

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4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での支援

東京 2020 大会テニス競技における日本代表選手への身体冷却支援の取り組み
Body cooling support for Japanese elite tennis players in the
2020 Tokyo Olympic Games

内藤貴司^{1),2)}, 斎藤辰哉^{2),3)}
Takashi Naito^{1),2)}, Tatsuya Saito^{2),3)}

キーワード：アイススラリー, アイスベスト, 暑熱対策, 支援体制, トップアスリート

I. はじめに

テニスの4大会（全豪・全仏・全英・全米オープン）のうち、全豪オープンや全米オープンでは気温が35℃以上になることが多く、選手は厳しい暑さの中で、場合によっては5時間以上競技を行っている¹³⁾。また、2021年に開催された東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会（以下、東京大会）も過去の夏季オリンピック大会の中で最も酷暑下での競技が予想されていた。このような暑熱環境下での運動は、持久的運動能力⁴⁾だけでなく、テニスなどのスポーツに必要な間欠的運動能力³⁾も低下させることが知られている。これらの運動能力の低下は、深部体温の過度の上昇により生じ¹⁰⁾、熱中症につながる可能性もある。実際、Bergeron (2014)¹⁾は、ハードコートのテニスの試合中のプロテニス選手の深部体温は、このような条件下で約39℃に達すると報告している。先行研究では、暑熱環境下でのテニスの模擬試合において、生理的反応（例：心拍数）と知覚的反応（例：知覚的労作）が悪化し、下肢の筋力損失（例：最大等尺トルク）も悪化することが

示唆されている¹¹⁾。したがって、テニスの試合中に深部体温の過剰な上昇を防止または抑制する戦略を見つけることが非常に重要である¹⁾。

テニス競技は奇数ゲーム終了後とセット間にベンチでの短時間の休憩（90-120秒）があり、休息中に身体冷却を行うことができる。テニス競技における身体冷却の先行研究では、大会主催者側（全豪・全米オープン）が用意しているイスタオルや送風冷却の検討がなされている^{6),14)}。例えば、Lynch et al. (2018)⁶⁾は気温45℃、相対湿度10%未満の全豪オープンと同様の環境下でテニスの運動をシミュレートしたランニング運動間の身体冷却が身体熱負荷に及ぼす影響を検討している。その結果、休息時のイスタオルによる身体冷却では10℃の飲料摂取よりも深部体温を運動の後半から、皮膚温を運動前半から低下させたことを報告した。一方で、ファンのみの使用は全豪オープンのような高温低湿環境では蒸発性熱放散（発汗の蒸発による熱損失）に寄与しないため¹²⁾、深部体温の低下をもたらさないことが示された。この研究ではイスタオルによる身体冷却の有効

¹⁾北海学園大学, ²⁾国立スポーツ科学センター, ³⁾鳥取大学

¹⁾ Hokkai-Gakuen University, ²⁾ Japan Institute of Sports Sciences, ³⁾ Tottori University

E-mail : t-naito@hgu.jp

性を示されたが、アイスタオルによる身体冷却法に関して、選手がアイスタオルを大会側に要望してから受け取るまでに多くの時間を要することが問題として挙げられている。テニス競技はサッカーやラグビーなど他の競技とは異なり、国別対抗戦以外の大会ではコーチやスタッフはベンチに入ることができないため、選手自身で身体冷却法を準備し、行う必要がある。そのため、テニス競技では選手自身が行える、より時間を要しない簡便な身体冷却法が求められる。そこで、我々は簡便な身体冷却法として近年注目されているアイススラリー (Ice slurry) の摂取とアイスベストの着用に着目した。

本稿では、2017年から2021年の5年間にわたって実施した東京大会のテニス競技における日本代表選手への身体冷却支援に向けたアイススラリーおよびアイスベストの有用性の検討結果、支援時の課題、本大会の支援に関して報告する。

Ⅱ. テニス競技におけるアイススラリー摂取・アイスベスト着用による身体冷却法の検討

アイススラリーは、水と微小な氷がシャーベット状に混ざった氷飲料である。身体冷却法として、アイススラリーは持久性運動時の運動前や運動中の摂取によって深部体温の低下や上昇の抑制が明らかにされているが、テニス競技において検討はなされていなかった。そこで、我々は暑熱環境下でのテニスの模擬試合を想定した走運動において、休憩時間中のアイススラリーの摂取が冷水摂取と比較して、体温調節応答および主観的感覚に及ぼす影響を検討した⁸⁾。7名の運動習慣を有する成人男性 (年齢 22 ± 2 歳、身長 1.72 ± 0.08 m、体重 64.8 ± 6.8 kg) が気温 36.5°C 、相対湿度 50% に設定された人工気象室で4セットの模擬マッチプレーを2回ずつ行った。プロトコルは時速 16 km で5秒間のスプリントの後、3秒間の減速フェーズ、時速 2 km で3秒間の歩行、5秒間の休息で構成され、これを1ポイントとした。この走行時間と強度は、全米オープンのエリート男子テニス選手の平均ポイント時間に相当すると

報告されている⁹⁾。各シミュレーションのゲームは6ポイントで構成され、セットは8ゲームで構成された。各セッションは4つのセットで構成され、合計時間は約81分とした。国際テニス連盟が定めた休憩時間 (奇数ゲーム間は90秒、セット間は120秒) に、体重 1 kg 当たり 1.25 g のアイススラリーもしくは冷水を摂取させた。直腸温、前額部皮膚温、心拍数、温熱快適性、総発汗量を測定した。アイススラリー試行における直腸温の変化量は冷水試行と比較してセット3の第3ゲームから有意に低値を示した ($p < 0.05$)。前額部皮膚温、心拍数、温熱快適性は実験後半に冷水試行よりアイススラリー試行で有意に低くなった ($p < 0.05$)。また、アイススラリー試行時の総発汗量は冷水試行時よりも有意に少なかった ($p = 0.002$)。これらの結果から、暑熱下でのテニスの模擬試合を想定した走運動中の熱負荷を減弱させるためには、アイススラリー摂取が冷水摂取よりも有効であることが示唆された。一方で、上記の研究ではテニスの模擬試合を想定した走運動であり、実際の屋外でのテニス競技においても深部体温の上昇抑制や間欠的運動能力などのパフォーマンス改善に有効かどうかは不明であった。加えて、上記の研究においてアイススラリーの摂取量は約 1600 g であったため、実際の競技中に摂取を完遂することは難しいと考えられた。そこで、我々はアイススラリーによる体内冷却の摂取量を抑え、アイスベストによる体外冷却を組み合わせた複合冷却を用いることとした。運動間にアイスベストの着用をし、体外冷却をおこなった先行研究では冷却を行わない対象条件と比較して、サッカーを想定した自転車エルゴメーターによる間欠的運動の後半時に平均パワーの低下が抑制されたことを報告している²⁾。

我々は次に屋外暑熱環境下でのテニスの模擬試合において、生理的・知覚的負担の軽減と運動パフォーマンスの向上に用いられる4つの冷却介入の効果を比較した⁷⁾。8名の競技テニス選手が、暑熱環境下 (黒球湿球温度、WBGT: $28.4\text{--}32.5^{\circ}\text{C}$) において、24時間または48時間の間隔

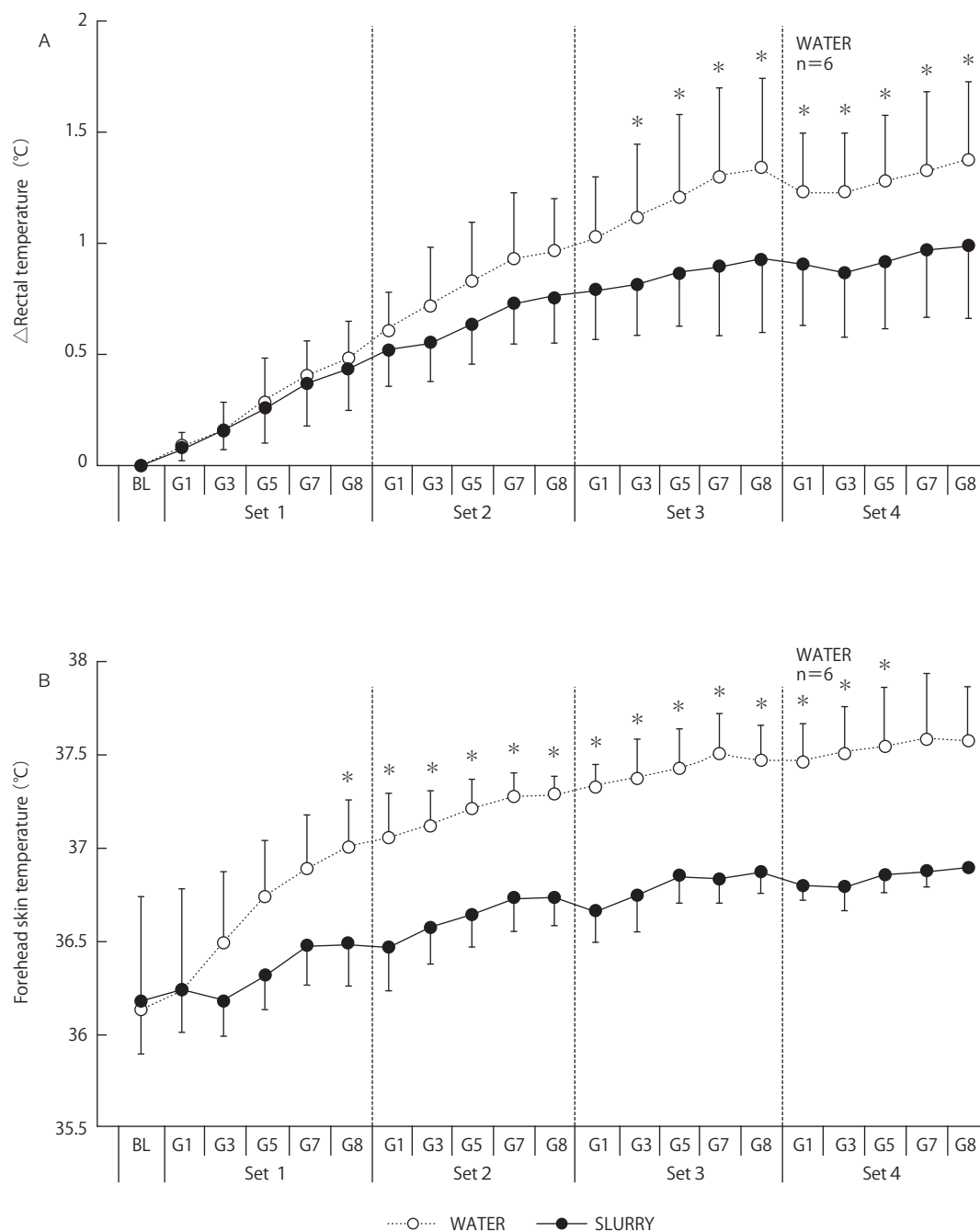


図1. テニスの模擬試合を想定した走運動時の直腸温の変化量 (A) および前額部皮膚温 (B) の推移⁸⁾
 P < 0.05, *WATER vs. SLURRY.

で4試合のカウンターバランス模擬試合を実施した。各試合は3セットで構成され、試合時間の変動を抑えるために1ゲームを3分以内で区切り、「ノーアド」ルールが適用された。選手には、自由行動下での水分摂取 (CON)、自由行動下で

の水分摂取とアイスベスト (VEST)、約1000gのアイススラリー摂取とアイスベスト (複合: BINE)、約400gのアイススラリー摂取とアイスベスト (低複合: L-BINE) の冷却介入を実施した (表1)。BINE 試行と L-BINE 試行では、セッ

表 1. 屋外でのテニス模擬試合における 4 つの介入条件⁷⁾

Cooling strategies	W-up (30 min)	20Rest (20 min)	Game break (90 sec)	Set break (120 sec)
CON	ADLIB	ADLIB	ADLIB	ADLIB
VEST	ADLIB	ADLIB + ice vest	ADLIB + ice vest	ADLIB + ice vest
BINE	200-g ICE	200-g ICE + ice vest	100-g ICE + ice vest	100-g ICE + ice vest
L-BINE	100-g ICE	100-g ICE + ice vest	ADLIB + ice vest	100-g ICE + ice vest

W-up; warming up, 20Rest; rest between w-up and simulated match, CON; control, ADLIB; ad libitum ingestion of water or sports drink, VEST; ice vest, ICE; ice slurry ingestion, BINE; combined, L-BINE; low-combined.

ト 1 のブレイク時に CON 試行に比べて胃腸内温度が低く、この胃腸内温度の差は試合の残り時間を通して持続した ($p < 0.05$)。セット 3 における中高強度活動 (≥ 10 km/h) の比率は、L-BINE 試行が BINE 試行に比べ有意に高かった ($p < 0.05$)。CON 試行および BINE 試行において、高強度活動はセット 1 および 2 に比べ、セット 3 においてそれぞれ有意に低い値を示した。したがって、屋外暑熱環境下におけるテニスの模擬試合時の身体冷却は、アイススラリーの摂取量を BINE 試行よりも抑えた L-BINE 試行が身体の熱負荷を軽減し、走運動能力の低下を抑制したため、望ましい方略であることが示唆された。上記の研究の結果を受けて、テニスの試合時における身体冷却方略は BINE 試行のようにアイススラリーとアイスベストを休息間に併用し、アイススラリー摂取は休息ごとではなく、量を抑えて摂取するものを用いることとした。

Ⅲ. テニス競技における競技時の支援体制の検討

テニス競技における暑熱対策の必要性やアイススラリー摂取やアイスベストによる身体冷却法の有用性は明らかにされてきたが、実際の競技現場でどのように運用していくかは課題が多く残されている。身体冷却支援を行うためには、大量のアイススラリーやアイスベストなどの身体冷却物およびそれらの冷却保持のための保冷剤が必要となる。これらを使用する際、ラボベースでは実験室にある冷蔵・冷凍庫を用いることができ、凍結や保冷は容易であるが、競技現場では宿舎の冷凍庫

を用いて凍結することになる。しかしながら、宿舎の冷凍庫は身体冷却物を凍結する上で、大きさや冷却能力の弱さが問題であった。加えて、サッカーやラグビーのような団体競技ではチームスタッフが数名いること、練習や試合も全ての選手が同時刻に同じグラウンドを用いることから身体冷却物の凍結や運搬は比較的容易である。一方で、テニス競技は個人競技であり、選手各人によって練習、試合時間や会場は異なり、身体冷却物をどのタイミングで試合会場へ運搬し、選手へいつ配布するかといった点で課題があった。そこで、我々は 2020 年全豪オープンにおいて東京大会を想定し、日本人選手を対象に実際の大会における身体冷却支援体制の構築を検討した⁹⁾。

本事例では上記の問題を解決するための事前準備として、①大型の冷凍庫を借用してホテルに常設すること、②凍結の補助としてドライアイスを用いることを講じた。2020 年全豪オープンの日本人選手数は 12 名であったが、東京大会におけるテニス競技の日本選手数は最大 12 名であり、身体冷却物および保冷剤は個人競技においても数多く必要になることが予想された。そこで、本支援では大型冷凍庫を借用した。大型冷凍庫は多量にかつ時間を短縮して凍結させることに加えて、小型の冷凍庫を用いて分散して凍結を行うよりも、個数や凍結具合の管理などに割く人手を少なくすることができるメリットが考えられた。しかしながら、大会前および前半は 12 名分の身体冷却物および保冷剤を毎日凍結させる必要があり、必要個数全てを完全に凍結しきることができな

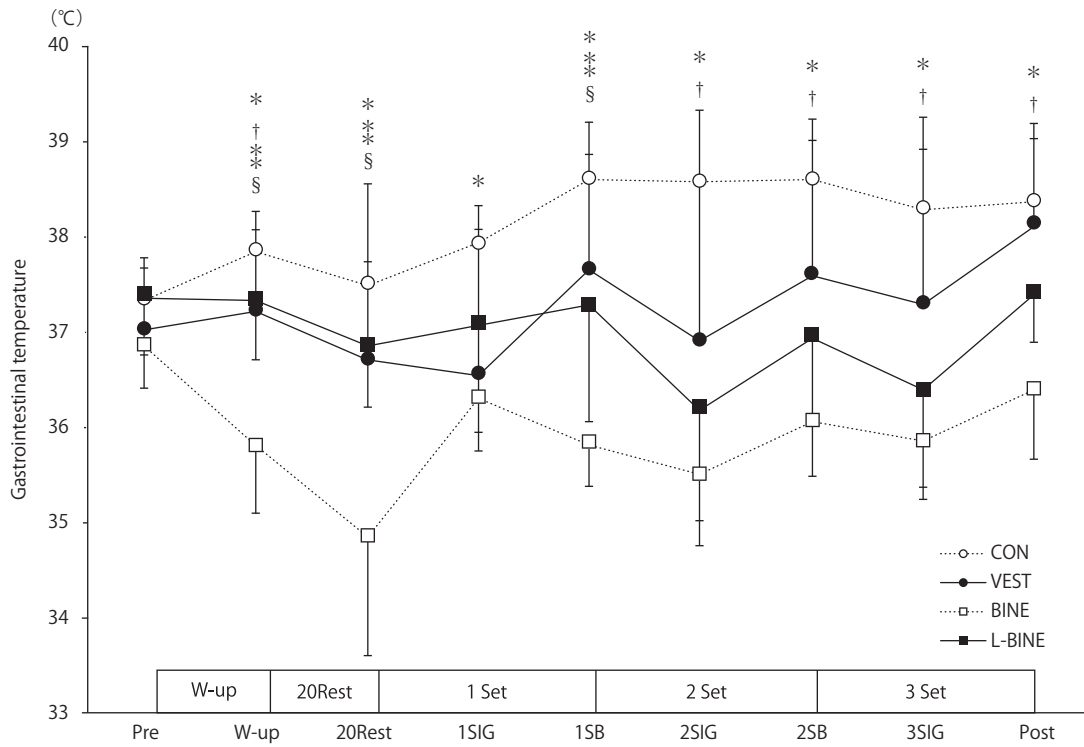


図2. テニスの模擬試合中の胃腸内温度の推移⁷⁾

P < 0.05, * CON vs. BINE, † CON vs. L-BINE, ‡ VEST vs. BINE, and § BINE vs. L-BINE.

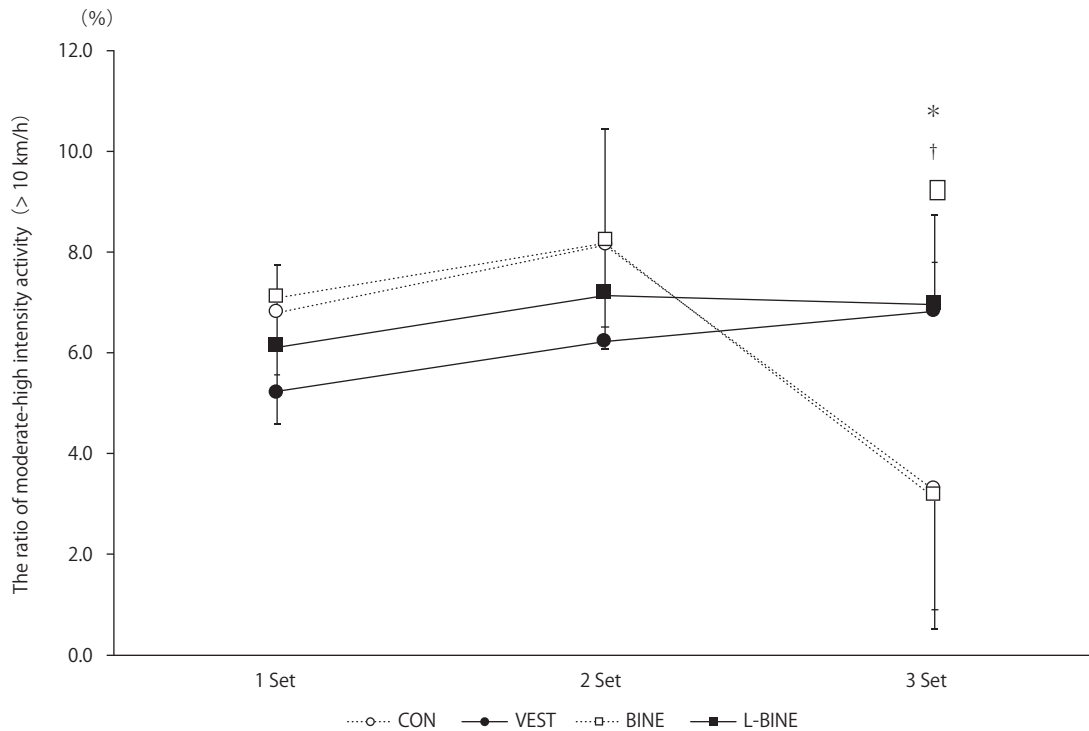


図3. テニスの模擬試合中のセットごとの中高強度活動比率の推移⁷⁾

P < 0.05, * BINE vs. L-BINE, † sets 1 or 2 vs. set 3 in CON, ‡ sets 1 or 2 vs. set 3 in BINE.

かった保冷剤はドライアイスを用いた。ドライアイスは昇華温度が -79°C であり、冷凍庫よりも低温であることから短時間で身体冷却物を凍結させることができる。本事例では凍結においてこれら2つの方法を併用し、選手へ身体冷却物を毎日提供することができた。身体冷却物の運搬および配布は、2020年全豪オープンでは我々サポートスタッフがIDパス（クレデンシャル）やチケットを有した状態で会場に入りながら支援することができた。しかしながら、東京大会は無観客試合が新型コロナウイルス感染症（以下、COVID-19）の流行によって決定され、チケットで会場へ入場し、2020年全豪オープンのような支援を行うことは不可能となった（詳細は内藤ら、2020⁹⁾）。次章では、新型コロナウイルス感染拡大（以下、コロナ禍）における様々な制限下の中で実施した東京大会での支援の詳細を紹介する。

IV. 東京大会のテニス競技における身体冷却支援

東京大会におけるテニス競技は、有明テニスの森を会場として7月24日（土）～8月1日（日）の日程で行われ、11名の日本代表選手を対象に公益財団法人日本テニス協会と協力して身体冷却支援を実施した。身体冷却法は、選手自ら簡便に行うことができ、上記の研究で有効性の検討を行った市販のアイススラリーおよびアイスベストを用いた。身体冷却支援では、選手が身体冷却を実施したいタイミングで行えるよう、「身体冷却物の凍結」、「宿舎から会場内までの運搬」、「会場内での導線」、「試合時の身体冷却支援」の4つがポイントとして挙げているが⁹⁾、本大会ではCOVID-19の流行により無観客試合となり、これまで構築した身体冷却支援体制では対応できない部分について、試行錯誤を繰り返し対応した。ここでは、本大会支援の詳細について、①COVID-19への対策、②身体冷却物の凍結、③身体冷却物の運搬、④試合時の身体冷却支援、について活動を報告する。

1. COVID-19への対策

サポートスタッフはPCR（ポリメラーゼ・

チェーン・リアクション）検査を実施し、陰性が確認された後に活動を開始した。大会期間中にサポートスタッフはマスクを着用し、手指消毒を徹底した。

身体冷却物を入れて配布するための小型のクーラーボックスの共有について対策を講じた。これまでの2020年全豪オープンでの身体冷却支援では、練習および試合時に選手がコートへ持参するアイススラリーおよびアイスベストを入れた小型のクーラーボックスを選手一人一人に分けて準備できていなかったため、試合毎にアイススラリーおよびアイスベストを入れ替えた小型のクーラーボックスを共有していた。東京大会では、アイススラリーとアイスベストを入れた小型のクーラーボックスを選手の人数分それぞれ個別に準備し、ダブルスの場合も、選手個別に準備した。これにより、身体冷却支援物使用時の接触を避けることができた。

2. 身体冷却物の凍結

身体冷却支援を行うためには大量のアイススラリーやアイスベストなどの身体冷却物およびそれらの冷却保持のための保冷剤が必要となるため、強力かつ大型の冷凍庫の借用が必須であった。そこで、業務用の大型冷凍庫を3台借用し、宿舎に -25°C に設定可能な202Lのものを2台、ナショナルトレーニングセンターテニスコートに -40°C に設定可能な623Lのものを1台設置した。事前にアイススラリー、アイスベストの保冷剤およびクーラーボックス用の保冷剤を凍結させ、一晩で凍結することを確認した。宿舎に設置した冷凍庫を主に使用し、身体冷却物および保冷剤を凍結させ、活用した。また、ナショナルトレーニングセンターテニスコートに設置した冷凍庫においても同様に凍結させ、宿舎の冷凍庫にトラブルが生じた際に対応できるように準備した。

3. 身体冷却物の運搬

多くのテニス競技会では、競技会からIDパスが発行される。我々はIDパスの有無による身体

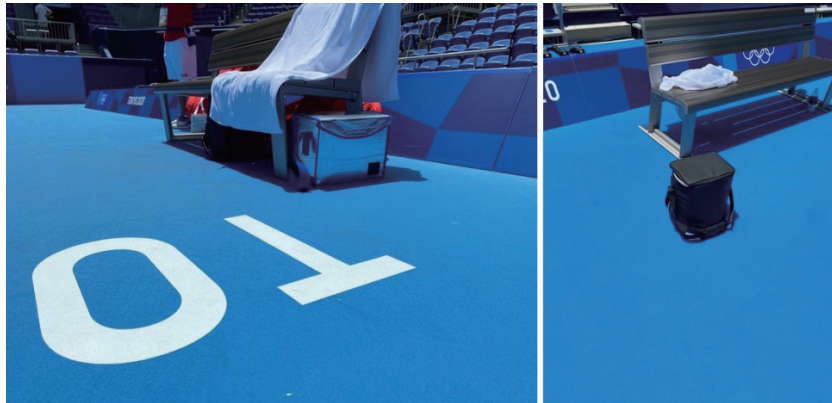


図4. 大会時に使用した小型のクーラーボックス
(左：アイススラリー用、右：アイスベスト用)



図5. 大会時のアイスベストを用いた身体冷却の様子

冷却物の運搬方法の違いについて検討してきたが⁹⁾、本大会では COVID-19 の流行により無観客試合が決定し、我々サポートスタッフが観戦用チケットを用いて会場に入り、支援を行うことは不可能となったため、ID パスがない状態かつチケットでの入場もできない状況であった。そこで、これまでの検討を応用し、宿舎から会場入り口まで運搬は我々サポートスタッフが行い、会場内では監督、コーチ、医師およびトレーナーに協力を仰ぎ、運搬を依頼した。さらにコートへは選手自らが運搬した。サッカーなどの団体競技は試合開始時間が決まっている場合が多いため、大型のクー

ラーボックスを用いて一度に運搬することが可能だが、テニス競技においては各選手のスケジュールに合わせ、個別に運搬する必要がある。また、シングルスとダブルスの両方に出場している選手もあり、1日に2試合行う場合もあった。そのため、1試合目終了後に会場内から使用済みの身体冷却物の入った小型のクーラーボックスを回収し、2試合目に使用する新たな身体冷却物に詰め替えて迅速な受け渡しを行った。このような対応ができた背景には、監督、コーチ、医師およびトレーナー等のチームスタッフと我々サポートスタッフが連絡を取り合えるよう連絡網を準備しており、複数

人のサポートスタッフがそれぞれ身体冷却物を準備し、待機できた点が有効であった。

4. 試合時の身体冷却支援

テニス競技中に休憩ができる時間は奇数ゲーム終了後の 90 秒、セット間の 120 秒である。この中で奇数ゲーム終了後およびセット間ブレイク時に身体冷却を行うことができるが、テニス競技はコーチがベンチに入ることができないため、試合時の身体冷却は選手自らが行わなければならない。したがって、選手に対する身体冷却物の配布や身体冷却法を教授する必要がある。そこで、監督、コーチ、医師およびトレーナー協力のもと、初めに暑熱対策における身体冷却の必要性、アイススラリー、アイスベストの活用方法の説明を行い、選手への身体冷却の有効性の周知を行った。次に、大会前の練習時に選手自ら身体冷却を試してもらい、試合時に使用できるよう実施したいタイミングで各自活用してもらった。その結果、大会時には多くの選手が身体冷却を活用し、無事に身体冷却支援を終えることができた。

V. おわりに

我々は、本稿において東京大会のテニス競技における日本代表選手への身体冷却支援に向けてアイススラリーおよびアイスベストの有用性を①ラボベースの基礎研究、②競技に特化した応用・実践研究で検討した。その後、③実際の競技大会での支援課題の抽出を行い、④東京大会において実装した。これらの 5 年間における取り組みは、ハイパフォーマンススポーツに関する研究・支援を統合的に実施したものである。東京大会において身体冷却支援が選手のハイパフォーマンスに寄与したかを判断することは困難であるが、日本人選手において熱中症発症がいなかったことが成果の一つになるかもしれない。また、東京大会の支援は科学者のサポートスタッフ以外に競技団体のスタッフ、監督、コーチ、医師およびトレーナー等が関わって行った。本大会の支援が競技団体における身体冷却支援法のプラットフォームとして確

立され、無形のレガシーになることが期待される。

謝辞

本活動に多大なるご理解とご協力をいただきました公益財団法人日本テニス協会に感謝申し上げます。大会中の暑熱対策サポート実施にあたり協働でご尽力いただいた田島孝彦強化サポート委員長、染谷俊一氏、斎藤浩士氏、三谷玄也医師、田中基義トレーナー、勝俣辰伴トレーナー、猪飼美里トレーナーに感謝申し上げます。また、土橋登志久強化本部長をはじめコーチスタッフの皆様、選手皆様に心より感謝申し上げます。

文献

- 1) Bergeron MF. Hydration and thermal strain during tennis in the heat. *Br J Sports Med*, 48 (Suppl 1): i12-17, 2014.
- 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) Drust B, Rasmussen P, Mohr M, Nielsen B, Nybo L. Elevations in core and muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiol Scand*, 183(2): 181-190, 2005.
- 4) Galloway SD, Maughan RJ. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Med Sci Sports Exerc*, 29(9): 1240-1249, 1997.
- 5) Kovacs MS. A comparison of work/rest interval in men's professional tennis. *Med Sci Tennis*, 9(3): 10-11, 2004.
- 6) Lynch GP, Periard JD, Pluim BM, Brotherhood JR, Jay O. Optimal cooling strategies for players in Australian Tennis Open conditions. *J Sci Med Sport*, 21(3): 232-237, 2018.
- 7) Naito T, Nakamura M, Muraishi K, Eda N, Ando K, Takemura A, Akazawa N, Hasegawa H, Takahashi H. In-play optimal cooling for outdoor match-play tennis in the heat. *Eur J Sport Sci*,

- 22(3): 326-335, 2022.
- 8) Naito T, Sagayama H, Akazawa N, Haramura M, Tasaki M, Takahashi H. Ice slurry ingestion during break times attenuates the increase of core temperature in a simulation of physical demand of match-play tennis in the heat. *Temperature (Austin)*, 5(4): 371-379, 2018.
- 9) 内藤貴司, 斎藤辰哉, 田島孝彦, 染谷俊一, 土橋登志久. 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, 2020.
- 10) Parkin JM, Carey MF, Zhao S, Febbraio MA. Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *J Appl Physiol*, 86(3): 902-908, 1999.
- 11) Periard JD, Girard O, Racinais S. Neuromuscular adjustments of the knee extensors and plantar flexors following match-play tennis in the heat. *Br J Sports Med*, 48 (Suppl 1): i45-51, 2014.
- 12) Ravanelli NM, Hodder SG, Havenith G, Jay O. Heart rate and body temperature responses to extreme heat and humidity with and without electric fans. *JAMA*, 313(7): 724-725, 2015.
- 13) Reid M, Duffield R. The development of fatigue during match-play tennis. *Br J Sports Med*, 48(Suppl 1): i7-11, 2014.
- 14) Schraner D, Scherer L, Lynch GP, Korder S, Brotherhood JR, Pluim BM, Periard JD, Jay O. In-Play Cooling Interventions for Simulated Match-Play Tennis in Hot/Humid Conditions. *Med Sci Sports Exerc*, 49(5): 991-998, 2017.