

***BEAT* THE HEAT**

Authored by

Julien D. Périard (UCRISE),
Ben T. Stephenson (LU),
Vicky L. Goosey-Tolfrey (LU),
Thanos Nikopoulos (ITU), and
Sergio Migliorini (ITU)



University of Canberra Research Institute for
Sport and Exercise (UCRISE)
Building 29, University of Canberra
Bruce, ACT 2601
Australia

www.canberra.edu.au/research/institutes/ucrise



School of Sport, Exercise and Health Sciences
The Peter Harrison Centre for Disability Sport,
Loughborough University (LU)
Epinal Way, Loughborough
Leicestershire, LE11 3TU
United Kingdom

<http://www.lboro.ac.uk/departments/ssehs>
<https://www.lboro.ac.uk/research/phc/>



International Triathlon Union (ITU)
Maison du Sport International
Av. de Rhodanie 54
1007 Lausanne
Switzerland

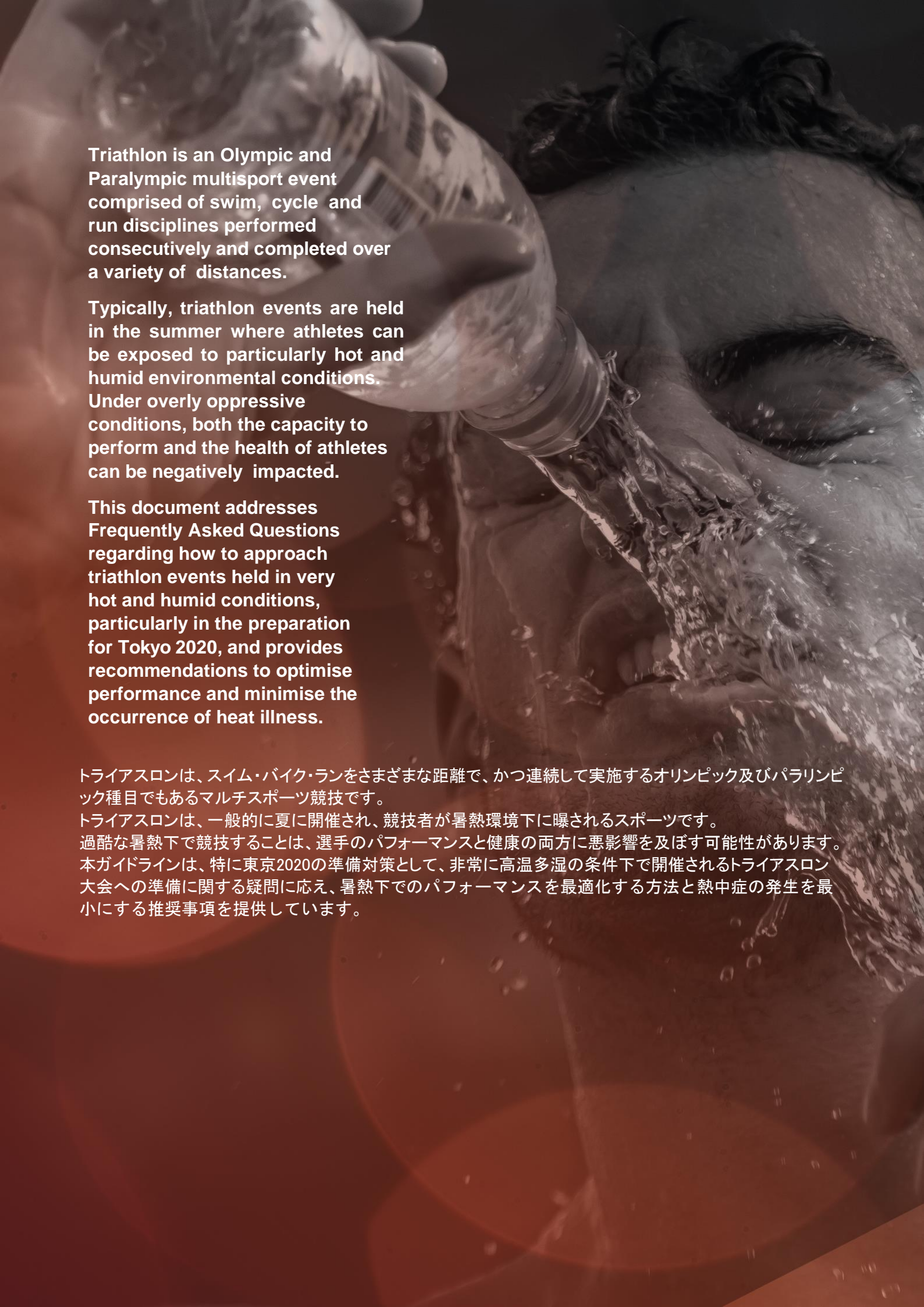
www.triathlon.org

Contents 目次

How is core temperature regulated? 深部体温はどのように調整されるのか？	1
How does environmental heat stress 暑熱環境がトライアスロンのパフォーマンスへどのような影響を及ぼすか？	3
How does environmental heat stress affect athlete health? 暑熱環境が選手の健康にどのような影響を及ぼすか？	6
How to best prepare for competing in the heat? 暑熱下で競技するためにベストな対策とは？	8
What sort of performance benefit can I expect from heat acclimation? 暑熱馴化によってどのようなパフォーマンス上の利点が期待されるか？	10
What type of approach should I use in order to heat acclimate? 暑熱馴化のためのアプローチ方法	12
How and when do I implement heat acclimation in my regimented training program? 一連のトレーニングプログラム適用時に、いつ、または、どのように暑熱馴化を実施するか？	16
What pre-cooling strategies can I use before a race? What about during the race? 競技前、競技中にいかなるクーリング戦略が実施できるか？	21
How does hydration status influence performance? 水分補給がパフォーマンスに与える影響とは？	22
How much should I drink? 水分補給の適用量は？	24
What should I drink? 何を飲むべきか？	25
How is environmental heat stress determined? 暑熱環境は如何に規定されるか？	26
What are the new ITU rules to help mitigate heat stress? 暑熱ストレスの緩和に対応したITUの新ルールとは何か？	27
References 引用文献	31

Heat acclimation: 運動による暑熱馴化

Heat acclimatization: 気候による暑熱馴化



Triathlon is an Olympic and Paralympic multisport event comprised of swim, cycle and run disciplines performed consecutively and completed over a variety of distances.

Typically, triathlon events are held in the summer where athletes can be exposed to particularly hot and humid environmental conditions. Under overly oppressive conditions, both the capacity to perform and the health of athletes can be negatively impacted.

This document addresses Frequently Asked Questions regarding how to approach triathlon events held in very hot and humid conditions, particularly in the preparation for Tokyo 2020, and provides recommendations to optimise performance and minimise the occurrence of heat illness.

トライアスロンは、スイム・バイク・ランをさまざまな距離で、かつ連続して実施するオリンピック及びパラリンピック種目でもあるマルチスポーツ競技です。

トライアスロンは、一般的に夏に開催され、競技者が暑熱環境下に曝されるスポーツです。

過酷な暑熱下で競技することは、選手のパフォーマンスと健康の両方に悪影響を及ぼす可能性があります。

本ガイドラインは、特に東京2020の準備対策として、非常に高温多湿の条件下で開催されるトライアスロン大会への準備に関する疑問に応え、暑熱下でのパフォーマンスを最適化する方法と熱中症の発生を最小にする推奨事項を提供しています。

How is core temperature regulated?

深部体温はどのように調整されるのか？

Core body temperature at rest is maintained at around 37°C. During exercise, core temperature increases in response to a combination of metabolic heat production, which is directly aligned to the intensity of exercise, and the prevailing ambient conditions, which influence heat exchange with the environment. A plateau in core temperature may occur anywhere around 38.5-39.5°C when exercising in cool environments. However, some athletes may reach a core body temperature in excess of 41°C when competing in hot ambient conditions [1]. The environmental factors that influence heat exchange (heat gain or loss) during exercise include ambient temperature, humidity, solar radiation, and wind speed. These factors affect the pathways of heat exchange: conduction, convection, radiation, and evaporation [2].

For paratriathletes, the impairment of the athlete can influence their capacity for heat loss. Athletes with a spinal cord injury may display a significant impairment in thermoregulation, characterised by an inability to sweat below their lesion [3]. Limb-deficient athletes have a lower body surface area and therefore a reduced ability for heat loss to the environment [4]. Athletes with gait asymmetries can demonstrate higher metabolic heat production for a given work rate due to their movement inefficiencies [5].

安静時の人間の深部体温は37°C前後に維持されています。運動中、代謝性熱産生と周囲環境の両者の影響によって深部体温は上昇します。代謝性熱産生は、運動強度に比例して増加し、周囲環境は、熱交換に影響を与えます。冷涼な環境下で運動すると、深部体温のプラトーは、38.5～39.5°Cになり、高温環境下で運動すると深部体温が41°Cを超える選手も出てきます[1]。運動中の熱交換(熱の吸収/放散)に影響を与える環境要因は、周囲温度、湿度、日射、風速が含まれます。これらは、熱交換経路(伝導、対流、放射、蒸散)に影響を与えます[2]。

パラトライアスリートの場合、選手の障がい、熱の放散能力に影響を及ぼす可能性があります。脊髄損傷がある選手では、その病変位置より下方の発汗機能低下によって体温調節に著しい障がいを示すことがあります[3]。四肢欠損のある選手は体表面積が小さいため、熱放散能力が低下しています[4]。非対称性歩行を呈する選手においては、運動の非効率性から、より高い代謝性熱産生を示すことになります[5]。

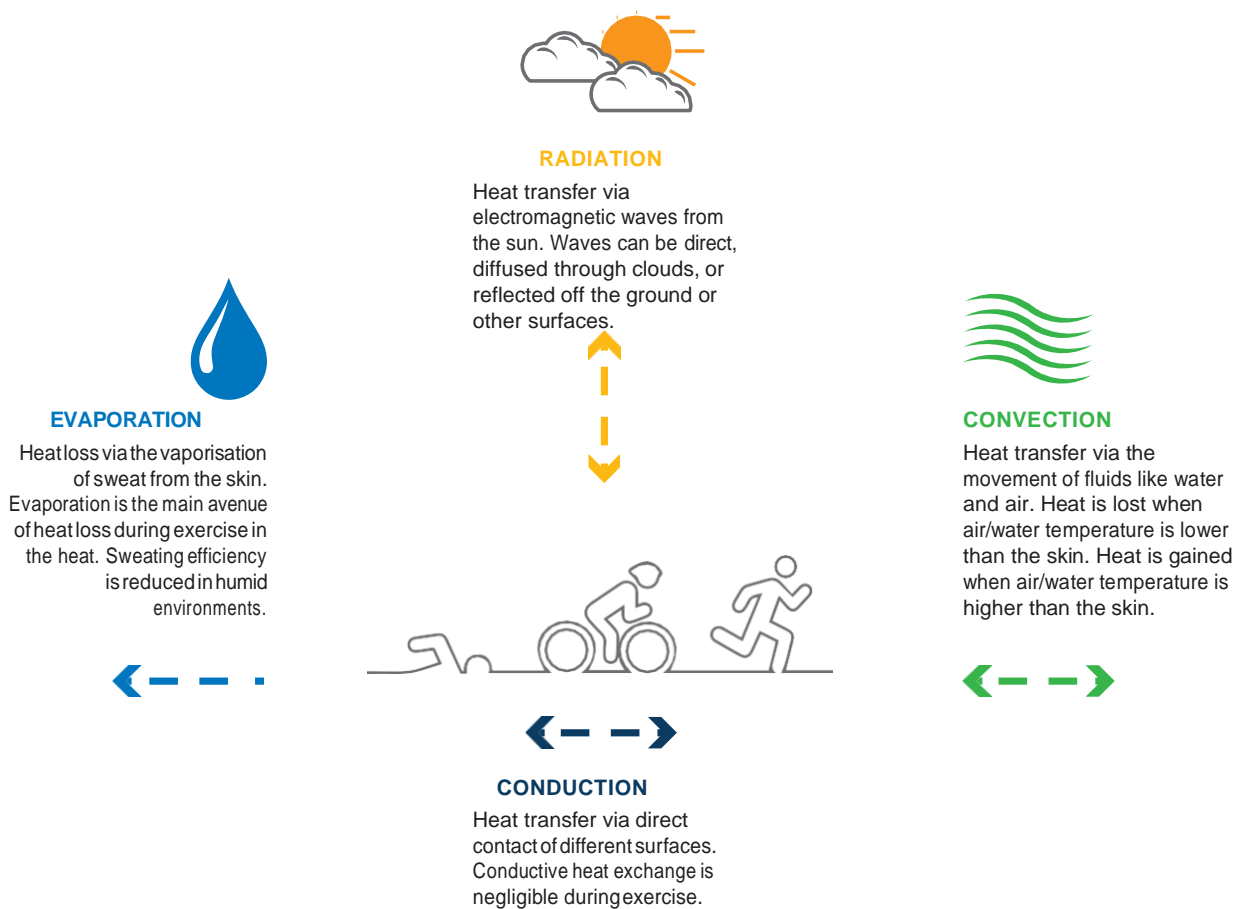
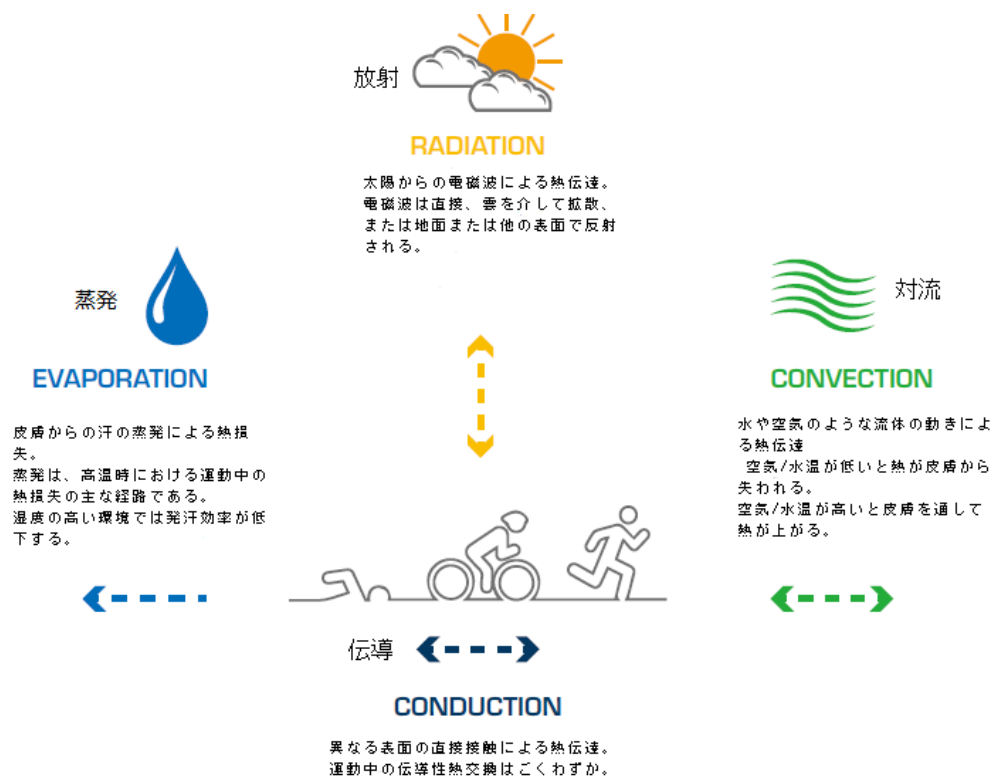


Figure 1 Heat exchange pathways during exercise in the heat 図1 高温時における運動中の熱交換経路



How does environmental heat stress affect triathlon performance?

暑熱環境がトライアスロンのパフォーマンスへどのような影響を及ぼすか？

SWIM

The swim leg of the triathlon ranges from 375m to 4,000m depending on the event. Given that swimming is the first discipline of a triathlon, the rate of rise in core body temperature is greatest during that part of the event. The increase in core temperature occurs in response to the rise and maintenance of a high level of metabolic heat production, which can increase core temperature above 39°C [6]. The rate at which core temperature increases depends on the intensity at which the athlete is swimming, as well as the water temperature. When swimming is undertaken in 32°C water compared with 27°C for example, performance across 20 to 120 min events decreases by 4-7% [6].

スイム

トライアスロンのスイムパートは、大会に応じて375mから4,000mの距離になります。スイムがトライアスロン競技における最初のパートであることを考えると、深部体温の上昇率は、スイム、バイク、ランの各パートの中で最も大きくなります（運動開始時に最も体温の上昇がみられます）。深部体温の上昇は、高レベルの代謝熱産生の増加と維持に応じて発生し、39°C以上となることもあります。深部体温の上昇度は、泳ぐ強度と水温に依存します。例えば、27°Cの水温と比べて、32°Cの水温では、20～120分のスイムパートでのパフォーマンスは4～7%低下します [6]。

BIKE

The impact of hot environmental conditions on endurance cycling performance (20 km and above) is well documented, with average power output decreasing by about 15% in hot (30°C) compared with cool (20°C) conditions [7]. The impairment in performance occurs in conjunction with the increase in whole-body temperature [8, 9], which leads to an increase in the cardiovascular response and in turn a progressive decrease in maximal aerobic capacity (VO_{2max}) [10, 11]. As a result, athletes decrease their absolute work rate (power output) in the heat to maintain a relative exercise intensity and effort similar to that of cooler conditions [12]. During a triathlon race, whole-body temperature is already elevated at the start of the cycling leg since the athletes have just completed the swim leg. The reduction in cycling performance can therefore be expected to occur earlier than when conducting a standalone cycling race, depending on the dynamics, tactics, and geography of the course.

Compared to ambulant paratriathletes, PTWC paratriathletes (wheelchair users) may be at particular risk for thermoregulatory strain during the handcycling leg of the race. Due to the low surface area for convective heat loss, closer proximity to the road and potential radiative heat gain, and the nature of athletes' impairments, greater core temperatures have been shown in this population group [13].

バイク

暑熱環境条件が持久系バイクライド(20 km以上)パフォーマンスに与える影響は数多く報告されており、暑熱環境下(30°C)では冷涼環境下(20°C)と比較して平均出力が約15%低下します[7]。パフォーマンス低下は、全身の体温上昇に伴って発生し[8, 9]、心血管反応の亢進がみられ、最大有酸素能力(VO_{2max})は徐々に低下します[10, 11]。その結果、暑熱環境下では、選手は冷涼環境と同等の相対的運動強度と努力度を維持するため、絶対的な仕事量(出力)を減らす事になります[12]。トライアスロンレースでは、スイムアップしたばかりの選手の全身体温は、すでにバイクパート開始時点で上昇しています。コースの高低差、戦術、地形にも影響は受けるものの、選手の体温が上昇しているため、トライアスロン競技中のバイクパフォーマンスの低下は、バイク(単体)レースよりも早期に出現することが予想されます。

歩行可能なパラトライアスリートと比較して、PTWCパラトライアスリート(車椅子を使用している)は、バイクパートのハンドサイクリング中の体温調節に特に負担がかかる可能性があります。その理由として、PTWCパラ選手は、対流熱放散の表面積が小さいこと、道路に近く地上から低い位置で競技しているため、道路からの放射熱を受けること、そして、選手が持つ障がい特性によって深部体温が高いことが報告されています[13]。

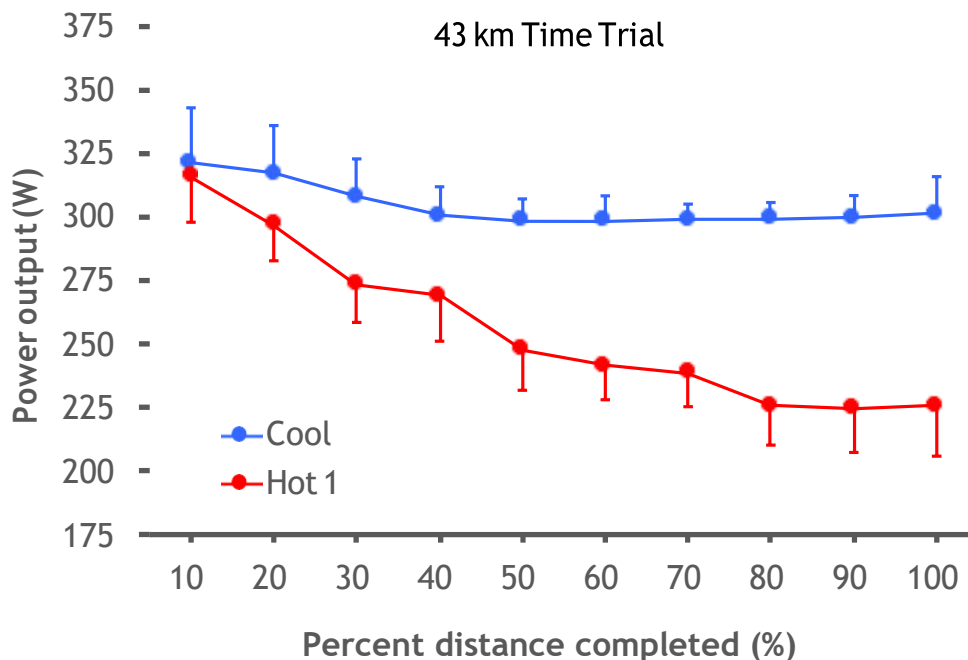


Figure 2 Power output during a 43 km cycling time trial in Cool (8°C) and Hot (37°C) outdoor conditions in high-level cyclists.

Reproduced with permission from Racinais, Périard [14].

図2 ハイレベルサイクリストの屋外、冷涼環境下(8°C)、および暑熱環境下(37°C)での43 kmのサイクリングタイムトライアル中の出力 (ペリアード, ラシネーゼの許可を得て、複製[14])

RUN

Running in hot conditions is affected in a similar way to cycling, with longer events incurring a greater reduction in performance under hot environmental conditions [15, 16]. Similar to the cycling leg, whole-body temperature at the start of the run will be elevated. Given that running occurs at a slower speed than cycling, the potential for heat loss via convection and sweat evaporation is reduced. The running leg is therefore the section of the race where athletes may be most at risk of experiencing exertional heat illness.

ラン

暑熱環境下でのランは、バイク同様、ランコースの距離が長いほどパフォーマンスの大幅な低下を示します [15, 16]。バイクパートと同様、ランパート開始時にすでに全身温度の上昇が予想されます。ランはバイクよりも進行速度が遅いため、対流と汗の蒸散による熱発散量が減少します。そのため、ランパートでは熱中症が発生する可能性が最も高くなります。



How does environmental heat stress affect athlete health?

暑熱環境が選手の健康にどのような影響を及ぼすか？

Exertional heat illnesses represent a continuum of medical conditions with potentially deadly consequences that can affect physically active individuals in hot and cool environments. The severity of exertional heat illness can range from heat exhaustion, to heat injury, and on to exertional heat stroke [17]. Unlike classic heat stroke, which is primarily observed in very young and elderly populations during seasonal heat waves, exertional heat stroke often occurs in young healthy individuals considered low risk and performing routine physical activities, such as exercise in cool or hot environmental conditions. Exertional heat illness susceptibility is multifactorial, with the greatest risk shown during midday activity, early-season heat waves, and when traveling to unaccustomed oppressive climates [18]. Having recently experienced an illness and/or being in an immunocompromised state also increase heat illness susceptibility [17].

運動性熱中症は、暑熱環境においても、冷涼環境においても 医学的に致命的な病態を引き起こす可能性があります。熱中症の重症度は、熱疲労→熱損傷→熱射病となります[17]（日本では、熱中症は、Ⅰ度：熱けいれん、Ⅱ度：熱疲労、Ⅲ度：熱射病に分類されます：熱中症診療ガイドライン2015/厚生労働省）。運動性熱中症は、熱波のシーズン中に幼児や高齢者に観察される古典的熱射病とは異なり、熱中症に陥るリスクの低い若年健常者においても暑熱環境下や冷涼環境下のどちらにおいても容易に発症します。運動性熱中症を引き起こす要因は、さまざまであり、日中の運動、初夏の高温、不慣れで過酷な気候の地域への遠征などに最大のリスクがあるとされています[18]。最近病気になった人、もしくは免疫不全状態であることも、熱中症の発症率を高めます[17]。

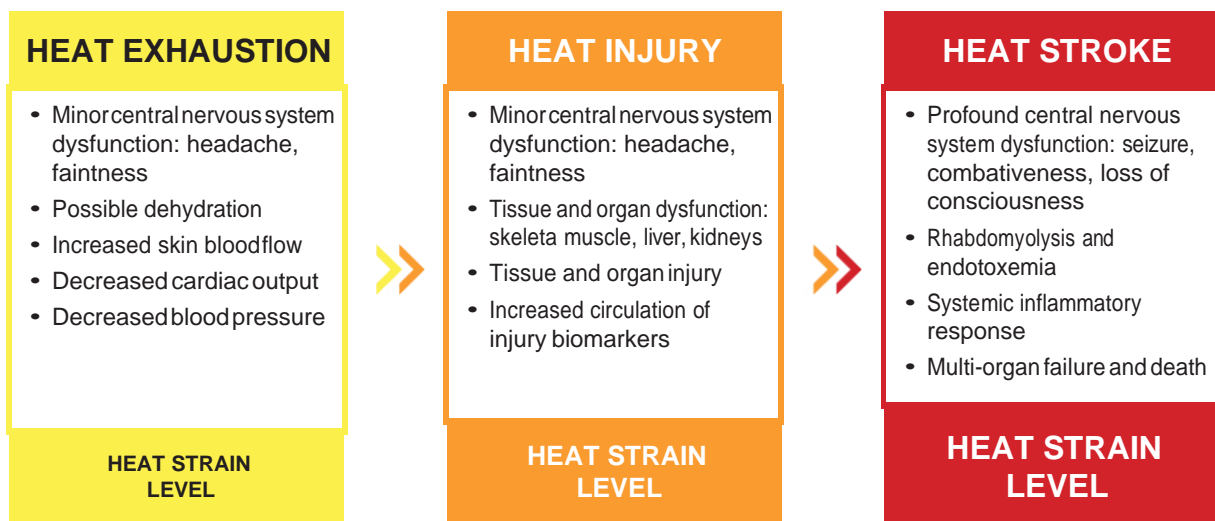


Figure 3 Heat illness continuum. Increasing levels of heat strain may lead to heat exhaustion, heat injury and heat stroke



図3 熱中症の分類。熱疲労、熱損傷、熱射病の順に熱ストレインレベルが高くなる



How to best prepare for competing in the heat?

暑熱下で競技するためにベストな対策とは？

The most important intervention one can adopt to reduce physiological strain and optimise performance is to heat acclimate. Heat acclimation improves temperature regulation and enhances endurance exercise performance in warm and hot environmental conditions. The benefits of heat acclimation are achieved through an expansion of plasma volume, enhanced cardiovascular stability, improved sweating and skin blood flow responses, better fluid balance (hydration status), and acquired thermal tolerance [19, 20]. The process of adaptation occurs over 7 to 14 days and can take place in laboratory/indoor settings (heat acclimation), or following exposure to natural outdoor environments (heat acclimatisation). The adaptive process is achieved via repeated exercise-heat exposures of 60 to 90 min that increase body core and skin temperature, as well as induce profuse sweating.

Research has shown that Paralympic athletes are also capable of heat acclimating [21, 22]. However, the extent of adaptations may be dependent on the athletes' impairment. For example, athletes with a complete spinal cord injury will not show improved sweating due to their impairment.

生理的負担を軽減し、パフォーマンスを最適化するための最も重要な方法は、暑熱馴化です。暑熱馴化は、体温調節の改善や、暑熱環境下での持久系運動パフォーマンスを向上させます。暑熱馴化は、循環血漿量の増加、心血管系の安定化、発汗および皮膚血流反応の改善、より良い体液バランス（保水状態）、および熱耐性の獲得によって達成されます[19, 20]。暑熱馴化は、7～14日間の実験室/屋内でのトレーニングおよびそれに続く屋外自然環境での暑熱曝露によって獲得できます。暑熱馴化への適応は、60～90分の暑熱下での運動を反復して、大量の発汗を促し深部体温や皮膚温を上昇させることで達成されます。

パラ選手も暑熱馴化できることが研究で報告されています[21, 22]。しかしながら、選手がどのくらい暑熱馴化できるかは、選手の障がいによって依存する場合があります。たとえば、完全な脊髄損傷の選手は、その障がいのために発汗機能の改善は示さないと思われます。

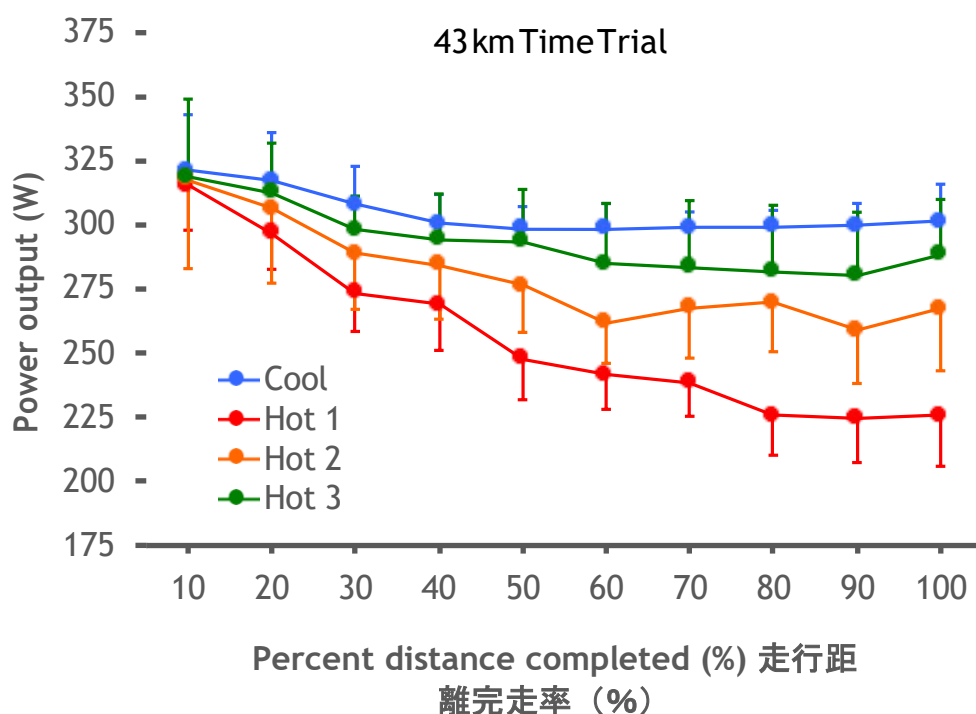


Figure 4 Power output during a 43 km cycling time trial in Cool conditions (8°C) and after 2 days (Hot 1), 1 week (Hot 2) and 2 weeks (Hot 3) of training in 37°C outdoor conditions in high-level cyclists.

Reproduced with permission from Racinais, Périard [14]

図4 ハイレベルのサイクリストにおける、冷涼環境(8°C)、暑熱(37°C)屋外環境でのトレーニング2日間後(Hot 1)、1週間後(Hot 2)および2週間後(Hot 3)の各条件における43 kmのタイムトライアル中の出力。(ペリアード, ラシネーゼの許可を得て、複製[19])

What sort of performance benefit can I expect from heat acclimation?

暑熱馴化によってどのようなパフォーマンス上の利点が期待されるか？

Environmental heat stress can significantly impair endurance performance. However, heat acclimation allows restoration of much of this impairment in performance and reduces the risk of heat illness [14]. Heat acclimation should be prioritised prior to any event where the environmental conditions are forecasted to be hot and/or humid, even if the level of heat stress is uncertain. It is important to note that heat acclimation does not impair performance in cool environments and may even increase it under some circumstances [23].

暑熱環境というストレス下では持久能力を著しく損なう可能性があります。しかしながら、暑熱馴化により、このパフォーマンスの低下の大部分を回復させ、熱中症のリスクを軽減させることができます[14]。暑熱ストレスのレベルが不明であっても、高気温および/または高湿度が予想される大会前は、暑熱馴化を優先して実施すべきです。特筆すべきことは暑熱馴化で、冷涼環境下でのパフォーマンスは損なわれないどころか、状況によってはパフォーマンスを高めることさえあることです[23]。

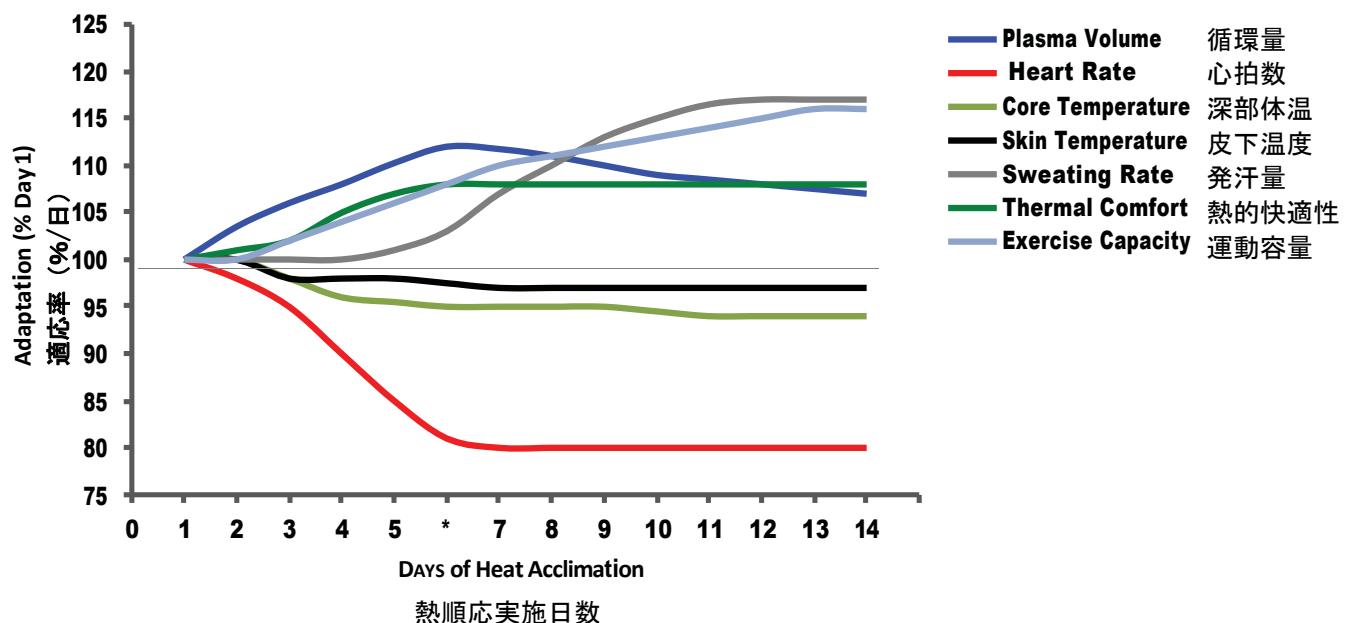


Figure 5 The time course of adaptations to exercise-heat acclimation. Within a week of acclimation, plasma volume expansion occurs and heart rate is reduced during exercise at a given work rate. Core and skin temperatures are also reduced when exercising at a given work rate, whereas sweat rate increases. Perceptually, the rating of thermal comfort is improved. As a result, aerobic exercise capacity is increased. Of note, the magnitude of these adaptations is dependent on the initial state of acclimation and the acclimation protocol (e.g. environmental conditions and exercise intensity). Reproduced with permission from Périard, Racinais [19].

図5 運動時—暑熱馴化の時間経過

暑熱馴化から1週間以内に、血漿量の増大が起こり、同一強度における心拍数は減少します。一方、同一強度における、深部体温や皮膚温は低下し、発汗量は増加します。また、自覚的暑熱感覚は改善します。その結果、有酸素運動能力が向上します。重要なことは、これらの適応の程度は、馴化の初期レベルや馴化プロトコル（環境条件や運動強度など）に依存しています。（ラシネーゼ、ペリアードの許可を得て複製）[19]



What type of approach should I use in order to heat acclimate?

暑熱馴化のためのアプローチ方法

Several approaches can be used to induce heat acclimation. The key is to increase whole-body (core, skin and muscle) temperature and stimulate sweating. The ideal scenario would be to heat acclimate in the same environment as the upcoming competition. However, if this is not possible, heat adaptations can be acquired by simulating hot conditions in an indoor setting such as an environmental chamber, or even in a room with portable heaters. It is also possible to use passive heat acclimation techniques such as hot water immersion or sauna bathing following a training session. This approach takes advantage of whole-body temperature being elevated from training and allowing it to be maintained or increased passively to provide an additional stimulus for adaptation.

Exercise and passive heat acclimation protocols have been shown to be effective for Paralympic athletes. When selecting an acclimation protocol, however, athletes and coaches should consider the athlete's impairment. Firstly, due to a reduced ability to sense heat through the skin, athletes with a spinal cord injury may be unaware of the level of heat stress imposed by the environment and thus should be closely monitored during heat acclimation. Athletes with a high lesion level will display a blunted heart rate response to exercise that may make a controlled heart rate protocol ineffective. Additionally, if using controlled hyperthermia, rectal temperature is not advisable for athletes with a spinal cord injury due to the risk of autonomic dysreflexia (a potentially life-threatening bout of extreme, uncontrolled high blood pressure resulting from severe blood vessel narrowing and cardiac stimulation; [24]). In athletes with cerebral palsy, self-paced exercise may not be appropriate as research has shown perception of effort and pacing may be impaired in this cohort [25]. Whilst visually impaired athletes display no obvious impairment to thermoregulatory function, those with the lowest visual acuity (e.g. PTVI B1; most visually impaired paratriathletes) may lack the ability to see their internal or external workload for intensity regulation. Finally, from a practical perspective, if passive heating is used, accessible facilities should be sourced for athletes with significant impairments to mobility.

暑熱馴化にはいくつかのアプローチがあります。カギとなるのは、全身（深部、皮膚、筋）の温度を上げ、発汗を刺激することです。理想的なアプローチは、直近の大会と同じ環境で暑熱馴化することです。しかし、これが不可能な場合は、環境制御室またはヒーターを用いた室内のような高温環境によっても、暑熱馴化を獲得できます。トレーニングセッション後に、温水浴やサウナ入浴などの受動的暑熱馴化法を採用することもできます。この方法は、トレーニングで全身温が上昇していることを利用し、そこに追加的な熱刺激を与える事によって体温を受動的に維持または上昇させることができます。

トレーニングや受動的熱馴化法は、パラ選手にも効果があると報告されています。しかし、暑熱馴化法を実施する際には、パラ選手とコーチは選手の障がいや考慮する必要があります。脊髄損傷がある選手は、皮膚で熱を感じる能力が低下しているため、曝露された熱ストレスのレベルに気付かない可能性があります。そのため暑熱馴化中はしっかりと体温をモニターすべきです。脊髄損傷が高位にある選手は、運動に対する心拍数反応が鈍化している可能性があるため、心拍数の制御が無効となるかもしれません。また、脊髄損傷の選手にとって、自律神経反

射障がいリスク(潜在的に生命を脅かす高負荷や、重度の血管狭窄と心臓刺激に起因する、制御不能な重度の高血圧の発生)のため、制御された高体温療法時の直腸温測定は適切ではありません[24]。脳性麻痺を有する選手は、努力感覚やペース感覚が損なわれている可能性がコホート研究にて報告されており、選手自身のペース感覚でのトレーニングは不適切な場合があります[25]。視覚障がいを持つ選手は体温調節機能に明らかな障がいがなくとも、最も視力の弱い選手(例:PTVI B1:最も重い視覚障がいクラスのパラトライアスリート)は、運動強度調節のための内部または外部の負荷を視覚的に判断する能力に欠けている場合があります。最後に、実用的な観点から、受動的暑熱馴化法を用いる場合、移動能力に障がいを持つ選手に対しては、アクセスしやすい施設を用意する必要があります。



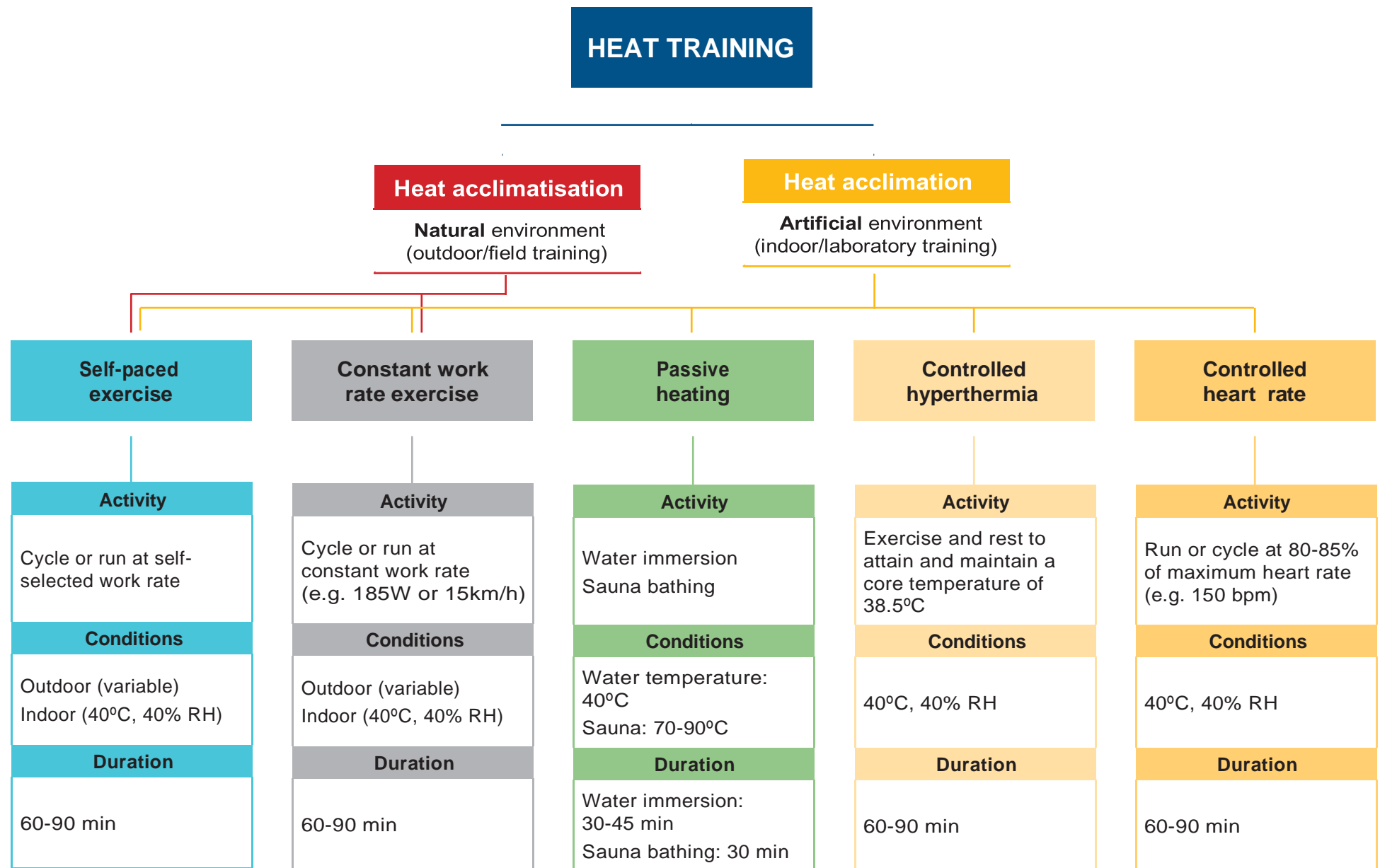


Figure 6 Overview of heat acclimation and heat acclimatization methods with activity examples. Various combinations of temperature and humidity are possible. RH: relative humidity. Reproduced with permission from Daanen, Racinais [26].



図 6 トレーニング例付き暑熱順応や暑熱順応化の概要 さまざまな気温や湿度の組み合わせが可能。RHは相対湿度 (一般的に湿度と呼ばれる)
ラシネ・ダーネンの許可を得て、複製

How and when do I implement heat acclimation in my regimented training program?

一連のトレーニングプログラム適用時に、いつ、または、どのように暑熱馴化を実施するか？

A key question for elite athletes regarding the implementation of heat training is when to schedule it in the overall training program, and in particular ahead of competing in the heat so as not to interfere with the taper period. A 1-2 week heat acclimation regimen implemented 4-6 weeks prior to competition could be integrated into the training program. This approach could then be supplemented with regular passive heat exposures during the weeks prior to competition, or a short (2-4 day) re-acclimation period the week before competition. This approach would provide a constant stimulus for maintaining adaptation and minimally affecting regular training in the lead up to a race. It is also suggested because re-acclimation, when undertaken within a month of the original acclimation period, leads to a faster (re)induction of adaptations [26]. Although exercise-heat exposure during the taper may help maintain the benefits of heat acclimation, it may also interfere with the goal to reduce overall training load. As such, passive heat exposure (sauna or hot bath) following training sessions in a cool climate may be utilised during the taper period [27, 28].

The figure below summarizes some of the different approaches that can be adopted in preparing for competition in the heat, based on available time, resources, and arrival to the competition venue. Athletes arriving early (1-2 weeks) can (A) initiate the adaptation process by conducting 1-2 heat exposure sessions per week for 4-8 weeks prior to traveling and then training outdoors in the heat once on site, or (B) undertake 7-14 days of heat acclimation 4-6 weeks before departure followed by one heat-exposure maintenance session(s) per week prior to traveling and then training outdoors in the heat once on site. Athletes arriving late (1-3 days) can (C) heat acclimate for 7-14 days 2-3 weeks before traveling and conduct a heat exposure maintenance session(s) in taper week prior to traveling, or (D) extend this approach by heat acclimating 4-6 weeks before departure and performing a short (3-4 days) re-acclimation protocol the week prior to traveling. The heat acclimation maintenance sessions in strategy B (weeks 3, 2 and 1), C (taper week) and D (weeks 3, 2 and 1) are not required but will help maintain adaptations. Based on individual circumstances (e.g. training phase, workout, facilities, logistical support) a particular approach or combination of heat acclimation regimens and individual heat training sessions can be used to induce adaptations.

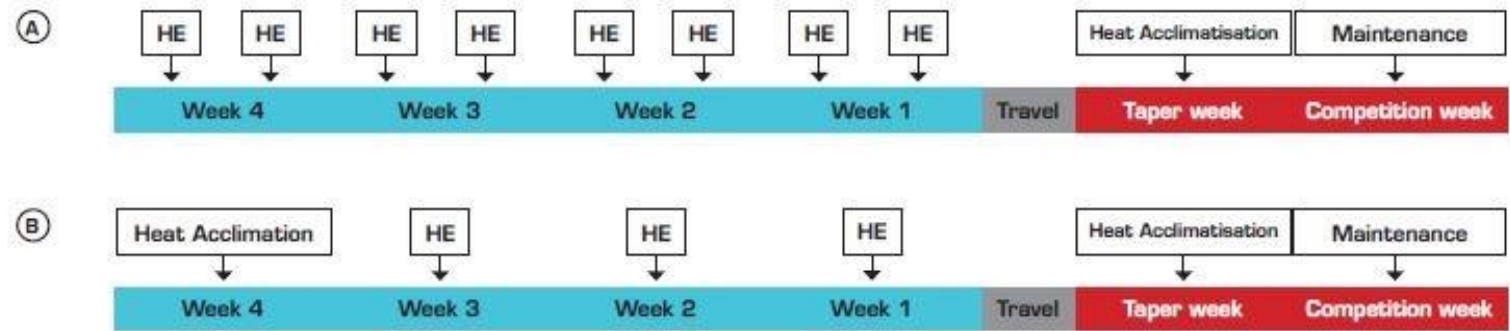
エリート選手がヒートトレーニング実施する場合、最も大きな問題は、一連のトレーニングプログラムの中で、いつヒートトレーニングを実施するかということであり、特に、暑熱環境下で開催される大会前のテーパ期間を妨げないようにヒートトレーニングを実施することが問題になります。大会4～6週間前に実施する1～2週間の暑熱馴化トレーニングは、プログラムに組み込めるでしょう。この暑熱馴化トレーニングは、大会前の数週間内で実施する定期的熱曝露や、大会の前の週の短い再馴化期間(2～4日)で補うことができます。この実施は、暑熱順化の適応を維持するための定期的な刺激となり、かつ、通常のトレーニングへの影響を最小限にします。また、より速い(再)馴化誘導につなげるために、最初に実施した馴化期間から1か月以内の再馴化が推奨されています[26]。テーパ期前のヒートトレーニングは、暑熱馴化の利点を維持するのに役立つかもしれないが、全体的なトレーニング負荷を減らすというテーパ期の目標を妨げることに

なります。そのため、テーパー期は、冷涼環境下でのトレーニングセッションを実施した後に、受動的暑熱馴化(サウナまたは温水浴)も有効です[27, 28]。

下の図は、利用可能な時間、リソース、および競技会場への到着時期に基づいて、暑熱環境下の競技の準備に採用できるさまざまなアプローチをまとめたものです。早めに(1~2週間前)大会開催地に到着する予定の選手は、大会開催地へ出発する4~8週間前に、1週間に1回~2回の暑熱曝露を実施し、その後、現地の屋外の暑さの中でトレーニングすることにより適応を開始する(A)、または出発前4~6週間前に7~14日間、暑熱馴化を実施し、その後出発の前に1週間に一度、馴化維持セッションを行い、現地で、屋外の暑熱環境下でトレーニングを実施する(B)。大会開催地へ遅めに到着する選手は、出発の2~3週間前に7~14日間、暑熱馴化を実施して、出発前のテーパー期の週に熱曝露を実施する(C)、または、出発前の4~6週間に暑熱馴化トレーニングを実施し、出発の1週間前に短い(3~4日)再馴化プロトコルを実施する(D)となります。戦略B(3週目、2週目、1週目)、C(テーパー週)、D(3週目、2週目、1週目)の暑熱馴化維持セッションは、必須ではないが、暑熱馴化の維持に役立ちます。選手個々の状況(トレーニングフェーズ、トレーニング、施設、支援)に基づき、暑熱馴化トレーニングや個々の暑熱セッションの特定のアプローチと組み合わせることで、馴化への適応を誘導できます。

大会会場に早めに到着

ARRIVING EARLY TO
COMPETITIVE VENUE



大会会場に遅めに到着

ARRIVING LATE TO
COMPETITIVE VENUE

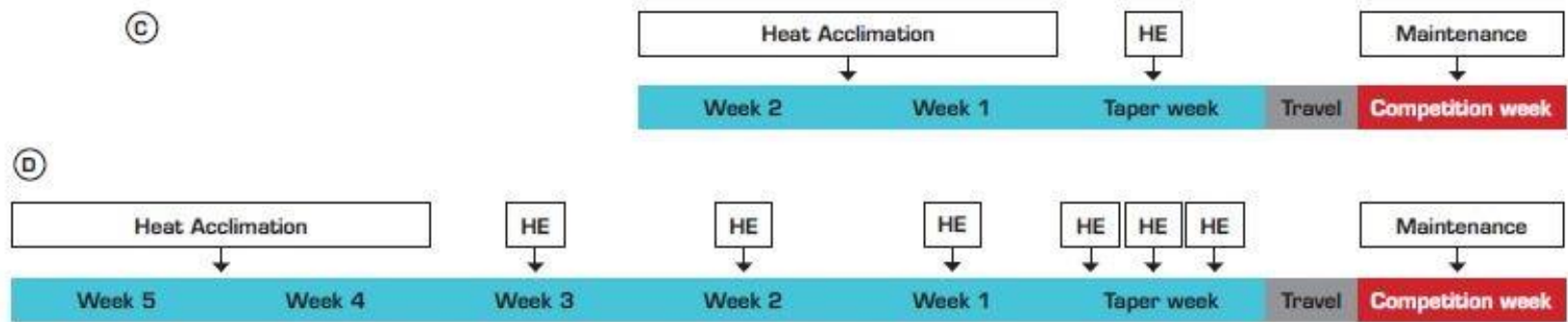


Figure 7 HE (heat exposure) = Unique exposure conducting non-key workout (e.g. ≥ 60 min, 40°C & 40% RH), or clamped heat rate protocol (e.g. 85% HRmax, ≥ 60 min, 40°C & 40% RH), or passive heating post-workout in the cool (e.g. 20-45 min, sauna $\sim 80^{\circ}\text{C}$ or hot bath 40°C).

Heat acclimation = Daily exposures for 7-14 days of clamped heat rate protocol (e.g. 85% HRmax, ≥ 60 min, 40°C & 40% RH), or non-key workouts (e.g. ≥ 60 min, 40°C & 40% RH), or passive heating post-workout in the cool (e.g. 20-45 min, sauna $\sim 80^{\circ}\text{C}$ or hot bath 40°C).

Heat acclimatisation = Training outdoors at the competition venue in the heat, avoiding the hottest part of the day when doing key workouts.

Maintenance = Heat acclimation/acclimatisation adaptations maintained through competing and conducting training sessions in the outdoor heat.

Reproduced with permission from Saunders, Garvican-Lewis [29]

図7 HE(暑熱曝露)＝ポイント練習ではない時の暑熱曝露(例:60分以上、 40°C かつ湿度40%)、心拍数を設定したプロトコル(例:85% HRmax、60分以上、 40°C かつ湿度40%)、冷涼な環境でのトレーニング後の受動的熱負荷(例:20～45分、サウナ $\sim 80^{\circ}\text{C}$ または 40°C の入浴)。
(運動による)暑熱馴化＝心拍数を設定して、7～14日間毎日暑熱曝露(例:85%HRmax、60分以上、 40°C かつ湿度40%)、ポイント練習ではない時の暑熱曝露(例:60分以上、 40°C かつ湿度40%)冷涼な環境でのトレーニング後の受動的熱負荷(例:20～45分、サウナ $\sim 80^{\circ}\text{C}$ または 40°C の入浴)。
(気候による)暑熱馴化＝暑熱環境下の大会会場での屋外とトレーニング。ポイント練習を実施する際は、最も暑熱時間帯を避ける。
暑熱維持＝屋外の暑熱環境での競技やトレーニングの実施によって維持される(運動や気候による)暑熱馴化の適応 (サンダース、ガルヴィカン・ルイスの許可を得て、複製[2]

What pre-cooling strategies can I use before a race? What about during the race?

競技前、競技中に、どのようなクーリング戦略が実施できるか？

Minimising unnecessary heat exposure and heat gain is advised prior to the start of a race. Athletes should warm-up in the shade if possible and reduce the length of the warm-up. They might also consider external (ice-vests, cold towels, or fanning) and internal (cold fluid or ice slurry ingestion) pre-cooling strategies, or a combination of both [30]. A practical approach might be to pre-cool in a bath or use commercially available ice-vests during warm-up, which can provide some cooling benefit without affecting optimal muscle temperature and function. During the event, athletes should wear light-coloured clothing to minimize the effect of the sun's radiation, but clothing should not impair sweat evaporation. In hot and dry conditions, self-dousing with water can provide additional cooling power, whereas other cooling techniques such as ice-slurry ingestion provide more of a perceptual benefit than a cooling effect (due to the small volume ingested when competing). To minimise any disruption to the athlete during competition, any new cooling method should be trialled and individualised in training before the event.

Paratriathletes with a neurological impairment should consider the impact cooling may have on their spasticity pre-race. Furthermore, athletes with a spinal cord injury and lower sensate skin area may not be able to sense excessive cooling and could be at risk of autonomic dysreflexia. It has also been found that if cooling techniques are adopted by athletes with a spinal cord injury, then lower perceptions of thirst and thermal strain may become apparent, resulting in an inadequate fluid replacement strategy [31]. Hence, cooling methods and drinking strategies should be practiced in combination.

競技開始前は、不必要な熱曝露や、熱の吸収を最小限に留めることを推奨します。選手は可能ならば日陰でウォームアップを行い、そのウォームアップ時間も短くします。また、外部（アイスベスト、コールドタオル、扇風機）や内部（冷たい飲料やアイススラリーの摂取）からの冷却戦略、または外部と内部の両方の冷却戦略を考慮してください[30]。実用的な冷却戦略としては、バスタブでプレクーリングしたり、ウォーミングアップ時に市販のアイスベストを利用したりするのがよいと思われます。この冷却戦略は筋温や機能に影響を与えることなく、冷やすことのメリットを受けられます。競技中は太陽放射熱の影響を最小限に抑えるために、選手は明るい色のウェア着用、そしてそのウェアが選手の汗の蒸散を妨げないものにする。暑くて乾燥した状況では、水をかけることで付加的な冷却効果を得ることができ、一方で、アイススラリー摂取などの冷却戦略は、その冷却効果以上に心理的なメリットもあります（競技中は摂取できる量は少量のため）。競技中の選手の混乱を最小限にするため、いかなる新しい冷却方法も、競技前のトレーニング中に試して、カスタマイズしてください。

神経障がいのあるパラ選手は、競技前に冷却することで痙攣に影響を与えるかどうかを考慮してください。さらに、脊髄損傷と下肢の皮膚感覚鈍麻を有する選手は、過度の冷却を自覚できない可能性があり、自律神経異常反射が起こるリスクがあります。また、脊髄損傷を有する選手が冷却戦略を実施すると、喉の渇きや熱感を自覚しにくくなり、その結果、水分補給が不適切になることもわかってきました[31]。そのため、冷却と飲水戦略は組合せて実施すべきです。

How does hydration status influence performance?

水分補給状態がパフォーマンスに与える影響は？

Sweat evaporation is the primary avenue of heat loss when exercising in the heat. As such, profuse sweating can lead to dehydration during prolonged events in the heat if body fluid losses are not sufficiently replaced [32]. Dehydration beyond 2-3% of initial body mass intensifies the rise in whole-body temperature and impairs prolonged exercise performance. This occurs as dehydration negatively impacts on cardiovascular function, making it more difficult to maintain blood pressure and blood flow to the working muscles and the skin (for heat loss). Therefore, being well-hydrated before the start of an event and minimising body mass losses during an event by drinking adequately are important for athletes to perform well and ensure their safety in the heat. Simple techniques such as measuring body mass before and after exercise or evaluating urine colour in the morning (first void) can help athletes assess fluid losses through sweating and estimate hydration status and needs.

For spinal cord-injured athletes, consideration for the catheter bag may be warranted when using the pre- and post-exercise weighing approach. Also, it may be harder to establish hydration status via urine colour, since the use of medications may influence the accuracy of this technique [33].

汗の蒸散は、暑熱下で運動する際の熱放散の主な経路になります。そのため、暑熱下で行われる長時間の競技中に損失した体水分が適切に補充されない場合、大量の発汗は脱水につながる可能性があります[32]。競技前体重の2～3%を超える脱水は、全身温を上昇させ、長時間運動の際、パフォーマンス低下に陥ります。これは、脱水が、心血管機能に悪影響を及ぼすことで発生し、活動筋や(熱放散のため)皮膚への血圧や血流の維持をより困難にします。つまり、競技前に十分に水分補給し、競技中の体重減少を最小限に抑えることは、暑熱環境下において選手がより良いパフォーマンスを発揮することや、選手の安全を確保するために重要です。運動前後に体重を測定したり、朝の尿(起床後第一尿)の色を評価したりするなどの簡単な方法で、選手自身が発汗による水分損失量を評価し、水分補給状態や必要量を推定するのに役立てることができます。

脊髄損傷を有する選手では尿バッグの使用が前提なので運動前後の体重測定を推奨します。また、薬剤の使用は尿の色に影響を与える可能性があるため、その場合は尿の色から水分補給状態を評価することは困難かと思われます[33]。



Figure 8 Urine colour and hydration status 尿の色と体内の水分状態

How much should I drink?

水分補給の適用量は？

Drinking to thirst is adequate for exercise lasting less than 90min in cool environments. However, a drinking plan or hydration strategy is suggested during activities over 90min, particularly when performed at high intensities producing elevated sweat rates [34]. Hydration strategies should be tailored to each athlete based on sweat rate in conditions similar to that of the upcoming race, in order to prevent body mass losses exceeding 2-3%. This individual prescription must remain within the limits of the how much fluid can be absorbed by the body (~1.2 L/h) and tailored to the availability of fluids on the course. It is important to recognise that hydration regimens should never result in excessive over-hydration as this can lead to hyponatremia, a serious health issue related to an imbalance of the salts in the body that can be more severe than dehydration and even lead to death.

Athletes with a spinal cord injury that display an impaired sweat response should be aware of the risk of overhydrating and subsequent urinary tract infections. Alternatively, for athletes with an indwelling catheter, it is important to ensure steady hydration across the course of the day to ensure hydration and help flush through the catheter to reduce the risk of urinary tract infections [33].

冷涼環境下の90分間未満の運動であれば、喉が渴いたときに飲むことで十分です。しかしながら、90分以上の運動や、特に発汗率が高い、高強度の運動時には、水分補給戦略を実施することが推奨されます [34]。水分補給戦略は、2〜3%を超える体重減少を抑制するために、直近のレースと同様の条件下での発汗量に基づいて個々の選手に合わせて調整すべきです。この個々の選手の推奨摂取量は、身体が吸収できる量（〜1.2L/時間）やコース上で、どこで水分摂取が可能なかを考慮し、調整できる範囲内に留めるべきです。水分補給戦略は、低ナトリウム血症（脱水よりも重症で、死に至ることさえある体内の塩分濃度のアンバランスによって起こる深刻な状況）に陥るような過剰な水分摂取をしないことを認識することが重要です。

発汗反応が損なわれている脊髄損傷を有する選手は、過剰な水分摂取とそれに起因する尿路感染症のリスクに注意すべきです。また、カテーテルを留置している選手の場合は、1日を通して安定した水分補給を確保し、尿路感染症のリスクを軽減するためにカテーテルを洗浄し、尿路感染症を回避することが重要です [33]。

What should I drink?

何を飲むべきか？

Sodium (salt) supplementation during exercise lasting longer than 1hr is recommended for heavy and 'salty' sweaters. Sodium intake may be increased before and after hot-weather training and racing. During events, electrolyte tablets or a pinch of salt may be added to the drink bottle of athletes that can tolerate the taste. Including 30–60 g/h of carbohydrates to drinks for exercise lasting longer than 1hr and up to 90g/hr for events lasting over 2.5hrs is advisable. This can be achieved through a combination of fluids and solid foods. To optimise recovery following training or competing in the heat, body mass losses should be restored within a few hours through the ingestion of recovery drinks that include sodium, carbohydrates, and protein. The preferred method of rehydration is through the consumption of fluids with foods, including salty foods.

From a paratriathlete perspective, it is important to consider the nature of the impairment as this may influence the prevalence of upper gastrointestinal symptoms, which may have an influence on the timing and composition of foods (liquid vs. solid) [33]. There are no disability-specific guidelines at present, so it is recommended that athletes trial the advice noted earlier.

汗が多かったり塩分濃度が高い汗をかく選手においては、1時間以上の運動をする場合はナトリウム(塩分)の摂取を推奨します。暑熱下のトレーニングや競技の前後にナトリウムの摂取を増やすことは良いとされます。味に抵抗が無ければ、競技中、ボトルに電解質の錠剤または塩をひとつまみ加えます。1時間以上の継続した運動時には30～60g/時間、継続運動が2.5時間を超えるような競技では最大90g/時間の炭水化物を含ませることを推奨します。この炭水化物の量は、液状と固形の両方を合わせた分量です。暑熱下のトレーニングや競技後の回復促進のため、ナトリウム、炭水化物、タンパク質を含むリカバリードリンクを摂取して、数時間以内に体重減少分を回復させるべきです。良い水分補給は、塩辛い食べ物と一緒に水分を摂取することです。

パラ選手の場合、食べ物の摂取タイミングや組成（液体/固形）により、上部消化管症状が発生する可能性があるため、障がいの状況を考慮する必要があります。今のところ、各々の障がいに特化したガイドラインはないので、選手は前述のアドバイスを試すことを推奨します。

How is environmental heat stress determined?

暑熱環境ストレスは如何に定義されるか？

The severity of the environmental conditions can be estimated by the Wet-Bulb-Globe-Temperature (WBGT) index. The WBGT is calculated from the dry (standard thermometer) temperature, wet-bulb temperature (indicative of the true capacity of the air to evaporate water according to its relative humidity and air velocity) and black globe temperature (indicative of solar radiation heat load). A WBGT above 32.2°C is considered an extreme risk for experiencing exertional heat illness. The International Triathlon Union uses a hand-held device to calculate the WBGT and a flag system to provide warnings and recommendations to the athletes.

環境状況は、湿球黒球温度(WBGT)で推測できる。WBGTは、気温(乾球温度計)、湿球温度(相対湿度と風速によって水分を蒸発させる空気の能力指標)、黒球温度(輻射熱の指標)から計算します。32.2°Cを超えるWBGTは運動性熱中症に陥るリスクが高いと考えられています。国際トライアスロン連合(ITU)は、選手に警告や推奨事項を提供するために、携帯用機器によってWBGTを測定し、旗型の注意喚起システムを採用しています。



Figure 9 WBGT monitoring tool and flag warning system
WBGT監視ツールと旗型注意喚起システム

What are the new ITU rules to help mitigate heat stress?

暑熱ストレス緩和のためのITUの新ルールはなにか？

Assessing on-site environmental heat stress at regular intervals using the Wet-Bulb-Globe-Temperature (WBGT) index and providing announcements of its readings. WBGT levels for the modification of exercise or competition for healthy adults are based on recommendation from the American College of Sports Medicine (2007).

The ITU technical director (TD), Medical Delegate, Race Medical Doctor (RMD) and Local Organising Committee (LOC) will work together to monitor the weather conditions. A contingency plan will be implemented in consideration of any extreme meteorological situations that could force the race to be modified (reduce length) or rescheduled.

Any decision made will take into consideration the level of medical assistance, facilities in the medical tent, evolution of the weather conditions and forecast, period of the competitive season, race distance and category, athlete fitness level and the age of the athletes. Event organisers will pay particular attention to unexpected or unseasonably hot weather in mass-participation events, considering that the un-acclimatised participants or participants without a sufficient level of training are at higher risk for heat illness.

During the races, weather information and the WBGT index will be provided at the Sport Information Centre and the Athlete Lounge. The information will be posted in the Athlete Lounge in time for athlete check in. The WBGT index will be converted to a five-level coloured flag system indicating the heat illness risk of current weather conditions. The information will be delivered in the form of written announcement (sample below).

WBGT値で大会会場の熱ストレスを定期的に評価し、その測定値を発表します。WBGT値による健常成人の運動、競技の変更・修正は、アメリカスポーツ医学会(ACSM)の推奨(2007)に基づいています。ITUの技術代表(TD)、メディカル代表、レース会場医師(RMD)、および開催地実行委員会(LOC)が協力して気象条件を監視しています。緊急時対応プランは、レースの変更(距離短縮)またはスケジュールの変更を余儀なくされるような極端な気象状況をも考慮して計画しています。変更の決定は、医学的支援のレベル、医療用テントの施設、気象状況と気象予報の変化、競技シーズンの時期、競技距離やカテゴリー、選手の競技レベルや年齢などが考慮されます。主催者は、暑さに慣れていない参加者または十分にトレーニングしていない参加者の熱中症リスクが高いことを考慮して、予想外の暑さや季節外れの暑さに特に注意を払います。競技中、天候とWBGT値は大会情報センターやアスリートラウンジで提供します。これらの情報は選手がアスリートラウンジにチェックインする時間に掲示します。WBGT値は、現在の気象条件の熱中症リスクを示す5レベルの色付き旗型注意喚起システムで表示します。情報は、書面でも配信します(下記サンプル)。

Table 1 Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) Risk Categories (ITU, 2019)

WBGT Risk Categories WBGTリスクカテゴリー			Recommendations 推奨	
Flag Color 旗の色	WBGT Heat index WBGT 値	Risk リスク	Acclimatized, fit, low-risk triathletes 暑熱馴化、高体力、 低リスクのトライアスリート	Non-acclimatized, unfit, high-risk individuals 未暑熱馴化、低体力、高リ スクな参加者
Black 黒	>32.2°C	Extreme 極度に高い	Re-schedule competition 競技スケジュール再調整	Re-schedule competition 競技スケジュール再調整
Red 赤	30.1-32.2°C	Very High とても高い	Limit intense competition and total daily exposure to heat and humidity. Watch for early signs and symptoms 競技強度と蒸し暑さに暴露さ れる時間を制限 初期症状と兆候に注意する	Re-schedule competition 競技スケジュール再調整
Orange オレンジ	27.9-30.0°C	High 高い	Plan competition with discretion, watch at-risk individuals carefully 慎重な競技計画、リスクの ある参加者を監視する	Limit intense compe- tition. Watch at-risk individuals carefully 競技の強度を制限、リスク のある参加者を監視する
Yellow 黄色	25.7-27.8°C	Moderate 普通	Normal activity monitor fluid intake 水分摂取を観察した通常の 活動	Plan races with discre- tion, watch at-risk indi- viduals carefully 慎重な競技計画、高リス クの参加者を監視する
Green 緑	< 25.7°C	Low 低い	Normal activity monitor fluid intake 水分摂取を観察した通常 の活動	Normal activity monitor fluid intake 水分摂取を観察した通常 の活動

Considering that the ITU has the upper water temperature limits for cancelling the swim, the cycling and running leg require the most attention with regards to heat illness. Although cycling may provide greater air flow and possibly a greater potential for heat loss than running, athletes may be at risk of exertional heat illness based on the environmental conditions, but also the race tactics and course geography. When running at a high intensity, a large amount of metabolic energy is released in hot conditions. With a decrease in heat loss capacity relative to cycling, the run leg of the triathlon should be considered the section of the race in which heat illness has the highest likelihood to occur.

In case of a Very High Risk (WGBT index: 30.1-32.2°C, Red Flag) the following will be taken into consideration for Standard and Sprints events:

- Standard distance events: change to Sprint distance
- Sprint distance events and below: stay as originally planned
- If the LOC and Medical Staff are unable to provide medical assistance respecting all the rules of the ITU Event Organizer Manual Medical Services and Exertional Heat Illness Prevention document, particularly in large mass participation events, the competition must be rescheduled.

In case of an Extreme Risk (WGBT index: >32.2°C, Black Flag) the competition must be re-scheduled to its original or shortened distance.

スイムを中止にしなければならない水温の上限があることを考慮すると、ITU は、バイクやランパートでは熱中症に関して最も注意を払う必要があります。バイクはランよりは高い対流と大きい熱放散が期待できますが、選手は環境的要因だけでなく、レースの戦術とコースの地形的条件によって運動性熱中症のリスクにさらされる可能性があります。暑熱環境下の高強度のランは大量の代謝エネルギーを産生します。ランはバイクに比べて熱放散効率が低いため、トライアスロンのランパートは最も熱中症を発症しやすいパートであることを考慮すべきです。非常に高いリスク(WGBT 値: 30.1~32.2°C、赤色の旗)の場合、スタンダードおよびスプリントの大会では下記が考慮されます。

- ・ スタンダード競技: スプリント競技に変更する
- ・ スプリントおよびそれよりも短い距離: 元の距離で実施
- ・ 特に多くの参加者がいる大会において、LOC および医療スタッフが、ITUEOM や熱中症予防ガイドラインのすべてのルールに則る医療支援が提供できない場合、競技日程を変更すべきです。

極度に高いリスク(WGBT値:>32.2°C、黒旗)の場合、競技は元の距離もしくは距離短縮の変更をするために再度スケジュール(日程変更を含む)を検討すべきです。

For the Tokyo 2020 Olympic and Paralympic Games, the following heat counter-measures have been put in place:

- Start time moved earlier due to the heat - 6:30 am
- Increase the number of aid/drink stations on the run course
- Establish a cooling station. Tent with fans and air-conditioning
- Athletes may rest in cooling zones but any medical assistance will be DNF
- Trained medical personnel will be positioned every 500m on the run course
- Provide ice gel and ice at aid/drink stations
- Coaches are allowed to provide nutrition in designated coaches area on the bike (park) and run course
- Athletes can keep a cooling box/bag in their transition
- Littering zones have been removed (no penalties)
- Road painted with special paint to reduce heat on Field of Play
- For Paratriathletes a fridge car will be used to ensure ice is still cold during the entire race
- Additional shaded areas available for athletes
- Quick medal ceremony and introduction to reduce heat exposure
- Coaches are allowed to place cold or frozen water bottles on to bikes between the end of athletes' introduction and the start of the race
- Athletes can wear cooling vests until their introduction

Medical marine and heat stress treatment protocols have been reviewed and trained personnel have been added to the teams.

**Check IOC's
Athlete 355 platform
for more information**

東京2020オリンピック・パラリンピック大会では、下記の暑熱対策を実施します

- 暑熱を理由によりスタート時間を早くに変更(6:30)
- ランコースのドリンク／エイドステーションの数の増加
- クーリングステーションの設置。扇風機やエアコン設置のテント
- 選手はクーリングステーションで休憩可能。ただし医療的支援を受けた場合は DNF
- 訓練を受けたメディカルスタッフがランコース 500m 毎に待機
- ドリンク／エイドステーションで氷ジェルや氷を提供
- 大会に登録したコーチはバイクコースやランコース上に設置したコーチエリアで補食を選手に提供可能
- 選手はトランジションエリアにクーラーボックス／保冷バッグを持ち込み可能
- リタリングゾーンは設置しない(どこで持ち物を投棄してもペナルティなし)
- 会場の熱を下げるためにコース路面に特殊な塗装を施工
- パラトライアスリート用に、競技中、氷を提供し続けるために冷蔵車を用意
- 選手のために日陰エリアを追加
- 暑熱曝露を減らすため、メダルセレモニーや選手紹介の時間を短縮
- コーチは、競技スタート前の選手紹介の終了の時間から競技スタートまでの間であれば、冷水または凍ったボトルを選手のバイクに設置可能
- 選手は選手紹介まで、クーリングベストの着用可能
- 海洋医療と熱ストレス対策手順を再検討し、特別に訓練を受けたスタッフがチームに参加

[詳細はIOCの選手355プラットフォームを確認してください](#)



References

1. Racinais, S., et al., *Core temperature up to 41.5°C during the UCI Road Cycling World Championships in the heat*. Br J Sports Med, 2019. **53**(7): p. 426-429.
2. Cramer, M.N. and O. Jay, *Biophysical aspects of human thermoregulation during heat stress*. Auton Neurosci, 2016. **196**: p. 3-13.
3. Freund, P.R., et al., *Attenuated skin blood flow response to hyperthermia in paraplegic men*. J Appl Physiol, 1984. **56**: p. 1104-1109.
4. Webborn, A.D.J., *Heat-related problems for the Paralympic Games, Atlanta 1996*. Br J Therap Rehabil, 1996. **3**: p. 429-443.
5. Maltais, D., et al., *Responses of children with cerebral palsy to treadmill walking exercise in the heat*. Med Sci Sports Exerc, 2004. **36**: p. 1674-1681.
6. Bradford, C.D., D.F. Gerrard, and J.D. Cotter, *Open-Water Swimming, in Heat Stress in Sport and Exercise*, J.D. Périard and S. Racinais, Editors. 2019, Springer International Publishing: Cham, Switzerland. p. 263-281.
7. Junge, N., et al., *Prolonged self-paced exercise in the heat—Environmental factors affecting performance*. Temperature, 2016. **3**(4): p. 539–548.
8. Périard, J.D., et al., *Cardiovascular strain impairs prolonged self-paced exercise in the heat*. Exp Physiol, 2011. **96**(2): p. 134-144.
9. Tatterson, A.J., et al., *Effects of heat stress on physiological responses and exercise performance in elite cyclists*. J Sci Med Sport, 2000. **3**(2): p. 186-193.
10. Arngrimsson, S.A., et al., *Hyperthermia and maximal oxygen uptake in men and women*. Eur J Appl Physiol, 2004. **92**(4-5): p. 524-532.
11. Rowell, L.B., *Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress*. Physiol Rev, 1974. **54**(1): p. 75-159.
12. Périard, J.D. and S. Racinais, *Self-paced exercise in hot and cool conditions is associated with the maintenance of %VO₂ peak within a narrow range*. J Appl Physiol, 2015. **118**: p. 1258–1265.
13. Stephenson, B.T., et al., *High thermoregulatory strain during competitive paratriathlon racing in the heat*. Int J Sport Physiol Perform, 2019.
14. Racinais, S., et al., *Effect of heat and heat-acclimatization on cycling time-trial performance and pacing*. Med Sci Sports Exerc, 2015. **47**(3): p. 601–606.
15. Ely, M.R., et al., *Impact of weather on marathon-running performance*. Med Sci Sports Exerc, 2007. **39**(3): p. 487-493.

16. Guy, J.H., et al., *Adaptation to hot environmental conditions: an exploration of the performance basis, procedures and future directions to optimise opportunities for elite athletes*. Sports Med, 2015. **45**(3): p. 303-311.
17. Leon, L.R. and A. Bouchama, *Heat stroke*. Compr Physiol, 2015. **5**(2): p. 611-647.
18. Pryor, J.L., J.D. Périard, and R.R. Pryor, *Predisposing Factors for Exertional Heat Illness, in Exertional Heat Illness: A Clinical and Evidence-Based Guide*, W.M. Adams and J.F. Jardine, Editors. 2020, Springer International Publishing: Cham. p. 29-57.
19. Périard, J.D., S. Racinais, and M.N. Sawka, *Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports*. Scand J Med Sci Sports, 2015. **25**(Suppl 1): p. 20-38.
20. Sawka, M.N., et al., *Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress*. Compr Physiol, 2011. **1**(4): p. 1883-1928.
21. Castle, P.C., et al., *Partial heat acclimation of athletes with spinal cord lesion*. Eur J Appl Physiol, 2013. **113**: p. 109-115.
22. Stephenson, B.T., K. Tolfrey, and V.L. Goosey-Tolfrey, *Mixed active and passive, heart rate-controlled heat acclimation is effective for Paralympic and able-bodied triathletes*. Front Physiol, 2019. **10**: p. 1214.
23. Lorenzo, S., et al., *Heat acclimation improves exercise performance*. J Appl Physiol (1985), 2010. **109**(4): p. 1140-1147.
24. Price, M.J. and I.G. Campbell, *Thermoregulatory responses of spinal cord injured and able-bodied athletes to prolonged upper body exercise and recovery*. Spinal Cord, 1999. **37**: p. 772-779.
25. Runciman, P., et al., *Paralympic athletes with cerebral palsy display altered pacing strategies in distance-deceived shuttle running trials*. Scand J Med Sci Sport, 201+6. **26**: p. 1239-1248.
26. Daanen, H.A.M., S. Racinais, and J.D. Periard, *Heat acclimation decay and re-induction: a systematic review and meta-analysis*. Sports Med, 2018. **48**(2): p. 409-430.
27. Zurawlew, M.J., et al., *Post-exercise hot water immersion induces heat acclimation and improves endurance exercise performance in the heat*. Scan J Med Sci Sports, 2016. **26**: p. 745-754.
28. Stanley, J., et al., *Effect of sauna-based heat acclimation on plasma volume and heart rate variability*. Eur J Appl Physiol, 2014. **115**: p. 785-794.
29. Saunders, P.U., et al., *Special environments: altitude and heat*. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 2019. **29**: p. 210-219.
30. Racinais, S., et al., *Consensus recommendations on training and competing in the heat*. Scand J Med Sci Sports, 2015. **25**(Suppl 1): p. 6-19.
31. Goosey-Tolfrey, V.L., et al., *Fluid intake during wheelchair exercise in the heat: Effects of localized cooling garments*. Int J Sports Physiol Perform, 2008. **3**: p. 145-156.
32. Sawka, M.N., et al., American College of Sports Medicine position stand. *Exercise and fluid replacement*. Med Sci Sports Exerc, 2007. **39**(2): p. 377-390.
33. Goosey-Tolfrey, V.L., T. Paulson, and T. Graham, *Practical Considerations for Fluid Replacement for Athletes With a Spinal Cord Injury, in Fluid Balance, Hydration, and Athletic Performance*, F. Meyer, Z. Szygula, and B. Wilk, Editors. 2016, Taylor and Francis: Boca Raton. p. 333-355.
34. Kenefick, R.W., *Drinking Strategies: Planned Drinking Versus Drinking to Thirst*. Sports Med, 2018. **48**(Suppl 1): p. 31-37.



Contact

Thanos Nikopoulos
Head of Operations
International Triathlon Union
thanos.nikopoulos@triathlon.org

Dr Sergio Migliorini
Chair of ITU Medical Committee
International Triathlon Union
sermigliorini@alice.it