

運動後の冷却が筋力トレーニングの効果に及ぼす影響

照屋 博康・山根 基*・色摩 正雄**・大西 範和***

履正社学園コミュニティ・スポーツ専門学校

*中京大学生命システム工学部身体システム工学科

**愛知みずほ大学人間科学部人間科学科

***愛知みずほ大学人間科学部人間環境情報学科

Effect of regular post-exercise cooling on muscle adaptation induced by the resistance training

Hiroyasu TERUYA, Motoi YAMANE*, Masao SHIKAMA**

and Norikazu OHNISHI***

Riseisha Gakuen Community Sports School

**System Engineering of Human Body, School of Life system Science and Technology, Chukyo University*

*** Division of Human Sciences, Department of Human Sciences, Aichi Mizuho College*

****Division of Human Environmental Informatics, Department of Human Sciences, Aichi Mizuho College*

The purpose of this study was to investigate the effect of regular post-exercise muscle cooling on muscle adaptation induced by the resistance training at the moderate work load. Seven male and four female subjects were volunteered in the resistance training program for 4 weeks. The subjects underwent three sets of 8-handgrip exercises at a workload could be performed no more than eight times, three times a week. Each subjects immersed the experimental side of forearm in stirred cold water ($10 \pm 1^\circ\text{C}$) for 20 minutes following every training period (the cooling side), while the other side remained without immersion as the control (the control side). Maximal voluntary contraction (MVC) and local muscular endurance of both sides were measured before and after the resistance training program. MVC significantly ($p < 0.05$) increased after the training program in both sides. On the other hand, local muscular endurance failed to increase in the cooling side despite a significant ($p < 0.05$) increase of that in the control side after training program. It is considered that regular post-exercise muscle cooling could attenuate the gain of the local muscular endurance induced by the moderate resistance training. This seems disadvantageous for physical conditioning, in contrast to the beneficial combination of rest, ice, compression and elevation (RICE) in the treatment of macroscopic musculo-tendinous damage.

Key words: icing; cryotherapy; cooling; resistance training; muscle strength; local muscular endurance.

【1】 結論

身体部位を冷却することは、アイシング(icing)またはクライオセラピー(cryotherapy)と呼ばれ、急性期の外傷に対する RICE (Rest, Ice, Compression, Elevation) 処置の重要な要素である^{1,2)}。損傷した部位の組織を冷却することで、血流や毛細血管の透過性⁴⁾を減少させ充血、出血や腫脹を軽減して、二次的な組織の損傷を防止する^{1,2,3,4,5)}。このような冷却処置は、スポーツの現場でも急性外傷に対して用いられてきたが、従来野球の選手が肩を冷やすことが禁忌であったように、傷害のない部位に施されることはあまりなかった。しかし、近年ではプロ野球の投手が投球終了後ベンチで肩をアイシングしている光景を見かけることも多い。これは、ねんざなどの明確な外傷がない場合でも、身体運動で酷使した筋や腱に微細な損傷が生じると想定し、それに伴って起こる炎症反応で周囲の正常な組織を二次的に損なうことを、急性外傷に対する場合と同様の効果に期待して防ごうとするものである^{1,2)}。さらに最近では、熱中症対策、疲労回復やリフレッシュ、障害の予防の為として、必ずしも負荷強度の高くない運動の後でもアイシングを行う習慣を持つ人が増えてきている²⁾。

しかし、このようなアイシングの用法については、生理学的意義や必要性が必ずしも明らかであるとはいえない。運動によって疲労した部位を冷却する事により、疲労感が低下し、パフォーマンスの低下を防止する⁶⁾との報告があるが、急激な運動後に起こる遅発性筋肉痛 (delayed onset muscle soreness; DOMS) に対して、運動直後のアイシングには緩和する効果がない^{7,8)}との報告もある。慢性的に運動後のアイシングを行う影響については、ラットに疲労困憊に至るまでトレッドミル走を行わせるトレーニングを実施し、腓腹筋の電子顕微鏡像を観察すると、運動後に毎回5分間、4°Cの水に漬けた場合のダメージが大きい⁹⁾との報告があるが、ヒトにそのままあてはまるとは考えにくい。一方、山根ら¹⁰⁾は、健康な男性被験者に自転車エルゴメータを用いた持続的トレーニングを週4回、4週間行わせ、期間中毎回のトレーニング直後、決められた同一側下肢を5°Cの冷水に浸す実験を行い、アイシングの習慣的な適用の影響について検討した。その結果、冷却側では有酸素的作業能力の改善度が小さく、習慣的な運動後の冷却が持続的トレーニングの効果を減弱させる可能性を示した。これらのことは、運動後にアイシングを行うと、一時的には感覚的なリフレッシュやパフォーマンスの改善が認められるものの、長期間習慣的にアイシングを併用した場合には、むしろ体力や競技力の向上を妨げる可能性を示唆する。そこで本研究では、スポーツ・アイシングを安全かつ有効に活用するための基礎的な知見を得るために、中等度の負荷強度による両側上肢の筋力トレーニング

を実施し、期間中運動後に決められた一側を毎回冷却して、冷却が最大筋力と筋持久力の変化に抑制的な影響を及ぼすか否かを検討した。

【2】 対象及び方法

1. 対象

本研究では、健康な男子大学生7名(年齢 20.1±0.9歳、身長 168.3±6.6cm、体重 59.1±6.8kg)、女子大学生4名(年齢 21歳、身長 164.5±2.1cm、体重 59.1±6.3kg)を対象に実験を行った。また、被験者には本研究の趣旨、内容や潜在するリスクなどを十分に説明し、書面による承諾を得て実験を行った。

2. 方法

1) 実験スケジュール

被験者は、両側のハンドグリップ運動を筋力トレーニングとして、週3回の頻度で4週間にわたって行い、毎回の運動後、被験者毎に決められた一側上肢を20分間冷却した。トレーニング期間の直前と直後に、最大筋力および筋持久力を測定し、その変化を冷却側と非冷却側(対照側)で比較した。

2) トレーニング方法

トレーニングには、プーリーを介してワイヤーで吊った重量を負荷とするハンドグリップ・エルゴメータ(自作)を用いた。運動強度は8RM(最大8回繰り返すことができる運動強度、repetition maximum)とし、これは、握力計で測定した等尺性最大筋力のおよそ70~80%の強度に相当した。ハンドグリップ運動は8回行い、数分の休憩をはさんで3セット繰り返した。

3) 冷却方法

被験者は、トレーニング終了3分後に一側上肢の肘から手関節までを、10±1°Cの冷水を入れた水槽に20分間浸した。手度は痛みが強いため漬けないようにした。水温の維持には、冷却ユニット(TAITEC、Coolpipe 300L)と恒温ユニット(アズワン株式会社、Thermal Robo TR2)を用い、温度が均一となるようポンプによって攪拌した。また、男子4名、女子2名については利き腕を、残りの被験者については非利き腕を冷却することとし、日常の使用偏重の影響を除くよう工夫した。

4) 測定方法

デジタル電子握力計(ヤガミ、ED-D100N)を用いて最大筋力を測定した。2分間の休憩をはさみ、左右交互に2回ずつ5秒間全力で握るよう指示した。握力計の出力をペンレコーダに記録し、波形から読み取ったピーク値を最大筋力とした。筋持久力については、上述のハ

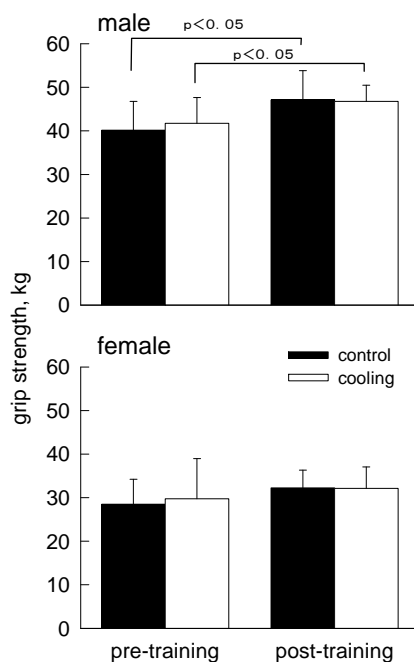


Fig.1 Comparison of grip strength in control side and cooling side before and after the training period.

ンドグリップ・エルゴメータを用い、最大筋力の約30%の負荷強度で、2秒に1回のテンポでハンドグリップ運動を行わせ、テンポに追従出来なくなるまでの回数として評価した。

5) データの処理

トレーニング期間の前後に測定した最大筋力および筋持久力について平均値と標準偏差を求め、その増加の程度を冷却側と対照側で比較した。平均値の差の検定には二元配置分散分析を用い、多重比較にはLSD法を用いた。危険率5%未満を有意とした。

【3】結果

参加した全被験者が、決められた筋力トレーニングを完遂した。いずれの被験者も運動や冷却に伴う異常はなく、遅発性筋肉痛も生じなかった。最大筋力の値は、被験者全体では、トレーニング前に対照側 35.9 ± 8.4 kg、冷却側 37.4 ± 9.1 kg であったものが、トレーニング後には対照側 41.7 ± 9.4 kg、冷却側 41.4 ± 8.3 kg となり、両側とも統計的に有意($p < 0.01$)に増加した。男女別でみた場合、男子被験者では同様に有意($p < 0.05$)な増加が認められた(Fig.1 上段)が、女子被験者では、同様の傾向はあるものの統計的に有意な差ではなかった(Fig.1 下段)。また、男女とも、トレーニング前後の筋力の変化に、冷却の有無による差異は認められなかった(Fig.1, Fig.3 上段)。筋持久力を示すハンドグリップ回数は、全体では、トレーニング前に対照側 44.4 ± 15.1 回、

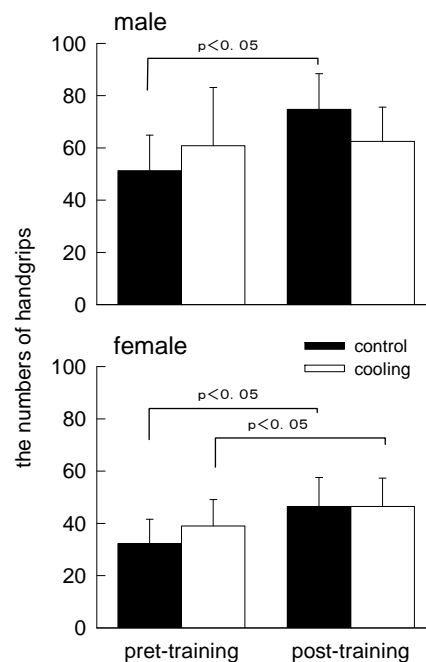


Fig.2 Comparison of local muscular endurance in control side and cooling side before and after the training period.

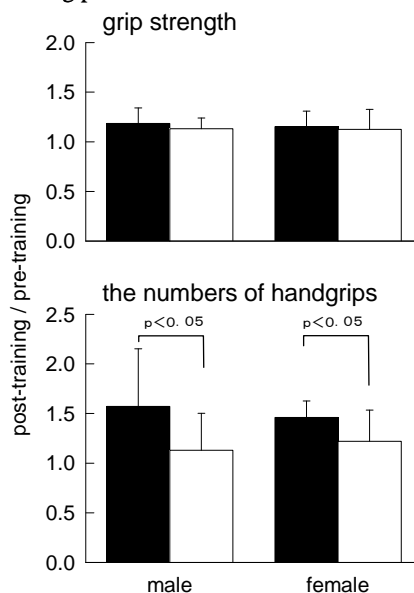


Fig.3 Relative change in hand grip strength and local muscular endurance in control side and cooling side.

冷却側 52.9 ± 21.2 回であったものが、トレーニング後には対照側 64.5 ± 18.7 回、冷却側 56.6 ± 14.2 回となり、トレーニングに伴い対照側では統計的に有意($p < 0.01$)に増加した一方、冷却側では変化しなかった。男女別でみた場合、男子被験者では、同様に対照側のみに統計的に有意($p < 0.05$)な増加が認められた(Fig.2 上段)が、女子被験者では、両側ともトレーニングに伴い統計的に有意($p < 0.05$)に増加した(Fig.2 下段)。増加の程度をトレーニングに伴う変化率(トレーニング後値/トレー

ニング前値)として比較すると、男女とも対照側に比べ冷却側で統計的に有意($p < 0.05$)な低値を示した(Fig.3 下段)。

【4】論議

本研究では、いずれの被験者も運動や冷却に伴う異常はなく、遅発性筋肉痛も生じなかった。また、対照側においてトレーニング後には、男性で最大筋力と筋持久力、女性では筋持久力の値に、統計的に有意な増加が認められた。例数が少ないため明らかとはいえないが、女性の筋力向上に対する効果は男性に比べ小さかった。筋力トレーニングの効果に若干の性差が認められるものの、本実験で用いた筋力トレーニングは、被験者にとって負担が少ない中等度で、なおかつ、トレーニング効果を得るのに十分な負荷強度で行われたものと考えられる。

筋力トレーニングの期間中に行った運動後の習慣的な冷却により、最大筋力の増加は影響を受けなかったが、筋持久力を表すハンドグリップ回数の増加は有意に抑えられた(Fig.2, 3)。これは、山根ら¹⁰⁾が報告した、持久的トレーニングに運動後の習慣的な活動筋の冷却を併用すると、効果が減衰するとの結果と一致し、筋力トレーニングにおいても、運動後に習慣的に冷却を行うことが、局所の筋持久力獲得に抑制的な影響を及ぼす可能性を示した。これらの結果は、トレーニングに際して習慣的に冷却を行うと、特に持久能についてトレーニングで意図した効果が十分に得られない可能性を示唆する。しかし、現実には競技者がトレーニングしようとする筋群に比べ、本研究で用いた筋力トレーニングの対象筋群が小さいことや、運動量や運動時間がかなり少ないことなど、両者の条件はかなり異なると考えられる。また、トレーニング対象者の鍛錬度によっても影響が異なるかもしれない。したがって、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、このような効果の減衰が生じているかどうか確かめるために、活動筋量や運動時間などの条件を変えてさらに検討する必要があるものと考えられた。

損傷を受けた部位の組織にRICE処置として、冷却を行う根拠は明らかで、その意義に疑いはない。また、活動的なスポーツ選手には、アイシングが必要なケースも多いと考えられる。疲労や痛み、過去の障害や競技会のスケジュールなどの要因が絡み、アイシングについて適否の判断することは難しいと考えられるが、特に損傷がない組織へアイシングの適用を必要以上に拡大することについては配慮が必要であることを本研究の結果は示唆している。また、スポーツ現場における冷却の手段(氷、アイスパックなど)や条件(温度、時間)は多様で、それを選択する根拠もあいまいである場合が多い。本

研究で用いたような冷却条件は、明らかな外傷に対する治療的処置として有効な範囲にあると考えられ、傷害の予防や単なるリフレッシュを目的とする場合には冷却の程度を緩和することが望ましいと考えられる。これは、アイシングのための時間的経済的な負担も軽減する。また、痛みの緩和などを目的に行う場合でも、痛みのある部分に限定して冷却するなどの工夫によって効果的にアイシングを利用できるかもしれない。

本研究で、冷却の影響は筋力の増加に対しては認められず、筋持久力の増加のみに認められた。このことは、冷却が遅筋線維の適応に対して選択的に影響した可能性を想起させるが、根拠はみあたらない。また、トレーニングの期間は4週間であった。このタイミングにおける最大筋力の増加には、筋肥大と運動単位の参加増大(中枢神経活動の増大)の二つの要因が関係する¹¹⁾。前腕部の冷却が、後者に影響を及ぼしたとは考えにくく、筋肥大の影響が相対的に小さいため、冷却の影響が不明確となった可能性もある。筋力や筋肥大に対する運動後の習慣的な冷却の影響については、筋肥大が明確となるような長いトレーニング期間で、筋断面積の評価などのパラメータを加えてさらに検討する必要があると考えられる。また、筋の持久性には、無酸素的及び有酸素的エネルギー供給が関係する。前者に対しては、筋グリコーゲンの含有量やその代謝能力など、後者に対しては筋への血流、ミトコンドリアにおける酸化能やミオグロビン含有量などがその要因となる^{12,13)}。本実験で行った運動後の冷却が、これらのいずれに影響したかは不明であるが、冷却に伴う組織の温度低下やそれに伴う代謝や血流の低下が影響していると推察される。それらが筋の持久性獲得に影響するメカニズムについても、今後さらに検討する必要があると考えられた。

【5】まとめ

本研究では、健康な成人男性7名、女性4名を対象に、自作したハンドグリップ・エルゴメーターを用い、週3回の筋力トレーニング(ハンドグリップ運動)を4週間にわたって行わせた。トレーニング期間中、被験者はトレーニング終了後に一側上肢を $10 \pm 1^\circ\text{C}$ の冷水に20分間浸した。トレーニング期間の前後に最大筋力及び筋持久力を測定し、冷却が筋力トレーニングの効果に及ぼす影響を検討した。その結果、本研究に用いた冷却は、筋力トレーニングによる最大筋力の増大に影響を及ぼさなかったが、筋持久力の向上を抑えた。このことは、運動後に行う活動筋の冷却が、持久的なトレーニング効果を減衰させる可能性を示唆し、明らかな傷害のない部位へのアイシングを行う場合には、その影響について配慮する必要があるものと推察された。

謝辞

本論文は、平成 13 年度卒業論文を再構成したものである。
本研究の一部は、平成 13・14 年度日本学術振興会科学研究費補助金(課題番号 13680065)の助成を得て実施した。被験者としてご協力頂いた愛知みずほ大学の学生諸氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1)Knight KL: Cryotherapy in sport injury management. Human Kinetics, Champaign, (1995).
- 2)山本 利春, 吉永 孝徳: スポーツアイシング, 大修館書店, (2001).
- 3)Thorlacius H, Vollmar B, Westermann S, Torkvist L, Menger, MD: Effect of local cooling on microvascular hemodynamics and leukocyte adhesion in the striated muscle of hamsters. J Trauma, (1998), 45, 715-719.
- 4)Deal DN, Tipton J, Rosencrance E, Curl WW, Smith TL: Ice reduces edema. A study of microvascular permeability in rats. J Bone Joint Surg Am, (2002), 84-A(9), 1573-1578.
- 5)Kowal MA: Review of physiological effects of cryotherapy. J Orthop Sports Phys Ther, (1983), 5, 66-73.
- 6)Verducci FM: Interval cryotherapy and fatigue in university baseball pitchers. Res Q Exerc Sport, (2001), 72(3), 280-287.
- 7)Eston R, Peters D: Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. Journal of Sports Sciences, (1999), 17, 231-238.
- 8)Paddon-Jones DJ, Quigley BM: Effect of cryotherapy on muscle soreness and strength following eccentric exercise. Int J Sports Med, (1997), 18, 588-593.
- 9)Fu FH, Cen HW, Eston RG: The effects of cryotherapy on muscle damage in rats subjected to endurance training. Scand J Med Sci Sports, (1997), 7, 358-362.
- 10)山根 基, 大西 範和, 小坂 光男: 持久カトレニング後に行う活動筋冷却の影響, 体力科学, (2004), 53, 519-526.
- 11)福永哲夫: ヒトの絶対筋力—超音波による体枝組成・筋力の分析—杏林書院, (1978).
- 12)Holloszy JO, Booth FW: Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. Ann Rev Physiol, (1976), 38, 273-291.
- 13)Holloszy JO, Coyle EF: Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. J Appl Physiol, (1984), 56, 831-838.
- 14)Booth FW, Thomason DB: Molecular and cellular adaptation of muscle in response to exercise: perspectives of various models. Physiol Rev, (1991), 71, 541-585.

原著