

# カーボンマイクロコイルを利用した圧迫型アンダーウェアの着用が腰部筋群の痛み、柔軟性、筋力に及ぼす影響

中 部 大 学 堀 田 典 生  
(共同研究者) 同 浦 井 久 子  
愛 知 淑 徳 大 学 建 部 貴 弘

## Effects of Wearing Compression Undershirts with Carbon Microcoils on Muscle Pain, Stiffness, Flexibility, and Strength in Lumbar Region

by

Norio Hotta, Hisako Urai  
*Chubu University*  
Takahiro Tatebe  
*Aichi Shukutoku University*

### ABSTRACT

The effects of wearing compression undershirts with carbon microcoils (CMC) on muscle pain, stiffness/hardness, flexibility, and muscular strength in the lumbar region were studied in eight male subjects complaining of general malaise in their lumbar region. Subjects were studied before (Pre), 30 min after (30 min), and 10 days after (10 d) starting to keep wearing compression undershirts with either CMC or control material (BLK) according to a randomized, double-blind, cross-over design. Two-way repeated ANOVAs were used (CMC vs BLK and Pre vs 30 min vs 10 d) with significance accepted as  $P < 0.05$  and Bonferroni post hoc tests utilized as needed. No significant trial-by-time interaction was detected in pressure pain threshold, the degree of muscle pain, flexibility or muscular strength in the lumbar region ( $P > 0.05$ ). On

the other hand, a significant interaction was observed in muscle stiffness/hardness measured by the tissue hardness meter ( $P=0.02$ ). Although no significant difference between trials was detected in each measurement point ( $P>0.05$ ), it seemed that CMC attenuated the increase in stiffness/hardness from 30 min to 10 d. These results suggest that wearing the compression undershirts with CMC did not have any significant impact on muscle pain, flexibility, or strength in the lumbar region; however it is possible that CMC inhibits muscle stiffness/hardness from developing to some extent.

## 要 旨

本研究の目的は、腰部に不定愁訴を訴える人を対象に、カーボンマイクロコイル (CMC) を貼付した圧迫型アンダーウェアの着用が、腰部筋群の痛み、緊張、柔軟性、背筋力に及ぼす影響を検討することであった。ランダムオーダークロスオーバー法と二重盲検法の下で、CMC あるいはその対照素材 (BLK) 付きの圧迫型アンダーウェアの、着用前 (Pre), 30 分後 (30 min), 10 日後 (10 d) に 8 人の被験者を測定した。繰り返しのある二要因の分散分析を使い、多重比較では必要に応じて Bonferroni 法を利用した。有意水準を 5% とした。筋の機械刺激に対する痛み閾値、痛みの程度、柔軟性、筋力においては、有意な交互作用 (試行 × 時間) は検出されなかった ( $P>0.05$ )。一方、筋硬度計にて評価した筋の緊張の程度は、有意な交互作用が確認された ( $P=0.02$ )。測定ポイント毎の比較では、試行間に有意差を確認できなかったが ( $P>0.05$ )、CMC 試行では 30 分後から 10 日後にかけての筋緊張の上昇が抑制されているようにみえた。これらの結果は、CMC 付き圧迫型アンダーウェアの着用は、腰部の筋痛、柔軟性、筋力に影響を及ぼさないが、筋緊張が高まることを抑制する可能性があることを示唆する。

## 緒 言

ヘリカル炭素繊維 (カーボンマイクロコイル、

以下 CMC) は、1990 年に日本にて開発、発表された新しい素材である<sup>1)</sup>。約 0.01 ~ 1  $\mu\text{m}$  のピッチでコイル型に巻いた炭素繊維であり、電磁波を吸収する特性などを持ち、様々な分野への応用が期待されている。また、電磁波を吸収して熱を発生する特性があることから、人の皮膚血流を促進する効果が示されている<sup>2)</sup>。加えて、慢性骨格筋痛を和らげる効果についても報告されている<sup>3)</sup>。

ところで、現代社会において、腰痛は厚生労働省が発表する有訴率において上位を占め、患者数の多い疾病の一つである<sup>4)</sup>。腰痛の原因は、筋力の低下や柔軟性の低下、腰椎の退行など多岐にわたると考えられる。X 線などの検査で確認可能な病態もあるが、腰痛症状を訴える者の中では、筋由来のものや脊椎の退行変性 (老化) を原因とするもののように画像検査で原因や症状がわかりにくいものや急性の症状が多い<sup>5,6)</sup>。これらの腰痛症状は日常生活活動 (ADL) の減少や運動不足に繋がり、QOL の低下や肥満につながる要因となり得る。競技スポーツにおいては、パフォーマンスを低下させる原因となり得る。

もしも腰部の筋の疼痛やこり、張りを軽減することができたならば、腰部の柔軟性や背筋力の回復が予想される。そこで本研究では、腰部に不定愁訴 (痛み、こりや張りなど) を訴える者を対象に、CMC を腰部に貼付した圧迫型アンダーウェアの着用により、腰部筋群のこりや張りの解除、痛みの緩和が生じるかを検討することを目的とし

た。また、筋の状態が改善された場合、柔軟性や背筋力の回復・改善に結びつくかについても検討することにした。本研究は、CMCがスポーツウェアや塗布用シールとして、スポーツ選手や運動の愛好家に貢献することが期待できるとの背景のもと実施された。

## 1. 方法

### 1. 1 被験者

被験者は腰部に不定愁訴（違和感・痛み・こり・張りなど）を訴える18歳以上の男性8名を対象とした。年齢、身長、体重はそれぞれ $19.3 \pm 0.7$ 歳、 $174.3 \pm 5.2$ cm、 $72.1 \pm 11.6$ kg（平均値 ± 標準偏差）であった。すべての被験者に本研究の目的、方法を文書および口頭で説明した後、研究に参加することの同意を得た。本研究は中部大学倫理審査委員会の承認を得て行われた。

### 1. 2 カーボンマイクロコイル (CMC)

実験に使用したCMCは、直径9.5mm、全厚1.5mmの硬質物を直径22mmのシールで直接皮膚へ貼付するタイプの物を使用した。硬質物の構造は、CMCをシリコーンゴム中に7wt%添加したCMC層、磁性粉末（パーマロイおよびマンガン亜鉛フェライト）をシリコーンゴム中にそれぞれ5wt%添加した磁性材シート層、CMC層の3層構造から成っておりCMC層が皮膚と接触している。この3層構造は、CMCが低周波の電磁波を吸収しやすくし、より“こり”の緩和効果を高めるであろうとされ考案されたものである<sup>2)</sup>。CMCのコントロールとしてシリコーンゴムのみブランク素材（以下BLK）のものを用意した。

### 1. 3 実験手順

バイアスを防ぐために、被験者も検者も実験終了までCMCかBLKのどちらを貼付したかわか

らないように二重盲検法を用いた。

本研究では、CMCおよびBLKの付いたパッチシールを圧迫型アンダーウェア（上半身用半袖タイプ：SKINS、A-200ショートスリーブトップ）の腰部の肌に直接触れる内側に9個貼付し使用した（図1）。また、クロスオーバー法を採用し、全ての被験者は、CMCを貼付した圧迫型アンダーウェアを着用する試行（CMC試行）と、BLKを貼付したアンダーウェアを着用する試行（BLK試行）を実施した。どちらの試行を先に行うかはランダムに決められ、試行間を最低10日間空けた。

設定した二試行において、圧迫型アンダーウェアの着用前（以下Pre）と着用30分後（以下

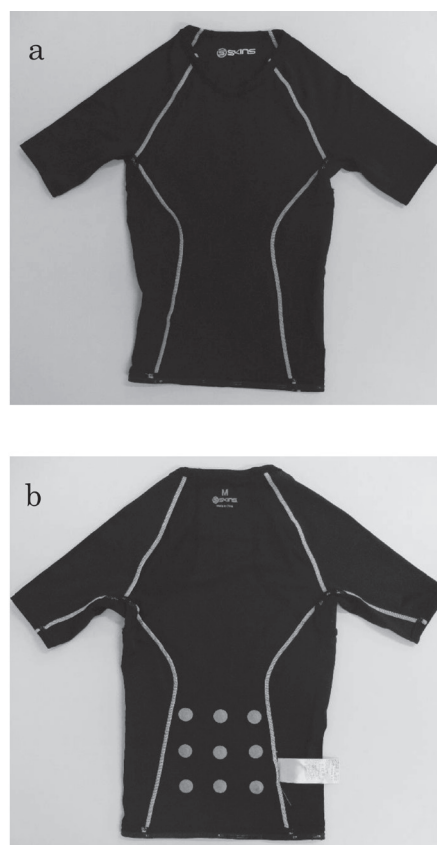


図1 圧迫型アンダーウェアの前面 (a) と背面腰部にカーボンマイクロコイル (CMC) を添付した状態 (b) 腰部の内側に等間隔に9個のCMCパッチを添付した。シャツを裏返し、肌に触れる面を写している。

30min) において、痛みの閾値、圧迫刺激による痛みの程度、筋硬度計による筋硬度測定、長座体前屈による柔軟性および背筋力計による背筋力の測定を実施し、急性効果について検討した。なお、アンダーウェアを着用した30分間は背もたれ付きの椅子に着席した姿勢をとるよう指示した。また、圧迫型アンダーウェアを1日8時間以上10日間(以下10d)着用することで慢性効果についても検討した。

## 1. 4 測定項目

### 1. 4. 1 痛みの主観的評価

被験者は自ら触診した腰部の痛みの局在を、腰部のイラストが描かれている用紙へ記入した。また、痛みの強度は視覚アナログスケール(以下VAS)を用いて評価した。被験者に触診中に感じた圧の感覚(痛み)を「0mm(全く痛みを感じない)から100mm(これまでに感じた最悪の痛み)」とした直線上にマークするように指示した。

### 1. 4. 2 痛み閾値

機械的刺激に対する痛み閾値を圧センサーにより評価した。圧の測定点は、圧迫型アンダーウェア着用前に被験者自ら触診し、最も痛いと訴える箇所を測定点とした。なお、測定点は油性ペンを用いて印をつけ、デジタルカメラ(富士フィルム FINEPIX F80 EXR)にて撮影し、10日後の測定時に確認できるように記録した。印は全ての測定後にアルコール綿を使用し拭き取った。

圧センサーには小型ロードセル(共和電業社 LURA2KNSA1)を使用した。ロードセルには頭部の直径17mm、高さ5mmのなだらかなドーム型を成しているボタンボルトを装着し、ボルト頭部を被験者の測定点へ当てることで圧を負荷した。ボルト頭部からロードセルへ伝わった圧力はストレインアンプ(共和電業社 DPM712B)によりアナログ信号に変換・増幅され、A/D変換器(ADINSTRUMENTS社 Power lab 8/30)によって

デジタル変換されパソコンへ保存された。サンプリング周波数は100Hzとし、解析にはソフトウェア Lab Chart7 (v.7.3.7)を用いて行った。

被験者には足背部をベッド端から出し、両腕は体側におき、顎をベッドにつけた伏臥位をとらせた。その後、2N/秒ずつ漸増する圧を測定点へ負荷し、被験者が痛みを感じた瞬間に握っていたスイッチで合図を出し、その時の圧を痛みの閾値とした。測定者は圧センサーを2N/秒ずつ押せるようになるまで事前に十分な練習を行った。なお、被験者は合図を出すと同時に圧負荷から解放された。10秒間の休息を挟みながら5回連続して行った。測定した5回の痛み閾値のうち、最大値と最小値を除いた3回の平均値を圧痛閾値とした。

### 1. 4. 3 一定圧負荷時の痛みの主観的評価

一定圧に対する痛みの評価は、上述の圧センサーを用いて、各被験者の測定点へ上述の圧痛閾値の1.5倍の圧を10秒間負荷して行った。30秒間のインターバルを挟み3回実施し、痛みの程度を上述のVAS上に記載した。3回の平均値を代表値とした。

### 1. 4. 4 筋硬度の測定

筋硬度の測定には、筋硬度計(TRY-ALL社 NEUTONE TDM-NA1)を使用した。測定者は筋硬度計の圧迫により、被験者に苦痛が生じないように押せるようになるまで事前に十分な練習を行った。測定時には痛みの閾値の測定と同様に伏臥位の姿勢をとらせ、上述の測定点に筋硬度計を直角に当て、ゆっくりと押しつけた。これを10秒間のインターバルをとりながら5回測定し、最大値と最小値を除いた3回の値の平均値を採用した。

### 1. 4. 5 柔軟性・筋力の測定

柔軟性の測定は、デジタル長座体前屈計(竹井機器工業株式会社 T.K.K.5412)を用いて行った。測定時はゆっくりと息を吐きながら前屈を行うよ

うに指示した。筋力の測定はデジタル背筋力計(竹井機器工業株式会社バック D) を用いて行った。測定時は反動を使わず、膝を伸展した状態で上体を起こすように指示した。どちらの測定も1分間のインターバルをとりながら2回測定し、その平均値を採用した。

### 1. 5 統計処理

値はすべて平均値 ± 標準誤差で表した。CMC と BLK の両試行における経時的变化の仕方の違いを検討するために、繰り返しのある二要因の分散分析(試行要因 [CMC, BLK, 繰り返しあり], 時間要因 [Pre, 30min, 10d, 繰り返しあり]) を用い、有意水準は5%未満とした。交互作用が認められた場合、各時間において、試行間を Bonferroni 法によって比較した。統計解析には IBM SPSS Statistics ver.22 を用いた。

## 2. 結果

### 2. 1 痛みの局在と触診による痛みの程度の主観的評価

被験者が自ら触診した腰部の痛みの場所や範

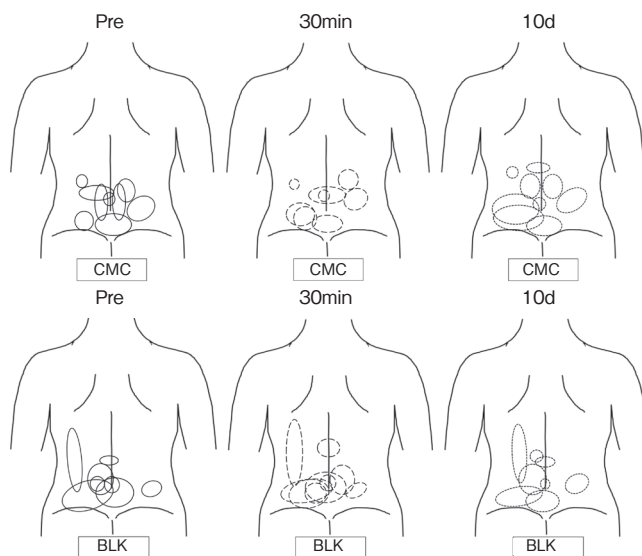


図2 痛みの主観的評価:被験者が自ら触診した腰部の痛み(場所, 範囲)の着用前(Pre), 30分後(30min), 10日後(10d)の変化 全ての被験者の情報を重ね合わせた

囲を腰背部のイラストが描かれている用紙へ記入した結果, CMC 試行, BLK 試行ともに Pre, 30min, 10d の間に視覚的に判断される明確な変化は認められなかった(図2)。

また, VAS で評価した痛みの程度(図3)では, CMC 試行にて Pre で  $21.6 \pm 5.5\text{mm}$ , 30min で  $21.0 \pm 5.0\text{mm}$ , 10d で  $23.1 \pm 5.7\text{mm}$ , BLK 試行では Pre で  $22.7 \pm 6.6\text{mm}$ , 30min で  $21.9 \pm 6.6\text{mm}$ , 10d で  $18.2 \pm 4.1\text{mm}$  であり, 試行要因 ( $P=0.74$ ) および時間要因 ( $P=0.67$ ) による主効果は有意であるとは言えなかった。また, 有意な交互作用も

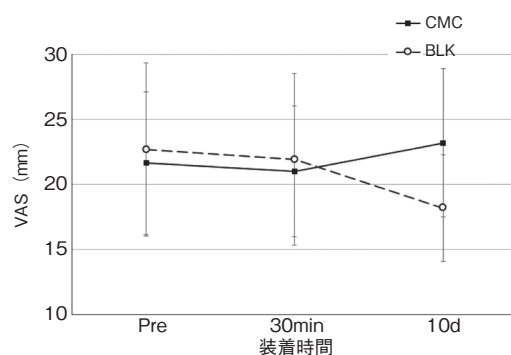


図3 触診による筋痛の着用前(Pre), 30分後(30min), 10日後(10d)の変化 視覚アナログスケール(VAS)を用いて評価した。値はCMC試行(■)とBLK試行(○)の平均値と標準誤差。

認められなかった (P=0.39).

## 2. 2 痛み閾値

図4は機械刺激に対する痛みの閾値を示している。CMC 試行では Pre で  $32.1 \pm 4.8\text{N}$ , 30min で  $30.2 \pm 6.2\text{N}$ , 10d で  $30.0 \pm 7.3\text{N}$  であり, BLK 試行では Pre で  $26.0 \pm 4.9\text{N}$ , 30min で  $25.5 \pm 5.4\text{N}$ , 10d で  $29.2 \pm 7.2\text{N}$  であり, 試行要因 (P=0.51) および時間要因 (P=0.86) による主効果は有意であるとは言えなかった。また有意な交互作用も認められなかった (P=0.42)。

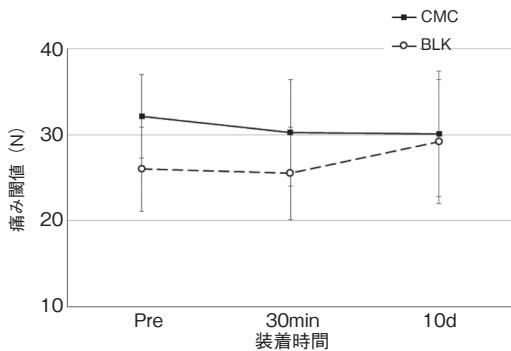


図4 圧痛閾値の着用前 (Pre), 30分後 (30min), 10日後 (10d) の変化  
値はCMC 試行 (■) とBLK 試行 (○) の平均値と標準誤差。

## 2. 3 一定圧負荷時の痛みの主観的評価

圧痛閾値の1.5倍の圧負荷による痛みの評価 (図5) では, CMC 試行では Pre で  $38.9 \pm 6.7\text{mm}$ ,

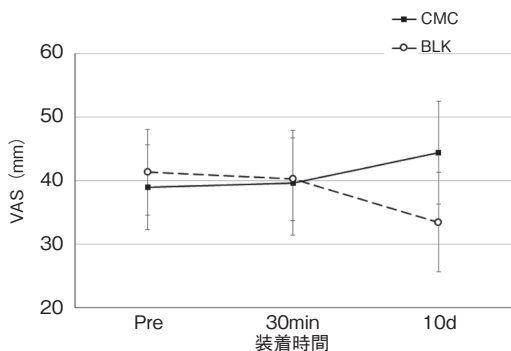


図5 一定圧負荷時の筋痛の着用前 (Pre), 30分後 (30min), 10日後 (10d) の変化  
視覚アナログスケール (VAS) を用いて評価した。値はCMC 試行 (■) とBLK 試行 (○) の平均値と標準誤差。

30min にて  $39.6 \pm 8.2\text{mm}$ , 10d にて  $44.4 \pm 8.1\text{mm}$  であった。また, BLK 試行では Pre で  $41.3 \pm 6.8\text{mm}$ , 30min にて  $40.2 \pm 6.5\text{mm}$ , 10d にて  $33.5 \pm 7.8\text{mm}$  であり, 試行要因 (P=0.20) および時間要因 (P=0.60) による主効果は有意であるとは言えなかった。また有意な交互作用も認められなかった (P=0.40)。

## 2. 4 筋の緊張の程度

筋硬度計から評価した筋緊張の程度の結果を図6に示した。CMC 試行では Pre にて  $13.5 \pm 0.9$ , 30min にて  $12.5 \pm 0.9$ , 10d にて  $12.8 \pm 1.2$ , BLK 試行では Pre で  $13.8 \pm 2.5$ , 30min で  $13.4 \pm 2.1$ , 10d にて  $16.1 \pm 1.7$  であり, 試行要因 (P=0.43) および時間要因 (P=0.38) による主効果は有意であるとは言えなかったが, 有意な交互作用が認められた (P=0.02)。しかし, 多重比較の結果, 各時間における両試行間に有意差は認められなかった (Pre : P=0.90, 30min : P=0.60, 10d : P=0.14)。

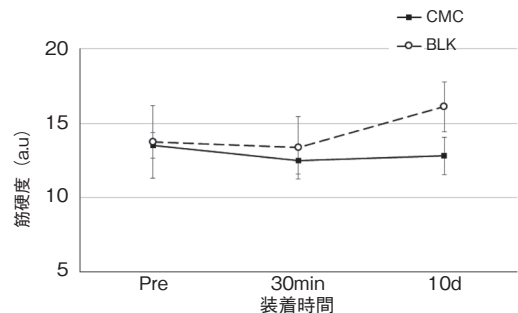


図6 筋硬度の着用前 (Pre), 30分後 (30min), 10日後 (10d) の変化  
値はCMC 試行 (■) とBLK 試行 (○) の平均値と標準誤差。

## 2. 5 柔軟性・筋力

長座体前屈による柔軟性の評価 (図7) では, CMC 試行では Pre で  $35.5 \pm 4.3\text{cm}$ , 30min で  $36.2 \pm 3.8\text{cm}$ , 10d で  $35.4 \pm 3.2\text{cm}$ , BLK 試行では Pre にて  $36.3 \pm 3.7\text{cm}$ , 30min にて  $36.8 \pm 3.3\text{cm}$ , 10d にて  $39.1 \pm 2.8\text{cm}$  であり, 試行要因 (P=0.44)



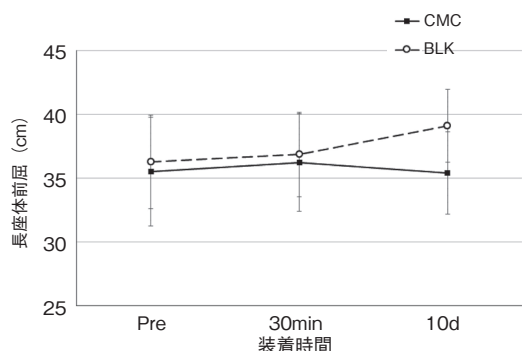


図7 長座体前屈の着用前 (Pre), 30分後 (30min), 10日後 (10d) の変化  
値はCMC 試行 (■) と BLK 試行 (○) の平均値と標準誤差。

および時間要因 (P=0.55) による主効果は有意であるとは言えなかった。また有意な交互作用も認められなかった (P=0.33)。

背筋力の評価では (図8), CMC 試行で Pre にて  $117.0 \pm 9.0\text{kg}$ , 30min にて  $110.6 \pm 7.7\text{kg}$ , 10d にて  $109.0 \pm 6.0\text{kg}$ , BLK 試行では Pre で  $108.6 \pm 6.9\text{kg}$ , 30min で  $111.9 \pm 9.0\text{kg}$ , 10d にて  $118.8 \pm 8.9\text{kg}$  であり, 試行要因 (P=0.83) および時間要因 (P=0.26) による主効果は有意であるとは言えなかった。また有意な交互作用も認められなかった (P=0.11)。

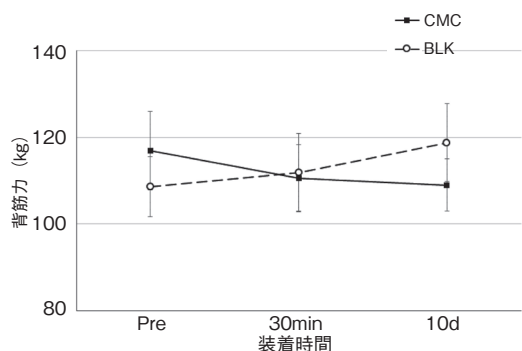


図8 背筋力の着用前 (Pre), 30分後 (30min), 10日後 (10d) の変化  
値はCMC 試行 (■) と BLK 試行 (○) の平均値と標準誤差。

### 3. 考察

本研究の目的は, CMC を貼付した圧迫型アンダーウェアの着用による腰部筋群の痛みやこり・

張りへの影響と, それに伴う柔軟性および筋力の回復について検討することであった。本研究では, 筋痛に CMC の有意な影響はなかった。これは, Tsuji ら<sup>3)</sup> の CMC により深部組織の痛みが軽減されたという結果と一致しない。Tsuji ら<sup>3)</sup> の報告によれば, CMC による深部組織の痛みの軽減効果を認める最小限の時間は, 10分から20日と幅があることが分かっている。本研究の被験者が, CMC の効果を認めるのに10日では不十分であった可能性がある。また, 先行研究<sup>3)</sup> では, CMC を直接肌に貼り付けているのに対して, 本研究ではアンダーウェアに添付した状態からの影響を観ていることや, 24時間貼り付けている環境ではないという条件の違いが関係している可能性がある。CMC 付きアンダーウェアの着用期間を延ばす研究が必要である。さらに, 研究デザインの違い (本研究では二重盲検法とクロスオーバー比較試験を採用していること) も結果の不一致に関与しているかもしれない。

私たちは, もし筋痛が軽減されれば, 背筋力や柔軟性も回復すると予想していた。筋痛の有意な軽減がなかったため, 背筋力や柔軟性の有意な変化も認められなかったと考えられた。

本研究では, 筋の張りなどの緊張度を示し得る筋硬度の変化の仕方は, 両試行間に有意な違いがみられた。CMC が筋の緊張を低下させたと言いがたいが (図6), 筋緊張が上昇することを抑制した可能性がある。Tsuji ら<sup>3)</sup> は, CMC を貼付することで, 主観的評価による筋緊張の改善を報告しているが, 筋硬度計を用いて, CMC が筋緊張に及ぼす影響を客観的に評価したのは, 本研究が初めてであろう。

CMC は, 電磁波を吸収して熱を発する性質があり, 皮膚血流を促進する効果もあることが知られている<sup>2)</sup>。また, 私たちは, 対象とする部位は違うが, 近赤外分光法から CMC が下腿の深部組織の血流を促進することを裏付ける結果を得てい

る（浦井ら，未発表データ）。従って，CMCによる深部組織の血流促進効果が，筋緊張の上昇を抑制した理由の一つとして考えられた。本実験は夏季に実施されたが，今後CMCの発熱効果に起因する筋組織への影響を探るため，平均気温の低い時期での研究実施が期待される。

#### 4. 結 論

10日間のカーボンマイクロコイル（CMC）付きの圧迫型アンダーウェア着用では，腰部筋群の痛みの有意な緩和効果や，それに伴う柔軟性や筋力発揮の有意な改善効果は確認されなかった。しかし，筋緊張の上昇を抑制する可能性が示唆された。

#### 謝 辞

本研究を遂行するにあたり，研究助成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申し上げます。

#### 利益相反

株式会社 CMC 総合研究所（代表：元島栖二先生）より，本研究で利用したカーボンマイクロコイルとその対照素材の提供，並びに金銭的なサポートを受けたことを申告します。

#### 文 献

- 1) S. Motojima, M. Kawaguchi, K. Nozaki, H. Iwanaga., Growth of regularly coiled carbon filaments by Ni catalyzed pyrolysis of acetylene, and their morphology and extension characteristics. *Appl. Phys. Lett.*, **56**: 321-323(1990)
- 2) 本島栖二. 図解カーボンマイクロコイル ヘリカル炭素線維が拓く世界, 日本工業新聞社(2013)
- 3) D. H. Tsuji, R. Awade, I. P. Posso., Cutaneous application of silicone wafers containing carbon microcoils: Efficacy in relieving chronic muscle tension and pain. *J. Altern. Complement. Med.*, **21** (7) : 439-443(2015)
- 4) 白土修, 土肥徳秀, 赤居正美, 星野雄一, 藤野圭司, 岩谷力. 運動器慢性疾患に対する運動療法. 黒澤尚 編, 慢性腰痛症に対する運動療法の効果. 金原出版: 東京, pp.109-117(2009)
- 5) 赤峰卓哉, 吉田剛一郎, 高田大, 田口信教. 腰痛疾患症例の身体体力機能に与える水中運動の効果—骨密度測定・バランス能力評価を含めて—. 鹿屋体育大学学術研究紀要, 第46号, pp.1-9(2013)
- 6) 石井清一, 平澤泰介 監修. 標準整形外科学第8版, 医学書院: 東京, pp.443-466(2002)