©NSCA JAPAN
Volume 24, Number 5, pages 19-28

CEU Quiz 関連記事

Key Words【水分補給：hydration、身体冷却：body cooling、熱馴化：heat acclimatization、用具：equipment、栄養：nutrition、睡眠：sleep】

暑熱環境における競技パフォーマンスの最適化

Maximizing Athletic Performance in the Heat

Riana R. Pryor, MS, **Douglas J. Casa,** PhD, **William M. Adams,** MS, **Luke N. Belval, Julie K. DeMartini,** PhD, **Robert A. Huggins,** MEd, **Rebecca L. Stearns,** PhD and **Lesley W. Vandermark,** MS
Korey Stringer Institute, Department of Kinesiology, Human Performance Laboratory, University of Connecticut, Storrs, Connecticut

要約

涼しい環境でトレーニングやパフォーマンスを行なえば、アスリートは最高レベルの能力を発揮できる。だが、アスリートの多くは、暑熱環境でもトレーニング法を変えない。本レビューの目的は、以下の実践方法を修正することにより暑熱環境におけるパフォーマンスを向上させることに関して、既存の研究論文を調査することである。すなわち、(A)水分摂取、(B)身体冷却、(C)暑熱馴化、(D)衣服と防具、(E)栄養とサプリメント、(F)睡眠、および(G)科学技術である。本レビューは、暑熱環境におけるパフォーマンスの向上を目的として、アスリートが自ら実践できる運動習慣の変更について考察する。

はじめに

世界中の多くのアスリートが温暖な環境で試合や練習を行なっているが、それにより、ヒートバランス(熱収支)が変わる可能性がある。身体が発する熱や環境から蓄えた熱が身体の放熱量と等しいときは、ヒートバランスがとれている。しかし、暑熱環境で運動するときは、蓄えられた熱が同じ速度で放散されるとは限らない。暑熱環境では蓄積された熱が運動中の体温上昇をもたらし、調整不可能な熱ストレス(UHS：uncompensable heat stress)が生じることにより、競技パフォーマンスが損なわれる可能性がある。

温暖環境で運動を行なうと、脱水、深部体温の上昇、心臓血管系へのストレス増加など、様々な要因でパフォーマンスが低下する。温暖環境が運動にもたらすマイナス効果を軽減するために、アスリートは様々な様式で運動前後や運動中の行動を調節できる。本レビューは、暑熱環境における生理学的因子を論じ、パフォーマンスを促進するための実践方法を考察する。実践のテーマには、水分摂取、身体冷却、熱馴化、衣服と防具、栄養とサプリメント、睡眠、さらに科学技術が含まれる。

水分摂取

科学とエビデンス

水分摂取は競技パフォーマンスに影響を及ぼす重要かつ本質的な因子である。それは、暑熱下で運動をするとき、身体は体温の変化を抑制するために発汗による冷却に大きく依存するからである。発汗により水分が失われるため、血液量と心拍出量が減り、血漿オスモル濃度(粘性)が高まり、それらの結果をもたらした水分の損失を補うための体液が必要となる。もし運動中に水分が補充されないと、身体は脱水状態に陥る(2)。この状態は心拍数の上昇を含む生理学的変化を次々に引き起こし、その結果、競技パフォーマンスに負の影響を及ぼす。

身体が運動中に用いる主な放熱法は発汗である。発汗は体温調節にとってきわめて重要ではあるが、心臓血管系の効率性を維持するために必要な水分

を身体から奪うことになるため、結果的に運動することができる最大の強度が低下する。経度な脱水症、もしくは持続的な脱水状態により発汗率も低下する。運動開始時には、体重が1％減少するごとに約29 g/m/hの発汗量が減少するとの報告がある(60)。両方のメカニズムにより熱利得が増え、パフォーマンスの低下をもたらす。

体温の上昇は運動中の脱水に対する最も既知の反応である。運動-熱ストレスによる発汗率の増加は、放熱を可能にするだけなく、体内水分がより大きく減少する。したがって、発汗により減少した水分が十分に補なわれないと、脱水によって引き起こされる深部体温の上昇は避けられない。研究によると、温暖環境で運動中は、体重1％の減少に対して、体温が平均0.21℃上昇することが明らかにされている(**表**)(16,24,30,39,60)。例えば、防具を着用して暑熱環境で運動するアメリカンフットボール選手にとって、1.5%の体重減少は一般的であるが(23)、これは深部体温の0.32℃の上昇に相当する。

脱水状態に対する心拍数反応は十分解明されていて、体重が1％減少するごとに心拍数が4～6 bpm増加する(16,43,60)。この心拍数の増加は、血漿量の減少により1回拍出量が減少しているにもかかわらず、血圧を維持し、動員中の筋に確実に血液を送り届け、放熱に必要な皮膚の血流を維持するために起こる。このカーディアックドリフト(cardiac drift)の大きさは、脱水状態と心拍数反応の程度に関係がある(43)。カーディアックドリフトとは、1回拍出量の変化をもたらす心拍数の増加のことであり(18)、これにより暑熱環境でよくみられるパフォーマンスの低下が起こる。具体的には、カーディアックドリフトと心臓血管系ストレスの増加によって、疲労困憊までの時間が28～37％短くなる、あるいはピークパワー能力が12～17％減少するというような変化が起こる(73)。

脱水による影響は、その多くが、ペース維持能力の低下など、有酸素性運動の立場から広く知られているが(64)、研究では、無酸素性パフォーマンスへの影響も明らかになっている。3～4％体重が減少すると、筋力は約2%、筋パワーは約3%、さらに高強度持久力は10％低下するとされる(33)。無酸素性運動に関する脱水の影響のメカニズムは現在のところ明らかではないが、仮説としては、心臓血管系機能の変化(1回拍出量の低下、水分損失による筋への血流減少、運搬される酸素と栄養の減少)および代謝や神経筋のメカニズムの変化などが含まれる(33)。

現場への応用／成功へのステップ

水分摂取がパフォーマンスに及ぼす影響は大きい。そのためアスリートが、脱水状態を回避するためにパフォーマンス中に確実に、また意図的に十分な量の水分を摂取する方法を知っていることは重要である。クライアントごとに、多数の変数(年齢、運動適応、熱馴化、性別、体力など)に基づく発汗率が異なるため、各自の発汗率に基づいて水分を補給することの重要性が強調される(2)。現在の推奨基準によると、アスリートは発汗により失われた水分の80～100％を補給する必要があり、それにより、大多数の運動競技に関して、アスリートは2%未満の脱水で留めることができると思われる(2)。以下に、運動中の水分補給を確実に行なうための実用的な対策をまとめる。

- 水分の必要性を決定するために、試合前数週間以内の発汗率を計算し、体重減少を確実に2%未満に抑えられる水分必要量を決定し、水分摂取計画を実践する。
  - ・そのためには、試合当日に予想される強度に近い強度、かつ類似の環境で45～60分運動する。
  - ・運動の前後に体重を測定し、正確な発汗量を推定する(食物や水分の摂取も排出もしない)。この数字から発汗率、すなわち運動前の体重(kg)－運動後の体重(kg)/運動時間(時間)を計算する。
  - ・食物または飲料を摂取した場合は、運動の前後にそれらの重さを測り、差を推定した発汗量に加える。
- 影響の大きな変数(体力状況、環境条件、運動強度など)に大きな変化

表　1%の体重減少に対する生理学的変数の変化

	Lopezら(39)	Casaら(16)	Gonzales-Alonzoら(24)	Montain＆Coyle(43)	Sawkaら(60)
体温の上昇	0.17	0.22	0.21	0.25	0.15
心拍数の上昇	—	6	4	7	4
パフォーマンスの低下	完了までの時間1.2%	完了までの時間2%	SV4.8%	—	—

SV＝1回拍出量の変化の絶対値(1％の体重減少に対する相対値ではない)

が生じた場合は、発汗率を再度評価し直す。

- 水分摂取状態を決定するために尿の色を判定する。十分に水分を摂取しているアスリートは、尿の色が「レモネード」に近い薄い黄色だが、脱水状態のアスリートの尿は色が「りんごジュース」に近い濃い色になる(2)。透明な尿は、逆に水分の過剰摂取を示唆する可能性がある。尿の色のチャート(http://hydrationcheck.com)を使えば、この判定がより容易になる。.
- 消化器の不調を起こさないように、運動中は少量ずつ複数回に分けて水を飲む。

身体冷却

科学とエビデンス

アスリートの身体を予め冷やすことは、運動開始時の深部体温を下げ、限界体温、すなわちアスリートが運動のペースを遅くする必要のある温度に達するまでの熱蓄積能力を高めることにより、理論的には、より長時間の運動を可能にする(25)。これはまた、複数回の運動を行なうアスリートが、その間に身体を冷却する場合にも同じく当てはまる(76)。これによりアスリートは、深部体温と心拍数を低下させてから運動に戻ることができる(21)。最近の体系的レビューにより、深部体温を低下させることにより、有酸素性運動のパフォーマンスが推定で4.25％改善され、無酸素性運動では0.66％改善されることが明らかになった(55)。例えば、この違いは、2008年オリンピックの男子5,000m走でいえば、1位と11位の差に相当する。

運動生理学者と臨床医との間で最近関心を集めている分野は、競技パフォーマンスを向上させるための身体冷却の様々な方法を調査することである(55)。身体冷却は試合前、試合中、および運動中複数回にわたり(試合のハーフタイムの休息や1日2回の練習セッションの合間など)行なうことができるし、運動後の回復時間に取り入れることもできる(**図**)。これらのいずれのタイミングでも、身体冷却は体温を低下させ、生理学的ストレスを軽減できる。

身体冷却はパフォーマンスに明らかな利益をもたらす。Arngrïmssonら(7)は、クーリングベストを着用することにより、暑熱環境を模倣した実験室(32℃、湿度50％)で行なった5,000m走のパフォーマンスが向上したことを証明した。この様式は大多数のアスリートに実用的であり、比較的安価でもある。最近では、アイススラリー(シャーベット状の氷)を摂取することにより、単に運動前の深部体温が低下するだけなく(61)、暑熱環境での最大下の持久系パフォーマンスが促進されるという利益も明らかになっている(61,62)。

身体冷却により向上したパフォーマンスは、深部体温の低下と中心血液還流量を増大させることにより、心臓血管系の機能が維持されることに起因する。これらの両反応を達成することができる冷却様式は水風呂であり、低い水温による冷却効果と水に浸ることによる静圧効果とが得られる(69)。冷却様式と皮膚との温度勾配が主として冷却率を決定する。したがって、より低温の様式がより速い冷却を促す。例

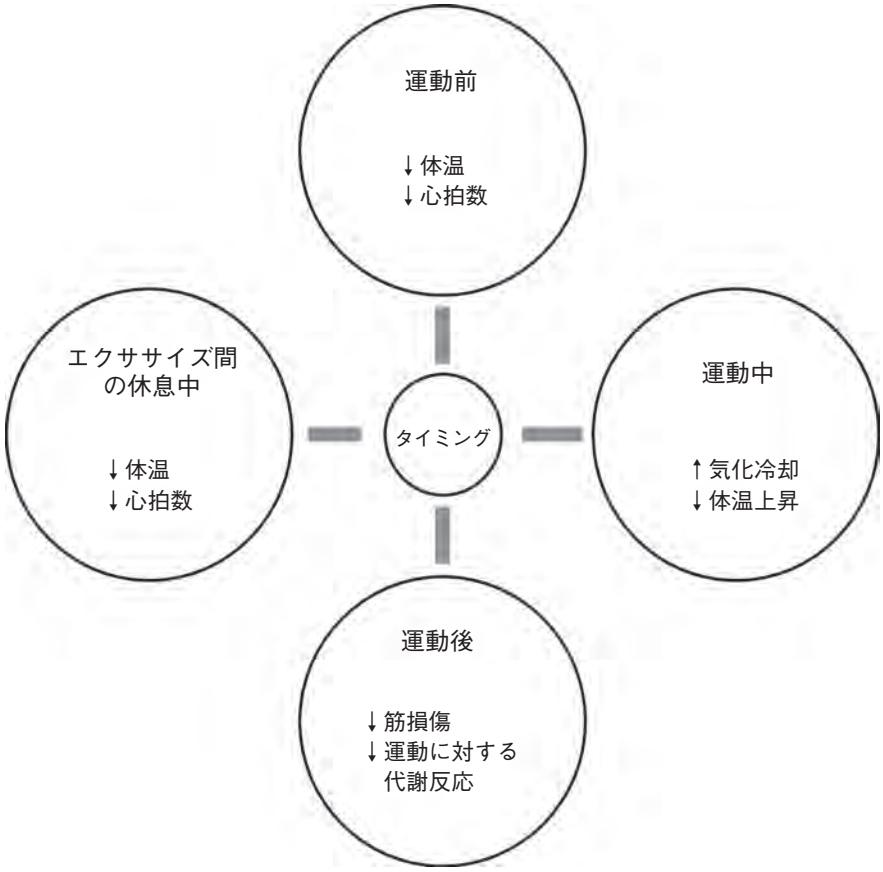

図　パフォーマンスを促進するための身体冷却のタイミングと効果

えば、2℃の水に浸かることは8℃、14℃、20℃の水に浸かるよりも冷却速度が2倍速いことが示されている(53)。

高体温がどのように運動パフォーマンスにマイナスの影響を与えるかに関しては、いくつかの仮説がある。そのひとつは、アスリートが運動中に危険な限界体温(約40℃)に達し、疲労困憊し運動の継続が困難になるという理論である(41)。第2の理論は、運動中のアスリートは、限界体温に達することを避けるために運動強度を変えることで、運動を継続できるようになるが、運動ペースは低下するというものである(67)。暑熱環境で長時間運動しているか、またはこれから運動を開始するアスリートの身体冷却を行なうことは、両方の仮説に対応している。

現場への応用／成功へのステップ

アスリートの身体冷却の臨床応用を検討する場合、単に有益な生理学的反応を促すだけでなく、現実的に実施可能な様式を選択することが重要である。次のリストは、冷却様式を選択する際に念頭に置くべき5つの特に重要な要点である。

- 冷却のタイミング
  - ・運動中の休息時間など、冷却のための時間が限られている場合には、労力がかからない様式(サイドラインに設定したミストファンやクーラーに保管した冷水タオルなど)を選択する。
- 冷却率
  - ・冷却を行なう時間が限られているときは、最も速く冷却が起こる様式が最も効果的で実用的である。
  - ・水風呂は冷却率が最も高い。しかし水に浸かることが不可能な場合は、アイスタオルも良い代替策である。
- ユニフォームと防具
  - ・例えばハーフタイムなど、冷却する際に防具を外すことが不可能な場合は、防具を邪魔しない様式(前腕だけを浸す氷水の入ったバケツや、アイススラリーの摂取と氷水で冷やしたタオルの併用)を選択する。
- ユニフォーム／防具で被われている皮膚の量
  - ・皮膚の露出を最大にすることは蒸発による冷却面積を広くする。
  - ・水風呂は直接体表面のほぼ全体を冷却するのに対して、ミストファンは暑熱乾燥状況において、蒸発冷却を促進するのに適している。
- 冷却の場所
  - ・高温や直射日光にさらされる場所での冷却様式は冷却効果を低下させる。
  - ・ロッカールーム、あるいは屋外の日陰にバスタブを置く。屋外で水風呂を使うときは、最初は水だけを張っておき必要に応じて氷を加える。

熱馴化

科学とエビエンス

熱馴化は、放熱の改善により暑熱環境における生理学的ストレスを軽減する一連の適応反応を伴う(6)。運動競技に関しては、熱馴化の目的は温度調節機能と心臓血管系ストレスを軽減し、パフォーマンスを促進することである。この熱馴化の過程には全身の組織で完全に変化が生じるまでおよそ10～14日間が必要である。しかし、個人の体力レベルと出身地によっても適応までの時間枠は変化する(6)。

生理学的変化はそのすべてがパフォーマンスに有益であるが、それぞれの変化は、熱馴化の過程の異なる時点で起こる。血漿量の増大は3日目から始まり6日まで続き、その間、組織間液と血漿量は3～27％増大する(4,6,40)。この順応により1回拍出量が増え、心拍数が15～25％低下し、この両方の順応により、心臓血管系へのストレスが軽減され心臓血管系の効率性が高まる(40)。これらの変化の累積的効果は皮膚への血流を促進して放熱を増やし、深部体温を低く保つことに役立つ。運動中の深部体温上昇の緩和と休息中の深部体温の約0.5℃の低下は、熱馴化の5日目までに起こる(40,77)。

熱馴化の後には、改善された血管反応と汗腺順応により、発汗率と発汗感受性が高まる(40,77)。これらの順応は暑熱湿潤状態でも暑熱乾燥状態でも、どちらでも起こる(6,45)。アスリートは運動中に、より早く、またより多く発汗するようになり、それが蒸発による放熱を促進しUHSの危険性を低下させる。

熱馴化によるホルモンの変化は、ナトリウムと水のバランスにも変化を生じさせる。熱馴化の過程で、バソプレシンの生体学的利用率が増加し、尿による水分損失を減少させ体液を節約する。さらに、運動中のアルドステロン濃度の上昇が発汗によるナトリウムの減少を最小限に抑える(35)。汗と尿とのナトリウム濃度が維持されることにより、血漿と間質液量は最適状態に保持される(6)。これらのホルモン応答の組み合わせは血漿量を増大させ、心臓血管系と温度調節の効率を高める。

熱馴化により無酸素性代謝も促進される。所定のパワー発揮における血中および筋の乳酸塩の減少が観察され、これによりアスリートはより高い絶対運動量を維持でき、相対的な強度が軽

減され、タイムトライアルのパフォーマンスが改善される(40)。これは血漿量の増加と上昇した心室コンプライアンスにより、最大心拍出量が増加したためと仮定される。乳酸の減少はおそらくグリコーゲン分解の減少と、血漿量と筋への血流増加に伴う乳酸除去の促進によるものと思われる(40,77)。総合的に、熱馴化によるこれらの有益な変化は、暑熱環境における運動中のパフォーマンスを増大させ、筋疲労を遅らせることができる。

もし暑熱環境での運動刺激が維持されないと、馴化による利益は6日目までに減少し始める(10)。心拍数の低下や血漿量の増大などの心臓血管系の適応はまず最初に減衰する(6)。一層の熱馴化が起これば適応は再び回復するが、再度の熱馴化の過程が始まるまでには、暑熱環境でさらに10～14日間の運動が必要である。

現場への応用／成功へのステップ

熱馴化が起こるまでには最大で2～3ヵ月かかる場合があり、暑熱への適応には、少なくとも10～14日間は熱馴化プロトコルを実施する必要がある(10)。この過程は、暑熱の屋外環境または温度を高めた室内／ジムで行なうことができる。

- 熱馴化プログラムの実施中はアスリートの熱中症を回避するために、深部温度(直腸)と水分摂取状態を測定し、安全な範囲内(≤39℃)で行なうことを保証しなければならない(6)。
- 各アスリートは、温度を上げた部屋の中で深部体温がベースラインより1～2℃上がるだけの十分な強度(50％$\dot{V}O_2max$の負荷)で運動を行なう(6,50)。
- シャトルラン、アジリティドリル、ショートスプリントなど、競技特異的なドリルを組み合わせることは、暑熱に対する有酸素性、無酸素性のスポーツチームの熱馴化を行なう効果的な方法である。これらの活動を高強度(約75％$\dot{V}O_2max$)で行なう30～45分のセッションを4回、10～14日間にわたり暑熱環境で行なえば、十分な向上が見込まれる(29,65)。
- アメリカンフットボール、ラクロス、フィールドホッケーのゴールキーパーなど、防具を必要とするスポーツでは、暑熱環境での練習では、最初の5日間は防具を着用せずに行ない、その後の練習で順次防具を加える必要がある。これらのアスリートやまだ暑熱に順応していないアスリート、あるいは有酸素性体力の不十分なアスリートに対して熱馴化を導入する際には、最初の5日間は練習を1セッションだけ行ない、その後、1セッション行なう日と2セッション行なう日を交互に計画する(15)。

衣類と防具

科学とエビデンス

アメリカンフットボール、ラクロス、フィールドホッケー（ゴールキーパーのみ）などでは、アスリートは、ユニフォームに加えて身体の最大70％をカバーする防具を着用しなければならない(5)。試合に参加中は、身体と防具との間の微小空間に熱が滞留し、皮膚への空気の流れが滞り、蒸発、対流、放熱などによる熱放散が減少する(51,52)。さらに、防具の重さが運動中の代謝速度を速めるため、産生される熱量も一層増加する(9,17)。UHSでは放散による熱損失より多くの熱利得が起こる。一旦これが起こると、運動を止めるか運動強度を低下させるまで深部体温は上昇し続ける(17)。

研究によると、タクティカルアスリートや競技アスリートが身に着ける断熱服は、心臓血管系および熱ストレスをもたらしパフォーマンスを低下させることが示唆されている。兵士や救急救命士が、断熱性の防護服を着ているときは、軽装の場合に比べ、運動中の心拍数と直腸温の上昇が起こる(13,47)。暑熱環境においてアメリカンフットボール選手が完全装備のユニフォームを着用していると、部分的にまたは全く防護パッドを付けていないときに比べ運動中の直腸温、心拍数、主観的運動強度が上昇する(5,32)。これらの生理学的変化が組み合わさって、疲労困憊までの時間によって示される疲労度を増大させることが知られている(5,32)。

UHSを軽減するためには、運動中の身体からの熱損失を最大にする着衣が大きな役割を果たす(42)。薄くゆったりした綿の衣類は、発汗率を高め皮膚への空気の流れを増大させることにより、蒸発と対流による放熱を増大させる(26)。合成繊維で作られた高密度で吸湿発散性に優れた生地は、熱を貯めるウールや綿の素材に比べ、衣類内への蓄熱を防ぐ(66)。このような生地は皮膚温度を低下させ、暑さに対する快適性を改善できる(68)。さらに、明るい色の衣類を着ることは、半裸体もしくは暗い色の衣服を着る場合よりも、運動中のアスリートの放熱負荷を軽減することが知られている(26,46)。総合的に、この種類の衣服を着用することは体温の上昇を抑制し、運動強度の維持や疲労の軽減に役立つ。

現場への応用／成功へのステップ

衣服と防具は、暑熱環境で運動する

アスリートのパフォーマンスを低下させる可能性がある。したがって、着衣によって起こる熱利得を改善するために必要な対策をとらねばならない。

- 特に高温多湿の環境では、ゆったりとした明るい色の綿の衣服を着ることが運動中の気流を増し、蓄熱量を減らすことに役立つ(51)。さらに、高密度の吸湿発散素材の衣服を着用することで放熱を改善できる。
- 運動中はできるだけ最小限の衣服を着用する。指導や指示を受けるときや水分補給のための休憩時間にはヘルメットは脱ぐ。
- 試合シーズンの開始までに適切な熱馴化プロトコルを行なうことは、防具を身に着けている際の生理的ストレスの軽減を助け、フル装備の高強度の実戦に至るまでの安全な移行を可能にする(26)。

栄養とサプリメント

科学とエビデンス

健康に役立つ食物あるいはサプリメントやエルゴジェニックエイドの利用は、運動競技の世界では日常的に行なわれている。パフォーマンスの促進に的を絞った新たな物質や方法が明らかになっているが、その中のいくつかは、特に暑熱環境でのパフォーマンスに有益である。従来、健康に役立つ食品、そしてサプリメントは、血漿量を保ち体液中の電解質を補う効果がある。多くのサプリメントが暑熱環境における競技パフォーマンスを増強するといわれてはいるが、運動中のアスリートに利益を提供する製品は少ない。

暑熱状況における運動は、同じ強度の運動を涼しい環境で行なう場合に比べ、炭水化物の利用とグリコーゲンの分解が増加する(12)。このような代謝燃料の優先性の変化は、身体に貯えられた糖質を枯渇させ、長時間の持久系競技に参加するアスリートのパフォーマンスを低下させる。

このような糖質貯蔵の枯渇に対して効果があり、運動中の水分補給を維持するために最も人気のあるサプリメントは、糖質-電解質ドリンクである。標準的な糖質-電解質ドリンクの濃度では、発汗により失われた電解質を完全に補うことは不可能であるが、発汗で失われた電解質がある程度は補充される。添加された糖質を運動前および運動中に摂取することは、単なる水だけを摂取する場合に比べ、自転車を漕ぐペースと疲労までの時間を改善させる(14,20)。

ベタインは、オスモライト(浸透圧調節物質)として働き、細胞内容積を保ち、細胞機能を維持することにより、脱水症状のマイナス作用を軽減すると示唆されている(19)。そのメカニズムを解明する研究は不足しているが、暑熱環境での疲労研究では、ベタインにより疲労困憊までのスプリントタイムは向上しなかったことが示された。しかもベタインの補給は血中の乳酸濃度を高め、酸素摂取量をわずかに増加させた(3)。ベタインの補給が暑熱環境での筋力と無酸素性パワーに関するいくつか選択的なテスト結果を改善することを明らかにした研究もあるが(54)、ベタインの暑熱環境におけるエルゴジェニックエイドとしての効果を裏付けるためには、さらにエビデンスが必要である。

現場への応用／成功へのステップ

運動前、運動中および運動後にある特定の栄養やサプリメントを摂取することにより、パフォーマンスを促進できる可能性がある。サプリメントの使用を検討する場合は、運動の種類や持続時間、強度などを考慮して決定する。

- 電解質-サプリメント飲料と食物は、75分以上続く持久系競技やトレーニング中に、発汗により失われる水分や電解質を補うために有益であると思われる。
- これらのサプリメントの推奨濃度はアスリートが運動中に失う水分や電解質の量により異なるが、その量は、実験室で全身発汗量測定法(whole body sweat wash-down technique)によって測定できる(31)。

睡眠

科学とエビデンス

競技パフォーマンスを最大限に高める睡眠行動には、多くの因子がかかわっている。断眠不足は温度調節、気分、疲労および注意力などに影響を及ぼす(38,44)。暑熱環境での睡眠不足の影響は、変則的な遠征スケジュールのアスリートや変則的な勤務のタクティカルアスリート(兵士、消防士、警官など)にとって特に重要である。睡眠不足によって生じる生理的変化は証明されてはいるが、睡眠が温暖環境でのパフォーマンスに及ぼす影響だけを個別に取り上げた研究は少ない。

睡眠を奪われたアスリートは温暖環境における運動中に熱損失のメカニズムが変わる。休養をとった人と33時間継続して眠らなかった人との間で深部体温に違いはないが、睡眠不足後の発汗率は27％低下した(58)。同様に、睡眠不足の後は、胸部と大腿部の発汗感応性が低下する(22,58)。これはおそらく運動中の末梢血管の拡張が抑制されるためであると思われる(36)。総合的に、このような発汗感応性の低下により、深部体温の同程度の変化に対する発汗量が減少する。発汗の変化のメカニズムはまだ明らかになっていな

いが、これらの結果は、長時間覚醒状態が続くと蒸発による放熱が減少し、大きな吸熱効果をもたらす可能性がある。

減少した発汗感応性の低下による放熱の低下は、運動中の熱利益の増大をもたらす。安静時体温からのわずかな体温の上昇はパフォーマンスを向上させるが(63,75)、適切な放熱が行なわれないまま体温上昇が続けばUHSをもたらす可能性がある(17)。睡眠不足との直接的な関係が研究されたわけではないが、不十分な放熱は有酸素性パフォーマンスを低下させると思われる。

現場への応用／成功へのステップ

睡眠をコントロールすることによって、パフォーマンスを最大限に高める最も効果的な方法は、睡眠の量と質を確保することであり、これは単にアスリートの睡眠衛生を変えるだけで達成できる。

- 飛行機による移動の前後および飛行中の対策を採用することによって、時差ぼけや旅行による疲労を回避できると思われる(57)。
  - ・旅行前に十分な睡眠をとり、東へ旅行するときは夕方以降の便を選択する。
  - ・搭乗時に時計の時刻を目的地の時刻に合わせ、機内での睡眠と食事を目的地の時間に合わせる必要がある。
  - ・到着後の時間帯に順応するために、適切であれば、仮眠とカフェインの摂取が推奨される。
- 各タイムゾーンを横切るごとに、「原則」として、睡眠回復のために予備日を1日計画する必要がある。例えば、試合のためにアスリートが4つのタイムゾーンを横断して飛行する場合は、アスリートが完全に休養を取ったと感じるようになるまでに4日間必要である(28)。
- 通常の睡眠習慣を維持しながら、外部刺激とカフェインの摂取量を調節する(38)。

科学技術

科学とエビデンス

練習と試合でパフォーマンスを最大限に促進するために、運動負荷や強度、心臓血管系の変数を定量化するための測定技術の利用が一般的となっている。近年科学技術が進歩するまでは、管理された実験室環境を除き、生理的変化をモニタリングすることは難しかった。しかし現在では、温度遠隔測定法、GPS(global positioning systems)付の心拍数モニタリング装置、加速度計、湿球黒球温度計(WBGT：wet bulb globe temperature)など、パフォーマンスを強化するために有用な各種の装置が使用されている。

適度に上昇した深部体温はパフォーマンスを向上させることが知られているが、これに対して、過度に、または持続的に高い体温はパフォーマンスを抑制することが知られている(48)。パフォーマンスと結びつくペース配分も、運動前の深部体温と関係がある(56)。望ましい深部体温を維持することは、消化管を通過しながら温度変化を無線で受信者に送信する「経口サーミスタ(ingestible thermistor)」のような製品によって可能である。運動中に、体温が過度に高くなったことが分かれば、トレーニング強度を変化させたり休息を取ったりするのに役立つ。例えば、持久系アスリートの体温が過度に上昇したときに運動強度を低下させれば、代謝熱の産生を減少させ、放熱メカニズムによる熱の発散を可能にし、重大な限界体温に達することを予防できる(48)。また、より低い深部体温は筋疲労の減少をもたらす(25)。

深部体温は他の因子の中でもとりわけ運動強度に直接関係があり(59)、運動強度は、一部の腕時計に備わっている心拍数システムで測定できる。暑熱環境での運動中における心拍数の変化は、心臓(73)と水分摂取状態(43)の変化により急激に起こることが多い。強度の基準として心拍数のモニタリングは、コーチとアスリートに特定のワークアウトに対する反応に基づいて運動強度を調節するための情報を提供し、オーバートレーニングを防ぎ、それによりパフォーマンスを最大化できる(11,71)。

また、GPSも運動強度を測定して、時計や自転車のコンピュータを通してパフォーマンスを定量化するために使われる(8,74)。これらの装置で強度、ペース、運動負荷を測定することは、トレーニングに大きな利益をもたらす(8,74)。暑熱環境条件では水分補給状態の変化によってペースを維持する能力が衰えるため(64)、GPS技術を導入することによりランニング速度を調節できる。この技術は、トレーニング負荷を調整するためにも導入でき、アスリートのトレーニング目標の達成に大きく寄与する。ある技術を応用すれば、GPSモニターは心拍数モニターと併用でき、コーチングスタッフは競技場のサイドラインからリアルタイムでデータを把握できる。これにより、練習中の調節が可能となり、各アスリートのためにそれぞれ予め決定された限度内での運動を保証できる。

WBGTモニターを使って環境条件をモニタリングすることは、暑熱環境におけるパフォーマンスとトレーニ

©National Strength and Conditioning Association Japan

ングにとって有益である。Ozgunenら(49)は、サッカー選手は暑熱環境と通常の環境条件とで比較すると、暑熱環境での試合中は、より長時間歩いているがその距離は短いことに気付いた。心拍数もより大きな熱ストレスの下では低くなり、運動強度が低下することが示された。一日を通じての環境条件をモニタリングすれば、アスリートが、熱ストレスのために強度を低下させることなく試合や練習を行なえる、実践に最適な時間帯を決定するのに役立つだろう。全米アスレティックトレーナー協会(NATA)とアメリカスポーツ医学会(ACSM)は、WBGTが24℃を超えたら練習や試合を調節するためのガイドラインを示している(2,10)。

現場への応用／成功へのステップ

運動強度と深部体温を追跡するために環境モニタリング、GPSシステム、および心拍数のモニタリングを取り入れることは、アスリートの適正なトレーニングに役立つだけでなく、オーバートレーニングの有害な影響を避けるためにも有益である。

- 水分摂取による測定誤差を最小限にするために、活動の8～10時間前に温度ピルを飲む(70)。
- 水分摂取の注意信号と心拍数範囲、およびペーシング警報をGPS付の腕時計に設定し、持久系アスリートに、運動に対する心臓血管系の反応を知らせる。
- 運動前、運動中および運動後に、WBGT指数を読み取り、1日の中で、パフォーマンスを低下させずに高強度で運動できる最適な時間を決定する(74)。

まとめ

暑熱の環境下で運動することはアスリートの心臓血管系と温度調節系に一層大きなストレスをもたらす。本稿で提示したテクニックを用いることにより、パフォーマンスを改善し安全性を高めることのできる様々な方法がある。中でも、運動中に水分摂取レベルを維持すること、熱馴化プロトコルを通じてトレーニングを漸進させることは、最適なパフォーマンスを保証し、熱中症を予防するふたつの最も優れた方法といえる。◆

References

1. Anderson M, Cotter J, Garnham A, Casley D, and Febbraio M. Effect of glycerol-induced hyperhydration on thermoregulation and metabolism during exercise in heat. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 11: 315–333, 2001.
2. Armstrong L, Casa D, Millard-Stafford M, Moran D, Pyne S, and Roberts W. American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Med Sci Sports Exerc* 39: 556–572, 2007.
3. Armstrong LE, Casa DJ, Roti MW, Lee EC, Craig SA, Sutherland JW, Fiala KA, and Maresh CM. Influence of betaine consumption on strenuous running and sprinting in a hot environment. *J Strength Cond Res* 22: 851–860, 2008.
4. Armstrong LE and Dziados JE. *Sports Physical Therapy*. New York, NY: Churchill Livingstone, 1986.
5. Armstrong LE, Johnson EC, Casa DJ, Ganio MS, McDermott BP, Yamamoto LM, Lopez RM, and Emmanuel H. The American football uniform: Uncompensable heat stress and hyperthermic exhaustion. *J Athl Train* 45: 117–127, 2010.
6. Armstrong LE and Maresh CM. The induction and decay of heat acclimatisation in trained athletes. *Sports Med* 12: 302–312, 1991.
7. Arngrĩmsson SÁ, Petitt DS, Stueck MG, Jorgensen DK, and Cureton KJ. Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat. *J Appl Physiol (1985)* 96: 1867–1874, 2004.
8. Aughey RJ. Applications of GPS technologies to field sports. *Int J Sports Physiol Perform* 6: 295–310, 2011.
9. Bergeron MF, McKeag DB, Casa DJ, Clarkson PM, Dick RW, Eichner ER, Horswill CA, Luke AC, Mueller F, and Munce TA. Youth football: Heat stress and injury risk. *Med Sci Sports Exerc* 37: 1421–1430, 2005.
10. Binkley HM, Beckett J, Casa DJ, Kleiner DM, and Plummer PE. National Athletic Trainers' Association position statement: Exertional heat illnesses. *J Athl Train* 37: 329–343, 2002.
11. Bosquet L, Merkari S, Arvisais D, and Aubert AE. Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *Br J Sports Med* 42: 709–714, 2008.
12. Burke LM. Nutritional needs for exercise in the heat. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 1: 735–748, 2001.
13. Caldwell JN, Engelen L, van der Henst C, Patterson MJ, and Taylor NA. The interaction of body armor, low-intensity exercise, and hot-humid conditions on physiological strain and cognitive function. *Mil Med* 176: 488–493, 2011.
14. Carter J, Jeukendrup AE, Mundel T, and Jones DA. Carbohydrate supplementation improves moderate and high-intensity exercise in the heat. *Pflugers Arch* 446: 211–219, 2003.
15. Casa DJ and Csillan D. Preseason heat-acclimatization guidelines for secondary school athletics. *J Athl Train* 44: 332–333, 2009.
16. Casa DJ, Stearns RL, Lopez RM, Ganio MS, McDermott BP, Yeargin SW, Yamamoto LM, Mazerolle SM, Roti MW, and Armstrong LE. Influence of hydration on physiological function and performance during trail running in the heat. *J Athl Train* 45: 147–156, 2010.
17. Cheung SS, McLellan TM, and Tenaglia S. The thermophysiology of uncompensable heat stress: Physiological manipulations and individual characteristics. *Sports Med* 29: 329–359, 2000.
18. Coyle E and Gonzalez-Alonso J. Cardiovascular drift during prolonged exercise: New perspectives. *Exerc Sport Sci Rev* 29: 88–92, 2001.
19. Craig SA. Betaine in human nutrition. *Am J Clin Nutr* 80: 539–549, 2004.
20. Davis J, Lamb D, Pate R, Slentz C, Burgess W, and Bartoli W. Carbohydrate-electrolyte drinks: Effects on endurance cycling in the heat. *Am J Clin Nutr* 48: 1023–1030, 1988.
21. DeMartini JK, Ranalli GF, Casa DJ, Lopez RM, Ganio MS, Stearns RL, McDermott BP, Armstrong LE, and Maresh CM. Comparison of body cooling methods on physiological and perceptual measures of mildly hyperthermic athletes. *J Strength Cond Res* 25: 2065–2074, 2011.
22. Dewasmes G, Bothorel B, Hoeft A, and Candas V. Regulation of local sweating in sleep-deprived exercising humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 66: 542–546, 1993.
23. Godek SF, Bartolozzi A, and Godek J. Sweat rate and fluid turnover in American football players compared with runners in a hot and humid environment. *Br J Sports Med* 39: 205–211, 2005.
24. González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, and Coyle EF. Stroke volume during exercise: Interaction of environment and hydration. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 278: H321–H330, 2000.
25. González-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, and Nielsen B. Influence of body temperature on the development of

fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol (1985)* 86: 1032–1039, 1999.
26. Gonzalez R. *Biophysics of Heat Transfer and Clothing Considerations*. Indianapolis, IN: Benchmark Press, 1988.
27. Goulet E, Aubertin-Leheudre M, Plante GE, and Dionne IJ. A meta-analysis of the effects of glycerol-induced hyperhydration on fluid retention and endurance performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 17: 391–410, 2007.
28. Haimov I and Arendt J. The prevention and treatment of jet lag. *Sleep Med Rev* 3: 229–240, 1999.
29. Houmard JA, Costill DL, Davis JA, Mitchell JB, Pascoe DD, and Robergs RA. The influence of exercise intensity on heat acclimation in trained subjects. *Med Sci Sports Exerc* 22: 615–620, 1990.
30. Huggins RA, Martschinske JL, Applegate K, Armstrong LE, and Casa DJ. Influence of dehydration on internal body temperature changes during exercise in the heat: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 44(5S): 524, 2012.
31. Jeukendrup AE. Nutrition for endurance sports: Marathon, triathlon, and road cycling. *J Sports Sci* 29: 91–99, 2011.
32. Johnson EC, Ganio MS, Lee EC, Lopez RM, McDermott BP, Casa DJ, Maresh CM, and Armstrong LE. Perceptual responses while wearing an American football uniform in the heat. *J Athl Train* 45: 107–116, 2010.
33. Judelson DA, Maresh CM, Anderson JM, Armstrong LE, Casa DJ, Kraemer WJ, and Volek JS. Hydration and muscular performance: Does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? *Sports Med* 37: 907–921, 2007.
34. Kavouras SA, Armstrong LE, Maresh CM, Casa DJ, Herrera-Soto JA, Scheett TP, Stoppani J, Mack GW, and Kraemer WJ. Rehydration with glycerol: Endocrine, cardiovascular, and thermoregulatory responses during exercise in the heat. *J Appl Physiol (1985)* 100: 442–450, 2006.
35. Kirby CR and Convertino V. Plasma aldosterone and sweat sodium concentrations after exercise and heat acclimation. *J Appl Physiol (1985)* 61: 967–970, 1986.
36. Kolka MA and Stephenson L. Exercise thermoregulation after prolonged wakefulness. *J Appl Physiol (1985)* 64: 1575–1579, 1988.
37. Latzka WA, Sawka MN, Montain SJ, Skrinar GS, Fielding RA, Matott RP, and Pandolf KB. Hyperhydration: Tolerance and cardiovascular effects during uncompensable exercise-heat stress. *J Appl Physiol (1985)* 84: 1858–1864, 1998.
38. Leger D, Metlaine A, and Choudat D. Insomnia and sleep disruption: Relevance for athletic performance. *Clin Sports Med* 24: 269–285, 2005.
39. Lopez RM, Casa DJ, Jensen KA, DeMartini JK, Pagnotta KD, Ruiz RC, Roti MW, Stearns RL, Armstrong LE, and Maresh CM. Examining the influence of hydration status on physiological responses and running speed during trail running in the heat with controlled exercise intensity. *J Strength Cond Res* 25: 2944–2954, 2011.
40. Lorenzo S, Halliwill JR, Sawka MN, and Minson CT. Heat acclimation improves exercise performance. *J Appl Physiol (1985)* 109: 1140–1147, 2010.
41. Marino FE. The critical limiting temperature and selective brain cooling: Neuroprotection during exercise? *Int J Hyperthermia* 27: 582–590, 2011.
42. Markee NL, Hatch KL, French SN, Maibach HI, and Wester R. Effect of exercise garment fabric and environment on cutaneous conditions of human subjects. *Cloth & Textiles Res J* 9: 47–54, 1991.
43. Montain SJ and Coyle EF. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol (1985)* 73: 1340–1350, 1992.
44. Mougin F, Simon-Rigaud M, Davenne D, Renaud A, Garnier A, Kantelip J, and Magnin P. Effects of sleep disturbances on subsequent physical performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 63: 77–82, 1991.
45. Nielsen B, Hales J, Strange S, Christensen NJ, Warberg J, and Saltin B. Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *J Physiol* 460: 467–485, 1993.
46. Nielsen R and Endrusick TL. Thermoregulatory responses to intermittent exercise are influenced by knit structure of underwear. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 60: 15–25, 1990.
47. Northington WE, Suyama J, Goss FL, Randall C, Gallagher M, and Hostler D. Physiological responses during graded treadmill exercise in chemical-resistant personal protective equipment. *Prehosp Emerg Care* 11: 394–398, 2007.
48. Nybo L. Hyperthermia and fatigue. *J Appl Physiol (1985)* 104: 871–878, 2008.
49. Özgünen K, Kurdak S, Maughan R, Zeren C, Korkmaz S, Yazici Z, Ersöz G, Shirreffs S, Binnet M, and Dvorak J. Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football players. *Scand J Med Sci Sports* 20: 140–147, 2010.
50. Pandolf K, Burse R, and Goldman R. Role of physical fitness in heat acclimatisation, decay and reinduction. *Ergonomics* 20: 399–408, 1977.
51. Pascoe D, Bellingar T, and McCluskey B. Clothing and exercise. II. Influence of clothing during exercise/work in environmental extremes. *Sports Med* 18: 94–108, 1994.
52. Pascoe D, Shanley L, and Smith E. Clothing and exercise. I: Biophysics of heat transfer between the individual, clothing and environment. *Sports Med* 18: 38–54, 1994.
53. Proulx CI, Ducharme MB, and Kenny GP. Effect of water temperature on cooling efficiency during hyperthermia in humans. *J Appl Physiol (1985)* 94: 1317–1323, 2003.
54. Pryor JL, Craig SA, and Swensen T. Effect of betaine supplementation on cycling sprint performance. *J Int Soc Sports Nutr* 9: 12, 2012.
55. Ranalli GF, DeMartini JK, Casa DJ, McDermott BP, Armstrong LE, and Maresh CM. Effect of body cooling on subsequent aerobic and anaerobic exercise performance: A systematic review. *J Strength Cond Res* 24: 3488–3496, 2010.
56. Reilly T and Garrett R. Effects of time of day on self-paced performances of prolonged exercise. *J Sports Med Phys Fitness* 35: 99–102, 1995.
57. Samuels CH. Jet lag and travel fatigue: A comprehensive management plan for sport medicine physicians and high-performance support teams. *Clin J Sport Med* 22: 268–273, 2012.
58. Sawka MN, Gonzalez RR, and Pandolf KB. Effects of sleep deprivation on thermoregulation during exercise. *Am J Physiol* 246: R72–R77, 1984.
59. Sawka MN, Leon LR, Montain SJ, and Sonna LA. Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. *Compr Physiol* 1883–1928, 2011.
60. Sawka MN, Young AJ, Francesconi R, Muza S, and Pandolf KB. Thermoregulatory and blood responses during exercise at graded hypohydration levels. *J Appl Physiol (1985)* 59: 1394–1401, 1985.
61. Siegel R, Maté J, Brearley MB, Watson G, Nosaka K, and Laursen PB. Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 42: 717–725, 2010.
62. Siegel R, Maté J, Watson G, Nosaka K, and Laursen PB. Pre-cooling with ice slurry ingestion leads to similar run times to exhaustion in the heat as cold water immersion. *J Sports Sci* 30: 155–165, 2012.
63. Smith RS, Guilleminault C, and Efron B. Sports, sleep, and Circadian rhythms Orcadian rhythms and enhanced athletic performance in the National football league. *Sleep* 20: 362–365, 1997.
64. Stearns RL, Casa DJ, Lopez RM, McDermott BP, Ganio MS, Decher NR, Scruggs IC, West AE, Armstrong LE, and Maresh CM. Influence of hydration status on pacing during trail running in the heat. *J Strength Cond Res* 23: 2533–2541, 2009.
65. Sunderland C, Morris JG, and Nevill M. A heat acclimation protocol for team sports. *Br J Sports Med* 42: 327–333, 2008.
66. Tortora P. *Understanding Textiles*. New York, NY: Macmillan Publishing Co., 1992.
67. Tucker R and Noakes TD. The physiological regulation of pacing strategy during exercise: A critical review. *Br J Sports Med* 43: e1, 2009.
68. Wickwire J, Bishop PA, Green JM, Richardson MT, Lomax RG, Casaru C, Curther-Smith M, and Doss B. Physiological and comfort effects of commercial "wicking" clothing under a bulletproof vest. *Int J Ind Ergon* 37: 643–651, 2007.
69. Wilcock IM, Cronin JB, and Hing WA.

Physiological response to water immersion: A method for sport recovery? *Sports Med* 36: 747–765, 2006.
70. Wilkinson DM, Carter JM, Richmond VL, Blacker SD, Rayson MP. The effect of cool water ingestion on gastrointestinal pill temperature. Med Sci Sports Exerc 40: 523–528, 2008.
71. Willis L. Examination of preseason hydration strategy of NCAA Division I Men's soccer athletes [master's thesis]. Storrs, CT: University of Connecticut; 2012.
72. Wingo JE, Casa DJ, Berger EM, Dellis WO, Knight JC, and McClung JM. Influence of a pre-exercise glycerol hydration beverage on performance and physiologic function during mountain-bike races in the heat. *J Athl Train* 39: 169–175, 2004.
73. Wingo JE, Ganio MS, and Cureton KJ. Cardiovascular drift during heat stress: Implications for exercise prescription. *Exerc Sport Sci Rev* 40: 88–94, 2012.
74. Wisbey B, Montgomery PG, Pyne DB, and Rattray B. Quantifying movement demands of AFL football using GPS tracking. J *Sci Med Sport* 13: 531–536, 2010.
75. Wright KP, Hull JT, and Czeisler CA. Relationship between alertness, performance, and body temperature in humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 283: R1370–R1377, 2002.
76. Yeargin SW, Casa DJ, McClung JM, Knight JC, Healey JC, Goss PJ, Harvard WR, and Hipp GR. Body cooling between two bouts of exercise in the heat enhances subsequent performance. *J Strength Cond Res* 20: 383–389, 2006.
77. Young AJ, Sawka MN, Levine L, Cadarette BS, and Pandolf KB. Skeletal muscle metabolism during exercise is influenced by heat acclimation. *J Appl Physiol (1985)* 59: 1929–1935, 1985.

From *Strength and Conditioning Journal*
Volume 35, Number 6, pages 24–33.

著者紹介

Riana Pryor：The University of Connecticut運動学部の博士号候補者。Korey Stringer Instituteのリサーチディレクター、公認アスレティックトレーナー（AT）。

Douglas Casa：The University of Connecticut運動学部アスレティックレーニングディレクターで教授。Korey Stringer Instituteの最高責任者、公認AT。

William Adams：The University of Connecticut運動学部博士課程に在籍。スポーツ安全推進イニシアティブのディレクター、公認AT。

Luke Belval：The University of Connecticut運動学部の学生でKorey Stringer Instituteのスペシャルプロジェクトディレクター。

Julie DeMartini：Westfield State University運動科学・スポーツ・レジャー研究学部教授。Korey Stringer Instituteのリサーチディレクターで設立評議員、公認AT。

Robert Huggins：The University of Connecticut運動学部博士課程に在籍。Korey Stringer Institute「上級アスリートの健康とパフォーマンス」のディレクター、公認AT。

Rebecca Stearns：Korey Stringer Instituteの副責任者、教育担当責任者。博士研究員、公認AT。

Lesley Vandermark：The University of Connecticut運動学部博士課程に在籍。Korey Stringer Instituteの研究アシスタントディレクター、公認AT。

Information

NSCAジャパンHPC　イベント情報

NSCAジャパンHuman Performance Centerでは、様々な内容のイベント（セミナーやクラス）を企画しています。

＜セミナー＞

セミナー名	日程	内容
HPCエッセンシャルセミナー（NSCA-CPT）	8/5（土）～8/6（日）13時間	＜パーソナルトレーナーのための実践的セミナー！＞ 書籍『NSCAパーソナルトレーナーのための基礎知識』の理解を深め、講義・実技を含めたパーソナルトレーナーとして身につけておくべき基礎知識・技術習得のための集中講座です。
HPCコーチングセミナー	6月中旬開始 全6回12時間 （予定）	＜現場で必要とされる指導者になるために！＞ NSCA資格取得等で得た、確かな知識・技術があっても現場で活かしきれていなければ仕事にはつながりません。現場で最大限知識・技術を活かすためのコーチング技術を学ぶ集中講座です。

＜クラス＞

クラス名	日程	内容
HPCセミパーソナルクラス	毎週火曜・木曜 10：30～12：00	＜エクササイズテクニックを習得する！＞ HPC S&Cコーチによるグループレッスンです。各回ごとに扱うエクササイズが異なります。習得したい種目が行なわれている日を選んでレクチャーを受けることができます。

詳しい内容、最新の情報は、ウェブサイトをご覧ください。