

暑熱対策に関する研究と競技現場の取り組みの潮流

岡崎 和伸

大阪公立大学 都市健康・スポーツ研究センター
大阪公立大学大学院医学研究科 運動環境生理学

はじめに

ドーハ 2019 世界陸上競技選手権大会（以下、ドーハ 2019 世界陸上）および東京 2020 オリンピック競技大会（以下、東京 2020 オリンピック）においては、気温・湿度の高い暑熱環境下において競技が実施された。それらの大会に向け、暑熱環境下における競技パフォーマンスの最適化を目的とし、国内外で数多くの暑熱対策に関する研究が推進され、また、競技現場における様々な取り組みが行われてきた。2024 年には、パリ 2024 オリンピック競技大会（以下、パリ 2024 オリンピック）が 7 月 26 日から 8 月 11 日に開催され、陸上競技は 8 月 1 日から 8 月 11 日に開催される。近年、ヨーロッパではこの期間に季節的な熱波が起こっており、パリ 2024 オリンピックは気温・湿度の高い暑熱環境下で競技が実施されることも予想されている。また、2025 年には 9 月 13 日から 9 月 21 日に東京 2025 世界陸上競技大会が開催される。暑熱対策は、アスリートの熱中症予防の観点からも非常に重要であるが、ここでは、暑熱環境下における競技パフォーマンスの最適化の観点から、暑熱対策に関する研究と競技現場の取り組みについて、ドーハ 2019 世界陸上および東京 2020 オリンピックに向けて実施されてきた暑熱に関する研究と競技現場の取り組みについて、近年の動向も踏まえて紹介する。ちなみに、暑さに身体がなれることを暑熱順化（馴化）というが、人工的な環境（例えば、高気温や高湿度）になれることを順化（acclimation）、自然環境（例えば、季節や気候の変化）になれることを馴化（acclimatization）というが、明確に区別するのはむずかしい。本項では暑熱馴化を用いて記載する。

暑熱環境下における体温調節と競技パフォーマンス

我々の体温は、大きな部位差や個人差等もあるものの、安静時で深部体温は約 37℃、筋温は約 35℃、皮膚温は約 31℃である。運動時に使われるエネルギーのうち、筋収縮に使われるのは約 20%で、残りの約 80%は熱になるため、運動時には筋温の上昇とともに深部体温が上昇する。これらの熱は皮膚表面を介して体外に放散されるが、我々は、体温の上昇に対して、2つの機構によって体外への熱の放散を調整しており、その1つは皮膚血管の拡張によって皮膚温を上げること、もう一つは発汗することである。しかし、気温が高いほど、気温と皮膚温の差が小さくなるため熱が放散されにくくなり、気温が皮膚温を超える状況では体内に熱が流入することになる。日射や輻射がある場合には、その分、体内に熱が流入することになる。気温に関わらず、汗の蒸発によって熱が放散されるため、気温が皮膚温を超える状況では、汗の蒸発が熱を放散する唯一の経路になるが、湿度が高いほど汗の蒸発は少なくなる。このように、気温、湿度、日射・輻射が高いほど体温が上昇しやすくなる。ちなみに、これらの人体と環境の熱のやりとりの程度について、気温、湿度、日射・輻射の影響（これらに及ぼす風の影響も）を反映した指標が、湿球黒球温度（WBGT）である。

当然、運動強度が高いほど、また、運動時間が長いほど、深部体温が上昇することになり、暑熱環境下における持久性競技中に深部体温は 38.5℃～40℃程にもなり、場合によっては 41℃以上にもなる。図 1 は、陸上競技の走種目について、気温が 25℃未満の場合と比較した 25℃以上の場合のパフォーマンス変化率を示している。400m 走までは気温の高い方がパフォーマンスが高い。筋温の上昇（例えば、ウォーミングアップによって）は、代謝速度、神経伝導速度、あるいは、筋柔軟性の向上

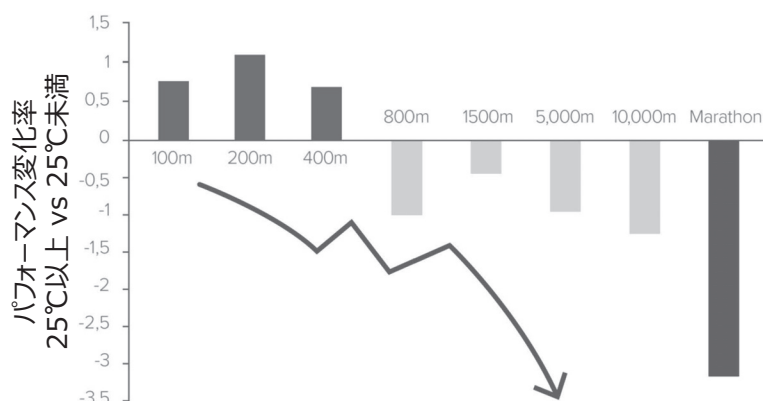


図1. 気温が陸上競技走種目の競技パフォーマンスに及ぼす影響。気温が25°C未満の場合と比較した25°C以上の場合のパフォーマンス変化率を示す。Beat The Heat IAAF, および, Guyら2015から作成

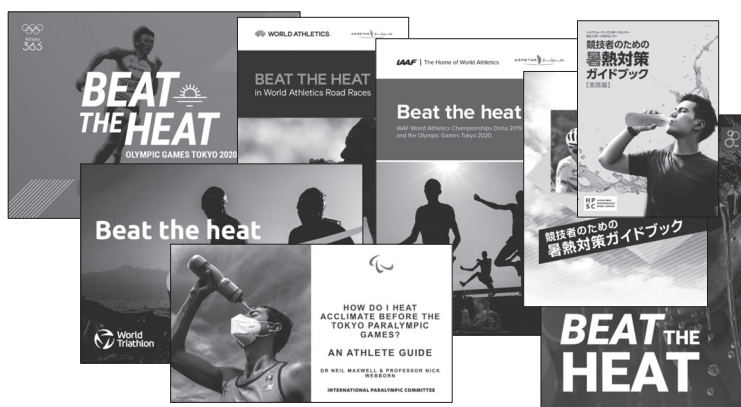


図2. Beat The Heat と各競技団体などの暑さ対策のガイドブック

によって、スプリント、跳躍、投擲を含む瞬発的種目においてはプラスに働くためである。一方、800m走以上では、気温の高い方がパフォーマンスが低く、さらに、その影響は持久性競技特性の高い種目ほど顕著となる。これは、深部体温の上昇、また、発汗による脱水が競技パフォーマンスを低下する主要因となるためである。このような暑熱環境下においてパフォーマンスの低下が懸念される種目においては、暑熱対策の成否が競技成績を左右するといっても過言ではない。

Beat The Heat (暑さに打ち勝つ)

東京2020オリンピックで想定される暑さに対して、国際オリンピック委員会 (IOC) は、2019年8月にアスリートやコーチに向けた暑さ対策のガイドブック「Beat The Heat」(暑さに打ち勝て)を公表し、競技会への参加に対して入念な準備を呼びかけた。また、屋外の持久性競技を中心とした各競技団体などから同様のガイドブックが公表され、国際陸上競技連盟 (IAAF) からは、ドーハ2019世界陸

上および東京2020オリンピックの暑さ対策のガイドブック「Beat The Heat IAAF World Athletics Championships Doha 2019 and the Olympic Games Tokyo 2020」が公表されている(図2)。これらのガイドブックでは、開催期間中に予想される環境(気温や湿度)、暑熱環境が競技パフォーマンスに及ぼす影響、暑熱環境下における体温調節機能や運動中の深部体温の上昇、暑熱馴化による生理機能の変化、暑熱馴化の方法および競技会までの戦略、脱水が競技パフォーマンスに及ぼす影響、競技や練習時の給水戦略、クーリング(身体冷却)戦略について、暑熱対策に関する研究の結果とともに、競技現場における具体的な対策が解説されている。

Beat The Heatでは、以下に示す、東京2020オリンピックの暑さに打ち勝つ「10の秘訣」が示されている(Beat The Heat during the Olympic Games Tokyo 2020, 10 TopTips)。

1. 暑熱環境下での運動で暑熱馴化、少なくとも2週間
2. 暑熱馴化に2週間が無理なら、少なくとも1週間

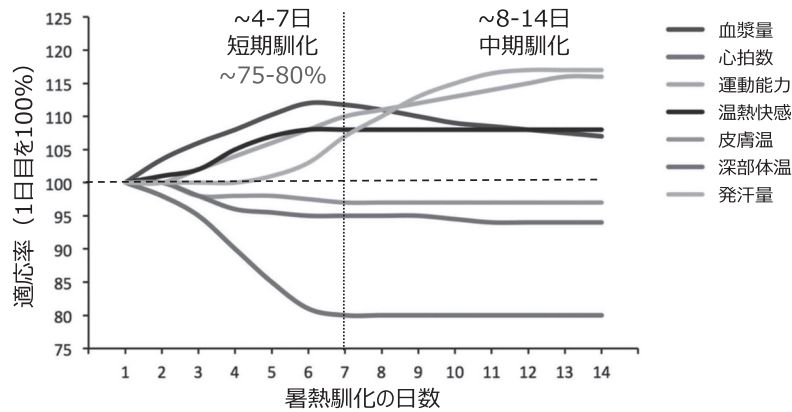


図3. 暑熱馴化による身体諸機能の変化。1日目を100%として変化率を示す。Beat The Heat IAAF, および, Périard ら 2015 から作成

3. 競技の数日前からの水分補給計画を実行
4. ウォーミングアップ時のプレクーリング戦略 (アイスベストなど)
5. 試合・競技前の練習時にクーリング戦略をテスト
6. 汗の蒸発を妨げるウェアを使用しない
7. 多くの薬は暑熱耐性を阻害する可能性があるため、薬の使用はスポーツドクターと相談
8. 下痢や嘔吐は水分状態を悪化させるため、その場合は経口補水液を使用
9. ベタベタしない (水性の) 日焼け止めの使用
10. 帽子とカテゴリー 3 のサングラスの使用

また、IAAF の Beat The Heat では、暑熱環境下における 10,000m 走以上の種目に参加する選手には、暑熱対策に関する以下の 9 項目の準備状況をスコア化し、少なくとも 5 ポイント以上の準備を促している。

- | | |
|------------------------|---------|
| ・ 2 週間の暑熱馴化 | +4 ポイント |
| ・ 1 週間の暑熱馴化 | +3 ポイント |
| ・ 気温の高い国・地域からの移動 | +3 ポイント |
| ・ 水分補給計画 | +2 ポイント |
| ・ プレクーリング (競技前の身体冷却) | +1 ポイント |
| ・ パーククーリング (競技中の身体冷却) | +1 ポイント |
| ・ 汗の蒸発を妨げる衣服の着用 | -1 ポイント |
| ・ 熱中症の既往歴 | -1 ポイント |
| ・ 暑熱耐性を低下する恐れのある承認薬の摂取 | -1 ポイント |

以上から、現在までの暑熱対策に関する研究と競技現場の取り組みの潮流は、暑熱馴化、水分補給、身体冷却の 3 つに集約されることがわかるだろう。

以下、それぞれの要点を IAAF の Beat The Heat の内容に最近の動向も踏まえて解説する。

暑熱馴化

暑熱馴化は、「10 の秘訣」のトップ 2 を占めている通り、Beat The Heat の中には「暑熱環境下で競技するための最も重要な準備」として提示されている。暑熱馴化は、日常生活においても、季節変動に伴う夏季の気温の上昇に対して、身体が暑さに馴れていく変化として観察されるが、その程度は緩やかである。競技者においては、高温・高湿度の暑い環境下において日々のトレーニングを実施することで獲得される。暑熱馴化を効果的に獲得するためのカギは、深部体温の上昇、皮膚温の上昇、十分な発汗の 3 つであり、暑熱環境下における運動を繰り返すことで達成される。暑熱環境下において、1 日 1 時間～1 時間半ほどの持久性運動を実施する暑熱馴化トレーニングによって暑熱馴化が進む。暑熱馴化による身体諸機能の変化は一樣ではなく、その現れ方には個人差もあるが、暑熱馴化トレーニングを毎日実施すると、7 日～10 日ほどで 80% ほどの馴化が獲得され、2 週間ほどで馴化はほぼ完了する (図 3)。

すなわち、競技の開催場所と類似した環境において、暑熱馴化トレーニングを競技前 2 週間にわたって実施することが推奨される。持久性競技のパフォーマンスは、涼環境下と比べて暑熱環境下では劇的に低下するが、その影響は暑熱馴化の程度が進むにつれて改善する。暑熱馴化によって、発汗量の増加、安静時の深部体温の低下、一定強度運動時の心拍数と深部体温の低下、汗の塩分濃度の低下などの適応が起こるが、これらは、暑熱環境下における持久性競技パフォーマンスの最適化 (最適パフォーマンスの発揮) をもたらす要因となる。暑熱馴化に

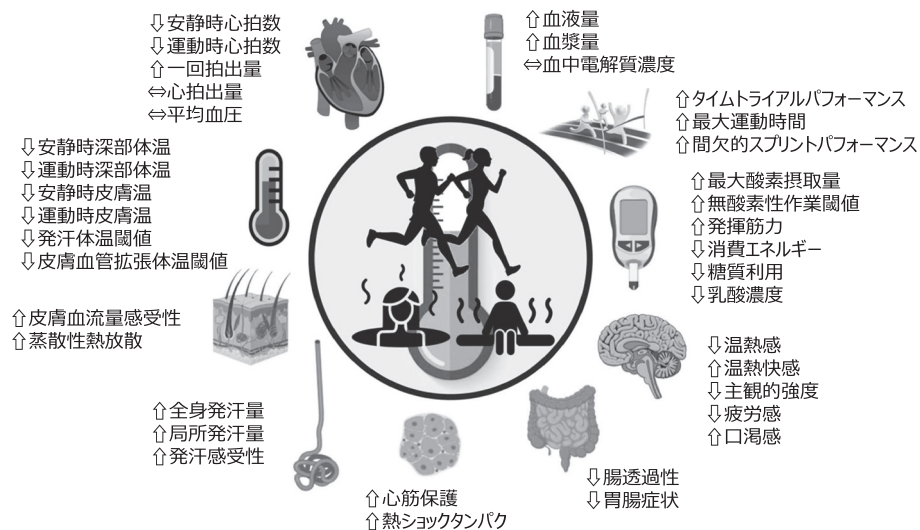


図 4. 暑熱馴化による体温調節・パフォーマンス・生理機能の変化。Gibson ら 2020 から作成

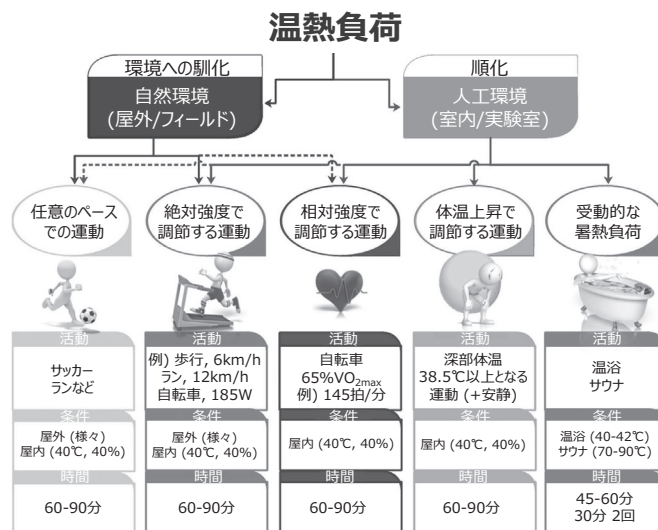


図 5. 暑熱馴化の様々な方法。Beat The Heat IAAF, および, Daanen ら 2018 から作成

よって熱中症の発症リスクが低減することも期待できる。また、暑熱馴化は、暑熱環境下における持久性パフォーマンスを最適化するのみならず、涼環境下における持久性パフォーマンスを向上することも確認されている。さらに、近年、様々な研究成果から、暑熱馴化によって体温調節能や持久性競技パフォーマンスに加えて、間欠的スプリントパフォーマンスや発揮筋力の向上すること、あるいは、様々な生体機能や生理機能の向上する可能性が示唆されている(図 4)。また、暑熱馴化の際には、温熱負荷に影響する因子(体格、体組成、筋量、運動強度、性周期など)に性差が認められるが、暑熱馴化の程度には性差はない。しかし、暑熱馴化に必要な期間には性差が存在し、パフォーマンスの最適化が得られるまでの期間は、男性では短期(1週間程度)だが、女性では中期(2週間程度)である。

暑熱馴化の様々な方法

上記のとおり、暑熱馴化を効果的に獲得するためのカギは、深部体温の上昇、皮膚温の上昇、十分な発汗の3つであり、暑熱環境下における1日1時間~1時間半ほどの暑熱馴化トレーニングが推奨されるが、運動(身体内部からの加温)と暑熱暴露(身体外部からの加温)の組み合わせで、様々な方法が提示されている(図 5)。暑熱暴露は、競技の開催場所と類似した自然環境への暴露がベストではあるが、それがむずかしい場合は、人工環境(人工気象室、あるいは、ヒーターなどを用いたホットルーム)を用いることで、一定の暑熱馴化の効果を得ることが期待できる。また、温浴やサウナなどの受動加温を用いることも有効な取り組みであるが、通常、受動加温のみによる暑熱馴化の効果は、暑熱環境下における運動による効果よりも小さい。効果と耐性を考

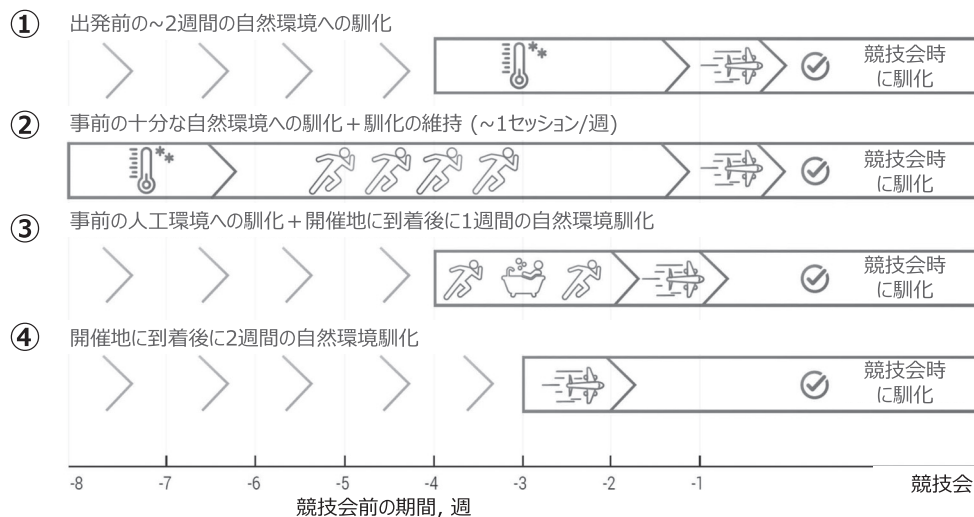


図 6. 暑熱環境下での競技会に向けた暑熱馴化戦略の例。Beat The Heat IOC から作成

慮すると、温浴を用いる場合の温度は 40～42℃程度、サウナを用いる場合の温度は 70～90℃がよい。涼環境下での運動（18℃、40分）後に温浴（40℃、40分）を実施すると、同運動後に中和温水浴（32℃、40分）を実施する場合に比べて、1週間のトレーニング後に安静時の体温が低下し、5 km タイムトライアルが有意に向上することが示されている。また、近年、暑熱環境下での 1 週間のトレーニング（33℃、60分）と比べて、涼環境下での 1 週間のトレーニング（19℃、40分）後の温浴（40分、40℃）は、暑熱馴化の効果が同程度であったことも報告されており、運動と暑熱暴露の両方を用いることが十分な暑熱馴化の効果をj得るために必要と考えられる。暑熱環境を準備できない場合は、他の手段として運動中に体温を上げるようなウェアを用いることも可能である。一方、過度な暑熱への暴露は、熱中症の発症が懸念されるだけでなく、生体への過度の暑熱ストレスとなり、消化管損傷を増悪させて下痢や食欲不振を引き起こしたり、慢性的な疲労をもたらすなど、トレーニング効果やパフォーマンスを低下する要因となるため注意が必要である。

暑熱環境下での競技会に向けた暑熱馴化戦略

暑熱馴化は、いったん獲得された場合でも、涼環境下に滞在すること、あるいは、深部体温や皮膚温の上昇や発汗が十分でない状況が続くことで、徐々に失われてしまう（脱馴化）。1週間に 1～2 回程度、暑熱馴化トレーニングや受動加温を用いることで、暑熱馴化の効果を維持できること、また、脱馴化が一部起こった場合でも、再度の暑熱馴化（再馴化）の際には、短期間で暑熱馴化を獲得できることが確

かめられている。競技会に向けては、トレーニング計画に加えて、ピーキング、テーパリング、コンディショニング、移動を含めて暑熱馴化戦略を立てる必要がある。暑熱馴化戦略の例を図 6 に示した。

- ① 競技の開催場所と類似した自然環境で 2 週間程度十分に暑熱馴化してから、競技の開催場所に到着し、その場所で一定期間の馴化・準備後に競技に挑む
- ② 事前に自然環境で十分な暑熱馴化をしてから、その後、一定期間を涼環境下でトレーニングを実施し、その間、暑熱環境下での運動や受動加温などの様々な方法で馴化を維持してから、競技の開催場所に到着し、その場所で一定期間の馴化・準備後に競技に挑む
- ③ 事前に人工環境や受動加温によって一定の暑熱馴化を獲得後、1 週間前までに競技の開催場所に到着し、その場所で十分に暑熱馴化する
- ④ 2 週間以上前に競技の開催場所に到着し、その場所で十分に暑熱馴化する

水分補給計画

上記のとおり、暑熱環境下における体温調節において発汗は非常に重要であるが、発汗量に応じて脱水が進行するため、暑熱環境下における高強度・長時間運動時に、十分な水分補給がなければ、脱水の程度は体重の 2～7%にも及ぶ。脱水の進行に伴い、深部体温の上昇、心拍数の上昇、筋血流量の低下などが増悪し、持久性パフォーマンスは低下する。持久性ほどではないものの、ストレンクス・パワー系のパフォーマンスも脱水によって低下する報告があ

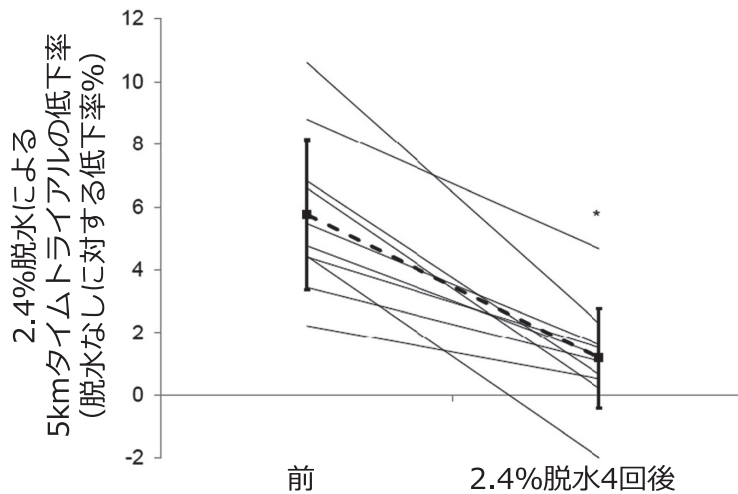


図7. 脱水によるパフォーマンス低下に及ぼす脱水へのなれの影響。Fleming ら 2014 から作成

ることから、また、熱中症予防の観点からも、持久性種目以外においても脱水を避けることが求められる。

涼環境下での1～2時間の運動の場合は、口渇感(のどの渇きの感覚)に応じた水分補給が適切で十分である。一方、暑熱環境下での90分を超える運動の場合は、計画的水分補給(発汗量・脱水量に応じた水分補給)によってパフォーマンスが最適化すると期待される。競技の時間や運動強度、および、実施する環境において発汗量を確認し、体重の2～3%脱水を超えない程度の量を目安とし、飲みすぎない。塩分濃度の低い飲料の飲みすぎによる運動誘発性低ナトリウム血漿にも注意が必要である。運動前後の体重のチェック、尿カラーや尿比重のチェックも脱水の程度を把握するために有効である。汗の塩分濃度は体液の塩分濃度の1/5～1/2程度であり、大きな個人差が存在する。運動時間が1時間を超える場合、また、汗の塩分濃度の高いアスリートは、十分なナトリウム(塩分)の補給が必要である。

脱水によって持久性パフォーマンスは低下するが、その低下の程度は、脱水になれば軽減することが報告されている(図7)。競技中にある程度の脱水を負うことが見込まれる場合には、事前に脱水に慣れておくことも有効と考えられるが、この場合、脱水による循環器系や体温調節系への負荷は軽減せず、熱ストレスも増大することに注意する必要がある。また、10日間の暑熱馴化トレーニング中に脱水する場合と脱水しない場合において、暑熱馴化の効果に差がないことも報告されており、暑熱馴化トレーニング中には脱水を避けるために十分な水分補給と合わせて実施することが推奨される。

身体冷却(クーリング)戦略

運動中の深部体温や皮膚温の上昇は、暑熱環境下における持久性パフォーマンスを制限する。そのため、持久性種目ではスタート前に必要のない体温上昇はできる限り避けるべきである。ウォーミングアップは、可能な限り日陰などの暑熱負荷の少ない場所で実施すべきである。近年、運動前や運動中の身体冷却によって、運動中の深部体温や皮膚温の上昇が抑えられ、持久性パフォーマンスの向上することが報告されている。競技現場においては、アイスベスト、冷却タオル、送風などの外部冷却(身体の外から皮膚表面を冷やす手法)、あるいは、冷たい飲料やアイススラリーの摂取による内部冷却(身体の内から冷やす手法)、また、それら両方を組み合わせてプレクーリング(運動前の身体冷却)を実施するとよい。その他、競技中には、紫外線カットのサングラス、日射を避ける色、形態、素材のウェア、汗の蒸発を妨げないウェア、ベタベタしない(水性の)日焼け止めの使用などによって、可能な限り暑熱ストレスを軽減するとよい。これらのクーリング戦略は、試合・競技前の練習時に試しておく必要がある。

参考文献

- Beat The Heat during the Olympic Games Tokyo 2020. Athlete 365, International Olympic Committee <https://olympics.com/athlete365/beat-the-heat/>
- Brocherie F, Pascal M, Lagarrigue R, Millet GP: Climate and health challenges for Paris 2024 Olympics and Paralympics Detailed

- planning for heat events is essential to protect both athletes and the public. *BMJ* Jan 2;384:e077925. doi: 10.1136/bmj-2023-077925, 2024.
- Daanen HAM, Racinais S, Périard JD: Heat Acclimation Decay and Re-Induction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med* 48, 409-430, 2018.
- Fleming J, James LJ: Repeated familiarisation with hypohydration attenuates the performance decrement caused by hypohydration during treadmill running. *Appl Physiol Nutr Metab* 39(2), 124-129, 2014.
- Gibson OR, James CA, Mee JA, Willmott AGB, Turner G, Hayes M, Maxwell NS: Heat alleviation strategies for athletic performance: A review and practitioner guidelines. *Temperature (Austin)* 7(1), 3-36, 2020.
- Guy JH, Deakin GB, Edwards AM, Miller CM, Pyne DB: Adaptation to hot environmental conditions: an exploration of the performance basis, procedures and future directions to optimise opportunities for elite athletes. *Sports Med* 45, 303-311, 2015.
- McIntyre RD, Zurawlew MJ, Oliver SJ, Cox AT: A comparison of heat acclimation by post-exercise hot water immersion and exercise in the heat. *J Sci Med Sport* 24(8), 729-734, 2021.
- 岡崎和伸: 暑さ対策としての水分補給. *臨床スポーツ医学* 35, 677-678, 2018.
- Périard JD, Racinais S, Sawka MN: Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports. *Scand J Med Sci Sports* 25, 20-38, 2015.
- Racinais S, Périard JD, Alonso JM, Adami PE, and Bermon S: Beat the heat, IAAF World Athletics Championships Doha 2019 and the Olympic Games Tokyo 2020. IAAF The Home of World Athletics.
- Racinais S, Alonso JM, Coutts AJ, Flouris AD, Girard O, González-Alonso J, Hausswirth C, Jay O, Lee JKW, Mitchell N, Nassis GP, Nybo L, Pluim BM, Roelands B, Sawka MN, Wingo JE, Périard JD: Consensus recommendations on training and competing in the heat. *Scand J Med Sci Sports* 25, 6-19, 2015.
- Racinais S, Périard JD, Karlsen A, Nybo L: Effect of heat and heat acclimatization on cycling time trial performance and pacing. *Med Sci Sports Exerc* 47, 601-606, 2015.
- Sumi D, Okazaki K, Goto K: Gastrointestinal function following endurance exercise under different environmental temperatures. *Eur J Appl Physiol*, Jan 4. doi: 10.1007/s00421-023-05387-x, 2024.
- Wickham KA, Wallace PJ, Cheung SS: Sex differences in the physiological adaptations to heat acclimation: a state-of-the-art review. *Eur J Appl Physiol* 121(2), 353-367, 2021.