

習慣的に行う運動後アイシングの 有効な冷却温度帯に関する研究

愛知みずほ大学 山 根 基
(共同研究者) 朝 日 大 学 加 藤 尊
三重県立看護大学 大 西 範 和

Long-Term Effects of the Regular Post-Exercise Cold Application on Trained Muscle Adaptations Using Different Cooling Temperatures

by

Motoi Yamane

Department of Human Sciences, Aichi Mizuho College

Takeru Kato

School of Health Sciences, Asahi University

Norikazu Ohnishi

Faculty of Nursing, Mie Prefectural College of Nursing

ABSTRACT

Cold application is an established component in the treatment by rest, ice, compression, elevation (RICE) for acute sports injuries. Recently, this has been one of the recovery techniques commonly used by some athletes for post-exercise recovery. However, the regular post-exercise cold application to the uninjured tissue may diminish the improvement in physical performance induced by a long-term training. The long-term effects of regular cold application using different temperatures have not yet been investigated. The aim of this study was to examine the effects of two strategies of regular post-exercise cold application on muscular and vascular adaptations using different temperatures. Subjects include eighteen male and eleven female participated

in resistance training: 5 sets of 8 wrist-flexion exercises at workload of 8 RM (Repetition Maximum), 3 times a week for 6 weeks. They were randomized to one of three groups. Ten subjects (10°C cooled group) and nine subjects (20°C cooled group) applied the cold pack maintained at a constant temperature of around 10°C and 20°C, respectively, over the experimental forearms for 20 min after wrist-flexion exercises. The other served as controls (non-cooled group). Measurements were before and after the training period; maximal muscle strength, wrist-flexor thickness, local muscle endurance, brachial-artery diameter and %FMD (flow-mediated dilation) were measured in the upper extremities. Maximal muscle strength of the experimental arms significantly increased after training in the non-cooled group ($p < 0.01$) and the 20°C cooled group ($p < 0.01$), but did not in the 10°C cooled group. Wrist-flexor thicknesses tended to increase slightly after training in all groups, but this was not different between groups. Local muscle endurance, brachial-artery diameter and %FMD did not increase after training in all groups. These results suggest that post-exercise mild cold application to uninjured muscles might attenuate deleterious effects on trained muscle adaptations.

要 旨

スポーツ現場では、アイシングは急性外傷の応急処置などに用いられてきたが、最近では、試合や練習後の疲労回復や故障の予防措置を目的にも行われている。一方、身体トレーニング期間中に毎回運動後に活動筋を冷却することで、筋の適応が抑制されることが報告されている。しかしながら、このトレーニング効果の抑制が生じる冷却温度は不明である。そこで本研究では、筋力トレーニングを継続中、毎回運動後に活動筋を冷却する際、適用した冷却温度帯の違いが、トレーニングに伴う筋および血管の適応に及ぼす影響について検討することを目的とした。健康な大学生（男性18名、女性11名）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前腕前部を10°C温度帯の定温剤で20分間冷却した被験者10名を10°C冷却群、

20°C温度帯の定温剤で20分間冷却した被験者9名を20°C冷却群、残りを冷却を行わない非冷却群としてトレーニング効果を比較した。トレーニングにより最大筋力は、20°C冷却群では非冷却群と同様に有意な増加を示したが、10°C冷却群では増加しなかった。一方、筋肥大に対する運動後冷却の影響はみられず、すべての群において筋持久力の向上および血管機能の改善は観察できなかった。これらの結果は、冷却温度を緩和することで、運動後冷却によるトレーニング効果の抑制が生じなくなる可能性を示唆した。冷却温度の緩和により、トレーニング効果の減弱を招かず、その他の生理・心理的メリットが得られるのであれば、アスリートにとってアイシング利用の有益な情報となり得る。

緒 言

スポーツ現場において、アイシングは外傷に対する応急処置（RICE処置）の一部として多用さ

れている。その科学的根拠は、受傷後すぐに患部を冷却することにより、代謝の低下、血流の減少、血管壁の透過性低下が生じ、腫脹や炎症反応が抑制されることで二次的な損傷を防ぐことである^{1, 2)}。さらに、明らかな損傷がない場合においても、アイシングは、高強度の運動後に生じる遅発性筋肉痛を軽減させるために有用な手段として運動後に実施されている。この効果は多くの先行研究で報告されているが^{3, 4, 5)}、その生理学的メカニズムについては明らかにされておらず、今後さらに検討を要する。最近では、アイシングの用途はさらに多様化し、運動後の疲労回復や心理的なリフレッシュなどの目的にも用いられている。また、競技会などで一日に競技や試技を繰り返す場合、その合間にアイシングを行ってパフォーマンス低下を防止する試みもなされている。このようにアイシングを行う機会は増え、習慣的に行う人も多くなっている。このような治療以外を目的としたアイシングが、身体に及ぼす影響について明らかにすることは、スポーツの現場におけるアイシング実施の可否や方法の決定のために重要であり、特に長期間習慣的に用いることで累積的な影響がある可能性もあり、検討の必要がある。

近年、運動後冷却の長期的な適用の影響を検討した研究があり、筋力トレーニング期間中に、運動後に毎回活動筋を冷却すると、冷却しなかった群に比べてトレーニング後の筋肥大や筋力増加を抑制したことが報告されている^{6, 7, 8)}。また、運動後冷却が筋力トレーニングに伴う筋持久力向上や動脈血管径の増大を減弱させる可能性についても示唆されている^{8, 9)}。

運動後冷却がトレーニング効果を減弱させるメカニズムについては明確でないが、運動後冷却が筋肥大を引き起こす要因であるサテライト細胞や細胞内シグナル伝達系の活性を抑制することが報告されており⁷⁾、冷却による筋温低下が筋の適応に関わる分子レベル反応に影響を及ぼす可能性が

ある。特に温度依存性に反応速度を変化させる酵素反応が冷却の影響を受け、筋の適応を弱める可能性が考えられる。しかしながら、これらの影響がどの程度筋組織を冷却することで生じるかは不明である。冷却の適用温度を緩和し、組織の温度低下を小さくすることで、トレーニング効果の減弱を招かずに、その他の生理・心理的メリットを享受できる可能性も考えられ、このことはスポーツ現場でより効果的で負担の少ないアイシング活用方法を提案することに繋がる可能性がある。

そこで本研究では、筋力トレーニングを継続中、毎回運動後に活動筋を冷却する場合において、適用した冷却温度帯の違いが、筋力トレーニングに伴う最大筋力の増加、筋肥大、筋持久力の向上および上腕動脈の血管機能の改善に及ぼす影響について検討することを目的とした。

1. 研究方法

1. 1 被験者

被験者は、健康な男子大学生 18 名、女子大学生 11 名の計 29 名であった。被験者の平均年齢は男性 21.1 ± 1.8 歳 (平均値 \pm 標準偏差)、女性 21.6 ± 0.5 歳、身長は男性 168.5 ± 4.7 cm、女性 158.8 ± 2.4 cm、体重は男性 65.2 ± 9.1 kg、女性 51.2 ± 5.6 kg であった。性別毎に被験者を 3 つの群に無作為に割り付けた。各被験者の自己申告によると利き腕は右 25 名、左 4 名であった。実験は、あらかじめ被験者に対し十分に趣旨および内容などを説明し、文書による承諾を得た上で実施した。本研究は三重県立看護大学研究倫理審査会の承認を得て行った。

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、市販のウェイトトレーニング用のダンベルを使用し、非利き腕 (運動側) で実施した。被験者は、床に膝

をついた姿勢で、高さ 180mm の台の上に運動側の前腕を完全回外位で置き、固定した。手は台から前方に突き出し、手関節を最大伸展させ、近位指節関節を 90° 屈曲させた状態で掌を開き、遠位指節関節と近位指節関節の間でダンベルを支持した。その状態からダンベルを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。リストカール運動は、1秒間で手関節を最大伸展位から最大屈曲位まで屈曲し、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 とした。これは最大筋力のおよそ 65% の重さを目安とし、ダンベルの重りを調整しながら 8 回のリストカール運動が最大で実施できる重さを決定した。なお、3～5 セットの挙上で負荷を調節するように指示した。決定した 8RM のダンベル負荷は、男性 13.4±2.7kg、女性 6.5±1.5kg であった。リストカール運動は 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 10 名（男性 6 名、女性 4 名）は、毎回トレーニング終了直後に、運動側上肢の前腕の前面部位を 10℃ 帯に設定された定温剤を用いて 20 分間冷却した（10℃ 冷却群）。その他 9 名（男性 6 名、女性 3 名）は、毎回トレーニング終了直後に、運動側上肢の前腕の前面部位を 20℃ 帯に設定された定温剤を用いて 20 分間冷却した（20℃ 冷却群）。残りの 10 名（男性 6 名、女性 4 名）は、冷却を行わず 20 分間安静を維持した（非冷却群）。なお、前腕部冷却中に定温剤の上から断熱材の役割を果たす発泡スチロールを覆い、定温剤の温度上昇をできる限り防いだ。本研究で使用した定温剤は、三重化学工業株式会社に特注した製品であり、ある一定の温度帯を維持しながら冷却することが可能である。定温剤の大きさは、10℃ 帯が縦 150mm、横 110mm、厚さ約 12mm、20℃ 帯が縦 150mm、横 110mm、厚さ約 15mm であった。

あらかじめ 3 名の被験者において定温剤の温度帯確認実験を実施した。被験者は 30 分間室温

25±1℃、相対湿度 50% の人工気候室内に椅座位安静で待機し、その後一方の上肢の前腕前面部位に 10℃ 帯の定温剤を、もう一方の上肢の前腕前面部位に 20℃ 帯の定温剤を密着させ、両定温剤の上に断熱材の発泡スチロールを覆い、20 分間冷却した。その間に定温剤下の前腕前面部位 3 箇所（中央：定温剤の中心、遠位：中央から 4 cm 遠位側、近位：中央から 4 cm 近位側）にサーミスタ温度計（センサテクニカ社製）を貼り付け、皮膚温を連続的に測定した。

筋力トレーニングおよび冷却は各被験者の自宅で実施したため、被験者は毎回トレーニングあるいは冷却後に記録用紙にトレーニング実施および筋肉痛の有無について記入した。

筋力トレーニングの効果およ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、前腕屈筋群の筋厚、前腕最大周囲長、安静時上腕動脈血管径および血管内皮機能の指標である上腕動脈の血流依存性血管拡張反応（flow-mediated dilation:FMD）を測定した。

1. 3 測定項目

最大筋力は、電子筋力計（KE-D300、ヤガミ社製）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、自作したリストカールエルゴメータを用い実施した。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、手指の遠位指節関節と近位指節関節の間でハンドルを支持した状態から、握りながら手関節を屈曲する運動を行った。リストカール運動中、肘関節角度は 90° に保ち、前腕が水平となるように手関節およ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て、手関節角度 40° 伸展位から、1秒で 60° 屈曲位まで屈曲し、そ

の後1秒かけて元の位置へ戻した。運動強度はトレーニング前後にそれぞれ測定した最大筋力の約35%とし、相対負荷法で実施した。筋持久力の判定は、リストカール運動中にテンポが2秒に1回より遅くなった時点までの回数とした。ただし、テンポが遅れた直後再度2秒に1回のテンポに戻った場合は測定を継続させた。前腕屈筋群の筋厚は、超音波画像診断装置（SonoSite Edge, 株式会社富士フィルムソノサイト・ジャパン社製）を用いて測定した。被験者は、椅座位の姿勢をとり、前腕を完全回外位で測定台の上に置いた。前腕最大周囲長の部位にプローブを置き、プローブを皮膚に押し付けながらBモード画像で被験筋群の形状を捉え、徐々にプローブの皮膚に対する圧力を弱め、プローブが皮膚から離れる直前の解析画像を用いて最大深度を測定した。トレーニング前後で同一部位の筋厚を測定可能にするため、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前後で同一座標点に計測ポイントを合わせた。前腕最大周囲長は、橈側手根屈筋の最大筋腹位を巻尺で測定した。FMD測定は、検査前の空腹測定を原則としているため、被験者に対して測定4時間以内の水以外の飲食、喫煙および活発な身体活動を避けて指定の時間に測定室に到着するよう指示した。被験者は測定室に到着後20分以上の安静を保った後測定を行った。測定にはFMD検査装置（UNEXEF 18VG, 株式会社ユネクス）を用いた。被験者は仰臥位で肩関節80°外転位の姿勢を保持し、10Mhzのリニア型プローブを用いて肘関節より5cm近位側の上腕動脈を長軸方向に描出し、安静時の上腕動脈血管径を測定した。プローブの角度および位置を固定しながら、5分間前腕部に巻いたマンシェットの圧を250mmHgに高め駆血し、その後、急激に圧を開放して反応性充血を引き起こさせ、最大血管径を測定した。この拡張率が%FMDであり、その算出は、(最大血管径-安静時血管径)/安静

時血管径×100(%)の式で求めた。各測定項目は、それぞれ同一の検者が毎回測定を担当した。

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Bonferroniの多重比較を行った。なお、危険率5%未満を有意とした。

2. 研究結果

トレーニング実験前に実施した定温剤の温度帯確認実験において、10℃温度帯の定温剤使用時における前腕部皮膚温の20分間平均は、中央部で10.76±1.17℃、近位部で9.83±0.90℃、遠位部で9.92±0.58℃、20℃温度帯の定温剤使用時における前腕部皮膚温の20分間平均は、中央部で19.07±1.88℃、近位部で19.05±1.66℃、遠位部で18.74±1.48℃であった(図1)。

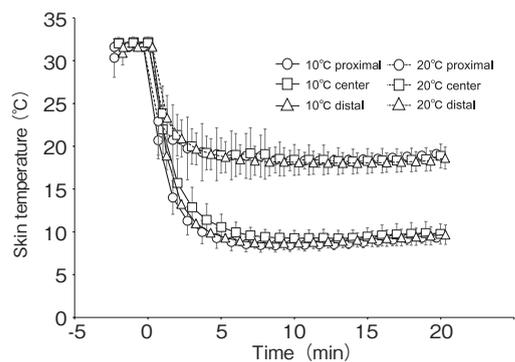


図1 定温剤の温度帯確認実験中の皮膚温の変化

トレーニング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。

最大筋力のトレーニングに伴う変化については、時間の主効果があり(p<0.01)、条件×時間における交互作用が認められた(p<0.05)。非冷却群および20℃冷却群の増加率は、それぞれ22.1±19.0%、22.8±21.5%であり、有意な増加を

示したが ($p<0.01$, $p<0.01$), 10℃冷却群の増加率は $3.7 \pm 12.4\%$ で増加しなかった (図2). 前腕

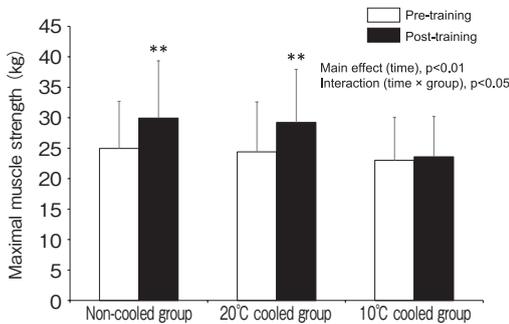


図2 トレーニング前後の最大筋力の変化
主効果あり (時間) : $p<0.01$, 交互作用あり (群 × 時間) : $p<0.05$, ** $p<0.01$ vs トレーニング前

屈筋群の筋厚のトレーニングに伴う変化については, 時間の主効果が認められ ($p<0.05$), 増加率は非冷却群で $3.5 \pm 6.7\%$, 20℃冷却群で $1.4 \pm 5.3\%$, 10℃冷却群で $2.1 \pm 3.6\%$ であったが, 交互作用は認められなかった (図3). 前腕最大周囲長のト

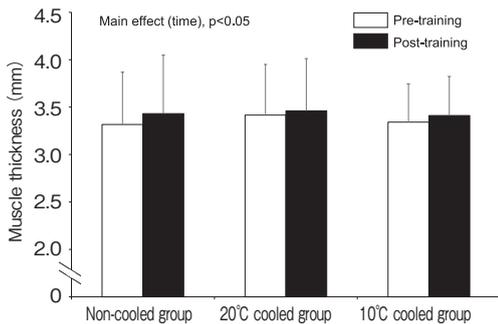


図3 トレーニング前後の筋厚の変化
主効果あり (時間) : $p<0.05$

レーニングに伴う変化については, 時間の主効果が認められ ($p<0.05$), 増加率は非冷却群で $1.2 \pm 1.8\%$, 20℃冷却群で $1.7 \pm 2.2\%$, 10℃冷却群で $0.5 \pm 2.9\%$ であったが, 交互作用は認められなかった (図4). 筋持久力, 安静時上腕動脈血管径および %FMD については, 時間の主効果および条件 × 時間における交互作用を示さなかった (図5, 6, 7).

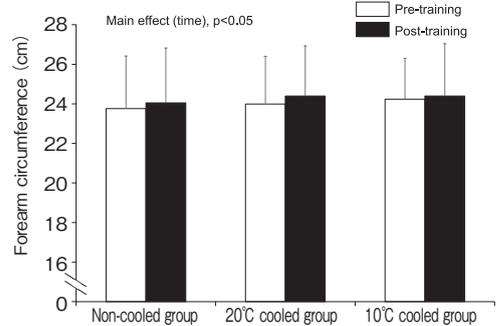


図4 トレーニング前後の前腕最大周囲長の変化
主効果あり (時間) : $p<0.05$

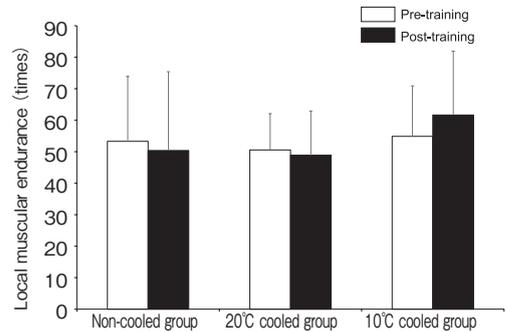


図5 トレーニング前後の筋持久力の変化

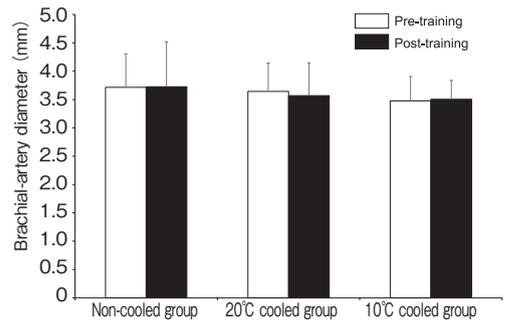


図6 トレーニング前後の安静時上腕動脈血管径の変化

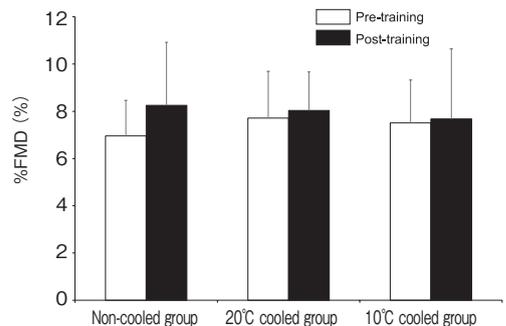


図7 トレーニング前後の %FMD の変化

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いなかった。このことから、本研究では運動後に明らかな傷害を生じておらず、RICE処置が必要な状態ではなかったと考えられる。

トレーニングにより、非冷却群および20℃冷却群では最大筋力が増加したが、10℃冷却群では変化がみられなかった。我々の以前の研究においても、本研究と同様に上肢を用いた筋力トレーニングを6週間行い、運動後に毎回上肢を10℃の冷水に20分間浸すことにより、トレーニングに伴う最大筋力の増加が減弱されたことを報告している⁸⁾。またFröhlich, et al.⁶⁾は、運動鍛錬者を被験者として下肢における筋力トレーニングを5週間行い、運動後に毎回下肢を12℃の冷水に4分間3回浸した結果、冷却しなかった群に比べてトレーニング後の筋力増加率が小さくなったこと、Roberts, et al.⁷⁾は、日常定期的に運動を行っている被験者に対して下肢における筋力トレーニングを12週間行い、運動後に毎回下肢を10℃の冷水に10分間浸した結果、トレーニングに伴う筋力増加が抑制されたことを報告しており、これらは本研究における10℃冷却群の最大筋力増加が抑制された結果と一致した見解を示している。最大筋力の増加は、活動参加する運動単位の数や発火頻度の増加や同化に関する神経興奮性の改善、あるいは筋の形態学的変化である筋肥大によって生じる。先行研究では、運動後冷却がトレーニングに伴う筋肥大を減弱させることを観察しており、このことが最大筋力に影響を及ぼした原因であると推察している^{7,8)}。トレーニングの適応に関わる多くの遺伝子発現は運動中には抑制されており、運動終了後の回復期に最も促進される¹⁰⁾。この適応過程において種々の酵素が重要な

役割を果たしており、運動後冷却による筋温低下がこれらの酵素反応を弱め、トレーニングによる筋の適応を小さくする可能性が考えられる^{7,11)}。しかしながら、本研究では前腕屈筋群の筋厚および前腕最大周囲長はトレーニングに伴いわずかに増加したが、筋肥大に対する運動後冷却の影響はみられなかった。本研究では、我々の以前の研究に対して、トレーニングによる筋厚の増加度が小さく、このことが筋肥大への冷却の影響を観察できなかった原因であったかもしれない。本研究では、神経性の適応に対して運動後冷却が何らかの影響を及ぼした可能性も考えられるが、その詳細は不明である。本研究では、10℃冷却群ではトレーニングに伴う最大筋力増加が抑制されたが、20℃冷却群では非冷却群と同程度の最大筋力増加が生じた。このことは冷却温度を緩和することで、運動後冷却によるトレーニング効果の抑制が生じなくなる可能性を示した。冷却の適用によって直ちにみられる反応は、組織温度の低下である。生体で起こる化学反応は、酵素の作用によって触媒され、酵素の働きは温度に対して敏感で、温度の上昇とともに活性が高まる。したがって、冷却による組織温度低下の程度が大きくなればなるほど、トレーニングの適応反応に対する抑制効果が大きくなると考えられる。下肢を水温10℃の冷水に20分間浸水させると腓腹筋の温度（温度センサ挿入深度2.5cm）が約10℃低下したこと¹²⁾、20分間のアイスパック適用により腓腹筋の温度（温度センサ挿入深度2.3cm）が約5℃低下したこと¹³⁾が報告されている。本研究の冷却においても筋組織の熱が皮膚表面から皮膚に接した定温剤へ伝導することで、筋温が低下していたと考えられるが、冷却部位を浸水させる方法と同程度の筋温低下が生じていたかは不明である。本研究では、事前に冷却に使用した定温剤の温度確認実験を行い、20℃温度帯の定温剤適用時の皮膚温は10℃温度帯の定温剤適用時に比べて約10℃高い傾向

を示した。接している物体間の熱移動は物体間の温度差が大きいほど速く伝導することから、本研究で用いた20℃温度帯による定温剤の冷却では、10℃温度帯による定温剤使用時に比べて組織温度の低下が緩和されていた可能性があり、このことが最大筋力増加の抑制を生じさせなかった原因であったかもしれない。しかしながら、本研究では筋温などの深部組織温を測定しておらず、深部組織における温度の違いが及ぼす影響について明確にすることはできなかった。

本研究では、トレーニングにより筋持久力の向上および上腕動脈の血管機能の改善を観察できず、それらに対する運動後冷却の影響について検討することができなかった。先行研究では、筋力トレーニングに伴う筋持久力の向上および安静時動脈血管径の増大を抑制することが報告されている^{8,9)}。筋持久力は筋への酸素供給能、筋の酸素利用能および神経性の要因によって決定されており、特に酸素供給能は重要であり、主に筋血流量の増加が関与している。筋力トレーニングにおいても運動に伴う血流量の増加は、血管内皮細胞に対するずり応力 (shear stress) を生じさせ、筋を環流する血管の適応を引き起こすことが報告されている¹⁴⁾。冷却によって運動後に血流減少が生じ¹⁵⁾、血管内皮細胞に対する shear stress が減弱することでトレーニングに伴う血管の適応を抑制し、筋持久力の向上を弱める可能性も考えられる。本研究では、筋持久力の向上および上腕動脈の血管機能の改善を示さなかった。筋力トレーニングは、血管機能を改善させるという報告がある一方^{16,17)}、変化させないという報告もあり^{18,19)}、筋力トレーニングにおける血管機能の改善には、多様な要因、例えば対象者、運動様式、運動強度、継続期間などが影響すると考えられている。本研究において用いた筋力トレーニングの内容 (運動様式、運動強度・量、継続期間など) は、筋持久力の向上および上腕動脈の血管機能の改善を引き

起すには不十分であった可能性が考えられ、今後さらに検討を要する。

4. まとめ

健康な大学生 (男性18名、女性11名) に、6週間の前腕屈筋群の筋力トレーニングを行わせ、毎回トレーニング終了後に実施した10℃と20℃の異なる温度帯の活動筋冷却がトレーニングによる適応に及ぼす影響について検討した。トレーニングにより最大筋力は、20℃冷却群では非冷却群と同様に増加を示したが、10℃冷却群では増加しなかった。一方、すべての群においてトレーニングに伴う筋肥大は小さく、筋持久力の向上および上腕動脈の血管機能改善はみられなかったため、これらに対する運動後冷却の影響について観察することができなかった。本研究の結果は、冷却温度を緩和することで、運動後冷却によるトレーニング効果の抑制が生じなくなる可能性を示唆した。しかしながら、明確でない点があり、今後はトレーニングおよび冷却条件を変更してさらに検討を要する。冷却温度の緩和により、トレーニング効果の減弱を招かず、その他の生理・心理的メリットを得られるのであれば、競技能力向上を目指してトレーニングを実施しているアスリートにとって、トレーニング期間中に行うアイシング利用に関する有益な情報となり得る。また、時間的・経済的な負担も少ないアイシング実施方法の検討に繋がると考えられる。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、研究助成を賜っ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厚く御礼申し上げます。また、被験者および実験・分析に協力頂いた三重県立看護大学および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) Stewart G.J., Ritchie W.G.H., Lynch P.R.: Venous endothelial damage produced by massive sticking and emigration of leukocytes, *Am. J. Pathol.*, **74**: 507-532(1974)
- 2) Knight K.L.: Cryotherapy in sports Injury Management. Champaign, IL: *Human Kinetics*; 3-98 (1995)
- 3) Yanagisawa O., Niitsu M., Takahashi H., Goto K., Itai Y.: Evaluation of cooling exercised muscle with MR imaging and ³¹P MR spectroscopy, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **35**: 1517-1523 (2003)
- 4) Bailey D.M., Erith S.J., Griffin P.J., Dowson A., Brewer D.S., Grant N., Williams C.: Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running, *J. Sports Sci.*, **25**: 1163-1170 (2007)
- 5) Vaile J., Halson S., Gill N., Dawson B.: Effect of hydrotherapy on the signs and symptoms of delayed onset muscle soreness, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **102**: 447-455 (2008)
- 6) Fröhlich M., Faude O., Klein M., Pieter A., Emrich E., Meyer T.: Strength training adaptations after cold-water immersion, *J. Strength Cond. Res.*, **28**: 2628-2633 (2014)
- 7) Roberts L.A., Raastad T., Markworth J.F., Figueiredo V.C., Egner I.M., Shield A., Cameron-Smith D., Coombes J.S., Peake J.M.: Post-exercise cold water immersion attenuates acute anabolic signalling and long-term adaptations in muscle to strength training, *J. Physiol.*, **593**: 4285-4301 (2015)
- 8) Yamane M., Ohnishi N., Matsumoto T.: Does regular post-exercise cold application attenuate trained muscle adaptation? *Int. J. Sports Med.*, **36**: 647-653 (2015)
- 9) Yamane M., Teruya H., Nakano M., Ogai R., 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, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **96**: 572-580(2006)
- 10) Cameron-Smith D.: Exercise and skeletal muscle gene expression, *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.*, **29**: 209-213(2002)
- 11) Figueiredo V.C., Roberts L.A., Markworth J.F., Barnett M.P., Coombes J.S., Raastad T., Peake J.M., Cameron-Smith D.: Impact of resistance exercise on ribosome biogenesis is acutely regulated by post-exercise recovery strategies, *Physiol. Rep.*, **4**: e12670 (2016)
- 12) Johnson D.J., Moore S., Moore J., Oliver R.A.: Effect of cold submersion on intramuscular temperature of the gastrocnemius muscle, *Phys. Ther.*, **59**: 1238-1242(1979)
- 13) Hartviksen K.: Ice therapy in spasticity, *Acta. Neurol. Scand.*, **38**: 79-84(1962)
- 14) Franke W.D., Stephens G.M., Schmid P.G.3.: Effects of intense exercise training on endothelium-dependent exercise-induced vasodilatation, *Clin. Physiol.*, **18**: 521-528(1998)
- 15) Ihsan M., Watson G., Lipski M., Abbiss C.R.: Influence of postexercise cooling on muscle oxygenation and blood volume changes, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **45**: 876-882(2013)
- 16) Sinoway L.I., Shenberger J., Wilson J., McLaughlin D., Musch T., Zelis R.: A 30-day forearm work protocol increases maximal forearm blood flow, *J. Appl. Physiol.*, **62**: 1063-1067(1987)
- 17) Dobrosielski D.A., Greenway F.L., Welsh D.A., Jazwinski S.M., Welsch M.A.: Modification of vascular function after handgrip exercise training in 73- to 90-yr-old men, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **41**: 1429-1435(2009)
- 18) Rakobowchuk M., McGowan C.L., de Groot P.C., Bruinsma D., Hartman J.W., Phillips S.M., MacDonald M.J.: Effect of whole body resistance training on arterial compliance in young men, *Exp. Physiol.*, **90**: 645-651(2005)
- 19) McGowan C.L., Levy A.S., McCartney N., MacDonald M.J.: Isometric handgrip training does not improve flow-mediated dilation in subjects with normal blood pressure, *Clin. Sci.*, **112**: 403-409 (2007)