

消防活動の休憩時における効果的な身体冷却に関する研究

榎本 佑太朗*, 佐々木 航*, 持田 春人*

概要

消防隊員は熱中症の発症リスクが非常に高い職業である。火災現場では、長時間にわたり活動を実施する場合があります。消防隊員が熱中症を発症することなく活動を継続するためには、休憩時に体温をいかに低下させるかが重要となる。そこで、本調査研究は、消防活動における休憩時の効果的な身体冷却方法を明らかにすることを目的とした。

本研究の結果、消防活動時の休憩において、手掌前腕冷却及びアイススラリは身体冷却の方法として効果的であり、手掌前腕冷却、アイススラリ及び風冷を全て実施した場合、最も冷却効果が高いことが分かった。

1 はじめに

消防隊員は熱中症の発症リスクが非常に高い職業である。防火衣を着用して活動するため防火衣内に熱が溜まり、特に夏季では過酷な環境での活動を強いられる。火災現場では、長時間にわたり活動を実施する場合があります。消防隊員が熱中症を発症することなく活動を継続するためには、休憩時に体温をいかに低下させるかが重要となる。

スポーツの世界では、体温を効果的に下げる方法として手掌前腕冷却や水と微小な氷がシャーベット状に混ざった飲料であるアイススラリの有効性が示されている¹⁾。また、消防活動時の身体冷却方法として、アイススラリの有効性を示した研究もある²⁾。

しかし、これらの先行研究は、一般のアスリートを対象としたもの、また消防隊員に対するアイススラリのプレクーリングの有効性を示しているものであり、消防活動の休憩時における手掌前腕冷却やアイススラリの有効性を示しているものではない。

そこで本調査研究は、消防活動における休憩時の効果的な身体冷却方法を明らかにすることを目的とした。

2 方法

(1) 概要

20歳代から50歳代までの消防隊員を被験者として、暑熱環境において、防火衣完全着装で消防活動と同強度の運動を実施後、休憩時に各種

身体冷却を行い、それぞれの場合の体温の推移を比較した。身体冷却の種類は表1のとおり。なお、本研究は東京消防庁内に設置する倫理審査会の承認を得て実施した。

表1 本研究で実施した身体冷却

1	2	3	4	5
手掌前腕冷却	アイススラリ	風冷	全冷却	冷却なし

(2) 測定期間

令和6年11月5日から令和7年2月3日

(3) 被験者

東京消防庁に所属する男性消防隊員のうち、本研究を実施するにあたり同意を得られた計10名を被験者とした。年代の内訳及び平均年齢等を表2に示す。

表2 人数の内訳

年代	計(人)
20	1
30	6
40	1
50	2
計(人)	10
平均年齢	37.6歳
(標準偏差)	(±7.9歳)

(4) 場所

東京消防庁 幡ヶ谷庁舎 恒温恒湿室

(5) 環境条件

恒温恒湿室（三菱重工冷熱社製）にて、試験室（写真1）を室温 32℃、湿度 60% に設定した。これは、東京消防庁の所在する地域の 2020 年から 2022 年までの 7、8 月における最高気温の平均値である 31.2℃ を参考とした。湿度は、太陽近似光照射装置（反射型メタルハライドランプ）CMR360・L/BU-N・D-TYW（GS ユアサライトニング社製）が点灯可能範囲で、最も高湿度環境である 60% とした。運動時は、太陽近似光照射装置を用いて照射した。

前室は、室温 25℃、湿度 60% とした。これは夏日の閾値が 25℃ であり、試験室との差異を室温のみにするため、湿度については試験室と同じとした。試験室は壁一面から給気されており、被験者が運動する位置はほぼ無風である。



写真1 試験室

(6) 服装

アからウまでのとおりとした。前室で防火衣等の着装を行い、運動後に試験室で防火衣等を離脱した。

なお、防火衣等の離着脱及び前室と試験室の移動に計 10 分の時間を設け、10 分間のうちに離着脱が完了した場合は、試験室で待機することとした。

ア 待機（前室）

執務服を着装した状態とした。

イ 運動（試験室）

執務服、冷却ベスト（背部及び両前胸部に計 6 個の冷却剤）、防火衣上下、防火帽及び空気呼吸器を着装した状態（以下「完全着装」という。）とした。

ウ 防火衣等の離脱（試験室）

空気呼吸器、防火帽、防火衣上衣、手袋、執務服上衣及び冷却ベストを離脱し、T シャツ、防火衣下衣を着用した状態とした。

エ 休憩（前室）

T シャツ、防火衣下衣を着用した状態とした。

(7) 運動内容

本研究では、運動能力の個人差による影響が小さいことから踏み台昇降運動を採用した。踏み台昇降運動は、高さ 15 cm のステップ台を用いて、被験者にはメトロノームの出す 100bpm のリズムに合わせた昇降動作を 30 分間、完全着装で実施させた（写真2）。

(8) 運動中止基準

以下のア～エのいずれかの条件を満たした場合は、運動を中止することとした。なお、主観的指標は Visual Analogue Scale 法を用いて運動中に 10 分間隔で被験者に回答させた。心拍数は胸バンドに取り付けた測定器 H10（ポラール社製）から送信された値を測定者が随時確認した。

ア 被験者から運動継続が困難であると自己申告があった場合

イ 測定者が、被験者の運動継続が困難であると中止を判断した場合

ウ 直腸温度が 39.0℃ に到達した場合

エ 以下の(ア)から(ウ)の3項目のうち2つ以上が該当した場合

(ア) 直腸温度が 38.0℃ に到達した場合

(イ) 心拍数が以下の式で算出される値を超えた場合： $206.9 - (0.67 \times \text{年齢})$

(ウ) 暑さの主観的指標の値が 80 を超えた場合



写真2 運動内容

(9) 身体冷却

被験者は、運動 30 分及び防火衣離脱等の 10 分

消防活動の休憩時における効果的な身体冷却に関する研究

間後に休憩を 60 分間実施し、休憩中にそれぞれの身体冷却を実施した。各身体冷却の流れは図 1 のとおりである。また、全ての冷却条件で共通して、体重につき 8.4 ml/kg (合計) のスポーツドリンクを休憩開始時、休憩 20 分時点及び休憩 40 分時点の 3 回に分けて摂取した。

ア 手掌前腕冷却

室温 25℃の前室にて、常温水に両手掌及び両前腕を浸水させ、かつ両手で冷却材を挟み保持し座位の状態です 10 分間維持した (写真 3)。

イ アイススラリー

室温 25℃の前室にて、休憩開始時及び休憩 20 分時点にアイススラリー各 120g を摂取した。アイススラリーは、当該製品の摂取要領に従い、摂取 20 分前に冷凍庫から常温環境に取り出した。

ウ 風冷

風冷は、室温 32℃の試験室にてスポットクーラーを用いて実施した。災害現場を想定し、空調の効いた車両内でスポットクーラーを使用するのは現実的ではないため、風冷のみ試験室 (太陽近似光は消灯状態) にて実施した。座位の状態ですポットクーラーによる冷却を 30 分間実施した後 (写真 4)、前室に移動した。

エ 全冷却

全冷却は、室温 25℃の前室にて、手掌前腕冷却、アイススラリーの摂取及び風冷を全て実施した。防火衣等離脱してから前室に移動後、スポットクーラーによる風冷 30 分間を開始し、併行してアイススラリーの摂取 (計 2 回) 及び手掌前腕冷却 10 分間を実施した。

冷却方法	0分	20分	30分	60分		
冷却なし	<p>安静 (執務服)</p>	<p>着装開始 (防火衣・呼吸器)</p>	<p>運動開始 (完全着装)</p> <p>試験室内 32℃、60% 太陽近似光あり</p>	<p>運動終了</p> <p>防火衣等離脱 Tシャツ、防火衣下衣のみ</p> <p>試験室内 (32℃、60%) 待機</p>		
アイススラリー						
手掌前腕冷却 (rc)						
風冷						
全冷却						
冷却方法	70分	80分	90分	100分	110分	130分
冷却なし	- 休憩開始 (25℃、60%) - スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×2/3)		スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×1/6)		スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×1/6)	<p>実験終了</p>
アイススラリー	- 休憩開始 (25℃、60%) - スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×2/3) - アイススラリー120g摂取		- スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×1/6) - アイススラリー120g摂取		スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×1/6)	
手掌前腕冷却 (rc)	- 休憩開始 (25℃、60%) - スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×2/3) - rc開始 (10分間)	rc終了	スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×1/6)		スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×1/6)	
風冷	- 休憩開始 (25℃、60%) - スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×2/3) - 風冷開始 試験室内 (32℃、60%)		スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×1/6)	風冷終了 前室 (25℃、60%) に移機	スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×1/6)	
全冷却	- 休憩開始 (25℃、60%) - スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×2/3) - アイススラリー120g摂取 - rcと風冷開始	rc終了	アイススラリー120g摂取	風冷終了	スポーツドリンク摂取 (量: 体重×8.4×1/6)	

図 1 各身体冷却の流れ



写真3 身体冷却（手掌前腕冷却）



写真4 身体冷却（風冷却）

の時点）から5分ごとの各冷却条件の平均値を示す。



写真5 直腸センサ



写真6 深部温センサ

(9) 測定項目

ア 直腸温度

直腸温度は、高機能温度計及び直腸センサ（LT-2 及びLT-2N-11、共にグラム社製、写真5）を使用し測定した。センサを被験者の肛門に10cm 挿入し、経時的に測定した。温度データは、ロガーのデジタル画面に表示され、その画面を測定者が随時観察し記録した。

イ 深部温

深部温は、ベアーハガー深部温モニタリングシステム（3M 製、写真6）を使用した。前額部にセンサを貼り付け、その上から伸縮性テープを頭部に巻き固定した。温度データはセンサと接続されたコントロールユニットの液晶画面に表示され、その測定値を測定者が随時観察し記録した。

なお、本機器及び測定データについて、Biodata Bank 株式会社から提供を受けた。

3 結果

各測定項目について、運動終了時（図1、60分

(1) 直腸温度

運動終了時（図1、60分の時点）の直腸温度を基準とした変化量 ΔTD ($^{\circ}C$) を図2に示す。直腸温度は、全ての条件で運動終了後15分程度上昇し続け、その後低下に転じた。運動終了後の体温に最も早く戻ったのはアイススラリであった。休憩終了時（図1、130分の時点）において、直腸温度が最も低下したのは全冷却であり、次いで手掌前腕冷却、アイススラリ、冷却なし、風冷の順となった。

(2) 深部温

運動終了時（図1、60分の時点）の深部温を基準とした変化量 ΔTH ($^{\circ}C$) を図3に示す。深部温は、運動終了後すぐに低下し始め、休憩終了時（図1、130分の時点）において、全冷却の深部温が最も低下し、アイススラリ、手掌前腕冷却、冷却なし、風冷の順となった。

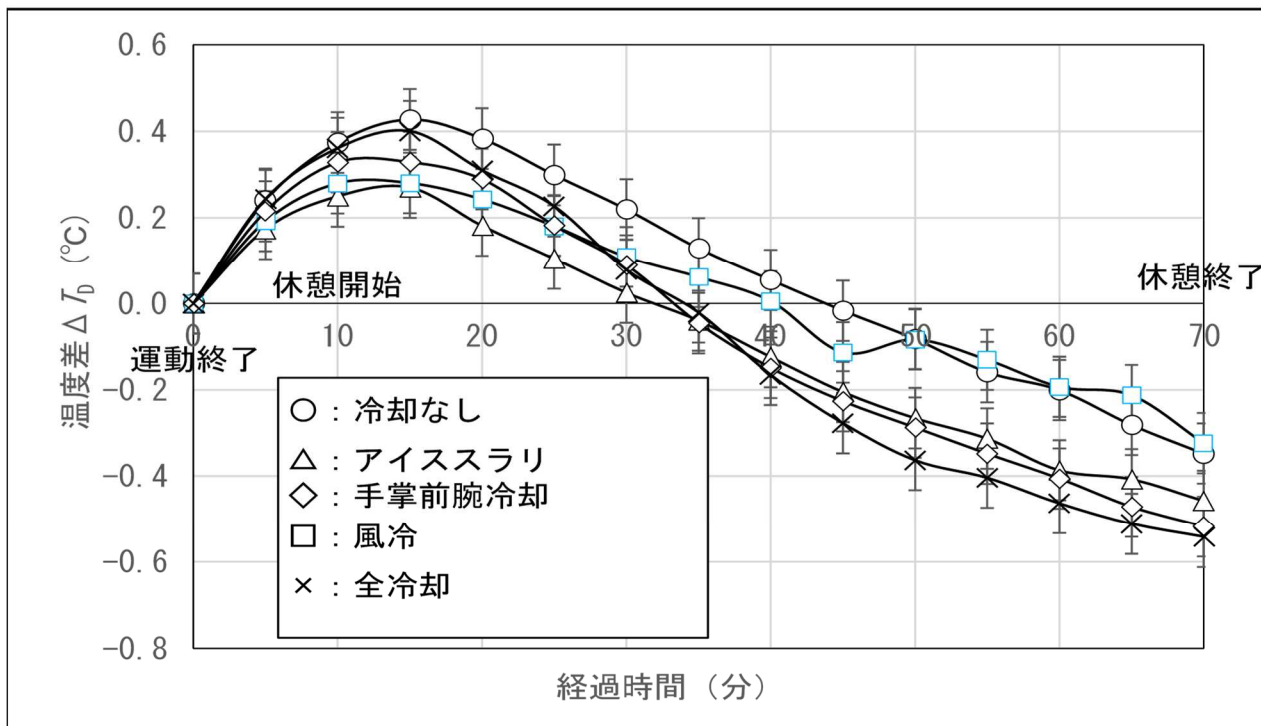


図2 直腸温度の変化(運動終了時基準)

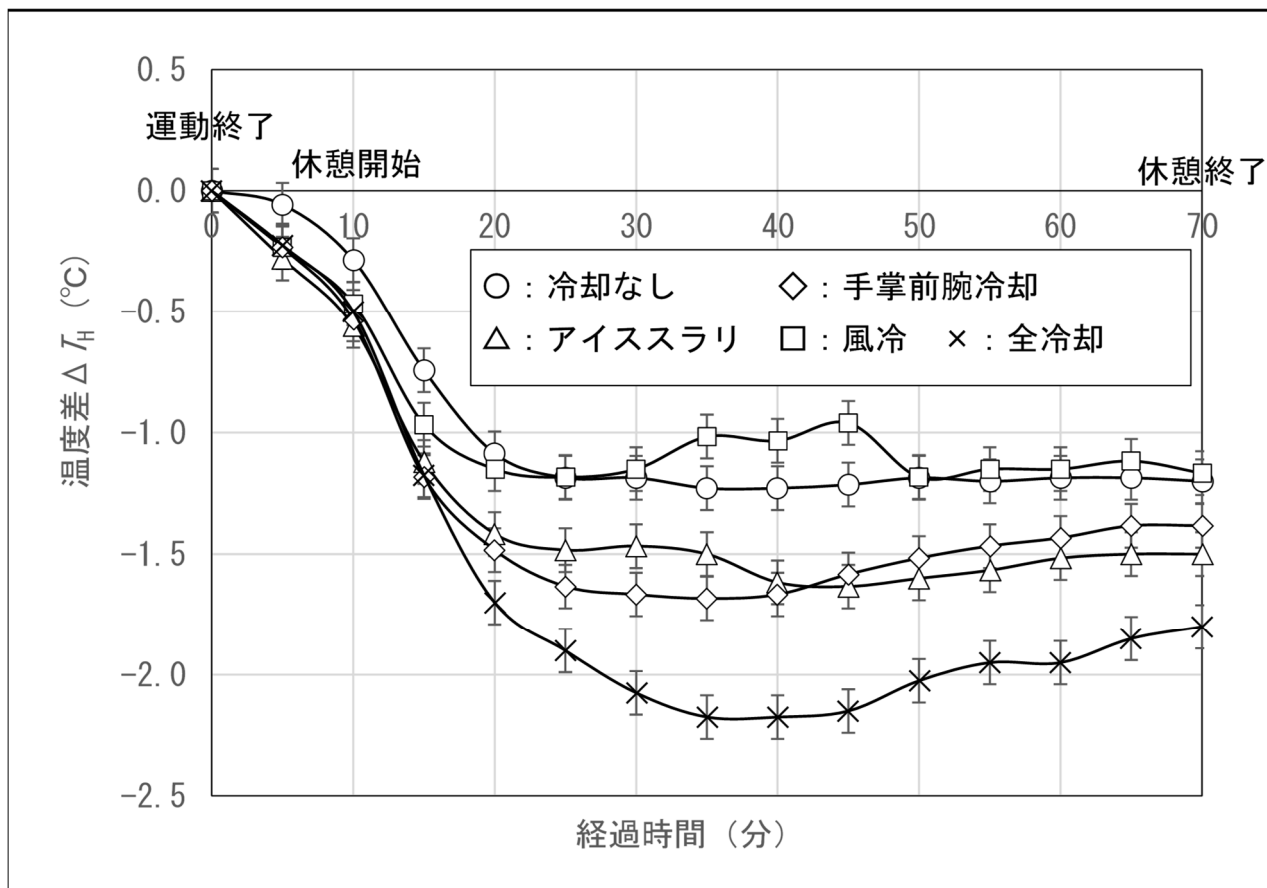


図3 深部温の変化(運動終了時基準)

4 考察

(1) 直腸温度について

直腸温度は、運動における体温変化に関する研究において多く用いられている測定項目である¹⁾。本研究では、消防活動を想定した運動及び休憩中の効果的な身体冷却方法を明らかにするために、体温として信頼性のある直腸温度を採用した。

本研究の結果、手掌前腕冷却、アイススラリ及び全冷却は、冷却なしと比較して、直腸温度が低下することが分かり、消防活動時の休憩において手掌前腕冷却、アイススラリ及び全冷却の身体冷却効果が認められた。理由として、手掌前腕冷却においては手掌及び前腕に存在する毛細血管を通じた効率的な熱交換が実施できたこと、アイススラリにおいては低温で流動性の高いシャーベット状の氷により体内から効率的に熱を奪うことができたことが考えられる。

また、全冷却においては、手掌前腕冷却とアイススラリの各効果が合わさったことにより、直腸温度がより低下したと考えられる。

一方、風冷については、冷却なしと比較して直腸温度の低下は認められなかった。むしろ、運動終了後 15 分時点では風冷の直腸温度が、冷却なしより約 0.2℃低いことを考慮すると、今回の実験では、風冷の効果は認められなかったともいえる。

本結果となった理由として、風冷を室温 32℃の環境で実施したためと考えられる。真夏の火災現場では、空調の効いた車内等でしか室温 25℃の環境は実現できず、車内の限られたスペースで、スポットクーラーや扇風機を稼働させることは現実的でない。そのため、本研究では屋外の日陰を想定し、室温 32℃の環境でスポットクーラーによる風冷を実施した。

一方、冷却なしでは、室温 25℃の前室で休憩を行っているため、両環境温度の違いにより身体冷却効果が逆転してしまったと考えられる。つまり、真夏の火災現場において風冷を実施する場合には、できる限り涼しい環境を用意する必要があるといえる。

最後に、本研究において直腸温度が、深部温と挙動が異なった理由として、直腸温度の変化に対する反応性が反映されたと考えられる。直腸温度は、温度変化に対する反応が遅いとも言われている³⁾。

本研究では、信頼性のある体温として採用したが、防火衣を着用して運動した場合の体温上昇程度は、スポーツと比較しても急なものであり、今後消防活動時の体温評価について、直腸温

度が適しているか検討する必要性が出てきた。

(2) 深部温について

本研究では、ベアーハガー深部温モニタリングシステムを用いて、深部温を測定した。本機器は肺動脈温と高い相関性のある体温の測定が可能といわれている医療機器である⁴⁾。本機器は頭部にセンサを貼付するため防火帽との干渉が懸念であったが、医療機器であるため精度の高い体温が測定できると考え、本機器を採用した。

本研究の結果、手掌前腕冷却、アイススラリ及び全冷却は、冷却なしと比較して深部温が低下することがわかり、また、風冷についても直腸温度と同結果となり、その理由は直腸温度で述べたとおりであると考えられる。

また、全冷却については、運動終了後 40 分の時点で、冷却なしと比較すると約 1℃の違いがあり、身体冷却方法を重ねることの有効性が明らかとなった。仮に、休憩後に活動を再開し、再度体温が上昇に転じることを考慮すると、この 1℃の違いは熱中症を防止するという観点で有利に働くと考えられる。

よって、医療機器で測定した体温からみても、消防活動時の休憩における手掌前腕冷却、アイススラリ及び全冷却の身体冷却効果が認められたといえる。

(3) 消防活動に適した身体冷却方法について

本研究の結果、手掌前腕冷却、アイススラリ及び全冷却の身体冷却効果が認められた。火災現場において、休憩を実施する際の服装として、Tシャツ及び執務服のズボンまたは防火衣下衣を着用する機会が多い。手掌前腕冷却及びアイススラリは、そのような服装で簡単に実施することができ、火災現場で実施する身体冷却方法として最適であると考えられる。

5 まとめ

消防活動時の休憩において、手掌前腕冷却及びアイススラリは身体冷却の方法として効果的であり、手掌前腕冷却、アイススラリ及び風冷を全て実施した場合、最も冷却効果が高い。

6 今後の課題

本研究では、30 分間の運動後に 60 分間の休憩を実施し、火災現場を想定した効果的な身体冷却効果を調査した。

しかし、実際の火災現場は、長時間にわたる場合が多く、活動を再開した体温の変動についても今後調査していく必要がある。

消防活動の休憩時における効果的な身体冷却に関する研究

[参考文献]

- 1) 国立スポーツ科学センター:競技者のための暑熱対策ガイドブック【実践編】,第1版,2020
- 2) 柳田信也:消防隊員の暑熱環境下におけるアイススラリー摂取による身体冷却効果,総合機器危機管理, No. 4, 79-84, 2020
- 3) 3M:「Patient Warming Voice Vol.4 周術期体温管理の理由とその方法」, <https://multimedia.3m.com/mws/media/16837760/patientwarmingvoice-vol-4.pdf> (参照:2025/4/3)
- 4) 3M:「3M ベアハガー深部温モニタリングシステム」, https://www.3mcompany.jp/3M/ja_JP/bair-hugger-jp/bhtms/ (参照:2025/4/3)