

温熱処置と伸張性運動を組み合わせたトレーニングが 筋痛・筋損傷に及ぼす影響

帝京大学 佐賀典生
(共同研究者) 順天堂大学 内藤久士
同 形本静夫

Effect of Heat Pre-conditioning on Muscle Damage and Soreness Prior to Repeated Eccentric Exercise

by

Norio Saga

Teikyo University

Hisashi Naito, Shizuo Katamoto

School of Health and Sports Science,

Juntendo University

ABSTRACT

Heat pre-conditioning may induce increased heat-shock protein expression, which may, in turn, protect the muscle fibers from being damaged during subsequent eccentric contraction (ECC) exercises. This study investigated the effect of heat treatment applied before each repeated-ECC program on muscle damage and soreness. Thirteen untrained male (21 ± 1 yr) volunteers participated in this study and were assigned randomly to either the control (CON, $n = 7$) or heat (HEAT, $n = 6$) group. One day before the first ECC, microwave hyperthermia treatment (150 W, 20 min) was administered to the training arm in the HEAT group. The ECC consisted of 30 repetitions of maximum isokinetic eccentric contractions (10 reps \times 3 sets, twice/wk for 2 wks) of the elbow flexors at 30°s^{-1} using an isokinetic dynamometer. The maximum isometric strength, range of motion (ROM) of the elbow joint, upper arm

circumference, blood creatine kinase activity, and muscle soreness were assessed before and after each ECC. The HEAT group had a significantly greater ROM than the CON group before and after the third ECC. None of the other variables differed between the CON and HEAT groups. These results suggest that heat treatment of skeletal muscles one day before ECC results in a slightly attenuated decrease in ROM during ECC training intervention.

要 旨

本研究は、伸張性収縮を用いたトレーニングの1日前に行う温熱処置が、筋損傷および筋痛の軽減に有効かを明らかにすることであった。一般成人男性13名が本実験に参加し、伸張性運動の1日前に処置を行わない群 (CON: n=7)、または上腕屈筋群に対してマイクロ波治療器による温熱処置 (150W, 20分間) を行う群 (HEAT: n=6) のいずれかに群分けされた。被験者は伸張性運動 (10回×3セット) を、週に2回、2週間の計4回を行った (ECC1-4)。筋損傷・筋痛を評価するために、被験者は、最大等尺性筋力、肘関節可動域、上腕周径囲、血中CK活性、および筋痛の測定を受けた。その結果、ECC3の前後における肘関節可動域が、CON群と比較してHEAT群で有意に大きかった。しかし、その他の指標に差は認められなかった。温熱処置と伸張性運動の反復は、筋痛の発現の程度を抑制しないが、筋損傷の一部症状を早期に回復させる可能性が示唆された。

緒 言

一般的に、筋力トレーニングなどの運動、特に伸張性収縮 (ECC) を多く含む運動は、筋損傷や遅発性筋痛^{1, 2, 4)} を引き起こすことが知られている。ECCにより引き起こされた筋損傷は、その結果として発揮筋力や関節可動域の低下をもたらす³⁾。これらは一般人や高齢者にとって

は、運動習慣の確立を阻害する要因となり得る。また、アスリートにとってはスポーツ競技におけるパフォーマンス低下をもたらすことになる。これらの問題を解決するために、これまで様々な角度からその予防や軽減を目的としたアプローチ^{5, 15, 23)} がなされているが、未だ確実な予防や軽減の方法は知られていない。

近年、一般成人男性に対し、最大ECCを行う1日前に筋温を上昇させる温熱処置を行った結果、ECC後における筋力および関節可動域の低下を抑制できることが報告されている^{14, 18)}。このメカニズムにはいくつかの要因が関与していると考えられているが、マイクロ波を用いた温熱処置により誘導された熱ショックタンパク質 (Heat shock protein: HSP)^{6, 16)} が、筋損傷を抑制する、また修復不能となったタンパク質を速やかに分解経路に送るなどの働きによって回復を促進させている可能性が考えられている^{9, 12, 13, 18, 22)}。

これまでの温熱処置を用いた研究^{14, 18, 19, 20)} は、一過性の温熱処置がECC後の筋損傷に及ぼす影響に焦点を当てたものであった。しかしながら、ECCのトレーニング期間中に、温熱処置をECCの前にプレコンディショニングとして行うという、温熱処置とECCの繰り返しの観点からは明らかではない。

本研究の目的は、温熱処置とECCの反復が、ECCに伴う筋損傷および筋痛の軽減に有効であるかを明らかにすることであった。

1. 実験方法

1.1 被験者

日常規則的なレジスタンストレーニングを行っていない健康な一般成人男性 13 名が、被験者として本研究に参加した。被験者の身体特性は表 1 に示した。実験期間中、被験者は、栄養補助食品や抗炎症薬の摂取、アイシングおよび激しい運動は避けるように指示された。また、各被験者に対し、実験期間 3 日間前からの入浴を禁止し、必要最小限のシャワーにするように依頼した。なお、被験者に実験の内容や留意事項について事前に口頭および文書で説明し、被験者全員から実験参加の同意を得た。本研究は、順天堂大学倫理委員会の承認を受けて実施された。

表 1 Physical characteristics of the subjects

	n	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
CON	7	21±1	170.2±4.2	61.9±7.9
HEAT	6	22±1	176.2±6.5	66.6±5.4

CON; a group without a heat treatment. HEAT; a group with a heat treatment one day before eccentric exercise. Values are mean ± SD.

1.2 実験デザイン

本研究は、特別な処置を行わない群 (CON 群; n=7) と ECC の 1 日前に温熱処置を行う群 (HEAT 群; n=6) の 2 群で行なわれた (図 1)。全被験者は、

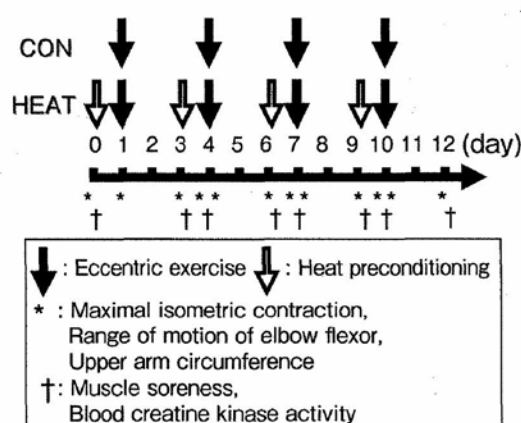


図 1 Experimental design and time course of the measurements

The subjects performed the training with (Heat treatment: HEAT) and without (Control condition: CON) heat treatment by microwave exposure

初日 (0 日目) に筋損傷・筋痛の測定を受けた後、HEAT 群のみ温熱処置を受け、その翌日 (1 日目) に、全被験者が ECC を行った。その後、ECC は 3 日に 1 度の間隔で、計 4 回行われた (ECC1-4)。HEAT 群は各 ECC の 1 日前に温熱処置を受けた。

1.3 温熱処置

筋に対する温熱処置は、マイクロ波治療器 (MT-SDi, ミナト医科学株式会社, 日本) を用いて行われた。先行研究^{16, 18, 19, 20)}の方法に従い、各 ECC1-4 の 1 日前に被験者の上腕二頭筋群に対し、約 15cm の距離から 150W で 20min、マイクロ波を照射した。

1.4 等速性最大伸張性運動 (ECC)

本実験では、筋損傷および筋痛を発生させるために、多用途筋機能評価運動装置 (BIODEX System 3, Biodex Medical Systems, Inc, NY, USA) を用いた。被験者は運動装置の椅子に座り、体幹部をベルトで固定された。そして上腕三頭筋の遠位を肘当てに置き、肘関節の回転軸を動力計の回転軸に合わせ、レバーアーム長を調節した。被験者は、上腕屈筋群に対する ECC を肘関節 90° (屈曲位) から 180° (伸展位) の範囲で、角速度 30° · s⁻¹ にて 10 回 × 3 セット (各収縮間休息 9s; セット間休息: 2min) を最大努力で行った。被験者は ECC を 3 日に 1 度、計 4 回行った (ECC1-4)。

1.5 測定項目および方法

1.5.1 最大等尺性筋力

最大等尺性筋力は、多用途筋機能評価運動装置を用いて測定した。肘関節角度 90° で 5s の肘屈曲における最大等尺性筋力を、収縮間休息時間 1min で 2 回計測し、ピーク値を最大等尺性筋力とした。測定は、各 ECC の 1 日前 (各処置前)、直前 (ECC1 の直前は除く)、直後および 2 日後

に行った。

1.5.2 肘関節可動域

肘関節可動域の測定は、立位における解剖学的正位姿勢で、両腕を体側に垂らし、リラックスした伸展位および随意による最大屈曲位の角度を Leighton Flexometer (Leighton Flexometer, Leighton Flexometer Inc, WA, USA) を用いて測定し、その角度の差を肘関節可動域とした。測定は各 ECC の 1 日前 (各処置前)、直前 (ECC1 直前は除く)、直後および 2 日後に行った。

1.5.3 上腕周径囲

上腕周径囲の測定は、被験者にリラックスするように指示し、両腕を体側に垂らした立位姿勢にて、あらかじめインクでマークした肘関節から肩峰までの 5 つのポイント (肘から 3, 5, 7, 9 および 11cm) の各位置で 2 回の計測を行い、その平均値を上腕周径囲とした。また、Gulick II Tape Measure (Country Technology Inc, WI, USA) を用いて、巻尺を当てる強さが常に一定になるようにした。結果は ECC1 前値からの、5ヶ所の上腕周径囲の変化量の平均値を用いた。測定は、各 ECC の 1 日前 (各処置前)、直前 (ECC1 直前は除く)、直後および 2 日後に行った。

1.5.4 血中クレアチンキナーゼ (CK) 活性

伸張性収縮に伴う筋損傷の指標として血中 CK 活性を測定するため、指尖からおよそ 32 μ l の血液をヘパリンでコーティングされた専用のキャピラリーに採取した。その後、血液は乾式臨床化学自動分析装置 (Reflotron Plus, Roche Diagnostics Inc., Basel, Switzerland) を用いて、試験紙方式での蛍光光度法によって測定された。採血は、各 ECC の 1 日前 (各処置前)、直前 (ECC1 直前は除く)、および 2 日後に行われた。

1.5.5 筋痛

筋痛を評価するため、被験者は腕を強く伸展および屈曲をしたときに発生する痛みを記録した。痛みの記録は、100mm の視覚的アナログス

ケールを用いて行った。スケールの左端と右端にそれぞれ「無痛」と「今まで経験したことのない痛み」を示し、被験者にその時に感じている筋痛に相当する位置に線を引くよう依頼した。視覚的アナログスケールは左端からの距離を mm 単位で測定し、筋痛の程度の大きさを示す値とした。記録は、各 ECC の 1 日前 (各処置前)、直前 (ECC1 直前は除く)、および 2 日後に行った。

1.5.6 統計処理

本文および図表に示した値は、全て平均値 \pm 標準偏差で示した。繰り返し行う温熱処置の効果を評価するために、反復測定の実験設計分散分析 (処置 \times 時間) を行い、その後 Scheffe 検定を用いて多重比較を行った。有意水準は $P < 0.05$ に設定した。

2. 実験結果

2.1 最大等尺性筋力

実験期間における最大等尺性筋力の変化を図 2 に示した。ECC 後、両群ともに最大等尺性筋力は初期の値よりも有意に低下した ($P < 0.05$)。しかし、両群間に統計的に有意な差は観察されなかった ($P > 0.05$)。

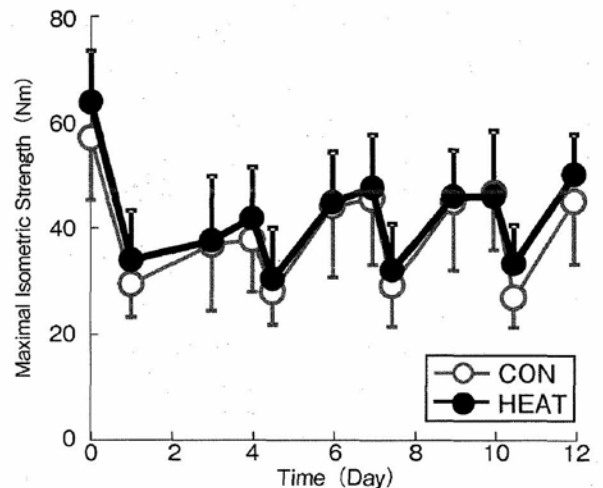


図2 Changes in maximal isometric strength of elbow flexors

CON(○); a group without heat treatment. HEAT(●); a group with heat treatment one day before ECC. Values are means \pm SD

2.2 肘関節可動域

図3に、実験期間中の肘関節可動域の変化を示した。肘関節可動域は両群ともにECC後に有意に低下した ($P < 0.05$)。その後、CON群と比較して、HEAT群はECC3後において有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。しかしながら、それ以外において両群間に統計的に有意な差は認められなかった ($P > 0.05$)。

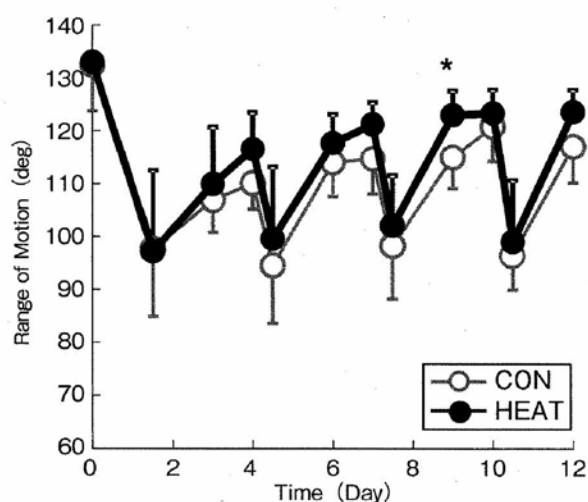


図3 Changes in range of motion of elbow flexors CON(○); a group without heat treatment. HEAT(●); a group with heat treatment one day before ECC. Values are means \pm SD. * $P < 0.05$ significantly different between CON and HEAT after the ECC3

2.3 上腕周径

図4に、実験期間中の上腕周径におけるECC1の1日前の初期値からの変化の平均値を示した。ECC後、HEATおよびCON群における上腕周径はいずれも有意に増加した ($P < 0.05$)。HEAT群で高い傾向を示したが、上腕周径の平均値には、両群間に統計的に有意な差は認められなかった ($P > 0.05$)。

2.4 血中CK活性

図5に、両群における血中CK活性の経時変化を示した。血中CK活性は両群ともに有意に増加した ($P < 0.05$) が、両群間に統計的に有意な差は観察されなかった ($P > 0.05$)。

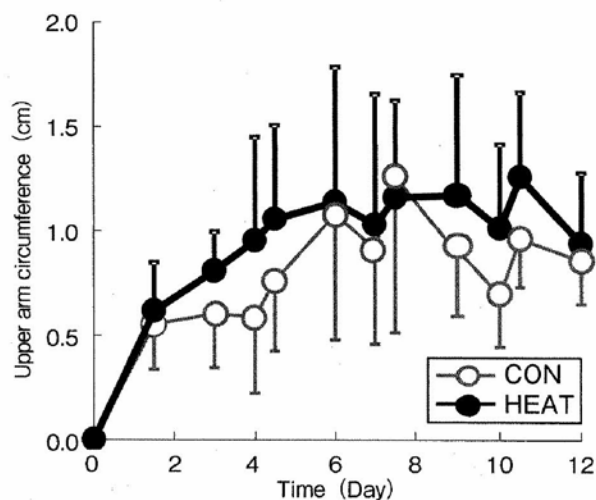


図4 Changes in upper arm circumference CON(○); a group without heat treatment. HEAT(●); a group with heat treatment one day before ECC. Values are means \pm SD

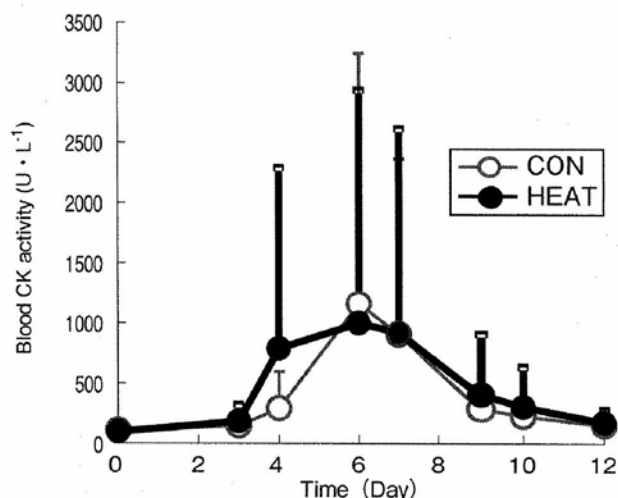


図5 Changes in blood CK activity CON(○); a group without heat treatment. HEAT(●); a group with heat treatment one day before ECC. Values are means \pm SD.

2.5 筋痛

図6に、CON群およびHEAT群における筋痛の経時変化を示した。筋痛はECC後、両群ともに有意に増加した ($P < 0.05$)。CON群と比較して、HEAT群が低い値を示したが、両群間の筋痛の経時変化に有意な差は認められなかった ($P > 0.05$)。

3. 考察

本研究は、温熱処置とECCの反復が、トレーニングに伴う筋損傷および筋痛の軽減に有効で

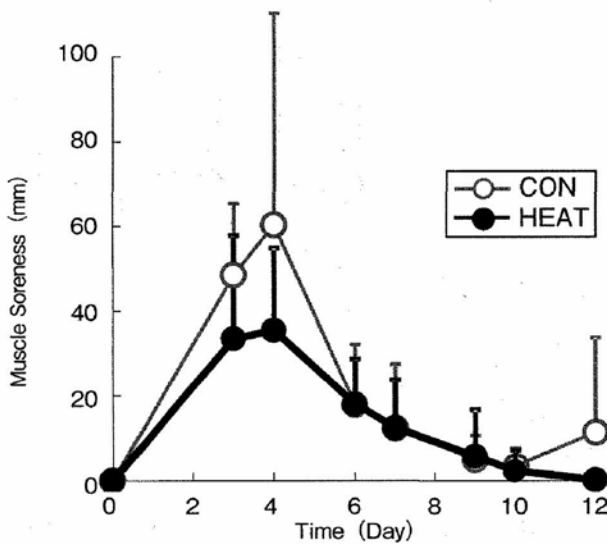


図6 Changes in muscle soreness

CON(○); a group without heat treatment. HEAT(●); a group with heat treatment one day before ECC. Values are means \pm SD

あるかを明らかにすることを目的として、一般成人男性 13 名の被験者が、筋痛を誘発するために上腕屈筋群に対する ECC を行った。その結果、温熱処置と ECC の繰り返しによって、筋損傷の間接的な指標の一つである肘関節可動域の回復が促進された。

本研究における ECC1 後の最大等尺性筋力の低下および血中 CK 活性の上昇の程度は、我々の先行研究^{18, 19, 20)}と同程度、またはそれ以上であり、本研究で用いた ECC による筋痛発生のプロトコルは、実験モデルとして妥当であったと考えられる。

我々は本研究で ECC 後に生じる筋損傷・筋痛を軽減させるために温熱処置を用いた。この温熱処置の方法を用いた背景には、筋温の上昇に伴う HSPs の発現、および血流量の増加による筋損傷・筋痛の抑制や回復の促進の可能性の二つのメカニズムがあった。しかしながら、本研究では、我々の先行研究¹⁸⁾とは異なり、ECC1 後に温熱処理の効果は観察されず、温熱処置と ECC の反復は、筋損傷および筋痛の程度を早期に回復させたとした我々の仮説とも異なり、温熱処置の効果は肘関節可動域のみに観察された。

本研究では ECC1 後に温熱処置の効果は認められなかった。本研究における ECC1 後の最大等尺性筋力の低下の程度は、先行研究¹⁸⁾よりも大きく、筋損傷の程度がより大きかったため、温熱処置の効果が ECC1 後に観察されなかったのかもしれない。我々の用いた温熱処置による筋温の上昇や HSP の誘導を本研究では直接的に確認していないが、我々の先行研究では同プロトコルにて、外側広筋の筋温が約 41℃ 程度まで上昇し、HSP90, 70 および 27 が誘導されることを確認している^{8, 16)}。したがって、我々が用いた温熱処置のプロトコルは十分な温度上昇をもたらし、HSPs を誘導したものと考えられる。しかしながら、仮説は一部分のみ支持された。温熱処置の効果が一部にのみ観察された理由を説明することは難しいが、本研究の結果を説明する一つの可能性として、ECC によって誘導された HSPs によるストレス耐性の獲得による影響が挙げられる。Thompson ら²⁵⁾は、2 回の ECC 前後の HSP70 と HSP27 の応答を検討し、1 回目と 2 回目の ECC の後の HSPs の相対的な増加の程度は類似していたが、タンパク質の発現レベルは 2 回目の ECC 後でより低かったことを報告している。また、Theodorakis²⁴⁾らは、一度 HSP が誘導されてストレスによる耐性を得ると、次のストレス後には HSP70mRNA の転写が減少して HSP の誘導が抑制されることを報告している。さらに、Paulsen ら¹⁶⁾は、3 週間の間隔で 2 回の ECC 後にバイオプシーを行い、HSP70, HSP27, および α B-crystallin の細胞内の動態と発現を観察した。その結果、1 回目および 2 回目の HSP70, HSP27, および α B-crystallin は同様に増加したが、ECC 後に筋損傷の程度は 1 回目よりも 2 回目で低かったことを観察し、HSP27 と α B-crystallin のような small HSPs は、Z 膜とデスミンに蓄積し、筋細胞の骨格を安定化させ、繰り返し効果の一部として働く可能性を示唆し

ている^{11, 16)}。このことから、我々の研究では、2回目以降の温熱処置の段階で、ストレス耐性が得られており、温熱処置の効果がマスクされた可能性が考えられ、筋損傷の一部の指標にのみ温熱処置の効果が認められた結果は妥当なのかもしれない。

また、ECCの間隔が短いことでHSPsの働きが十分な程度まで至らなかった可能性も考えられる。本研究ではECCを3日に一度の間隔で行ったが、通常の筋力トレーニングとは異なり、最大努力によるECCであったため筋損傷の程度が大きい。それにもかかわらず十分に回復が進んでいない状態で繰り返しECCを行った。そのために本研究の温熱処置の方法によって誘導されたHSPsでは、筋損傷を回復させるためには不十分だった可能性もある。しかしながら、本研究ではHSPsを測定していないため、このような推論を確かなものにするためにはさらなる研究が必要である。

一般に、温熱処置をすると血流が増加する⁷⁾。この血流の増加は、本研究の仮説における温熱処置の効果を説明する2つ目の理由であった。ECC後、損傷を受けた筋では細胞外のカルシウムイオンの蓄積が高まり、興奮収縮連関の障害が生じることで筋力が低下すると考えられている。これが損傷過程の進行の引き金となり、その後の二次的に収縮タンパク質の減少などを生じさせることが示唆されている^{10, 26)}。これに対して、温熱処置は末梢血管の拡張をもたらし²²⁾、局所の筋血流量を増加²¹⁾させる。このことが細胞外液中のカルシウムイオンの除去を促進し、筋損傷からの修復の開始と損傷の停止に貢献する可能性が示唆されている⁶⁾。しかし、本研究では温熱処置による筋力低下の抑制または回復促進は一部にのみ認められただけであった。このことから、我々の用いた温熱処置による筋温の上昇を確認していないが、本研究の温熱処置時間

では局所の筋温が上昇し、局所の血流が増加したものの、温熱処置の効果を十分得られる程度には至らなかったために、細胞外液中のカルシウムイオンの除去がわずかであった可能性がある。筋血流量等を測定していないため、筋力の回復が促進しなかったメカニズムを明らかにすることは難しいが、今後は温熱処置のより高い効果を得るためにも、時間を長くする、頻度を増加させるなどの検討も必要となるであろう。

ところで、筋痛が生じている際に筋温を上昇させることによって、炎症の観点からは負の効果、すなわち炎症を増悪させ、ECCによる筋損傷後に進行する二次的な筋損傷を悪化させてしまう可能性が懸念された⁶⁾。しかしながら、我々の先行研究^{18, 20)}におけるECC直後に行う温熱処置や、本研究で行われた伸張性トレーニング期間中に行う温熱処置では、筋損傷・筋痛の指標が悪化する傾向が観察されなかった。したがって、筋痛時の積極的な筋温の上昇は炎症反応に悪影響を及ぼさないと考えられるが、この点については今後詳細な検討が必要であろう。また温熱処置による効果が見られる指標もあり、さらに各測定項目の値の個人差も大きかったことから、被験者数を増やした検討などを行っていく必要性があるかもしれない。

結 論

温熱処置と伸張性運動の反復は、筋痛の発現の程度を抑制しないが、筋損傷の一部症状を早期に回復させる可能性が示唆された。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、甚大な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深く御礼申し上げます。また、本研究の実施に多大なご協力を賜りました順天堂大学スポーツ医学（内科）研究室の河合祥雄

教授, ならびに, 被験者として快く参加して頂きました方々に, 心より御礼申し上げます.

文 献

- 1) Armstrong, R.B., Warren, G.L., and Warren, J.A.: Mechanisms of exercise-induced muscle fibre injury. *Sports Med.*, **12**, 184-207(1991)
- 2) Clarkson, P.M. and Hubal, M.J.: Exercise-induced muscle damage in humans. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, **81**, S52-69(2002)
- 3) Clarkson, P.M., Nosaka, K., and Braun, B.: Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, **24**, 512-520(1992)
- 4) Clarkson, P.M., and Tremblay, I.: Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in humans. *J. Appl. Physiol.*, **65**, 1-6(1988)
- 5) Connolly, D.A., Sayers, S.P., and McHugh, M.P.: Treatment and prevention of delayed onset muscle soreness. *J. Strength. Cond. Res.*, **17**, 197-208(2003)
- 6) Giombini, A., Giovannini, V., Di Cesare, A., Pacetti, P., Ichinoseki-Sekine, N., Shiraiishi, M., Naito, H., Maffulli, N.: Hyperthermia induced by microwave diathermy in the management of muscle and tendon injuries. *Br. Med. Bull.*, **83**, 379-396(2007)
- 7) 細田多穂, 柳沢健: 理学療法ハンドブック第2巻治療アプローチ, 改訂第3版, 657-687, 共同医書出版社, 東京(2002)
- 8) Ichinoseki-Sekine, N., Naito, H., Saga, N., Ogura, Y., Shiraiishi, M., A Giombini V, Katamoto, S.: Effects of microwave hyperthermia at two different frequencies (434 and 2450 MHz) on human muscle temperature. *J. Sports Sci. Med.*, **7**, 191-193(2008)
- 9) Madden, L.A., Sandström, M.E., Lovell, R.J., McNaughton, L.: Inducible heat shock protein 70 and its role in preconditioning and exercise. *Amino. Acids.*, **34**:511-516(2008)
- 10) Maglara, A.A., Vasilaki, A., Jackson, M. J., McArdle, A.: Damage to developing mouse skeletal muscle myotubes in culture: protective effect of heat shock proteins. *J. Physiol.*, **548**, 837-846(2003)
- 11) McHugh, M.P.: Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, **13**, 88-97(2003)
- 12) 内藤久士.: 細胞レベルでのストレス応答-ストレスタンパク質の発現と機能-. *体力科学*, **53**, 455-460(2004)
- 13) 内藤久士, 小倉裕司.: スポーツとストレス蛋白質. *臨床病理*, **137**, 117-123(2006)
- 14) Nosaka, K., Muthalib, M., Lavender, A., Laursen, P.B.: Attenuation of muscle damage by preconditioning with muscle hyperthermia 1-day prior to eccentric exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **99**, 183-192(2007)
- 15) Nosaka, K., Sakamoto, K., Newton, M., Sacco, P.: Influence of Pre-Exercise Muscle Temperature on Responses to Eccentric Exercise. *J. Athl. Train.*, **39**, 132-137(2004)
- 16) Ogura, Y., Naito, H., Tsurukawa, T., Ichinoseki-Sekine, N., Saga, N., Sugiura, T, Katamoto, S.: Microwave hyperthermia treatment increases heat shock proteins in human skeletal muscle. *Br. J. Sports Med.*, **41**, 453-455(2007)
- 17) Paulsen G, Lauritzen F, Bayer ML, Kalhovde JM, Ugelstad I, Owe SG, Hallén J, Bergersen LH, Raastad T. Subcellular movement and expression of HSP27, alphaB-crystallin, and HSP70 after two bouts of eccentric exercise in humans. *J. Appl. Physiol.*, **107**, 570-82(2009)
- 18) Saga, N., Katamoto, S., Naito, H.: Effect of heat preconditioning by microwave hyperthermia on human skeletal muscle after eccentric exercise. *J. Sports Sci. Med.*, **7**, 176-183(2008)
- 19) 佐賀典生, 内藤久士, 形本静夫.: 伸張性運動直後の温熱処置が筋痛・筋損傷に及ぼす影響. *デサントスポーツ科学.*, **30**, 62-69(2009)
- 20) 佐賀典生, 小倉裕司, 関根紀子, 内藤久士, 形本静夫.: 高齢者の伸張性運動直後の温熱処置が筋痛・筋損傷の軽減に及ぼす影響. *健康医科学研究助成論文集.*, **23**, 70-76(2008)
- 21) Sekins, K.M., Lehmann, J.F., Esselman, P., Dundore, D., Emery, A.F., deLateur, B.J., Nelp, W.B.: Local muscle blood flow and temperature responses to 915MHz diathermy as simultaneously measured and numerically predicted. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, **65**, 1-7(1984)
- 22) 杉浦崇夫, 後藤勝正, 内藤久士.: 筋損傷からの回復を促す温熱刺激. *体育の科学.*, **53**, 714-719(2006)
- 23) Symons, B. T., Clasey, J. L., Gater, D. R., Yates, J. W.: Effects of deep heat as a preventative

- mechanism on delayed onset muscle soreness. *J. Strength. Cond. Res.*, **18**, 155-161 (2004)
- 24) Theodorakis, N. G., Drujan, D., De. Maio, A.: Thermotolerant cells show an attenuated expression of Hsp70 after heat shock. *J. Biol. Chem.*, **274**, 12081-12086 (1999)
- 25) Thompson, H.S., Clarkson, P.M., Scordilis, S.P.: The repeated bout effect and heat shock proteins: intramuscular HSP27 and HSP70 expression following two bouts of eccentric exercise in humans. *Acta. Physiol. Scand.*, **174**, 47-56 (2002)
- 26) Warren, G.L., Ingalls, C.P., Lowe, D.A., Armstrong, R.B.: What mechanisms contribute to the strength loss that occurs during and in the recovery from skeletal muscle injury? *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, **32**, 58-64 (2002)