©NSCA JAPAN
Volume 25, Number 6, pages 2-10

特集 feature

スポーツにおける実践的暑さ対策とその応用

長谷川 博　広島大学大学院総合科学研究科 教授

1. はじめに

近年は多くの競技会が暑熱環境や過密スケジュールなどの過酷な環境下で行なわれているため、選手のコンディションが低下し、望むようなパフォーマンスを発揮できなくなるケースも少なくない。2020年東京オリンピック・パラリンピックも例外ではなく、開催時期や環境条件、選手たちの生体的な負担度を考慮すると、オリンピック史上最も過酷な大会となることが予想される(10)。そこで本稿では、暑熱環境や過度な体温上昇に伴う運動パフォーマンス低下のメカニズム、実際の競技現場で注目されている暑さ戦略に焦点を当て、これらの重要なエビデンスや熱中症を予防するための対策、さらには競技現場への応用に関する最新知見を紹介する。

2. 運動時の体温調節システム

身体活動は体内の化学的エネルギーを運動エネルギーに変換して営まれる。そのエネルギー効率は全体の約20％程度であり、残り80％は熱となる。したがって、身体活動は必然的に熱を発生する。熱の一部は体温維持に向けられるが、残りは体外へ放出しなければならない。産生された熱は、血液循環によって体表面(皮膚血管)に運ばれ、伝導、対流、輻射および蒸発によって体外に放散される。外気温が皮膚温よりも高い暑熱環境下で運動を行なうと、筋の収縮によって発生する熱に、外部から取り込まれる熱(太陽や地面からの輻射熱、外気温など)が加わり、体温の上昇が助長される**(図1)**。体温の上昇を抑制するためには、皮膚血流を通して効率よく熱を放散するか、それでも補えないときは汗の蒸発による熱放散が唯一となる(7)。

3. 暑熱環境と運動能力

暑熱環境が持久性運動能力を低下させることは、これまで数多くの研究によって報告されてきた。中・高

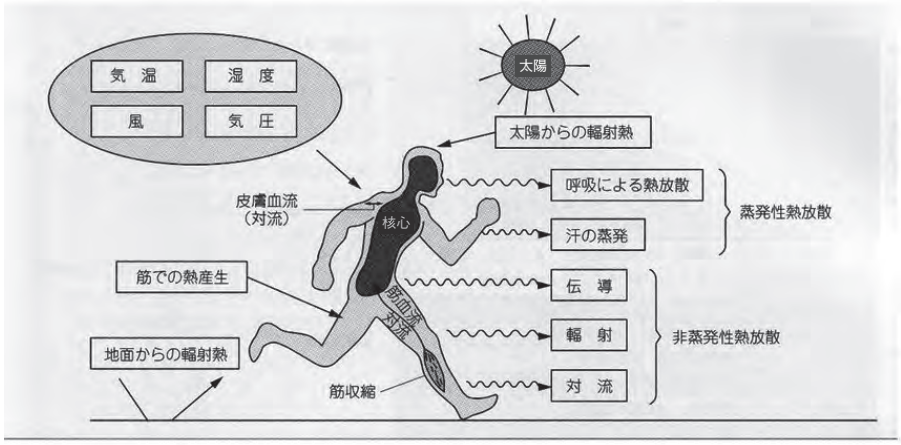


図1　運動時における環境ストレス要因と熱放散経路
運動するためのエネルギー効率は総消費エネルギーの20％程度で、残りの80％は熱に変換される。運動によって発生した熱は、主に伝導、輻射、対流、および汗の蒸発により体外へ放出される。環境温が身体の表面温度より高くなると、汗の蒸発による熱放散が唯一の熱放散手段となる。

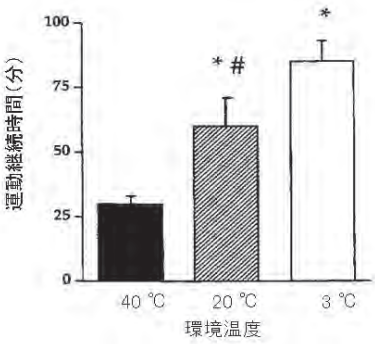


図2　異なる環境温度における持久性運動能力

70% $\dot{V}O_2$maxの自転車運動を異なる環境温で行なった際の疲労困憊に至るまでの運動継続時間は40℃の高温下で最も短かった。(14)を改変。

＊：40℃との比較

#：3℃との比較（$p<0.05$）

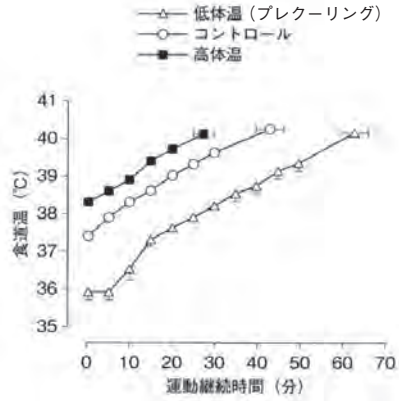


図3　運動前の体温が運動中の体温および運動継続時間に及ぼす影響

身体を冷却あるいは加温し、体温（食道温）を予め変化させた後、暑熱環境下で60% $\dot{V}O_2$maxの運動を疲労困憊に至るまで行なった。プレクーリングにより運動前の体温を低くすると、臨界体温（40℃）に達するまでの時間が遅延し、運動継続時間が長くなった。(6)を改変。

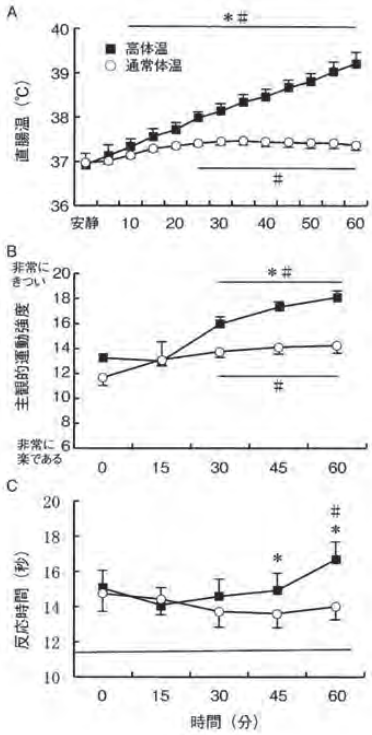


図4　運動時における直腸温（A）、主観的運動強度（B）、認知機能テスト（C）の変化

高体温（循環スーツに47℃の水還流）および通常体温条件（7℃の水還流）において50% $\dot{V}O_2$maxの自転車運動を60分間行なった。体温が過度（約39℃）に上昇した際には主観的運動強度やカラーワード・ストループ課題を用いた認知機能が低下（反応時間の遅延）した。(12)を改変。

＊：安静時との比較　　#：条件間の比較（$p<0.05$）。

強度の自転車運動を環境温3℃、20℃および40℃で行なった際、疲労困憊に至るまでの運動継続時間は40℃の高温下で最も短かった**(図2)**(14)。また、競技選手を用いて30分間の自転車タイムトライアルを行なった研究では、被験者が選択し発揮したパワー出力は、暑熱環境（32℃）のほうが常温環境（23℃）に比べ常に低い値を示した(18)。さらに、オリンピックのマラソン競技における環境温と完走率には高い相関があることや、暑さ指数として知られる湿球黒球温度（wet-blub globe temperature：WBGT）の上昇によりマラソンの成績およびパフォーマンスの減少率が大きくなることが報告されている(4)。

4. 高体温と持久性運動能力

運動時の適度な体温上昇は運動効率を高めるが、環境温度が高温となり、より長時間の運動になると体温は過度に上昇し、運動効率の低下を引き起こす。競技アスリートが暑熱環境下で持久性運動を行なった場合、深部体温が約40℃になると疲労困憊して運動できなくなる**(図3)**(6)。このような過度の体温上昇は、運動継続を制限する危機的限界レベル（臨界体温）とみなされ、呼吸循環器系や筋代謝系だけでなく、脳活動や認知機能といった中枢神経系の機能不全を起こし、運動パフォーマンスの低下、ひいては熱中症など生命を脅かすことにもなる(8)。したがって、熱ストレスを低下させるための対策が必要となる。

一方、高強度運動における作業能力（無酸素性作業能力）に対しては、過度ではない暑熱環境は、むしろプラスに作用することのほうが多い。

5. 体温上昇と認知機能

暑熱環境下における持久系球技種目では、試合終盤時に選手の状況判断能力などの認知機能が低下し、この低下には体温上昇が関与している可能性がある。我々は持久性運動時における体温上昇が認知機能に及ぼす影響について検討した(12)。その結果、中程度の体温上昇時（約38℃）には認知機能が向上したが、温熱負荷を与えて体温が過度（約39℃）に上昇した際には運動強度や温熱感覚といった主観的指標、ストループ課題を用いた認知機能が低下（反応時間の遅延）した**(図4)**。これらの結果より、運動終盤に引き起こされる高体温は、生理的および主観的指標と同様に認知機能を低下させることが示された。したがって、厳しい環境条件下で長時間実施するスポーツにおいて、過度な体温上昇を防ぐことは熱

中症の予防のみならず、脳機能や運動パフォーマンスを維持するためにも重要である。

6. 脱水と運動パフォーマンス

水分は体内で細胞内液や細胞外液(血液、リンパ液)として化学反応を円滑に進めたり、栄養素や酸素を全身へ運搬したり、老廃物を除去したり、体温を調節するなど重要な役割を担っている。運動により体温が上昇すると、身体は熱放散のための皮膚血流や発汗を促進させる。しかし、発汗の増大は脱水を進行させ、心臓循環系への負担を増大し、やがて体温上昇を抑制するための熱放散も制限してしまう。運動中の発汗量は2ℓ／時にも及ぶことがあり、体重の2%程度までの脱水では著しい体温上昇は観察されないが、それ以上になると1%ごとに体温は約0.3℃、心拍数は約5～10拍／分上昇してしまう(16)。このように過度の脱水は身体の様々な機能に影響を及ぼすだけでなく、運動能力も低下させてしまう**(表1)**。

7. 暑熱環境と熱中症

a. 熱中症とは

熱中症とは、暑熱環境下で発生する障害の総称であり、重症度に基づき、熱失神、熱けいれん、熱疲労および熱射病の4つに分類される**(図5)**。熱中症は、梅雨の合間や暑くなり始めの数日間(梅雨明け直後)に高い頻度で発生するが、これは身体が暑さに順応していないためである。この時期は、偶然にも2020東京オリンピックの開催期間と重なる。最も重症度の高い熱射病は、死につながることがあるきわめて危険な症状である。近年、スポーツ活動時の熱中症死亡事故は減少傾向にあるが、いまだ根絶には至っていない。スポーツによる熱中症事故は「無理と無知」によって生じる人災であり、適切な措置を施せば、発生の頻度をゼロに近づけることができる(11)。

b. 熱中症発生率とWBGTの関係

図6に、運動時における熱中症発生件数とWBGTとの関係を示した。発生件数は、WBGTが25℃を超えると増加し始め、28℃を境に急激に高まることがわかる。このような事実に基づき、熱中症予防の運動指針では、WBGTが28℃以上は「厳重警戒」、31℃以上は「運動は原則中止」の基準が設けられている(11)。熱中症の危険性が低い、安全な環境で運動を行なうのに越したことはないが、日本の夏期では、警戒以上の環境下で、トレーニングあるいは競技会が実施されることは、決して珍しくはない。そのような状況で運動を実施する場合、十分な暑さ対策を講じないと、命を危険にさらす事態を招きかねない。

8. 暑熱環境下における暑さ対策

暑熱環境がパフォーマンスに及ぼす負の影響を緩和する対策として、水分摂取や身体冷却、暑熱順化トレーニン

表1　脱水が身体や運動パフォーマンスに及ぼす影響

水分減少率(体重に占める割合)	主な脱水症状
2%	喉の渇き、持久性運動能力の低下
3%	喉の強い渇き、ぼんやりする(集中力低下)、体温・心拍数・呼吸数の上昇、食欲不振、認知機能の低下、瞬発性運動能力の低下
4%	皮膚の紅潮、イライラする、疲労困憊、尿量の減少と濃縮
5～9%	頭痛、視力・聴力の低下、熱にうだる感じ、身体動揺(よろめき)、痙攣、めまい・脱力感など中枢神経系への影響
10%～	無尿、循環不全、死亡

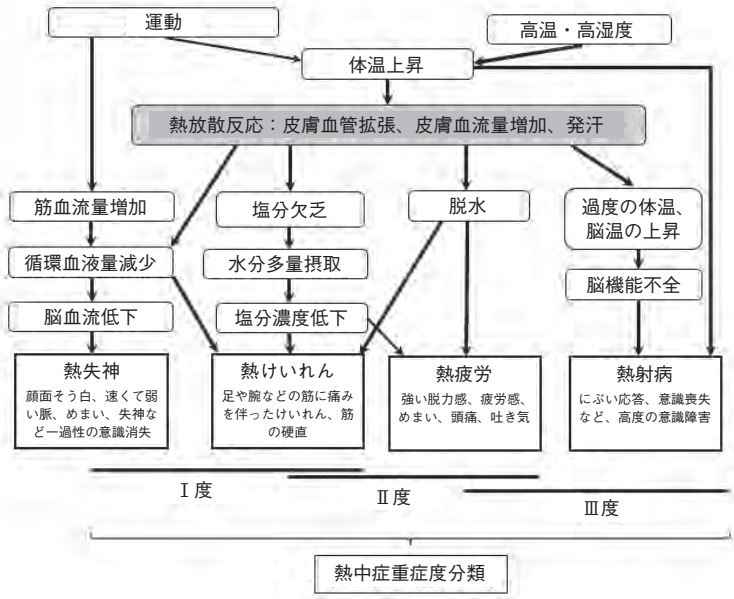


図5　熱中症発生のメカニズムと重症度による分類

グ、衣類、コンディショニングのような暑さ対策が注目されている**(図7)**。本稿では特に、実践的な暑さ対策である水分摂取、身体冷却、暑熱順化を取り上げ、その効果や競技現場での応用について紹介する。

8.1 水分摂取

a. どのくらい水分を摂取すればよいのか？

以前は運動時の水分摂取量は発汗量と同等程度が望ましいとされていた。しかし、4時間を超えるランニングやサイクリングなどの超持久系運動や競技においては、発汗量を大きく超える水分摂取によって血中のナトリウム濃度が低下し、全身痙攣や呼吸困難などの症状をきたす低ナトリウム血症が発症しうる(11,16)。これらは主に一般の人が発症しているが、競技アスリートにおいても暑熱下での長時間に及ぶトレーニングや試合などで発症する危険性があり、発汗量に見合った水分摂取や失われた電解質を適切に補給することが重要である。そのためには個人にあった水分摂取の適量を見つけることが重要で、日頃の練習において体重や尿をモニターしておく必要がある。

現在の多くのガイドラインは、水分摂取の適量を「体重減少が2%を超えない範囲」としている(11,16)。この値は前述の脱水による身体や運動パフォーマンスの低下を最小限に抑えるための数値と一致する。環境条件や体調等により発汗量は異なるが、水分摂取量の目安として、練習や試合前の1時間で500ml程度、練習や試合中は1時間当たり500～1000ml、練習や試合後は発汗量の1.5倍程度を摂取するとよい。一度に胃から腸管に移動できる水分量は200ml程度なので、1回の摂取量はおよそ200～300ml(コップ1杯程度)。また、水分摂取間隔をこまめにすると汗の蒸発に効果的な有効発汗を高く維持できる。**表2**にトレーニングや試合における水分摂取のポイントを示した。

さらに喉の渇きは脱水が進行してから自覚されるため、喉が渇く前から計画的に水分を摂取することが大切である。練習中は適宜、飲水のための休息(飲水タイム)を確保し、自由に水分を摂取できる環境を整えるとよい。最近のサッカーの試合では、WBGT計を用いて環境条件を測定し、その数値により試合中に飲水タイム(約1分)やクーリングブレイク(約3分)などの熱中症対策を採用し、選手の生体負担を軽減し、質の高い試合になるよう努めている。

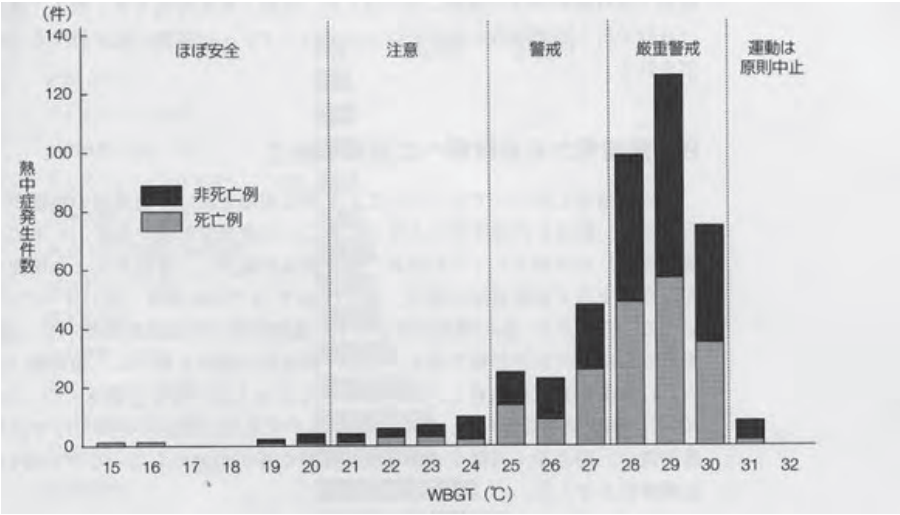


図6　運動時における熱中症発生件数とWBGTとの関係

WBGTは、外気温、湿度および輻射熱の影響を総合的に判定した暑さの指数である。(11)より。
【WBGTの測定方法】
屋外で日射のある場合：WBGT＝0.7×湿球温度＋0.2×黒球温度＋0.1×乾球温度
屋内で日射のない場合：WBGT＝0.7×湿球温度＋0.3×黒球温度

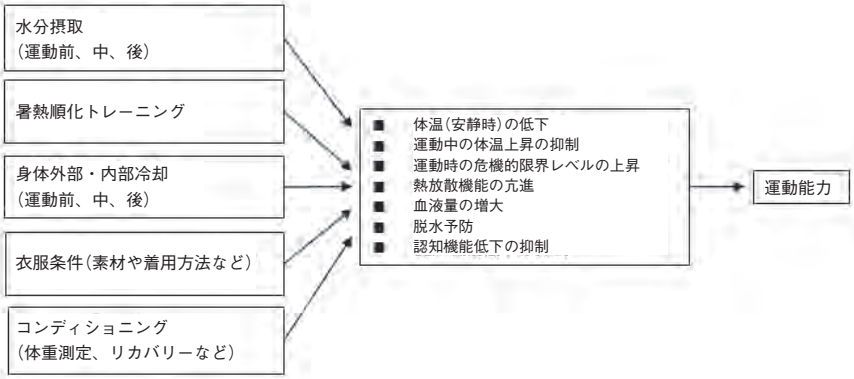


図7　暑熱環境下における実践的暑さ対策

b. 何を摂取すればよいのか？

汗をかくと水分とともに、ナトリウムやカリウムといった電解質も失われ

る。電解質は細胞の浸透圧調節、筋細胞や神経細胞の働きにかかわる重要な物質で、少なすぎても多すぎても細胞や臓器の機能が低下してしまう。特にナトリウムが不足すると熱痙攣や熱疲労からの回復が遅れるため、時間が経過するほどパフォーマンスが低下する。また、ヒトの身体はできるだけ同じ状態を保つホメオスタシス機能が備わっているため、多くの発汗により水分と電解質を損失したとき、真水やお茶などを摂取しても、体液が薄まったことで元に戻そうとしてさらに水分を身体外へ出したり、喉の渇きを止めてしまうため、必要な水分を摂取できなくなる(自発的脱水)。したがって、失われた汗に近い電解質飲料(スポーツ飲料)を摂取することが重要である**(図8)**。

現在の主なガイドラインでは、塩分0.1～0.2％(ナトリウム：40～80mg/100ml)を含んだ飲料の摂取が推奨されている(11,16)。また、持久系の運動やトレーニングのように、1時間以上運動を継続する場合には、4～8％程度の糖質が含まれた飲料が有効であり、糖質(ブドウ糖＋果糖)を含んだスポーツ飲料は疲労の予防だけでなく、腸管内での吸収スピードを速め、保水率も高めることが期待できる。これらの電解質と糖質の両方を合わせて摂取するには、スポーツ飲料が最も効果的である。一方、スポーツ飲料に含まれる糖分を気にして水で薄めたスポーツ飲料を摂取し、本来の目的である電解質が摂取できないことが懸念される。そのため、薄めたスポーツ飲料には食塩を追加するなど状況に応じた電解質摂取方法を検討する必要がある。

また、著しい脱水、下痢や嘔吐がある場合は、経口補水液の摂取もよい。

表2　トレーニングや試合における水分摂取のポイント

【水分摂取の目的】
・運動前：身体の水分、電解質を正常な状態に保つ
・運動中：運動パフォーマンスの低下を防ぐ、過度の脱水と電解質の損失を防ぐ、持久系競技ではエネルギーの補給
・運動後：失った水分および電解質を回復する(塩分を含む食事との併用)

【水分摂取量】 ■体重減少が2%を超えない範囲 ■1回の摂取量は200～300ml(コップ1杯)程度 ■一気飲み、がぶ飲みを避ける ■長時間運動時での水のみの過剰摂取による、低ナトリウム血症に注意	【摂取タイミング】 ■試合の開始2時間前ぐらいから水分を摂取するよう心掛ける ■可能なかぎりこまめ(15分ごとなど)に水分を摂取する ■飲水タイムやクーリングブレイクを確保する ■喉が渇く前に計画的に水分を摂取する
【摂取成分】 ■運動継続時間が短く、発汗量が少ないときは水でも問題はない ■トレーニングや試合の前後および試合の休息時は、身体への吸収の早さを考え、電解質と糖質を含んだスポーツ飲料などを摂取する ⇒塩分：0.1～0.2%(ナトリウム：40～80mg/100ml)＋糖質：4～8%(4～8g/100ml) ■水、スポーツ飲料、エネルギー系飲料など、目的に応じた組み合わせや工夫が必要	【摂取温度】 ■約5～15℃など飲みやすいもの ■暑熱環境下での持久系の試合では、運動前や運動間にアイススラリー(−1℃)を摂取することも効果的 【コンディションチェック】 ■トレーニングおよび試合前後による体重測定 ■日常の体重変化を1%未満に収める ■尿の量、色(薄い黄色)、比重(1.020未満)で確かめる

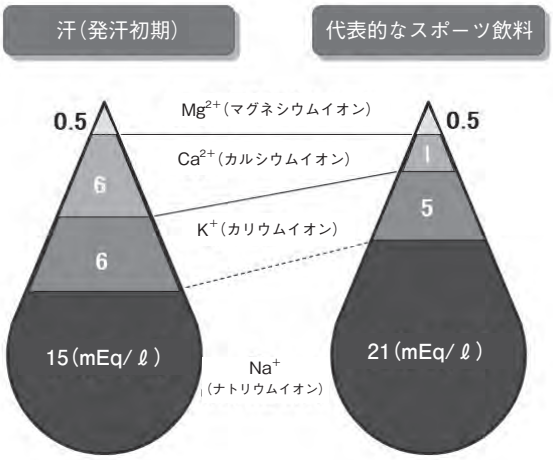
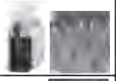


図8　汗とスポーツ飲料の電解質組成の比較
汗をかき続けると電解質(イオン)の濃度は濃くなる。mEq/ℓは電解質濃度を表わす単位。

摂取する水分の温度に関しては、5～15℃に冷やすと飲みやすい上に吸収も早く、暑熱環境下での運動であれば身体の冷却効果も期待できる。さらに、トレーニングや試合後にはこれらに加え、筋損傷を回復させるためにアミノ酸などのタンパク質を含んだ飲料の摂取も有効である。以上のように水分摂取という観点からは、スポーツの競技特性を考慮し、基本的には個人の発汗量に合わせた水分摂取を目指すことが重要であり、その日の環境条件や体調に合わせ、種類や量を使い分けるとよい。

表３　身体冷却の効果と特徴

冷却方法	エルゴジェニック効果		冷却効果		設備負担	備考
	運動前	運動中	核心温	皮膚温		
冷水浴	＋＋＋		＋＋＋	＋＋＋	＋＋＋	スプリント運動には△
クーリングベスト	＋	＋＋＋		＋＋＋	＋	重量が気になる可能性あり
アイスパック	＋	＋		＋＋＋	＋	スプリント運動には△
アイススラリー 	＋＋	＋＋＋	＋＋	＋	＋＋	胃腸不快感の可能性あり
送風／水スプレー		＋		＋＋＋	＋＋	送風は設備負担大
頸部冷却		＋＋		＋＋＋（頸部）	＋	熱中症に注意

効果や負担度の大きさを示す。＋：小、＋＋：中、＋＋＋：大　(2)より。

8.2 身体冷却

a. 身体冷却の種類（表３）

スポーツの成績は体温上昇に強く影響される。暑熱環境下における運動によって引き起こされる高体温や疲労、さらには運動能力の低下や熱中症などの弊害を防ぐには、身体冷却が有効である。身体冷却には主に身体外部冷却と内部冷却の２つの方法がある。外部冷却は冷水浴（冷水浸漬）やアイスパック、クーリングベスト、送風のような従来から使用されてきた身体冷却方法であり、皮膚温や核心温を効果的に低下させる。なかでも、冷水浴は冷却効率の高さやエルゴジェニック効果（運動パフォーマンスの向上）が十分に証明されており、身体冷却のゴールドスタンダードとなっている(2,3)。また、冷たい飲料の摂取により身体の内側から冷却する内部冷却がある。

b. 身体外部冷却の効果とは？

バスタブを用いた冷水浴（水温約25℃で30分程度）は、運動前の体温を約1℃低下させ、運動中の貯熱量を増大し、心拍数や発汗量を軽減することで持久性運動能力を向上させる**（図３）**(6)。この外部冷却を用いたプレクーリングは、高強度短時間の運動よりも持久性運動（30～60分）においてその有効性が高い。また、夏季オリンピックの暑さ対策として開発された冷却材入りのクーリングベストを安静時やウォーミングアップ時に着用すると、運動中の過度な体温上昇や脱水を防止し、心循環系への負担や快適性、温熱感覚を改善することで持久性運動やタイムトライアルにおけるパフォーマンスが向上する(1)。最近の総説では、運動中の皮膚温の上昇はタイムトライアルなどの運動パフォーマンスを決定する重要な要因とされているので、身体を外部から冷却し、運動中の皮膚温の上昇を抑制することは有効な手段となりうるかもしれない**（図９）**(5)。実際に我々の最新データでは、チームスポーツを模倣したハーフタイム中のクーリングベストによる冷却は、皮膚温や温熱感覚を改善し、後半の間欠的運動能力を向上させた。

また、体温や筋温には運動を適切に行なうための至適温度があり、冷水浴やアイスパックにより脚部などの活動（主動）筋を冷やしすぎないよう注意すること、冷却後は再びウォーミングアップを行なうなど柔軟に対処して、筋を適温状態に保つ必要がある。また、冷却材入りのネッククーラーを用いた頸部冷却は、運動中の体温や心拍数に影響を与えるほどの冷却効果はないが、温熱感覚や認知機能、持久性運動パフォーマンスを改善する(19)。冷水浴のような身体外部冷却は、水以外に大がかりな設備や電力が必要となる場合があることから、クーリングベストや頸部冷却は、競技現場において比較的実用性の高い冷却方法といえる。

c. 身体内部冷却の効果とは？

身体外部からの冷却に対し、より簡便かつ実用的で水分も同時に補給できる方法として、運動前の冷たい飲料の摂取による身体内部冷却がある。近年、より積極的な身体内部からの冷却方法として、アイススラリー（－1℃）の摂

取が注目されている。これは液体に微細な氷の粒が混ざったもので、氷が水に変わる相変化の際に体内の熱を大きく吸収するだけでなく、液体の比熱に固体の比熱が加わるため、液体の水のみよりも効果的に身体を冷却できる。

図10のように、運動前の安静時のアイススラリーの摂取によって、直腸温が低下し、暑熱環境下の運動継続時間が延長した(17)。アイススラリーを用いたプレクーリングは、冷水浴を用いた場合と比較しても同等の持久性および間欠的運動パフォーマンスの向上をもたらすことや、摂取によって冷却された血液が脳にも影響を及ぼすため、脳の活性化や運動継続のためのモチベーションの低下を抑制する可能性もある。実際、我々は磁気共鳴スペクトロスコピー法を用いて、アイススラリーの摂取が中立温度の飲料と比較した場合、ヒトの脳温を有意に低下させることを報告した**(図11)**。この結果は、アイススラリーの摂取が脳のプレクーリングによって脳温の危機的限界レベルに到達するまでの時間も延長することができることを示唆している(13)。

さらにアイススラリーの成分については、市販のミキサーを用いてスポーツ飲料で作成することで、冷却効果だけでなく糖-電解質の補給も行なうことができるので、大変効率の良い方法といえる。夏季オリンピックやその他各種世界大会などの主要な試合は、厳しい環境下で数多く開催されるため、身体内部冷却は熱中症を予防し、運動パフォーマンスを向上させるための新たな方法として注目されている。

実際の競技場面を想定した場合、身体冷却戦略に求められる点は簡便かつ迅速に適応できる実用性と、その中でも大きな冷却効果を示す利便性である。また、これらの様々な身体冷却方法を試合やトレーニングにおいて組み合わせて用いることで、暑熱環境下の生体負担度を軽減し、運動パフォーマンスを向上させることができるだろう。

d. 運動後のリカバリーとしての身体冷却の有効性

氷と水を入れたバスタブあるいは大きなバケツ(約15℃)に下肢や全身を浸して5～10分程度浸かるアイスバスという方法がある。これは激しいトレーニングや試合で生じた筋の微細な損傷への対処、上昇した筋温や体温を素早く下げ、余分なエネルギー消費を抑えることが目的である。複数の人が同時に行なえることも特徴で、ラグビーなどのコンタクトスポーツ競技で広く用いられている**(表3)**。また、様々な競技のアスリートが、クーリングダウン後にアイスバスで下肢を冷却したり、1日に複数試合が行なわれる場合などは試合の間に実践している。アイスバスを用いることで、翌日の脚部や全身の疲労感が軽減されるなど、選手の主観的感覚に影響を及ぼすことも特徴である。そのため、暑熱環境下での

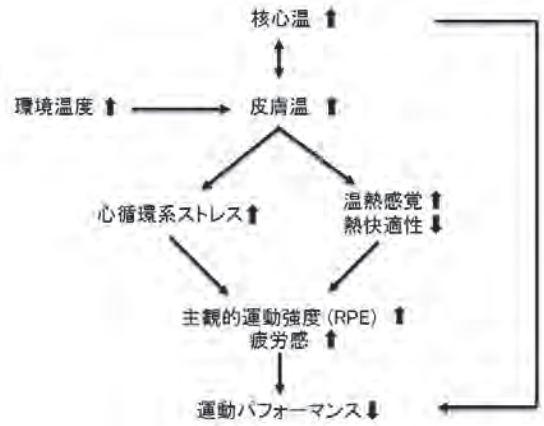


図9　環境温度の上昇による運動パフォーマンスの低下の要因
皮膚温や核心温の上昇により運動強度が調整され、運動パフォーマンスが低下する。(5)を改変。

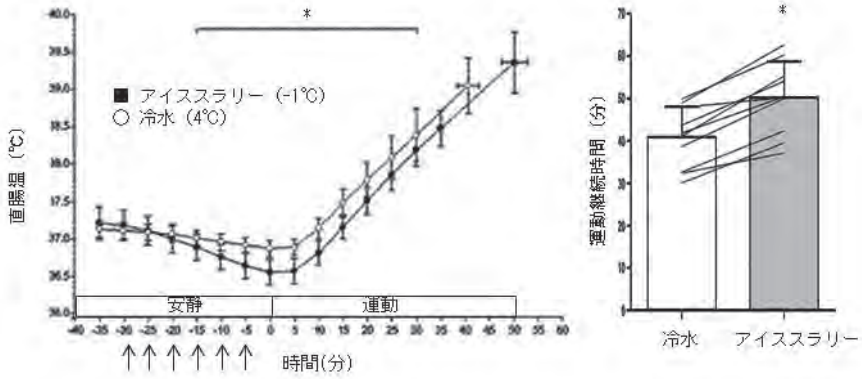


図10　アイススラリーの摂取が暑熱環境下での体温および持久性運動能力に及ぼす影響
運動前に冷水またはアイススラリーを摂取し、室温34℃、相対湿度55%の暑熱環境下で中強度のランニング運動を疲労困憊に至るまで行なった。アイススラリーの摂取によって運動前の直腸温が有意に低下し、運動できる幅が広がったため、すべての被験者の持久性運動パフォーマンスが向上した。(17)を改変。
↑は飲料摂取。＊：条件間の比較($p<0.05$)

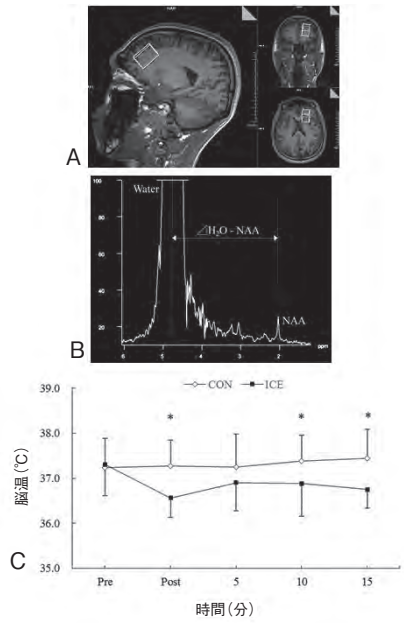


図11　アイススラリーの摂取が脳温に及ぼす影響

A. 前頭皮質領域の磁気共鳴スペクトロスコピー(MRS)画像。

B. 水とアスパラギン酸の化学シフトを用いて脳温を推定。

C. アイススラリーの摂取により前頭皮質領域の脳温が約0.4℃低下した。

＊条件間の比較($p<0.05$)。(13)を改変。

大会やトレーニングキャンプにおいて、コンディションの維持増進のために用いられている。さらに、アイスバスを用いた冷水浴と温浴の交代浴を用いることによって、疲労回復に加え、リラックス効果も期待できる(9)。

8.3 暑熱順化トレーニング

a. 暑さに対する身体の反応とは？

暑熱環境下における繰り返しの曝露や持久性運動トレーニングを継続すると、暑熱ストレスに対する抵抗力(暑熱耐性)が高くなる。このように暑さに身体が適応することを暑熱順化という。暑熱順化後の主な身体の反応を**表4**にまとめた。暑熱下でのパフォーマンスの制限因子になりうる深部体温は、安静時および運動時に低下し、限界レベルに達するまでの温度差が大きくなる。また、皮膚血流反応や発汗反応が改善するなど、熱放散機能が向上する。また、汗による電解質の損失量(汗の塩分濃度)が減り、血漿量と体水分量の増加が伴って体液バランスが改善する。また、運動パフォーマンスへの影響が大きい心臓循環系や代謝系も改善する。乳酸閾値が上昇することから、筋のグリコーゲン貯蔵量は維持され、全体としての代謝量も低くなる。さらに、熱ショックタンパク質(ヒートショックプロテイン)の発現が増大するなど、細胞レベルでも変化が起こり、暑熱耐性が増大する。このように暑熱順化によって身体の様々な機能が向上するため、持久性運動能力は向上し、同じ運動を行なっていても暑さの感覚は軽減され、熱中症の危険性も少なくなる(15,20)。一方、暑熱環境や高体温がスプリント能力にはあまり影響がないことと同様に、暑熱順化は高強度短時間の運動パフォーマンスの向上にはあまり効果がない。

表4　暑熱順化による主な身体の変化

■深部体温：低下	■心臓循環系：改善
安静時・運動時の体温：低下	心拍数：低下
■皮膚血流：改善	1回拍出量：増加
血管拡張閾値：低下	心拍出量：増加
血流量：増加	血圧：安定
■発汗：改善	最大酸素摂取量：増加
発汗開始閾値：低下	■骨・筋代謝：改善
発汗量：増加	筋グリコーゲン：貯蔵増加
感度：上昇	乳酸閾値：上昇
汗の塩分濃度：低下	筋力発揮：増大
■体液バランス：改善	■全身の代謝：改善
喉の渇き：改善	基礎代謝量：低下
電解質の損失：減少	■暑熱耐性：増大
体水分量：増加	熱ショックタンパク質の発現：増大
血漿量：増加	細胞保護作用：改善

b. 暑熱順化のためのトレーニングとは？

暑熱順化を開始すると、3日前後から発汗量の増加、心拍数の低下、体温上昇度の低下といった生理的変化がみられる。しかしながら、競技アスリートが暑熱環境下で最適な運動パフォーマンスを発揮するためには、さらに日数が必要で、一般的には7～10日が必要である。実際に運動鍛錬者が暑熱環境下において10日間連続して自転車運動を行なうと、体温が低下し、運動継続時間が延長する。暑熱順化を効果的なものにするためには、このように体温が1℃以上上昇する運動が必要である。さらに、アスリートが暑熱順化を行なう上で考慮しなければならないのは、運動の強度と時間で、一般的には、60～100分前後の中強度運動(50～60% $\dot{V}O_2max$前後)がよく用いられており、その効果はどれも高い。

また、暑熱順化の時期による調整では、暑熱順化初期にはまだ身体が慣れていないため、低い強度から開始し、徐々に強度と時間を増やしていくのが一般的である。さらに、暑熱順化により獲得した機能は、暑熱順化終了後、約1週間～1ヵ月間で消失してしまうことから、トレーニングの間隔を3日以上連続してあけないことが大切であ

る。また、暑熱順化はトレーニングしていない人と比べて、高度にトレーニングを積んだ競技アスリートにおいてより早く発現する。以上のように暑熱環境下での運動トレーニングは、通常および暑熱環境下での熱放散反応や持久性運動パフォーマンスが改善されることから、特に暑熱環境下で運動する場合には、この適応を積極的に利用することが重要である。また、暑熱順化を効果的に行なうためには、順化期間中の体水分状態を体重測定や尿の量と色からチェックするとよい。

9. 競技現場での実践

勝利に不可欠な実力を高めるには、質の高いトレーニングを暑熱環境下でも実施する必要がある。しかし、これまで述べてきたように暑熱環境下では生体的な負担度が大きくなるため、高い運動パフォーマンスを維持することや質の高いトレーニングを行なうことが難しくなる。さらに、過酷なトレーニングを繰り返すアスリートは、大会前のトレーニングや大会中に体調を崩すことが少なくはない。したがって、エビデンスに基づいた暑さ対策を競技現場で実践することが重要である。特に、用いる戦略を試合だけでなく事前のトレーニングで選手やコーチがその効果を理解し、試しておくことが重要である。また、競技現場での実践は各競技のルールや設備に応じて多種多様であり、個人の好みも影響するため、事前に練習などでそれぞれの方法を試し、競技や個人の好みに合わせてカスタマイズすることが望ましい。

10. まとめ

本稿では暑熱環境や過度な体温上昇に伴う運動パフォーマンス低下のメカニズム、実際の競技現場で注目されている暑さ対策に焦点を当て、これらの重要なエビデンスや競技現場への応用に関する最新知見を紹介した。暑さ対策はスポーツ科学の分野や競技現場だけではなく、一般の人たちの熱中症予防の観点からも注目されている。暑さ対策に関する最新のエビデンスを理解し、競技現場へ応用・実践することは非常に重要である。◆

参考文献

1. Arngrimsson SA, et al: Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. *J Appl Physiol*, 96: 1867-1914, 2004.
2. Bongers CC, et al: Cooling interventions for athletes: An overview of effectiveness, physiological mechanisms, and practical considerations. *Temperature*, 4(1): 60-78, 2017.
3. Choo HC, et al: Ergogenic effects of precooling with cold water immersion and ice ingestion: A meta-analysis. *Eur J Sport Sci*, 18(2):170-181.2017.
4. Ely MR, et al: Impact of weather on marathon-running performance. *Med Sci Sports Exerc*, 39: 487-493, 2007.
5. Flouris AD, Schlader ZJ: Human behavioral thermoregulation during exercise in the heat. *Scand J Med Sci Sports*. 25 Suppl 1: 52-64, 2015.
6. González-Alonso J, et al: Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol*, 86: 1032-1039, 1999.
7. 長谷川博: 運動時の体温上昇とその影響. 体温Ⅱ -体温調節システムとその適応-. 編集：井上芳光, 近藤徳彦. ナップ, 60-71, 2010.
8. Hasegawa H, Cheung SS: Hyperthermia effects on brain function and exercise capacity. *J Phys Fitness Sports Med*, 2: 429-438, 2013.
9. 長谷川博, 山本利春監訳: リカバリーの科学 -スポーツパフォーマンス向上のための最新情報-, ナップ, 2014.
10. Kakamu T, et al: Preventing heat illness in the anticipated hot climate of the Tokyo 2020 Summer Olympic Games. *Environ Health Prev Med*, 19; 22(1):68, 2017.
11. 川原貴ら: スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック. 公益財団法人日本体育協会, 2013.
12. 風間彬ら: 体温上昇が持久的運動時における認知機能に及ぼす影響.体力科学, 61(5): 459-467, 2012.
13. Onitsuka S, et al: Ice slurry ingestion reduces human brain temperature measured by noninvasive method of magnetic resonance spectroscopy. *Sci Rep*, 8(1): 2757, 2018.
14. Parkin JM, et al: Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *J Appl Physiol*, 86: 902-908, 1999.
15. Périard JD, et al: Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports, *Scand J Med Sci Sports*, 25 Suppl 1: 20-38, 2015.
16. Racinais S, et al: Consensus recommendations on training and competing in the heat. *Scand J Med Sci Sports*, 25 Suppl 1: 6-19, 2015.
17. Siegel R, et al: Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the heat. *Med Sci Sports Exerc*, 42(4): 717-725, 2010.
18. Tatterson AJ, et al: Effects of heat stress on physiological responses and exercise performance in elite cyclists. *J Sci Med Sport*, 3(2): 186-193, 2000.
19. Tyler CJ et al: Practical neck cooling and time-trial running performance in a hot environment, *Eur J Appl Physiol,* 110 (5): 1063-1074, 2010.
20. 安松幹展: 競技アスリートに対する暑熱順化の重要性と応用, トレーニング科学, 26 (3): 133-138, 2015.