

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2章 暑熱対策プロジェクトにおける課題抽出とその後の取り組み
Issue extraction and addressing the Issues

中村大輔¹⁾
Daisuke Nakamura¹⁾

キーワード：パフォーマンス発揮, 冷却戦略, 情報発信

I. はじめに

暑熱対策に関するプロジェクト研究を始めるあたり、まず当時のアスリートがどのような暑さ対策を行っているかを把握することが必要であると考えた。プロジェクトの発足当初である2015年時点では、暑熱環境対策に対する様々な研究が国内外を問わず行われていたが、我が国のトップアスリートを対象とした暑熱対策に関する知見は少なく、実際にアスリートが入手できる暑さ対策に関する情報は、熱中症予防のための情報が多かった。

そこで我々は、我が国のトップアスリートを対象として、暑熱対策の現状と今後の課題を明らかにすることを目的としたアンケート調査を行うことから本プロジェクトをスタートさせた。本章では、アンケート調査を実施し、その結果から課題を抽出し、ラボベースの実証実験を実施した一連の研究活動について報告する。

II. アンケートの実施

アンケート調査は、東京2020オリンピック競技大会において実施が予定されている公益財団法人日本オリンピック委員会（以下、JOC）正加盟

団体の強化指定選手およびコーチ・指導者、情報・医・科学スタッフとした。競技種目は屋外競技種目および屋内競技種目において、暑熱環境下で試合が行われる種目を対象とした（陸上競技、ボート競技、サッカー男子、7人制ラグビー女子、トライアスロン男女、自転車男女、ビーチバレー男子、ホッケー女子）。フェンシング（男女）については、試合会場自体は屋内で、環境そのものは暑熱環境とはいえないが、防具をまとって高強度、長時間の試合を行うという競技特性上、暑熱環境下で行われる競技の温熱負荷と同程度であると考え、アンケート調査の対象とした。2015年6月から2016年12月までの期間で実施し、9競技団体にアンケート調査を依頼した結果、7競技団体（サッカー男子、フェンシング男女、7人制ラグビー女子、トライアスロン男女、自転車男女、ビーチバレー男子、ホッケー女子；回収率77%）の関係者126名（選手：102名；年齢23 ± 4歳、コーチ・指導者：20名；年齢43 ± 9歳、情報・医・科学委員：4名；年齢39 ± 8歳）から回答を得た。アンケートの内容は3部構成とし、試合中の暑熱対策、トレーニング中の暑熱対策、日常生活の暑熱対策に関して調査を行なった。アンケートの調

¹⁾日本サッカー協会

¹⁾Japan Football Association

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

査用紙については文献 12 を参照されたい。

Ⅲ. アンケートの結果

暑熱環境下におけるパフォーマンス発揮に関する意識では、「試合中に暑熱環境の影響を受けてパフォーマンスが低下すると感じたことはありますか?」という質問に対して、対象者の89%が「はい」と回答した。一方、「トレーニング中に暑熱環境の影響を受けてパフォーマンスが低下すると感じたことはありますか?」という質問に対する回答では、83%が「はい」と回答した。

また、暑熱対策の必要性に関する意識に関しては、「試合中の暑熱対策は必要だと思いますか?」という質問に対してすべての対象者が「はい」と回答した一方で、「トレーニング中に暑熱対策は必要だと思いますか?」という質問に対しては、その割合は低下し、95%であった。

身体冷却の実施や水分補給に関しては、「暑熱環境下での試合時またはトレーニング時に身体冷却を行いますか?」という質問に対する回答では対象者全体の86%が身体冷却を実施していると回答したが、トレーニング中に関する回答では、その実施率は64%であった。「暑熱環境下での試合時またはトレーニング時に水分補給に関して特に気をつけていますか?」という質問に対する回答では、水分補給に関して高い意識を有していることが伺えたが、身体冷却同様、試合中と比較してトレーニング中の数値が低い傾向にあった。

さらに、具体的な身体冷却の手段および水分補給についての自由記述の回答では、試合時およびトレーニング時ではアイシングやアイスバックを用いた外部冷却がその方法として最も多く用いられていた一方で、それらを使うタイミングは試合時・トレーニング時ともに試合中又は、トレーニング中に行うという回答が最も多かった。またこれらの対策やタイミングにおける傾向は、各種目において同様であった。水分補給時の飲料の種類が多くが水またはスポーツドリンク（電解質を含む飲料）であった。

Ⅳ. アンケートの結果から課題抽出へ

これらの結果は、我が国の選手、コーチ・指導者および情報・医・科学スタッフは、暑熱環境下でパフォーマンス発揮が低下すると感じ、暑熱対策の必要性を認識していることを明らかにした一方で、実践している内容や認識が、世界のトップアスリートとは異なる可能性を示唆するものであった。例えば、このアンケートを行った時点ではすでに冷却効果の高いアイススラリーの摂取が高体温抑制に効果的であることが研究で明らかとなっており¹⁶⁾、海外のアスリートも国際大会での暑熱対策として利用していたが¹⁵⁾、アイススラリーを摂取しているという回答は得られていない。また、身体冷却のタイミングについても、運動中での実施がほとんどであり、同じ暑熱環境下での長時間のパフォーマンス発揮に効果がある運動前の冷却戦略、すなわちプレクーリングに関する回答は得られなかった。このような結果は、必ずしも我が国のアスリートが上記に挙げたような対策を知らないということにはならないが、少なくとも、暑熱対策に関する最新の知見を提供することや、その科学的な根拠を示すことは、東京2020オリンピック競技大会におけるアスリートの暑熱対策を考える上で有益であると考えた。そこで我々は、

1) 暑熱環境下でのパフォーマンス発揮に役立つ研究、2) 我が国のアスリートに対して、暑熱対策に関する情報を最新の知見を交えて情報発信すること、の2本を柱としてプロジェクトを進めることとした。

まず1) 暑熱環境下でのパフォーマンス発揮に役立つ研究では、アンケートの結果にもあったように、暑熱環境下では競技パフォーマンスが低下すると考えられていることから、競技パフォーマンス低下を遅延する効果が期待できるカフェインの摂取に関する実験を行った。さらに、暑熱環境下で試合時間が長時間におよび、パフォーマンス発揮が損なわれる可能性がある競技種目を対象として、深部体温の低下効果があるアイススラリーの摂取に関する実験を行った。加えて、企業と共

同で研究する形で、陸上長距離選手が着用する帽子に着目し、その効果に関する実験も行った。これらの研究課題の抽出は暑熱環境下でのパフォーマンス発揮を多角的な側面から捉え、トップアスリートのパフォーマンス発揮を最適化し、それぞれの競技種目に応じた身体冷却プログラム立案に資することを目標とした。

次に2)については、各競技現場の選手スタッフを対象とした“暑熱対策セミナー”を実施した。さらに、2015年と2016年の2回に渡り、国内外で活躍する研究者の方々を招き暑熱対策セミナーをJISSにて開催した。2016年の開催の際には、これまでの暑熱対策に関する研究の知見をまとめた、“アスリートのための暑熱対策ガイドブック”の配布を行った⁸⁾。その後、オリンピックの直前に“アスリートのための暑熱対策ガイドブック”の実践編が刊行された⁷⁾。

V. 暑熱環境下でのパフォーマンス発揮に役立つ研究

1. 暑熱環境下におけるパフォーマンス発揮に有効な方策の検討

コーヒーや緑茶などに含まれるカフェインは、運動時における脂肪利用促進効果が示唆されており、通常環境下における持続的な運動や間欠的な運動に対して、競技パフォーマンスの低下を抑制する効果があることが示唆されている⁴⁾。

しかしながら、暑熱環境下における間欠的運動時のカフェイン摂取が競技パフォーマンスに与える影響に関する知見は少なく、その効果については不明であった。仮に、通常環境下と同様に暑熱環境下であっても、カフェインを摂取することによって、同様のエルゴジェニック効果が認められるのであれば、暑熱環境下におけるパフォーマンス発揮の低下抑制に効果的である可能性が考えられた。

そこで、本研究は、カフェイン摂取の有無が暑熱環境下での球技系種目をイメージしたパフォーマンス発揮に効果があるか検討した¹¹⁾。

体育会に所属する男子運動選手10名を対象と

して、暑熱環境下（気温30～31℃、湿度70～80%）において、球技系種目をイメージした高強度間欠的自転車ペダリング運動をカフェイン摂取条件とプラセボ摂取条件の2条件にて行った。

図1にカフェイン摂取の有無によるパフォーマンス発揮（Total work）を示す。カフェイン摂取群において総パワー発揮がプラセボ群と比較して有意に高くなった。またその一方で、パフォーマンス発揮の低下要因となる深部体温は運動終了時において両群間で差が見られなかった（図2）。

これらの結果は、暑熱環境下で数時間に渡り間欠的な高強度運動を行う球技系の種目のアスリートのパフォーマンス発揮に、カフェイン摂取が役立つ可能性を示唆するものであった。

2. 暑熱環境下の運動時における短時間の休息期間中の内部冷却および外部冷却の組み合わせが深部体温に与える影響

運動時における深部体温および皮膚温の上昇（高体温）は、競技パフォーマンスの制限要因となる⁵⁾。従って、競技中に高体温が予想されるような競技種目では事前の冷却¹⁶⁾のみならず、運動間の冷却を行うことが体温上昇を抑制する意味において効果的であることが示されている²⁾。身体冷却に関しては、先のアンケートの結果から、我が国のトップアスリートでは水分補給や身体外部からの冷却がその主な方法として行われていることが明らかとなった¹²⁾。一方、近年、暑熱環境下における身体冷却の手段として、アイススラリ-摂取の有用性に関する知見が多く発表されている¹⁶⁾。このアイススラリ-は細かい氷の粒子と液体が混ざりあった状態であり、氷が溶ける際の融解熱を発生させることによって効果的に深部体温を体内から低下させる（内部冷却）。これまでの研究において、運動間における異なる外部冷却の組み合わせが温熱負荷の軽減に与える影響の検討は行われているが¹⁾、外部冷却と内部冷却を組み合わせた検討は行われていない。仮に外部冷却と内部冷却とを組み合わせることで、効率かつ効果的に温熱負荷を軽減することができれば、短時

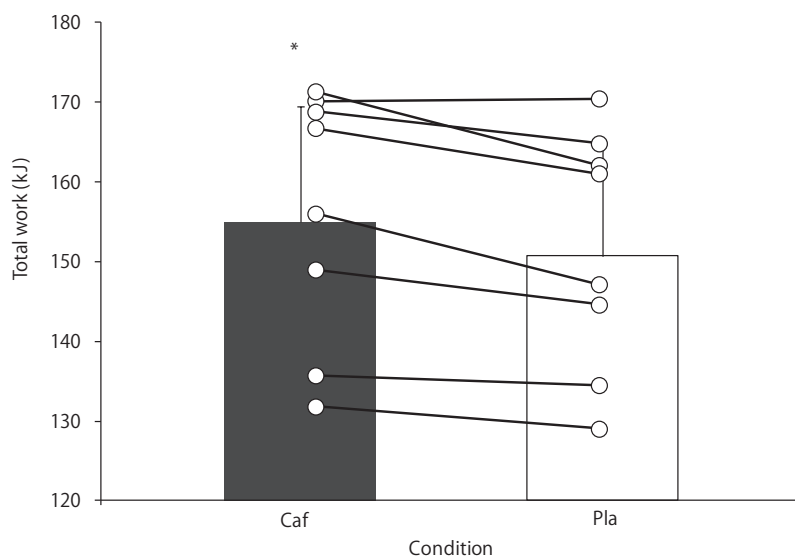


図1. カフェイン摂取の有無によるパフォーマンス発揮
 Values are mean \pm SD. * $p < 0.05$ compared with Pla. Caf: Caffeine; Pla: Placebo

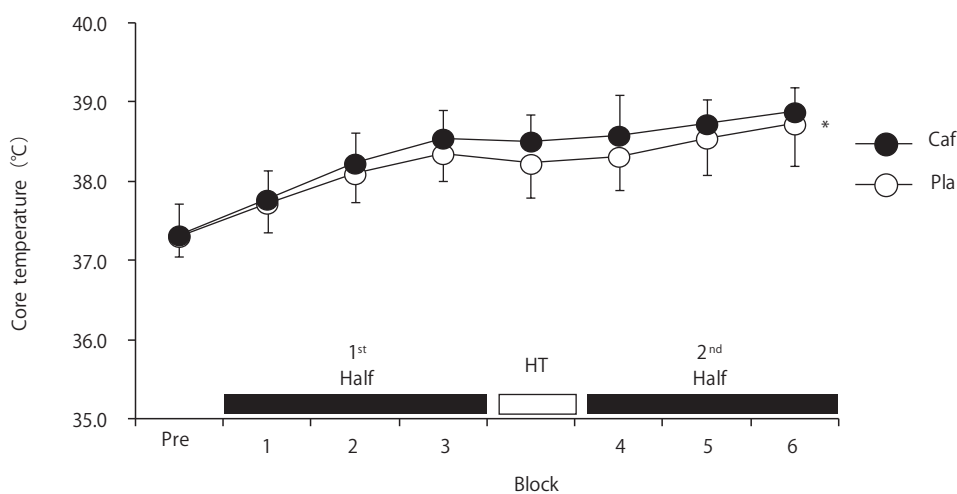


図2. カフェイン摂取の有無による運動中の深部体温変化
 Data are presented as means \pm SD.
 A significant interaction was detected (condition \times time, $p = 0.006$).
 Caf: Caffeine; Pla: Placebo HT; Half Time

間の休憩時における新たな冷却戦略を提案できる可能性がある。

そこで本研究は、暑熱環境下の運動時における短時間の休憩期間中の内部冷却および外部冷却の組み合わせが深部体温に与える影響を検討することを目的とした。対象は運動習慣のある成人健常

男性 8 名を対象とした。はじめに、暑熱環境下(気温、 35.0 ± 0.5 °C、相対湿度 62.9 ± 2.6 %) において最大酸素摂取量の 55 % 強度にて直腸温が 38.5 °C に到達するまで自転車ペダリング運動を行った後、手掌部および前腕部までを 10 °C の水に浸水させる前腕冷却条件 (W)、体重 1 kg あた

り 4 g のアイスラリー摂取を行う条件 (ICE)、前腕冷却とアイスラリー摂取の組み合わせを行う混合条件 (MIX)、および座位安静を保つコントロール条件 (CON) の 4 つの条件にて、運動後の直腸温の低下率を比較した。各条件における直腸温の変化を図 3 に示す。直腸温の低下は、コントロール群と比較して、MIX 条件において 6 分後に直腸温が有意に低下した。さらに、W 条件においても 15 分後にコントロール群と比較して直腸温の低下量が多かった¹⁰⁾。

この結果は、競技中にハーフタイムやレース間の休憩がある競技種目における冷却戦略として外部冷却と内部冷却を組み合わせが有益である可能性を示唆するものであった。

3. ランニングパフォーマンスに対する輻射熱対策として、高通気性スポーツキャップ (Airpeak、ビルマテル社、日本) の効果に関する検討

暑熱環境下では、温度^{3),14)}や湿度⁹⁾の上昇だけではなく、輻射熱¹³⁾の上昇も運動パフォーマンスに影響を及ぼす事が報告されている。しかしながら、輻射熱に対抗する手段に関する研究はほとんど報告されていない。輻射熱による温熱負荷

を低下させるには、帽子の着用が有効であることが示唆されているが¹⁷⁾、一方で帽子着用により温熱感覚が増加することも報告されており、帽子による輻射熱流入の防止と通気性を妨げることによる不快感の解消が課題となっている⁶⁾。そこで、本研究では、ランニングパフォーマンスに対する輻射熱対策として、高通気性スポーツキャップ (Airpeak、ビルマテル社、日本) の効果を明らかにすることを目的とした。

6 名の運動選手を対象に、環境温 33 °C、相対湿度 65 %、250 W/m² の陽光ランプ照射、ランニング速度と同等の風速条件下においてランニングパフォーマンステストとして Time To Exhaustion (TTE) テストを、高通気性スポーツキャップ着用条件 (HVC 条件) とノーマルランニングキャップ着用条件 (NC 条件) で順不同で行い、条件間で比較検討した。被験者は、十分な安静後、最大酸素摂取量の 55% 強度のランニング運動によるウォーミングアップを行い、その後、最大酸素摂取量の 70% 強度での TTE テストを行った。

図 4 に TTE テストの結果を示す。HVC 条件と NC 条件での TTE テストの継続時間は、それぞれ 2833 ± 1008 秒と 2826 ± 647 秒であった。6 名

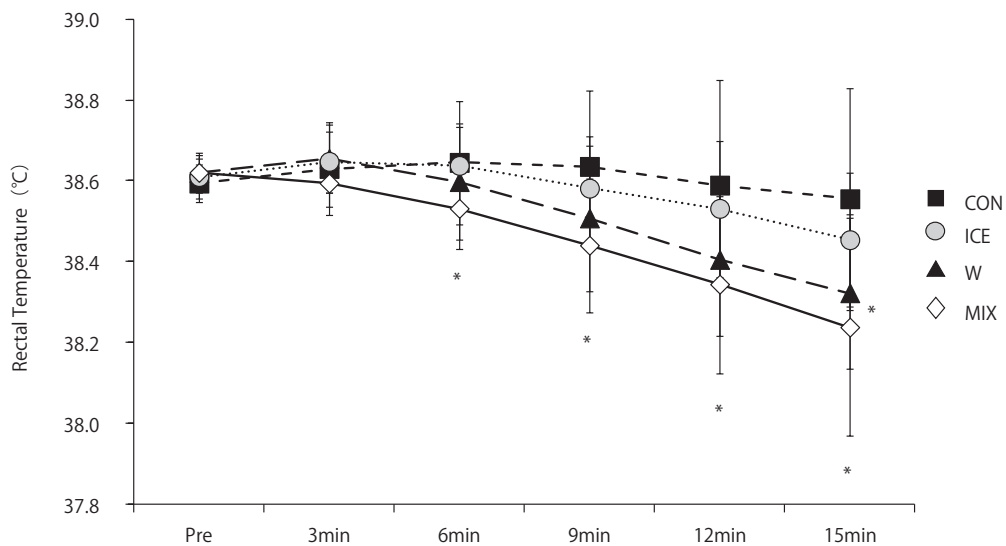


図 3. 各条件における直腸温の変化
Data are mean ±SD. *, p < 0.05 vs CON

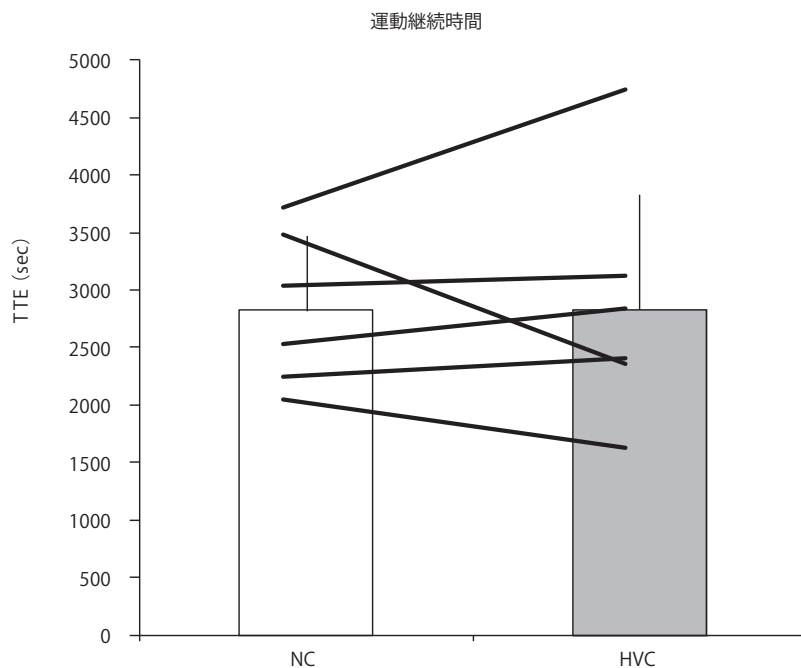


図4. 各条件間における TTE テストの結果

の被験者中4名において、NC条件よりもHVC条件で運動継続時間が長かったが、両条件間における統計的な有意差はみられなかった(図4)。TTEテスト中の帽子内温度は、HVC条件がNC条件と比較して低い数値を示す傾向がみられたが(図5)、統計的な有意差はみられなかった。

本研究の結果、条件間での統計的な有意差はみられなかったが、6名中4名が高通気性キャップ着用した条件下において運動継続時間が長かった。今後、軽量化など、パフォーマンス発揮以外の側面も考慮して改善することによって、アスリートのパフォーマンス発揮に有効な方策となる可能性があると考えられた。

VI. まとめ

本章では、トップアスリートによる暑熱対策に関する現状を知るためのアンケート調査、そのアンケート結果から課題を抽出し、暑熱対策方法を普及するためのガイドブック作成等の啓発活動や、今後各競技種目の特性に応じた暑熱対策プロ

グラムを立案するためのラボベースの実験研究について紹介した。ガイドブックや暑熱対策セミナーは、各選手・コーチの東京大会に向けた暑熱対策について現実的な選択肢を提供するための啓発資料として有益であった。また、研究についても各競技種目を考慮した暑熱対策プログラムを立案する上で貴重な一次資料となった。

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) Chaen Y, Onitsuka S, Hasegawa H. Wearing a Cooling Vest During Half-Time Improves Intermittent Exercise in the Heat. *Front Physiol*, 10: 711, 2019.
- 3) Galloway SD, Maughan RJ. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged

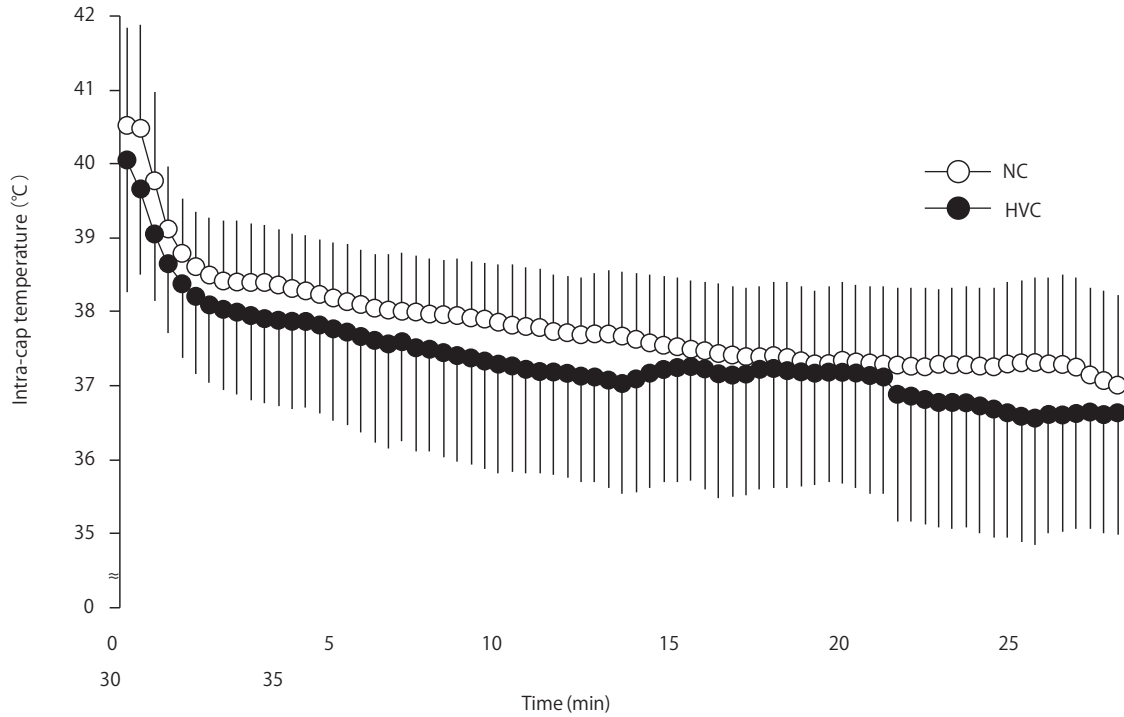


図5. TTE テスト中における各条件下での帽子内温度の変化

- cycle exercise in man. *Med Sci Sports Exerc*, 29(9): 1240-1249, 1997.
- 4) Graham TE. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports Med*, 31(11): 785-807, 2001.
 - 5) Hargreaves MF. Limits to Exercise Performance in the heat. *Int J Sports Med*, 19(Suppl 2): S115-116, 1998.
 - 6) 平田耕造. 帽子・ヘルメット着用の温熱生理学 - 選択的脳冷却効果を中心にして -. *繊維製品消費科学*, 36(4): 314-319, 1995.
 - 7) 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.
 - 8) 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. 日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター, 2017.
 - 9) Maughan RJ, Otani H, Watson P. Influence of relative humidity on prolonged exercise capacity in a warm environment. *Eur J Appl Physiol*, 112(6): 2313-2321, 2012.
 - 10) Nakamura D, Muraishi K, Hasegawa H, Yasumatsu M, Takahashi H. Effect of a cooling strategy combining forearm water immersion and a low dose of ice slurry ingestion on physiological response and subsequent exercise performance in the heat. *J Therm Biol*, 89: 102530, 2020.
 - 11) Nakamura D, Tanabe Y, Arimitsu T, Hasegawa H, Takahashi H. Low caffeine dose improves intermittent sprint performance in hot and humid environments. *J Therm Biol*, 93: 102698, 2020.
 - 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, 2018.
- 13) Otani H, Kaya M, Tamaki A, Watson P, Maughan RJ. Effects of solar radiation on endurance exercise capacity in a hot environment. Eur J Appl Physiol, 116(4): 769-779, 2016.
- 14) Parkin JM, Carey MF, Zhao S, Febbraio MA. Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. J Appl Physiol (1985), 86(3): 902-908, 1999.
- 15) Periard JD, Racinais S, Timpka T, Dahlstrom O, Spreco A, Jacobsson J, Bargoria V, Halje K, Alonso JM. Strategies and factors associated with preparing for competing in the heat: a cohort study at the 2015 IAAF World Athletics Championships. Br J Sports Med, 51(4): 264-270, 2017.15
- 16) 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.
- 17) 寄本明, 岡本進, 玄田公子, 佐藤尚武. 運動時の着帽効果に関する実験的研究(続) - 改良型防暑帽の効果について -. デサントスポーツ科学, 4: 280-287, 1983.