

コンプレッションガーメントは連続した日程で実施する 高強度運動からの回復を促す

加 藤 え み か

要 旨

背景：集中的な身体トレーニングや試合において、筋機能に対する適切な回復がなくては其後の運動パフォーマンスの低下をもたらす可能性がある。近年、筋損傷の回復を促すためにコンプレッションガーメント (CG) の使用が増えている。先行研究ではCGを使用した後の筋力の回復が報告されているものの、その多くは運動課題を初日のみに行い、パフォーマンスに関連する測定項目の時間経過を報告しているに過ぎない。アスリートの多くは合宿などで高強度な練習を数日間継続することも多い。しかし、これらの先行研究ではそのような運動パターンを反映した実験デザインではない。そこで、本研究の目的は連続した日程で高強度運動を行った際に筋パフォーマンスに対するCGの影響を調べることとした。**方法：**14名の健康な参加者を無作為にCGとCON (CG無し) にランダムに分けた。CGは最初にCG条件を行い、その2~3か月後にCON条件を行った。CONは、これらの条件を逆の順序で実施した。両条件の下で、被験者は最大背屈位から最大足底屈位までのカーフレイズを片脚で20回繰り返し、それを3セット行う運動課題を4日間継続した。CGではカーフレイズの後、被験者は翌日の実験までCGを着用した。CONでは、特別な機能を有する衣類は使用しなかった。カーフレイズの前、下腿の周径囲、クレアチンキナーゼ活性 (CK)、主観的な筋肉痛の程度、下腿の筋硬度と筋形状 (筋厚、筋束長、羽状角)、足関節の受動トルク、足関節底屈の最大随意収縮 (MVC) を測定した。また、最大下 (20% MVC) での足関節底屈を20秒間行い安定した筋力発揮の指標 (steadiness) とした。**結果：**二元配置の分散分析 (条件×日にち) は、筋硬度 ($p<0.001$) とすべての筋形状の項目に有意な交互作用があることを示した ($p<0.001$)。以上の項目については、いずれも条件と日にちにおいて有意な主効果を示した。また、MVCとsteadinessも有意な交互作用を示した (各々 $p=0.001$, $p=0.009$)。MVCでは条件と日にちにおいて有意な主効果を示したものの、steadinessでは条件のみに主効果を示した。CKでは有意な交互作用を示さなかったものの、CON条件では日にちにおいて有意な主効果を示した。**考察：**多くの測定項目の結果より、CONよりもCGの方が早い回復であったことを示した。これは圧迫による「動的なギプス」で筋線維の配列を安定させることにつながり、炎症反応と痛みを弱めることができると推測する。また、CGを使用することで、筋温の維持・増加、それに伴う筋血流量の増加と装着時の筋活動による静脈還流の増加の可能性もある。結論として、CGの使用は連続した日の激しい運動後の筋パフォーマンスに有益な効果をもたらすことが示された。

キーワード：コンプレッションガーメント、カーフレイズ、筋硬度、発揮トルクの安定性、超音波法

1. 緒言

短時間に複数回の運動を行う必要がある場合に、運動に伴い生じた疲労を迅速に回復することは競技力向上のためにも重要であり、トレーニングでの慢性的な障害の予防にもつながる²⁶⁾。特に合宿のように通常の練習よりも高強度での身体活動を実施した場合に、前日までの練習で生じた疲労から回復していなければ、その日の練習メニューがこなせないばかりか、傷害の原因ともなり得る。競技力の向上のみならず、アスリートの傷害予防の観点からも速やかな疲労回復は重要である。

高強度での運動は筋疲労と振戦⁴³⁾、運動誘発性筋損傷 (exercise induced muscle damage: EIMD) により、その後の運動パフォーマンスの低下をもたらす。これらの原因としては筋形状 (筋厚, 筋束長, 羽状角) の変化や、筋硬度の変化, エネルギーの枯渇などがあげられる^{36, 37, 45)}。

近年では様々な疲労回復のための方法がスポーツの現場で用いられているが、その中でもコンプレッションガーメント (CG) はアスリートが運動中または運動後に身に付けることで、EIMD の予防や EIMD からの早期の回復が見込める^{23, 36)}。サプリメントの摂取のようにタイミングを気にすることや、アイスバスのような大掛かりな装置が不要であるため、自宅や遠征先で簡便に使用できるという利点がある。CG は静脈の血流を促し、血管の障害や術後の浮腫を軽減させるための圧力機能を有するストッキングの使用の効果に由来している^{2, 15, 42)}。その効果が運動時においても応用できるという考えに基づいた検証では、Chatard et al.¹⁴⁾ や Ibegbuna et al.²⁹⁾ が静脈還流における末梢循環や、高強度運動による血中乳酸の除去を促す役割をこれまでに報告している。また、CG の着用により運動中の筋の振動が減少することから、最大努力で跳躍を反復した際のパワーの維持や、運動後の筋損傷マーカの減少にも貢献するという報告がある^{11, 19, 23, 34, 36)}。具体的な運動課題に対する効果としては、最大努力での鉛直方向への跳躍の反復でパワーの増加がみられたり、最大努力での5分間の最大自転車駆動の反復では有酸素性のパフォーマンスが改善している^{14, 34)}。また、上腕二頭筋が主働筋のアームカールでは1回の力発揮においてより早い回復がみられている³⁶⁾。以上の働きによりCGが振戦やEIMDを防ぐことで運動パフォーマンスが低下を予防した、または一過性の低下はみられたものの、回復が早まったという報告は多い^{10, 11, 25, 30, 36, 37, 38, 44)}。

その一方で複数の項目を測定している報告の中には、効果がみられなかった項目を報告しているものもある。鉛直方向の跳躍では跳躍高が改善したものの、20 m または 60 m のスプリント時間は改善しなかった^{7, 19)}。また、Duffield and Portus²¹⁾ によると、間歇的なスプリントや最大下での距離走については、CG を着用しても効果が得られたなかったものの、クレアチンキナーゼ活性 (CK) については運動 24 時間後に減少傾向がみられている。また、Maton et al.⁴¹⁾ はCGの使用に関わらず、足関節の背屈運動後の筋活動が変化しなかったことを報告している。さらに、CGを使用しても間歇的なスプリントや、伸張性筋活動による下り坂歩行にお

いて運動パフォーマンスには向上がみられなかったものの、筋損傷マーカーでは回復がみられたことが示されている^{4, 7, 21, 48)}。

連続した日程で実施した運動と、それに対する回復についてCGの効果を検討した報告は多いものの、それらのほとんどが初日のみに運動課題を実施して、残りの日程では回復の程度を定量するための測定が実施されているに過ぎない^{9, 22, 23, 27, 28, 30, 38, 39, 46, 49)}。実際のスポーツの現場でCGの使用を検討する際には、一過性の効果や単回運動への効果のみならず、連続した日程で高強度運動を実施するような実験条件でCGの効果を明らかにする必要がある。そこで本研究の目的は、高強度運動を連続した日程で実施した際に、CGが筋力発揮、筋ステイフネス、筋形状、クレアチンキナーゼ活性、主観的な筋肉痛の程度に及ぼす影響を明らかにすることである。仮説としてCGの使用により、高強度運動後の回復のツールとして筋パフォーマンスと生化学的な指標において有利になると予想した。その理由は、高強度運動に含まれる伸張-短縮サイクル (stretch-shortening cycle: SSC) はEIMDをもたすが、CGの使用により、収縮要素のステイフネスなどの力学的、および、筋厚、筋束長などの形状的な変化を防ぐ可能性が考えられるためである。

2. 方法

(1) 被験者

14名の健康な成人(男性9名, 女性5名)が被験者として実験に参加した(年齢: 29.6 ± 5.5 歳, 身長: 166.3 ± 5.6 cm, 体重: 59.0 ± 6.7 kg)。被験者は定期的な運動習慣がある者であったが、本格的なトレーニングを実施しているものは含まなかった。被験者は実験前の24時間は通常の飲食を心がけ、強度の高い運動やトレーニングは控えるように指示された。全ての被験者は実験の手順に慣れており、等尺性でのトルク発揮については事前(実験実施の1週間から3日前)に安定したトルク発揮が行えるように練習を行なった。実験の参加に際して、被験者は実験内容に関する説明を受け、同意書に署名を行った。研究は京都産業大学の研究倫理委員会により承認され(京産大倫理第0120号)、ヘルシンキ宣言に則ったものであった。

(2) 実験デザイン

被験者は連続した4日間に渡る実験に2回参加し、実験室へは計8回訪問した。そのうちの1回の4日間は運動課題であるカーフレイズ後にコンプレッションガーメント(A400, SKINS, Sydney, Australia)を着用する施行(CG条件)であり、もう1回の4日間は特別なタイツを実験期間中に着用しない施行(CON条件)であった。CGのサイズは被験者の体格(身長と体重)をもとに、メーカーのサイズに関するガイドラインに沿って決定した。CG条件とCON条件の順番は被験者ごとにランダムに決定した。試行間は筋肉痛の繰り返し効果を避けるために、

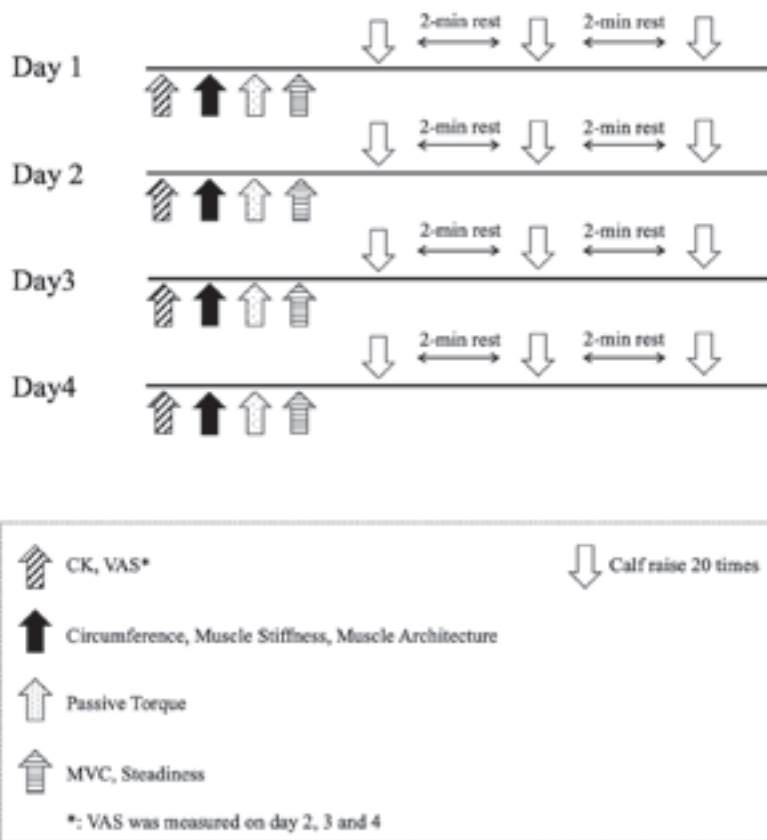


図1：実験デザイン

最低でも2ヶ月間あけて、8回の測定はほぼ同じ時間帯（差は1時間以内）に実施した。運動課題は右脚のみで行うカーフレイズであった。4日間を通して実験前にクレアチンキナーゼ活性、右脚の下腿の周径囲、腓腹筋内側頭（gastrocnemius medialis: MG）の筋硬度、筋形状（筋厚、筋束長、羽状角）、等尺性足関節最大底屈トルク、最大下での発揮筋力の調整能力、足関節角度底屈30°から背屈20°まで他動的に背屈させた際の受動トルクを測定した。また、2日目以降は実験前に主観的な筋肉痛の程度をビジュアルアナログスケール（Visual Analog Scale: VAS）を用いて尋ねた（図1）。

(3) 実験手順

a) カーフレイズ

カーフレイズは先行研究に基づいて実施した^{33, 47)}。高さ20cmのステップの台上で右脚のみで実施し、20回を1セットとして2分間の休憩を挟んで3セット繰り返した。前足部のみをステップ台に乗せて、後足部は台上から出して何にも触れていない状態で、最大背屈位から最大底屈位までメトロノーム（MA-1, KORG, Japan）のテンポ（46 bpm）に合わせてカーフレイ

ズを行うように指示した。カーフレイズは1回の音で最大背屈から最大底屈までの運動を行う相と最大底屈から最大背屈までを行う相に分かれており、音に遅れないことや、動作を早く完了させて最大背屈位または最大底屈位で次の動作の開始を待つことのないように指示を行なった。また、膝関節と股関節は完全伸展のままであった。被験者はカーフレイズの際に右手の人差し指の指尖のみを壁に触れることで姿勢を安定させたが、その際に手指に姿勢を安定させる以上の力がかからないように指示した。カーフレイズ中の足関節角度を求めるために、外踝をまたいでゴニオメータを貼付し、被験者の足関節角度が不十分な際には験者が注意を促した。

b) 周径囲, 筋硬度

周径囲は被験者の右下腿の下腿長(大腿骨外側上顆と外踝の直線距離)の30%部位を対象として静止立位で測定した¹⁾。この位置を選択した理由は筋の横断面積が最大となるためであった³¹⁾。また、MGの筋硬度は下腿長の30%部位を長軸方向に超音波装置(Aixplorer, SuperSonic Imagine, Provence, France)のプロープ(SuperLinear 15-4, SuperSonic Imagine, France; 7.5-MHz wave frequency with 38-mm scanning length)を用いて、超音波エラストグラフィ法で撮像した。超音波装置に付属するモニタ上にはエラストグラフィ法で撮像した画像と、筋形状を可視化するための撮像方法であるBモード法で取得された画像が上下に並んで表示されるように設定した。剪断波超音波法は生体内の密度が一樣であれば、硬い組織では速度が速く、柔らかい組織では速度が遅くなることを利用して組織の硬さを評価する測定方法である。超音波画像診断装置のモニタの表示において、組織の硬さに応じた着色(カラーフローイメージ)により、柔らかい組織では青く、硬い組織では赤く着色されるように設定した。被験者は筋力計(VTF-002, VINE, Japan)のシートに膝関節完全伸展で座位をとった。股関節角度は90°から30°伸展した角度であり、肩関節と股関節、股関節と下肢のなす角度が120°であった。これは、股関節角度90°の椅座位ではハムストリングに突っ張ったような不快感を覚える被験者がいたためであった³²⁾。足関節は解剖学的正位(0°)でフットプレートに固定された。撮像された画像から筋硬度の値を求めるために、画像内の腓腹筋内側頭の筋腹中央に10 mm四方の関心領域(region of interest: ROI)を設定し、筋硬度を装置に内蔵されたソフトウェアで自動的に計測し、数値化するようにした^{3, 33)}。筋硬度計測の妥当性のために、本研究の被験者を含む20名を対象として、安静時の筋硬度を足関節角度90度で2回測定した。2回目の測定は別の日に行い、その際の変動係数(coefficient variation: CV)は1.7% ± 0.3%であり、級内相関係数は0.91~0.99であった。

c) 筋形状

カーフレイズ前にMGの筋形状を測定した。筋形状の測定は筋硬度の測定と同時に行った。超音波画像診断装置のディスプレイ部分が二画面表示になっており、片方では剪断波超音波法

で測定した筋硬度の結果が表示され、もう片方では超音波 B モード法で測定した筋形状の結果が表示されるように設定した。筋厚 (Muscle thickness : MT) は MG の中心の浅部腱膜と深部腱膜の垂直距離とした。筋束長 (Fascicle length : FL) は浅部腱膜と深部腱膜を結ぶ筋束の長さとして、羽状角 (Pennation angle : PA) は深部腱膜と FL の成す角度とした^{18,20)}。なお、4 日間にわたりプローブを同じ位置に貼付するように、1 日目の測定前に被験者の皮膚上に油性ペンを用いてプローブの位置を記載した。さらに、CG 試行と CON 試行において同じ位置を測定するために、被験者の骨の位置からプローブまでの距離を測定し、カメラで撮影し、画像として保存した。MG の筋形状の測定は 3 回行い、3 回の測定の CV は MT で $1.3\% \pm 0.9\%$ で、FL で $0.5\% \pm 0.3\%$ 、級内相関係数は MT で $0.842 \sim 0.986$ 、FL で $0.843 \sim 0.987$ であった。

d) 等尺性最大底屈トルクと最大下での発揮トルクの安定性 (steadiness)

被験者は筋力計のシート部分に筋硬度および筋形状の測定と同じ姿勢をとった。被験者は十分な練習の後に等尺性最大底屈トルク (maximal voluntary contraction: MVC) を発揮した。その際にフットプレートに足部を固定するため、非伸縮性のストラップで足部の甲と足関節周りを固定し、トルク発揮に伴う足関節の角度変化が起らないようにした。足部を固定する際に被験者への不快感は最小限となるように留め、試行ごとに被験者へ口頭で不快感の有無に関する確認を行なった。MVC の測定は 2 回実施し、施行間には 2 分間の休憩を設けた。カーフレイズ前の MVC の値に 5% 以上の隔たりがあった場合には 2 回目の測定後に 2 分間の休憩を設けて 3 回目の測定を行なった³²⁾。また、測定に際してストラップで足部を筋力計のフットプレートに固定したが、しびれや痛みなどがなければ被験者に口頭で適宜確認し、最大筋力発揮の妨げにならぬよう配慮した。

カーフレイズ前に測定した MVC の全ての値の中の最大値をもとに、最大下での発揮トルクの安定性でのターゲットトルク (20% MVC) を設定した。MVC および発揮トルクの安定性の試行中に発揮された底屈トルクは筋力計のフットプレートに埋設したロードセル (model LTZ-500KA, linear range 0-5,000 N, KYOWA, Osaka, Japan) で取得した。筋力計で測定されたトルク信号は生体アンプ (DPM-911B, KYOWA, Osaka, Japan) で増幅した。

発揮トルクの安定性の試行において被験者は測定開始前に十分な練習をした。その後、験者は被験者に眼前 1 m のモニタにソフトウェア (LabChart, version 7.2-32 bit, ADInstruments, Dunedin, New Zealand) 経由で映写された 20% MVC のターゲットトルクを見ながら、なるべく安定した等尺性の底屈トルク発揮を 20 秒間継続するように指示した。発揮トルクの平均値、標準偏差 (standard deviation : SD)、変動係数 (coefficient variation: CV) を 20 秒間のうちの中央の 16 秒間について分析し、CV を発揮トルクの安定性の指標とした³²⁾。予備実験で行なった MVC の CV は $4.4\% \pm 3.1\%$ であり、発揮筋力の調整能力の CV は $7.4\% \pm 4.6\%$ で

あった。また、MVCの級内相関係数は0.889~0.988で、発揮トルクの安定性の級内相関係数は0.839~0.875であった。

e) 受動トルク

被験者は筋力計のシート部分に筋硬度の測定の際と同様の姿勢をとり、足部を筋力計のフットプレートに固定した。験者はフットプレートの角度を底屈30°から背屈20°まで10°ごとに手動で変更し、受動トルクを取得した。その際に被験者には適宜痛みがないかを口頭で尋ねた。

f) クレアチンキナーゼ活性

筋損傷の程度を定量するために、すべての測定日の最初にクレアチンキナーゼ活性(CK)を測定した。被験者に任意の指を選択させて、採血用穿刺器具(メディセーフファイナタッチII, テルモ株式会社, 東京, 日本)で穿刺し、毛細管(EMマイスターリングキャップス200 μ l, アズワン株式会社, 大阪, 日本)で採取した。採取した血液を全血用試料容器に移し遠心分離機にかけて、血清を取得した。取得した血清を臨床化学自動分析装置(SPOTCHEM EZ, SP-4430, アークレイインフィニティ株式会社, 京都, 日本)で測定した。その際にクレアチンキナーゼ測定用のチップ(スポットケムIICPK, アークレイインフィニティ株式会社, 京都, 日本)を使用した。

g) 主観的な筋肉痛の程度

被験者の主観的な筋肉痛の程度を定量するため、100 mmのビジュアルアナログスケール(VAS)を使用して、実験の2日目、3日目、および4日目の測定開始時に実施した。VASは左から右に向かって0 mmで「全く痛みがない」、100 mmで「耐え難い痛み」と設定した^{24, 36)}。被験者は任意の位置にスケールに直交する線をペンで書き、その際に他の被験者や他の日のVASは参照させなかった¹²⁾。

(4) 統計処理

全ての変数は平均 \pm 標準偏差で記述した。データの正規性を確認するために、全ての変数についてKolmogorov-Smirnov検定を行なった。また、全ての変数についてThompsonの棄却検定を実施した。周径囲、筋硬度、筋形状、MVC、steadiness、CKについては、条件:CGまたはCON \times 日にち:1日目、2日目、3日目、4日目として、反復測定の実験配置の分散分析を行った。被験者内因子の分散の等質性についてMauchlyの球面性検定を行った。交互作用のみられた項目については単純主効果の検定を行なった。また、日にちに対するCGの影響を明らかにするために、正規線型混合効果モデルによる検定を行った。主観的な筋肉痛の程度

には、Freidman 検定を行なった。有意水準は 5%未満とした。統計には全て SPSS version 22 (IBM SPSS Statistics) を用いた。

3. 結果

(1) 周径囲

下腿の周径囲の結果を図 2 に示す。下腿の周径囲では、有意な交互作用がみられず (条件 × 日にち, $p=0.206$, $F=1.598$)、日にちにも有意な主効果はみられなかったものの ($p=0.507$, $F=0.789$)、条件には有意な主効果がみられた ($p=0.027$, $F=6.241$)。

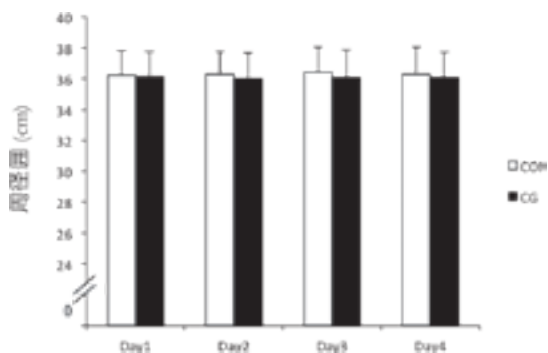


図 2：下腿の周径囲

(2) 筋硬度

図 3 に筋硬度の結果を示す。カーフレイズ実施前の筋硬度では有意な交互作用がみられた (条件 × 日にち, $p<0.001$, $F=11.077$)。また、条件 ($p=0.001$, $F=17.183$) と日にち ($p<0.001$, $F=11.988$) に有意な主効果がみられた。

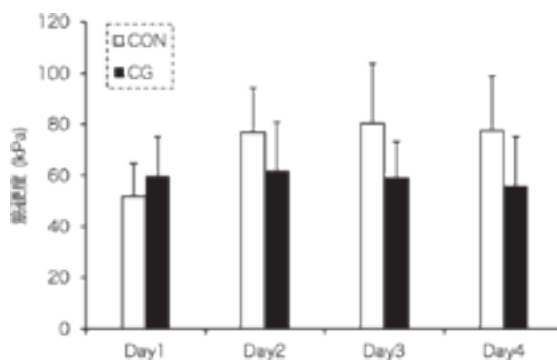


図 3：筋硬度

(3) 筋形状

筋厚では条件と日にちの間に有意な交互作用がみられた (条件 × 日にち, $p < 0.001$, $F=17.568$)。また、条件 ($p < 0.001$, $F=16.376$) と日にち ($p=0.001$, $F=8.689$) にもそれぞれに有意な主効果がみられた。筋束長では条件と日にちの間に有意な交互作用がみられた (条件 × 日にち, $P < 0.001$, $F=9.275$)。また、条件 ($p=0.002$, $F=14.438$) と日にち ($p < 0.001$, $F=8.080$) にもそれぞれに有意な主効果がみられた。羽状角では条件と日にちの間に有意な交互作用がみられた (条件 × 日にち, $p < 0.001$, $F=15.401$)。また、条件 ($p < 0.001$, $F=21.838$) と日にち ($p=0.004$, $F=5.236$) にもそれぞれに有意な主効果がみられた。

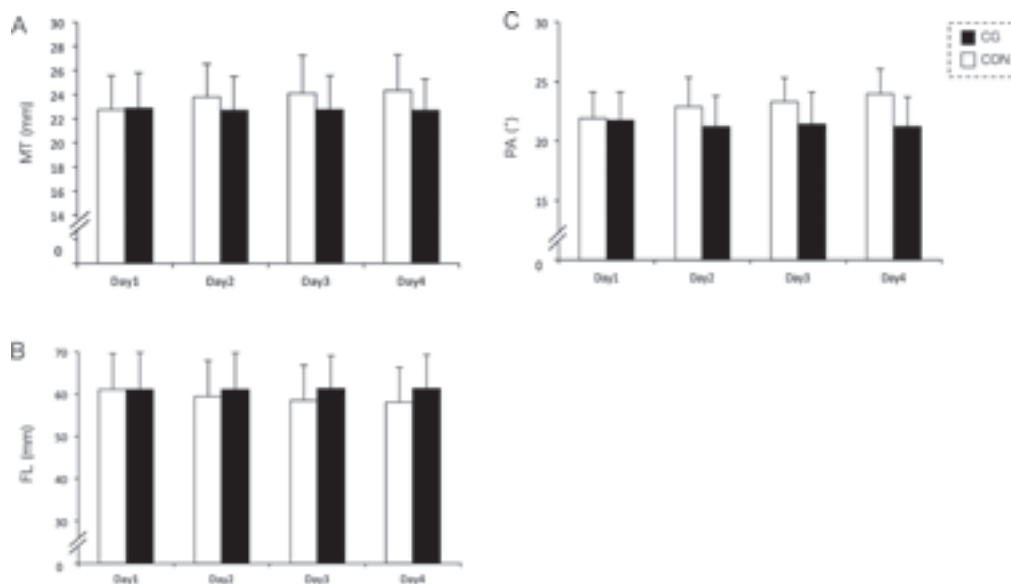


図4：筋形状，A：筋厚（MT），B：筋束長（FL），C：羽状角（PA）

(4) 等尺性足関節最大底屈トルク

図5にMVCの結果を示す。カーフレイズ実施前のMVCでは有意な交互作用がみられた（条件×日にち， $p=0.001$ ， $F=6.769$ ）。また，条件（ $p=0.001$ ， $F=20.636$ ）と日にち（ $p=0.002$ ， $F=5.968$ ）に有意な主効果が観察された。

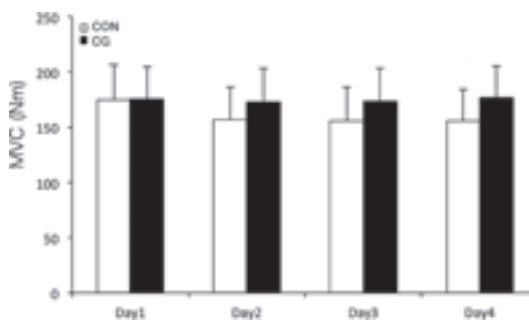


図5：MVC

(5) 最大下での発揮筋力の調節能力（steadiness）

図6にsteadinessの結果を示す。MVCと同様に，有意な交互作用がみられた（条件×日にち， $p<0.001$ ， $F=9.682$ ）。また，条件（ $p=0.001$ ， $F=20.434$ ）には有意な主効果がみられたものの，日にちには有意な主効果はみられなかった（ $p=0.631$ ， $F=0.580$ ）。

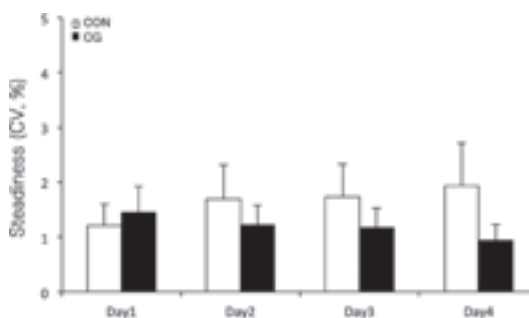


図6：Steadiness

(6) 受動トルク

図7に受動トルクの結果を示す。0°では有意な交互作用はみられず(条件×日にち, $p=0.260$, $F=1.392$), 条件に有意な主効果がみられなかったものの ($p=0.117$, $F=2.822$), 日にちに有意な主効果がみられた ($p=0.012$, $F=4.150$)。背屈10°では有意な交互作用はみられず(条件×日にち, $p=0.108$, $F=2.165$), 条件に有意な主効果がみられなかったものの ($p=0.086$, $F=3.454$), 日にちには有意な主効果がみられた ($p=0.005$, $F=5.097$)。足関節角度と受動トルクを回帰して求めた傾きで表す足

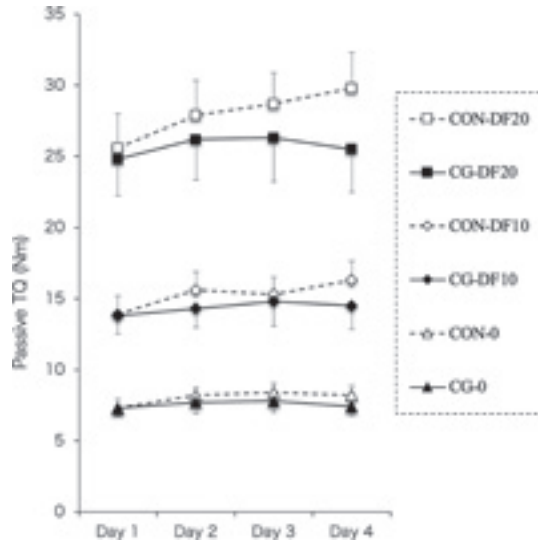


図7：受動トルク，DF：足関節背屈

関節のスティフネスは，CG条件では，1日目： $0.46 \pm 0.16 \text{ Nm}^\circ$ ，2日目： $0.49 \pm 0.18 \text{ Nm}^\circ$ ，3日目： $0.49 \pm 0.21 \text{ Nm}^\circ$ ，4日目： $0.48 \pm 0.20 \text{ Nm}^\circ$ であった。また，CON条件では，1日目： $0.49 \pm 0.15 \text{ Nm}^\circ$ ，2日目： $0.54 \pm 0.15 \text{ Nm}^\circ$ ，3日目： $0.55 \pm 0.15 \text{ Nm}^\circ$ ，4日目： $0.57 \pm 0.17 \text{ Nm}^\circ$ であった。足関節のスティフネスには，有意な交互作用はみられず(条件×日にち, $p=0.444$, $F=0.911$) 条件には有意な主効果はみられなかったものの ($p=0.105$, $F=3.037$), 日にちには有意な主効果がみられた ($p=0.015$, $F=3.949$)。

(7) クレアチンキナーゼ活性 (CK)

1日目のカーフレイズを行う前に14名の測定を実施したところ，CON条件では最小値が41 IU/Lで，最大値が414 IU/Lであった。また，CG条件では最小値が22 IU/Lで，最大値が220 IU/Lであった。個人差が大きかったため，Thompsonの棄却検定を両条件において1日目(カーフレイズ実施前)，2日目，3日目，4日目を実施

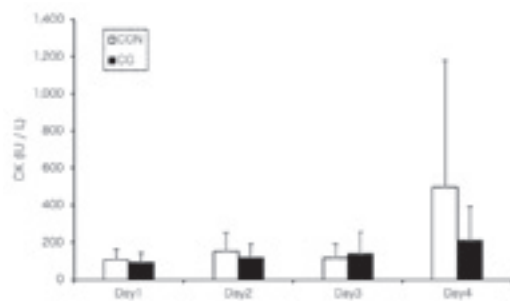


図8：クレアチンキナーゼ活性

した。その結果，CON条件の1日目と3日目において1名ずつ外れ値が確認されたため，それらについては分析対象から除外した。図8にCKの結果を示す。CKでは有意な交互作用はみられず(条件×日にち, $p=0.133$, $F=1.785$), 条件 ($p=0.184$, $F=1.886$) でも有意な主効果はみられなかった。日にちではCON条件には有意な主効果がみられたが ($p=0.034$, $F=4.304$), CG条件には有意な主効果はみられなかった ($p=0.316$, $F=1.339$)。

(8) 主観的な筋肉痛の程度

1日目のカーフレイズ前は両条件において主観的な筋肉痛の程度は0であったため、2日目から4日目の値を分析対象とした。CON条件では2日目から4日目にかけて有意差がみられたものの ($p=0.026$)、CG条件では有意差はみられなかった ($p=0.168$, 図9)。

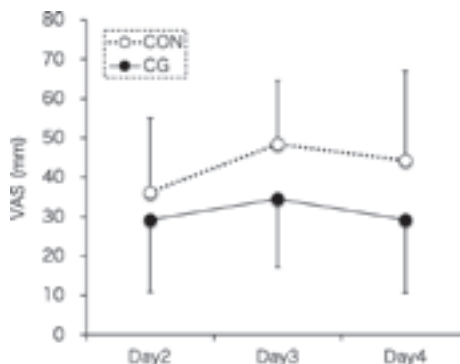


図9：主観的な筋肉痛の程度

4. 論議

本研究の主な結果として、CG条件では2日目以降のカーフレイズ前に測定した筋形状や筋硬度が1日目のカーフレイズ前と比較して変化しにくかったことに対して、CON条件では筋硬度、筋厚、筋束長、羽状角などの筋のコンディションを表す指標が1日目と比較して有意に変化した。また、パフォーマンスとして測定した最大筋力と最大下での steadiness についても、CG条件では1日目のカーフレイズ前と比較して有意な変化はみられなかったが、CON条件では1日目のカーフレイズ前と比較すると有意にパフォーマンスが低下した。

Goto et al.²⁴⁾ と Jakeman et al.³⁰⁾ はこれまでにCGをトレーニング後に用いることで、翌日以降に筋力など筋機能の回復が促されたことを報告している。また、Goto et al.²⁴⁾ はストレングストレーニングを実施した後にCGを着用する施行と着用しない施行とを設定して、トレーニング終了24時間後の筋力を比較している。その結果、CGを着用した試行の方が、着用しなかった試行よりも筋力トレーニングによって低下した筋力が上肢、下肢ともに回復が早まったことを示している。先行研究では100回のプライオメトリックジャンプ³⁰⁾ や、全身の疲労困憊に至るレジスタンス運動³⁷⁾ を行った実験において、その後の回復ではCGを着用した条件の方が、着用しなかった条件よりも最大筋力の回復が早かった^{24, 37)}。同様に、Goto et al.²⁴⁾ はストレングストレーニング終了3時間後と8時間後に測定を実施しており、CGを着用することによる効果が何時間後からみられるのかを検討している。本研究では24時間ごとに検討したのみではあるが、柔道や水泳競技、陸上の短距離種目のように1日に複数回の試合が実施されるような競技の現場で活用する際には、このように詳細な時間経過をみていくことも必要であろう。

先行研究での四肢の周径圏では、CGを着用した施行ではトレーニング実施前の値と変わらなかったが、着用しない施行ではトレーニング実施前と比較して有意に高値を示したことを明らかにしている²⁴⁾。本研究では下腿の周径圏を対象として測定した結果、条件に主効果はみられたものの、事後検定でも有意な結果は得られなかった(図2)。この理由としては、運動課題の設定の違いや、測定部位が異なることにより周径圏の絶対値に差があること、またGoto

et al.²⁴⁾の研究が9名の日常的に高強度のレジスタンストレーニングを実施している者のみを対象としたことに対して、本研究では特別なトレーニングを実施していない者を対象としたため、このような被験者の身体的特性の違いが影響を及ぼした可能性が考えられる。

CGを運動後に着用することで筋力の回復が促されるメカニズムの一つに、代謝的な側面がある。筋収縮に伴う筋のポンプ作用への補助的な働きにより静脈還流が増加し¹³⁾、それに伴う代謝産物の除去が速やかに行われる⁸⁾。また、それと同時に力学的な側面での利点も報告されている。CGの使用により、体肢の周りに可動的なギプス様のものを形成し³⁷⁾、この可動的なギプスと、日常生活の移動などで生じる筋収縮による筋内圧の増加を併用することで筋の振動を減少させて¹⁷⁾、筋損傷の悪化を予防している^{16, 19, 30, 35)}。

超音波Bモード法で取得した筋形状の結果では、CG条件では2日目以降のカーフレイズ前で安静時の筋束長に有意な変化はみられなかったが、CON条件では筋束長が有意に減少していた(図4B)。Maganaris⁴⁰⁾は、MGの筋束長が短縮することで筋力発揮において不利になると報告している。そのため、本研究ではCGを着用することで筋束長も運動課題実施前に戻っていたため、最大及び最大下での筋力発揮のパフォーマンスの回復につながったと考えられる。

また、CGの着用の有無により運動課題実施の翌日の筋硬度に有意な差がみられた(図3)。筋腱複合体のスティフネスが高まると筋力発揮が低下するという報告もあることから^{6, 22)}、本研究の筋硬度の結果がMVCの結果と関連する可能性がある。本研究では腱のスティフネスを定量していないという点において先行研究との比較には限界があるが、CGを用いることで筋硬度や筋形状を運動課題の実施前と近いコンディションに回復させることが可能であることが示された。

CKはCON条件の方がCG条件よりも平均としては高い値を示したものの、有意な交互作用はみられなかった(図8)。この結果は本研究も先行研究と同様に個人間の絶対値の差が大きいため、条件間では有意な差には至らなかったものと考えられる^{21, 24)}。各条件の日にちの主効果については、CON条件でのみ有意な主効果がみられた。この結果は、CON条件では実験期間の後半になるにつれて筋損傷マーカであるCKの値が高まったことを示していると考えられる。一方、CG条件では日にちにおいて有意な主効果がみられなかったことから、筋損傷の程度が抑えられていたものと推察できる。しかしながら、Allen⁵⁾はCGを用いてもCKの値は増加していたことを報告しており、本研究もこの報告と同様にCGを用いても筋損傷を完全に防ぐことは困難であることを示している。

主観的な筋肉痛の程度を示すVASの値はCG条件の方が低値を示した(図9)。Duffield et al.²²⁾はCGを用いた条件の方が用いない条件よりも運動24時間後の筋肉痛が軽減したことを報告している。このことから、筋肉痛という被験者の主観が入る項目では定量するタイミングによって被験者の心身のコンディションが影響する可能性が考えられる。

先行研究の中には、CGを用いても運動終了から24時間後に筋力などのパフォーマンスに関連する項目が回復していなかったという報告もある^{22, 48)}。これらの報告で用いられた運動課題はスプリントとSSCを含む運動や下り坂走のような全身を用いた運動課題であった。それに対して、本研究で用いた運動課題は単関節運動であるカーフレイズであり、スプリントなどとは異なり右側の下腿三頭筋に対して局所的に負荷をかけるものであった。片脚で実施するカーフレイズは全身及び両脚を用いる運動と比較すると運動に関与する筋が限定されるため、CGの回復に対する効果が現れやすかったことも推察される。また、これらの先行研究では運動時にもCGを着用していたため、運動中の筋への負荷が軽減され、それにより回復の効果が出にくかった可能性もある²²⁾。また、多くのスポーツ活動で最大下での筋力発揮を安定して行うことは重要な因子であるにも関わらず、高強度運動後におけるCGの役割はこれまであまり検討されていない。先行研究では高強度運動中にCGを使用することで筋形状のように筋の形状的な面において、筋力発揮や安定した最大下での筋力発揮に有利となる効果を示しており^{11, 30)}、本研究でもCGを用いることで、steadinessで有意な交互作用がみられた。これまでにCGと最大下運動でのパフォーマンスに関する報告は限られているものの、スポーツの技術的なパフォーマンスの向上のためには今後も引き続き検討する余地がある。

MGの形状的な特性について、超音波Bモード法で測定したFLの結果より、CG条件では2日目以降で有意な変化はみられなかったが、CON条件では3日目と4日目に有意なFLの短縮がみられた(図4B)。MGを含む底屈筋群はFLが短い方が等尺性で発揮するトルクの変動が大きくなることから³²⁾、FLの短縮という形状的な変化がMVCとsteadinessに対して不利に働いたことが推察される。また、別の可能性として腱のスティフネスの変化があげられる。下腿三頭筋とアキレス腱は直列に配置されているので、カーフレイズによってアキレス腱には筋収縮に伴う長さ変化が生じる。CON条件では3日目と4日目にMGのFLは同一の関節角度で測定したにも関わらず、有意に短縮していた(図4B)。このことはCON条件で腱組織が伸長されたことを示唆する。これによりアキレス腱のスティフネスが変化し、発揮トルクの安定性に対してより変動が大きくなったものと考えられる³²⁾。さらに、Kato et al.³²⁾はFLとアキレス腱のスティフネスの変化は底屈筋群の最大下でのトルク発揮において、筋の活動水準に変化をもたらすことを報告している。このことが本研究でのCON条件におけるsteadinessのパフォーマンスの低下をもたらす原因の一つとなった可能性も指摘できる。また、CGに伴う利点として下肢全体を動的なギプス(dynamic cast)が覆うことで、筋のアライメントを整えることを促し、運動中の筋の振動を抑えることでEIMDの発生を抑制した可能性もある^{8, 11, 19, 30)}。さらに、Doan et al.¹⁹⁾はCGが外部から抑えるだけではなく筋内圧を高めることで合わせて筋の振動を減少させ、力学的な損傷の程度を緩和させる働きを報告している。また、CGの着用により、筋温の維持・増加、それに伴う筋血流量の増加と筋活動による静脈還流の増加なども本結果をもたらした可能性がある。以上より、発揮トルクの安定性は

CG 条件の方が CON 条件と比較して、パフォーマンスが低下しにくかったものと考えられる。

4. まとめ

本研究の結果から連続した日程で高強度運動を実施する際に、運動後の CG の着用が筋形状や筋のスティフネスといった筋内のコンディション及び筋力などの回復に有利に働く可能性を示した。

引用一覧

- 1) Abe T, Kondo M, Kawakami Y, Fukunaga T. Prediction equations for body composition of Japanese adults by B-mode ultrasound. *Am J Hum Biol*, 6: 161-170, 1994.
- 2) Agu O, Baker D, Seifalian AM. Effect of graduated compression stockings on limb oxygenation and venous function during exercise in patients with venous insufficiency. *Vascular*, 12: 69-76, 2004.
- 3) Akagi R, and Takahashi H. Acute effect of static stretching on hardness of the gastrocnemius muscle. *Med Sci Sports Exerc* 45: 1348-1354, 2013.
- 4) Ali A, Caine MP, Snow BG. Graduated compression stockings: physiological and perceptual responses during and after exercise. *J Sports Sci*, 25: 413-419, 2007.
- 5) Allen DG. Eccentric muscle damage: mechanisms of early reduction of force. *Acta Physiol Scand*, 171:311-319, 2001.
- 6) Avela J, Kryöläinen H, Komi PV, Rama D. Reduction on reflex sensitivity persist several days after long-lasting stretch-shortening cycle exercise. *J Appl Physiol*, 86:1292-1300, 1999.
- 7) Bernhardt T, Anderson GS. Influence of moderate prophylactic compression on sport performance. *J Strength Cond Res*. 19: 292-297, 2015.
- 8) Berry MJ and McMurray, RG. Effects of graduated compression stocking on blood lactate following an exhaustive bout of exercise. *Am J Phys Med*, 66: 121-132, 1987.
- 9) Bieuzen F, Brisswalter J, Easthope C, Vercruyssen F, Bernard T, Hausswirth C. Effect of wearing compression stockings on recovery after mild exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Physiol Perform*. 9: 256-264, 2014.
- 10) Born DP, Holmberg HC, Goernert F, Sperlich B. A novel compression garment with adhesive silicone stripes improves repeated sprint performance - a multi-experimental approach on the underlying mechanisms. *BMC Sports Sci Med Rehabil*, doi: 10.1186/2052-1847-6-21. eCollection 2014.
- 11) Bringard, A, Perrey, S, and Bulluye, N. Aerobic energy cost and sensation responses during submaximal running exercise-positive effects of wearing compression tights. *Int J Sports Med* 27: 373-378, 2006.
- 12) Champman D, Newton M, Sacco P, Nosaka K. Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *Int J Sports Med*, 27: 591-598, 2006.
- 13) Chauveau M. Effects of compression on venous haemodynamics. In: Gardon-Mollard C, Ramlet AA, editors. *Compression therapy*, 23-28, 1999.
- 14) Chatard JC, Atlaoui D, Farjanel J, Louisy F, Guezennec CY. Elastic stockings, performance and leg pain recovery in 63-year-old sportsmen. *Eur J Appl Physiol*. 93: 347-352, 2004.
- 15) Chleboun GS, Howell JN, Baker HL, Ballard TN, Graham JL, Hallman HL, Perkins LE, Schauss JH, Conatser RR. Intermittent pneumatic compression effect on eccentric exercise-induced swelling, stiffness, and strength loss. *Arch Phys Med Rehabil* 76: 744-749, 1995.
- 16) Clarkson PM, and Sayers SP. Aetiology of exercise-induced muscle damage. *Can J Appl Physiol* 24:

- 234-248, 1999.
- 17) Davies V, Thompson KG, and Cooper SM. The Effects of Compression Garments on Recovery. *J Strength Cond Res* 23: 1786-1794, 2009.
 - 18) de Boer M, Seynnes O, di Prampero P, Pisot R, Mekjavic I, Biolo G, Narici M. Effect of 5 weeks horizontal bed rest on human muscle thickness and architecture of weight bearing and non-weight bearing muscles. *Eur J Appl Physiol* 104: 401-407, 2008.
 - 19) Doan BK, Kwon Y, Newton RU, Shin J, Popper EM, Rogers RA, Bolt LR, Robertson M, Kraemer WJ. Evaluation of a lower-body compression garment. *J Sports Sci* 21: 601-610, 2003.
 - 20) Duclay J, Martin A, Duclay A, Cometti G, Pousson M. Behavior of fascicles and the myotendinous junction of human medial gastrocnemius following eccentric strength training. *Muscle Nerve* 39: 819-27, 2009.
 - 21) Duffield R and Portus M. Compression of three types of full-body compression garments of throwing and repeat-sprint performance in cricket players. *Br J Sports Med*, 41: 409-414, 2007.
 - 22) Duffield R, Canon J, King M. The effects of compression garments on recovery of muscle performance following high-intensity sprint and plyometric exercise. *J Sci Med Sport*, 13: 136-140, 2010.
 - 23) Gill ND, Beaven CM, Cook C. Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *Br J Sports Med*, 40: 260-263, 2006.
 - 24) Goto K and Morishita T. Compression garment promotes muscular strength recovery after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 46: 2265-2270, 2014.
 - 25) Hamlin MJ, Mitchell CJ, Ward FD, Draper N, Shearman JP, Kimber NE. Effect of compression garments on short-term recovery of repeated sprint and 3-km running performance in rugby union players. *J Strength Cond Res*, 26: 2975-2982, 2012.
 - 26) Halson SL, Bridge MW, Meeusen R, et al. Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in elite cyclists. *J Appl Physiol*, 93: 947-956, 2002.
 - 27) Hill JA, Howatson G, van Someren KA, Walshe I, Pedlar CR. Influence of compression garments on recovery after marathon running. *J Strength Cond Res*, 28: 2228-2235, 2014.
 - 28) Hill J, Howatson G, van Someren K, Gaze D, Legg H, Lineham J, Pedlar C. The Effects of Compression-Garment Pressure on Recovery After Strenuous Exercise. *Int J Sports Physiol Perform*, 12: 1078-1084, 2017.
 - 29) Ibegbuna V, Deils KT, Nicolaidis AN, Alina O. Effect of compression stockings on venous hemodynamics during walking. *J Vasc Surg* 37: 420-425, 2003.
 - 30) Jakeman JR, Byrne C, Eston RG. Lower limb compression garment improves recovery from exercise-induced muscle damage in young, active female. *Eur J Appl Physiol*, 109: 1137-1144, 2010.
 - 31) Kanehisa H, Ikegawa S, Tsunoda N, Fukunaga T. Cross-Sectional Areas of Fat and Muscle in Limbs during Growth and Middle Age. *Int J Sports Med* 15: 420-425, 1994.
 - 32) Kato E, Vieillevoye S, Balestra C, Guissard N, Duchateau J. Acute effect of muscle stretching on the steadiness of sustained submaximal contractions of the plantar flexor muscles. *J Appl Physiol* 110: 407-415, 2011.
 - 33) Kato E, Nakamura M, Takahashi H. The effect of compression garments on controlled force output following heel-rise exercise. *J Strength Cond Res*, 32: 1174-1179, 2018.
 - 34) Kraemer WJ, Bush JA, Bauer JA, et al. Influence of compression garments on vertical jump performance in NCAA division I volleyball players. *J Strength Cond Res*, 10: 180-183, 1996.
 - 35) Kraemer WJ, Bush JA, Newton RU, Ducan ND, Volek JS, Denegar CR, Canavan P, Johnston J, Putukian M, Sebastianelli WJ. Influence of a compressive garment on repetitive power output production before and after difference types of muscle fatigue. *Sports Med Train Rehab*, 8: 163-184, 1998.

- 36) Kraemer WJ, Bush JA, Wickham RB, Denegar CR, Gomez AL, Gotshalk LA, Duncan ND, Volek JS, Putukian M, Sebastianelli WJ. Influence of compression therapy on symptoms following soft tissue injury from maximal eccentric exercise. *J Orthop Sports Phys Ther*, 31: 282-290, 2001.
- 37) Kraemer WJ, Flanagan SD, Comstock BA, Fragala MS, Earp JE, Dunn-Lewis C, Ho JY, Thomas GA, Solomon-Hill G, Penwell ZR, Powell MD, Wolf MR, Volek JS, Denegar CR, Maresh CM. Effects of a Whole Body Compression Garment on Markers of Recovery After a Heavy Resistance Workout in Men and Women. *J Strength Con Res*, 24: 804-814, 2010.
- 38) Kim J and Lee J. Effect of compression garments on delayed-onset muscle soreness and blood inflammatory markers after eccentric exercise: a randomized controlled trial. *Exerc Rehabil*, 13: 541-545, 2017.
- 39) Leeder JDC. Effect of seated and standing cold water immersion on recovery from repeated sprinting. *J Sports Sci*, 33: 1544-1552, 2015.
- 40) Maganaris, CN. Force-length characteristics of in vivo human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*, 172: 279-285, 2001.
- 41) Maton B, Thiney G, Dang S, Tra S, Bassez S, Wicart P, Ouchene A. Human muscle fatigue and elastic compressive stockings. *J Eur Appl Physiol*, 97: 432-442, 2006.
- 42) Mayberry JC, Moneta GL, DeFrang RD, et al. The influence of elastic stockings on deep venous hemodynamics. *J Vasc Surg*, 13: 91-99, 1991.
- 43) Morrison S, Kavanagh J, Obst SJ, Haseler LJ. The effects of unilateral muscle fatigue on bilateral physiological tremor. *Exp Brain Res*, 167: 609-621, 2005.
- 44) Scanlan AT, Dascombe BJ, Reaburn PR, Osborne M. The effects of wearing lower-body compression garments during endurance cycling. *Int J Sports Physiol Perform*, 3: 424-438, 2008.
- 45) Semmier JG. Motor unit activity after eccentric and muscle damage in humans. *Acta Physiol*, 210: 754-767, 2014.
- 46) Shimokochi Y, Kuwano S, Yamaguchi T, Abutani H, Shima N. Effects of Wearing a Compression Garment During Night Sleep on Recovery From High-Intensity Eccentric-Concentric Quadriceps Muscle Fatigue. *J Strength Cond Res*, 31: 2816-2824, 2017.
- 47) Svantesson U, Osterberg U, Thomee R, and Grimby G. Muscle fatigue in a standing heel-rise test. *Scand J Rehab Med* 30: 67-72, 1998.
- 48) Trennel MI, Rooney KB, Sue CM, Thomsson CH. Compression garments and recovery from eccentric exercise: a ³¹P-MRS Study. *J Sports Sci Med*, 6: 106-114, 2006.
- 49) Webb EC, Elisabeth M, Willems T. Effects of Wearing Graduated Compression Garment during Eccentric Exercise. *Medicina Sportiva*, 14: 193-198, 2010.

Compression Garments Improved Recovery from Strenuous Exercise on Cosecutive Days

Emika KATO

Abstract

Introduction: Intensive physical training and competition may result in a subsequent reduction in exercise performance without adequate recovery of muscle function. Recently, the use of compression garments (CG) for recovery of muscle damage has increased. Previous studies have reported muscular strength recovery following the use of CG, but most of them required the participants to perform strenuous exercise only on the first day and the time course of the parameters related to performance was observed. Many athletes often participated in camp training and practiced on consecutive days, but these studies were not conclusive for such a style of exercise. Thus, the purpose of this study was to examine the effects of CG on muscular performance following strenuous exercise on consecutive days. **Methods:** Fourteen healthy participants were randomly assigned to the CG and CON (control, without CG) groups. The CG group completed the CG condition first, followed by the CON condition 2-3 months later. The CON group completed these conditions in the opposite order. Under both the conditions, the participants were required to perform heel-rise exercise from maximal dorsiflexion to maximal plantar flexion, 20 times with a single leg, repeat three sets for consecutive 4 days. In CG, after these heel-rise exercises, the participants wore the CG until the next day's experiment. In CON, the subjects did not wear the garment which has special feature. Before the heel-rise exercise, the circumference of calf, CK, subjective scale of delayed on muscle soreness, the elasticity and architecture (muscle thickness, fascicle length, and pennation angle) of the calf muscle, passive torque of ankle joint and maximal voluntary contraction (MVC) of plantar flexion. And subjects exerted 20% MVC for 20 s in a steady condition were measured as an index of steadiness. **Results:** The repeated two-way analysis of variance (CG/CON × date) indicated significant interaction in muscle elasticity ($p < 0.001$) and all architecture parameters ($p < 0.001$). All of these parameters showed significant main effects in terms of conditions and dates. In addition, MVC and steadiness showed significant interaction ($p = 0.001$ and $p = 0.009$, respectively), MVC showed a significant main effect on the condition and date, but steadiness showed the main effect only on the condition. Although CK did not show a significant interaction, the CON condition showed a significant main effect on days. **Discussion:** Many parameters showed advantages of the CG condition than the CON condition. We speculated that a "dynamic casting" by compression could promote stable alignment of the muscle fibers and attenuate inflammatory response and pain. In addition, the use of CG may maintain and increase muscle temperature, increase muscle blood flow associated with it, and increase venous return due to muscle activity during wearing CG. In conclusion, the use of CG positively benefited the muscular performance following strenuous exercise on consecutive days.

Keywords: Compression garments, Heel-rise exercise, Muscle stiffness, Steadiness, Ultrasound

