衣ともにセリシン加工により吸湿性・吸水性の向上がみられたが，特に高湿時における水分率の向上が顕著であった．

2.4 被験者

表 2 に示す年齢 20～24 歳，身長 161.1±5.8cm，体重 49.5±4.2kg の体型をもつ健康な成人女性 7 名を被験者とし，レギュラー着用（以後，単にレギュラーとする）2 回，加工着用（以後，単に加工とする）3 回の実験を 1 人 1 日 1 回として，計 5 日間行った．

セリシン加工下着が，アレルギー疾患の皮膚症状に対して改善効果があったとの報告から⁹⁾，皮膚になんらかの影響を及ぼし持続的な生理変化がある可能性を考慮して，

Table 1 Thickness and weight of samples.

Wear		Thickness [※] (mm)	Weight (g/m ²)
Upper	Regular	0.63	237
	Processed	0.61	256
Lower	Regular	0.56	219
	Processed	0.60	243

※ at a pressure of 49Pa

Table 2 Physical characteristics of subjects.

Subject	Age	Hight (cm)	Weight (kg)	Body fat (%)	BMI [※]
$\bar{X}$	21.4	161.1	49.5	21.1	19.1
σ	1.3	5.8	4.2	2.5	1.6
Max.	24.0	172.0	55.4	24.8	21.6
Min.	20.0	153.0	44.0	18.5	17.3

※ BMI: Weight(kg)÷Height(m)²

Fig. 3 Protocol.

着用順序をランダムとはせず、はじめにレギュラーを2日間、その後セリシン加工を3日間連続で実験を行うこととした。なお、性周期や日内リズムによる影響を考慮して低体温期とし、被験者ごとに同一時間帯でかつ食後2時間以上経過していることとした。

2.5 測定項目

生理量として口腔温、発汗量、心拍数（R-R 間隔）の測定、主観評価として温冷感、湿潤感、快適感、疲労感の4項目、疲労の指標として全身反応時間およびクレペリン検査を行った。また、皮膚と実験用ウェアとの間の衣服内温度および衣服内湿度の測定を行った。

2.6 測定手順

実験期間を平成16年8月中旬～9月中旬とした。プロトコルを図3に示す。被験者は実験室（ $27.7 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 、 $58.3 \pm 1.1\%\text{RH}$ ）に入室後、十分に実験環境に慣れさせた後、実験用ウェアに着替えて、椅座安静状態において1回目の主観評価を行った。その後、全身反応時間の測定とクレペリン検査を行った後、各測定用センサーを被験者に貼付した。実験は、5分間椅座安静（以後、実験前とする）→10分間歩行運動（3分間5.5km/h、5分間7.5km/h、2分間8km/h。以後、運動中とする）→15分間椅座安静（以後、回復期とする）とし、この間の計30分間の口腔温、発汗量、心拍数（R-R 間隔）および衣服内温湿度の測定を行った。運動直後に2回目の主観評価を行い、測定を一旦終了し、各種センサーをできるだけ迅速に取りはずした。その後、再び疲労度を上げるために歩行運動（5分間8km/h）を行った後に、全身反応時間の測定とクレペリン検査を行った。

口腔温（舌下温）は、精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ の熱電対型温度センサーを用い、インターバル2秒で測定した。発汗量は、連続蒸散・発汗測定装置（K&S 株式会社）を用い、背部と左大腿前面（以後、脚部とする）にセンサーを貼付し、インターバル2秒で測定した。心拍数は、Polar バンテージ NV ハートレートモニター（キャノントレーディング株式会社）を用い、インターバル2秒で測定した R-R 間隔から算出した。衣服内温湿度は、背部と脚部に精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 、 $2\%\text{RH}$ のセンサーを貼付し、インターバル2秒で測定した。主観評価は、温冷感（7段階）、湿潤感（5段階）、快適感（4段階）、疲労感（4段階）について行わせた。全身反応時間は、全身反応測定器 II 型（竹井機器工業株式会社）を用い、光（赤）刺激に対する反応時間（光を認識してから垂直飛びによりマットから足が離れるまでの時間）を3回練習した後に測定を5回行わせた。クレペリン検査は、連続加算作業1分間を5回、すなわち5分間行わせた。

3. 結果および考察

結果は、レギュラーについては実験14回（＝着用実験2回×被験者数7人）、加工については実験21回（＝着用実験3回×被験者数7人）の平均値を用いて解析を行った。なお、平均値の差の検定はスチューデントの t 検定を用いて行った。

3.1 生理量および衣服内温湿度の変化挙動

レギュラー着用時の各測定値 X_R から加工着用時の各測定値 X_P を差し引いた ΔX （ $= X_R - X_P$ ）を5分ごとに平均した値および ΔX の最大値とそれが生じた実験時間を表3に示す。また、口腔温 T_{co} 、発汗量 SW 、衣服内湿度 H_{cl} の変化挙動を図4、図5、図6に示す。

口腔温 T_{co} （図4）は、加工・レギュラーともに運動による代謝産熱の増大により運動開始後緩やかに上昇し、運動中期の歩行速度の増加により急速に上昇した。運動停止後も持続的な代謝亢進と強制対流の停止により T_{co} はさらに上昇し、そのまま平衡を保ち、実験終了時までほとんど回復しなかった。このような T_{co} の変化は運動による生理的メカニズムによるものであるため、両ウェアはほぼ同様の挙動を示したものと推察される。しかし、ウェアにより T_{co} 値には相違が認められ、加工はレギュラーより全般的に T_{co} が低く、運動時～運動停止直後に最大 0.09°C 、5分平均では $0.06\text{--}0.05^\circ\text{C}$ 低い傾向がみられた。心拍数 HR は、運動によって筋組織への酸素の需要が高まるために、運動開始後即座に上昇し、歩行速度が増加するたびにさらに上昇し、約 160beat/min にまで達した。運動後期～回復期にかけての両ウェアの HR の相違が大きく、加工はレギュラーに比べて最大で3.5拍、5分間平均では $1.9\text{--}2.6\text{ beat/min}$ 低い傾向がみられた。

Table 3 The mean values of the difference between the processed wear and the regular wear were calculated every five minutes.

Term		$\Delta X = X_R - X_P$							Max.(Time)
T_{co} ($^\circ\text{C}$)		0.04	0.06	0.05	0.05	0.02	-0.01	0.09 (6min.)	
HR (1/min.)		-1.3	-0.1	1.9	2.6	2.2	2.2	3.5 (21min.)	
SW (mg/cm^2)	Back	0.07	0.05	0.09	0.07	-0.03	-0.02	0.11 (13min.)	
	Leg	0.04	0.05	0.18	0.16	0.05	0.03	0.21 (14min.)	
T_{cl} ($^\circ\text{C}$)	Back	-0.08	0.01	0.08	-0.07	0.02	0.14	0.21 (11min.)	
	Leg	-0.02	-0.07	-0.13	-0.06	-0.06	0.00	-0.22 (14min.)	
H_{cl} ($\%\text{RH}$)	Back	2.2	1.7	5.1	3.1	5.7	6.7	7.1 (28min.)	
	Leg	0.4	-0.3	3.8	1.3	2.0	2.1	5.2 (11min.)	
Experimental time (min.)		0-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30		
		Rest	Exercise	Exercise	Exercise	Exercise	Rest		

X_R and X_P denote the experimental values in wearing the regular garment and processed garment, respectively.

Fig. 4 The changes in oral temperature T_{co} .

発汗量 SW (図 5) は、実験が夏季であったため、発汗潜伏期が短く、運動開始約 2 分以後から発汗量が急激に増大した。運動中～運動直後の SW の挙動は T_{co} と類似していた。このことは、深部温を恒温に維持しようとする自律性体温調節として発汗が促進されたことを示唆するものであり、 T_{co} の高かったレギュラーで SW が大きく、 T_{co} の上昇が小さかった加工で SW が小さい傾向がみられ、運動後期には最大で 0.11 mg/cm^2 (背部)、 0.21 mg/cm^2 (脚部) の差がみられた。

衣服内温度 T_{cl} は、両ウェアともに運動開始後に強制対流により歩行速度の上昇とともに低下し、運動終了直前には、背部で約 0.7°C 、脚部で約 1.0°C 低下した。また、運動終了後は強制対流の停止により約 1.5°C 急速に上昇する傾向がみられた。これらの変動に比べて両ウェア間の相違は小さかった。衣服内湿度 H_{cl} (図 6) は、発汗量 SW が上昇し始める時間 (図 5 参照) とほぼ同時刻に上昇し始めるなど、SW の変化とほぼ同様の挙動を示した。また、SW の高かった未加工 (背) > 加工 (背) > 未加工 (脚部) > 加工 (脚部) の順に H_{cl} が高い傾向がみられた。また、運動後半および回復後半で両ウェアの相違が大きく、加工はレギュラーに比べて最大で 7.1% (背部)、5.2% (脚部) 低い傾向がみられた。

3.2 衣服内温湿度と各生理量間の関係

被験者 7 名の加工およびレギュラーについての衣服内温湿度、各生理量の 1 分ごとのデータを用いて運動前、運動中、回復期に分けて測定項目間の関係をみるために

Fig. 5 The changes in sweat rate SW.

Fig. 6 The changes in clothing humidity H_{cl} .

相関分析を行った。データ数は各々 70, 140, 210 である。結果を表 4 に示す。まず背部について $r > 0.5$ (表中に太字で表示) をみると、運動前では T_{co} と HR との間に、運動中では HR と SW, H_{cl} と SW, H_{cl} と HR との間に、回復期では SW と H_{cl} との間に正の相関がみられた。脚部においては、運動前安静時において T_{cl} と T_{co} , T_{cl} と HR との相関がみられたが、運動中においては T_{cl} と生理量との関係は小さくなり、 H_{cl} との相関が高くなるなど背部とほぼ同様の傾向がみられた。これらの各測定項目間の相関関係はヒトの自律性体温調節の観点から以下のように考察することができる。

運動を開始すると、骨格筋等の末梢組織の産熱量が急増するために酸素の需要が高まり、心拍数が増加する。また、産熱の増大により T_{co} が上昇傾向を示す。恒体温を維持するためには、放熱を促進する必要がある。皮膚血流量が増加し、さらには発汗する。運動開始初期のこの変化挙動は生理的メカニズムによるものであるため、この期間のウェア間の相違は小さい。発汗後、着用しているウェアが汗を迅速に外界に放出しなければ H_{cl} が上昇する。 H_{cl} が上昇すると皮膚からの直接の潜熱放散が減少し、深部体温である T_{co} が上昇する。 T_{co} が上昇すると、顕熱放散を促進するために血管拡張が生じ一回拍出量が減少し¹⁰⁾、HR が増大するとともに SW がさらに増大するというフィードバックに繋がる。このことは、 T_{co} 、HR、SW の生理量において特に発汗量が多い運動後半および運動停止直後で両ウェアの相違が大きく、 ΔX の最大値もほとんどが運動中であったことから裏付けられる (表 3 参照)。すなわち、セリシン加工ウェアを着用した場合、 H_{cl} の上昇が抑制されたことが、SW の抑制と HR の上昇抑制に繋がったと考えられる。また、回復期においても H_{cl} と SW との間に有意な相関がみられたもののその相関係数は低く、運動前では H_{cl} との関係はみられなかった。このことは、セリシン加工の効果が発汗時で有効であることを示唆するものである。

セリシン加工ウェアは、吸湿・吸水性が向上したこと、特に高湿時の吸湿性の増大が大きかったことが汗を迅速にウェアに吸着し衣服内湿度を低下させたと推察され、このことが発汗時においてレギュラーより人体の生理的負荷を低下させたものと考えられる。

Table 4 Correlation coefficients between clothing climate and physiological values.

		Back				Leg			
		T _{co}	SW	HR	T _{cl}	T _{co}	SW	HR	T _{cl}
Rest (before)	SW	0.158				0.157			
	HR	0.734 **	0.282 *			0.734 **	0.126		
	T _{cl}	0.471 **	0.048	0.308 **		0.701 **	0.147	0.806 **	
	H _{cl}	-0.125	-0.072	0.006	-0.713 **	-0.425 **	0.174	-0.378 **	-0.431 **
During (exercise)	SW	0.268 **				0.307 **			
	HR	0.215 *	0.792 **			0.215 *	0.675 **		
	T _{cl}	0.408 **	-0.270 **	-0.352 **		0.443 **	-0.276 **	-0.364 **	
	H _{cl}	0.143	0.774 **	0.817 **	-0.529 **	0.122	0.781 **	0.852 **	-0.433 **
Rest (recovery)	SW	0.327 **				0.244 **			
	HR	0.277 **	0.345 **			0.277 **	0.261 **		
	T _{cl}	0.308 **	-0.045	-0.319 **		0.143 *	-0.171 *	-0.034	
	H _{cl}	0.206 **	0.551 **	0.246 **	0.051	0.225 **	0.490 **	0.213 **	-0.281 **

** : p<0.01, * : p<0.05

3.3 主観評価

結果を表5に示す。点数が高いほど、暑い、べたついている、不快、疲れていることを示す。実験前に比べて実験後にはどの項目も点数が高くなった。温冷感、湿潤感、快適感においては両ウェアの差はみられなかった。しかし、疲労感では実験後に加工の方が危険率5%で有意に疲労度が低いと評価され、前述のレギュラーにおける生理量負荷が少なからず影響を及ぼしたものと推察される。

Table 5 Subjective feeling.

Sample	Subjective Feeling							
	Thermal		Humid		Comfort		Fatigue	
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
Regular	4.6±0.79	6.9±0.19	2.9±0.56	4.8±0.27	1.4±0.34	3.1±0.45	1.4±0.48	2.6±0.24
Processed	4.4±0.37	6.9±0.16	3.0±0.51	4.9±0.16	1.2±0.32	3.0±0.33	1.4±0.40	2.3±0.51

* : p<0.05

3.4 全身反応時間およびクレペリン検査

全身反応時間およびクレペリン検査においては、個人の運動神経や計算能力の相違が大きいため、被験者ごとに実験前後の変化率 $\angle Y$ ($=100(Y-Y_0)/Y_0$) を算出した。ここで、 Y は実験後の値、 Y_0 は実験前の値を示す。その結果、被験者平均では、全身反応時間の $\angle Y$ は両ウェアともに実験後に反応時間が短くなった。また、その傾向はレギュラーで大きかった。クレペリン検査においても、両ウェアともに実験後に解答数が増加し、その傾向はレギュラーで大きかった。実験後にむしろ成績が向上した理由については、疲労以上に鍛錬の効果が大きかったためと考えられる。また、加工に比べてレギュラーで実験後に成績が向上したことについても、鍛錬の効果が初期でより大きいことによるものと推察される。一方、疲労により作業効率が不安定になることが指摘されている¹¹⁾。そこで、全身反応時間およびクレペリン各々の測定回数5回の平均値 (レギュラー $\bar{Y}_0$, 加工 $\bar{Y}$) と標準偏差 σ を用いて変動率 CV ($=100\sigma/\bar{Y}_0$, $=100\sigma/\bar{Y}$) を求めて解析したが、やはり両ウェアの相違はみられなかった。しかし、実験後に作業効率が低下したケースが約半数みられ、検討した結果 (図7)、加工はレギュラーに比べて値がやや小さく、作業効率の不安定性が少ない傾向がみられた。

しかし、統計的に有意ではなかった。このように全身反応時間がクレペリン検査において両ウェアの相違を明確にできなかった理由の一つとして、本研究での運動負荷が小さかったことがあげられ、これについては今後の課題としたい。

Fig. 7 Coefficients of variations in the reaction time and Kraepelin test.

4. 結 語

運動中および運動前後の衣服内温度 T_{cl} 、衣服内湿度 H_{cl} 、口腔温 T_{co} 、発汗量 SW および心拍数 HR の測定、主観的な着用感評価、全身反応測定およびクレペリン検査から、セリシン加工スポーツウェアの人体生理および疲労抑制への影響を明らかにすることを目的として行った。

加工ウェアはレギュラーに比べて、 T_{co} 、 HR 、 SW が低く生理的負荷が小さいと判断された。また、測定項目間の相関分析により、 H_{cl} が重要な因子であることがわかった。すなわち、ウェアにセリシンを定着させることにより、ウェアの吸湿性および吸水性が向上し、汗の円滑な蒸発により H_{cl} が低下したことが T_{co} 、 HR 、 SW の上昇を抑制したと推察された。なお、この傾向が特に運動後半および運動停止直後において大きかったことから、セリシン加工ウェアは発汗時に有効であることが示唆された。

また、主観評価では、加工ウェア着用時の疲労度が有意に低かったが、疲労の指標として測定した全身反応時間およびクレペリン検査におけるウェア間の相違は認められなかった。

文 献

1. M. Minagawa, "Kinu no Kagaku", Kansai Iseikatsu Kenkyukai, 29-31 (1982).
2. Y. Yamauchi, H. Morooka et al., *Sen'i Gakkaishi*, **58**, 202-208 (2002).
3. Y. Kawahara, *Sen'i Gakkaishi*, **52**, 562-565 (1996).
4. Y. Kawahara, *Sen'i Gakkaishi*, **54**, 122-125 (1998).
5. M. Nomura and H. Yamada, *Sen'i Gakkaishi*, **48**, 305 (1992).
6. R. Voegeli et al., *Cosmetics & Toiletries*, **108**, 101 (1993).
7. N. Katoh, S. Satoh, A. Yamanaka, H. Yamada, N. Fuwa,

- and M. Nomura, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **62**, 145 (1998).
8. H. Miyake, S. Yamashita, et al., *Sen'i Gakkaishi*, **60**, 271-275 (2004).
 9. A. Shoji, A. Inoue, et al., *Hifu*, **41**, 481-491 (1999).
 10. S. Nakano, S. Shigeta, “*Zusetsu Karada no Jiten*”, p.351, Asakura shoten (1992).
 11. S. Nakano, S. Shigeta, “*Zusetsu Karada no Jiten*”, p. 388, Asakura shoten (1992).