

特集 東京 2020 オリンピック・パラリンピック競技大会に向けた暑熱対策
～暑熱対策プロジェクト～

**第3章 各競技における東京 2020 オリンピック・パラリンピック
競技大会に向けた実践研究**

Practical in-field research for the Tokyo 2020 Olympic and Paralympic Games

中村大輔¹⁾

Daisuke Nakamura¹⁾

キーワード：クーリング, エリートアスリート, パフォーマンス

I. はじめに

アンケートの結果や最新の暑熱対策に関する知見を踏まえ、これまで紹介した暑熱環境下でのパフォーマンス発揮に役立つラボベースでの研究とともに、各競技団体と協力し、競技現場で暑熱対策の実践を行った。実際の競技現場で暑熱対策に関する実験を行うことによって、研究で効果が示唆されている方法を実践するためにはどのように試行すればよいか、また、予想した効果（生理学的指標、主観的な指標の双方）が得られるかどうかについても検討を行った。事前に実践研究を実施した競技は、自転車、ビーチバレーボール、セーリング、テニス、サッカー、フェンシング、ブラインドマラソンであった。本章では、自転車、ビーチバレーボール、セーリング、フェンシングについて述べる。

**II. 自転車ロードおよびビーチバレーボール
(運動前における冷却戦略；プレクーリング)**

1. 実施背景

屋外で行われる自転車長距離種目（ロード）は、東京大会において暑熱環境下でのレースが予想さ

れる。特にレース終盤におけるアップヒルの場面で勝敗を左右するレース展開となることが予想されることから、このタイミングで高体温とならないことが鍵となると考えられる。一方、屋外球技種目であるビーチバレーボールは、砂地の上でスパイクやブロックを連続して行う競技であり、試合中はこれらのパフォーマンス発揮を継続して行うことが求められる。さらに、他の屋外球技種目と異なり、日射の影響をより強く受けるウェアを着用していることもあり、競技時間の長・短に関わらず、高体温に対する事前の対策が必要である競技といえる。従って両競技とも、アイススラリイを用いて運動前に深部体温を低下させることが、その後のパフォーマンス発揮や運動中の主観的な温熱感覚に対して効果的に作用する可能性は十分に考えられた。

そこで本研究は女子自転車長距離日本代表選手および男子ビーチバレーボール日本代表選手を対象として、それぞれの競技種目のタイムスケジュールを考慮して運動前にアイススラリイ摂取を行った際の深部体温の低下について検討することを目的とした。

¹⁾日本サッカー協会

¹⁾Japan Football Association

E-mail : daisuke.nakamura@ac.cyberhome.ne.jp

2. 実験方法

対象は女子自転車長距離日本代表選手1名(年齢;43歳、身長;164.7cm、体重50.5kg)および男子ビーチバレーボール日本代表選手6名(年齢;28.5±2.1歳、身長;186.5±3.5cm、体重;86.3±6.0kg)とした。

各競技におけるプレクーリングの効果を検証するため、練習前に体重1kg当たり7.5gのアイススラリーを摂取した場合としなかった場合で深部体温の測定を行った。自転車競技におけるアイススラリーの摂取はこれまでの先行研究同様、体重1kgあたり7.5gの量を5分おきに6回に分けて摂取した。一方、ビーチバレー競技は実際の競技におけるタイムスケジュール等を考慮し、7.5gの量を5分間隔で2回摂取した。摂取前(pre)と摂取後(post)における深部体温の変化を記録した。なおアイススラリー摂取中は座位安静とした。

3. 結果

図1に自転車選手におけるアイススラリーを摂取した場合としなかった場合での深部体温の変動を示した。自転車選手における深部体温はアイススラリーを摂取しなかった場合と比較して、摂取した場合に0.3℃低値を示した。図2に、ビーチバレーボール選手の深部体温の変動を示した。ビーチバレー選手における深部体温はアイススラリーを摂取しなかった場合と比較してほとんど差異が見られなかった。

4. 研究で得られたこと

女子自転車長距離日本代表選手および男子ビーチバレーボール日本代表選手を対象として、屋外の暑熱環境下での練習時における運動前のアイススラリー摂取が深部体温の低下に及ぼす影響を検討した結果、自転車競技選手では約0.3℃低下したが、ビーチバレーボール選手では深部体温の低下は見られなかった。このことから、ビーチバレーボール日本代表選手については、深部体温の低下効果が期待できない可能性が示された。

先行研究では、単回摂取より複数回に分けて摂

取した方が深部体温の低下効果が大きい²⁾ことが明らかとなっていたが、本研究の男子ビーチバレーボール日本代表選手では深部体温の低下が認められなかった。この背景として、ビーチバレーボール選手の体格(身長186.4±3.1cm、体重86.4±6.3kg)が先行研究の対象者と大きく異なること、実際の試合を模したタイムスケジュールだと深部体温が冷却するまでの十分な時間が確保できないなどの理由が考えられた。

また、女子自転車長距離日本代表選手におけるプレクーリングでは深部体温の低下が認められた。この結果は、先行研究を支持するものであったが、その後のパフォーマンステストでは有意な差が認められなかった。この点に関しては、パフォーマンステストが短時間であったことが要因として考えられるが、運動前のプレクーリングが深部体温の低下に効果的であることを生理学的な側面からも選手やコーチに理解して頂けた。

これらの結果を踏まえ、それぞれの競技団体に東京大会においてこのような暑熱対策を行うことを想定しながら日々の練習を行っていくことを確認した。

Ⅲ. セーリング(運動間における冷却戦略)⁹⁾

1. 実施背景

セーリング競技の中でもウィンドサーフィンは20分程度の休息を挟みレースが複数回実施される競技種目である。その他の屋外競技同様、外的要因(風、気温、波の高さなど)によってそのパフォーマンス発揮が左右されることが予想される。実際に、セーリングの競技を模した運動プロトコルを暑熱環境下で行った実験では、運動直後の深部体温が39℃を超えることが報告されている。従って、ウィンドサーフィンにおいても外気温が高く風速が弱い気象条件下では高体温となるリスクが高くなる可能性が考えられ、レース間における冷却戦略がその後のパフォーマンス発揮を考える上で重要となると思われる。また、NFに対しての事前ヒアリングでも、運動間の冷却戦略がレースを行う上で重要であることや、着用する

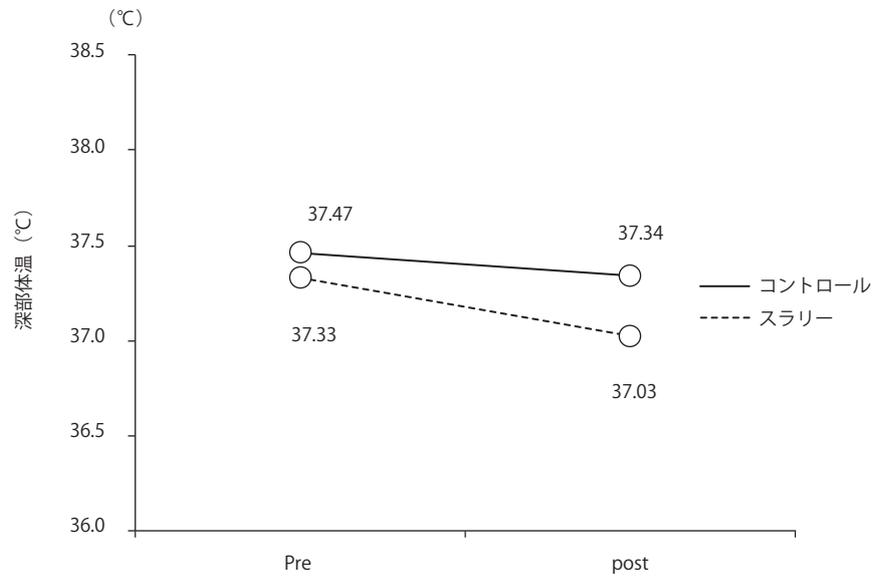


図 1. 自転車日本代表選手における深部体温の変化

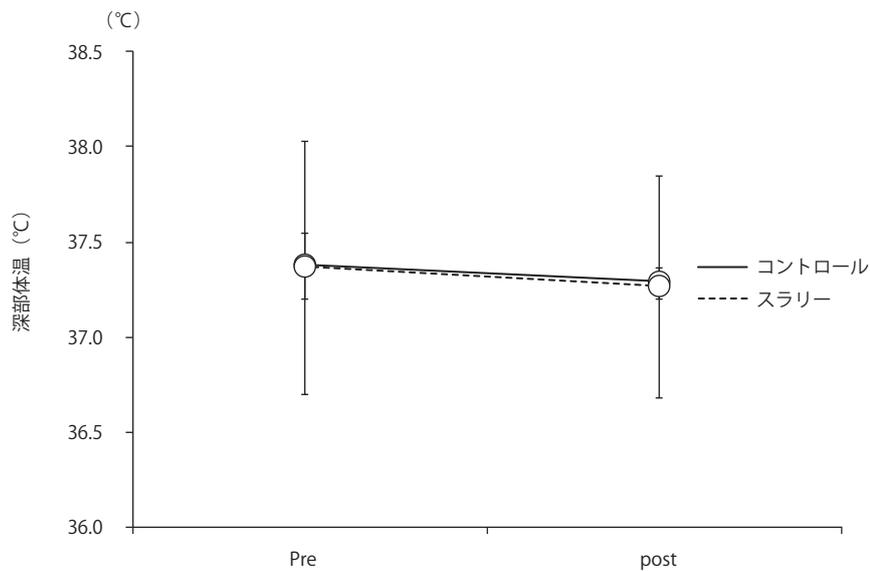


図 2. ビーチバレー日本代表選手（男子）における深部体温の変化（平均値 ± 標準偏差）

ウェアの重量制限があることから、実施可能な暑熱対策に制限が生じることを捉えていた。しかしながら、これまでの研究においてセーリング選手を対象としたレース間の身体冷却が生理学的指標や主観的指標に与える影響を検討した例は我々が知る限りなかった。

そこでレース間における身体冷却が深部体温の低下や温熱感覚の軽減に対して効果的であるという仮説のもと、ウィンドサーフィンのレース間において、外部冷却、内部冷却を組み合わせた身体冷却が、生理学的指標および主観的な指標に与える影響を検討した。

2. 実験方法

対象は女子ウィンドサーフィン日本代表選手1名とした。東京大会でのレース形式と同様に、コーチが設定したコースを2往復するレースを20分間の休息を挟み2回行う運動を行った。1回目と2回目のレースの合間に、船上にて10分間の頸部冷却+前腕冷却 (NA 条件)、頸部冷却+前腕冷却+アイスラリー摂取 (NAS 条件)、および安静 (CON 条件) の3条件にて冷却介入を行った。2回目のレースが終了した後も同様の方法で介入を行い、それぞれの介入期間における生理学的指標の変化および主観的な指標の変化について検討を行った。

3. 結果

NA 条件、NAS 条件および CON 条件における気象条件、トレーニング時間および各指標の変化を表1に示す。NA 条件および NAS 条件における深部体温は10分間の介入時間にて、1回目の休息後および2回目の休息後でそれぞれ、 -0.3°C および -0.4°C の低下を示した。一方、CON 条件は2日目の介入時において、 0.1°C 上昇した。温熱感覚は、NA 条件時において1回目と2回目それぞれで10および9ポイント低下した。一方、CON 条件における低下は1回目と2回目それぞれ6および4ポイントであった。

4. 研究で得られたこと

ウィンドサーフィンの競技中は、着用する衣服の重量制限があることから、アイスバストを着用した状態で競技を行うことができない。一方、船上で10分程度の休息が許されていることから、複数の手段を用いた冷却戦略の実施が可能であることに着目し、外部冷却と内部冷却の組み合わせ、すなわち、アイスバストと前腕冷却およびアイスラリー摂取を船上で行った。研究の結果、CON 条件と比較して NA 条件および NAS 条件において深部体温の低下率や温熱感覚の軽減も大きいことを確認した。また、前腕冷却は深部体温の低下をより促進させる目的で実施したが、対象者

からは前腕部の冷却が、1回目のレース中のパンピング動作による筋疲労の軽減効果もあるのではないかというポジティブな感想を得た。このことは、暑熱対策 (高体温抑制目的) として行う前腕冷却が、パフォーマンス発揮を高めるための手段としての効果をもつ可能性が示され、新たな発見でもあった。

IV. フェンシング (屋内競技における冷却戦略、運動間における冷却戦略)

1. 実施背景

フェンシング競技は屋内競技であるが、環境条件によっては深部体温が過度に上昇する危険がある³⁾。その背景として、試合時に着用するウェアが熱放散を妨げることが考えられている。東京大会の会場では、空調が利用されることから屋外種目で懸念されるような過度な体温上昇となるリスクは軽減されると想像できる。しかし、フェンシングの国際大会での映像を見ると試合中の発汗量が多いこと、先に行ったアンケートの結果においても、試合中、トレーニング中を問わず、身体冷却や水分補給を積極的に行っている。⁴⁾ これらのことから、他の暑熱環境下で実施される競技種目と同様に、フェンシング競技における効果的な冷却戦略を模索することは有意義であると考えた。

そこで、本研究では、空調が利用された環境下におけるエリートフェンシング選手の練習中の深部体温に関するデータを収集するとともに、アイスラリーを練習前と練習中に摂取することが、選手の深部体温や主観的な感覚にどのような影響を与えるか検討を行った。

2. 実験方法

対象はフェンシング男子ユニバーシアード代表選手4名とした。気温 $26\sim 27^{\circ}\text{C}$ 相対湿度 $50\sim 57\%$ 、WBGT 23°C の環境下にて行われた練習中において、練習前および練習中においてアイスラリーを摂取した場合とスポーツドリンク (4°C) を摂取した場合における、深部体温や温熱感覚などの比較をおこなった。練習前のアイス

表 1. 各条件における気象条件, 練習時間および主観的・生理学的指標の変化

| NA 条件 (Wb; 27.6, Ta; 28.4, Rh; 87.0, W; 3~4m/min) (TR 時間; 1 回目 27 分・2 回目 25 分) | | | NAS 条件 (Wb; 28.0, Ta; 28.9, Rh; 83.5, W; 6~7m/min) (TR 時間; 1 回目 19 分・2 回目 13 分) | | | CON 条件 (Wb; 29.1, Ta; 31.3, Rh; 69.7, W; 3~4m/min) (TR 時間; 1 回目 25 分・2 回目 24 分) | | |
|--|------|------|---|------|------|---|------|------|
| | 温熱感覚 | 深部体温 | | 温熱感覚 | 深部体温 | | 温熱感覚 | 深部体温 |
| TR 1 スタート | 0 | 37.7 | TR 1 スタート | 0 | 38.3 | TR 1 スタート | 3 | 38.0 |
| TR 1 End | 8 | 38.7 | TR 1 End | 3 | 38.5 | TR 1 End | 8 | 38.7 |
| 介入 1 End | -2 | 38.5 | 介入 1 End | -3 | 38.2 | 介入 1 End | 2 | 37.2 |
| TR 2 End | 8 | 38.8 | TR 2 End | 4 | 38.4 | TR 2 End | 9 | 38.7 |
| 介入 2 End | -1 | 38.4 | 介入 2 End | -2 | 38.1 | 介入 2 End | 5 | 38.4 |

Wb; WBGT, Ta; 気温, Rh; 相対湿度, W; 風速, TR; レース形式の練習, 介入; 冷却または冷却なしの介入。
NA; 頸部 + 前腕冷却, NAS; NA+ アイススラリー摂取, CON; 冷却なし。



写真 1. 海上で冷却介入を行っている様子 (NAS条件)

ラリー摂取は体重 1kg あたり 7.5g の量を 2 回に分けて摂取し、その後の練習中にも、適宜選手がアイススラリーを摂取できるようにした。

3. 結果

表 2 に空調が効いた環境 (WBGT が警戒域 (> 29°C) 以下) におけるフェンシングのスパリング形式の練習時における、自覚的運動強度 (RPE)、温熱感覚、深部体温およびスパリング後の深部体温の上昇率 (Δ) を示す。空調が効いた環境下であってもフェンシングのスパリング時における

深部体温は 39°C を超えることが確認された。また、試合形式のトレーニング (スパリング) の継続時間が長くなると、深部体温の上昇度も大きくなる傾向が認められた (図 3)。

4. 研究で得られたこと

本研究の測定結果から、空調を利用した室内での練習中であっても、深部体温は屋外での暑熱環境下での他の運動と同様に、過度に上昇 (> 39°C) する可能性が示唆された。練習中の深部体温の変動に関しては、毎回異なる練習内容であっ

表2. スパーリング形式の練習時における、自覚的運動強度 (RPE)、温熱感覚、深部体温およびスパーリング後の深部体温の上昇率 (Δ)

| 時間 | トレーニング内容 | 自覚的運動強度 (RPE) | 温熱感覚 | 深部体温 | 試合時間 | スパーリング後の深部体温の上昇率 Δ |
|-------|-----------|---------------|------|-------|------|---------------------------|
| | Pre | | 2 | 37.2 | | |
| | スラリ-飲み終わり | | 0 | 37.34 | | |
| 10:08 | スパーリング開始 | 10 | 2 | 37.79 | | |
| 10:18 | スパーリング終了 | 12 | 4 | 37.89 | 10分 | 0.08 |
| 10:45 | スパーリング開始 | 12 | 1 | 37.83 | | |
| 10:48 | スパーリング終了 | 14 | 3 | 37.79 | 3分 | -0.04 |
| 10:58 | スパーリング開始 | 14 | 0 | 37.92 | | |
| 11:07 | スパーリング終了 | 15 | 5 | 38.06 | 9分 | 0.14 |
| 11:12 | スパーリング開始 | 14 | 4 | 38.21 | | |
| 11:20 | スパーリング終了 | 16 | 6 | 38.42 | 8分 | 0.21 |
| 11:29 | スパーリング開始 | 14 | 5 | 38.69 | | |
| 11:43 | スパーリング終了 | 18 | 8 | 39.23 | 14分 | 0.54 |

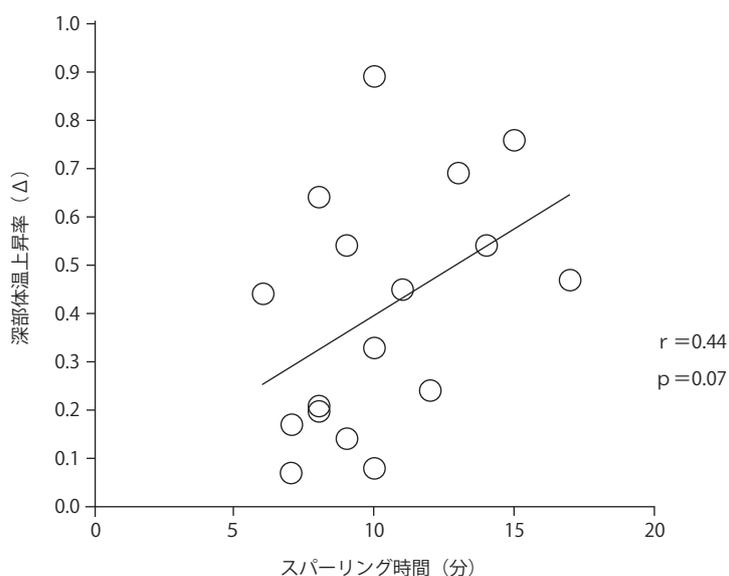


図3. 試合形式のトレーニング (スパーリング) 時間と深部体温の上昇率との関係

たことから、事前のアイススラリーの摂取効果や練習中における飲料の違いによる効果の差異を検討することは難しい。しかし、実験終了後に行ったアンケートでは、“アイススラリー摂取をおこなうことで、パフォーマンス発揮が行い易くなった” “アイススラリーの方が体温も下がって、頭

もすっきりするような気がした” したというポジティブな返答を得た。その一方で、“一度に多くの量を摂取することができないので、スポーツドリンクと一緒に飲むと効果的だと感じた” など、アイススラリー摂取に対して、実際の練習の場で活用した際の率直な感想も得ることができた。こ



写真 2. 送風機を利用した外部冷却

これらの感想は、実験を行いながら、選手自身に暑熱対策の効果を体感してもらったこと、その裏付けとも考えられ、大変有意義であったと思われる。

また、スパーリング形式の練習を行なう時間が長くなると、それに伴う深部体温の増加度も大きくなる傾向が認められた。この点に関しても新たな発見であり、深部体温の低下効果の高いアイススラリーを摂取することの有用性⁶⁾を後押しするデータとなった。

これまでフェンシングチームでは身体冷却の方法として送風機を用いた外部冷却（図 2）を活用していた背景がある。この背景には前述の通り、競技中のウェアの問題や前腕冷却を含め、広範囲の外部冷却が行えないといった理由が挙げられる。しかし、本研究で得られた結果は、フェンシングの競技特性を踏まえた新しい外部冷却と内部冷却の双方を組み合わせた冷却戦略の有用性を支持する間接的なデータとなった。このことは来るべき東京大会におけるフェンシングチームの冷却戦略としての一助となると考えられた。

V. まとめ

東京大会において暑熱環境下でのパフォーマンス発揮が求められる競技種目を対象として、それぞれの競技特性を考慮した暑熱対策に関する実践研究を行った。本研究で行った実践的な方法では、必ずしもラボベースで得られているような生理学

的な効果を再現できるわけではないということが示唆された一方で、アイススラリーや前腕冷却などの方法は、これまで選手達が行ってきた冷温での水分補給や頸部へのアイシングなど方法よりも主観的な冷却効果が高くなることが明らかになった。暑熱環境下でのパフォーマンス発揮に際して、より高いレベルで主観的な冷却効果を得られることは、同環境下におけるパフォーマンス発揮に際してより有益に働くことが予想される。従って、本研究で行ったような暑熱対策をオリンピック本番でも行うことは有意義であると考えられた。また、本章で紹介した実践研究の成果は、今回の研究対象に含まれていなかった他の競技種目の選手達にも有意義であると考えられたため、「競技者のための暑熱対策ガイドブック実践編」に詳細を掲載した⁷⁾。併せて参照されたい。

文献

- 1) 国立スポーツ科学センター東京特別プロジェクト研究プロジェクトメンバー編. 競技者のための暑熱対策ガイドブック(実践編). 日本スポーツ振興センターハイパフォーマンススポーツセンター国立スポーツ科学センター, 2020.
- 2) Naito T, Ogaki T. Pre-cooling with intermittent ice ingestion lowers the core temperature in a hot environment as compared with the ingestion of a single bolus. *J Therm Biol*, 59: 13-17, 2016.
- 3) 中村大輔, 長谷川博, 中村真理子, 萩原正大, 高橋英幸. 温暖環境下におけるエリート女子セーリング選手を対象としたレース間の冷却戦略が生理学的指標および主観的指標に与える影響. *Journal of High Performance Sport*, 4: 145-153, 2019.
- 4) 中村大輔, 田名辺陽子, 高橋英幸. 日本人トップアスリートにおける暑熱対策に関するアンケート調査. *Sports Science in Elite Athlete Support*, 3: 39-51, 2019.
- 5) 新矢博美, 芳田哲也, 高橋英一, 常岡秀行, 中井誠一. 高温下運動時の体温調節反応に及ぼ

- すフェンシングユニフォームの影響. 体力科学, 52(1): 75-88, 2003.
- 6) Siegel R, Mate J, Brearley MB, Watson G, Nosaka K, Laursen PB. Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the heat. Med Sci Sports Exerc, 42(4): 717-725, 2010.