

研究報告

カーボンマイクロコイルが運動器痛と自律神経活動に及ぼす影響

浦井久子、堀田典生、早川純平、朝倉駿介、尾方寿好

中部大学生命健康科学部スポーツ保健医療学科

要 旨

本研究の目的は、カーボンマイクロコイル(以下「CMC」)が運動器の痛み(実験 1)と心拍変動(実験 2)に及ぼす影響を明らかにすることであった。本研究は、CMC を含まない対照素材(以下「BLK」)を用意し、二重盲検法の下、並行試行間比較試験あるいはランダムオーダークロスオーバー法にて実施した。実験 1 では脛骨過労性骨膜炎様症状を持つ 12 名に対して、脛骨内側縁の骨格筋付着部に沿って痛みのあるポイントにおける、痛覚閾値の測定と主観的な筋痛評価を CMC または BLK 付シール貼付前、貼付 3, 6, 9 日後に行った。その結果、骨格筋痛の圧痛閾値と主観的評価において、試行—時間要因の有意な相互関係は認められなかった。実験 2 では健常者 9 名を椅子に座らせ、CMC または BLK 付織物を 30 分間下半身に掛けた。そして 10 分ごとの心電図信号から心拍変動スペクトル解析を行った。その結果、CMC 織物被覆が有意な高周波成分の促進を示した。これらの結果により、本研究の条件で用いた CMC には骨格筋痛を有意に軽減する効果は見られなかったが、心臓副交感神経活動の亢進をもたらす効果が示唆された。

1. 諸言

2014 年の厚生労働省による国民生活基礎調査報告によると、健康状態に自覚症状のある有訴者において最も多い自覚症状は肩こりと腰痛であると報告されている¹⁾。腰痛有訴者においては 85%が X 線検査等で原因を特定しきれない非特異的腰痛であると報告されている²⁾。この非特異的腰痛や肩こりといった症状は筋・筋膜性疼痛症候群と呼ばれており³⁾、限局した硬い結節様またはバンド様の硬結が触診される⁴⁾。さらに痛みだけでなくめまい、しびれや自律神経系の不調をももたらすことから^{5,7)}、特に高齢者において ADL (Activity of daily life: 日常生活動作) の低下に繋がり得る。

筋・筋膜性疼を取り除く方法としては、薬物治療よりマッサージや鍼灸、超音波照射などの物理療法が利用されている現状である^{3,8,9)}。しかし、これらの方法は時間や経済的な負担がかかることから、手軽かつ継続的に行うのは難しい。このように、骨格筋の痛みを取り除いたり軽減したりする画期的な方法はいまだ確立されていない。その方法の一つとして、カーボンマイクロコイル(以下「CMC」)の可能性が挙げられる。CMC は 1990 年に日本の元島らが開発した、コイル直径 1—10 μ m、ピッチ

50—500nm、コイル長 0.1—1mm と非常に微細な二重らせん構造を形成している炭素繊維素材である^{10,11)}。CMC には電磁波を吸収し、コイル内に生じた誘導電流から熱エネルギーが産生される特性がある。元島はこの特性に着目し、直径 9.5mm、全厚 1.5mm の硬質物に加工した CMC をヒトの皮膚に貼付することで皮膚血流の促進効果を謳っており¹¹⁾、慢性骨格筋痛を和らげる効果も報告されている¹²⁾。また、自律神経活動が痛みの修飾に関わっていることは知られている^{13,14)}。交感神経ブロックによって筋痛の軽減がもたらされた報告もある¹⁴⁾。

そこで本研究は、ヒトを対象として CMC が運動器痛と自律神経活動に及ぼす影響を調べることにした。運動器筋痛については、実験的に検証しやすいシンスプリントとも呼ばれる脛骨過労性骨膜炎¹⁵⁻¹⁷⁾様症状を研究対象にした。自律神経活動については、健常者を対象とした心拍変動から、CMC が心臓自律神経活動に及ぼす影響を検討することにした。

2. 方法

本研究では、CMC が骨格筋の痛みに及ぼす影響を検討する実験 1 と、自律神経に及ぼす影響を検討する実

験2を実施した。実験1では、シンスプリント様症状の有訴者の12名、実験2は健康な9名を対象者とした。実験室の温度は通常空調下で21—23℃を保つようにした。全ての被験者に本研究の目的、方法を十分に説明した後、研究に参加することの同意を得た。本研究は、中部大学倫理委員会の下で行われた。実験1と2共に、CMCの対照素材としてシリコンゴムのみでできたブランク素材(以下「BLK」)を用いた試行を設け、並行試行間比較試験あるいはランダムオーダークロスオーバー法にて実施し、二重盲検法を採用した。

1. 実験1

1.1 CMC

本実験で使用したCMCは、直径9.5mm、全厚1.5mmの硬質物に加工されており、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(株式会社シーピーエス、図1a)。硬質物の構造は、CMC(コイル径2—5 μ m、コイル長90—300 μ m)をシリコンゴム中に7wt%添加したCMC層、パーマロイおよび(マンガン、亜鉛)フェライトをシリコ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層が皮膚と接触するように作られている¹¹⁾。この3層構造は、CMCが1GHz以上の高周波帯域の電磁波を吸収しやすいことから、磁性素材を併用することによって低周波帯域の電磁波も吸収しやすくし、より筋の凝り緩和効果を高めるだろうと予測の下に考察されたものである¹¹⁾。

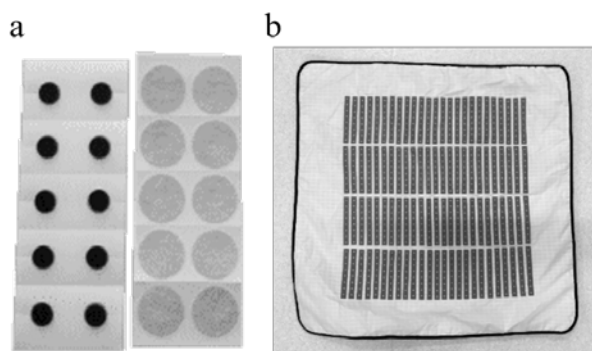


図1 本研究で用いたカーボンマイクロコイル

1.2 実験1概要

実験1では、シンスプリント様症状の有訴者の12名

(男性6名、女性6名)を対象とし、年齢、身長、体重はそれぞれ28.3 $\pm$ 14.1歳、164.6 $\pm$ 10.3cm、58.3 $\pm$ 11.7kg(平均値 $\pm$ 標準偏差)であった。本研究において、シンスプリント様症状を対象とした理由は、脛骨後内側縁中遠位1/3に圧痛所見があるとされており¹⁸⁾、検者と被験者ともに疼痛部位へ安易に触ることが可能で、測定するにあたり皮下脂肪や筋厚の影響を受けにくい箇所であることに拠った。以下で説明をする触診、一定圧に対する主観的な痛みの評価と圧痛閾値の測定を行った。痛みの経過を観察するための測定ポイントは、測定初日に被験者自身が脛骨内側縁に沿って下腿骨格筋の附着部を触診し、その中で一番痛い訴える箇所とした。測定ポイントには油性ペンで皮膚上に印をつけておき、実験終了まで場所が変わってしまわないように配慮した。測定はCMCシール貼付前、貼付後3、6、9日目の計4回行った。実験期間中、被験者には日常生活においても同じ箇所にCMCシールを貼り続けるようにさせた。剥がれた場合は、予備に渡しておいたCMCシールをすぐに貼付するようにさせ、かぶれ等皮膚の異常を感じたら直ちに剥がすように指示しておいた。

測定時は、CMCシールを剥がして被験者に15分間安静座位を取らせた後、各測定を行った。バイアスを防ぐために、本研究では二重盲検法を採用した。両脚に痛みのある被験者には、並行試行間比較法を採用し(n=9)、左右の足いずれかにCMCあるいはBLKシールを貼付した。片脚のみに痛みのある被験者に対しては、ランダムな順序にてCMCとBLKの試行を行うクロスオーバー法を採用した(n=3)。1枚目シールの実験終了後から2枚目のシールによる実験開始まで少なくとも3日以上インターバルを設けた。

1.3 実験1測定

1.3.1 主観的な痛みの評価

被験者自身による主観的な痛みの強さを評価するため、Visual Analogue Scale(以下「VAS」)を用いた^{12,19)}。被験者には自らの手で測定ポイントを触診させ、100mmの直線上の左端(0mm地点)を「全く痛みを感じない」、右端(100mm地点)を「これまで感じた最悪の痛み」として、痛みの程度を直線上にマークしてもらい、左端からの長

さ(mm)をもって痛みの程度を数値化した。さらに、一定圧に対する主観的な痛みの評価を実施した。測定ポイントへ 20N の圧を 10 秒間負荷し、被験者が圧負荷中に感じた感覚を VAS 上へマークさせた。圧負荷は 30 秒間の休息を挟んで 3 回連続して行い、3 回の平均値を採用した。

また、主観的な痛みの局在を調べるために下腿のイラストが描かれた紙を用意した。被験者は触診した時に痛みを感じた箇所全てに対して、下腿のイラストへ丸印で記入した。各日の測定終了後はその全ての箇所に CMC シールも貼付するようにした。そして記入された丸印をコンピューター上へトレースし、CMC シール貼付前、貼付後 3, 6, 9 日目の計 4 回分を一枚のイラストに重ね合わせることで、痛む箇所の局在がどのように変化するのかを観察した。

1.3.2 圧痛閾値の測定

漸増する圧を負荷することによる圧痛閾値の測定を行った。圧センサーに小型ロードセル (LUR-A-SA1, 共和電業) を使用した。ロードセルには頭部の半径 8.5mm、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金属製アタッチメントを装着し、ボルト頭部を被験者の測定ポイントへ当てることで圧を負荷するようにした。検者は圧負荷が測定ポイントから外れていないか、毎回被験者に確認を行うようにした。ボルト頭部からロードセルへ伝わった圧はストレインアンプ (CDV-700A, 共和電業) により増幅、アナログデジタル変換器 (Power Lab, AD Instruments) によってデジタル変換され、コンピューターへ送られた。サンプリング周波数は 100Hz とし、解析には Lab Chart (AD Instruments) ソフトウェアを用いて行った。

2N/秒ずつ漸増する圧を、十分に測定練習をした検者が測定ポイントへ負荷し、被験者が痛みを感じた瞬間、手に握っていたスイッチで合図を出し、その合図を出した時の圧の値を痛みの閾値とした。なお、被験者は合図を出すと同時に圧負荷から解放され、10 秒間の休息を取った。これを 5 回連続して行い、5 回の値のうち最大値と最小値を除いた 3 回の値の平均値を代表値とした。

2. 実験 2

2.1 CMC

CMC による自律神経活動への影響を検討するため、本実験では 153×15mm の硬質物に加工された CMC を 25 個×4 列縫い付けた 850×850mm の織物を用いた (図 1b)。CMC のコントロールとして、BLK が縫い付けられた織物も用意した。本実験で使用する CMC と BLK の配合や構造は実験 1 と同様であった。

2.2 実験 2 概要

被験者は健康な 9 名 (男性 7 名, 女性 2 名) を対象者とし、年齢、身長、体重はそれぞれ 23.1 ± 4.5 歳, 167.3 ± 10.5 cm, 63.7 ± 10.9 kg であった。被験者はパーティションで隔離された空間にて、背もたれのある椅子に座った。30 分間の安静の後、検者が静かに CMC 織物を被験者の腹部より下にかけて、30 分間の測定を行った。全ての被験者はランダムな順序にて CMC と BLK 織物の試行を受けた。各試行は異なる日に実施されたが、可能な限り同じ時間帯で実施するようにした。我々は健康な被験者を対象にしたため、交感神経活動の変化を捉えることは困難と考え、あらかじめ交感神経活動を促進させた状態から、織物をかけることでどのような変化が生じるのかを観察することにした。ホワイトノイズを聞くことで、交感神経活動が促進されることが報告されていたため²⁰⁾、被験者にヘッドフォンを付け、測定中は常にホワイトノイズを流した。本実験においても二重盲検法並びに、ランダムオーダークロスオーバー法を採用した。

2.3 心拍変動の測定と解析

心電図は、生体アンプ (Dual BIO Amp, AD Instruments) を用いて記録した。心電図信号は、アナログデジタル変換器 (Powerlab, AD Instruments) でデジタル信号に変換した後、コンピューターに 1kHz にて記録した。RR 間隔より心拍数を算出し、専用の解析ソフトウェア (HRV module for LabChart, AD Instruments) を用いて、心拍変動の周波数領域の解析を実施した。先行研究²¹⁾を参考に、低周波数成分 (LF: 0.04—0.15 Hz) と高周波数成分 (HF: 0.15—0.45 Hz) のパワーを算出した。窓関数に Welch 法 (1/2 オーバーラップ) を採用し、高速フーリ

エ変換サイズは 1024 ポイントとした。

先行研究²¹⁾に従い、LF/HF を心臓交感神経活動指標と、HF/(LF+HF) (以下「HF 成分」) を心臓副交感神経活動指標として標準化単位 (normalized unit: n.u.) で表した。解析区間は、織物をかける直前の 10 分間と、織物をかけ始めてから 30 分間の計 40 分間とした。10 分間毎に区切って心臓自律神経活動指標の平均値を算出し、織物をかけていない最初の 10 分間を pre とした。ホワイトノイズの影響の受け方には個人差があるため²⁰⁾、織物をかける前にて両試行に有意差がないことを確認した後、織物をかける前からの相対値で試行間を比較した。

3. 統計方法

値は全て平均値 $\pm$ 標準誤差で表した。CMC と BLK 両試行における経時的変化の違いを検討する為に、独立変数を繰り返しのある時間要因、従属変数を試行要因とした二元配置分散分析を用いた。2 試行の比較では、対応のない t 検定を用いた。有意水準は 5% 未満とし、有意な交互作用が認められた場合、Bonferroni 法による多重比較検定を実施した。統計解析には IBM SPSS Statistics ver.23 と StatView5.0 のソフトウェアを用いた。

3. 結果

1. 実験 1

被験者は両脚試行者の 9 日間、あるいは片脚試行者の 9 日間を 3 日以上インターバルを挟んで 2 回、CMC または BLK シールを貼り続けたが、実験期間中を通して皮膚の異常を報告した者はいなかった。図 2 は CMC または BLK シール貼付による圧痛閾値の変化を示している。繰り返しのある 2 要因の分散分析の結果、試行要因 ($P=0.185$) および時間要因 ($P=0.93$) による主効果は有意であるとは言えず、また交互作用 ($P=0.246$) も見られなかったことから、CMC と BLK 試行の間に有意な圧痛閾値の変化の違いは見られなかった。

図 3 は、VAS によって表した、20N の圧を 10 秒間与えられた時の痛みの程度と被験者自身が触診した時の痛みの程度の変化を示している。20N の圧を 10 秒間与えた時の VAS において、試行要因 ($P=0.654$) および時間要因 ($P=0.136$) による主効果は有意であるとは言えず、交

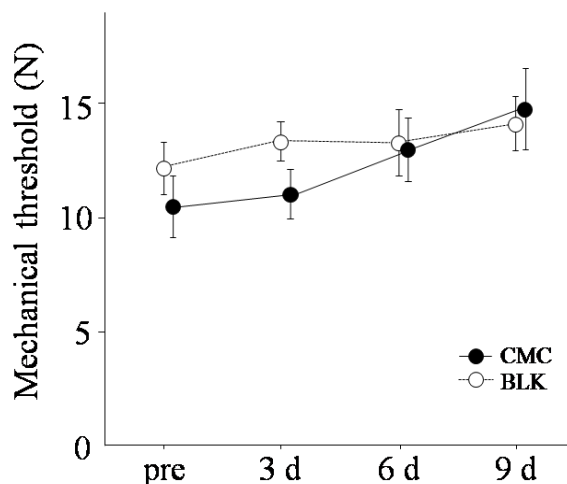


図 2 圧痛閾値の変化

互作用 ($P=0.726$) も見られなかった。被験者自身の触診による VAS の変化においては、時間要因 ($P=0.002$) の主効果が認められたが、有意な試行要因 ($p=0.426$) の主効果と交互作用 ($P=0.737$) は見られなかった。時間要因に対して多重比較を行ったところ、BLK 試行の貼付前と 9 日後の間に有意な差 ($P=0.01$) が認められた。

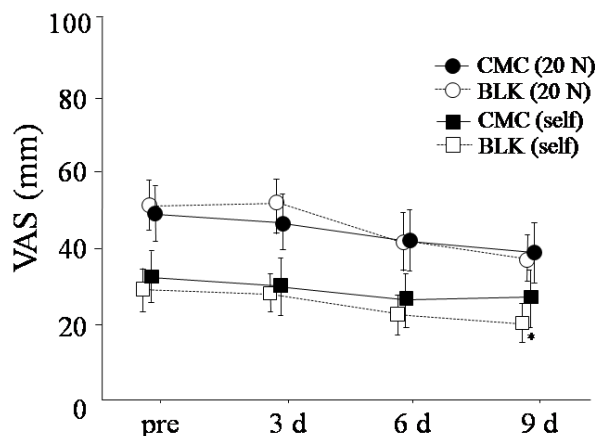


図 3 Visual Analogue Scale の変化

図 4 は測定ポイントを含め、被験者自身に手で触診した痛みの箇所とその範囲を丸印で記入させた結果を示した。貼付前、3、6、9 日後にかけて、CMC と BLK 両試行とも脛骨過労性骨膜炎の頻発部位でもある脛骨中遠位 1/3 部^{16,18)}では、範囲の大きさや数が小さくなる様子は見られず、また、視覚的に判断できる明確な違いも試行間には見られなかった。

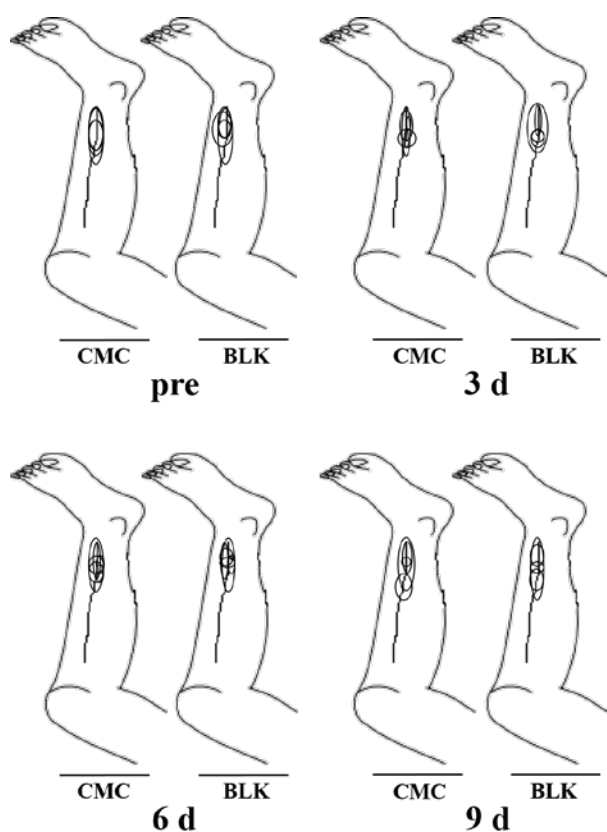


図4 痛みの局在の変化

2. 実験2

織物をかける前の LF/HF は、CMC 試行にて 2.58 ± 0.61 , BLK 試行にて 1.89 ± 0.42 で、HF 成分は、CMC, BLK 試行それぞれ 43.4 ± 5.7 と 37.9 ± 4.9 n.u. であった。対応のある t 検定の結果、LF/HF, HF 成分においていずれも CMC と BLK 試行間に有意差は認められなかった ($P=0.262, 0.456$)。図5は、心拍変動から推定した自律神経活動の相対変化と心拍応答を示している。心臓交感神経活動を示唆する LF/HF (図5a) は、CMC 試行において織物をかけた後に低下傾向であったが、試行要因 ($P=0.142$)、時間要因 ($P=0.847$) ならびに有意な交互作用 ($P=0.301$) は認められなかった。一方で心臓副交感神経活動を反映し得る HF 成分 (図5b) の CMC 試行は、LF/HF の挙動と逆の反応を示し、織物をかけた後に増加した。時間要因 ($P=0.036$) と試行要因 ($P=0.04$) の主効果はいずれも有意であり、有意な交互作用 ($P=0.042$) も認められた。多重比較の結果、CMC 試行では織物をかける前に対して、10 分後 ($P=0.033$) と 30 分後 ($P=0.049$) に有意差が認められた。心拍応答 (図5c) に大きな変化は

みられず、試行要因 ($P=0.43$)、時間要因 ($P=0.466$) ならびに交互作用 ($P=0.953$) は認められなかった。

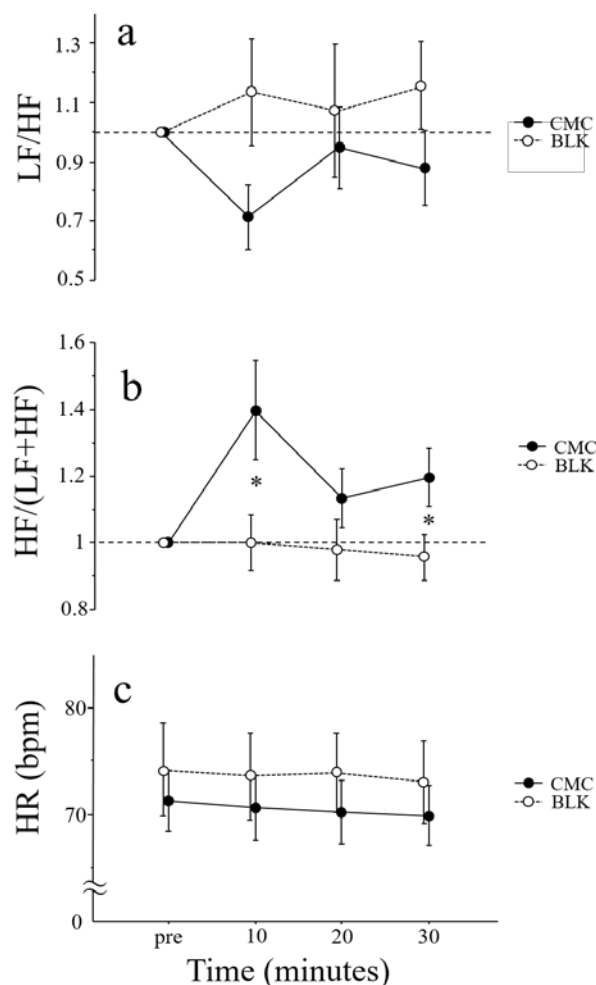


図5 自律神経活動の相対変化と心拍数の変化

4. 考察

本研究の目的は、運動器痛と自律神経活動に対する CMC の影響を検討することであった。本研究の結果から、CMC には骨格筋痛を緩和する効果は見られなかったが、心拍変動の HF 成分の増加が認められ、心臓副交感神経活動の亢進を示唆する効果が得られた。

1. CMC が運動器痛に及ぼす影響

骨格筋痛の原因の一つとして、深部血流不良があげられており^{8,14}、交感神経活動の増強が痛みの修飾に関わっていることも知られている^{13,14}。本研究や我々の先行研究²²⁾において、CMC が心臓副交感神経活動や骨格筋の局所循環を促進した可能性が得られた。ところが、

本研究で行った圧痛閾値と VAS による痛みの主観的な評価において、CMC と BLK 試行の間に有意な変化の違いが見られなかった。その原因として大きく三つの理由が考えられる。

第一には先行研究との実験モデルの違いである。Tsuiji et al. による先行研究¹²⁾では、CMC 貼付後の VAS 評価において、筋の痛みや緊張の改善が 20 名中 19 名に見られ、そのうち 15 名は CMC 貼付 4 日以内に改善が見られていた。先行研究と本研究との違いとして、先行研究では病院の患者から被験者を募集し、各被験者にとって全身の中で最も辛い箇所に CMC を貼付させたこと、痛みや辛さが消えるまで最長 20 日間貼り続けさせていたこと、平均年齢が高いこと(44.2 ± 7.3 歳)、そして対照物を用いず、二重盲検法ではなかったことが挙げられる。本研究においては、被験者の平均年齢は 28.3 ± 14.1 歳であり、被験者の中に下腿部の痛みで通院している者はいなかった。つまり、本研究の方が痛みを抱えている年月は短く、痛みの程度も強くなかった可能性が考えられた。その証明として、先行研究における CMC 貼付前の被験者の自己申告による 100mm スケールの平均 VAS 値は 66mm と、本研究の被験者が触診した際の 32mm とは 2 倍以上の差が見られた。さらに本研究では、脛骨過労性骨膜炎様の症状を持つ被験者に限定し、被験者が申告した脛骨内側に沿った所で一番痛い箇所に対して測定を行ったが、その箇所が被験者にとって全身の中で最も辛い、痛い箇所であったかどうかは調査しなかった。CMC の貼付期間も全員 9 日間と統一した。以上の実験方法の違いから、先行研究で見られたような CMC の骨格筋痛の緩和効果が示されなかったと考えられた。

第二の原因として中枢神経系の影響である。CMC の痛み軽減効果の有力な仮説は、CMC が接触している箇所の筋活動、循環、酸素供給や組織ホメオスタシスを生物学的回路のバランスを回復することによって向上させるというものである¹²⁾。痛みは局所(末梢)のみならず自律神経系以外の中枢性神経系の影響も受けている^{14,23)}。被験者の痛みは急性のものではなかったため、脊髄ニューロン、視床、体性感覚皮質や吻側副内側核などといった中枢神経系の影響を受けていたと考えられるが¹⁴⁾、

患部に CMC を貼っただけでは、中枢性に調節される痛みに影響を及ぼすには至らなかったのかもしれない。

第三の原因として、実験で使用した CMC の量である。本研究において、実験 2 では 153×15mm の CMC を 25 個×4 列貼り付けた織物を使用した(図 1b)。一方、実験 1 の被験者に貼付した CMC シールは 1—3 枚であり、実験 2 のように多量に適用されていなかった。したがって、本研究にて痛みの緩和効果を捉えられなかった理由の一つとして、CMC の量が充分でなかった可能性が考えられた。

2. CMC が心拍変動に及ぼす影響

心臓副交感神経活動の亢進に関して、清水らは、足部のみを湯に浸す足浴が一時的に心臓副交感神経活動の抑制と心臓交感神経活動の亢進を起こすものの、その後は心臓副交感神経活動の亢進と心臓交感神経活動の抑制が生じたことを報告している²⁴⁾。足浴は下肢皮膚血流量の増加をもたらす²⁵⁾、リラックスや入眠効果があるとされている²⁴⁾。我々の先行研究においても、CMC が骨格筋への局所的な筋酸素飽和度の上昇、すなわち血液循環の亢進をもたらしたことを報告した²²⁾。これらのことから、CMC にはリラクゼーション効果があり、その要因の一つに末梢血流量の増加が関与している可能性があると考えられた。このような末梢血流量が高まっている副交感神経活動が優位な状態は、骨格筋痛の緩和に良い状態であると言える。

4. 結論

本研究において、CMC に心臓副交感神経活動の亢進をもたらす効果が見られたが、運動器痛を軽減する効果は見られなかった。

利益相反

株式会社 CMC 総合研究所(代表:元島栖二)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。

引用文献

- 厚生労働省大臣官房統計情報部 (2014) 平成 26 年グラフでみる世帯の状況 —国民生活基礎調査(平成 25 年)の結果から—. <http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/dl/20-21-h25.pdf>, (参照日 2016 年 3 月 14 日).
- Deyo, R.A., Rainville, J., and Kent, D.L. (1992) What can the history and physical examination tell us about low back pain? *JAMA*, 268(6): 760-765.
- 水村和枝 (2012) 筋・筋膜性の痛み. *Practice of pain management*, 3(1): 30-34.
- 辻井洋一郎 (1989) 徒手療法—筋筋膜摩擦伸張法—. *理学療法学*, 16(3): 177-182.
- Simons, D.G., Travell, J.G., and Simons, L.S. (1999) *Myofascial pain and dysfunction: The trigger point manual. Volume 1 Upper Half of Body* (2nd ed.). Lippincott Williams and Wilkins.
- 古後晴基・黒澤和生・長谷川敦子・有賀透仁・秋吉祐一 (2010) 筋硬度の定量化ならびに筋硬結における筋疼痛と筋硬度との関連性. *理学療法科学*, 25(1): 41-44.
- デイビーズ・デイビーズ: 大谷素明監訳 (2012) 誰でもできるトリガーポイントの探し方・治し方 筋の基礎からセルフトリートメントまで. 株式会社エクスナレッジ.
- Sandberg, M., Larsson, B., Lindberg, L.G., and Gerdle, B. (2005) Different patterns of blood flow response in the trapezius muscle following needle stimulation (acupuncture) between healthy subjects and patients with fibromyalgia and work-related trapezius myalgia. *Eur. J. Pain*, 9(5): 497-510.
- 森下勝行・鳥野 大・横井悠加・諸角一記・荻原久佳・花岡正明・藤原孝之・藤本哲也・阿部康次 (2014) 超音波照射が疼痛閾値に与える影響. *理学療法学*, 29(2): 271-275.
- Motojima, S., Kawaguchi, M., Nozaki, K., and Iwanaga, H. (1990) Growth of regularly coiled carbon filaments by Ni catalyzed pyrolysis of acetylene and their morphology and extension characteristics. *Appl. Phys. Lett.*, 56: 321-323.
- 元島栖二 (2013) 図解 カーボンマイクロコイル ヘリカル炭素繊維が拓く世界. 日本工業新聞社.
- Tsuji, D.H., Awade, R., and Posso, I.P. (2015) Cutaneous application of silicone wafers containing carbon microcoils: Efficacy in relieving chronic muscle tension and pain. *J. Altern. Complement. Med.*, 21(7): 439-443.
- Schlereth, T., and Birklein, F. (2008) The sympathetic nervous system and pain. *Neuromolecular Med.*, 10(3): 141-147.
- ヨアンソンら: 間野忠明監訳, 岩瀬敏・中田実訳 (2010) ストレスと筋疼痛障害. 名古屋大学出版会.
- 内山英司 (2011) シンスプリント. 中嶋寛之監修, 新版 スポーツ整形外科学. 南光堂, pp. 338-340.
- 松井智裕・熊井 司 (2014) 基本のきから学ぼう 患者さんに話せるスポーツ障害: 第 14 回 シンスプリント. *整形外科看護*, 19(10): 103-105.
- Schulze, C., Finze, S., Bader, R., and Lison, A. (2014) Treatment of medial tibial stress syndrome according to the fascial distortion model: A prospective case control study. *The Scientific World Journal*, 2014: 790626, 1-6.
- ギャレットら: 福林 徹・渡邊好博監訳 (2010) 第 49 章 下腿の損傷 シンスプリント. スポーツ整形外科学 —理論と実践—. 西村書店, pp. 690-692.
- 横田敏勝 (2001) 臨床医のための痛みのメカニズム (改訂第 2 版). 南江堂, p.16.
- 保坂栄弘 (2008) 光電式指尖容積脈波を用いた心理的ストレス度計測法の開発とその応用. *総合研究所年報*, 28: 133-136.
- Malik, M., Bigger, J.T., Camm, A.J., Kleiger, R.E., Malliani, A., Moss, A.J., and Schwartz, P.J. (1996) Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *European Heart Journal*, 17: 354-381.
- 浦井久子, 堀田典生, 早川純平, 尾方寿好, 元島栖二 (2016) カーボンマイクロコイルが筋酸素飽和度に及ぼす影響. *材料技術*, 34(6): 183-188.

- 23) Voscopoulos, C., and Lema, M. (2010) When does acute pain become chronic? Br. J. Anaesth., 105(S1): i69-i85.
- 24) 清水祐子・佐藤みつ子・永澤悦伸・小森貞嘉 (2001) 仰臥位足浴による心臓自律神経活動の変化ー若年健康女性を対象にー. 山梨医大紀要, 18: 31-34.
- 25) 平松則子・大吉三千代・川島みどり・菱沼典子・香春知永・操 華子 (1994) 入眠を促す援助としての足浴の効果についてー足浴が及ぼす生理的变化ー. 日本看護科学会誌, 14(3): 208-209.

Title: Effects of carbon microcoils on musculoskeletal pain and heart rate variability.

Authors: Hisako Urai, Norio Hotta, Junpei Hayakawa, Shunsuke Asakura, Hisayoshi Ogata.

Address: College of Life and Health Sciences, Department of Lifelong Sports for Health, Chubu University, 1200 Matsumoto-cho, Kasugai, Aichi 487-8501, Japan

Keywords: Medial tibial stress syndrome, Shin splints, Cardiac parasympathetic activity