

スポーツ現場におけるアイススラリーの作製・保冷・運搬方法

山口寛基¹⁾, 大石寛¹⁾²⁾³⁾, 野村友哉¹⁾, 森隆彰¹⁾, 花野宏美¹⁾, 石井好二郎⁴⁾

¹⁾同志社大学大学院スポーツ健康科学研究科, ²⁾日本学術振興会, ³⁾医薬基盤・健康・栄養研究所,

⁴⁾同志社大学スポーツ健康科学部

キーワード: アイススラリー, 汎用性, ミキサー, ボトル, 保冷バッグ

【要旨】

効果的な暑熱対策としてアイススラリー（以下、スラリー）が注目されている。しかしながら、作製や保冷、スポーツ現場への運搬については実用的に検討されていない。我々は専用機器を用いずに作製し、スポーツ現場までの保冷方法と運搬方法を検証した。スラリーを市販のミキサーで作製する際の氷と液体の割合に関しては、氷の割合が多い条件、氷と液体の割合が等しい条件、氷の割合が少ない条件のいずれもスラリー作製が可能であった。ミキサーによりスラリー作製に要する時間は、氷の割合が多い条件では約3分、氷と液体の割合が等しい条件では約1分30秒、氷の割合が少ない条件では約1分であった。保冷方法について、保冷ボトルでは2時間後までしかスラリー状態を維持しなかったが、真空断熱ボトルに入れた場合、氷の割合が多い条件では3時間後まで維持した。運搬方法では、真空断熱ボトルに加え、保冷バッグと併用することにより、氷と液体の割合が等しい条件では4時間後まで、氷の割合が多い条件では5時間後まで維持が可能であった。

スポーツパフォーマンス研究, 15, 246-252, 2023, 受付日: 2023年2月20日, 受理日: 2023年8月31日

責任著者: 石井好二郎, 同志社大学スポーツ健康科学部, kishii@mail.doshisha.ac.jp

Methods of making, keeping, and transporting ice slurry at a sports field

Hiroki Yamaguchi¹⁾, Kan Oishi¹⁾²⁾³⁾, Tomoya Nomura¹⁾, Takaaki Mori¹⁾, Hiromi Hanano¹⁾, Kojiro Ishii⁴⁾

¹⁾ Graduate School of Health and Sports Science, Doshisha University, ²⁾ Research Fellow, Japan Society for the Promotion of Sciences, ³⁾ Department of Physical Activity Research, National Institutes of Biomedical Innovation, Health and Nutrition,

⁴⁾ Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University

Key Words: Ice slurry, Versatility, Mixer, Bottle, Cooling bag

[Abstract]

Ice slurry (slurry) has been attracting attention as an effective countermeasure against heat. However, the preparation, cooling, and transportation of slurry to the sports field have not been practically investigated. We have examined the method of making slurry without using special equipment and the method of keeping it cool and transporting it to the sports field. The slurry could be made with a commercial mixer under the following three conditions: (1) with a large ratio of ice to liquid, (2) with an equal ratio of ice to liquid, and (3) with a small ratio of ice to liquid. The slurry production time was about 3 minutes for the high ice content condition, about 1

minute and 30 seconds for the equal ice/liquid condition, and about 1 minute for the high liquid content condition. In terms of the cooling method, the slurry state was maintained for only up to 2 hours in the cold bottle, while it was maintained for up to 3 hours in the vacuum-insulated bottle under the condition of a large percentage of ice. In addition to the vacuum-insulated bottle, the slurry could be maintained for up to 4 hours in the case where the ratio of ice to liquid was equal, and up to 5 hours in the case where the ratio of ice to liquid was high, by using the vacuum-insulated bottle in combination with a cold bag.

I. 緒言

暑熱環境下での長時間にわたる運動や激しい運動は、運動パフォーマンスの低下ならびに熱中症のリスクを高める。運動時における暑熱対策の基本としては、脱水の予防とともに過度の体温上昇の抑制が重要視されており（中村ほか, 2017; 井上・近藤, 2010）、近年では水分摂取と身体冷却を同時に行える方法としてアイススラリー（以下、スラリー）摂取に注目が集まっている（Siegel and Laursen, 2012a）。スラリーとは半固体状の氷と液体が混濁した流動性のあるドリンクを指す（濱田, 2019）。スラリーは液体のスポーツ飲料と同様に短時間で摂取可能であり、スポーツドリンクでスラリーを作製すれば水分と電解質に加えてエネルギーを補給することができる。先行研究では、暑熱環境下における深部体温の上昇を抑制し（Siegel et al., 2010）、ランニングタイムを延長させること（Siegel et al., 2012b）が報告されている。このように、スラリーは暑熱対策に関して有益な効果を及ぼすが、スポーツ現場での活用においてはいくつかの課題が残されている。

先行研究ではスラリーの作製に専用のスラリーマシンを用いているが（Ross et al., 2010; Siegel et al., 2010; Siegel et al., 2012b; Yeo et al., 2012）、大型で高価なため一部の選手をのぞいて利用は困難である。現在、氷を攪拌できるミキサーは市販されているものの、氷と液体の割合によるスラリーの作製可否や作製時間については明らかにされていない。また、スラリーの保冷・運搬に関して、2020 東京オリンピックでは宿舎・競技会場において冷凍庫やドライアイスを活用しているが（内藤ほか, 2020）、一般的なスポーツ現場に持ち運んで使用することは現実的ではない。したがって、運動試験時にスラリーを用いた研究では主に実験

室内での作製・摂取が行われている（Ross et al., 2011; Siegel et al., 2010; Siegel et al., 2012b）。

多くのスポーツ選手や愛好家が暑熱環境下運動時におけるスラリーの恩恵を享受するためには様々な工夫が必要となる。汎用性の高いスラリーの作製・保冷・運搬方法が明らかになることで、運動時の暑熱対策としてより多くのスポーツ現場へ普及する一助となる。そこで本研究では、氷を攪拌できる市販のミキサーでスラリーを作製し、安価かつ可搬性に優れた保冷ボトル、保冷バッグを用いてスポーツ現場までの保冷方法と運搬方法を検証することを目的とした。

II. 方法

原材料および製氷の方法

氷、液体ともに市販のポカリスウェットペットボトルドリンク（大塚製薬（株）、東京）（100 mL 当たり、エネルギー 25 kcal、タンパク質 0 g、脂質 0 g、炭水化物 6.2 g、食塩相当量 0.12 g、カリウム 20 mg、カルシウム 2 mg、マグネシウム 0.6 mg）を用いた。氷は製氷する量を 10g ずつ計量した上で製氷皿に移し、冷蔵庫の冷凍室にて製氷した。液体は冷蔵庫にて 5°C で保管した。

測定方法

実験 1: スラリーの作製およびスラリー状の判断基準

先行研究（中村ほか, 2020）を参考に、ミキサーで氷と液体を攪拌する際には、氷の割合が多い（氷：液体、3：2）条件のほか、氷と液体の割合が等しい条件（1：1）、氷の割合が少ない（2：3）の 3 条件を用意した。氷と液体の攪拌には市販のミキサー（MX-XE901, Panasonic（株）、門真）を使用した。ミキサーの説明書に記載がある分量（フローズドリンク）を参考に氷と液体を

計 400 g 注入し、同じく説明書に記載の作製方法（マニュアルモードでレベル 8：メーカーによる目標値では、1800 mL 水負荷時に 14800 回転/分）で攪拌することによりスラリーを作製した。スラリー状態となっているかの判断基準は、先行研究（濱田, 2019, 熊野・浅岡, 2016）の定義に準じて、「流動性があるか」、「溶けてはいないものの、粒子が小さい氷を含んでいるか」とした。作製直後の温度は先行研究（Siegel et al., 2010; Siegel et al., 2012b）に基づき、熱電対温度計（AD-5605P, (株) エー・アンド・デイ, 東京）を用いて -1 °C であることを確認した。また、各条件は 3 回ずつ作製し、その平均時間を作製時間とした。

実験 2：保冷方法の検証

実験 1 で作製したスラリーを保冷ステンレスボトル（HB-2422, パール金属 (株), 三条）（容量 350 ml, 保冷効力 12 °C 以下, 6 時間）もしくは真空断熱ボトル（DWF-12427B, REVOMAX INNOVATIONS LLC, ポートランド）（容量 355 ml, 保冷効力 7 °C 以下, 6 時間）に注入し、24 °C に保たれた室内で保管した。その後 1 時間毎に、ボトルを 10 回振ってからプラスチックコップにスラリーを注入し、スラリー状態を確認した。保冷効果は家庭でのスラリー作製から練習・試合時の摂取まで要する時間を考慮し、5 時間後まで検証した。

実験 3：保冷バッグとの併用による影響の検証

実験 2 でスラリー状態を維持したボトルについて、保冷剤（容量 400 g, KG23 - 6516, コーナン商事 (株), 堺）を 6 個敷き詰めた発泡スチロール製の保冷バッグ（C-CA03, 積水マテリアルソリューションズ (株), 東京）に入れ、24 °C に保たれた室内で保管した。その後 1 時間毎に、ボトルを 10 回振ってからプラスチックコップにスラリーを注入し、スラリー状態であるかを確認した。保冷効果は実験 2 と同様、5 時間後まで検証した。

III. 結果

実験 1

氷の割合が多い（氷：液体, 3：2）条件のほか、氷と液体の割合が等しい条件（1：1）、氷の割合

が少ない（2：3）条件の 3 条件におけるスラリー状態になるまでの攪拌時間を図 1 に示した。氷の割合が多い条件、氷と液体の割合が等しい条件、氷の割合が少ない条件のいずれも攪拌時間を調整することでスラリーを作製することが可能であった。なお、氷と液体の割合が 3：2 の条件では約 3 分（176.7 ± 5.8 秒）、1：1 の条件では約 1 分 30 秒（93.3 ± 15.3 秒）、2：3 の条件では約 1 分（56.7 ± 11.5 秒）と、氷の割合が多くなるほどスラリー状態になるのに時間を要した。

実験 2

各条件におけるスラリー状態の保冷時間（保冷効果の異なるボトルでの比較）を図 2 に示した。また、スラリー状態の経時変化を写真 1, 2 に示した。保冷ステンレスボトルに入れた場合、氷の割合が多い条件、氷と液体の割合が等しい条件、氷の割合が少ない条件のいずれも 2 時間後までスラリー状態を維持した。しかし、3 時間後には全ての条件で氷粒子が大きくなり、スラリー状態とは認められなかった。真空断熱ボトルに入れた場合、氷と液体の割合が 2：3 の条件では 1 時間後か

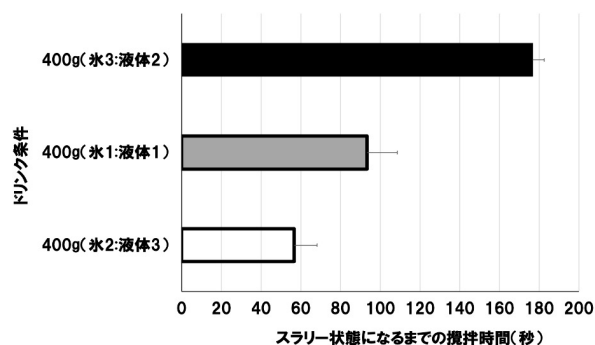


図 1 各条件におけるスラリー状態になるまでの攪拌時間

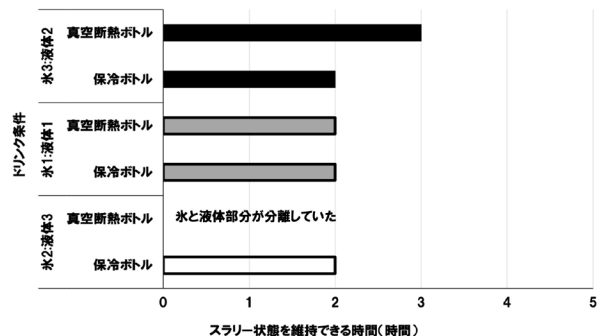


図 2 各条件におけるスラリー状態を維持できる時間（ボトルによる違い）

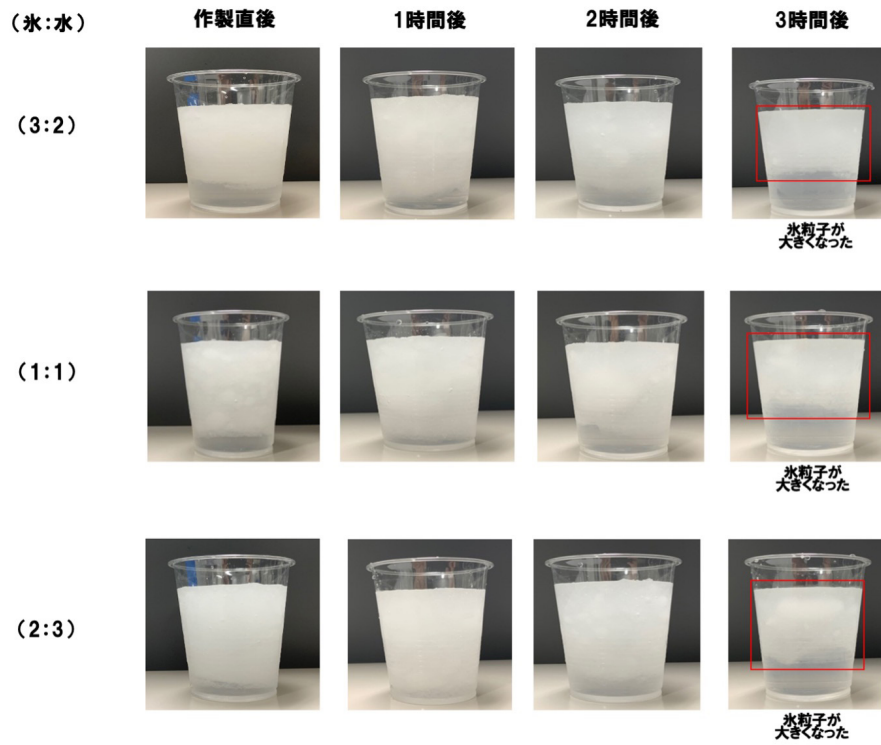


写真1 保冷ステンレスボトルを用いた場合のスラリーの経時変化

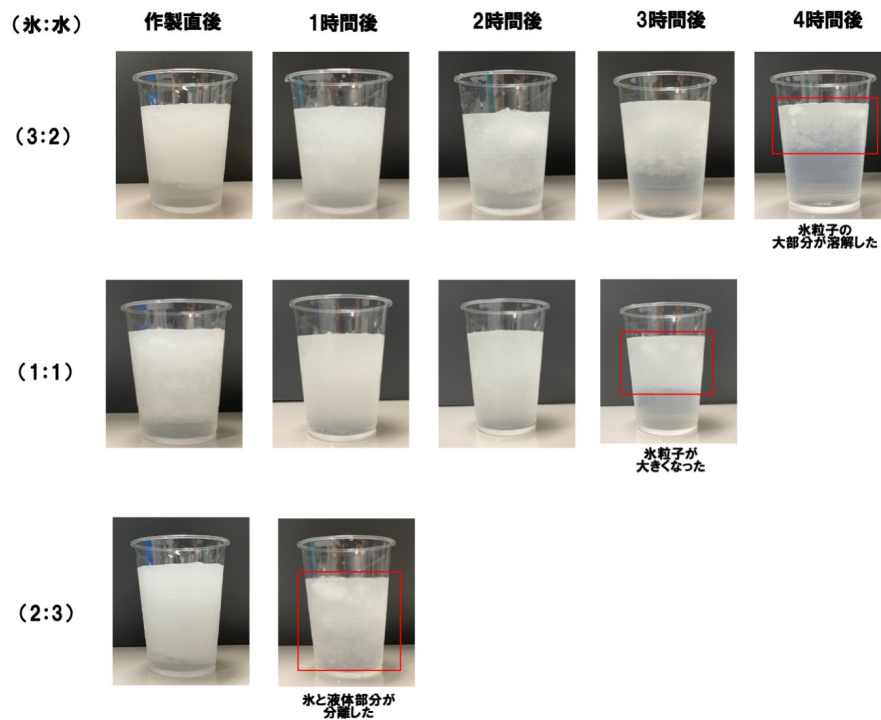


写真2 真空断熱ボトルを用いた場合のスラリーの経時変化

ら氷と液体部分が完全に分離し、氷部分は塊となった。一方、1:1の条件では2時間後、3:2の条件では、3時間後までスラリー状態を維持した。その後、1:1の条件では氷粒子が大きくなり、3:2の条件では氷粒子の大部分が溶解しスラリーと判断しかねる状態であった。

実験3

各条件におけるスラリー状態の保冷時間（保冷バッグの有無による比較）を図3に示した。また、スラリー状態の経時変化を写真3に示した。真空断熱ボトルに加え、保冷バッグと併用することで、氷と液体の割合が2:3の条件を除き、スラリー

状態をさらに延長した。1:1の条件では4時間後、3:2の条件では5時間後までスラリー状態を維持した。その後、1:1の条件では氷粒子が大きくなり、3:2の条件では氷粒子の大部分が溶解し、スラリー状態とは判断できなかった。一方、2:3の条件では保冷バッグに入れた場合でも1時間後から氷部分と液体部分が完全に分離し、流動性を失ったためスラリー状態ではなかった。

IV. 考察

本研究の目的は、専用機器を用いずにスラリーを作製し、スポーツ現場までの保冷方法と運搬方法を検証することであった。その結果、氷と液体の割合を3:2にし、氷攪拌可能なミキサーで約3分間攪拌、その後真空断熱ボトルに注入の上、保冷バッグに入れて保管することで5時間後までスラリー状態を維持できることが示された。一方、氷部分の割合が少ない条件では、真空断熱ボトルでの保管および保冷バッグと併用しても、1時間後にはスラリー状態を維持できていないことが明らかとなった。したがって家庭での作製からスポーツ現場での摂取までの間隔が長時間にわたる場合、氷と液体の割合、保冷方法を工夫する必要性が示された。

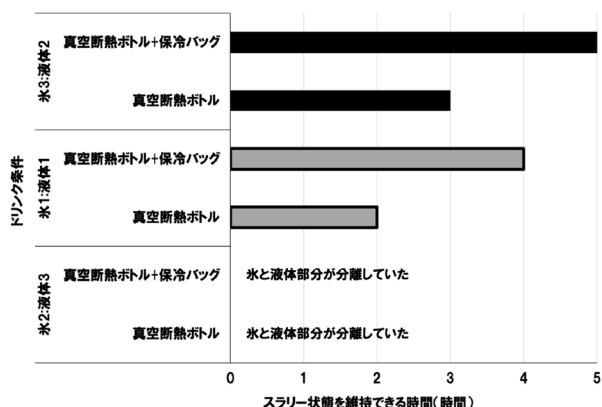


図3 各条件におけるスラリー状態を維持できる時間（保冷バッグの有無による違い）



写真3 保冷バッグと併用した場合のスラリーの経時変化

氷の割合が多い条件 (3:2) でスラリー状態を長時間維持した理由として、1つ目に、スラリーの保管に伴う形態変化による影響が考えられる。先行研究では、氷粒子が少しずつ大きくなり、時間経過と共に熱は伝わりにくくなると指摘されている (Kumano et al., 2012)。よって、作製直後の氷粒子が均一でかつ小さいほど形態を維持する時間も長くなり、身体冷却効果が得られやすいと推察される。しかしながら、保管温度が高い場合、氷部分が融解し、スラリー状態が失われてしまう。したがって、長時間スラリー状態を維持するためには、あらかじめ氷の割合を多くし攪拌を行う必要がある。本研究において3:2の条件は氷の割合が最も多かったため、氷粒子の数が多くなり、スラリー状態をより長時間維持した可能性がある。現場でのスラリーの汎用性を高めるためには、準備時間はかかるものの、氷の割合を多くしてスラリーを作製することが望ましいだろう。

2つ目の理由として氷粒子の大きさによる影響が考えられる。攪拌時間が不十分な場合、小さな結晶が選択的に無くなり、大きな結晶がさらに大きくなっていく現象であるオストワルド熟成や、結晶の表面が曲率を持つと、曲面による内部圧力の変化に伴い、融点に変化する現象であるギブストムソン効果の影響で飲用には適さないことが予想される。本研究では、氷粒子径および経時変化、実際の身体冷却効果は測定していないが、作製直後の氷粒子の大きさが同一ではなかったことがスラリー状態の維持に影響を与えている可能性がある。

スラリーの保冷方法と現場までの運搬方法について、国立スポーツ科学センター発行の『競技者のための暑熱対策ガイドブック【実践編】』においては氷とスポーツドリンクの割合を3:2にしてミキサーで攪拌後、魔法瓶で保冷することを推奨している (中村ほか, 2020)。しかしながら、氷部分が水道水やミネラルウォーターの場合、電解質の濃度が薄まり、スポーツ活動時の水分補給としては適さない。よって本研究では、氷、液体部分ともにスポーツドリンクで作製を行った。その結果、真空断熱ボトルを用いることで、スラリーの形態をより長時間維持できることが明らか

となった。また本研究では現場までの運搬方法として、保冷バッグを使用した際の影響も検証したところ、保冷時間をさらに延長できることを示した。今回使用した保冷バッグの素材である発泡スチロールは独立気泡の発泡体であり、空気の対流が少ないため、熱伝導率が低く、安定した断熱性能を有している。すなわち、保冷ボトルに加えて、断熱性に優れた発泡スチロール製の保冷バッグを用いることでボトル周囲の温度上昇を抑制し、保冷時間を延長させた可能性がある。したがって、真空断熱ボトルと保冷バッグの併用はスラリーの作製から摂取までの時間が長時間にわたる現場での実用性をより高めることにつながるであろう。

本研究の限界としては以下の3点が存在する。1点目としてスポーツ現場で実際にスラリーを自作する際、必要量によっては多大な時間を要する可能性がある。スラリーの身体冷却効果を報告した先行研究 (Siegel et al., 2010; Siegel et al., 2012b) では体重1 kgあたり7.5 gのスラリー摂取を行っていることを踏まえると、1回に400 gを作製した本研究では体重が50 kg前後の選手には適用可能であろう。ミキサーやボトルを複数用意できる場合は、より多くの量を作製・保冷できることから、適用可能な選手を増やすことができるかもしれない。2点目には、屋外スポーツ種目でのスラリーの活用を想定した実際の暑熱環境下で保管は行っていないことが挙げられる。本研究では、保冷剤を敷き詰めた保冷バッグにボトルを入れ、気温24℃に設定された室内で保管をおこなっている。保管環境によっても形態維持効果は異なる可能性があるため、今後様々な環境下でのスラリーの保冷方法を検討していく必要がある。3点目として、本研究では摂取による身体冷却効果を検証していないことがある。今後の課題として、現場での身体冷却効果の測定を行うことが求められる。

V. まとめ

本研究では、市販のスポーツドリンクと氷攪拌可能なミキサーを用いることで氷と液体の割合が異なるいずれの条件もスラリー状態にすることが可能であった。また、氷の割合を増やした条件 (3:

2) の場合, 真空断熱ボトルを用いることでスラリーの形態をより長時間維持し, 保冷バッグを用いることでさらに延長できることが示唆された。準備時間はかかるものの, 氷の割合を多くしてスラリーを作製し, 真空断熱ボトルと保冷バッグを併用することで, より多くの方がスラリー摂取の恩恵を享受できると示唆される。しかしながら, 今回保管を行なった場所は通常環境下(気温 24℃に設定された室内)であり, 実際の暑熱環境下とは異なるため, 今後, 屋外のような環境下で同様に保管した場合に形態を維持できているかはさらなる検証の余地がある。ただし, 運動前のスラリー摂取(プレクーリング)は, 暑熱環境下よりもクラブハウスなどの冷涼環境下で行なった方が深部体温は有意に低下すること(刑部ほか, 2020)を踏まえると, 本研究成果も室内での摂取を想定した場合では適用可能だろう。また, 今回作製したスラリーの摂取が生理学的指標や運動パフォーマンスに及ぼす影響も今後調査していきたい。

VI. 参考文献

- 濱田 広一郎 (2019) 深部体温の上昇には要注意！体を冷やすアイススラリーの可能性。ストレンダス & コンディショニングジャーナル。26 (6) : 7-11.
- 井上 芳光, 近藤 徳彦 (2010) 体温 II - 体温調節システムとその適応 - ナップ。19. pp. 180.
- 熊野 寛之, 浅岡 龍徳 (2016) アイススラリーの流動と熱伝達特性。日本冷凍空調学会論文集。33 (4) :295-314.
- Kumano, H., Hirata, T., Hagiwara, Y., Tamura F. (2012) Effects of Storage on Flow and Heat Transfer Characteristics of Ice Slurry. International Journal of Refrigeration. 35 (1) : 122-129.
- 内藤 貴司, 斎藤 辰哉, 田島 孝彦, 染谷 俊一, 土橋 登志久 (2020) テニス競技現場における身体冷却支援法の課題と戦略 -2020 全豪オープンテニスでの支援を事例に -。Journal of High Performance Sport. 6 : 118-128.
- 中村 大輔, 中村 真理子, 山中 亮, 星川 雅子 (2017) 競技者のための暑熱対策ガイドブック。独立行政法人日本スポーツ振興センター 国立スポーツ科学センター, pp. 28.
- 中村 真理子, 内藤 貴司, 星川 雅子, 中村 大輔, 林 聡太郎 (2020) 競技者のための暑熱対策ガイドブック【実践編】。独立行政法人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, pp. 4-6.
- 刑部 純平, 松本 孝朗, 梅村 義久 (2020) アイススラリー 摂取時の環境温が安静時の深部体温に及ぼす影響。日本生気象学会雑誌。57 (1) :25-31.
- Ross, M. L. R., Garvican, L. A., Jeacocke, N. A., Laursen, P. B., Abbiss, C. R., Martin, D. T., Burke, L. M. (2011) Novel precooling strategy enhances time trial cycling in the heat. Medicine and Science in Sports and Exercise. 43 (1) : 123-133.
- Sleivert, G. G., Cotter, J. D., Roberts, W. S., Febbraio, M. A. (2001) The influence of whole-body vs. torso precooling on physiological strain and performance of high-intensity exercise in the heat. Comparative Biochemistry and Physiology - Part A : Molecular & Integrative Physiology. 28 : 657-666.
- Siegel, R., Laursen, P. B. (2012a) Keeping your cool: possible mechanisms for enhanced exercise performance in the heat with internal cooling methods. Sports Medicine. 1 : 42(2) : 89-98.
- Siegel, R., Maté, J., Brearley, M. B., Watson, G., Nosaka, K., Laursen, P. B. (2010) Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the heat. Medical Science of Sports Exercise. 42 (4) : 717-725.
- Siegel, R., Maté, J., Watson, G., Nosaka, K., Laursen, P. B. (2012b) Pre-cooling with ice slurry ingestion leads to similar run times to exhaustion in the heat as cold water immersion. Journal of Sports Sciences. 30(2) : 155-165.
- Yeo, Z. W., Fan, P. W. P., Nio, A. Q. X., Byrne, C., Lee J. K. W. (2012) Ice slurry on outdoor running performance in heat. International Journal of Sports Medicine. 33 : 859-866.