

事例・症例報告

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

Effect of cooling strategy on physiological and perspective response of elite woman
sailing athlete during exercise in warm environment: a case study

中村大輔^{1),2)}, 長谷川博³⁾, 中村真理子⁴⁾, 萩原正大^{5),6)}, 高橋英幸⁴⁾
Daisuke Nakamura^{1),2)}, Hiroshi Hasegawa³⁾, Mariko Nakamura⁴⁾,
Masahiro Hagiwara^{5),6)}, Hideyuki Takahashi⁴⁾

Abstract: This case study aimed to investigate a method of effective body cooling between races in a female windsurfer in the Japanese National Team. The participant underwent race training in which they windsurfed two round trips on a course set by the coach. A resting period of approximately 20 minutes was set between the 1st and 2nd races and the cooling intervention was performed for 10 minutes under the following 3 conditions: (1) neck cooling with ice pack and forearm and hands water immersion up to the elbow in water (10°C). (NA condition); (2) neck and forearm cooling and ice slurry ingestion with 4 g·kg⁻¹·BW (NAS condition); and (3) control condition without any intervention (CON condition). The results of this study showed that although the decline in core temperature was almost the same among the three conditions, the percent decline rate in HR and the decline of subjective thermal sensation was bigger in the NA and NAS conditions compared with the CON condition during the intervention period. Accordingly, these findings in this study may be used as a basic indication of effective counter measures during actual windsurfing competitions in female elite windsurfers in the heat.

Key words : hot environments, cooling strategy

キーワード : 暑熱環境, 冷却戦略

¹⁾立教大学, ²⁾株式会社ウェザーニューズ, ³⁾広島大学, ⁴⁾国立スポーツ科学センター, ⁵⁾公益財団法人日本セーリング連盟, ⁶⁾公益財団法人日本オリンピック委員会

¹⁾Rikkyo University, ²⁾Weathernews Inc., ³⁾Hiroshima University, ⁴⁾Japan Institute of Sports Sciences, ⁵⁾Japan Sailing Federation,

⁶⁾Japan Olympic Committee

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

受付日 : 2019年6月17日

受理日 : 2019年11月5日

I. 緒言

深部体温の上昇、いわゆる高体温が運動継続の制限因子であることはよく知られている⁴⁾。暑熱環境下では運動時の体熱産生に加え、外気温や湿度などの影響が加わり高体温となるリスクが増加する。したがって、暑熱環境下における過度な高体温を防ぐために運動前後や運動間（休息時）および運動中に身体冷却や水分補給などに代表される暑熱対策が行われている¹²⁾。また、深部温の上昇と合わせて皮膚温の上昇も運動の制限因子となることが報告されている¹⁴⁾ことから、暑熱環境下におけるパフォーマンス発揮においては、深部温、皮膚温の双方に着目して冷却戦略を考えることが重要である。

近年、液状の水と液体成分が混合しているアイススラリーを運動前に摂取することで、より効率的に深部温が低下することが報告されている^{16),18)}。このアイススラリー摂取は身体の内部から冷却を行うため内部冷却と呼ばれ、深部温に加え主観的な温熱感覚も低下させる^{10),11)}ことから、有益な暑熱対策として考えられている。これまでのアイススラリー摂取に関する研究^{10),11)}では、体重1kgあたり7.5gの量を摂取しているが、実際の競技現場、特にレースや試合間における冷却手段として用いる際には、この量を短時間で摂取することが難しい。また、大量摂取による胃腸などの不快感が誘発される可能性も否定できないことなどから、アイススラリー摂取に関しては考慮すべき点が多いのが現状である²³⁾。しかし、たとえ少量の摂取であっても、実際の競技現場で冷却手段としてトップアスリートに用いられている頸部冷却や鼠径部冷却¹²⁾、手掌^{5),6)}、および前腕冷却^{1),8)}に代表される外部冷却と組み合わせることによって、外部冷却の効果をさらに促進し温熱ストレスを軽減できる可能性は十分に考えられる。しかしながらこれまでの研究で外部冷却と内部冷却を組み合わせた検討は、我々が知る限り報告されていない。

セーリング競技の一種であるウィンドサーフィンは、海面に設置されたマークと呼ばれるブイを

回りフィニッシュラインまでの着順を競う。夏季五輪では1日にこのレースを約10～20分程度の休息を挟み3回行ない、それを4日間継続する。4日間のレースの上位者がメダルレースと呼ばれる最終レースへ進出することができる。ウィンドサーフィンは風を利用して推進力を得るが、風が弱い時には推進力を得るための方法として帆をリズムカルに動かして行うセールパンピング（Sail Pumping；SP）を行う。先行研究ではSPを行った場合と行わない場合での生理学的な負荷が検討されており、前者の方が循環系の負荷が高くなることや、上半身および下肢の筋をより動員して行われることが指摘されている^{21),22)}。さらに、2020年夏季東京五輪の環境を実験室内でシミュレートし、実際の競技を模した運動中の温熱ストレスに関する検討²⁰⁾では、深部温や自覚的な温熱感覚が通常環境下（18℃）と比較して、暑熱環境下において上昇したことが報告されている。従って、暑熱環境下でのウィンドサーフィンのレース時には、限られた時間でいかにレースによる疲労の蓄積や温熱ストレスを軽減するためのリカバリー戦略を行うことができるかが重要となる。しかしながらウィンドサーフィン選手を対象として、実際のレースが行われる屋外におけるレース間のリカバリー戦略、特に暑熱環境下における温熱ストレスの軽減に着目してその効果を検討した例はない。

そこで本研究は、実際の国際大会を模したレース間において、実践可能な外部冷却やそれにアイススラリーを用いた内部冷却を組み合わせた冷却介入が、ウィンドサーフィン選手の生理学的指標および主観的な指標にどのような影響を与えるか検討することを目的とした。

II. 方法

1. 対象

対象はエリート女子ウィンドサーフィン選手1名とした（2018年7月時点、世界ランキング17位）。事前に実験の趣旨を十分に説明し、参加の同意を得た。本実験は国立スポーツ科学センター

(JISS) の人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を受けて実施した。

2. 実験デザイン

実験は平成 30 年 7 月 19 日、21 日および 22 日の 3 日間にて行った。対象者は実験開始 1 時間前にクラブハウスに到着したのち、体重計測および無線型心拍計を装着した。その後、2020 年東京五輪においてセーリング競技が行われる神奈川県江ノ島沖へ移動し、コーチが設定したコースを 2 往復するレース形式の練習を 2 回 (TR1 および TR2) 行った。1 回目と 2 回目のレース形式の練習の合間 (介入 1) および 2 回目のレース形式の練習終了後 (介入 2) に 10 分間の休息を設け、3 種類の介入を行った。3 種類の介入条件は外部冷却介入 (NA 条件; 頸部冷却 + 前腕冷却、19 日)、外部冷却および内部冷却の組み合わせ (NAS 条件; 頸部冷却 + 前腕冷却 + アイススラリー摂取、21 日)、および冷却なしのコントロール条件 (CON 条件、22 日) とした。3 日間の介入条件はランダムに決定したが、実験初日 (NA 条件; 19 日) とそのほかの NAS 条件 (21 日) および CON 条件 (22 日) の気象条件が大きく異なるないように、適宜開始時間を決定した。特に、風速の有無がウィンドサーフィンのパフォーマンス発揮に大きく影響を与えることから、3 日間での風速が出来る限り同程度となることが予想される時間帯に開始時間を設定した。また、パフォーマンス発揮の日内変動を考慮し、それぞれの実験開始時間は午前中 (おおよそ 10 時から 11 時) の間で設定した。それぞれの介入期間において深部温、温熱感覚の測定を行い、実験期間中は心拍数の測定を継続して行った。

3. 測定項目

1) 深部温

深部温の測定は中核体温モニタリングシステム (Wireless Core Body Temperature Monitoring Data Recorder, HQInc, FL, USA) およびワイヤレス・カプセル温度センサー (CorTemp® Ingestible

Core Body Temperature Senso, HQInc, FL, USA) を用いて計測した。対象者は実験前日の就寝前に温度センサーを飲用した。深部温の測定は、船上にて TR1 開始時 (TR1 スタート)、TR1 および TR2 終了時 (TR1 End, TR2 End)、および介入終了時 (介入 1 End および介入 2 End) とした。TR1 End および TR2 End の深部温をそれぞれ介入 1 および介入 2 のスタート時の深部温とし、介入 1 End および介入 2 End の値と比較した。

2) 心拍数

心拍数の測定は無線型心拍計 (Polar A200, Polar Electro, Kempele, Finland) を用いて行った。

3) 温熱感覚

温熱感覚は 21 段階のスケールを用いて行った (-10; 非常に寒い, 10; 非常に暑い, 0; どちらでもない)²⁴⁾。測定のタイミングは、深部温の測定と同様に、TR1 および TR2 終了時 (TR1 End, TR2 End)、および介入終了時 (介入 1 End および介入 2 End) とした。

4) 環境条件の測定

外気温、相対湿度および暑さ指数 (湿球黒球温度; WBGT: Wet Bulb Globe Temperature) の測定は黒球式熱中症指数計 (熱中アラーム TT-562GD、タニタ、東京) を用いて行った。

4. 冷却方法

1) 前腕冷却

折りたたみ式バケツに 5L の水を用意し、その中に手掌部および前腕部 (肘まで) を浸水した。水温は約 13℃となるように調節した。

2) アイススラリー

アイススラリーは市販のスポーツドリンク (ポカリスエット、大塚製薬、東京) を用いて、グラニータマシーン (EIMECO BigBiz1、FMI、東京) で作成した。アイススラリーの摂取量は体重 1kg あたり 4g とした。なお、アイススラリー条件以外の 2 条件はアイススラリーと同種類の飲料 (約 29℃) の摂取を行った。

3) 頸部冷却

頸部の冷却は、頸部とアイスパックを頸部に

密着させタオルで固定した。アイスパックは約-1℃であり、左右の頸動脈に密着させる形で固定した。アイスパックは陸上で冷凍させ、船上で使用する直前にクーラーボックスから取り出した。

Ⅲ. 結果

1. 気象条件およびレース形式の練習時間

NA条件、NAS条件およびCON条件における気象条件、レース形式の練習時間および各指標の変化を表1に示す。気象条件は、CON条件が最もWBGTが高く次いで、NAS条件、NA条件であった(NA条件: 27.6℃、NAS条件: 28.0℃、CON: 29.1℃)。実験期間中の風速はNAS条件が最も強かった(NA条件: 3~4 m/s、NAS条件: 6~7 m/s、CON条件: 3~4 m/s)。レース形式の練習時間は風速の最も強かったNAS条件が最も短く(1回目19分、2回目13分)、NA条件とCON条件はほぼ同時間であった(NA条件: 1回目27分、2回目25分、CON条件: 1回目25分、2回目24分)。

2. 深部温

実験期間中の深部温の変動を図1に示す。NA

条件における深部温は10分間の冷却介入によって、1回目の介入後および2回目の介入後でそれぞれ、0.2℃および0.4℃の低下を示した。同様に、NAS条件においても、1回目の介入後および2回目の介入後でそれぞれ0.3℃の低下であった。一方、CON条件では1回目の介入後に1.5℃の低下を示したのち、2回目の介入後では0.3℃の低下を示した。

3. 心拍数

心拍計の不調によりNA条件時の測定結果が得られなかった。NAS条件におけるレース形式の練習時における平均心拍数は、1回目144 ± 14拍、2回目140 ± 11拍であった。同様にCON条件では1回目160 ± 19拍、2回目152 ± 18拍であった。また、NAS条件における冷却介入時の心拍数低下率((100 - (介入終了時の心拍数 / 介入直前の心拍数) * 100))は1回目43%、2回目48%であったのに対し、CON条件では1回目28%、2回目39%であった。各2回分の平均心拍数の低下率はNAS条件およびCON条件はそれぞれ、45%および34%であった。

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/s) (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/s) (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/s) (TR時間: 1回目25分・2回目24分)		
	温熱感覚	深部温		温熱感覚	深部温		温熱感覚	深部温
TR1 スタート	0	37.7	TR1 スタート	0	38.3	TR1 スタート	3	38.0
TR1 End	8	38.7	TR1 End	3	38.5	TR1 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
TR2 End	8	38.8	TR2 End	4	38.4	TR2 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-摂取, CON; 冷却なし

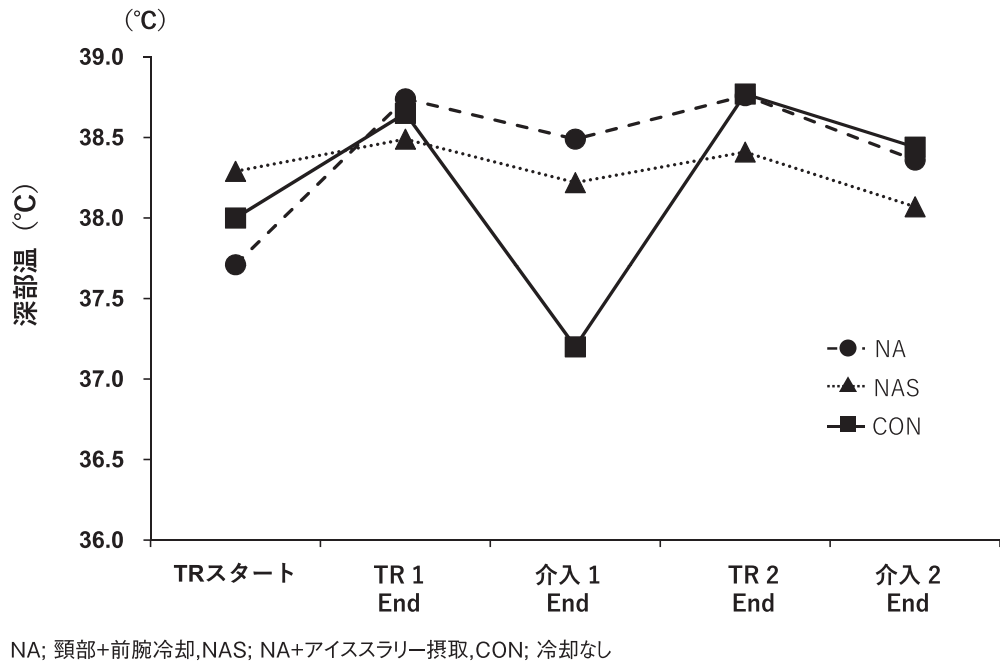


図 1. 実験期間中における深部温の変動

4. 温熱感覚

温熱感覚は、NA 条件時において 1 回目と 2 回目でそれぞれ 10 および 9 ポイント低下し、NAS 条件は 1 回目と 2 回目でそれぞれ 6 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 回目でそれぞれ 6 および 4 ポイントであった。

IV. 考察

ウィンドサーフィンのレース間における効果的な冷却方法を測定した結果、冷却介入を行わなかった CON 条件と比較して、NA 条件および NAS 条件における深部温の低下度合いに大きな差は認められなかったが、心拍数や温熱感覚の低下が大きくなる傾向が確認された。

本研究は実際に東京五輪が開催される会場にて実験を行った。本研究におけるレース中の心拍数はそれぞれ、142 拍、156 拍 (NAS 条件および CON 条件) であり、CON 条件において心拍数が高い傾向にあった。この要因として、本研究では実際の SP の回数の検討は行っていないが、風

速の影響によるレース中の SP 動作が増加したためと想像できる。またこの結果は SP の有無で心拍数に差が生じるという Castagna ら²⁾の報告と一致する結果であった。ウィンドサーフィンの大会時におけるコースは、1 回のレースタイムが 20 分程度でゴールできるように設定されるが、本研究の 3 日間の平均レースタイムも 26 分、16 分、25 分 (NA、NAS および CON 条件) であった。一方、2020 年夏季東京五輪の環境を実験室内でシミュレートした先行研究²⁰⁾では深部温が 39 °C を上回ったことが報告されている。先行研究と比較して本研究の深部温の上昇度が小さかった背景として、先行研究では自転車を用いて測定を行っていること、実験室での測定であること、気温と相対湿度が本研究の方が低かったことが挙げられる。しかしながら本研究においても、3 日間とも WBGT が熱中症による死亡事故が発生する可能性がある“注意”から熱中症の危険がさらに高まる“警戒域”の範囲⁹⁾で行われており、レース後の深部温も全 6 回のレース形式の練習のうち 5 回

で38.5℃を超えていた。さらに、練習後の温熱感覚の増加も認められたことなどから、対象者にある程度の温熱ストレスが負荷されていたと推測できる。

本研究の結果、レース間の冷却介入によってNA条件では0.2℃および0.4℃の低下を示し、NAS条件においても2回とも0.3℃の低下を示した。その一方、CON条件では1回目の介入後に1.5℃の低下を示したのち、2回目の介入後では0.3℃の低下を示した(表1および図1)。しかし、CON条件における1回目の深部温の低下は、深部温センサーが飲料の温度の影響を受けない場所まで達していなかった可能性に加え、本研究の約2倍に当たる体重1kgあたり7.5gのアイスラリー(-1℃)摂取を行った際の深部温の低下が0.3℃~0.7℃の範囲であること^{15),18),25)}、CON条件における飲料の温度が約29℃であったことなどの理由から、飲料水の温度の影響を受けて大きく低下したと推測される。

各冷却介入における深部温の低下度はCON条件(2回目)とその他の2条件においてほぼ同程度の値であった。NA条件およびNAS条件において深部温の低下度がCON条件と比較して大きな差が認められなかった背景として、冷却介入を行った際の温度変化の追跡を10分間しか行わなかったことが考えられる。先行研究^{15),18)}では介入後10分以降に深部温の低下効果が認められることが多く、仮に安静時間を延長して温度の計測を行えば、冷却効果が認められた可能性は否定できない。しかしその一方で、運動後に陰圧を用いて手掌冷却を行うと5分後に低下効果が認められた報告¹⁰⁾もあるが、船上での実施を考慮すると実現は難しい。さらに、本研究は実際の競技中において実践可能な効果的な冷却方法を検討することを第一の目的としたことから、10分以上の介入時間を設定しなかった。

また、本研究では、外部冷却を組み合わせたNA条件に加え、それらにアイスラリー摂取を組み合わせたNAS条件を設定し、冷却効果が促進されるかについても検討を行った。検討の結

果、NA条件と同様、CON条件と比較してNAS条件における深部温の低下度に大きな差は認められなかった。アイスラリーの摂取による深部温低下に関する報告では、体重1kgあたり7.5gのアイスラリーを摂取している^{13),16)}。従って、アイスラリーの摂取量が少なかったことも深部温の低下度に差が認められなかった要因として挙げられる。しかしながら、本研究では実際のレース間におけるアイスラリー摂取の使用を想定したことから、上記の摂取量を採用した場合に時間内に飲み切ることができない可能性や、運動間取る量としては多量であることを考慮し(体重60kgの選手で約450ml)、体重1kgあたり4gの摂取に留めた。結果として、外部冷却を組み合わせた冷却介入および外部冷却に内部冷却を組み合わせた両条件とCON条件において深部温の低下度に差が認められない結果であったが、本研究が単一事例であること、本研究のレース条件では深部温がパフォーマンス発揮の制限因子と考えられる39℃以上にはならなかったこと、本研究で実施した内部冷却と外部冷却を組み合わせによる運動間の深部温低下に関する検討はほとんど行われていないことなどを考慮すると、深部温の低下に対する運動間の冷却介入の効果については、冷却後のパフォーマンス発揮の観点も含めた更なる検討が必要であろう。

深部温の低下に条件間で大きな差異が認められなかった一方で、心拍数や主観的な温熱感覚はCON条件と比較して、NA条件およびNAS条件において冷却介入の効果を示唆する結果であった。高体温時におけるアイスベストや前腕冷却を用いた外部冷却が、何もしない場合と比較して冷却介入中の心拍数を低下させることが報告されている^{1),3)}。本研究における前腕部の冷水浸水時の心拍データはNAS条件のみであるが、CON条件と比較してNAS条件において心拍数の低下率が大きい傾向が認められた(NAS条件:45%、CON条件:34%)。暑熱環境下における運動間の循環系の負担の軽減が、その後のパフォーマンス発揮にポジティブな影響を与える可能性が示唆さ

れている³⁾ことから、このような結果が得られたことはウィンドサーフィンのレース中における冷却戦略として、その後のパフォーマンス発揮に対しても有効である可能性を示唆している。さらに、実験終了後に対象者から、「NA条件およびNAS条件にて冷水に前腕を浸水したことで当該部位の疲労感が軽減したと感じた」との感想が得られた。このことは、前腕冷却が主観的な疲労感の軽減に効果的であった可能性が考えられる。一方、このような心拍数の減少傾向にアイスラリー摂取が貢献している可能性も否定できない。しかし運動後の心拍数の低下には複雑な要因が関係する¹⁷⁾ことや、また安静時におけるアイスラリー摂取では心拍数の低下が認められない¹⁸⁾ことを考えると、本研究における心拍数の低下は主に、前腕冷却による影響であると推測される。

温熱感覚は、NA条件およびCON条件においてトレーニング後の温熱感覚が8を超えた(10が最高値)。一方、NAS条件ではトレーニング後の温熱感覚が3および4であった。トレーニング後の温熱感覚が異なる背景の1つとして、実験時の気象条件が関係していると考えられる。特にNA条件およびCON条件では風速が3~4 m/sであったのに対し、NAS条件では6~7 m/sであった。従って、風速の差が大きくないNA条件とCON条件の温熱感覚に焦点を当てて検討を行った結果、NA条件は9ポイントの低下であったのに対し、CON条件は4ポイントの低下であった。我々が行った別の調査研究(未発表資料)では深部体温を38.5℃まで上昇させた後、10℃の冷水に前腕を浸水した場合の皮膚温が17℃付近まで素早く低下する一方で、何もしない場合はほとんど変化しないことを確認している。本研究では手掌部、前腕部および頸部の皮膚温を測定していないため、実際に冷却部位の皮膚温度が低下したか確認することはできないが、先行研究においても前腕冷却によって平均皮膚温の低下が確認されている^{1),8)}ことから前腕冷却によって冷却部位の皮膚温が低下し、それが温熱感覚の低下に影響したと考えられる。また、頸部冷却を用いた

研究でも当該部位の皮膚温が大きく低下している¹⁹⁾ことから、本研究における温熱感覚の低下がCON条件比較してNA条件で大きかった要因として、外部冷却によって皮膚温が低下したことに起因する結果であると推測された。

先行研究では、冷水浸水による皮膚温の低下が最大握力を低下させることが明らかになっている⁷⁾。このため、本研究における前腕冷却がSP動作に貢献する前腕部の皮膚温を低下させたことと仮定すると、その後のパフォーマンス発揮に悪影響を及ぼす可能性も考えられた。しかし、前述の通り、対象者は前腕冷却を行った方が主観的な疲労感が軽減しており、先行研究で懸念された前腕部冷却による皮膚温低下、それに伴う最大握力の低下よりも、パフォーマンス発揮におけるポジティブな影響がより強かったと推測される。また、冷却介入後、TR2のスタート地点に向かう際に行われるSPによるre-warming up効果¹¹⁾も、主観的な疲労感を軽減した一因と考えられる。

本研究は実際のレースを想定して行ったことから、それぞれの条件間での気象条件が異なっていたことや、実際の海上で測定を行ったためコース長が均一ではなかった。また、被験者が1名であることも研究の限界として挙げられる。加えて、それぞれの冷却介入の結果、その後のパフォーマンス発揮がどのように変化したかという点に関しては検討を行っていない。しかし、屋外の海上で行われるウィンドサーフィン競技において気象条件やコース条件を同等にすることはほぼ不可能であると考えられる。日本代表選手を対象として実際の競技活動を模した形で冷却介入を行ったことにより得られた本研究の知見は、これまで検討されてこなかったウィンドサーフィンにおける効果的な暑熱対策に関する基礎的なデータとして利用できる可能性を示唆するものである。

本研究は実際の国際大会を模したレース間において、実践可能な外部冷却と外部冷却と内部冷却とを組み合わせた冷却介入が、ウィンドサーフィン選手の生理学的指標および主観的な指標にどのような影響を与えるか検討した。本研究の結果、

CON条件と比較してNAおよびNAS条件の深部温の低下度に大きな差は認められなかったが、心拍数の低下率や主観的温熱感覚の低下度合いが大きくなる傾向となった。また、CON条件と比較して、NAおよびNAS条件における前腕部の冷却介入が、対象者の当該部位における主観的疲労感を軽減した。これらのことから、本研究で用いた冷却介入方法が、実際の暑熱環境下で行われる、国際大会における冷却戦略として有益である可能性が考えられた。

今後、暑熱環境下におけるレース間の冷却戦略に関する検討を重ねることで、同環境下におけるウィンドサーフィンの競技力向上の一助となると考える。

文献

- 1) Barr D., Reilly T., Gregson W. The impact of different cooling modalities on the physiological responses in firefighters during strenuous work performed in high environmental temperatures. *Eur J Appl Physiol*, 111(6) : 959-967, 2011.
- 2) Castagna O., Vaz Pardal C., Brisswalter J. The assessment of energy demand in the new Olympic windsurf board: Neilpryde RS:X. *Eur J Appl Physiol*, 100(2) : 247-252, 2007.
- 3) Chaen Y., Onitsuka S., Hasegawa H. Wearing a cooling vest during half-time improves intermittent exercise in the heat. *Front Physiol*, 10: 711, 2019.
- 4) Hargreaves M. Febbraio. Limits to exercise performance in the heat. *Int J Sports Med* 19(2) : 115-116, 1998.
- 5) 平下政美. ジュニア野球活動時における熱中症に及ぼす修飾因子. 金沢学院大学紀要, 13: 91-98, 2015.
- 6) 平田耕造. 動静脈吻合 (AVA) 血流と四肢からの熱放散調節. 日生氣誌, 53(1) : 3-12, 2016.
- 7) Holewijn Michael, Heus Ronald. Effects of temperature on electromyogram and muscle function. *Eur J of Appl Physiol*, 65(6) : 541-545, 1992.
- 8) Khomenok G. A., Hadid A., Preiss-Bloom O., Yanovich R., Erlich T., Ron-Tal O., Peled A., Epstein Y., Moran D. S. Hand immersion in cold water alleviating physiological strain and increasing tolerance to uncompensable heat stress. *Eur J Appl Physiol*, 104(2) : 303-309, 2008.
- 9) 公益財団法人日本スポーツ協会. スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック 第5版. 公益財団法人日本スポーツ協会, 2019.
- 10) Maroni T., Dawson B., Barnett K., Guelfi K., Brade C., Naylor L., Brydges C., Wallman K. Effectiveness of hand cooling and a cooling jacket on post-exercise cooling rates in hyperthermic athletes. *Eur J Sport Sci*, 18(4) : 441-449, 2018.
- 11) Mohr M., Krustrup P., Nybo L., Nielsen J. J., Bangsbo J. Muscle temperature and sprint performance during soccer matches--beneficial effect of re-warm-up at half-time. *Scand J Med Sci Sports*, 14(3) : 156-162, 2004.
- 12) 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.
- 13) Onitsuka S., Nakamura D., Onishi T., Arimitsu T., Takahashi H., Hasegawa H. Ice slurry ingestion reduces human brain temperature measured using non-invasive magnetic resonance spectroscopy. *Sci Rep*, 8(1) : 2757, 2018.
- 14) Otani H., Kaya M., Tamaki A., Watson P., Maughan R. J. Effects of solar radiation on endurance exercise capacity in a hot environment. *Eur J Appl Physiol*, 116(4) : 769-779, 2016.
- 15) Siegel R., Mate J., Brearley M. B., Watson G., Nosaka K., Laursen P. B. Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the heat. *Med Sci Sports Exerc*, 42(4) :

- 717-725, 2010.
- 16) Siegel R., Mate J., Watson G., Nosaka K., Laursen P. B. Pre-cooling with ice slurry ingestion leads to similar run times to exhaustion in the heat as cold water immersion. *J Sports Sci*, 30(2) : 155-165, 2012.
 - 17) 菅原順, 濱田豊, 鍋倉賢治, 西嶋尚彦, 松田光生. 運動終了後の副交感神経活動の簡易評価法とコンディショニングにおける応用. *体力科学*, 48: 467-476, 1999.
 - 18) Takeshima K., Onitsuka S., Xinyan Z., Hasegawa H. Effect of the timing of ice slurry ingestion for precooling on endurance exercise capacity in a warm environment. *J Therm Biol*, 65: 26-31, 2017.
 - 19) Tyler C. J., Sunderland C. Neck cooling and running performance in the heat: single versus repeated application. *Med Sci Sports Exerc*, 43(12) : 2388-2395, 2011.
 - 20) van Delden Michelle, Bongers Coen C. W. G., Broekens Douwe, Daanen Hein A. M., Eijsvogels Thijs M. H. Thermoregulatory burden of elite sailing athletes during exercise in the heat: A pilot study. *Temperature*: 1-11, 2018.
 - 21) Vogiatzis I., De Vito G. Physiological assessment of Olympic windsurfers. *Eur J Sport Sci*, 15(3): 228-234, 2015.
 - 22) Vogiatzis I., De Vito G., Rodio A., Madaffari A., Marchetti M. The physiological demands of sail pumping in Olympic level windsurfers. *Eur J Appl Physiol*, 86(5) : 450-454, 2002.
 - 23) Watkins E. R., Hayes M., Watt P., Richardson A. J. Practical pre-cooling methods for occupational heat exposure. *Appl Ergon*, 70: 26-33, 2018.
 - 24) Watson P., Hasegawa H., Roelands B., Piacentini M. F., Looverie R., Meeusen R. Acute dopamine/noradrenaline reuptake inhibition enhances human exercise performance in warm, but not temperate conditions. *J Physiol*, 565(Pt 3) : 873-883, 2005.
 - 25) Yeo Z. W., Fan P. W., Nio A. Q., Byrne C., Lee J. K. Ice slurry on outdoor running performance in heat. *Int J Sports Med*, 33(11) : 859-866, 2012.