

# 掌握運動後の温冷刺激が筋力の回復に及ぼす影響

The effect of hot and ice water immersion of the forearm on the recovery of grip strength after gripping exercise

遠藤慎也\*1, 内山秀一\*2, 桜庭景植\*1,3

キー・ワード : water immersion, recovery of grip strength, motor nerve conduction velocity  
温冷刺激, 筋力の回復, 神経伝導速度

〔要旨〕 本研究では掌握運動後の温冷刺激が筋力の回復に及ぼす影響を検証した。被験者 20 名をランダムに温水浴群, 冷水浴群, 交代浴群, コントロール群に各 5 名ずつ分けた。掌握運動後, 20 分間処置を行い, 処置後 30 分まで皮膚表面温度, 最大握力(MGS), 最大握力到達時間(TPS), 神経伝導速度(NCV)を測定した。その結果, MGSと NCV では, 冷水浴群と交代浴群がコントロール群に比べて有意に低値を示した ( $p < 0.01$ )。また, TPS は, 冷水浴群がコントロール群に比べ, 有意に高値を示した ( $p < 0.01$ )。よって, 運動後の前腕への 20 分間の冷水浴と交代浴は, その後 30 分間の筋力の回復を抑制する可能性が示唆された。

## はじめに

各種スポーツでは, ハーフタイムや短い休息を挟んで, 競技が行われる場合が多く, その間の筋機能の回復がその後のパフォーマンスに影響することから, 様々な方法が用いられている。特に, 運動後に温水浴や冷水浴により筋に温熱刺激や冷却刺激を与える方法は, 比較的簡便であることから, 試合の間にも行われている。

局所および全身への温冷刺激の効果は, 筋へのダメージや筋力発揮の回復などで評価されている<sup>1,2)</sup>。温水浴には, 血流量を増大させ筋の粘弾性を増加させる効果があるとされ<sup>3)</sup>, Joanna ら<sup>4)</sup>は, 下肢のトレーニング後の全身に対する温水浴が, 下肢の等尺性筋力の低下を抑制したと報告している。一方, 冷水浴には血流量を減少させ炎症や痛みを軽減させる効果があるとされ<sup>3)</sup>。サッカーの試合直後の冷水浴により, その後の筋ダメージが軽

減された<sup>5)</sup>との報告もある。さらに, 近年では温水浴と冷水浴を交互に繰り返し, 血管収縮および血管拡張を促すポンプ作用によって浮腫を減少<sup>3)</sup>させる交代浴も行われている。

しかし, 筋疲労後の温冷刺激の影響について, 筋力回復経過と神経伝導速度に及ぼす影響とを合わせて検証した報告はみられない。本研究では, 最大努力での 100 回の掌握運動により疲労させた前腕に対して, 温水浴と冷水浴及び交代浴を行なった時の最大握力, 最大握力到達時間, 神経伝導速度の変化から, 運動後の温冷刺激が筋力発揮の回復に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

## 対象及び方法

### 1. 対象

被験者は健常な成人男性 20 名であった。被験者を, 温水浴群 (21.4 ± 1.3 歳), 冷水浴群 (21.4 ± 0.9 歳), 交代浴群 (22.2 ± 0.8 歳), コントロール群 (21.4 ± 1.3 歳) の 4 群に各 5 名ずつランダムに分けた (表 1)。本研究は, 東海大学「人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認を経て, 被験者に

\*1 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

\*2 東海大学体育学部

\*3 順天堂大学スポーツ健康科学部

表 1 被験者の身体的特徴

	身長 (cm)	体重 (kg)	年齢 (歳)	最大握力 (kg)
コントロール群 (n=5)	170.9±3.6	70.0±6.9	21.4±1.3	48.6±2.9
温水浴群 (n=5)	170.9±3.6	70.6±6.7	21.4±1.3	53.7±6.2
冷水浴群 (n=5)	172.7±3.4	72.4±6.3	21.4±0.9	54.1±5.1
交代浴群 (n=5)	173.0±3.0	68.2±4.7	22.2±0.8	50.5±4.3

(平均値±標準偏差)

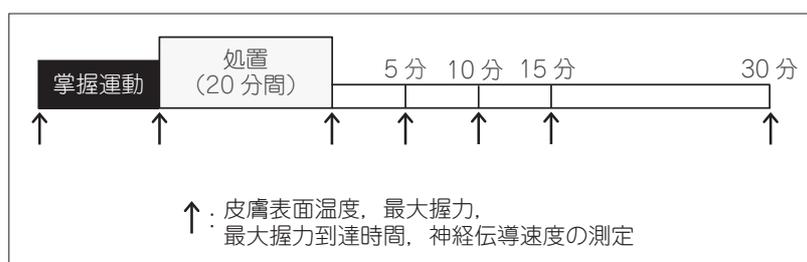


図 1 実験プロトコル

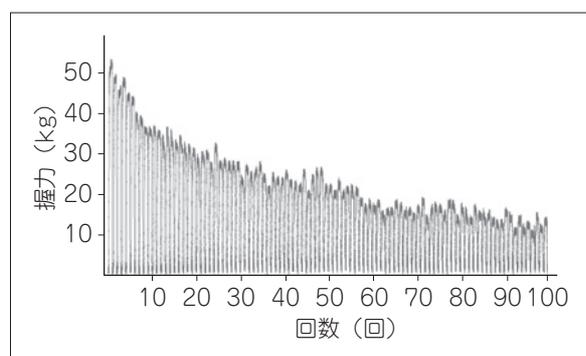


図 2 掌握運動における握力の推移の典型例

は実験の説明を十分に行い、文書にて同意を得て行った。

## 2. 方法

### a. 実験のプロトコル

被験者には、最大努力による掌握運動を 100 回行わせた後、冷水浴、温水浴または交代浴の処置を 20 分間施し、処置後 30 分間は座位にて安静にさせた。各種測定は、運動前と運動後、処置直後、5 分後、10 分後、15 分後、30 分後の計 7 回行った (図 1)。

### b. 最大努力による 100 回の掌握運動

掌握運動は、最大努力で行うものとし、被験者には座位で、利き手前腕を運動や筋力発揮の妨げにならないように固定した。被験者には、握力計アタッチメント (竹井機器社製) を最大努力で 2 秒間掌握させ、1 秒間休息するリズム (計 3 秒) での掌握運動を 100 回連続で行わせた (図 2)。なお、

握力計アタッチメントのグリップ幅は、事前に被験者が最も握りやすい幅に調整した。

### c. 掌握運動後の処置方法

掌握運動後の処置は、被験者の運動させた前腕に対する冷水浴、温水浴または交代浴とした。冷水浴と温水浴には、卓上型低温恒温水槽 (T-22LA, トーマス科学器械株式会社製) を用い、温水浴では 42℃ の温水に 20 分間、冷水浴では 10℃ の冷水に 20 分間、前腕を浸漬させた。交代浴では、42℃ の温水と 10℃ の冷水をそれぞれ準備し、温水から冷水の順で、温水に 1 分間、冷水に 4 分間浸漬することを 1 セットとし、4 セット繰り返した (計 20 分間)。また、コントロール群として、運動させた前腕を空の水槽に入れ、各処置方法と同様の姿勢で 20 分間安静にさせた。なお、実験場所は外気による影響を考慮し、約 25℃ となるように室温を設定し、できる限り一定な環境で行った。

### d. 測定項目

測定項目は、皮膚表面温度、最大握力 (Maximum Grip Strength : MGS)、最大握力到達時間 (Time to Peak at Strength : TPS)、神経伝導速度 (Motor Nerve Conduction Velocity : NCV) であった。

前腕の皮膚表面温度は、赤外線放射温度計 (AD-5611A, A&D 社製) を用いて尺側手根屈筋筋腹の同一箇所を 3 回計測し、その平均値を算出した。

最大握力 (MGS) の測定は、測定者の合図と同時に、握力計アタッチメントをできる限り素早く、

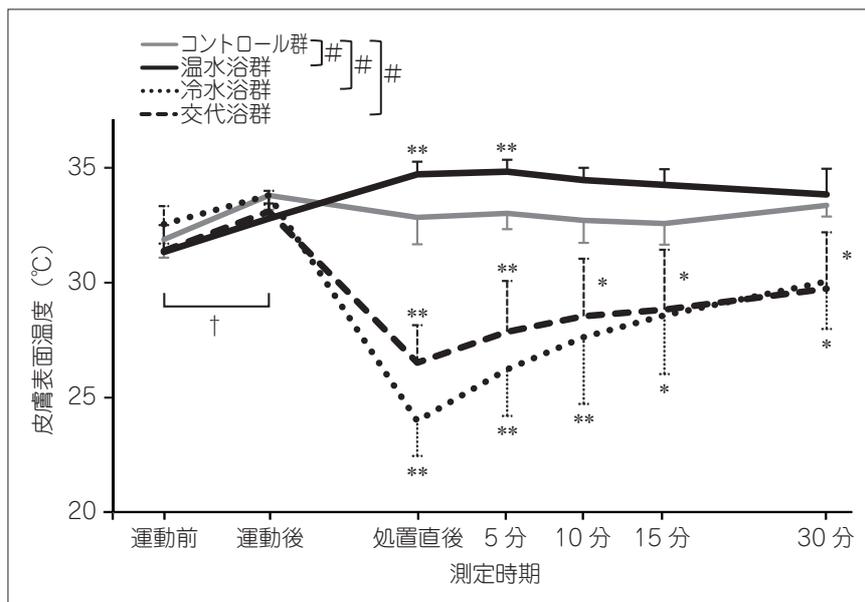


図3 各処置における皮膚表面温度の推移  
 皮膚表面温度は運動後に上昇した(†:p<0.01)。温水浴群はコントロール群と比較して高値を示し(#:p<0.01)、処置後5分まで高値を示した(\*\*:p<0.01)。冷水浴群および交代浴群はコントロール群と比較して低値を示し(#:p<0.01)、処置後30分まで低値を示していた(\*:p<0.05, \*\*:p<0.01)。

強く握るよう指示し、得られた握力発揮曲線の最高値を算出した。

最大握力到達時間(TPS)は、握力発揮曲線より握力発揮(張力)が1kgを越えた時点からMGSに至るまでに要した時間を算出した。

神経伝導速度(NCV)の測定にあたっては、生体電気刺激装置(SEN-5201,日本光電社製)を用いて、尺骨神経の中樞(肘)部と末梢(手首)部に対して、皮膚上からそれぞれ電気刺激し、小指外転筋の表面筋電図波形(M波)を記録した。電気刺激した中樞(肘)部と末梢(手首)部の二点間距離を、それぞれのM波の立ち上がりまでの時間差で除することにより、NCVを算出した。

e. 統計処理

各指標は処置ごとに平均値と標準偏差で示した。皮膚表面温度は実測値で示し、その他の指標は運動前を100%として相対値で示した。皮膚表面温度は運動前から処置後30分までを統計処理の対象とした。また、MGS, TPS, NCVについては、各処置後の回復傾向の差異を明らかにするために、処置直後から処置後30分までを分析範囲とした。

統計処理には統計処理ソフトウェアRを用い、処置と測定時期を要因とした二元配置分散分析を

行い、多重比較検定はBonferroni法を採用した。なお、統計学的有意水準は5%未満とした。

■ 結果

1. 皮膚表面温度について

皮膚表面温度は全ての群において、運動後では運動前に比較して有意に高値を示し、上昇していた(図3)。その後、各処置を施した各群の変化では、処置直後において、コントロール群の32.7±1.2°Cに比較し、温水浴群は34.5±0.5°Cに上昇し、有意に高値を示した(p<0.01)。また、コントロール群に比較して、冷水浴群(23.8±1.5°C)と交代浴群(26.4±1.6°C)は有意に低値を示した(p<0.01)。その後、処置後5分までは、温水浴群はコントロール群に比較して有意に高値を示したものの(p<0.01)、10分以降では有意な差はみられなかった。一方、処置後5分から30分までは、コントロール群に比較して、冷水浴群と交代浴群で有意に低値を示していた(p<0.05)。

2. 最大握力(MGS)について

最大握力(MGS)は、各群ともに運動後、顕著に低下した(図4)。処置後30分におけるMGSの推移は、群間に有意な差異がみられ、コントロール群に比較して、冷水浴群と交代浴群で、有意に

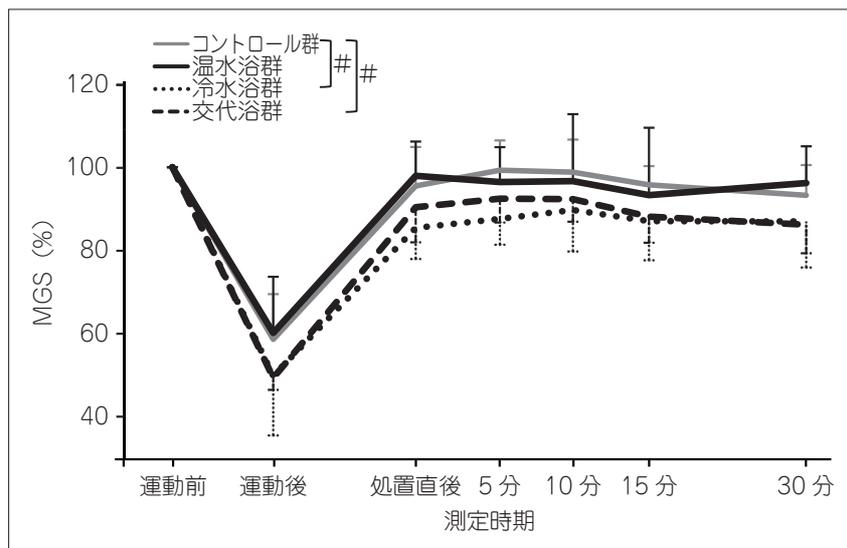


図4 各処置における MGS の相対値の推移  
処置後における冷水浴群および交代浴群の最大握力は、コントロール群に比較して低値を示した（#： $p < 0.01$ ）。

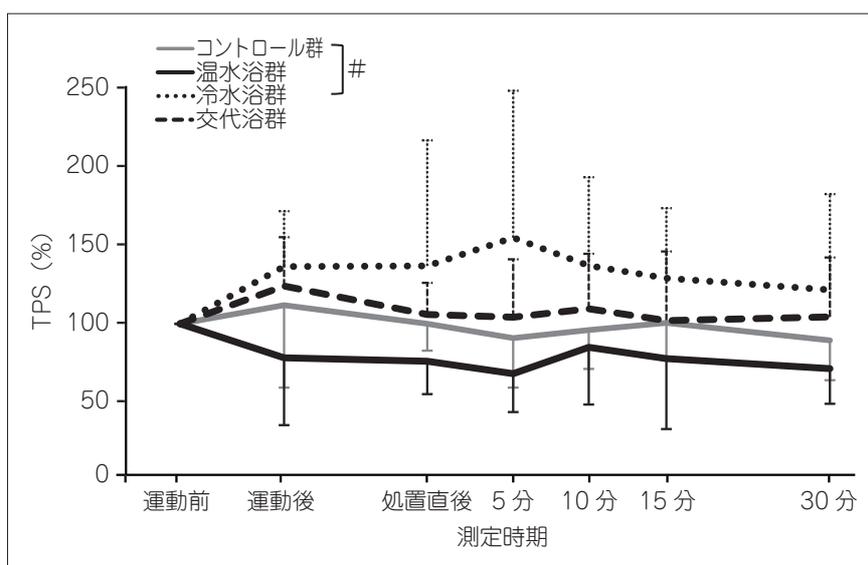


図5 各処置における TPS の相対値の推移  
処置後における冷水浴群の最大握力到達時間は、コントロール群に比較して低値を示した（#： $p < 0.01$ ）。

低値を示していた ( $p < 0.01$ )。すなわち、冷水浴群と交代浴群では処置後30分においても、それぞれ  $86.7 \pm 11.1\%$ 、 $85.9 \pm 6.9\%$  を示しており、最大握力は十分に回復していなかった。

### 3. 最大握力到達時間 (TPS) について

処置後30分における TPS の推移については、群間に有意な差異がみられ、冷水浴群はコントロール群に比べ、有意に高値を示していた ( $p < 0.01$ ) (図5)。また、冷水浴群では、処置後30分

においても  $122.0 \pm 61.1\%$  であったことから、素早く、強く握らせた際、最大値に到達するまでの時間は長くなり、筋力発揮が遅延する傾向が示された。

### 4. 神経伝導速度 (NCV) について

処置後30分における NCV の推移 (図6) については、コントロール群に比べ冷水浴群と交代浴群では有意に低値を示していた ( $p < 0.01$ )。すなわち、冷水浴群と交代浴群では処置後30分

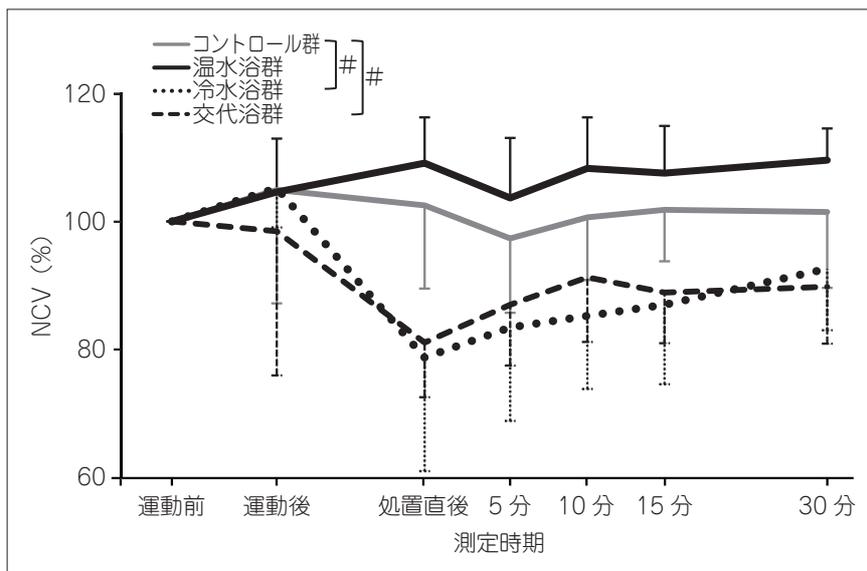


図6 各処置における NCV の相対値の推移  
 処置後における冷水浴群および交代浴群の神経伝導速度は、コントロール群に比較して低値を示した（#：p<0.01）。

も、運動前に比較して、それぞれ  $92.6 \pm 9.6\%$ 、 $89.8 \pm 8.9\%$  であり、神経伝導速度が遅延していることが示された。

## 考 察

本研究では、健康な成人男性 20 名を対象に、最大努力による掌握運動を 100 回繰り返した後に、20 分間の処置（温水浴、冷水浴、交代浴）を施した時の最大握力、最大握力到達時間、神経伝導速度の変化から、運動後の各処置が筋力発揮の回復に及ぼす影響について検討した。

本研究で行った最大努力による 100 回の掌握運動は、運動後の最大握力を約 50% まで低下させたことから、前腕の手指屈筋群を十分に疲労させることができたといえる（図 2）。また、運動後の皮膚表面温度が運動前に比較して  $2 \sim 3^\circ\text{C}$  上昇していたことは、繰り返しの筋収縮による熱産生、筋内代謝の亢進や血流量の増大<sup>6)</sup> が反映されたものと考えられる。さらに、各処置により皮膚表面温度が顕著に変化していたことから、筋に対しても、ある程度の温冷刺激を与えることができたと推察される。

最大握力の変化では、温水浴による影響は明らかにならなかったが、冷水浴と交代浴後では低値を示しており、筋力は回復していなかった。先行研究では、運動後の下肢に約  $10 \sim 15^\circ\text{C}$  の冷水による刺激を 15 分程度与えたところ、筋力の回復を促

進したという報告がいくつかある<sup>2,7,8)</sup>。また、Jutte ら<sup>9)</sup>は、大腿部前面に対してアイスバッグによる冷却を 30 分間行ったところ、その後 120 分を経過しても筋温は冷却前の温度より低値を示したと報告している。このように、冷却温度や時間により、筋温や筋機能への影響が異なる可能性が考えられる。このことから、本研究で行った前腕部への 20 分間の冷水 ( $10^\circ\text{C}$ ) 刺激では、処置後 30 分が経過しても筋温は低い状態であり、その結果、組織のスティッフネスや関節の粘性抵抗が増大<sup>3)</sup> していたことが、発揮筋力が回復しなかった一要因であるとも考えられる。

交代浴については<sup>10)</sup>、温水と冷水の時間配分が 3:1 や 2:1 と、温水浴の時間配分が長い交代浴の効果を検証している報告が多い。しかし、疲労回復に最適な交代浴の時間配分については未だ明らかにされていない。本研究では、冷水浴の時間の長い交代浴が掌握運動後の握力を回復させたという片平ら<sup>11)</sup> の報告と同様に、温水と冷水の時間配分を 1:4 で行った。ただし、片平らが行った交代浴は温水浴で終わったのに対し、本研究では冷水浴で終わるものであった。その結果、最大握力が回復するという傾向は示されなかった。つまり、交代浴後 30 分の皮膚表面温度が、冷水浴後と同様に運動前より低値を示していたことから、交代浴は冷水浴で終えたことによる冷水の影響が大きく、筋を冷やしすぎた可能性が考えられる。また、

Gregson ら<sup>12)</sup>は、8℃の冷水による10分間の冷水浴が、温度受容器の反射作用により動脈の血流を減少させたと報告しており、本研究で行った交代浴後の血管は冷水の影響により十分に拡張されず、交代浴の本来の目的である繰り返しの血管収縮および拡張によるポンプ作用<sup>3)</sup>が発揮されなかった可能性もある。以上のことから、冷水浴群と交代浴群では、筋温が低かったことにより、最大握力の発揮が抑制されていたと考えられる。

筋力の発揮は、脳からの指令により脊髄α運動ニューロンが興奮し、その興奮インパルスが神経軸索を經由して筋に伝えられることによって、筋が収縮する<sup>13)</sup>というプロセスであることが知られている。本研究で測定した最大握力到達時間は、興奮インパルスが筋に伝導されるまでの時間と、筋自体が収縮するまでの時間を総合的に評価したものである。筋を収縮させる過程で関連している神経伝導速度、神経筋接合部、筋収縮機構は、冷却刺激によって活動が低下する<sup>14)</sup>ことが知られている。よって、本研究における冷水浴は筋力を発揮するまでの過程において、負の影響を与え、最大握力到達時間を遅延させたと考えられる。

神経伝導速度については、冷水浴後と交代浴後において遅延する傾向が示された。神経伝導速度は筋疲労に伴い、乳酸などの代謝産物が蓄積し、筋の細胞外pHが変化することにより、筋繊維を伝播する活動電位の伝導速度は低下する<sup>15)</sup>ことが知られている。一方、Esperanza ら<sup>16)</sup>は下腿を約10℃の冷水に15分間浸漬させた結果、皮膚表面温度は約18℃低下し、神経伝導速度が約17%低下したと報告しており、本研究で行った冷水浴および交代浴後の顕著な神経伝導速度の低下は、疲労による影響のみならず、皮膚表面温度の低下による影響も考えられた。このように、本研究で行った冷水浴と交代浴によって、神経インパルスの伝達速度が低下したことにより、素早い筋力発揮は抑制されたと推察される。さらに、冷却による神経筋接合部や筋収縮機構の不全が予想され<sup>14)</sup>、その結果、最大握力到達時間は遅延したと考えられる。また、これらの冷水浴および交代浴後の神経機能の回復不良が、最大握力の低下の一因となった可能性が考えられる。

以上のことから、本研究で行った運動後の冷水浴により、神経機能の回復不良が生じ、その結果、素早く、強い筋力の発揮が困難となった可能性が

示唆された。また、本研究で設定した冷水の時間配分が長い交代浴においても、冷水の影響が強く残存していたことから、冷水浴と同様の結果が得られた。したがって、競技などにおけるハーフタイムや短い休息時に行う局所への冷却は、筋力発揮を抑制する可能性が考えられた。しかし、実際のスポーツ現場での冷水浴や交代浴は、疲労回復のみならず、コンディショニングや応急処置などを目的としても行われており、用途によって冷却時間や冷却温度が異なる。また、本研究は前腕を対象に温冷刺激の効果を検証したが、現場では下肢に対して行われることがある。

よって、本研究で行った冷水浴や交代浴の時間や温度、対象部位が異なれば、異なる結果が得られた可能性があり、今後も検討が必要である。

## 結 論

掌握運動後の前腕に対する20分間の冷水浴および冷水浴の時間配分の長い交代浴では、その後30分が経過しても冷却の影響が強く残存し、神経や筋の活動を低下させ、筋力の回復を抑制する傾向が示された。

## 文 献

- 1) Herve, P. et al.: Short term effects of various water immersions on recovery from exhaustive intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol* 111(7): 1287-1295, 2011.
- 2) Darryl, J. et al.: Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Phys Ther in Sport* 5(1): 26-32, 2004.
- 3) Kenneth, LK. : Cryotherapy in sports injury. *Sports medicine Quarterly* (田淵健一訳). ブックハウス・エイチデイ, 1997.
- 4) Joanna, V. et al.: Effect of hydrotherapy on the signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *Eur J Appl Physiol* 102(4): 447-445, 2008.
- 5) Antonio, A. et al.: Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. *J Sports Sci* 29(3): 217-225, 2011.
- 6) 勝田 茂: 運動生理学 20 講. 朝倉書店, 1993.
- 7) Jeremy, I. et al.: Effect of water immersion methods on post-exercise recovery from simulated team sport exercise. *J Sci & Med in Sports* 12(3): 417-421,

- 2009.
- 8) Bailey, D.M. et al.: Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *J Sports Sci* 25 (11): 1163-1170, 2007.
- 9) Jutte, L.S. et al.: The relationship between intramuscular temperature, skin temperature, and adipose thickness during cryotherapy and rewarming. *Arch Phys Med Rehabil* 82(6): 845-850, 2001.
- 10) Wayne, A. et al.: Contrast therapy—a systematic review. *Phys Ther Sport* 9(3): 148-161, 2008.
- 11) 片平誠人, 山本利春: 異なる時間配分の交代浴が疲労した握力の回復に及ぼす影響. *福岡教育大学紀要* (55): 31-34, 2006.
- 12) Gregson, W. et al.: Influence of cold water immersion on limb and cutaneous blood flow at rest. *Am J Sports Med* 39(4): 1316-1323, 2011.
- 13) 木塚朝博, 増田 正, 木竜 徹ほか: 表面筋電図. 東京電気大学出版局, 2006.
- 14) 吉岡利手忠: 骨格筋の疲労. ナップ, 2003.
- 15) Lindström, L. et al.: Muscular fatigue and action potential conduction velocity changes studied with frequency analysis of EMG signals. *J Electromyogr* 10(4): 341-356, 1970.
- 16) Esperanza, H. et al.: Motor and Sensory Nerve Conduction Are Affected Differently by Ice Pack, Ice Massage, and Cold Water Immersion. *Phys Ther* 90(4): 581-591, 2010.

(受付: 2014年12月11日, 受理: 2015年4月20日)

## The effect of hot and ice water immersion of the forearm on the recovery of grip strength after gripping exercise

Endo, S.<sup>\*1</sup>, Uchiyama, S.<sup>\*2</sup>, Sakuraba, K.<sup>\*1,3</sup>

<sup>\*1</sup> Graduate School of Health and Sports Science, Juntendo University

<sup>\*2</sup> School of Physical Education, Tokai University

<sup>\*3</sup> School of Health and Sports Science, Juntendo University

**Key words:** water immersion, recovery of grip strength, motor nerve conduction velocity

**[Abstract]** The purpose of this study was to examine the effect of hot-, ice- and contrast-water immersion after gripping exercise. The subjects were twenty healthy men. The exercise was a hundred hand gripping exercises with maximum effort. Four treatment conditions, namely, immersion of the exercised forearm for 20 min at 42°C (hot-water group: HW, n = 5), for 20 min at 10°C (ice-water group: IW, n = 5), repeatedly 4 times for 1 min at 42°C and 4 min at 10°C (contrast-water group: CW, n = 5) and for 20 min resting (control group: CON, n = 5) were applied. The skin surface temperature, the maximum value of grip strength, the time to peak at strength and the motor nerve conduction velocity were measured before and immediately after exercise (before treatment), as well as immediately, and at 5, 10, 15, and 30 minutes after treatment. The results showed that maximum grip strength was suppressed in IW and CW. At 30 minutes after treatment, maximum grip strength was recovered completely in HW and CON, however, less than about 90% was strength was recovered in IW. The time to peak at strength was increased in IW, and was 32% higher than in CON at 30 minutes after treatment. The motor nerve conduction velocity also decreased in IW and CW. The motor nerve conduction velocity in IW and CW was 20% lower than in CON immediately after treatment. These results suggested that 20 min of ice-water immersion and contrast-water immersion of the forearm suppressed the recovery of grip muscle exertion for 30 min after the treatment.