

素材の吸湿性・吸水性の有無がタイトフィットスポーツウェア着用時における運動時の衣服内気候に及ぼす影響

神戸大学大学院 井上 真理
(共同研究者) 同 大上 安奈
同 近藤 徳彦

The Effects of Hygroscopicity and Absorbency of Fabrics in a Tight Fitting Sport Wear on Clothing Environment During Exercise in Human Who Clothed

by

Mari Inoue, Anna Ooue, Narihiko Kondo
Kobe University,
Graduate School of Human Development and Environment

ABSTRACT

To investigate the effect of hygroscopicity and absorbency of fabrics on clothing environment during exercise in human who clothed different types of tight fitting sports wear, six healthy male and female performed a cycle at almost 120-130 beats/min of heart rate (HR) for 40 min. We selected an environmental condition of air temperature 23 °C and relative humidity RH of 50% with different tight fitting underwear of two fiber types (cotton 95% and polyurethane 5%: C95P5, polyester 80% and polyurethane 20%: P80P20) . All subjects wore underwear with long sleeves and polyester T-shirt with short sleeves and a running short pant throughout each experiment. There was no marked difference in oral temperature, mean skin temperature and average skin temperatures between two fiber types during exercise, but there was a tendency that mean skin temperature from chest, back, upper arm and thigh in C95P5 was higher than P80P20. While the humidity in a space between underwear and T-shirt, and comfort sensation in P80P20 were significantly higher than in C95P5, humidity sensation was markedly lower

in the former condition that the latter condition ($p < 0.05$). These results suggest that the differences of fiber types, that is, the hygroscopicity and absorbency of fabrics were effective on clothing environment during exercise in human who clothed a tight fitting sport wear.

要 約

タイトフィットスポーツウェアの吸湿性、吸水性の有無が運動時における衣服内気候に及ぼす影響を明らかにするために、健康な男女6名に心拍数が120～130拍/分になる強度の自転車運動を40分間実施した。環境条件は23℃、50%RHとし、タイトフィットのアンダーウェアとしてC95P5（ポリウレタン混綿布）とP80P20（ポリウレタン混ポリエステル布）の長袖2種類の上にポリエステル100%の半袖Tシャツと短パンを着用した。運動中の体温、平均皮膚温、局所皮膚温ともに素材による顕著な差は認められなかったが、胸部、背部、上腕部、大腿部の皮膚温および平均皮膚温でC95P5が高いという結果が得られた。アンダーウェア-Tシャツ間の衣服内湿度と快適感にはP80P20の方がC95P5より有意に高く、湿潤感には有意に低い値を示した ($p < 0.05$)。以上、タイトフィットアンダーウェアの素材の熱・水分移動特性、特に吸湿性、吸水性、放湿性の違いが衣服内気候に影響を及ぼすことが明らかになった。

緒 言

野球やアメフトなどのスポーツにおいてユニフォームのインナーとして、体にぴったりしたタイトフィットのウェアが着用されている。このウェアの特徴としてどの会社もパンフレット等には、衣服圧がかかることで筋肉の補強になることと、速乾性があり多量の汗を処理することができることを挙げている。速乾性は、吸湿性がなく放湿性の高い合成繊維に吸水性加工を施すことで、液体

の汗を吸い上げ、すばやく衣服表面から外界へ放出することで得ている。これらのウェアの発汗前後の衣服内気候、体温調節反応は、吸湿性の高い綿とどのように異なるのであろうか。

衣服が運動中の生体反応に及ぼす影響を検討したこれまでの研究のほとんどは体温調節反応をもとにしたもので、その中でも、衣服の着用や被服面積の影響^{1, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 18, 20, 21, 22, 25, 26}) や衣服の素材の違いの影響^{2, 3, 6, 14, 15, 16, 23, 24, 27}) を検討した研究が見られる。また、素材の違いに関しては、暑熱条件下では吸湿性の低い素材の衣服内湿度が高くなり、発汗開始時間が早く、また、発汗速度が速くなって深部体温が高くなるなどの研究結果が出されている²⁵)。

衣服着用時でも快適に運動を行うためには、できる限り一定範囲内に衣服内環境を保つ必要があると考えられ、これには、1) 皮膚表面の皮膚血流量や発汗量などの体温調節反応、2) 衣服材料の性質（特に吸湿性・吸水性・放湿性・通気性等）、3) 外部環境条件（温度、湿度および気流）の要因が関係している¹³)。衣服がかかわるこれまでの研究では、ゆとり量のあるTシャツや肌着を試料として布特性の異なる衣服着用時の生理反応の違いを検討しているものが多い。しかし近年のようにポリウレタンを混紡することによって筋肉を補助する等の性能を備えたタイトフィットウェアがスポーツウェアの主流になっている中で、布の性質の違いはゆとり量のあるウェア着用時とは異なる影響を運動時の衣服内環境や体温調節反応の変化に与える可能性がある。しかし、これまでの研究でタイトフィットウェア着用時の運動時の体

温調節反応に及ぼす影響を詳細に検討したものはほとんどない。

そこで、本研究では素材の異なるタイトフィットウェア着用時の運動時における衣服内環境や体温調節反応を検討した。また、スポーツウェアはヒトの体表面と外界との熱水分移動を適切に行えば、運動を快適で安全に実施することができる。本研究の結果は、スポーツウェアに多く用いられている合成繊維の熱・水分移動特性の影響をより発揮するための基礎資料となり、スポーツウェアの設計時において有用な情報を提供できると考えられる。

1. 方法

1.1 試料

衣服の素材はポリエステル80%・ポリウレタン20%の混紡布(P80P20)と綿95%・ポリウレタン5%の混紡布(C95P5)の2種類とした。タイトフィットウェアの特徴としてポリウレタンを混紡した布を材料とした市販の長袖シャツを選んで購入し、首もとの形状を揃えた。

それぞれの布の特性を表1に示す。試料の厚さは、0.5gf/cm²で測定した。熱・水分移動特性として、サーモラボIIを用い、熱伝導特性としての熱コンダクタンス K ¹⁰⁾、接触冷温感 q_{max} ²⁸⁾、乾燥条件での熱損失 Q_d 、発汗皮膚を模擬して水分

の移動を伴った熱損失 Q_w を測定した¹⁰⁾。熱伝導特性としての熱コンダクタンス K は20℃のWater Boxと30℃の熱板の間に試料を置いたとき、熱板の温度を一定に保つために必要な熱流量で示した。接触冷温感 q_{max} は試料に温度差10℃の熱板を接触させたときの熱流速最大値である。さらに保温性を求めるため、丸型風洞に整流0.1m/secの空気を試料上面に垂直にあて、試料上面の空気条件をできるだけ一定に保った状態で、人体皮膚を模擬した温度30℃の熱板から試料を通して室温20℃への熱損失のうち、乾燥条件での熱損失 Q_d 、濡れたろ紙を用いた湿潤条件での熱損失 Q_w を測定した。こうして得られた熱損失より、次式によって水分移動速度 m を求めた¹⁰⁾。

$$m = (Q_w - Q_d) / b \quad \dots (1)$$

ここで、 b は蒸発潜熱(30℃のとき2422J/g)である。通気抵抗 AR は通気度試験機(KESF-8AP)¹¹⁾により測定した。吸水率 WA は(2)式により求めた。

$$WA = (W' - W) / W \times 100 \quad \dots (2)$$

ここで、 W は20℃65%RHにおける試料布の重さ、 W' は最大量吸水した試料布の重さである。

P80P20は繊維そのものの性質として吸湿性をもたないが、吸水性能は高く、放湿性が高い。それに対してC95P5は綿繊維の性質として吸湿性は高いが、吸水するまでの時間が長く、一旦吸水す

表1 アンダーウェア試料の詳細

特性	単位	C95P5	P80P20
繊維組成		綿 95% ポリウレタン 5%	ポリエステル 80% ポリウレタン 20%
編密度	段数 wale/cm	22.5	24.0
	ループ数 course/cm	23.0	22.5
構造	厚さ mm	1.013	0.573
	重量 mg/cm ²	24.8	17.8
熱伝導特性	K W/m ² ·K	8.85	10.2
接触冷温感	q_{max} W/m ²	0.140	0.183
熱損失 (乾燥条件)	Q_d W/m ² ·K	8.67	8.82
(湿潤条件)	Q_w W/m ² ·K	31.4	34.2
水分移動速度	m g/m ² ·sec	0.00936	0.01021
通気抵抗	AR kPa·sec/m	0.531	0.372
吸水率	WA %	419	110

るとなかなか放湿しないという性質をもっている。

1. 2 被験者

年齢 21.8 ± 0.3 才，身長 164.8 ± 2.9 cmおよび体重 55.0 ± 3.1 kgの健康な成人男女6名を被験者とした。実験に参加するに当たり，事前に実験の目的，方法，測定項目などの説明を行い，参加の同意を書面にて得た。なお，本研究計画は神戸大学大学院人間発達環境学研究科における人を直接の対象とする研究審査を受け，研究倫理審査委員会の承認を得た。

1. 3 環境条件および実験手順

環境温度は 23°C ，相対湿度は50%とした。前述の2種類の試料P80P20またはC95P5から構成された長袖のアンダーウェアの上にポリエステル100%の半袖Tシャツとランニング用の丈の短いパンツを着用し，心拍数(HR)が約120~130拍/分になる運動負荷の自転車運動を実施した。

被験者は前述した環境条件に設定された環境制御室(精度:室温 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，相対湿度 $\pm 3\%$ 以内，室内気流 0.1m/sec 以下，FLS-2700S，富士医科産業社製)で約50分間安静を保持した。その間に測定機器などの装着を行った。その後，ベースラインのデータを5分間測定し，続いて自転車運動を40分間実施し，終了後は10分間の回復期間を設けた。また，生体パラメータへの日内変動の影響を避けるため，各実験(2回)は別の日の同一時間帯に実施した。

1. 4 測定項目

心拍数(HR)，自覚的運動強度(RPE)，平均血圧(MAP)，体温(舌下温; T_{or})，皮膚温(T_{sk} ; 胸，背，上腕，前腕，大腿および下腿)，背および前腕の発汗量(SR)と皮膚血流量($SkBF$)，背部での衣服内温度および湿度，快適感(9スケール; 2快適，4やや不快，6不快，8

非常に不快)，温冷感(9スケール; 1非常に暑い，2暑い，3暖かい，4やや暖かい，5どちらともいえない，6やや涼しい，7涼しい，8寒い，9非常に寒い)，湿潤感(9スケール; 2非常に湿っている，4湿っている，6少し湿っている，8乾燥している)および圧迫感(9スケール; 1ゆるい，2圧迫感を感じない，4やや圧迫感を感じる，6圧迫感を感じる，8非常に圧迫感を感じる)を測定した。

衣服内温湿度は，運動時の発汗により湿度が飽和状態になることから，皮膚とアンダーウェアの間ではなく，アンダーウェアとTシャツ間での温湿度を測定することとした。

心拍数および平均血圧は自動血圧計(EBP-300，ミナト医科学社製)を用い測定した。自覚的運動強度はBorgのチャートを利用した。舌下温および皮膚温の測定には熱電対を用いた。舌下温はベースライン測定時および運動終了後の回復期間のみ，皮膚温はプロトコルをとおして連続的に測定し，Ramanathan¹⁹⁾の式により平均皮膚温を算出した。

発汗量の測定には換気カプセル法を用いた。1.54 cm^2 の円形のカプセルを測定部位に装着し，それに500mlの乾燥窒素ガスを流し，カプセルを通過した窒素の温度と湿度を温湿度センサー(HMP133Y，Vaisala社製)で計測し，発汗量を計算した。皮膚血流量の測定にはレーザードップラー法による血流測定装置(ALF21，アドバンス社製)を用いた。皮膚血流量測定用プローブの位置は発汗測定用カプセルから1.5cm以内とした。衣服内温度と湿度は温度・湿度センサー(SHTDA，ワイマチック社製)により測定した。

体温，発汗量および皮膚血流量のデータは1秒毎にデータロガー(MX100，横河電機社製)を介して，パーソナルコンピュータ(PCG-6F1N，SONY社製)に取り込んだ。自覚的運動強度，快適感，温冷感，湿潤感および圧迫感は20分毎に

被験者に申告してもらい、また、血圧も20分毎に測定した。実験前後の体重測定より総体重減少量を、衣服重量の測定より衣服に付着した汗の量を算出した。

以後、心拍数・平均血圧を循環パラメータ、体温・皮膚温を体温パラメータ、衣服内温度および湿度を衣服内環境パラメータ、快適感・湿潤感・圧迫感を感覚パラメータとする。

1. 5 データの分析および統計処理

心拍数、舌下温、皮膚温、発汗量および皮膚血流量のデータは5分毎の平均値を算出した。

統計解析として、時系列の試料間の差の検定には繰り返しのある2元配置分散分析を、総体重減少量などのデータの検定にはWilcoxon検定を用いた。いずれも有意水準は0.05%以下とした。

図中には平均値と共に標準偏差を縦線Iで示し、有意差がある場合は $p < 0.05$ を、有意差がない場合はn.s.を付している。

2. 結果

2. 1 循環・体温パラメータ

循環・体温パラメータの経時変化を図1に示す。心拍数は安静時においてP80P20がC95P5着用時よりも有意に高い値を示したが、運動時においていずれの試料着用時も運動開始10分後までに急激に増加した後、増加は徐々に緩やかになり、回復期間において低下したものの、安静時の値まで戻らなかった。経時変化に試料間の有意差はみられなかった。

平均血圧は両試料とも運動時においてわずかに増加した後、回復時においてほぼ安静時の値まで戻った。自覚的運動強度は両試料とも時間経過に伴い増加した。

舌下温は両試料とも安静時の値と比較して回復時に高い値を示した。P80P20の平均皮膚温は安静時から回復時までほとんど変化せず、C95P5着

用時のそれは運動時においてわずかに上昇した後、回復時においてほぼ安静時の値まで戻った。経時変化に試料間の差はみられなかったが、P80P20の方が低い傾向にあった。

局所皮膚温の経時変化を図2に示す。胸部および上腕部の皮膚温は両試料とも運動時においてほとんど変化しなかったが、回復時においてわずかに低下した。背部、前腕部および下腿部の皮膚温は両試料とも安静時から回復時までほとんど変化しなかった。大腿部の皮膚温は両試料とも運動時において上昇した後、回復時においてわずかに低下した。

2. 2 衣服内環境・感覚パラメータ

衣服内環境・感覚パラメータの経時変化を図3に示す。衣服内温度は両試料とも安静時から回復時までほとんど変化しなかった。一方、衣服内湿度は安静時において試料間に差はみられず、いずれの条件も運動時において上昇し、それが回復時まで維持されたが、P80P20はC95P5より有意に高い値を示した。

温冷感は安静時において試料間に差はみられず、両試料とも運動時において低下した後、回復時においてほぼ安静時の値まで戻った。湿潤感は温冷感と同様の変化を示したが、P80P20はC95P5より有意に低い値を示した。快適感は安静時において試料間に差はみられなかったが、P80P20では運動時において徐々に増加した後、回復時において低下し、一方、C95P5では安静時から回復時までほとんど変化せず、P80P20の経時変化はC95P5のそれより有意に高い値を示した。圧迫感は両試料とも安静時から回復時までほとんど変化がみられなかった。

2. 3 発汗量と皮膚血流量

発汗量と皮膚血流量の変化を図4に示す。背部と前腕部の発汗量および皮膚血流量は両試料とも

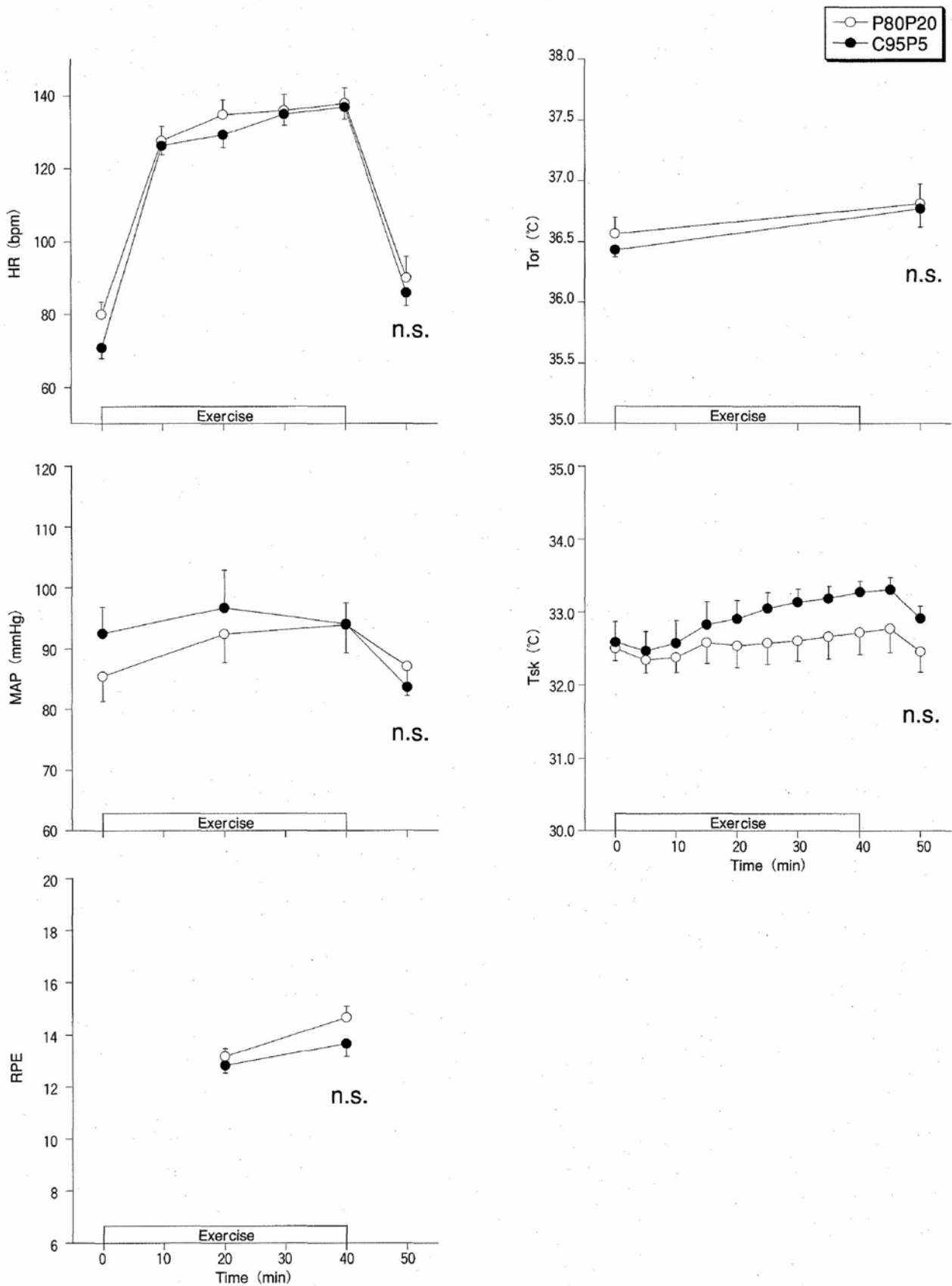


図1 実験中の心拍数 (HR), 平均血圧 (MAP), 自覚的運動強度 (RPE), 舌下温 (Tor) および平均皮膚温 (Tsk) の経時変化

P80P20: ポリウレタン混ポリエステルのアnderウェア, C95P5: ポリウレタン混綿のアnderウェア

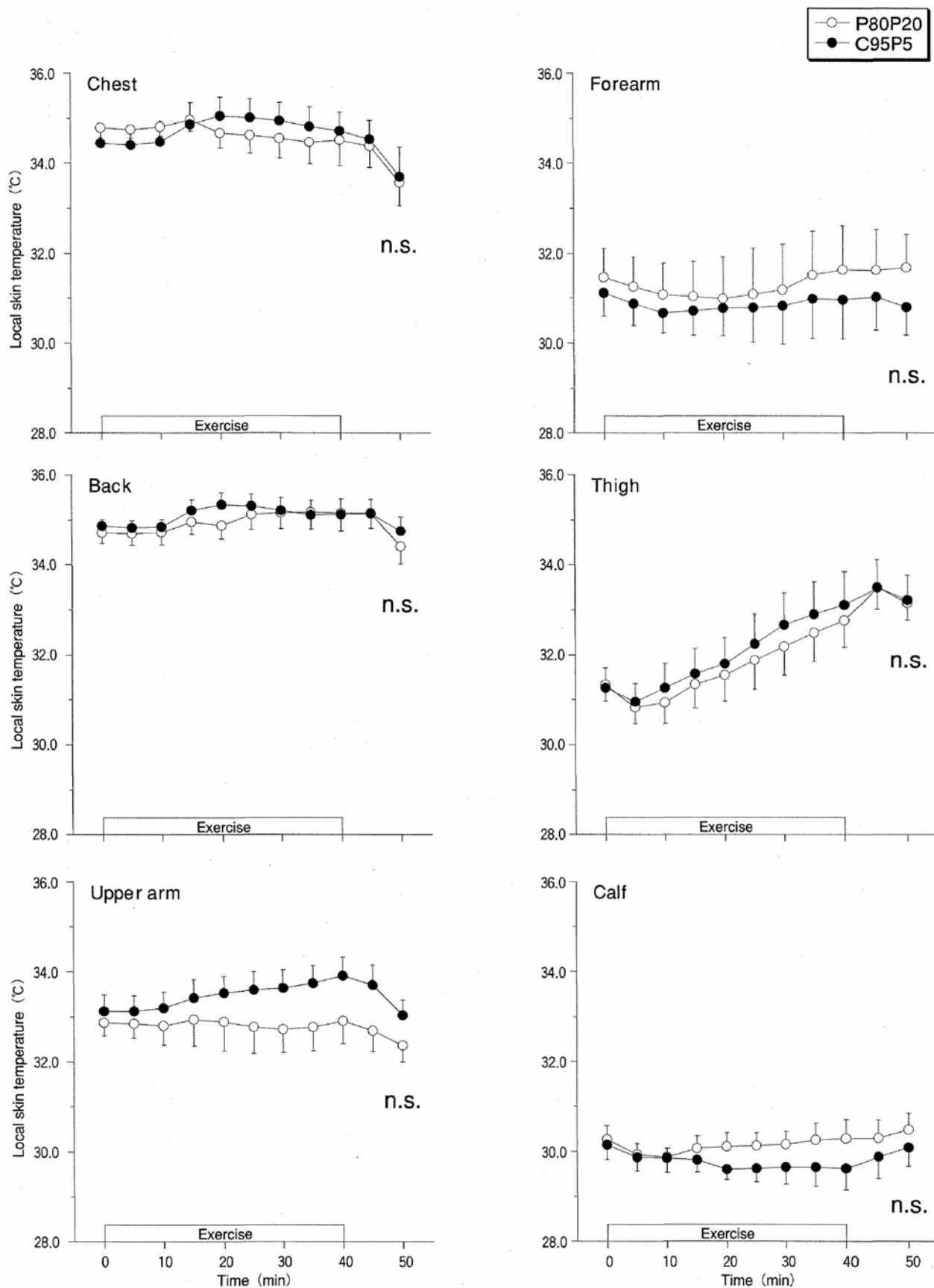


図2 実験中の各部位の局所皮膚温（胸部，背部，上腕部，前腕部，大腿部と下腿部）の経時変化

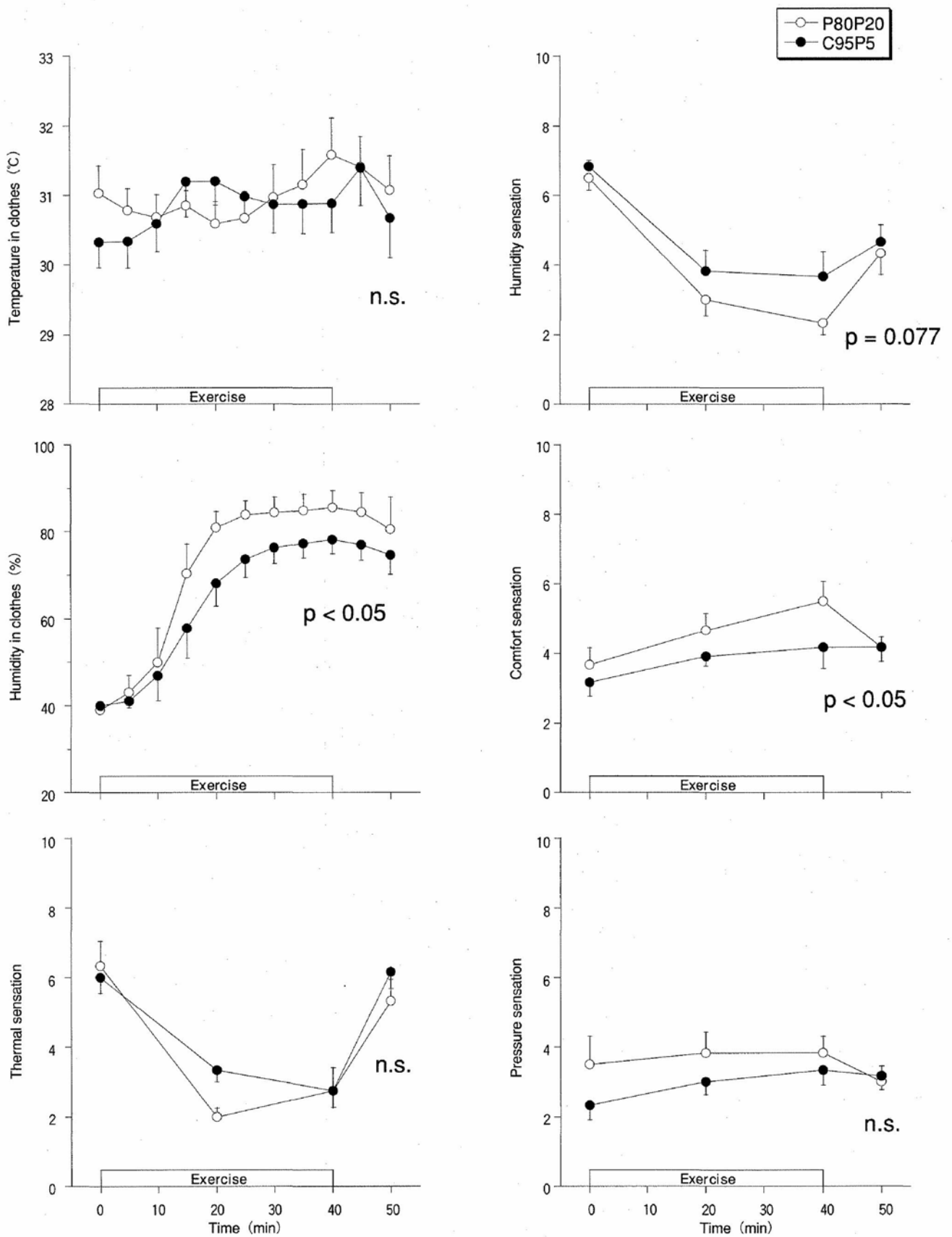


図3 実験中の衣服内温度 (Temperature in clothes), 衣服内湿度 (Humidity in clothes), 温冷感 (Thermal sensation), 湿潤感 (Humidity sensation), 快適感 (Comfort sensation) および圧迫感 (Pressure sensation) の経時変化

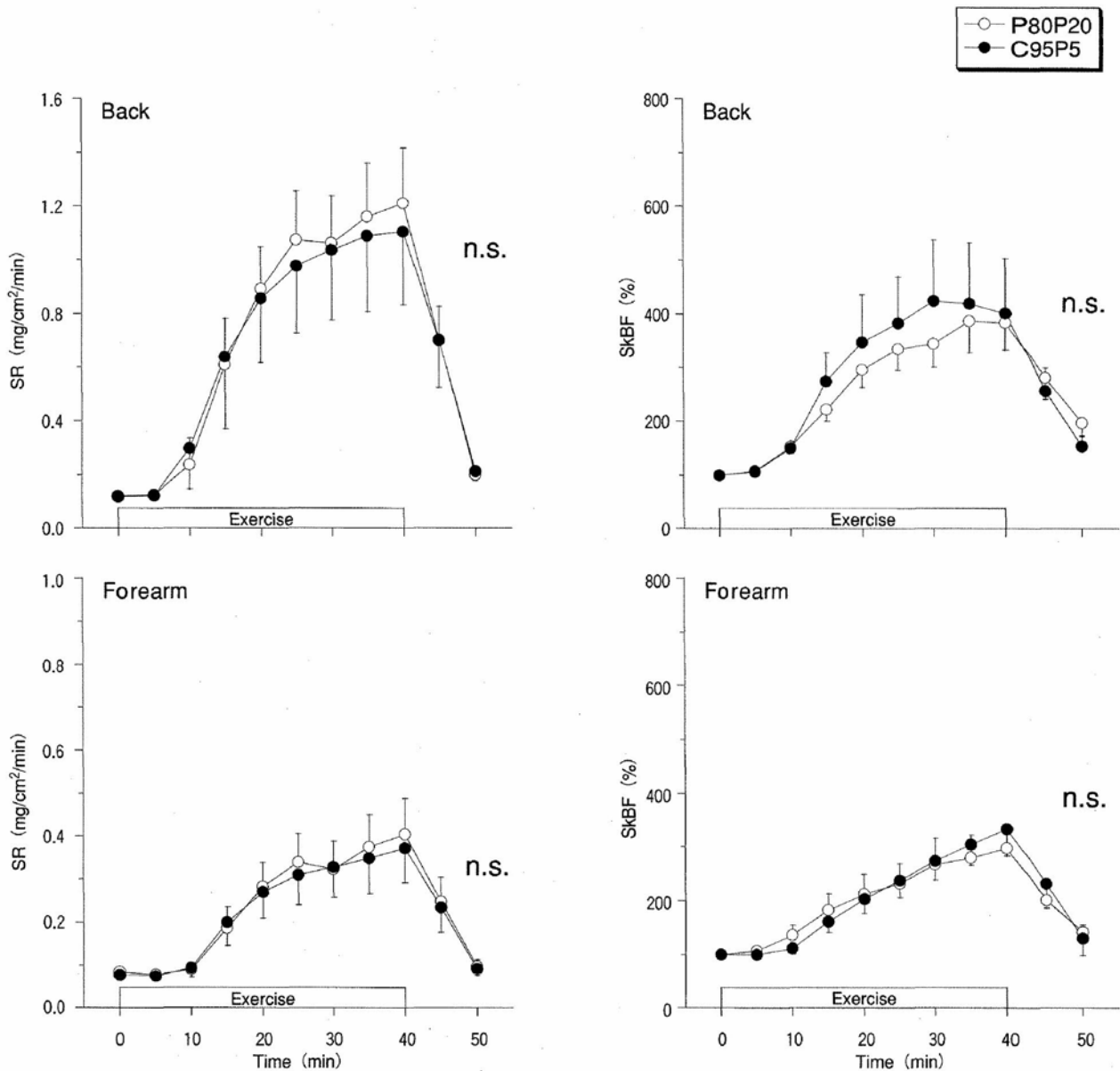


図4 実験中の背部および前腕部の発汗量 (SR) と皮膚血流量 (SkBF) の経時変化 背部SRのみ n = 5

運動時において増大した後、回復時において低下し、ほぼ安静時の値まで戻った。

2. 4 総体重減少量と着衣の重量変化量

総体重減少量と着衣の重量変化量を図5に示す。総体重減少量およびTシャツと短パンの重量変化に試料間の有意な差はみられなかったが、P80P20のアンダーウェア着用時のTシャツと短パンの重量変化量はC95P5着用時より大きい値を示した。P80P20のアンダーウェアの重量変化はC95P5より有意に小さい値を示した。

3. 考 察

3. 1 安静時

安静時において心拍数はP80P20がC95P5よりも有意に高い値を示したが、それ以外の多くの循環・体温パラメータは、素材の違いにより顕著な影響を受けなかった。有意な差ではないが、P80P20はC95P5よりも衣服内温度でやや高い値を示し、感覚パラメータの快適感、圧迫感においてやや高い値を示している。衣服内湿度には差が見られなかった。ポリウレタンの混率が高いP80P20はC95P5に比べて同じ伸長ひずみにおけ

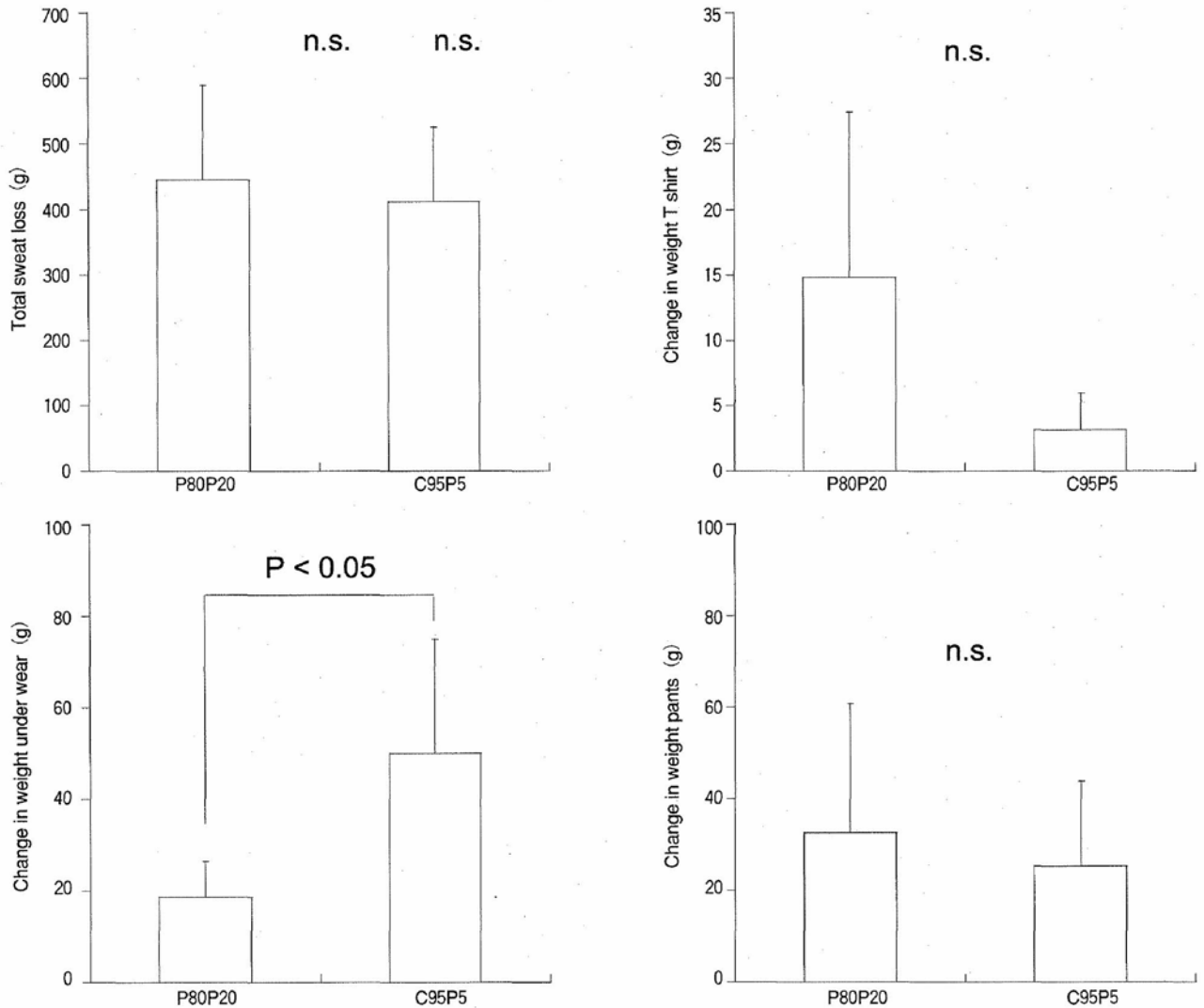


図5 実験前後における総体重減少量およびアンダーウェア、Tシャツと短パンの重量変化量

る伸長力が強く、着用者への圧迫力がやや高いため、圧迫感が高くなり、心拍数に差がみられたと考えられる。

3. 2 運動時

アンダーウェアの試料布の特性(表1)によると、P80P20はC95P5に比べて熱伝導性が大きく、水分移動速度が速いととも、通気抵抗が小さい。また、乾燥・湿潤条件とも熱損失が大きい。熱・水分の移動特性に関わる特性の試料間の差は特に運動時の発汗状態で顕著に作用することが予測される。

今回の実験結果において、運動時の各パラメータの経時変化に有意差が見られたのはアンダーウェア-Tシャツ間の衣服内湿度と湿潤感および快

適感である。アンダーウェア-Tシャツ間の衣服内湿度は図3に示すようにP80P20着用時にC95P5より高く、湿潤感は低くなっていることから、P80P20では最内層の発汗による水分が即時にアンダーウェアを通り抜けて外層に移動したと考えられる。それに対してC95P5では水分移動速度が遅く、また吸水率が高く放湿が遅いことから、アンダーウェアが水分を抱えてTシャツとの間の湿度はP80P20ほどあがらないという結果を導いたと考えられる。

運動中衣服に吸着した汗の量(衣服重量)は図5に示すように、アンダーウェアではC95P5がP80P20よりも多く、Tシャツと短パンではC95P5がP80P20よりも少なかった。これらの結果も上

記の現象を裏付けている。ゆとり量がほとんどなく密着した状態で着衣するタイトフィットウェアをアンダーウェアとして着用していることで、この傾向はより顕著になったと考えられる。

舌下温で示される体温は図1に示すように、試料間に顕著な差が認められなかった。また皮膚温の経時変化は図2に示すように、平均皮膚温、局所皮膚温ともに試料間の有意差は見られなかった。しかしそれぞれの皮膚温の平均値を比較すると運動中の胸部、背部、上腕部、大腿部でC95P5がP80P20よりも高い皮膚温を示し、前腕部、下腿部で低い皮膚温を示している。以前我々の研究⁶⁾において高湿度条件、または綿100%のTシャツ着用時に低湿度条件、またはポリエステル混紡Tシャツ着用時に皮膚温が有意に高い値を示すことが明らかになったが、今回の結果においてもC95P5着用時に同様の傾向が見られたことになる。運動によって発汗した場合、乾性熱放散と湿性熱放散の両者が熱放散経路として関係するが、綿混の布をアンダーウェアとして着用した場合、皮膚とアンダーウェアとの間の湿度が高くなって、湿性熱放散が抑制されることが考えられ¹⁷⁾、これを補うために皮膚温が高くなることが推察される。本実験ではタイトフィットウェアを着用したことから、C95P5着用時に皮膚上の湿度は上がっても、図3の運動時の温冷感の低下に示されるように、布に吸着された水分が冷えることによって密着した布が体を冷やす効果も同時にもつことになり、ゆとり量のある衣服での測定ほど皮膚温に顕著な差が出なかったとも考えられる。本実験では体幹部および体幹部に近い上腕部、大腿部でC95P5の皮膚温がP80P20より高くなり、末端である前腕部、下腿部で低くなっているが、この傾向は皮膚に密着するタイトフィットウェアを着用していることが要因の一つになっているかもしれない。

4. まとめ

タイトフィットスポーツウェアの吸湿性、吸水性の有無が運動時における衣服内気候に及ぼす影響を明らかにするために、健康な男女6名に心拍数が120～130拍/分になる強度の自転車運動を40分間実施した。環境条件は23℃、50%RHとし、タイトフィットのアンダーウェアとしてC95P5（ポリウレタン混綿布）とP80P20（ポリウレタン混ポリエステル布）の長そで2種類の上にポリエステル100%の半袖Tシャツと短パンを着用した。得られた結果は以下の通りであった。

- 1) 安静時は心拍数以外、循環・体温パラメータにも衣服内環境・感覚パラメータにも素材による有意な差は認められなかった。
- 2) 運動中の体温、平均皮膚温、局所皮膚温ともに素材による顕著な差は認められなかったが、胸部、背部、上腕部、大腿部の皮膚温および平均皮膚温でC95P5が高く、前腕部、下腿部の皮膚温で低い結果を得た。運動中の心拍数、平均血圧、自覚的運動強度には有意な差はみられなかった。
- 3) アンダーウェア-Tシャツ間の衣服内湿度と快適感にはP80P20の方がC95P5より有意に高く、湿潤感には有意に低い値を示した。

謝 辞

本研究に対して助成を賜りまし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甚の謝意を表します。本研究の被験者を快く引き受けて下さった神戸大学大学院人間発達環境学研究科及び神戸大学発達科学部の関係諸氏にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 荒木 勉, 神吉賢一, 稲垣和子; 運動への適応に及ぼす着衣の影響-衣服気候からの検討-, 日本

- 衣服学会誌, 28, 29-35 (1985)
- 2) 新矢博美, 芳田哲也, 常岡秀行, 中井誠一, 伊藤孝; スポーツユニフォームの違いが高温環境下運動時の体温調節反応に及ぼす影響, 体力科学, 53, 347-356 (2004)
 - 3) Ha, M., Yamashita, Y., Tokura, H.; Effects of moisture absorption by clothing on thermal responses during intermittent exercise at 24 °C, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 71, 266-271 (1995)
 - 4) 平田耕造, 増田茅子, 湯谷 操; 身体活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)
 - 5) 井上真理, 佐野優子, 宇山美帆, 丹羽雅子; 柔軟処理による布の風合いならびに熱・水分移動特性の変化と着用快適感, 繊維学会誌, 53, 226-238 (1997)
 - 6) 井上真理, 柳本周治, 桑原智子, 山田由佳子, 近藤徳彦; 環境の湿度変化がスポーツウェア着用時における運動時の体温調節反応に及ぼす影響, デサントスポーツ科学, 25, 49-61 (2004)
 - 7) Jeong, W. S., Tokura, H.; Effects of wearing two different types of clothing on body temperatures during and after exercise, *Int. J. Biometeorol.*, 33, 77-81 (1989)
 - 8) Jeong, W. S., Tokura, H.; Different thermal conditions of the extremities affect thermoregulation in closed man, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 67, 481-485 (1993)
 - 9) 鎌田佳伸, 許正憲, 川南 正; 高い保温性と運動機能性を両立した快適なウェットスーツの開発, デサントスポーツ科学, 26, 69-77 (2005)
 - 10) 川端季雄; 布の熱・水分移動特性測定装置の試作とその応用, 繊維誌, 37, T130-T141 (1984)
 - 11) 川端季雄; 通気性測定装置の開発とその応用, 繊維誌, 40, T59-T67 (1987)
 - 12) 前田亜希子, 山崎和彦, 栃原 裕; 快適時の平均被服気候, 日本生気象学会雑誌, 40, 15-23 (2003)
 - 13) 松平光男, 上田博之, 尾畑納子, 規成年泰, 桑原宣彰, 新宅救徳, 高山輝彦, 山本 考; 21世紀のテキスタイル科学—人と環境との関わり, 日本繊維機学会, (2003)
 - 14) 三井紀子, 酒井豊子, 中島利誠; 運動中の衣服下気候と着心地に及ぼす繊維の影響, 日生氣誌, 23, 35-42 (1986)
 - 15) 三ツ井紀子, 中島利誠; 衣服素材の衣服下気候と着心地に及ぼす影響, 日生氣誌, 28, 125-135 (1991)
 - 16) 諸岡晴美, 福田玲子, 佐々木ヒサエ, 諸岡英雄; 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, 繊維学会誌, 62, 6-11 (2006)
 - 17) 中山昭雄; 温熱生理学, 理工学社 (1981)
 - 18) Nielsen, R., Endrusick, T.; Sensations of temperature and humidity during intermittent exercise and the influence of underwear knit structure. *Ergonomics*, 33, 221-23 (1999)
 - 19) Ramanathan, N. L.; A new weighting system for mean surface temperature of the human body, *J. Appl. Physiol.*, 19, 531-533 (1964)
 - 20) 清水裕子, 日野精二, 新開省二, 富田直明, 広瀬昌博, 鳥居順子, 渡部誠一郎, 渡部修一郎, 渡辺孟, 清水義雄; 運動負荷による衣服間各層の温湿度の変化—3種類のアウトウェア着用時—, 日衛誌, 43, 1130-1139 (1989)
 - 21) 住田直樹, 今村律子; 寒冷下におけるウォーミングアップ時の衣服形態が体温調節反応とパフォーマンスに及ぼす影響, 日本衣服学会誌, 46, 57-66 (2003)
 - 22) 田村照子; 暑熱環境下の衣服, 日本衣服学会誌, 46, 39-45 (2003)
 - 23) 田中英登, 薩元弥生; 野球選手の着衣条件からみた熱中症予防に関する研究 (アンダーシャツ素材を中心に), デサントスポーツ科学, 26, 181-189 (2005)
 - 24) 田中香利, 平田耕造; 撥水加工によるスポーツウェアの吸水性低減が体温調節反応におよぼす影響, デサントスポーツ科学, 27, 86-93 (2006)
 - 25) 登倉尋実; 環境温度変化時の二層構造編地の温熱生理学的研究, デサントスポーツ科学, 10, 203-208 (1989)
 - 26) 上田博之, 井上芳光; 素材布の通気性, 衣服の開口部とゆとりが衣服換気に及ぼす影響—身体部位差に着目して, 27, 81-88 (2006)
 - 27) 潮田ひとみ, 吉澤知佐; 暑熱環境下におけるテニスシャツの着用快適感—戶外活動中の快適感と衣服素材物性との関係, 繊維製品消費科学, 47, 740-748 (2006)
 - 28) 米田守宏, 川端季雄; 過渡的熱伝導の解析とその応用 (第2報), 繊維誌, 34, T199-T208 (1981)