運動後のリカバリーにおける アイシングの有効な適用方法の検討

愛知みずほ大学　山根　基
（共同研究者）三重県立看護大学　大西範和

Verification of The Effective Application Method of Icing in Post-Exercise Recovery

by

Motoi Yamane
Department of Human Sciences,
Aichi Mizuho College
Norikazu Ohnishi
Faculty of Nursing,
Mie Prefectural College of Nursing

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate a performance of phase change materials (PCM) as a tool for sports icing. We examined whether skin temperatures could be maintained in the target zones around 10℃ and 20℃ of PCM. And we investigated effects of exercise-induced heat production and skinfold thickness on the skin temperature with application of PCM. Fifteen male and twelve female volunteers were randomly divided into 10℃ or 20℃ cooling treatment groups or the control group (C10, C20, and NC, respectively). The participants performed five sets of eight arm curl exercises with the non-dominant arm at the workload of 8 RM. Participants' dominant arms served as controls. In the cooling treatment group, PCM packs adjusted to maintain its surface temperatures at a constant temperature of 10℃ for C10 and

20℃ for C20, was applied over the skin surface above the biceps brachii of both upper-arms with a thermal insulation cover for 20 minutes after arm curl exercises. Skin temperatures at three sites in PCM applied area of both arms were monitored by using thermistors. Skin temperatures were acutely decreased in C10 and C20, and were maintained at approximately 10-12℃（non-dominant arm: 11.0 ± 0.1℃ , dominant arm: 9.2 ± 0.2℃）and 20-23℃（non-dominant arm: 22.2 ± 0.1℃ , dominant arm: 20.3 ± 0.1℃）, respectively. It is suggested that PCM would be beneficial to make tools for sports icing, although the decrease in skin temperature was tended to be affected by heat produced with the exercise and the degree of skinfold thickness.

要　旨

本研究では，約10℃と比較的高い約20℃を保つよう試作した相転移型の定温材を用いて皮膚を冷却し，皮膚温の推移を観察することによりこれらの定温剤が目標とした温度を維持できるか否かを検討した．また，この定温剤の冷却効果が筋運動による熱産生の亢進や皮下脂肪の厚みなどの影響を受けるか否かについて検討することを目的とした．

大学生27名（男性15名，女性12名）に非利き腕（運動負荷側）のみにダンベルを用いたアームカール運動を行わせ，運動後に両腕の上腕二頭筋上に定温材を装着し冷却を行った．運動を行わない利き腕を非運動負荷側とした．被験者は，運動後に，定温剤を用いて両腕の上腕部前面を20分間，約10℃で冷却する群（10℃冷却群），約20℃で冷却する群（20℃冷却群），及び対照として冷却を行わない群（非冷却群）にランダムに分けた．運動後，両腕の上腕二頭筋上の皮膚温をサーミスタ温度計を用いて連続的に計測した．

運動後の皮膚温測定開始から実験終了までの20分間において，10℃冷却群では約10℃～12℃（運動負荷側の3点平均：11.0 ± 0.1℃，非運動負荷側の3点平均：9.2 ± 0.2℃）となり，20℃冷却群では約20℃～23℃（運動負荷側の3点平均：22.2 ± 0.1℃，非運動負荷側の3点平均：20.3 ± 0.1℃）と一定の皮膚温に保たれていた．運動の有無，皮下脂肪の厚さによって定温材と密着している皮膚温は影響を受けたが，それぞれの定温材で実験中は一定の温度を維持でき，皮膚温の維持効果はあると考えられた．

緒　言

スポーツ現場におけるアイシングの適用状況には，二つの場面が想定される．一つは，従来から用いられている急性外傷の応急処置のためのアイシングであり，これは損傷部位の組織を冷却することで，毛細血管の透過性を減少させ，充血，出血や腫脹を軽減して，周囲の組織の二次的な損傷を防止するものである[1, 2, 3]．もう一つは，外傷がない場合におけるアイシングの適用であり，酷使した筋や腱に想定される微細な損傷に対して施される．更に最近では，熱中症対策，疲労回復や運動パフォーマンスの維持などへと用途が拡大し，高強度でない運動後にも適用されることがあり，専用の用具や器具も多用されている[4, 5, 6]．

近年，外傷のない場合に行う運動後リカバリーを目的としたアイシングについて，長期的な適用の影響が検討されており，長期間習慣的に運動後アイシングを行うと筋力トレーニングの効果が減衰することが報告されている[7, 8, 9]．運動後リカ

バリーを目的としてアイシングを行う場合は，短期的な効果のメリットと長期的な影響のデメリットを十分に考慮した上で実施する必要がある．冷却を弱める（11℃～20℃）ことで，運動後の短期的なパフォーマンスの回復がより促進されること[10, 11]，また筋力トレーニングの効果減衰を防止する可能性が示唆されていること[12]から，より安全で効果的な冷却温度の管理について検討することが求められている．

一般的にアイシングの適用時間は20分間が最も適しており[13]，これより短い時間の適用は，深部組織の温度を効果的に低下させることができず，急性外傷における損傷部位で期待される効果が得られないとされる[14]．急性外傷の応急処置として効果を得るためには筋温を10℃～15℃程度低下させる必要があると考えられている[15]．その一方で，過度な身体冷却は副作用として凍傷，神経障害及び皮膚の過敏性反応などを生じさせる可能性がある．

アイシングには，氷や市販の保冷剤（コールドパック），氷水や氷嚢（アイスバッグ）やコールドスプレーなどが用いられる．一般的な冷凍庫の氷やコールドパックは温度が－20℃に達することもあり，直接使用すると皮膚表層が凍結し障害が起こることが少なくない．水を加えて温度を上げるか，製氷機の比較的温度の高い氷を使用する必要がある．しかし，氷が溶けるなど，十分な冷却効果が得られないこともある．コールドスプレーは簡便であるが短時間しか冷却できない．いずれの方法も，温度管理は難しいというのが現状である．しかし，近年，固体から液体に相転移する際の融解熱を接触する物体から奪う特性を利用し，素材の配合により設定された温度を一定時間持続できるよう調整可能な定温材が開発されており[16]，この特性を利用した定温材をアイシングに用いることは，温度管理などの利便性が高く有用である可能性が高い．

そこで本研究では，通常アイシングに用いられる約10℃と比較的高い約20℃を保つよう試作した定温材を用いて皮膚を冷却し，皮膚温の推移を観察することによりこれらの定温材が目標とした温度を維持できるか否かを検討した．また，この定温材の冷却効果が筋運動による熱産生の亢進や皮下脂肪の厚みなどの影響を受けるか否か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

上肢の筋骨格系などに異常を持たない若年成人大学生男性15名（年齢21.9 ± 1.3歳，体重63.2 ± 5.9kg，身長172.3 ± 4.7cm，体脂肪率13.5 ± 5.4％），女性12名（年齢21.7 ± 0.7歳，体重50.9 ± 9.8kg，身長157.9 ± 4.6cm，体脂肪率26.9 ± 4.8％），計27名を対象として実験を行った．被験者の自己申告によると，利き腕は右が25名，左が2名であった．

被験者には事前に実験内容について説明し，文書で実験参加の同意を得た．研究に先立ち，三重県立看護大学研究倫理審査会の承認（通知書番号：181102）を得た．被験者を，男女比と人数が均等になるよう配慮し，ランダムにアイシングを行わない群9名（非冷却群），約10℃に皮膚温を保つ定温材を用いてアイシングを行う群9名（10℃冷却群），約20℃に皮膚温を保つ定温材を用いてアイシングを行う群9名（20℃冷却群）の3群に分けた．

1．2　実験手順

実験は，三重県立看護大学の人工気候室で環境温を25℃，相対湿度50%に設定して行った．被験者は人工気候室に入室後，非利き腕（運動負荷側）のみで約10分間のダンベルを用いたアームカール運動を行った．運動負荷は8 Repetition Maximum（RM：最大挙上重量）とし，8回を5セット行い，1セット終了ごとに2分間の休憩を設けた．

運動を行わない利き腕を非運動負荷側とした．運動後，被験者の両腕上腕二頭筋上の3箇所にサーミスタ温度計を貼付し（**図1**），10℃冷却群及び20℃冷却群では表面温度がそれぞれ約10℃及び約20℃になるよう調整された定温材（三重化学工業株式会社製，サイズ150mm × 110mm × 12 mm ～ 15mm，重量225g ～ 275g）を装着し，それを発泡スチロール製の断熱材で覆いベルトで固定した（**図2**）．本研究で用いた定温材は，固体から液体に相転移する際の融解熱を接触する物体から奪う特性を利用した材料であり，常温に曝露した状態で，10℃ないし20℃の表面温度を40分以上維持されるように成分と量を調整した．非冷却群では，対照としてサーミスタ温度計のみを装着した．被験者は装着後20分間椅座位安静状態を維持し，その間皮膚温を連続的に記録し，各群の皮膚温の推移とそれに対する運動負荷の有無と皮下脂肪厚の違いによる冷却効果の差違について検討した．

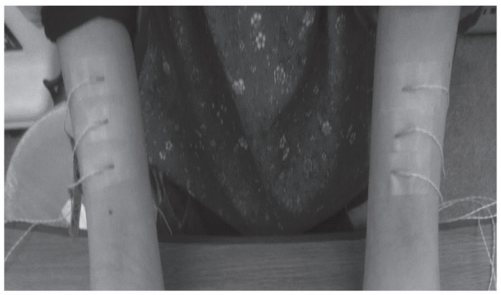

図1　サーミスタ温度計の装着位置

図2　定温材（左）と定温材装着の様子（右）

1．3　測定項目

皮膚温は，サーミスタ温度計（センサテクニカ社製，ST-23S）のプローブを，上腕二頭筋の筋腹上と中軸上の中枢及び末梢方向に約3cmの箇所（それぞれ筋腹上，中枢側，末梢側）にテープで固定して測定した（**図1**）．温度のデータは，1秒間隔でパーソナルコンピュータを用いてサンプリングし，30秒間の平均値として算出した．

皮下脂肪厚は，両腕の上腕二頭筋の筋腹上で栄研式キャリパーを用いて，熟練した1人の験者が測定した．

1．4　統計処理

各測定値は平均値と標準偏差で示した．運動負荷側と非運動負荷側での皮膚温の比較については t検定で評価した．また，皮下脂肪厚と皮膚温の関連性についてはピアソンの相関係数を用いて評価した．いずれも有意水準は5%とした．

2．研究結果

2．1　皮膚温

定温材の位置のずれなどから皮膚温に不規則な変化がみられた例を除外し，非冷却群では5名，10℃冷却群及び20℃冷却群でそれぞれ6名を解析対象とした．

皮膚温の実験終了前20分間の平均値は，非冷却群については，運動負荷側及び非運動負荷側において，それぞれ中枢側33.4 ± 0.3℃，筋腹上33.8 ± 0.3℃，末梢側33.8 ± 0.3℃及び中枢側32.6 ± 0.1℃，筋腹上33.2 ± 0.2℃，末梢側32.6 ± 0.2℃となり，約32℃ ～ 34℃の範囲であった（**図3**）．また，10℃冷却群及び20℃冷却群とも定温材の装着とともに皮膚温は，急速に低下し，5分程度でほぼ定常に達した．10℃冷却群における皮膚温の実験終了前20分間の平均値は，運動負荷側及び非運動負荷側において，それぞれ中枢側12.2 ± 2.7℃，筋腹上11.8 ± 2.7℃，末梢側11.9 ± 2.3℃及

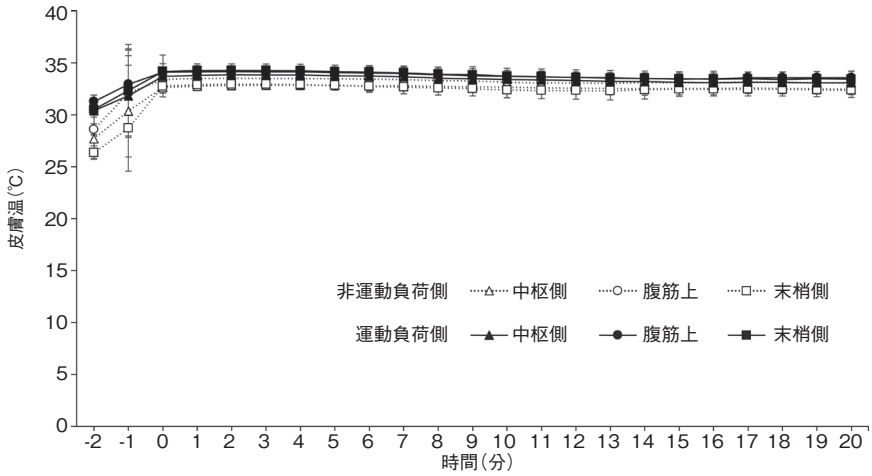

図3　非冷却群の実験開始から実験終了まで20分間の皮膚温変化

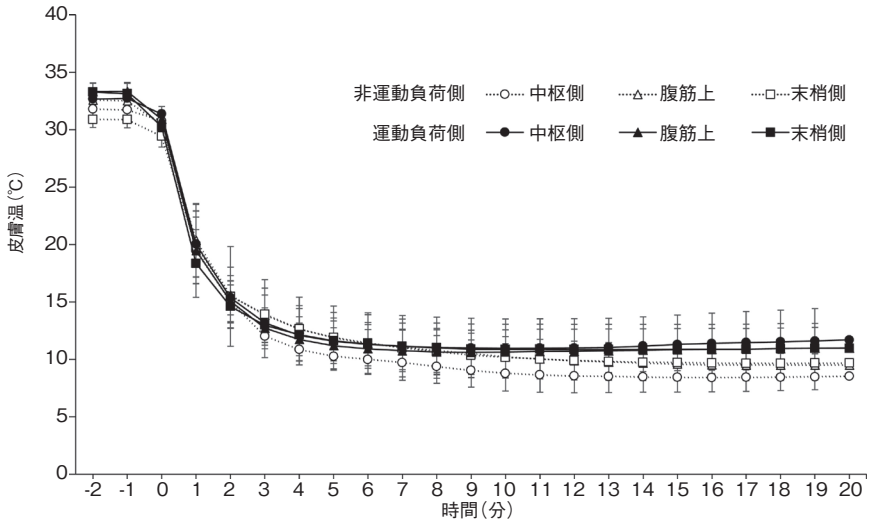

図4　10℃冷却群の実験開始から実験終了まで20分間の皮膚温変化

び中枢側10.2 ± 3.4℃，筋腹上11.5 ± 3.3℃，末梢側11.5 ± 3.1℃となり，約10℃～12℃の範囲であった（**図4**）．20℃冷却群における皮膚温の実験終了前20分間の平均値は，運動負荷側及び非運動負荷側において，それぞれ中枢側22.6 ± 1.2℃，筋腹上23.0 ± 1.1℃，末梢側22.9 ± 1.1℃及び中枢側20.9 ± 1.2℃，筋腹上21.0 ± 1.0℃，末梢側20.7 ± 1.3℃となり，約20℃～23℃の範囲であった（**図5**）．

2．2　運動負荷側と非運動負荷側における皮膚温の比較

実験終了前10分間における皮膚温（3点の平均値）の平均を比較すると，3群すべてで運動負荷側が非運動負荷側より有意（$p<0.05$）に高かった（**図6**）．その差は，非冷却群，10℃冷却群，20℃冷却群において，それぞれ1.0 ± 0.0℃，1.7 ± 0.3℃，1.9 ± 0.1℃であった．

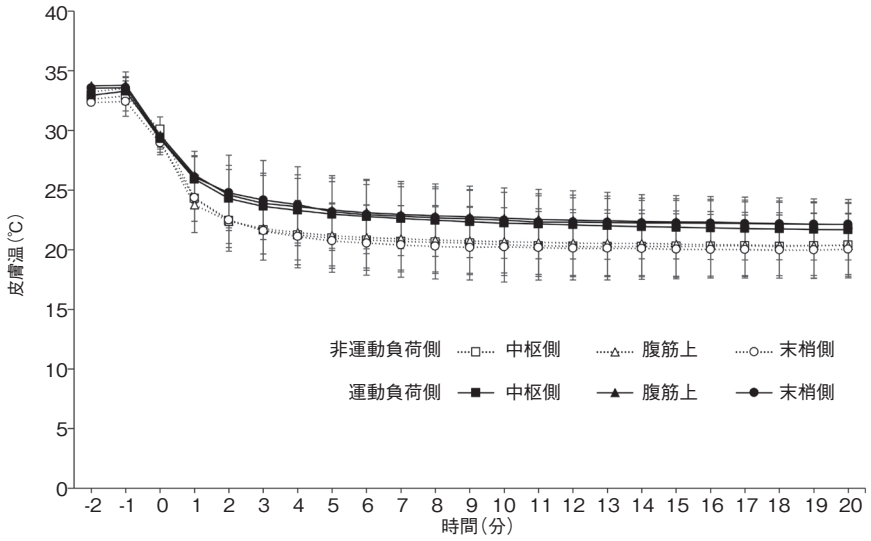

図5　20℃冷却群の実験開始から実験終了まで20分間の皮膚温変化

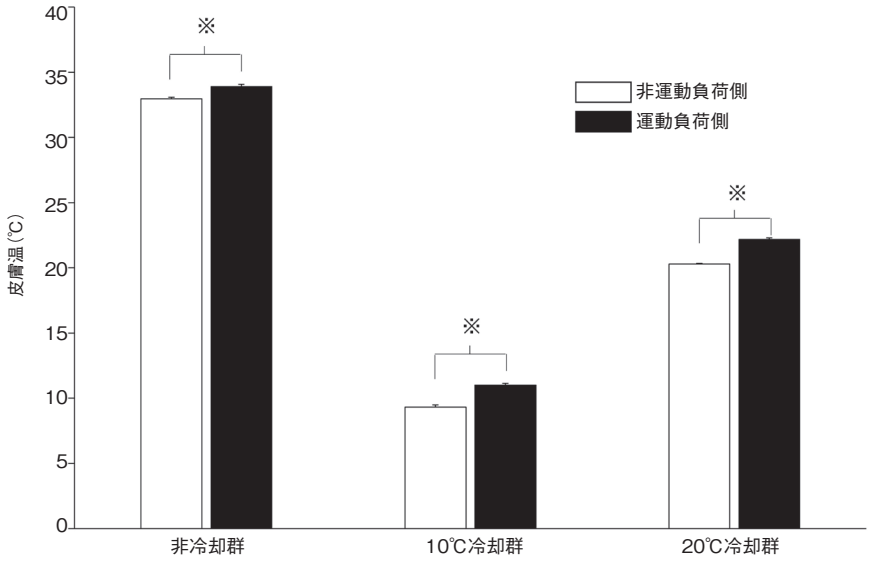

図6　運動負荷側と非運動負荷側の皮膚温の比較
※ p<0.05：運動負荷側 vs 非運動負荷側

2. 3　上腕二頭筋の皮下脂肪厚と皮膚温の関係

上腕二頭筋筋腹上の皮下脂肪厚と皮膚温3点における実験終了前10分間の平均値との相関関係を検討した．非冷却群及び10℃冷却群ではすべての部位おいて有意な関係性はみられなかった（図7, 8）．しかし，20℃冷却群ではすべての部位で有意（$p<0.05$）な相関関係が認められ，皮下脂肪厚が厚いほど皮膚温が低かった（図9）．

3. 考　察

本研究では，運動後アイシングの際に相転移現象を利用して約10℃及び約20℃になるよう調整された定温材を用いることで，20分間の冷却中，10℃冷却群における運動負荷側の3点平均が11.0 ± 0.1℃，非運動負荷側の3点平均が9.2 ± 0.2℃となり，20℃冷却群の運動負荷側の3点平均が

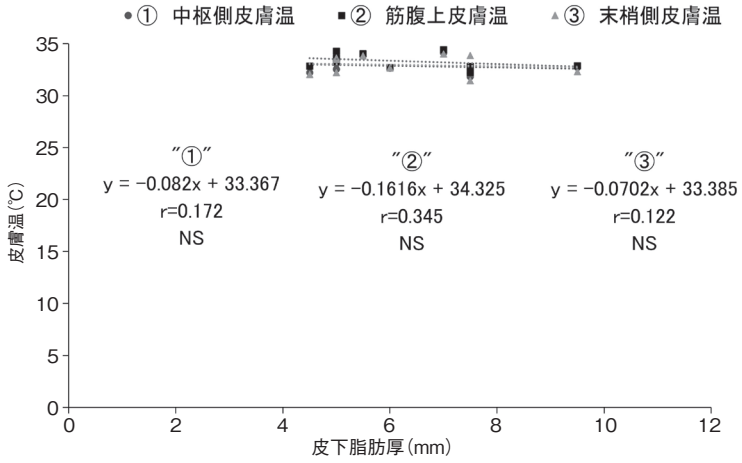

図7　非冷却群の皮下脂肪厚と皮膚温の平均値との相関.
r：相関係数

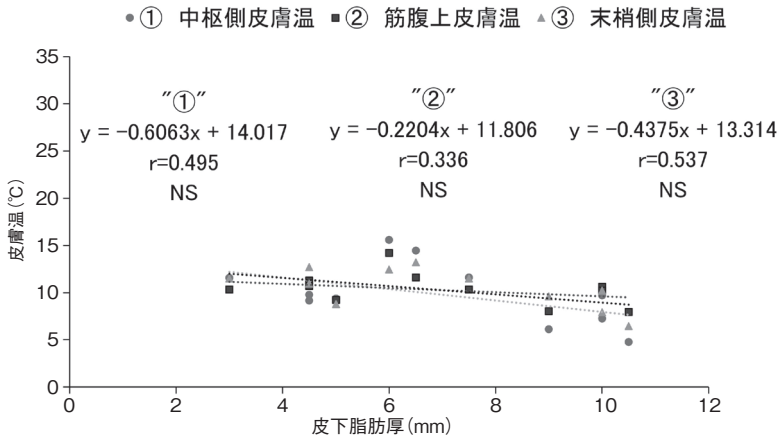

図8　10℃冷却群の皮下脂肪厚と皮膚温の平均値との相関.
r：相関係数

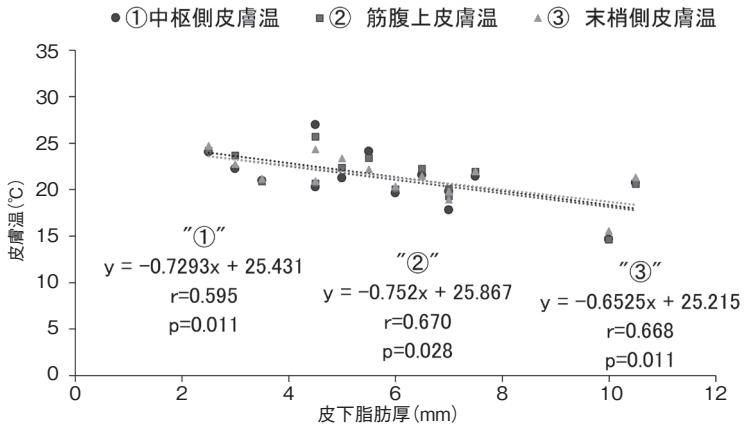

図9　20℃冷却群の皮下脂肪厚と皮膚温の平均値との相関.
r：相関係数

22.2±0.1℃, 非運動負荷側の3点平均が20.3±0.1℃となり，定温材下の皮膚温が目標とした温度帯に維持された．いずれの定温材においても，皮膚温は冷却開始後急激に低下を示し，その後開始5分後には, おおよそ目標とした温度帯まで冷却され，その後終了までその温度が維持された．

アイシングで用いられる用具は様々であるが，用具による冷却によって身体組織の熱が皮膚との接触面から用具の材料へと熱伝導によって移動する．冷水浴においては，皮膚温は10℃及び15℃の冷水で1秒間あたりそれぞれ0.42℃及び0.33℃低下することが報告されており[17]，非常に高い冷却効果が得られることが知られている．アイスバッグ及びコールドパックを用いて安静時の大腿部を冷却した先行研究では，冷却開始直後に皮膚温は急激な低下を示し，その後20分間の測定終了時まで徐々に低下し続け，最終的にそれぞれ皮膚温が10.2℃及び13.9℃となった[18]．同様にアイスバッグ及びコールドパックによる大腿部冷却の影響を検討した研究では，冷却後皮膚温は急激に低下し，アイスバッグでは32分間の冷却期間中の終了時に最も皮膚温が低くなったが，コールドパックでは，冷却開始後約11分で最も低くなり，その後終了時まで徐々に皮膚温が上昇したことを報告している[19]．また，コールドパックの適用により皮膚温は最初の1～3分で急激に低下し，8～9分で最も低くなることが報告されている[20]．アイシング用具の冷却効果には，その材料の熱容量と共に融解熱が重要な要因となる．融解熱は，一定の量の物質が固体から液体に相転移する時に必要な熱量であり，0℃の氷が0℃の水に変化する時に非常に大きなエネルギーが必要となる．したがって，アイスバッグのように氷を用いたアイシングでは，コールドパック（氷のように溶けない）を用いるのに比べ冷却効率が高くなる．一般的に使用されているアイスバッグやコールドパックなどでは，高い冷却能力が期待できるが，強く冷やすことを目的とした製品であることもあり，アイシング実施期間中にある一定の温度帯を保つことは難しいと考えられる．Yanagisawaら[21]は，クーリングマシンを用いてパット内に循環する冷却水の温度を0℃，10℃及び20℃に設定し，温度を管理しながらアイシングした際の皮膚温の変化などについて検討している．その結果，すべての冷却温度で，冷却期間中（30分間），皮膚温は低下し続け，最終的にそれぞれ約18℃，約25℃，約28℃となった．いずれの方法においても, 用具材料の接触面の広さや初期温度, 熱容量（比熱），冷却部位の筋量や代謝活動による熱産生量，皮下脂肪による断熱性の違いなどが影響し，冷却温度の管理は容易でない．一方で，本研究で用いた定温材は，アイシング実施の初期（開始5分後程度）からその後実施終了までの時間において皮膚温をほぼ一定の温度帯に維持した. これは，相転移が起きる温度帯が異なるいくつかの材料を組み合わせることで実現しているが，皮膚の熱の変化を定温材の融解速度が変化することで相殺し皮膚の温度が一定に制御されたと推察される．

本研究では，すべての群で運動負荷側の皮膚温が非運動負荷側に比べて高くなった．このことから，運動によって，活動筋における熱産生増加により筋温が上昇し[22]，その熱の皮膚への移動により皮膚温が高まったことで定温材の冷却効果に影響を与えたと考えられる．しかしながら，その差は1℃～2℃程度と小さく，筋運動に伴って皮膚に伝達された熱の増加分の多くが相転移に用いられたと推察され，運動後の活動筋冷却において皮膚温を，一定時間一定の範囲に維持する効果が確認された．

また，20℃冷却群では上腕二頭筋上の皮下脂肪が厚いほど皮膚温が低くなった．このことは，皮下脂肪が断熱材となり，深部の骨格筋や血流で脂肪層の下に届いた熱の皮膚表面への伝導を小さくしたためであると推察される[23, 24]．10℃冷却群

では，より定温材の冷却能力が高く，皮下脂肪による断熱効果が相対的に小さくなったため，有意な相関関係を示さなかった可能性が考えられる．

一般的にアイシングは，氷水やアイスバッグなど用いられるが，水や氷の準備に手間を要する．コールドパックは有用と考えられるが，通常は表面温度が低く，皮膚の低温障害のリスクがあり温度管理は難しい．本研究で用いた定温材は，相転移現象により設定された温度を，運動の有無や皮下脂肪の厚みの影響は受けるものの，一定時間持続する能力が高いことが明らかとなった．このような定温材は，皮膚の低温障害のリスクは低く，10℃以下の低温でなければ，コールドパックなどと共に保冷バッグに保管することで屋外での利用も可能となることなど，温度管理や可搬性に優れることから，スポーツ現場でのアイシングに有用なツールとなる可能性が高く，導入が期待される．

4. まとめ

10℃及び20℃になるよう試作された定温材装着時の皮膚温は，おおよそ目標の温度で一定の温度を維持できていたため，アイシングの安全で効果的な適用手段として有用であると考えられる．その一方で，運動負荷や皮下脂肪厚の違いに若干影響を受けることが示唆されたため，今後更なる検討を要する．

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，被験者及び実験・分析に協力頂いた三重県立看護大学及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）Knight K.L.: Cryotherapy in sports Injury Management. Champaign, IL: *Human Kinetics*; 3-98（1995）

2）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）

3）Ryan T.J.: The blood vessels of the skin., *J. Invest. Dermatol*., 67:110-118（1976）

4）土屋明弘，佐藤謙次，小松絵梨子：アイシングの適応と注意点．臨床スポーツ医学，32（5）:484-487（1995）

5）笠原政志，山本利春：アスリートに必要なアイシングの方法－上肢－．臨床スポーツ医学，32（5）:500-504（1995）

6）松田直樹，椿貴裕：アスリートに必要なアイシングの方法－体幹・下肢－．臨床スポーツ医学，32（5）:506-511（1995）

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）Vieira A., Siqueira A.F., Ferreira-Junior J.B., do Carmo J., Durigan J.L., Blazevich A., Bottaro M.: The Effect of Water Temperature during Cold-Water Immersion on Recovery from Exercise-Induced Muscle Damage., *Int. J. Sports Med*., 37:937-943（2016）

11）Machado A.F., Ferreira P.H., Micheletti J.K., de Almeida A.C., Lemes I.R., Vanderlei F.M., Netto Junior J., Pastre C.M.: Can water temperature and immersion time influence the effect of cold water immersion on muscle soreness? a systematic review and meta-analysis., *Sports Med*., 46:503-514（2016）

12）山根基，加藤尊，大西範和：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．デサントスポーツ科学，39:94-102（2018）

13) Meeusen S., Lievens P.: The use of cryotherapy in sports injuries., *Sports Med*., 3:398-414 (1986)
14) McMaster W.C.: A literary review on ice therapy in injuries., *Am. J. Sports Med*., 5:124-126 (1977)
15) Mac Auley D.C.: Ice therapy: How good is the evidence?, *Int. J., Sports Med*., 22:379-384 (2001)
16) 時澤健, 岡龍雄：相転移型蓄冷材料を用いた手足冷却. 労働安全衛生総合研究所特別研究報告, 49:35-37 (2019)
17) Tipton M.J., Golden F.S., Higenbottam C., Mekjavic I.B., Franks C.M.: Temperature dependence of habituation of the initial responses to cold-water immersion., *Eur. J. Appl. Physiol*., 78:253-257 (1998)
18) Kanlayanaphotporn R., Janwantanakul P.: Comparison of skin surface temperature during the application of various cryotherapy modalities., *Arch. Phys. Med. Rehabil*., 86:1411-1415 (2005)
19) Mark A., Lisa S. Jutte, Michael E. Smith.: Cold Modalities with different thermodynamic properties produce different surface and intramuscular temperatures., *J. Athl. Train*., 38 (1) : 28-33 (2003)
20) Janwantanakul P.: The effect of quantity of ice and size of contact area on ice pack/skin interface temperature., *Physiotherapy*, 95:120-125 (2009)
21) Yanagisawa O., Homma T., Okuwaki T., Shimao D., Takahashi H.: Effects of cooling on human skin and skeletal muscle., *Eur. J. Appl. Physiol*., 100 (6) :737-45 (2007)
22) Blaine C.L., Mitchell L.C., Jody B.B., Timothy J.D., Marcus B.S.: Exercise and quadriceps muscle cooling time., *J. Athl. Train*., 40 (4) :260-263 (2005)
23) Otte J.W., Merrick M.A., Ingersoll C.D., Cordova M.L.: Subcutaneous adipose tissue thickness alters cooling time during cryotherapy., *Arch. Phys. Med. Rehabil*., 83:1501-1505 (2002)
24) Myrer W.J., Myrer K.A., Measom G.J., Fellingham G.W., Evers S.L.: Muscle Temperature Is Affected by Overlying Adipose When Cryotherapy Is Administered., *J. Athl. Train*., 36 (1) :32-36 (2001)