

## 運動後の冷却が組織温度及び血行動態に及ぼす影響

大垣 亮\*・竹村雅裕\*\*・岩井浩一\*\*\*・宮川俊平\*\*

### Effects of Cooling on Tissue Temperature and Hemodynamics after Exercises

OGAKI Ryo\*, TAKEMURA Masahiro\*\*, IWAI Koichi\*\*\* and MIYAKAWA Shumpei\*\*

#### Abstract

To determine the effects of cooling after exercises affecting tissue temperature and hemodynamics in the quadriceps femoris muscles, nine healthy males (age,  $24.6 \pm 2.2$  years old; height,  $173.0 \pm 5.2$  cm; body weight,  $65.5 \pm 6.5$  kg; body fat,  $15.5 \pm 3.2$  %) performed pedaling exercises for 30 minutes. Both quadriceps femoris muscles were cooled at rest for 20 minutes with ice packs (Cooling leg), or neither muscle was cooled (Control leg). All participants completed two experiments in random order at intervals of at least five days in a crossover trial. Skin temperature, muscle temperature, and total oxygenation hemoglobin/myoglobin density ( $\Delta$ total-Hb/Mb) of the right femoral region were measured every 10 seconds throughout the whole process. Skin temperature was significantly decreased after five minutes in the Cooling leg compared with the Control leg ( $p < 0.05$ ). In addition muscle temperature was significantly decreased after 15 minutes in the Cooling leg compared with the Control leg ( $p < 0.05$ ).  $\Delta$ total-Hb/Mb did not show a significant difference between in the Cooling leg and in the Control leg. This study suggested that cooling after exercise showed lower tissue temperature in its early stage, but hemodynamics did not have pronounced effects on both legs.

**Key words:** 運動後の冷却、近赤外線分光法、組織温度、血行動態

#### 背景

スポーツ現場では、運動後もしくは運動間のコンディショニング手段として冷却が用いられている。これらの効果として、運動誘発性筋損傷の軽減<sup>1,9)</sup>、運動量低下の抑制<sup>10,18)</sup>、筋力発揮低下の抑制<sup>4,17)</sup>が報告されており、運動によって生じる身体諸変化を改善する手段として有効であると考えられる。一方で、そのメカニズムに関しては一致した見解が得られていない。

運動後の冷却の効果として、組織温度と血流の低下により、筋代謝およびエネルギー浪費の低下が推察されているが<sup>18)</sup>、その根拠を示す報告はない。さらに、先行研究では生理学的なメカニズムの検討

として、体温や血中乳酸濃度の上昇を抑制することは報告されているが<sup>7,8,10,22)</sup>、冷却部位の局所的な反応は不明な点が多い。しかも、スポーツ現場では、アイスパックなどを用いて部分的に冷却を行う場面が多く見られることから、冷却による局所的な反応を理解することが重要であると考えられる。

近赤外線分光法 (NIRS: Near-infrared Spectroscopy)<sup>6)</sup>は、非侵襲的かつ連続的に骨格筋の血行動態を評価することが出来る手法である。NIRSは時間分解能に優れており、運動後の回復時などの非定常状態においても、血行動態の迅速な変化を検出することが可能であるため<sup>6)</sup>、冷却による局所的反応の調査にも適していると考えられる。

\* 筑波大学人間総合科学研究科  
Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

\*\* 筑波大学体育系  
Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

\*\*\* 茨城県立医療大学  
Ibaraki Prefectural University of Health Sciences

NIRS を用いて、冷却の効果を検討した研究はいくつか散見されるが、それらの報告によると冷却方法やプロトコルが異なるため、一定の見解を得ていない。Yanagisawa et al.<sup>21)</sup> は、安静時に前脛骨筋を 30 分間冷却し、NIRS データの経時的な変動を検討した結果、冷却早期から総ヘモグロビン/ミオグロビン濃度の低下が観察され、冷却によって末梢血管収縮と末梢組織血液量の低下が生じたことを報告している。したがって、筋代謝の低下が生じていることが推察されるが、光川ら<sup>14)</sup> は、間欠的な掌握運動の間に、前腕を 5 分間冷却した結果、冷却が血行動態に影響を及ぼさなかったことを報告しており、運動が含まれることによって効果が異なる可能性が考えられる。

また、コンディショニングとして冷却を行う場合には、スポーツ活動によって筋温が上昇した状況下で冷却を用いる場面が多い。したがって、筋温が上昇する運動を設定し、その後の冷却が骨格筋に及ぼす影響を経時的に検討する必要があると考えられる。そこで、本研究は、自転車ペダリング運動後に大腿部をアイスパックで冷却し、冷却中および冷却後の皮膚表面温度、筋内温度、血行動態の経時的変動を検討することを目的とした。

## 方 法

### 1. 対象

対象は、運動習慣のない健康成人男性 9 名（年齢、 $24.6 \pm 2.2$  歳；身長、 $173.0 \pm 5.2$  cm；体重、 $65.5 \pm 6.5$  kg；体脂肪率、 $15.5 \pm 3.2$  %）とした。本研究は、筑波大学大学院人間総合科学研究科に設置された研究倫理委員会の承認のもと、対象者に研究目的、方法について説明し、参加に同意を得た上で実施された（課題番号第 21-308 号）。

### 2. 実験手順

実験手順を図 1 に示す。本実験は、通常環境下（室温、 $24^{\circ}\text{C}$ ；相対湿度、40 %）に保たれた実験室内にて行った。対象者は、座位にて 10 分間安静にした後、自転車エルゴメーター（Power MAX VII, COMBI WELLNESS 社製）を用いて、30 分間の自転車ペダリング運動を行った。運動負荷は、体重  $\times 0.025$  kp に設定し、60 rpm の回転数を維持するよう指示した。運動終了後は、20 分間の安静を取り、安静中に左右の大腿四頭筋を冷却する条件（冷却条件）と、どちらもしない条件（対照条件）の 2 つの条件を設定した。冷却条件では、 $0^{\circ}\text{C}$  の水をビニール袋に詰めたアイスパックを使用し、座位にて両大腿部前面を 15 分間冷却した（図 2）。全ての対象者



図 1 実験プロトコル



図 2 冷却方法

右大腿部外側面のプローブ貼付位置以外、全てを覆うようにアイスパックを当てフレキシラップで固定した。

は、運動後の 2 つの条件（冷却および対照）による実験を 5 日以上の間隔を設けて、ランダムにクロスオーバーにて行った。

### 3. 測定項目及び測定方法

実験開始から終了まで、大腿四頭筋の組織温度と血行動態を経時的に測定した。組織温度の測定として、深部温モニタ（コアテンプ CM-210、テルモ社製）を用い、右大腿部外側面に測定プローブを貼付し（図 3）、皮膚表面温度および筋内温度を 10 秒毎に計測した。深部温モニタは、熱流補償法に基づく測定器であり、測定プローブにより皮膚を断熱することによって、その部位の皮膚表面温度が深部の温度と平衡することを利用した測定器である<sup>23)</sup>。

血行動態は、赤外線酸素モニタ装置（NIRO-300、浜松ホトニクス社製）を用い、総ヘモグロビン/ミオグロビン量変化 ( $\Delta\text{total-Hb/Mb}$ ) を 10 秒毎に計測した。赤外線酸素モニタ装置の測定プローブは、送受光間距離 4 cm に設定し、右大腿四頭筋外側面に貼付した（図 3）。また、測定部位の皮下脂肪厚を超音波画像診断装置（SDD-1200、アロカ社製）により計測し、 $\Delta\text{total-Hb/Mb}$  の測定値を補正した<sup>16)</sup>。なお、本研究の対象者におけるプローブ貼付部位の皮下脂肪厚は、平均で  $3.9 \pm 0.1$  mm であっ

た。

測定プローブは、テーピングで固定し、外気およびアイスパックの直接的な影響を受けないように発泡スチロールで覆った。

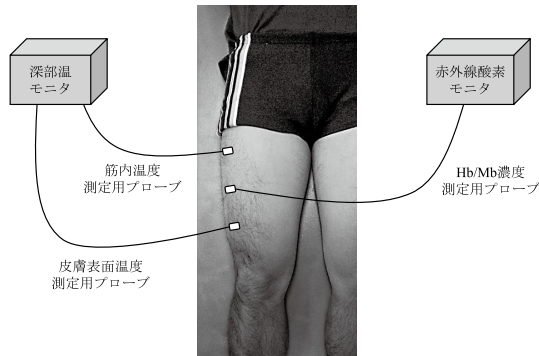


図3 測定プローブ貼付部位

上前腸骨棘と膝蓋骨の midpoint から外側へ 2cm、遠位部へ 5cm の点に Hb/Mb 濃度測定用のプローブを固定した。その部位より 8cm 近位に筋肉温度測定用プローブを、8cm 遠位に皮膚表面温度測定用プローブをそれぞれテーピングで固定した。

#### 4. 分析方法

全ての測定値は、平均値 ± 標準偏差で示した。組織温度および血行動態の各測定値は、10 秒毎に測定した値から 5 分毎に平均値を求め、実験中の経時的な変動を冷却条件と対照条件間で比較した。

全ての項目に対し、条件と時間変化を要因とした繰り返しのある二元配置分散分析 (two-way ANOVA repeated measures) を行った。交互作用が認められた場合、時間変化に対しては一元配置分散分析と Tukey HSD 法を用いた多重比較検定を行った。また、時間毎の条件間の比較には、対応のある t 検定を用いた。なお、統計ソフトは SPSS (PASW Statistics 19) を使用し、有意水準は 5 % とした。

#### 結果

皮膚表面温度および筋肉温度の経時的変化には、有意な交互作用がみられた (条件 × 時間、 $p < 0.05$ ) (図 4、図 5)。冷却条件の皮膚表面温度は、冷却開始 5 分後以降、対照条件に比べ有意に低かった ( $p < 0.05$ ) (図 4)。冷却条件の筋肉温度は、冷却開始 15 分後以降、対照条件に比べ有意に低かった ( $p < 0.05$ ) (図 5)。血行動態の経時的変化には、交互作用はなく条件間で差はなかった (図 6)。

#### 考察

本研究は、運動習慣のない健康成人男性を対象に、30 分間の最大下自転車ペダリング運動後にア

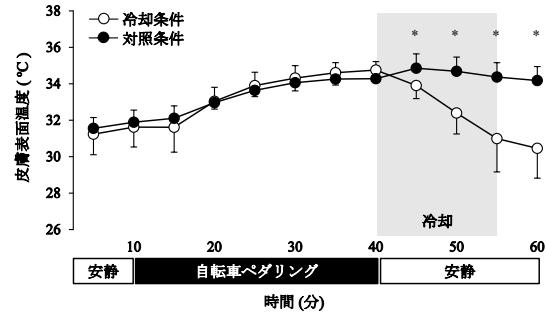


図4 皮膚表面温度の経時的変化  
\* 冷却条件 vs. 対照条件 ( $p < 0.05$ )

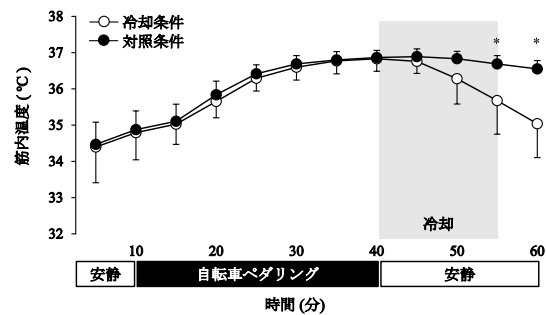


図5 筋肉温度の経時的変化  
\* 冷却条件 vs. 対照条件 ( $p < 0.05$ )

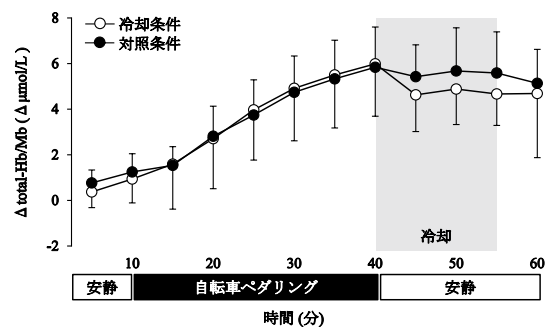


図6 血行動態の経時的変化

イスパックで大腿四頭筋を 15 分間冷却し、冷却中および冷却後の骨格筋における組織温度と血行動態の経時的変動を検討した。その結果、冷却条件では冷却開始後すぐに皮膚表面温度が有意に低下し、15 分後から筋肉温度が有意に低下した。一方、血行動態は条件間で有意な差はなかった。したがって、運動後の冷却は早期から組織温度を低下させるが、血行動態に対しては著明な影響を与えない可能性が示唆された。

先行研究では、冷却の効果を検討する場合、その適用時間は主に 5 分から 30 分の範囲で検討されているが、運動後のコンディショニングを目的とした冷却を行う場合には 15 分間を目安に行う場合が多い<sup>15,19)</sup>。よって、本研究ではアイスパックによる冷却を 15 分間行ったが、組織温度の低下を認めるも

の、血行動態に関しては著明な影響はなかった。したがって、運動後に血液循環と筋代謝低下を目的にアイスパックを用いて冷却を行う場合は、本研究以上に冷却適用時間を確保する必要があると考えられた。

組織温度の低下は、早期に見られたが皮膚温度の低下と筋内温度の低下は異なるタイミングで生じていた。冷却の効果を調査した先行研究では、組織温度を測定していない報告や<sup>17,18)</sup>、皮膚温のみを測定した報告が多い<sup>10)</sup>。しかし、皮脂厚が絶縁体として役割を果たすことや<sup>3)</sup>、組織の浅層と深層では冷却効果が異なることが報告されていることから<sup>21)</sup>、皮膚表面温度の変動のみでは筋内温度が変動しているか不明である。そこで、本研究では深部温モニタを用いて皮膚表面温度と筋内温度の両方を経時的に測定した。皮膚表面温度は、冷却開始早期から冷却条件で有意に低かったが、筋内温度は、冷却開始15分後から冷却条件で有意に低かった。したがって、運動後にアイスパックを用いた冷却で、筋内温度を低下させるには15分の適用が必要であると考えられた。

本研究で用いた深部温モニタは、熱流補償法に基づく測定器であり皮膚表面温度から局所の深部温度を計測する測定器である<sup>23)</sup>。そのため、測定深度は不明であるが、Long et al.<sup>12)</sup>は皮下2cmに温度プローブを刺入し、アイスパックを当て効果を検討した結果、冷却開始7分後にはプローブ刺入部位の有意な温度低下が生じたことを報告している。したがって、本研究はLong et al.<sup>12)</sup>と同様に、冷却による温度低下は皮下2cm以上に達していると推察され、筋内部への冷却効果が得られているものと考えられた。

本研究では、 $\Delta\text{total-Hb/Mb}$ の低下はみられなかったが、安静時に骨格筋を冷却した場合には、早期から血流量が低下することが報告されている。Yanagisawa et al.<sup>21)</sup>は、安静時に前脛骨筋を30分間冷却し、NIRSデータを経時的に検討した結果、冷却開始とともに $\Delta\text{total-Hb/Mb}$ が有意に低下したことを報告した。本研究では、30分間の自転車ペダリング運動後に大腿四頭筋を冷却したため、運動による筋血流量の増加が影響していると考えられた。

運動を開始すると、心拍出量が増加するとともに活動筋内の細動脈拡張に伴う血流再分布が生じ、運動中および運動終了直後には高血流(hyperemia)が起こることが知られている<sup>5)</sup>。したがって、本研究においては自転車ペダリング運動によって運動後の高血流が生じたことが推察された。また、本研究では筋内温度が有意に低下したのは、冷却開始から

15分後であったため、冷却早期から筋内温度が低下していなかったことも影響していると考えられた。

本研究では、15分程度の冷却適用で血行動態への効果は認められなかったが、筋温低下は生じているため神経機能への影響も考えられた。過去の報告によると冷却適用後の筋温低下によって、神経伝導速度、筋紡錘活動、伸張反射反応が低下することが報告されている<sup>13)</sup>。これらの神経機能への影響は、筋痛の低下に寄与すると考えられており<sup>2)</sup>、この影響を考慮すると運動後の冷却は血行動態に著明な影響はないものの、運動誘発性筋痛を減少させる可能性があると考えられた。

一方、先行研究では冷却終了後の末梢循環動態の反応に関しては、寒冷起因の血管拡張(cold induced vasodilation: CIVD)<sup>11)</sup>が起こることが定説であった。CIVDとは、Lewis et al.<sup>11)</sup>によって手の冷却中とその後の手指の温度測定に観察された冷却中の乱調反応(hunting response)と、それに続く遅発性の効果(after-effect)の2つの現象である。しかし、近年では手指以外の部位での検討や、MRIによる骨格筋における水分子の測定において、CIVDは生じないことが示されている<sup>19,20)</sup>。本研究においても、15分間の冷却後、5分間データを引き続き観察した。その結果、冷却条件の $\Delta\text{total-Hb/Mb}$ は冷却終了後も上昇しなかった。さらに、皮膚表面温度および筋内温度に関しても、冷却後に上昇を示すことはなくCIVDは生じなかったと考えられた。したがって、CIVDは骨格筋レベルでは生じることはなく、特に手指などの末梢部位における恒常性維持のための特異的な反応であるか、もしくは皮膚表面レベルに限定された反応であると考えられた。

本研究では、運動後に行うアイスパックによる冷却に着目し、その効果を検討した。様々な冷却方法の中でも、アイスパックは簡便且つ最もスポーツ現場で普及している様式である。今後は、冷却時間による比較や、異なる運動様式を用いた検討も必要であると考えられた。

## 結 論

本研究は、運動習慣のない健康成人男性を対象に、30分間の最大下自転車ペダリング運動後にアイスパックで大腿四頭筋を15分間冷却し、冷却中および冷却後の骨格筋における組織温度と血行動態の経時的変動を検討した。運動後の冷却は、早期から局所の組織温度を低下させるが、血行動態に対しては著明な影響を及ぼさない可能性がある。

## 文 献

- 1) Bailey DM, Erith SJ, Griffin PJ, Dowson A, Brewer DS, Gant N and Williams C (2007): Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *J Sports Sci* 25(11): 1163-1170.
- 2) Denegar CR, and Perrin DH (1992): Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation, cold, and a combination treatment on pain, decreased range of motion, and strength loss associated with delayed onset muscle soreness. *J Athl Train* 27(3): 200-206.
- 3) Domhnall M (2002): The role of ice in soft tissue injury management. *Evidence-based sports medicine* 45-65.
- 4) Fisher J, van Lunen BL, Branch JD and Pirone JL (2009): Functional performance following an ice bag application to the hamstrings. *J Strength Cond Res* 23(1): 44-50.
- 5) 浜岡隆文、岩根久夫 (1993) : 近赤外光を用いた局所骨格筋酸素動態のモニタリング. *体育の科学* 43 (5) : 365-368.
- 6) 浜岡隆文、木目良太郎 (2005) : 筋の酸素化状態と筋代謝. *体育の科学* 55 (12) : 918-924.
- 7) Hayashi K, Honda Y, Ogawa T, Wada H, Kondo N and Nishiyasu T (2004): Effects of brief leg cooling after moderate exercise on cardiorespiratory responses to subsequent exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol* 92: 414-420.
- 8) Hornery DJ, Papalia S, Mujika I and Hahn A (2005): Physiological and performance benefits of halftime cooling. *J Sci Med Sport* 8(1): 15-25.
- 9) Howatson G, Gaze D and van Someren KA (2005): The efficacy of ice massage in the treatment of exercise-induced muscle damage. *Scand J Med Sci Sports* 15: 416-422.
- 10) 井上修平、山本正嘉 (2009) : アイスパックを用いた脚部へのアイシングが暑熱環境下における長時間の間欠的自転車運動時のパフォーマンスに及ぼす影響 ; 運動前及びハーフタイムでのアイシングの組み合わせに着目して. *トレーニング科学* 21 : 45-55.
- 11) Lewis T (1930): Observations upon the reaction of the vessels of the human skin to cold. *Heart* 15: 177-208.
- 12) Long BC, Cordova ML, Brucker JB, Demchak TJ, and Stone MB (2005): Exercise and quadriceps muscle cooling time. *J Athl Train* 40(4): 260-263.
- 13) Meeusen R, and Lievens P (1986): The use of cryotherapy in sports injuries. *Sports Med* 3: 398-414.
- 14) 光川眞壽、福永哲夫、川上泰雄 (2007) : 運動間のアイシングが骨格筋の循環動態および筋力に及ぼす影響. *トレーニング科学* 19 : 35-42.
- 15) Nemet D, Meckel Y, Bar-Sela S, Zaldivar F, Cooper DM, and Eliakim A (2009): Effect of local cold-pack application on systemic anabolic and inflammatory response to sprint-interval training: a prospective comparative trial. *Eur J Appl Physiol* 107(4): 411-417.
- 16) Niwayama M, Lin L, Shao J and Kudo N (2000): Quantitative measurement of muscle hemoglobin. *Rev Sci Instrum* 71: 4571-4575.
- 17) Verducci FM (2000): Interval cryotherapy decreases fatigue during repeated weight lifting. *J Athl Train* 35(4): 422-426.
- 18) 山本利春、吉永孝徳、山本正嘉、高橋正人 (1995) : 筋のコンディショニングを目的としたアイシングの効果. *武道・スポーツ科学研究所年報* 1 : 73-80.
- 19) Yanagisawa O, Niitsu M, Yoshioka H, Kudo H and Itai Y (2003): The use of magnetic resonance imaging to evaluate the effects of cooling on skeletal muscle after strenuous exercise. *Eur J Appl Physiol* 89: 53-62.
- 20) Yanagisawa O, Niitsu M, Takahashi H, Goto K and Itai Y (2003): Evaluations of cooling exercised muscle with MR imaging and <sup>31</sup>P MR spectroscopy. *Med Sci Sports Exerc* 35(9): 1517-1523.
- 21) Yanagisawa O, Homma T, Shimao D and Takahashi H (2007): Effects of cooling on human skin skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol* 100: 737-745.
- 22) Yeargin SW, Casa DJ, McClung JM, Knight JC, Healey JC, Goss PJ, Harvard WR and Hipp GR (2006): Body cooling between two bouts of exercise in the heat enhances subsequent performance. *J Strength Cond Res* 20(2): 383-389.
- 23) 吉田次男、松澤 正 (1997) : 熱流補償法を用いた深部温測定についての一考察 - 深部温測定用プローブつけ替えの試み - *医科器械学* 67 (6) : 279-287.