

## 伸張性運動直後の温熱処置が 筋痛・筋損傷に及ぼす影響

順天堂大学 佐賀典生  
(共同研究者) 同 内藤久士  
同 形本静夫

### Effect of Post-exercise Heat Treatment on Eccentric Contraction-induced Muscle Soreness and Muscle Damage

by

Norio Saga, Hisashi Naito, Shizuo Katamoto  
*Juntendo University*

#### ABSTRACT

The purpose of the present study was to clarify the effect of post-exercise heat treatment on eccentric contraction-induced muscle damage and muscle soreness. Seventeen untrained male subjects ( $23 \pm 2$  yrs) volunteered to participate in this study. They were randomly assigned to a CON (n=9) or a Post-H (n=8) group and were asked to perform 30 repetitions of maximal isokinetic eccentric contractions (ECC) of non-dominant elbow flexors at angular velocity of  $30^\circ \cdot s^{-1}$  by means of isokinetic dynamometer. Immediately after ECC, the Post-H group had a microwave hyperthermia treatment (150W, 20min) to the same arm. Maximal isometric strength, range of motion of elbow joint, upper arm circumference, serum creatine kinase activity and muscle soreness were assessed for 4 days after ECC. As the results, there were no differences in the makers between CON and Post-H groups. It is suggest that the heat treatment on skeletal muscles immediately after ECC could not suppress an increase of muscle damage and muscle soreness.

## 要 旨

本研究は、最大伸張性収縮 (ECC) 直後の温熱処置が筋痛および筋損傷に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。一般成人男性 17 名が本実験に参加し、筋痛・筋損傷誘発のため、上腕屈筋群における ECC ( $30^{\circ} \cdot s^{-1}$ , 10 回  $\times$  3 セット) を行った。ECC 直後に被験者はマイクロ波治療器を用いて上腕屈筋群に対する温熱処置 (150W, 20min) を行う群 (Post-H 群;  $n = 8$ )、または特別な処置を行わない群 (CON 群;  $n = 9$ ) で行った。被験者は、最大等尺性筋力、肘関節可動域、上腕周径囲、血中クレアチンキナーゼ活性、および筋痛の測定を ECC 前および ECC 後 1-4 日まで受けた。その結果、筋痛・筋損傷のマーカーに CON および Post-H 群における群間で有意な差が観察されなかった。本研究での条件における ECC 直後の筋に対する温熱処置は、筋痛の軽減、また筋損傷からの回復の促進をもたらさない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<sup>1, 2, 4)</sup>を引き起こすことが知られている。伸張性収縮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<sup>3)</sup>。これらは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、また、一般人あるいは高齢者にとっては、運動習慣の確立を阻害する要因となり得ることから、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<sup>5, 16, 22)</sup>がなされている。しかしながら、未だ確実な予防方法は知られていないのが現状である。

一般的には、激しい運動の直後には、炎症を防ぐために、使用した筋 (患部) を冷やすことが基

本の処置とされている。したがって、運動後にはアイシングを行うことが多い。しかしながら、ECC 後にアイシングを行った先行研究<sup>5)</sup>においても筋損傷や筋痛を抑制し、回復を促進させるかどうかは明らかにされていない。また一般的には温めることは筋血流を増大させる観点から運動直後にはほとんど行われてはいない<sup>7, 21)</sup>。

そのような中で近年、Nosaka ら<sup>15)</sup>や Saga ら<sup>18)</sup>は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い、その結果 ECC 後に筋力および関節可動域の低下が抑制できることを報告した。この効果の一因として、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) の増加<sup>6, 17)</sup>が、筋損傷に対する抵抗性の増加に関わっていることが予想される<sup>10, 14, 18-24)</sup>。しかしながら、これはプレコンディショニングとしての方法であり、運動後の筋痛発生の抑制や回復促進のための方法として、同様の温熱処置の効果が得られるかは明らかではない。

最近、温熱処置による筋温の上昇によって HSP の誘導、末梢血管の拡張や炎症の賦活作用<sup>7, 21)</sup>、さらにマイクロ波を用いた温熱処置は局所血流を増加させること<sup>20)</sup>から、エネルギー供給を促進し、修復過程の開始と損傷過程の停止に貢献する可能性が指摘されている<sup>6)</sup>。

以上のことから、温熱処置による HSP の働きや局所の血流の増加による効果を考慮すると、ヒト骨格筋の HSP を上昇させるマイクロ波を用いた温熱処置を、ECC 後のより早い段階で行うことが、筋損傷や筋痛の軽減に有効である可能性が予想される。本研究では、ECC 直後の温熱処置が、筋痛・筋損傷の軽減に有効であるかどうかを明らかにすることを目的とした。

## 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17名が、被験者として本研究に参加した。被験者は、筋骨格に関する疾患や、手首、肘、および肩関節の周りに障害を持っておらず、特に抗炎症剤などの服用などを行っていなかった。また、実験期間中、被験者に栄養補助食品の摂取や抗炎症薬の服用、アイシングおよび激しい運動は避けるように指示した。さらに、各被験者に対し、実験前日は入浴を禁止し、シャワーも必要最小限にするように指示した。被験者の身体特性は表1に示した。なお、被験者に

表1 Physical characteristics of the subjects

	n	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
CON	9	22 ± 2	174.5 ± 3.9	66.6 ± 8.8
Post-H	8	23 ± 2	174.3 ± 3.9	66.7 ± 6.0

CON ; a group without a heat treatment.

Post-H ; a group with a heat treatment immediately after eccentric contraction.

Values are mean ± SD.

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書を得た。なお、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。

### 1.2 実験デザイン

本研究では、伸張性運動直後に特別な処置を行わない群 (CON群 ; n=9) と温熱処置を行う群 (Post-H群 ; n=8) の2群で行われた (図1)。

### 1.3 最大伸張性運動 (ECC)

本実験では、筋痛および筋損傷を発生させるため、多用途筋機能評価運動装置 (BIODEX System 3, Biodex Medical Systems, Inc, NY, USA) を用いて、被験者に等速性最大伸張性収縮 (ECC) を行わせた。

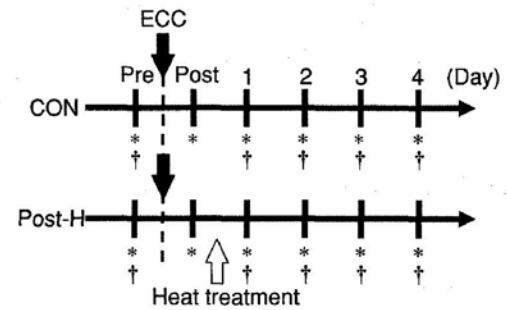


図1 Experimental design and time course of the measurements  
The subjects performed the exercises with (post-exercise heat treatment : Post-H) and without (Control condition: CON) heat treatment by microwave exposure.

\* Time points for the measurement of maximal voluntary isometric contraction, range of motion and upper arm circumference.

† Time point for the measurement of muscle soreness using a visual analog scale and blood creatine kinase activity.

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、肘関節の中心部が動力計の回転軸に合うように調節し、レバーアーム長をグリップの握れる位置に調節した。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<sup>-1</sup>にて10回×3セット (各収縮間休息9s ; セット間休息 : 2min) を行った。

### 1.4 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) を用いた。ECC直後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<sup>8,16-19</sup>。

### 1.5 測定項目および方法

#### 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て得た。測定は、ECC前後およびECC後1-4日目に行われた。

## 2) 肘関節可動域

肘関節可動域の測定は、立位にて解剖学的正位姿勢をとり、両腕を体側に垂らしリラックスした状態から最大屈曲位までの角度を Leighton Flexometer (Leighton Flexometer, Leighton Flexometer Inc, WA, USA) を用いて行った。測定は、ECC 前後および ECC 後 1-4 日目に行った。

## 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指示し、両腕を体側に垂らした立位姿勢をとらせ、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) の位置で行った。また、巻尺を当てる位置や強さは常に一定になるようにした。結果は ECC 前値からの 5ヶ所の変化の平均値を上腕周径囲の変化量として用いた。測定は、ECC 前後および ECC 後 1-4 日目に行った。

## 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である血中 CK 活性を測定するため、指尖からおよそ 32  $\mu$ 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 ECC 前および ECC 後 1-4 日目に行った。

## 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 (VAS) 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、被験者に今感じている筋痛に相当する位置に線をつけるよう指示した。その線の左端からの距離を mm 単位で測定し、筋痛の程度を示す値とした。記録は、ECC 前および ECC 後 1-4 日目の同じ時刻に行った。

## 1. 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。温熱処置の影響を評価するために、反復測定の実験配置分散分析 (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 ( $P < 0.05$ )。その後の回復において Post-H 群が高い値を示しているが、両群間の最大等尺性筋力に、統計的に有意な差は観察されなかった。

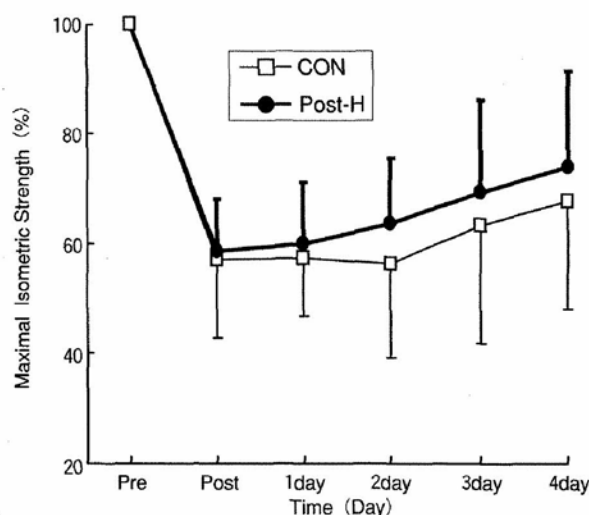


図 2 Changes in maximal isometric strength of the elbow flexors

CON (□); a group without heat treatment.  
Post-H (●); a group with heat treatment immediately after eccentric contraction.  
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 ( $P < 0.05$ )。その後の回復において、Post-H 群は 4 日目まで CON 群と比較して高い値を示したが、両群間に統計的に有意な差は観察されなかった。

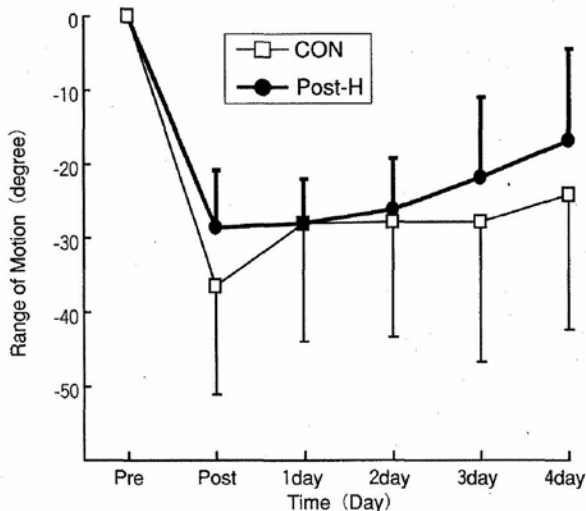


図3 Changes in range of motion of elbow joint  
CON (□); a group without heat treatment.  
Post-H (●); a group with heat treatment immediately after eccentric contraction.  
Values are means ± SD.

### 2. 3 上腕周径围

図4に、実験期間中の上腕周径围におけるPre値からの変化の平均値を示した。ECC後、Post-HおよびCON群における上腕周径围はいずれも有意に増加し ( $P < 0.05$ )、Post-H群は3日目までピークに達した、一方CON群は4日目まで増加し続けていた。しかしながら、上腕周径围の平均値には、両群間に統計的に有意な差は観察されなかった。

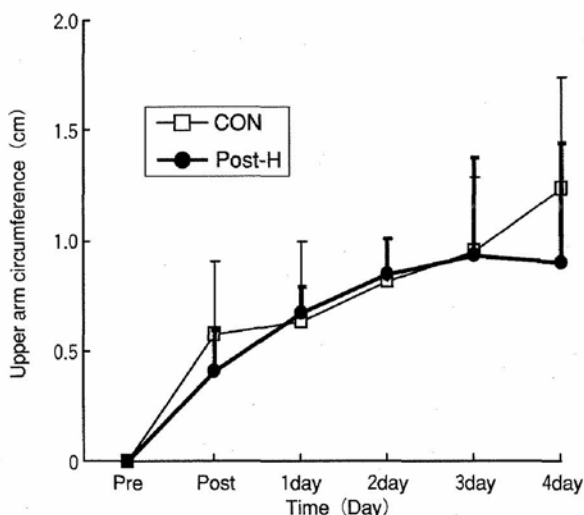


図4 Changes in upper arm circumference  
CON (□); a group without heat treatment.  
Post-H (●); a group with heat treatment immediately after eccentric contraction.  
Values are means ± SD.

### 2. 4 血中CK活性

図5に、両群における血中CK活性の時間的変化を示した。両群ともに血中CK活性はECC後4日まで有意に増加した ( $P < 0.05$ )。血中CK活性はPost-H群は緩やかに増加した、一方、CON群は3日目以降から急激な増加を示したが、血中CK活性において両群間に統計的に有意な差は観察されなかった。

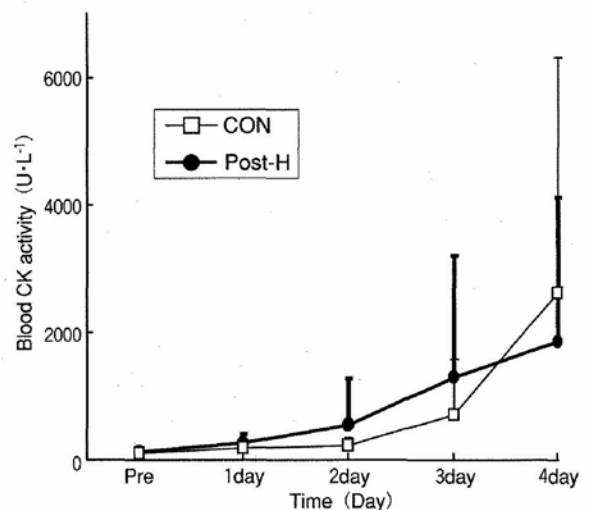


図5 Changes in blood CK activity  
CON (□); a group without heat treatment.  
Post-H (●); a group with heat treatment immediately after eccentric contraction.  
Values are means ± SD.

### 2. 5 筋痛

図6に、CON群およびPost-H群における筋痛の経時的変化を示した。筋痛はECC後、両群ともに有意に増加した ( $P < 0.05$ )。Post-H群がCONより低い値を示していたが、筋痛の経時変化に両群間に有意な差はみられなかった。

### 3. 考 察

本研究の目的は、ECC後の温熱処置がその後の筋痛および筋損傷を抑制することができるかを、一般成人男性を被験者として検討することであった。30°·s<sup>-1</sup>の角速度でECCを行い、筋痛を誘発した。その結果、温熱処置前までの最大等尺性筋力および血中CK活性は我々の先行研究<sup>18)</sup>と同程度であり、本研究で用いた等速性ECCによる

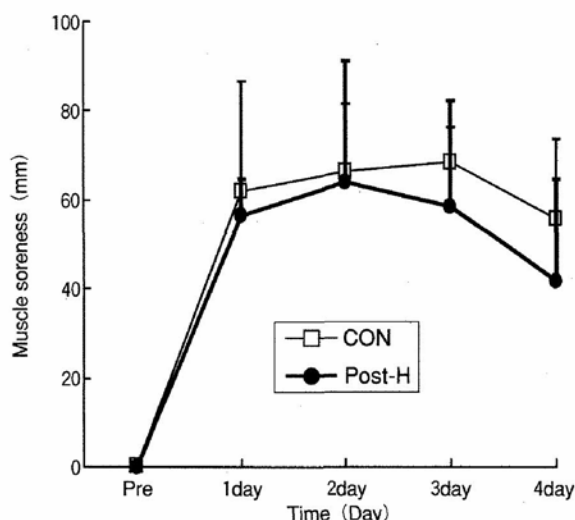


図6 Changes in muscle soreness

CON (□) ; a group without heat treatment.  
 Post-H (●) ; a group with heat treatment immediately after eccentric contraction.  
 Values are means  $\pm$  SD.

筋痛発生のプロトコールは、実験モデルとして妥当であったと考えられる。また本実験においては我々の用いた温熱処置による筋温の上昇やHSPの誘導を直接的には確認していないが、我々の先行研究では同じプロトコールによって筋温が約41℃程度まで上昇し、HSPが誘導されることを確認しており<sup>8, 17)</sup>、筋痛の誘発および温熱処置のプロトコールは妥当なものであったと思われる。しかし、プレコンディショニングとして温熱処置を行った場合には、筋損傷を軽減させる効果が確認されたが<sup>15, 18)</sup>、本研究においてECC直後の温熱処置は、筋痛および筋損傷の指標を有意に改善する効果は観察されず、本研究の仮説を支持する結果は得られなかった。

仮説に反して、十分な効果が得られなかった理由を説明することは難しいが、一つの可能性として、ECCによって誘導されたHSPによるストレス耐性の獲得による影響が挙げられる。Theodorakis<sup>23)</sup>は、細胞は一度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HSP70 mRNA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。またヒトにおいても、Thompsonら<sup>24)</sup>は、ECC後にHSC /

HSP70が1064%、HSP27が234%と著しく増加したことを報告したが、2回目のECC後にHSP27およびHSP70の発現が1回目と比較して有意に低下していたことを報告した。一方、マイクロ波を用いた温熱処置では、ヒト外側広筋のHSP72およびHSP27がそれぞれ約70%および40%の増大しか観察されていない<sup>17)</sup>。したがって、本研究のようにECC直後に与えられた温熱ストレスそのものによるHSP誘導の効果はECCによって誘導された効果と比べてそれほど大きくはなく、本研究では温熱処置の効果がマスクされた可能性がある。今後は1回だけの温熱処置だけではなく、1日後以降にも温熱処置を繰り返し行うなどの方法の検討が必要であるかもしれない。

ところで、我々は先行研究<sup>19)</sup>にて、高齢者に対して温熱処置を伸張性運動後に行い、温熱処置は筋痛の抑制に対しての効果はないが、筋損傷の指標の一部に対して、程度は小さいが軽減する効果がある可能性を示している。また、Lavenderら<sup>9)</sup>は、若年男性は、高齢男性よりも初回のECC後の損傷に対する抵抗性を獲得しやすいことを示唆している。さらにストレスに対するHSP発現は高齢者よりも若年者で増加する可能性が示唆されている<sup>13)</sup>。したがって、本研究の被験者である若年男性はECCによりストレスに対する抵抗性を大きく獲得していたために、その後の温熱処置による回復促進の効果が小さくなり、現れなかったかもしれない。すなわち2つ目の可能性としては、年齢によるストレスに対する抵抗性の獲得の違いが筋損傷の抑制効果に影響を与えているかもしれない。さらに、本研究の被験者は規則的なレジスタンストレーニングは行っていないが、日頃活動的な生活を送っている学生であった。そのため、ECCによる筋損傷に対する応答がトレーニングによって抑制され<sup>12)</sup>、体力水準が比較的高いと考えられる被験者ではすでに筋の保護効果を獲得していたために、温熱処置の効果を得ら



れなかった可能性がある。

3つ目の理由としては、本研究で行った温熱処置では局所の血流が増加しなかった可能性がある。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、これが損傷過程進行のトリガーとなることが示唆されている<sup>11)</sup>。そして筋力低下の一因と考えられている興奮収縮連関の阻害だけではなく、二次的に生じる収縮タンパク質の減少など<sup>25)</sup>が生じると考えられている。温熱処置は局所の血流を増加させてアデノシン三リン酸の再合成を促進し、筋損傷からの修復過程の開始や損傷過程の停止に貢献し、細胞外液中のカルシウムイオンの除去を促進して筋損傷からの回復を促進する可能性が示唆されている<sup>6)</sup>。しかし、本研究では温熱処置による回復の促進を認められなかったことから、本研究の温熱処置の方法は局所の血流を増加するには十分でなく、細胞外液中のカルシウムイオンの除去が十分に出来なかった可能性がある。今後は温熱処置の時間を長くするなどの検討も必要となるかもしれない。

ところで、運動直後に筋温を上昇させることによって、炎症の抑制の観点からは負の効果、すなわち炎症を増悪させ、二次的に筋損傷を悪化させてしまう可能性が懸念された。しかしながら、本研究のECC直後の温熱処置によって、その様な筋痛・筋損傷の指標の増悪傾向が全く見られなかった。したがって、運動直後の積極的な筋温の上昇は炎症反応に悪影響を及ぼすものではないものと考えられるが、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あるように見える指標もあり、さらに個人差も大きかったことから、被験者数を増やした検討を行っていく必要があるかもしれない。

#### 4. 結 論

ECC直後に筋に与えた温熱処置は、筋痛の発現の程度を抑制せず、筋損傷からの回復を促進さ

せる可能性はないことが示唆された。

#### 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。また、本実験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を申し上げます。

#### 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., Shiraishi, 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., Shiraishi, M., Giombini A., Giovannini 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) Lavender, A.P., Nosaka, K.: Responses of old men to repeated bouts of eccentric exercise of the elbow flexors in comparison with young men. *Eur. J. Appl.*

- Physiol.*, 97, 619-626 (2006)
- 10) 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)
  - 11) 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)
  - 12) 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)
  - 13) 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)
  - 14) 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)
  - 15) 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)
  - 16) 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)
  - 17) 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)
  - 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, 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)
  - 20) 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)
  - 21) 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)
  - 22) 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)
  - 23) 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)
  - 24) 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)
  - 25) 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)