

# 長時間運動時におけるコンプレッションタイツの着用が 筋疲労や筋損傷・炎症反応に及ぼす影響

立命館大学 後藤 一成  
(共同研究者) 立命館大学大学院 水野 沙洗  
日本学術振興会 森嶋 琢真  
特別研究員

## **Influence of Wearing Compression Tights During Prolonged Exercise on Muscle Fatigue, Muscle Damage and Inflammatory Responses**

by

Kazushige Goto

*Faculty of Sport and Health Science, Ritsumeikan University*

Sahiro Mizuno

*Graduate School of Sport and Health Science, Ritsumeikan University*

Takuma Morishima

*Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science*

### ABSTRACT

The purpose of the present study was to determine the influence of wearing compression garments (compression tights) with different pressure intensity on muscle function, metabolite and endocrine responses, muscle damage and inflammatory responses to 120 min run at moderate intensity. Eight healthy young men conducted four trials on different days, consisting of [1] trial with wearing compression garments of heavy pressure intensity (approximately 40 hPa, High), [2] trial with wearing compression garments of moderate pressure intensity (approximately 20 hPa, Middle), [3] trial with normal sport garments (pressure intensity was set below 10 hPa, CON). Each trial was performed with randomized orders, and four weeks of rest period were provided between the trials.

Exercise consisted of 120 min of running on treadmill at 60% of maximal oxygen uptake ( $\dot{V}O_{2max}$ ). Time-courses of changes in power output for lower limb muscles (maximal jump height), heart rate, ratings of perceived exertion (RPE), metabolic and endocrine responses, muscle damage and inflammatory responses were evaluated.

Maximal jump height was decreased after 120 min of running in the High and CON trials, whereas the Middle trial showed no significant reduction of maximal jump height. Moreover, the maximal jump height immediately after the 120 min of running was significantly higher in the Middle than in the High ( $P < 0.05$ ). Average heart rate during 120 min of running was lowest in the Middle trial, with a significant difference from the value of CON trial ( $P < 0.05$ ). Although no significant difference among three trials was observed in RPE for leg muscles over 120 min of running, the RPE for respiration was significantly lower in the Middle trial than in the CON trial ( $P < 0.05$ ). A 120 min of running increased serum cortisol, myoglobin and creatine kinase concentrations, with no significant difference among three trials at any time points. In contrast, exercise-induced elevation of plasma IL-6 concentration was significantly lower in the Middle trial than in the CON trial ( $P < 0.05$ ). However, there was no significant difference in plasma IL-6 response between the High trial and CON trial. These results indicate that wearing compression garments with moderate pressure intensity (approximately 20 hPa) attenuated exercise-induced fatigue of lower limb muscles and elevation of heart rate, and inflammatory responses to prolonged (120 min) running at moderate intensity.

## 要 旨

本研究では、長時間運動時における着圧の異なるコンプレッションタイツの着用が代謝・内分泌動態、筋損傷および炎症反応、下肢筋群の筋パワーに及ぼす影響を検討することを目的とした。健康な男性8名を対象に、運動時に①強圧（約40hPa）の着圧が施されたコンプレッションタイツ（強圧条件）、②弱圧（約20hPa）の着圧が施されたコンプレッションタイツ（弱圧条件）、③着圧を施さない（10hPa以下）タイツ（コントロール条件）のいずれかを着用する測定を、それぞれ異なる日に実施した。各条件での測定では、最大酸素摂取量の60%に相当する走速度でトレッドミル上での120分間のランニングを実施した。運動前から運動終了後1時間まで経時的に、筋機能、

代謝・内分泌動態や筋損傷および炎症反応に関わる血液指標の変化を検討した。

その結果、運動直後における垂直跳び跳躍高は、弱圧条件が強圧条件に比較して有意に高値を示した（ $P < 0.05$ ）。120分間の運動中における心拍数の平均値は弱圧条件が最も低値を示し、コントロール条件との間に有意差が認められた（ $P < 0.05$ ）。また、120分間の運動に伴う血漿インターロイキン6（IL-6）濃度の上昇の程度は弱圧条件において最も小さく、コントロール条件に比較して有意に低値を示した（ $P < 0.05$ ）。

以上の結果から、120分間のランニング時における弱圧（約20hPa）を施したコンプレッションタイツの着用は、強圧（約40hPa）を施した同様のタイツまたは着圧が施されていないタイツに比較して、下肢筋群の筋疲労の軽減や心拍数の上昇

抑制, および炎症反応の抑制に有効であることが明らかとなった。

## 緒言

近年, マラソンなどのスポーツの競技場において, コンプレッションウェア (Compression garment; CG) を着用するアスリートや一般のスポーツ愛好家を多く目にするようになってきた。CG は元来, 医療用に設計された衣服であり, 循環障害の患者に対する末梢循環の改善や静脈還流の亢進を目的に利用されてきた (Lawrence et al. 1980)<sup>1)</sup>。1990 年代以降, スポーツ科学領域における研究が盛んに行われ, 運動中の CG の着用により, 疲労の軽減や運動継続時間の延長など運動パフォーマンスの改善効果が期待されるようになった (Kemmler et al. 2009<sup>2)</sup>, Ali et al. 2011)<sup>3)</sup>

運動中における CG 着用の効果を検証した先行研究を概観すると, 「ランニング」を用いた例が多い。Kemmler et al. (2009)<sup>2)</sup> は, 同一の血中乳酸濃度下でのランニング時の最大走速度を, 下腿部のみを覆ったコンプレッションソックスを着用する条件と非着用条件で比較している。その結果, 着用条件は非着用条件と比較して, 走速度が有意に大きいことが明らかとなった。また, Bringard et al. (2005)<sup>4)</sup> は, 大腿部のみを覆ったコンプレッションタイツを着用する条件, 着圧が施されていないタイツを着用する条件, 通常のハーフパンツを着用する条件の 3 条件を設け, 15 分間のランニング (最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) の 80% 強度) 中のエネルギー代謝を比較した結果, コンプレッションタイツの着用条件は他の 2 条件と比較して, 運動中の酸素摂取量が有意に低い (ランニングエコノミーの改善) ことを認めている。その一方で, 運動中における CG の着用に伴い, 運動パフォーマンスの改善がみられなかった研究も存在する (Ali et al. 2007<sup>5)</sup>, Sperlich et al. 2011<sup>6)</sup>, MacRae et al. 2012)<sup>7)</sup>。例えば, Ali et al. (2007)<sup>5)</sup>

は, 10km のタイムトライアル時における CG (ソックス) 着用の効果を検討しているが, 主観的運動強度や心拍数には CG 着用に伴う変化はみられなかった。また, この研究では着圧の異なる CG 着用の条件も設けているが, 着圧の相違による影響も認められていない。しかし, これらの結果を解釈する上では, 以下の 3 点について注意が必要である。1 つ目は, 被験者間で着圧が統一された CG が用いられていない点である。これまでに実施された研究では, 被験者の着用する CG のサイズがおもに腹囲や身長をもとに決定されており, 多くの場合, 着用時の活動筋への着圧が確認されていない。そのため, 被験者間での着圧の差異が CG 着用の効果に影響を及ぼした可能性は否定できない。2 つ目は, 着圧を施す部位が限定されていた点である。ランニングでは大腿部および下腿部の筋群が動員されるにもかかわらず, 先行研究の多くは, 大腿部または下腿部のいずれの筋群に対して着圧を付加する形状のウェアを用いている。そのため, 大腿部および下腿部の筋群の双方に着圧を課した CG (タイツ) 着用の効果を改めて明らかにする必要がある。3 つ目は, CG 着用による抗疲労や運動パフォーマンスの改善効果を判定する上で, 評価の指標が限定されている点である。これまでに実施された研究の多くでは, 運動時の CG 着用の効果を酸素摂取量や心拍数, 血圧, 筋活動, 活動筋での血流や酸素動態など, おもに全身および局所における循環指標を基に評価をしてきた。一方で, 運動時における CG 着用が代謝・内分泌動態や運動に伴う筋損傷・炎症指標に及ぼす影響を詳細に検討した研究はきわめて少ない。特に, マラソンのような長時間運動では運動時に生じる筋損傷・炎症反応が下肢筋群における筋パワーの低下 (Del Coso et al. 2012)<sup>8)</sup> やレース速度の低下 (Del Coso et al. 2013)<sup>9)</sup> を誘発する。したがって, 長時間運動時における CG 着用により運動誘発性の筋損傷や炎症反応を軽減すること

ができれば、特に、運動後半におけるパフォーマンスの向上に貢献できると考えられる。しかし、これまでに実施された研究では、運動時間が60分間を超えるような長時間運動時におけるCG着用の効果は十分に検討されていない。

そこで本研究では、120分間におよぶランニング中における着圧の異なるCGの着用が、代謝・内分泌動態、筋損傷および炎症反応、下肢筋群の筋パワーに及ぼす影響を検討することを目的とした。

## 1. 方法

### 1. 1 被験者

健康で活動的な成人男性8名（平均値 ± 標準誤差、年齢：23.2 ± 0.4 歳、身長：170.5 ± 0.4 cm、体重：62.6 ± 0.7 kg、BMI：21.6 ± 0.3 kg/m<sup>2</sup>、 $\dot{V}O_{2max}$ 、50.6 ± 0.7 ml/kg/min）を対象とした。被験者は実験の主旨、内容および危険性についてあらかじめ説明を受け、それらを十分に理解し、同意書に署名した上で実験に参加した。本研究は、立命館大学倫理審査委員会の承認をもとに実施された。

### 1. 2 実験デザイン

各被験者は、以下の3条件での測定をそれぞれ異なる日に実施した。なお、実施順序はランダムとして、各条件間には4週間の間隔を設けた。

#### ①強圧条件

120分間のランニング中に大腿および下腿に40hPaの着圧が施されたコンプレッションタイツを着用する条件

#### ②弱圧条件

120分間のランニング中に大腿および下腿に20hPaの着圧が施されたコンプレッションタイツを着用する条件

#### ③コントロール条件

120分間のランニング中に大腿および下腿に10hPa以下の着圧が施されたコンプレッション

タイツを着用する条件

実験期間を通して、被験者は合計6回実験室へ来室した。まず、最初の来室時には、詳細な実験に関する説明を行い、同意書への署名を得た。2回目の来室では、各条件での運動実施時における走速度を決定するために、 $\dot{V}O_{2max}$ を測定した。3回目の来室では、各条件で使用するCGの着圧（大腿部、後部、下腿前部、後部）を専用の着圧センサーを用いて測定した。4～6回目の来室では、3条件の中のいずれかの条件での測定を実施した。

いずれの条件においても、被験者は前日22時以降に食事を摂取しない状態で、午前8時に実験室へ集合した。その後20分間の安静を経て採血を行った。採血後には垂直跳びの跳躍高を評価した。その後に各条件におけるCGを着用させ、5分間の安静を経て、120分間のランニングを開始した。

120分間のランニングには、トレッドミル（E95Ta、ライフ・フィットネス・ジャパン株式会社）を使用した。トレッドミルの傾斜は上り勾配7%に設定し、60% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する走速度で実施した。事前に実施した $\dot{V}O_{2max}$ の測定では、大型のトレッドミル（Valiant、ロード社）を用いた多段階漸増負荷テストを実施した。トレッドミルの傾斜を上り勾配7%に設定し、運動開始後は4.0km/hから1～3分毎に0.6km/h～1.0km/hの範囲で速度を漸増し、酸素摂取量がプラトーまたは規定の走速度に追従できなくなるまで運動を継続した。運動中は、代謝分析測定機（AE300S、ミナト医科学株式会社）を用いて、breath by breath法により酸素摂取量を計測した。なお、得られたデータは30秒毎の平均値として示した。

### 1. 3 測定項目

120分間にわたるランニングの運動前、運動中および運動終了後に以下の項目を測定した。

#### (1) 垂直跳び跳躍高

運動前および運動開始120分経過（運動終了直

後)に、垂直跳び跳躍高をマットスイッチ (マルチジャンプテスター, 株式会社ディケイエイチ) を用いて測定した。

(2) 心拍数および主観的運動強度

120 分間の運動中、胸部無線式ハートレートモニター (RCX3, ポラール社) を用いて心拍

数を連続的に測定した。また、10 分毎に脚および呼吸の主観的疲労感(10段階)を評価した<sup>10)</sup>。

(3) 血液指標

運動前, 運動開始 60 分時, 運動開始 120 分時(運動終了直後), 運動終了 60 分後に前腕静脈から採血し, 血中グルコース, 乳酸, 血清遊離脂肪酸, グリセロール, コルチゾール, クレアチンキナーゼ, ミオグロビンおよび血漿インターロイキン 6 (IL-6) 濃度を測定した。

1. 4 統計解析

すべての測定値は, 平均値 ± 標準誤差 (SE) で示した。垂直跳びの跳躍高, 心拍数および主観的運動強度, 血液指標の時間経過に伴う平均値の差の検定には, 反復測定による二元配置の分散分析 (two-way ANOVA) を用い, 交互作用および主効果 (条件, 時間) の有無を検定した。ANOVA により交互作用または主効果が認められた場合には, Tukey-Kramer test により多重比較検定を行った。また, 各指標の運動前後における変化率 (相対値) や運動前半 60 分間および後半 60 分間における平均値の比較には, 反復測定による一元配置の分散分析を用いた。なお, 有意性の検定には危険率 5% 以下を採用した。

2. 結果

2. 1 垂直跳び跳躍高

図 1 には, 各条件における運動前後での垂直跳び跳躍高の変化 (運動前の値に対する相対値)

を示した。120 分間のランニングの結果, 強圧条件およびコントロール条件では垂直跳び跳躍高

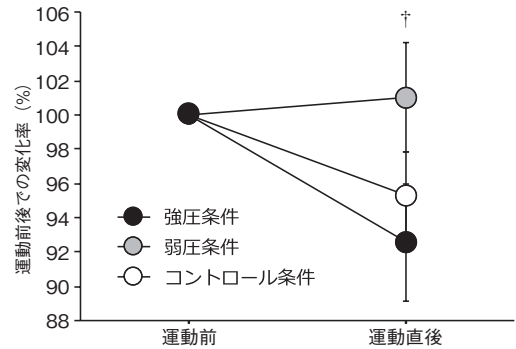


図 1 垂直跳び跳躍高の経時変化  
平均値 ± 標準誤差 † ; P < 0.05 vs. 強圧条件

は低下したが, 弱圧条件では運動後における跳躍高の低下は認められなかった。また, 運動終了直後において, 弱圧条件における跳躍高は強圧条件における跳躍高に比較して有意に高値を示した (P < 0.05)。

2. 2 心拍数および主観的運動強度

図 2 には, 各条件における運動時の心拍数を, 前半 60 分間および後半 60 分間の平均値として示した。いずれの条件においても, 120 分間のランニングに伴い心拍数は有意に上昇した (P < 0.05)。しかし, その上昇の程度は弱圧条件において小さく, 前半 60 分間および後半 60 分間のいずれに関しても, コントロール条件に比較して有意に低値を示した (P < 0.05)。

図 3 および 4 には, 各条件における脚部 (図 3) および呼吸 (図 4) の主観的運動強度を示し

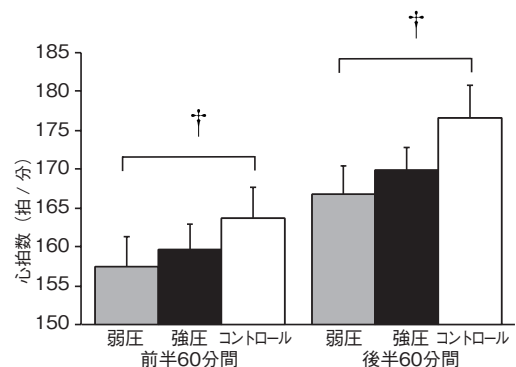


図 2 前半・後半60分間における心拍数  
平均値 ± 標準誤差 † ; P < 0.05

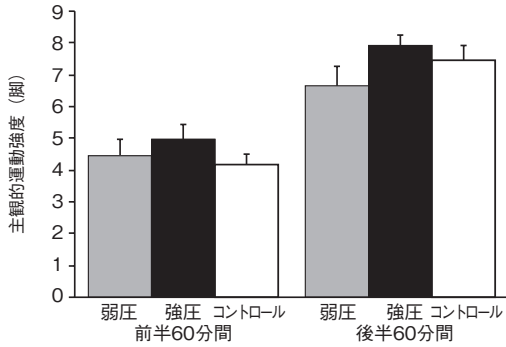


図3 前半・後半60分間における脚の主観的運動強度  
 平均値±標準誤差

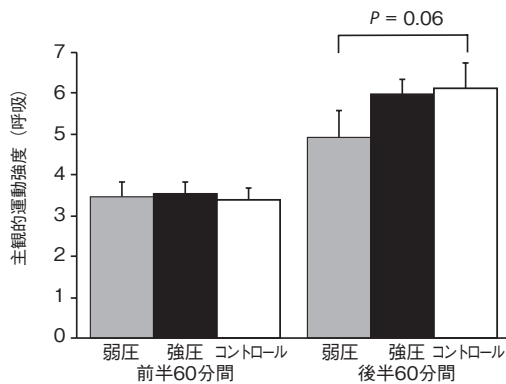


図4 前半・後半60分間における呼吸の主観的運動強度  
 平均値±標準誤差

た、脚の運動強度には、前半60分間、後半60分間のいずれにおいても条件間での有意差は認められなかった。呼吸の主観的運動強度は、前半60

分間では条件間に有意差はみられなかったが、後半60分間では弱圧条件がコントロール条件に比較して低値傾向を示した ( $P=0.06$ )。

### 2.3 血液指標

表1には、120分間のランニングに伴う血液指標(全血、血清)の変化を示した。運動に伴い血中グルコース濃度は有意に低下したが( $P<0.05$ )、その変化の動態に条件間で有意差は認められなかった。また、血中乳酸、血清遊離脂肪酸、グリセロール濃度は運動に伴い有意に上昇したが( $P<0.05$ )、いずれの時点においても条件間でも有意差は認められなかった。同様に、血清コルチゾール濃度も運動に伴い大きく上昇したが、いずれの時点においても条件間での有意差は認められなかった。筋損傷の間接指標であるクレアチンキナーゼおよびミオグロビン濃度は運動に伴い有意に上昇したが( $P<0.05$ )、いずれの時点においても条件間で有意差は認められなかった。

図5には、血漿IL-6濃度の変化を示した。運動に伴い血漿IL-6濃度は有意に上昇した。その変化の程度はコントロール条件で特に大きく、運動終了時および運動後60分の時点で他の2条件に比較して高値を示したが、条件間での有意差

表1 血液指標の経時変化

		前	60分	120分	運動後60分
グルコース (mg/dl)	強圧	94 ± 2	85 ± 4	79 ± 6 *	75 ± 4 *
	弱圧	90 ± 2	84 ± 1	79 ± 4 *	77 ± 2 *
	コントロール	90 ± 3	89 ± 3	79 ± 7 *	74 ± 4 *
乳酸 (mmol/l)	強圧	1.8 ± 0.3	2.1 ± 0.4	2.9 ± 0.4	2.0 ± 0.1
	弱圧	1.6 ± 0.2	2.0 ± 0.4	2.3 ± 0.5	2.1 ± 0.3
	コントロール	1.2 ± 0.1	1.7 ± 0.3	2.2 ± 0.3 *	2.0 ± 0.2 *
遊離脂肪酸 (mmol/l)	強圧	365 ± 64	667 ± 77 *	1477 ± 131 *	1528 ± 134 *
	弱圧	343 ± 44	547 ± 80	1283 ± 106 *	1320 ± 163 *
	コントロール	352 ± 74	803 ± 143	1352 ± 122 *	1337 ± 188 *
グリセロール (mg/dl)	強圧	3.9 ± 0.4	20.5 ± 2.8	46.6 ± 3.9	14.5 ± 2.1
	弱圧	5.0 ± 2.1	18.6 ± 2.9	42.8 ± 3.9	14.1 ± 2.3
	コントロール	4.0 ± 0.6	20.7 ± 3.2	41.4 ± 4.1	13.2 ± 1.8
コルチゾール (µg/dl)	強圧	14.2 ± 1.7	13.3 ± 2.3	30.2 ± 2.1 *	27.7 ± 2.3 *
	弱圧	13.9 ± 1.2	12.2 ± 2.6	24.5 ± 1.7 *	22.3 ± 2.4 *
	コントロール	16.8 ± 2.2	14.9 ± 2.7	40 ± 9.8	39.9 ± 9.8
クレアチンキナーゼ (U/l)	強圧	142 ± 17	170 ± 19 *	196 ± 23 *	193 ± 22 *
	弱圧	144 ± 21	172 ± 25 *	198 ± 27 *	195 ± 25 *
	コントロール	191 ± 67	225 ± 73 *	259 ± 79 *	252 ± 71 *
ミオグロビン (ng/ml)	強圧	31 ± 3	55 ± 8	72 ± 12 *	106 ± 14 *
	弱圧	32 ± 5	59 ± 11 *	82 ± 11 *	106 ± 12 *
	コントロール	36 ± 8	66 ± 18	92 ± 17 *	131 ± 23 *

平均値 ± 標準誤差 \*: $P<0.05$  vs. 前

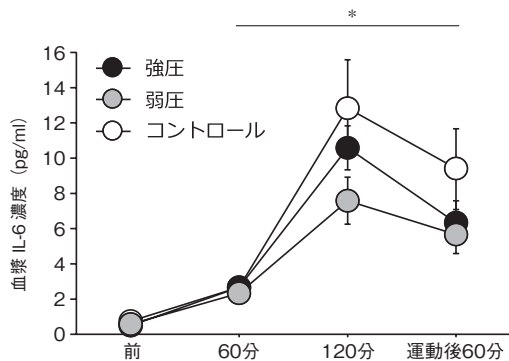


図5 血漿IL-6濃度の経時変化 (AUC)  
平均値±標準誤差 \*;  $P < 0.05$  vs. 強圧条件

には至らなかった。一方で、120分間の運動中におけるIL-6の濃度曲線下面積 (Area under curve; AUC) を算出した結果、弱圧条件が最も低値を示しコントロール条件との間に有意差が認められた ( $P < 0.05$ )。 (図6)

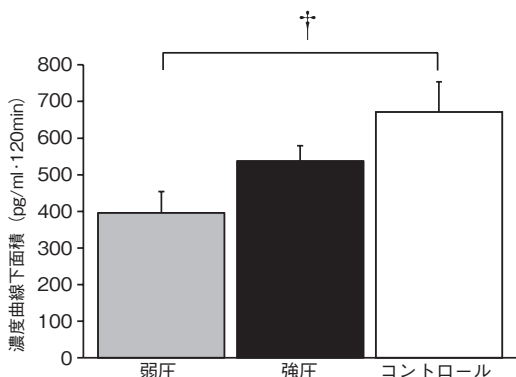


図6 運動前～運動開始120分経過時における血漿IL-6濃度 (AUC)  
平均値±標準誤差 †;  $P < 0.05$

### 3. 考察

これまでに実施された運動中におけるCG着用の効果を検討した研究では、CG着用時に活動筋に課される着圧が注視されておらず、被験者間での着圧の相違が研究間における結果の不一致を引き起こす要因の一つであると考えられる。また、既存の研究では、運動時のCG着用の効果を心拍数や主観的運動強度、エネルギー代謝 (酸素摂取量、二酸化酸素産生量)、呼吸応答 (換気量など)、筋活動や筋酸素動態などの呼吸・循環指標を用い

て評価してきた。一方で、マラソンのような長時間運動時には下肢筋群において著しい筋損傷や炎症反応が生じ、これらは下肢筋群における筋パワーの低下 (Del Coso et al. 2012)<sup>8)</sup> やレース後半における速度の低下 (Del Coso et al. 2013)<sup>9)</sup> を誘発する。したがって、長時間運動時におけるCG着用の結果、運動に伴う筋損傷や炎症反応を軽減することができれば、疲労の軽減や運動パフォーマンスの改善に大きく貢献できると予想される。これらの諸点をふまえて、本研究ではトレッドミルでの120分間のランニング時におけるCGの着用が、運動時の代謝・内分泌動態や筋損傷・炎症反応、下肢筋群における筋パワーに及ぼす影響を検討した。また、着圧の異なる2種類のCGを準備し (強圧条件、弱圧条件)、着圧の相違が各指標に及ぼす影響についても検討をした。その結果、弱圧によるCGを着用した条件 (弱圧条件) は着圧を施さない通常のウェアを着用したコントロール条件に比較して、運動中の心拍数および呼吸における主観的運動強度の上昇が有意に軽減された。また、コントロール条件および強圧条件では120分間の運動に伴い垂直跳び跳躍高が低下した一方で、弱圧条件では跳躍高の低下がみられず、運動直後における値は強圧条件に比較して有意に高値を示した。さらに、炎症反応の指標であるIL-6の増加量 (血中濃度曲線下面積により評価) は、弱圧条件がコントロール条件に比較して有意に低値を示した。これらの結果は、約20hPaの弱圧を施したコンプレッションタイツを長時間運動時に着用することで、運動に伴う疲労や筋での炎症反応が軽減されることを示すものである。

弱圧条件においては、120分間のランニングに伴う垂直跳びの跳躍高 (下肢筋群のパワー発揮の指標) の低下が強圧条件と比較して有意に抑制された。この結果は、屋外での10kmのタイムトライアル中のコンプレッションソックス着用に伴い、運動に伴う下肢筋群の筋パワーの低下が

有意に抑制された先行研究とも一致する (Ali et al. 2011)<sup>3)</sup>。この研究では、着圧の異なるコンプレッションソックス着用の影響を検討し、低い着圧 (足首: 15mmHg, 膝: 12mmHg) および中程度の着圧 (足首: 21mmHg, 膝: 18mmHg) を用いた条件は、強い着圧 (足首: 32mmHg, 膝: 23mmHg) およびコンプレッションソックス非着用 (足首: 0mmHg, 膝: 0 mmHg) 条件と比較して、10km 走に伴う垂直跳び跳躍高の低下が有意に抑制されたことを認めている。本研究の結果も踏まえると、長時間のランニング時に中程度 (15 ~ 25hPa 程度) の着圧を施した CG を着用することは、下肢筋群の筋パワーの低下の抑制に有効であると考えられる。

弱圧条件においては、運動中の心拍数の上昇がコントロール条件と比較して有意に抑制された。その一方で、10km のタイムトライアルを用いた Ali et al. (2011)<sup>3)</sup> の研究では、コンプレッションタイトスの着用は心拍数に影響しなかった。また、その他の先行研究においても、同様の報告がなされている (Berry et al. 1990<sup>11)</sup>, Duffield et al. 2007)<sup>12)</sup>。本研究における結果との差異が生じた要因を考える上で、CG 着用による心拍数の変化がみられなかった一連の研究では、最大強度または最大強度付近での運動強度が用いられていた点を留意すべきである。CG の着用が運動時の心拍数を低下させる要因として、MacRae et al. (2012)<sup>7)</sup> は、活動筋からの静脈環流の亢進に起因する心臓からの 1 回拍出量の増加を指摘している。また、活動筋での筋ポンプ作用やそれに伴う静脈環流は運動強度の増加とともに亢進することから、運動時の CG 着用の静脈環流量の増加に対する相加・相乗効果は、高強度の運動では顕著に認められない可能性が高い (Bringard et al. 2006)<sup>13)</sup>。本研究の運動では、中強度の走速度 (60%  $\dot{V}O_{2max}$ ) を用いた。また、この際には上り勾配 (7%) の傾斜を使用したことから、走速度

は低速 (時速  $6.6 \pm 0.1$  km) であった。したがって、低速度でのランニングを使用したことで、活動筋の筋ポンプ作用と CG の着圧による作用が静脈環流の増加に対して相加的あるいは相乗的に作用し、運動中の心拍数の上昇が軽減されたものと推察される。また、Miyamoto and Kawakami (2014)<sup>14)</sup> は時速 4.5 km ~ 12km での合計 34.5 分のトレッドミルでのランニング前後における T2 横緩和時間を評価した結果、長内転筋、大腿二頭筋および半腱様筋におけるランニング直後の T2 横緩和時間は、強圧 (約 33hPa) を用いたショートタイトス (大腿部のみを覆ったタイトス) を着用した条件が弱圧 (約 27hPa) のタイトスを着用した条件と比較して有意に高値を示すことを認めている。運動前後における T2 横緩和時間の一過性の増加は、活動筋における代謝物の蓄積 (無機リン酸や水素イオンなど) を反映する (Cheng et al. 1995)<sup>15)</sup>。したがって、30hPa を上回るような強圧を施した CG は、運動に伴う代謝物の蓄積を助長するのかもしれない。活動筋での代謝物の蓄積は心拍数や血圧の上昇などの心血管応答の亢進や筋疲労と密接に関連することから (Boushel et al. 2010)<sup>16)</sup>、本研究でみられた弱圧条件での疲労軽減効果の要因を考える上で興味深い。一方で、弱圧条件が強圧条件に比較して、疲労や運動誘発性の炎症反応の軽減に有効であった理由には不明な点も多い。この点に関しては、今後さらに詳細に検討を続けることが必要である。

本研究から得られた知見をふまえると、長時間のランニング時における弱圧 (約 20hPa) を施した CG の着用は、マラソンなど長時間の運動時における疲労の軽減やパフォーマンスの向上に有効であると期待できる。また、低速度 (時速  $6.6 \pm 0.1$  km) でのランニング時における CG 着用の有効性が確認されたことから、トップレベルの持久性スポーツ種目における競技者のみでなく、市民マラソンランナーに代表されるスポーツ愛好家に



も本研究の成果を還元できると考えられる。今後は至適な着圧を検証する実験室レベルでの基礎研究に加えて、マラソンレースなどにおける着用効果を検証する大規模な実践研究を実施することが必要であろう。

#### 4. まとめ

120分間のランニング時における弱圧（約20hPa）を施したコンプレッションタイツの着用は、強圧（約40hPa）を施した同様のタイツまたは着圧が施されていないタイツに比較して、運動に伴う下肢筋群の筋疲労の軽減や心拍数の上昇抑制、炎症反応の抑制に有効である。

#### 謝 辞

本研究を委託いただき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心からの御礼を申し上げます。

#### 文 献

- 1) Lawrence D., Kakkar V.V., Graduated, static, external compression of the lower limb: a physiological assessment. *Br. J. Surg.*, 67(2) :119-21(1980)
- 2) Kemmler W., Stengel von S., Köckritz C., Mayhew J., Wassermann A., Zapf J., Effect of compression stockings on running performance in men runners. *J. Strength. Cond. Res.*, 23(1) :101-5(2009)
- 3) Ali A., Creasy R.H., Edge J.A., The Effect of Graduated Compression Stockings on Running Performance. *J. Strength. Cond. Res.*, 25(5) :1385-92(2011)
- 4) Bringard A., Perrey S., Belluye N., Aerobic Energy Cost and Sensation Responses During Submaximal Running Exercise – Positive Effects of Wearing Compression Tights. *Int. J. Sports Med.*, 27(05) :373-8(2005)
- 5) Ali A., Caine M.P., Snow B.G., Graduated compression stockings: physiological and perceptual responses during and after exercise. *J. Sports Sci.*, 25(4) :413-9(2007)
- 6) Sperlich B., Haegele M., Krüger M., Schiffer T., Holmberg H-C., Mester J., Cardio-respiratory and metabolic responses to different levels of compression during submaximal exercise. *Phlebology*, 26(3) :102-6(2011)
- 7) MacRae B.A., Laing R.M., Niven B.E., Cotter J.D., Pressure and coverage effects of sporting compression garments on cardiovascular function, thermoregulatory function, and exercise performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 112(5) :1783-95(2012)
- 8) Del Coso J., González-Millán C., Salinero J.J. et al., Muscle damage and its relationship with muscle fatigue during a half-iron triathlon. *PLoS ONE*, 7(8) :e43280(2012)
- 9) Del Coso J., Fernández de Velasco D., Fernández D. et al., Running pace decrease during a marathon is positively related to blood markers of muscle damage. *PLoS ONE*, 8(2) :e57602(2013)
- 10) Aliverti A., kayser B., Lo Mauro A., Quaranta M., Prompilio R.L., Dellca R.L., Ora J., Biasco L., Cavalleri L., Pomidori L., Cogo A., Pellegrino R., Miseroocchi G., Respiratory and leg muscles perceived exertion during exercise at altitude. *Respir. Physiol. Neurobiol.*, 177(2) :162-8(2011)
- 11) Berry M.J., Bailey S.P., Simpkins L.S., TeWinkle J.A., The effects of elastic tights on the post-exercise response. *Can. J. Sport Sci.*, 15(4) :244-8(1990)
- 12) Duffield R., Portus M., Comparison of three types of full-body compression garments on throwing and repeat-sprint performance in cricket players. *Br. J. Sports Med.*, 41(7) :409-14(2007)
- 13) Bringard A., Denis R., Belluye N., Perrey S., Effects of compression tights on calf muscle oxygenation and venous pooling during quiet resting in supine and standing positions. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 46(4) :548-54(2006)
- 14) Miyamoto N., Kawakami Y., Effect of Pressure Intensity of Compression Short-Tight on Fatigue of Thigh Muscles. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 46(11) :2168-74(2014)
- 15) Cheng H.A., Robergs R.A., Letellier J.P., Caprihan A., Icenogle M.V., Haseler L.J., Changes in muscle proton transverse relaxation times and acidosis during exercise and recovery. *J. Appl. Physiol.*, 79(4) :1370-8(1995)
- 16) Boushel R., Muscle metaboreflex control of the circulation during exercise. *Acta. Physiol. (Oxf)*, 199(4) :367-83(2010)