

運動後に行うアイシングの長期的な適用の影響について

愛知みずほ大学 大西 範 和
(共同研究者) 中京大学大学院 山 根 基
同 小 坂 光 男

Long-term Effects of the Regular Post-exercise Muscle Cooling

by

Norikazu Ohnishi
*Department of Human Sciences,
Aichi Mizuho College*
Motoi Yamane, Mitsuo Kosaka
*Laboratory for Exercise Physiology and Biomechanics,
Chukyo University*

ABSTRACT

Cold application (cryotherapy) is an established component in the treatment by rest, ice, compression, elevation (RICE) for acute sports injuries with decreasing local inflammatory reactions. This treatment has been also employed with identical therapeutic benefits to exercise-induced damage following vigorous exercise among athletes. Recently, cold application has been regularly used with even less muscular damage for facilitation of recovery from physical and mental fatigue and as a preventive against the muscular injury following exercise. Ten male subjects participated in resistance training comprising five sets of 8-wrist curl exercises at a workload of 8-repetition maximum, three times a week for six-weeks. Half of the subjects immersed their experimental forearm in cold water ($10 \pm 1^\circ\text{C}$) for 20 minutes after the end of the wrist curl exercises (the cold group), while the

remaining five served as controls (the control group). Ultrasonography-evaluated thickness of forearm flexor muscles and circumference of the experimental extremity significantly ($p<0.05$) increased after the training period in both groups. However, degree of these increases was significantly ($p<0.05$) less in the cold group as compared with that in the control group. Diameter of ultrasonography-evaluated brachial artery failed to increase in the cold group despite a significant increase ($p<0.05$) of that in the control group after training. Maximal strength and muscular endurance with rhythmic handgrips tended to increase in both groups after the training period, while each increase was less in the cold group as compared with that in the control group. It is considered that training-induced molecular and humoral adjustments, including muscle hyperthermia, are physiological, transient, and essential for training effects (myofiber regeneration, muscle hypertrophy and improved blood supply). Cooling generally might attenuate these temperature-dependent processes. This seems disadvantageous for training, in contrast to the beneficial combination of rest, ice, compression and elevation (RICE) in the treatment of macroscopic musculo-tendinous damage.

要 旨

10名の被験者に、8RMの運動強度で8回のリストカール運動を5セット行う筋力トレーニングを週3回、6週間行わせた。毎回トレーニング終了後に運動側上肢を $10 \pm 1^\circ\text{C}$ の冷水に20分間浸した被験者5名を冷却群、残りを対照群としてトレーニング効果を比較した。両群で形態的变化やパフォーマンスの向上が認められたが、冷却群では筋厚、前腕最大周径囲および上腕動脈血管径の増加が有意 ($P<0.05$) に小さく、最大筋力および筋持久力の増加も小さい傾向にあった。これらは、筋力トレーニングの効果を引き起こす要因として、機械的刺激とあわせて組織の温度上昇やそれに伴う諸変化が関与する可能性を示唆した。RICE処置として損傷部位を冷却することが有益であることは明確であるが、傷害の予防や疲労回復のために損傷がない組織を冷却することには、RICE処置の冷却と同様の意義のほかに、トレーニング効

果が減衰する可能性を考慮する必要があると推察された。

緒 論

組織の冷却は、RICE処置 (rest, ice, compression, elevation) の一要素として、スポーツの現場で多用される。これはアイシング (cryotherapy) と呼ばれ、捻挫などの傷害の治療だけでなく、明確な傷害がなくても、高強度の運動で生ずると考えられる筋の微細損傷に対し、運動後に施すことにより二次的損傷を防止し、筋のダメージを軽減することを目的として用いられる。最近では、単なる疲労回復のためにも用いられるが、運動後に冷やして予め傷害を防止しようとする試みもある。運動後のアイシングについては、疲労感を緩和しパフォーマンスを向上させるとの報告¹⁾もある。しかし、週5日疲労困憊まで走らせるトレーニングを、7週間行わせたラットの筋組織を電子顕微鏡で観察すると、冷却した群で損傷が早期に生じ

たとの報告²⁾もあり、高強度の運動を連日続ける場合には、疲労感の低下によりオーバーワークをもたらしやすい可能性も示されている。一方、我々は自転車運動を用いた持久的トレーニングや筋力トレーニングの際、運動後に毎回冷却すると、筋の持久性向上の程度が減衰することなど、トレーニングに伴う筋の適応性変化が運動後に冷却を繰り返すことにより小さくなる傾向を認めている^{3, 4, 5)}。このことは、トレーニング後に冷却を併用することにより、傷害の防止は期待できるものの、意図したトレーニング効果が十分に得られない可能性も示唆している。冷却の併用によりトレーニング効果が小さくなる要因については明らかではない。そこで本研究では、トレーニング期間にわたり運動後に毎回活動筋を冷却することが、トレーニングに伴うパフォーマンス、血管の形状や持久能の変化に及ぼす影響について確認するとともに、筋肥大や筋力の増加に対する影響についても調べることを目的とした。さらに、トレーニングの初日には、運動に伴う炎症過程や血管の適応性変化に関係する、血中のインターロイキン-6 (IL-6)、血管内皮由来成長因子 (VEGF) 濃度の動向を観察するとともに、冷却の有無により差異を生ずるか否かを調べ、それらを介する機構が筋の適応に関係する可能性について知見を得ようと試みた。

1. 研究方法

1. 1 被験者

被験者は、健常な男子大学生10名であった。被験者の平均年齢は 20.4 ± 0.8 歳 (平均値±標準偏差)、身長は 175.4 ± 6.1 cm、体重は 70.9 ± 7.1 kgであった。各被験者の自己申告によると利き腕は右9名、左1名であった。被験者を2つの群に無作為に分けた。実験は、あらかじめ被験者に対し十分に趣旨や内容などを説明し、文書による承諾を得た上で実施した。

1. 2 実験手順

実験では、被験者に週3回の筋力トレーニングを6週間行わせた。筋力トレーニングは、自作したリストカールエルゴメータ (図1) を用い、非

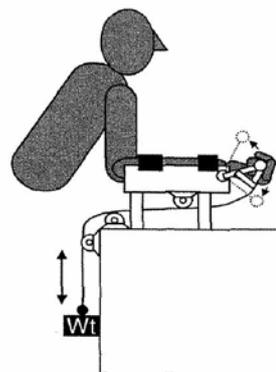


図1 リストカールエルゴメータ

利き腕 (運動側) で実施し、利き腕は対照側とした。運動側の前腕は完全回外位とし、リストカールエルゴメータの可動軸に手関節の運動軸が位置するようにハンドルの位置を調節し、手指の第一及び第二関節の間で支持した状態から、握りながら手関節を屈曲する運動 (リストカール運動) を行った (図1)。リストカール運動中、肘関節角度は約 90° に保ち、前腕が水平となるように手関節及び前腕の中央付近を固定し、肘関節の屈曲の影響を防いだ。メトロノームのテンポに合わせ、手関節角度 40° 伸展位から、1秒間で 60° 屈曲位まで屈曲し、その後2秒かけて伸張性収縮させながら元の位置へ戻した。運動強度は8RM (Repetition Maximum) とし、これは最大筋力のおよそ70~80%に相当した。運動は8回行い、2分間の休憩をはさみ5セット繰り返した。被験者のうち5名は、トレーニング終了3分後に、運動側上肢の肘関節の4~5cm近位側までの前腕及び上腕の一部を $10 \pm 1^\circ\text{C}$ の冷水に20分間浸した (冷却群)。水温は、冷却ユニット (COOLPIPE 300L, TAITEC) および恒温ユニット (THERMAL ROBO TR2, IUUCHI) を用いて調節し、水流ポンプで攪拌した。残りの5名は、冷却を行わず20分

間椅座位安静を維持した（対照群）。毎回、トレーニングあるいは冷却終了後に、疲労感や筋肉痛の有無について聴取した。

トレーニングの効果及び冷却の影響を検討するために、被験者はトレーニング期間の前後に最大筋力、筋持久力、前腕最大周径囲、筋厚、上腕動脈血管径を測定した。また、リストカール運動による炎症過程及び血管新生過程の動向や運動後の活動筋冷却の影響について検討するため、被験者のうち各群4名ずつを対象に、トレーニング期間開始1日目のリストカール運動前後に血漿インターロイキン-6 (IL-6)、血管内皮由来成長因子 (VEGF) を測定した。トレーニング及び各測定は、室温 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度約50%の環境条件下で行った。

1. 3 測定項目

最大筋力は、電子筋力計 (KE-D300, ヤガミ) により、トレーニング時と同じ姿勢で、手関節角度を 0° 屈曲位に保ち、手関節屈曲方向への等尺性最大収縮力として測定した。筋持久力の測定は、トレーニング時と同じ姿勢でリストカールエルゴメータを使用して測定した。運動強度は最大筋力の約35%とし、リストカール運動をメトロノームによって2秒に1回のテンポで行わせ、テンポに追従出来なくなるまでの回数を測定した。前腕最大周径囲は、橈側手根屈筋の最大筋腹位を巻尺で測定した。筋厚および上腕動脈血管径は、電子走査形超音波断層装置 (EUB-565, 日立) を用いて測定した。被験者は、仰臥位で腕を 90° 外転させ、前腕を完全回外位で測定台に置いた。筋厚は、前腕最大周径囲を測定した位置にプローブを置き、被験者が前腕屈筋群の収縮を繰り返しながら、超音波断層装置のBモード画像で被験筋群の形状を捉え、掌握状態において最大深度を測定した。上腕動脈血管径は、Bモード画像上で血管の腹側と背側にそれぞれ出現する内腔-内膜の境界

面の間の距離として定義し、上腕骨頭と内側上顆の中間位で測定した。筋厚と上腕動脈血管径は、測定台上を縦横1mm単位で座標化し、レーザーポインタを用いてトレーニングの前後で同一座標点に計測ポイントを合わせて測定した。血漿IL-6およびVEGF濃度は、リストカール運動の前、直後、30、60、120分後に被験者の運動側の肘正中皮静脈より血液を採取し、サンドイッチELISA法により測定した。血液サンプルはEDTA入りの真空採血管に入れ、遠心分離し、血漿は分析までの間 -80°C で冷凍保存した。血漿IL-6およびVEGF濃度は、96穴マイクロプレート (BioSource International社製) を用い、IL-6の測定にはultra sensitive用のキットを用いた。

1. 4 統計処理

各測定値は平均値および標準偏差で表した。各測定項目のトレーニングに伴う変化については繰り返しのある二元配置分散分析を行い、有意差が認められた場合にはStudentの対応のあるt-testを行った。各測定項目のトレーニングに伴う増加率についてはStudentの対応のないt-testを用いて検定した。なお、危険率5%未満を有意とした。

2. 結果

実験に参加した被験者は、全員6週間のトレーニングを完遂し、特別な疲労感や筋肉痛の申告はなかった。筋厚は、対照群 ($p < 0.01$)、冷却群 ($p < 0.05$) とともにトレーニング後に統計的に有意に増加した (図2 A)。筋厚の増加率は、対照群で $9.3 \pm 2.1\%$ 、冷却群で $3.4 \pm 2.2\%$ となり、冷却群において対照群より統計的に有意 ($p < 0.01$) に小さかった (図2 B)。前腕最大周径囲は、対照群 ($p < 0.01$)、冷却群 ($p < 0.05$) とともにトレーニング後に統計的に有意な増加を示した (図3 A)。前腕最大周径囲の増加率は、対照群で $2.5 \pm 0.8\%$ 、冷却群で $1.1 \pm 0.6\%$ となり、冷却群において対照

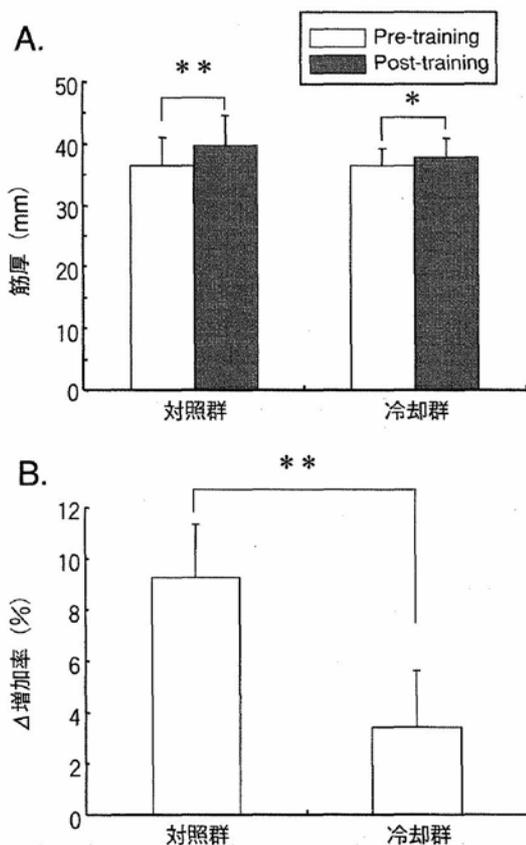


図2 A:トレーニング前後の筋厚の変化.B: トレーニング後の筋厚の増加率 * $p<0.05$,** $p<0.01$

群より統計的に有意 ($p<0.05$) に小さかった (図3 B). 上腕動脈血管径には, 対照群でトレーニング後に統計的に有意 ($p<0.05$) な増加が認められたが, 冷却群では変化が見られなかった (図4). 最大筋力には, 対照群, 冷却群それぞれのトレーニングに伴う変化において交互作用 ($p=0.06$) は

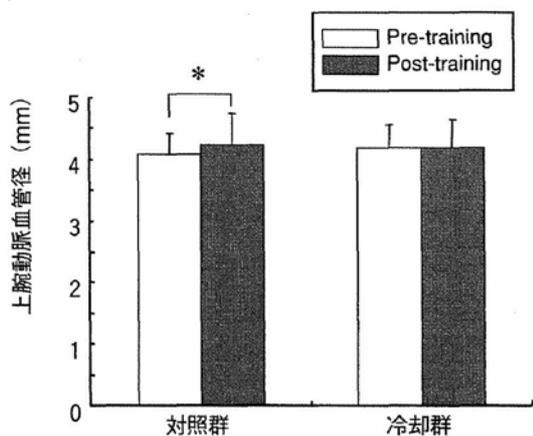


図4 トレーニング前後の上腕動脈血管径の変化 * $p<0.05$

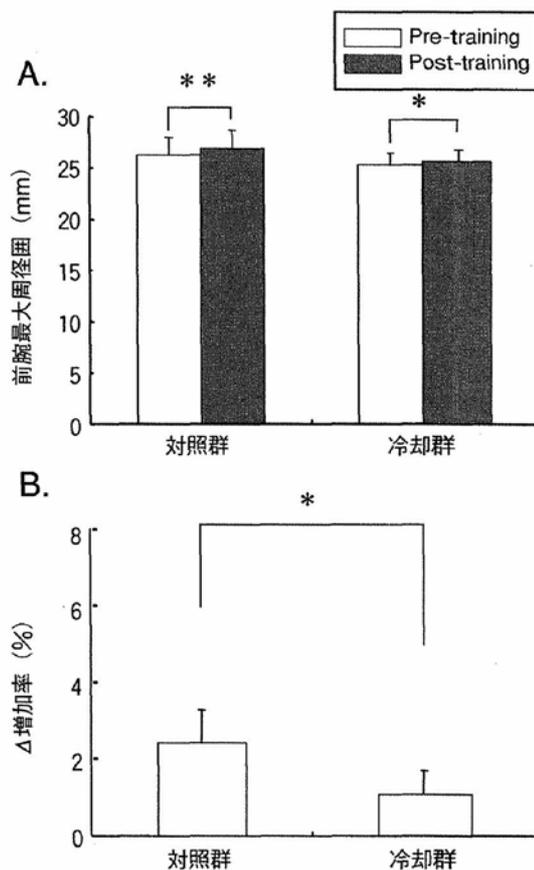


図3 A:トレーニング前後の前腕最大周径の変化 B: トレーニング後の前腕最大周径の増加率. * $p<0.05$,** $p<0.01$

認められなかったが (図5 A), 冷却群のトレーニングに伴う増加率は, 対照群より統計的に有意ではないが小さい傾向を示した (図5 B). 筋持久力は, 両群ともにトレーニングに伴い増加する傾向にあったが (図6 A), 両群のトレーニングに伴う増加率の間に統計的に有意な差は認められなかった (図6 B). トレーニング初日に測定した, リストカール運動前後の血漿 IL-6 および VEGF 濃度は, 個人差はあるものの低値を維持し, 著明な変化は認められなかった.

3. 考察

本研究で行った6週間の筋力トレーニングは, 運動強度としては中等度であったと考えられ, 遅発性筋肉痛を含む何らかの異常を申告した被験者はなかった. 運動後の筋組織には損傷はなく, RISE 処置が必要な状態ではなかったと考えられ

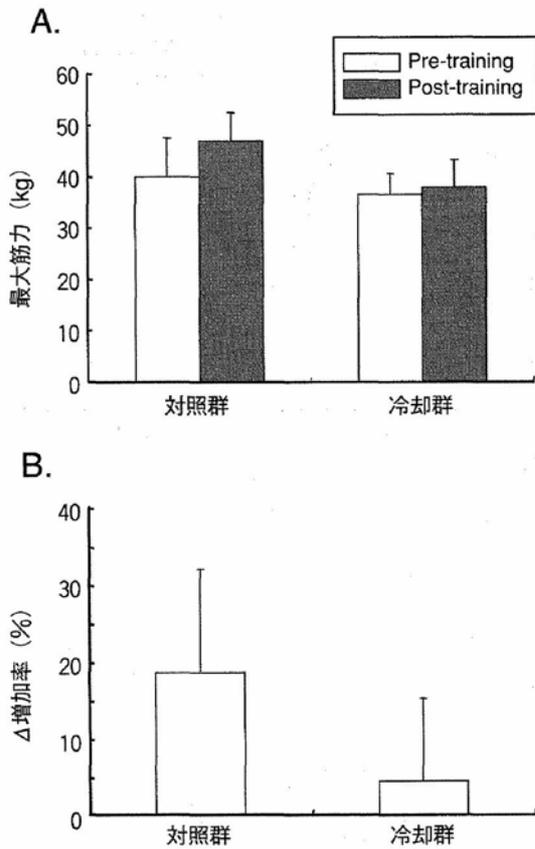


図5 A:トレーニング前後の最大筋力の変化
B:トレーニング後の最大筋力の増加率

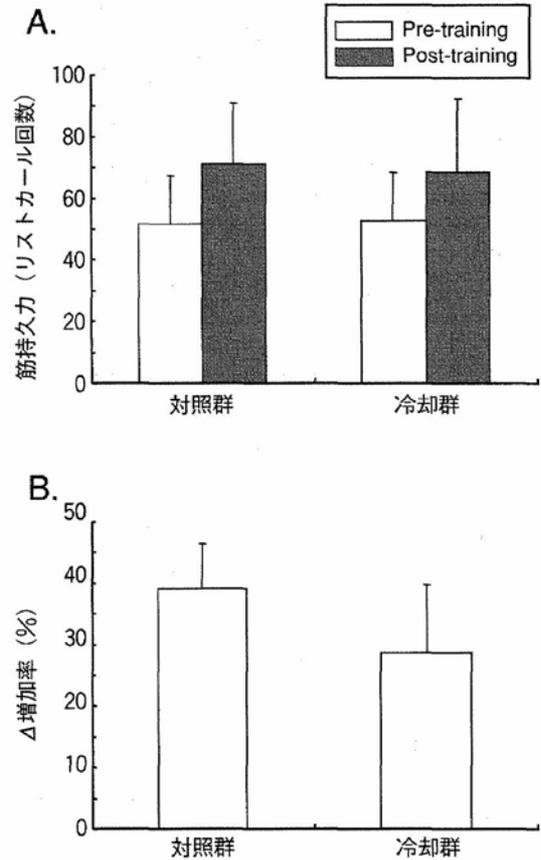


図6 A:トレーニング前後の筋持久力の変化.B:トレーニング後の筋持久力の増加率

る。したがって、本研究では、明らかな損傷のない部位への冷却の影響について検討したといえる。

トレーニングにより、対照群では上腕動脈血管径が増大し、これは筋への血流増加に伴う酸素や栄養素の運搬能の向上により、持久能の改善に貢献し得ると考えられた。しかし、冷却群ではこの変化が認められず、冷却が筋血管の適応に抑制的な影響を及ぼしたと考えられる。これは、従来の我々の知見^{3,4,5)}と一致する。一方、本研究では筋厚や周径囲も増加し、本研究で用いた条件によるリストカール運動で、筋の肥大が生じていると考えられた。しかし、冷却群ではこれらの変化が小さく、トレーニングの期間にわたり運動後の冷却を併用すると、筋細胞の肥大に関わるトレーニング効果についても減衰する可能性が示唆された。本研究で測定した最大筋力および筋持久力も、統計的に有意ではないものの、筋厚、周径囲や上腕

動脈血管径と類似した変化を示し、機能的にもその影響が反映されているものと考えられた。各種のスポーツで、最近では、身体トレーニングを行う競技者がアイシングとして冷却を利用しているが、本研究で認められた現象が、スポーツ現場のトレーニングで冷却を併用した際に生じているとすれば、意図したトレーニング効果が十分に得られていない可能性もある。損傷を受けた組織にRICE処置として、冷却を行う意義は明らかである^{6,7,8,9)}が、傷害のない部位を運動後に冷やして予め傷害を防止しようとする試みや、主観的な清涼感を得てリフレッシュする用途に、同様の意義のみを期待して冷やすことは、必ずしも有益ではないことが示唆される。

本研究の結果からは、冷却が筋の適応性変化を小さくしたことについて明確な説明を加えることはできない。運動時には活動筋の代謝量は急増し、

温度も上昇する。高温暴露によって細胞には Heat shock protein (HSP) が産生されることが知られているが、このHSPは運動でも生ずる^{10, 11)}。HSPは筋肥大などの適応に重要な役割を果たすといわれ¹²⁾、機械的ストレスだけでなく、温度上昇がHSPの産生を介し筋肥大に関係することを示唆する報告もある^{13, 14)}。本研究で、運動後に筋を急激に冷却したことは、少なくとも温度刺激を減少させたことになり、HSPを介する適応過程に何らかの影響を及ぼした可能性はある。また、機械的刺激により、明らかな損傷がない場合でも好中球が組織へ進入することが認められている^{15, 16)}。好中球は、各種のサイトカインを産生し、多くの成長因子やサイトカインは筋の適応に関係するといわれる¹⁷⁾。冷却が、白血球集中や炎症反応を抑制する⁹⁾のであれば、これらを介する筋の適応過程に影響を及ぼすかもしれない。

持久的トレーニング^{18, 19)}ばかりでなく、筋力トレーニングでも筋を環流する血管の適応性変化が生ずるといわれる²⁰⁾。これには、血流の増大により血管壁に対する機械的刺激 (shear stress) が増えることが関係するが、組織の低酸素^{21, 22)}などによっても、血管増殖因子やサイトカインの上昇が認められ、血管新生が生じるといわれる。筋の微細損傷に伴う炎症過程や機械的刺激により進入した好中球^{15, 16)}で産生される成長因子やサイトカインも血管の適応に関係する可能性がある。IL-6の増加はVEGFの増加をひきおこし²³⁾、血管新生に関連するともいわれる。冷却が炎症反応や白血球の集中を抑制してそれらの過程に影響を及ぼした可能性はある。しかし、本研究では、IL-6やVEGFの増加を観察することができず、それらの影響について証拠を示すことはできなかった。これには、活動筋量が少ないことや、運動強度が中等度であることなども関係しているかもしれない。

競技者が実施する身体トレーニングは、本研究

に比べ長時間にわたるなど、条件はかなり異なり、実際のトレーニングにアイシングを併用している競技者に、このような減衰効果が生じているか否かは不明である。また、鍛錬度によっても影響が異なるかもしれない。冷却の温度や時間により異なる可能性もある。スポーツ現場での冷却手段(氷、アイスパックなど)、温度や適用時間は多様である。本研究で用いた冷却条件は、治療的処置として有効な範囲であると考えられるが、明らかな損傷がなく、傷害の予防や単なる疲労回復やリフレッシュを目的とする場合に適切であるか否かは不明である。むしろ、冷却の程度を緩和すると、本研究で認めたような筋の適応性変化の減衰を起さず、時間的経済的な負担も軽減できて有益であるとも考えられる。損傷を受けた組織にRICE処置として、冷却を行う意義に疑いはないが、本研究の結果は、損傷がない組織への冷却を、それと同様の意義だけで適用するのではなく、筋の適応に対する冷却の影響を考慮する必要があることを示唆した。スポーツ活動時の身体の調整に冷却を効果的に用いるためにも、今後、実際のトレーニングに近い条件でも検討するとともに、そのメカニズムや適切な冷却条件について明らかにするなど、今後更に追究していく必要があると考えられた。

4. まとめ

10名の健康な男子大学生に、6週間の前腕屈筋群の筋力トレーニングを行わせ、20分間、10±1℃の冷水浸漬の有無によるトレーニング効果の差異を検討した。トレーニングにより形態的変化やパフォーマンスの向上が認められたが、冷却を行った群では筋厚、前腕最大周径囲および上腕動脈血管径の変化が小さく、最大筋力および筋持久力の増加も小さい傾向にあり、筋力トレーニングに伴う筋の適応には、機械的な刺激以外に組織の温度上昇やそれに伴う諸要因も関与する可能性が

考えられた。また、RICE処置として損傷部位を冷却することが有益であることは明確であるが、傷害の予防や疲労回復のために損傷がない組織を冷却することには、RICE処置の冷却と同様の意義のほかに、トレーニング効果が減衰する可能性を考慮する必要があることが示された。スポーツ活動に際し身体の調整に冷却を効果的に用いるためにも、今後更に検討を要する。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、研究助成を賜っ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、被験者として実験に協力頂いた愛知みずほ大学の学生の皆様に深く感謝致します。

文 献

- 1) Verducci F.M.: Interval cryotherapy and fatigue in university baseball pitchers. *Res Quart Exercise Sports* 72, 280-287 (2001)
- 2) Fu F.H., Cen H-W., Eston R.G.: The effects of cryotherapy on muscle damage in rats subjected to endurance training. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 7, 358-362 (1997)
- 3) 山根 基, 大西範和, 小坂光男: 持久的トレーニング後に行う活動筋冷却の影響. *体力科学* 53, 519-526 (2004)
- 4) Ohnishi N., Yamane M., Uchiyama N., Shirasawa S., Kosaka M., Shiono H., Okada T.: Adaptive changes in muscular performance and circulation by resistance training with regular cold application. *J. Therm. Biol.* 29, 839-843 (2004)
- 5) Yamane M., Teruya H., Ohnishi N., Kosaka M.: Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation (投稿中)
- 6) Ryan A.J.: Technological advances in sports medicine and in the reduction of sports injuries. *Exerc Sport Sci. Rev.* 1, 285-312 (1973)
- 7) Noonan T.J., Garret jr W.E.: Injuries at the myotendinous junction. *Clin. Sports Med.* 11, 783-806 (1992)
- 8) Lynch S.A., Renstrom P.A.: Treatment of acute lateral ankle ligament rupture in the athlete. Conservative versus surgical treatment. *Sports Med.* 27, 61-71 (1999)
- 9) Thorlacius H., Vollmar B., Westermann S., Torkvist L., Menger M.D.: Effects of local cooling on microvascular hemodynamics and leukocyte adhesion in the striated muscle of hamsters. *J. Trauma* 45, 715-719 (1998)
- 10) Liu Y., Mayr S., Opitz-Gress A., Zeller C., Lormes W., Baur S., Lehmann M., Steinacker J.M.: Human skeletal muscle Hsp70 response to training in highly trained rowers. *J. Appl. Physiol.* 86, 101-104 (1999)
- 11) Liu Y., Steinacker J.M.: Changes in skeletal muscle heat shock proteins: pathological significance. *Front Biosci.* 6, D12-D25 (2001)
- 12) Thompson H.S., Maynard E.B., Morales E.R., Scordilis S.P.: Exercise-induced HSP27, HSP70 and MAPK responses in human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.*, 178, 61-72 (2003)
- 13) Goto K., Okuyama R., Sugiyama H., Honda M., Kobayashi T., Uehara K., Akema T., Sugiura T., Yamada S., Ohira Y., Yoshioka T.: Effects of heat stress and mechanical stretch on protein expression in cultured skeletal muscle cells. *Pflugers Arch* 447, 247-253 (2003)
- 14) Goto K., Honda M., Kobayashi T., Uehara K., Kojima A., Akema T., Sugiura T., Yamada S., Ohira Y., Yoshioka T.: Heat stress facilitates the recovery of atrophied soleus muscle in rat. *J. J. Physiol.*, 54, 285-293 (2004)
- 15) McLoughlin T.J., Mylona E., Hornberger T.A., Esser K.A., Pizza F.X.: Inflammatory cells in rat skeletal muscle are elevated after electrically stimulated contractions. *J. Appl. Physiol.* 94, 876-882 (2003)
- 16) Pizza F.X., Koh T.J., McGregor S.J., Brooks S.V.: Muscle inflammatory cells after passive stretches, isometric contractions, and lengthening contractions. *J. Appl. Physiol.* 92, 1873-1878 (2002)
- 17) Chargé S.B., Rudnicki M.A.: Cellular and molecular regulation of muscle regeneration. *Physiol. Rev.* 84, 209-238 (2004)
- 18) Miyachi M., Tanaka H., Yamamoto K., Yoshioka A., Takahashi K., Onodera S.: Effects of one-legged

- endurance training on femoral arterial and venous size in healthy humans. *J. Appl. Physiol.* 90, 2439-2444 (2001)
- 19) Haas T.L.: Molecular control of capillary growth in skeletal muscle. *Canad. J. Appl. Physiol.* 27, 491-515 (2002)
- 20) Franke W.D., Stephens G.M., Schmid P.G. III: Effects of intense exercise training on endothelium-dependent exercise-induced vasodilatation. *Clin. Physiol.* 18, 521-528 (1998)
- 21) Clanton T.L., Klawitter P.F.: Physiological and genomic consequences of intermittent hypoxia. Invited Review: Adaptive responses of skeletal muscle to intermittent hypoxia: the known and unknown. *J. Appl. Physiol.* 90, 2476-2487 (2001)
- 22) Hudlicka O., Milkiewicz M., Cotter M.A., Brown M.D.: Hypoxia and expression of VEGF-A protein in relation to capillary growth in electrically stimulated rat and rabbit skeletal muscles. *Exp. Physiol.* 87, 373-381 (2002)
- 23) Cohen, T., Nahari, D., Cerem, L.W., Neufeld, G., Levi, B.Z.: Interleukin 6 induces the expression of vascular endothelial growth factor. *J. Biol. Chem.*, 271, 736-741 (1996)