

# 高温環境下でのスポ - ツに必要な知識

山崎 元，木下訓光，勝川史憲，大西祥平

## 1. はじめに

夏にみられるスポーツ事故のうち、内科的疾患として代表的なものに熱中症がある。“無知と無理”が引き起こす、死にもつながる疾患である。慶應義塾大学スポーツ医学研究センターにおいて、熱中症、なかでも最も重篤な熱射病によって意識障害を来したため緊急治療の対象となる学生・生徒が毎年夏4 - 5名いる。その数は当センター発足以来9年間減ることがない。また、当センター発足の前のことではあるが、塾の大学体育会の部員が熱射病で死亡し、その事故が新聞にとりあげられた。7月の試験が終わって北関東で合宿に入った日に芝の上をランニングし何人かが熱射病で倒れ、うち1年生の一人が死亡した。マスメディアの質問に対して筆者は、当日の高温と前日の雨による芝の上での高湿度しかも不馴れな1年生という悪条件が重なったためであると説明した。しかし、新聞では1年生がしごきによって死亡した疑いがあると勝手な判断をして、大きな記事にした。いまでも悲しい事故として筆者の胸に深く刻まれている。

一方、信濃町にある大学病院においては熱射病を診察する機会がめったにない。熱射病を診たことがない医師が多い。それは、環境の違い、つまり当センターがスポーツ医学の実践の施設であり体育会などの運動部の活動の拠点である日吉キャンパス内に位置することによる。当センターの任務である事故防止の教育を塾生に対して機会あるたびに行なっているつもりであるが、徹底できていないことは極めて残念である。

すべての人が持つべき認識は、熱射病は処置が

遅れば死に至るが、速やかな対処をすれば後遺症も残らず完全に直る疾患であり、生死を別ける時間は発症後おおよそ30分、放置したまま救急車に乗せて病院へ運んでから治療をしたのでは遅いということである。よって、スポーツにかかわる現場の者の知識と実行力が生死を別けることになる。極度に暑い日にマラソン大会を施行すると、参加者の半数近くが熱中症の治療を要する事態にもなるという報告もある。

本稿は、医療関係者のみならずアスリートならびにその指導者たちへの教育と啓蒙のために、熱中症に関する最近の知識を解説することを目的とした。まず、身体生理と体温調節に関してテキストブックの載っているような基礎的知識<sup>1,2)</sup>を述べ、つぎに臨床の場で必要な熱中症の対策について述べる。

## 2. 身体の水分布と出納バランス

ヒトの体重のおおよそ60%が水分である。身体組織によって水分の含有量が異なる。骨格筋は65-75%が水であり、脂肪組織では25%弱と水分が少ない。また、水分を細胞の内外の分布で表現すると、全水分の60%が細胞内にあり、細胞外には40%が存在する。細胞外の水分とは血漿、リンパ液、胃腸管内の消化液などである。たとえば、70kgの人では42kg(70 × 0.6)が水分であり、細胞内には26リットル(42 × 0.6)、細胞外液として16リットル(42 × 0.4)が存在する。循環血漿量は細胞外液の20%を占めることから3リットル強となる。発汗による脱水は細胞外液、とくに血漿量に直接影響を与える。

普通の生活をしていると、毎日おおよそ 2.5 リットルの水の出納がある。

概算としては、

INPUT の内訳は

水分そのもの	1200cc
食物に含まれている水分	1000
代謝によって産生される水分	350

OUTPUT としては

尿	1250
便	100
皮膚から	850
気道から	350

という概算値になる。

そのうち、代謝による水分の産生とは、炭水化物と脂肪がエネルギー源として使われ酸素とともに燃焼した時発生する水分である。すなわち、

炭水化物は、 $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$

脂肪は、 $C_{16}H_{32}O_2 + 23O_2 \rightarrow 16CO_2 + 16H_2O$

と反応してできた水である。100gの炭水化物が完全燃焼すると計算上 55gの水が産生され、同様に 100gの脂肪では 107gの水が生ずる。加えて、1gのグリコーゲン は 2.7gの水となる水素イオンを有していることから、グリコーゲン 1gがエネルギー源として消費されると 2.7gの水分が産生される。これらが代謝による水分産生である。

### 3. 運動時の体温上昇と水分バランス

身体活動、つまり骨格筋活動に伴って起こる熱産生は血流によって深部体温を上昇させる。深部体温が上昇すると、体温調節中枢からの指令で皮膚血流量が増加し、皮膚温が上昇する。その結果、放射 (radiation)・伝導 (conduction)・対流 (convection)などの機序によって熱は体外に放散される。さらに体表面に分布する汗腺から汗が分泌され、蒸発 (evaporation) による熱放散も起こる。つまり、放熱は皮膚温と外界温で規定される放射・伝導・対流、そして発汗によって促進されしかも湿度によっても効率が異なる蒸発により深部体温を調節する。低温環境では前 3 者が、30 度を越すような高温環境下では蒸発による熱放散が

主役をつとめ、発汗が特に重要な因子となる。

深部体温 = 身体発生熱 - 蒸発熱 - (放射熱 + 対流熱 + 伝導熱)

という式が成り立つ。

皮膚からの蒸発による水分は、激しい長時間の運動時では 1 時間に 1 リットル、1 日に 8-10 リットルの発汗もありうる。よって長時間の運動では水分補給が重要な課題になる。California Death Valley における 55miles ランで、2 日間に 13.6kg の発汗量があったにもかかわらず、水分補給を上手に行なって、体重減少をわずかに 1.4 kg の押さえたアスリートの報告例もある。気道からの水分の喪失も運動時に増加する。激しい運動時には 3.5 cc/min、1 時間に 210cc になる。

具体的に発汗量と熱の放散量の関係を説明すると、水 1g が蒸発すると気化熱として 0.585Kcal/g の熱を奪う。ヒトの身体の比熱を 0.83 とすると、体重 70kg のヒトでは 100g の発汗によって体温が 1 度低下する。1 リットルの発汗は 600kcal の熱エネルギーを逃がす働きがあることになる。この関係からも発汗がいかに体温調節に役立っているかがわかる。一方で、身体の熱発生のみを考えると、安静時の 15-20 倍の強度の運動を行なった際には、計算上では 5 分間に深部体温は 1 度上昇することになる。

また、一般に体重の 2% の水分喪失で循環血漿量の減少が起こるとされている。しかし、暑さに馴れる、つまり暑熱に馴化 (acclimatization) すると汗の塩分濃度が低下する。その結果、血漿浸透圧が上昇し、細胞内から細胞外へと水分移動が起こる。血漿量の減少を押さえる有利な反応である。運動に伴って体温は上昇するが、どの程度までが正常でどこから異常であるというはっきりした境界はない。身体のどの部位で測定したかによっても差が生ずる。一般には深部体温は直腸で測定する。鼓膜あるいは食道温も深部体温の測定に用いられることがあるが、運動直後では信頼性は乏しいと言われている<sup>3)</sup>。腋窩や口腔温は全く当てにならない。実際に同一例で腋窩と直腸の温度を同時に測定して、前者で 35.5 なのに後者が 42 度あった例も報告されている。

#### 4. 熱中症とは

英語の heat injury が、熱中症に該当する。熱疲労(heat exhaustion)と熱射病(heat stroke)はWHOの疾病分類でも用いられている用語であるが、その境界は明瞭ではない。

熱疲労とは、熱気の中で高温や脱水のために循環系が運動の継続に対応出来なくなった状態を意味し、疲労感・吐き気・軽い神経症状・多量の発汗・血圧低下と立ちくらみ、頻脈などの症状が出現した場合を言う。ただし、熱疲労という言葉は一過性であり継続的なものを意味しない。一方、熱射病の病態は、熱疲労の延長線上にあるとは限らない。熱射病は深部体温が異常に上昇し、多臓器の障害を起こすような重篤な状態を意味し、当然意識障害で倒れる。もう一つ、筋肉のけいれんや痛みを主症状とする熱けいれん(heat cramp)も熱中症に含まれる。多量の発汗を伴う仕事などを続け水分のみしか摂取しなかった場合に起こり、主たる因子はナトリウム欠乏によるものである。しかし、スポーツの現場で熱けいれんを起こすか否かは疑問視されている。スポーツ中には熱疲労を診る機会がもっとも多い。

意識障害の程度のような臨床所見と深部体温とが一致すると熱中症の分類あるいは治療方法などの対処が明快になるのであるが、実際にはばらつきがある。39で循環不全で倒れるものがある一方で、42の体温で何ら症状を呈さない者もいる。長距離レース後に意識不明に陥ったランナーの深部体温(直腸温)は42-43であったのに対して、意識が明瞭なランナーでも40.6以上の深部体温が記録されたとする報告もある。深部体温の上昇の程度だけが予後を規定するのではなくして、高い体温の持続時間や意識障害の時間の方が生命予後を左右するとも考えられている。

#### 5. 熱中症の発症因子—個体因子と環境因子—

熱中症の発症には、気温・湿度といった環境因子と不馴れ・疾病などの個体側の因子が関与する。

##### A. 環境因子—暑熱指標とは？

熱中症を発症しやすい環境を定量的に評価する試みがある。アメリカスポーツ医学会(ACSM)が長距離走時における環境を評価する見解を1987年に発表し<sup>4)</sup>、日本体育協会でもほぼ同じ内容で1994年に指針を出している<sup>5)</sup>。さらにACSMでは1996年暮に再確認の意味を含めて見解を明らかにしている<sup>6)</sup>。

それらによると、暑熱ストレスはの評価は外気温の測定だけでは不十分であり湿度を重視する必要があることから、暑熱指標として湿球黒球温 wet bulb globe temperature (WBGT)を提唱している。すなわち、

$$WBGT = 0.7 \times Twb + 0.2 \times Tg + 0.1 \times Tdb$$

という式で表す。Twbとは湿球温度(wet bulb temperature)を意味し、普通の乾球温度計を直接水には浸けず常に湿った布で覆った状態で直射日光下で測定したものである。Tgは黒球温度(black globe temperature)であり、乾球温度計を黒い金属球に入れ直射日光下で測定した温度である。Tdbは乾球温度(shaded dry bulb temperature)であり一般的な乾球温度計によって直射日光を避けた所で測定した温度である。式からもわかるように、湿度に70%の重み付けをした指標であり、温度が28でも湿度が100%ならば、温度35、湿度40%と同じ暑熱ストレスになる。WBGTが28を越すとリスクは極めて高い(very high risk)ために長距離走の大会などは中止すべきであることをACSMでは提起している。high riskとは23-28であり、熱中症が誰に起こってもおかしくない環境、moderate riskとは18-23、low riskとは18未満をいう。このWBGTを測定する機器はわが国でも一般に商品化市販されている。

##### B. 個体因子

シドニーのCity-to-Surf fun runは温度・湿度ともに恵まれた環境で行なわれるために、熱中症の発症には環境因子少なく個体因子が大きく関与する。そのような環境において熱中症を起こす予測因子としては、無理な速さで走ったり、発熱・肥

満・不馴れ・睡眠不足・アルコールの摂取など熱代謝を亢進させる因子や気道感染や下痢・嘔吐などの消化器症状やレース前やレース中の水分摂取が不十分の場合を挙げている<sup>7)</sup>。

近年、この City-to-Surf fun run において熱中症を起こした者たちにとって、発症の原因となりうる心理的因子や参加の動機などに関するアンケート調査結果が論文として発表された<sup>8)</sup>。熱中症を発症した 79 名と対照群 310 名を比較すると、レースへの意気込みが強かった者、慣れていなかった者、レース中の水分補給が充分でなかった者、そして過去にも熱中症を起こしたことがある者、が主たる危険因子であり、発症者の 52% が 2 つ以上の危険因子を、36% が 1 つの危険因子を持っていたという。熱中症にならなかった対象者では、それぞれ 17%、42% であったという。これらの成績は、ACSM が挙げた熱中症の危険因子とほぼ一致している。ACSM でも、肥満者・体力の劣る者・若者・高齢者・脱水を起こす者・暑熱に慣れていない者・熱中症の既往のある者・病気をしておして無理して出場する者、が熱中症に陥りやすいと注意を促している。

熱射病のような septic shock に似た重篤な病態に内因性毒素 (endotoxin) が関与しているとする考え方が最近出てきている<sup>2)</sup>。内因性毒素はグラム陰性細菌の細胞壁から抽出される lipopolysaccharide-protein 複合体 (LPS) であり、tumour necrosis factor (TNF) や interleukin-1 (IL-1a) の活性を高める。その結果、菌血症とともに発熱、ショック、組織破壊が起こるとする考え方である。運動が引き金となって起こったのではない、熱波によって起こる古典的な熱射病では、これらリットルPS, TNF, IL-1a の血中濃度が著しく高値を示すことが知られ、しかも体温を下げることによって血中濃度も下がることが知られている。運動によって起こった熱射病についてはまだ明らかにされていないが、考え方として面白い。それでは内因性毒素の由来はどのように考えられているのだろうか。図 2 に示すように腸管内には細菌が多いが、体温が上昇すると腸管粘膜の細菌に対する

関門 (barrier) 機能が低下して、門脈血へ細菌が流出する。肝臓でも同じように関門機能の低下がおけると敗血症となりショックに陥るとする仮定的な発想である。結果として、多臓器障害をもたらすことになる。あくまで仮説であるが、興味深い考え方である。

## 6. 熱中症の救急処置

競技アスリートではなくマラソン愛好者のみを対象とした前述のシドニー City-to-Surf fun run における 1977 年から 1979 年までの 3 年の調査では、熱中症に対するいくつかの処置の効果を比較している。熱中症で倒れ直腸温が 38 以上あった 56 名を対象としたものであり、それまで一般に用いられていた躯幹・四肢を ice-wet タオルで冷やす方法を、他の手段と比較したものである。つまり、1) 躯幹・四肢の ice-wet タオルのみによる冷却治療、2) ice-wet タオルに加えて点滴による治療、3) ice-cold パックによる大血管頸部・腋窩・兪径部を冷却してさらに点滴による治療、4) 点滴のみの治療、の 4 群に分けて検討している。直腸温が 38.0 まで下がるまでに要した時間で効果判定をしている。死亡者はなく全員回復したが、冷たい濡れタオルのみによる 1) 群で回復時間が最も遅く冷却効果に乏しかったという成績であった。結論として、点滴が有効でありそれに加えてアイスパックによる大血管表在部位の冷却を勧めている。しかしこの論文で注意を要することは、かなりの軽症例を多く対象としている点である。すなわち、深部体温が 42 を越す例は少なく、むしろ脱水が主体と思われる collapse であった点は注意を要する。それゆえに点滴が有効であったとも考えられるからである。また、retrospective な検討なので治療開始前の直腸温は 4 群間に差があり、3 群で平均 41.2 と最も高く、2 群 (40.9)、1 群 (40.2)、4 群 (39.6) の順であった。3 群に対して濃厚治療を行なっている理由がそこにあると思われる。

今日まで、身体を速やかに冷やすことが重要であることは誰でもわかっているが、その最も有効

な方法についての見解は一致していない。

空中にハンモックを吊るして患者を寝かし、生温い温度の水分をスプレーで全身に吹きかけ、扇風機で風を当てる方法を提唱している者がいる。サウジアラビアにおいてメッカの巡礼で多発する古典的な熱射病患者に効果があった方法といわれている<sup>9)</sup>が、緊急性という点で疑問があり、スポーツの現場での対応方法となると現実性に乏しい。一方、首から下の躯幹・四肢を氷水の入ったバスタブに浸す方法(immersion in an ice-cold bath)は、体温を下げるのに最も有効な手段であるという考えがある。しかし、冷たい水に浸すことで末梢の血管が収縮して熱が逆に逃げにくくなることから効果に疑問があるばかりでなく、点滴や心マッサージなどの蘇生の必要性が起こった際に対処しにくいことで問題視されている方法でもある。

点滴も脱水を前景とした軽症例ならば有効であり、上述のCity-to-Surf runの結果でも効果がみられているが、重症例の単独療法としてはとても充分とは言えない。高齢者では肺水腫を起こす危険もある。点滴のために時間がとられて、体温を下げる処置が遅れてしまうことは避けなければならない。

筆者らは熱射病患者には、床に寝かせて頸部・腋窩・鼠蹊部の大血管を氷を用いて徹底的に冷やし、同時に冷たいタオルを用いて全身、とくに下肢と躯幹をマッサージする方法を用いている。同時に扇風機を用いる(写真)。循環する血液を冷やし、閉じている末梢血管をマッサージすることによって開き、熱を逃がすことを緊急の目的とした手段である。患者の意識が回復して寒いと訴えるまでは続ける。点滴もしくは経口水分補給はその後である。寒いと訴えても再び意識がなくなることもあり、意識が戻ってもしばらくは注意深く観察する必要がある。熱疲労(heat exhaustion)の可能性が高くても熱射病(heat stroke)が否定できなければ積極的な治療をすべきであると考えている。やり過ぎを恐れるより不十分な対処が怖い。ヒトの身体は低温環境に対しては予備が大きく高

温に弱いからである。



熱射病治療の現場

## 7. 水分補給に必須の知識

水分補給の意義は循環血液量の維持と適切な発汗量の保持にある。飲んだ水分はよって単なる袋の働きをして水分吸収の働きがない胃から、十二指腸そして小腸へと速やかに移動することがのぞましい。小腸から吸収されて初めて水分を補給したことになる。糖分を多く含んだ飲料は胃からの排泄が悪く、糖分40%の飲料だと胃の通過時間は純水の1/4になってしまう。糖分含量と胃からの排泄速度は、糖分が多いと悪くなる。飲料の温度も胃からの排泄時間に関係する。よく言われるのは5位が望ましく、あまり高い温度のものは停滞時間が長くなることである。さらに加えて、冷たい水分はリフレッシュの意味も持つ。またごく僅かではあるが体温低下にも役立つかもしれない。

水分補給の量であるが、マラソンのような継続的かつ強度の高い運動では、運動の開始前、10-20分にあらかじめ水分補給400-600ccの水分を摂取しておくことには意義があり、さらに開始後には250ccを15分間隔で摂取1時間に1リットルの補給と欧米のテキストには書かれている。理論的に

は納得行くが,そのような量は,実際には日本人には多量すぎ,消化器が耐え得ることのできない量と思われる. その半量くらいが適当であろう. ACSMの見解では,長距離走では15分おきに150-300ccとしている. 電解質の補給は,1時間以上にわたり高い強度で運動を継続する際に,少量のナトリウム,カリウムなどを考えるのが一般的である.

おわりに

冒頭でも述べたように,熱中症,なかでも熱射病は暑熱下において“無知と無理”が引き起こす疾患である. 知識と勇気があれば未然に防止ができ,知識があれば治療もでき効果も期待できる. スポーツの指導者と選手にとって,知識を身に付けることは義務であるといっても過言ではない.

文献

1) McArdle WD, Katch FI, Katch VL (Eds): Essentials of Exercise Physiology. Philadelphia: Lea &Febiger ; 1994: pp172-177.

2) Harries M, Williams C, Stanish WD, Micheli (Eds): Oxford Textbook of Sports Medicine. New York, Oxford, Tokyo: Oxford Medical Publication; 1994: pp231-238.

3) Roberts WO: Assessing core temperature in collapsed athletes. Physician Sportsmed.1994; 22: 49-55.

4) American College of Sports Medicine. Position stand: The prevention of thermal injuries during distance running. Med Sci Sports Exerc 1987; 19: 529-533.

5) (財)日本体育協会: スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック. 1994.

6) ACSM Position Stand: Heat and cold illnesses during distance running. Med Sci Sports Exerc 1996; 28: i-x.

7) Richard D, Richard R, Schofield PJ, Ross V, Sutton JR: Management of heat exhaustion in Sydney's

The Sun City-to-Surf fun runners. Med J Aust 1979;2: 457-461.

8) Lyle DM, Lewis PR, Richard D, Richard R, Bauman AE, Sutton JR, Cameron ID : Heat exhaustion in Sun-Herald City to Surf fun run. Med J Aust 1994; 161: 361-365.

9) Khogali M: The Makka body cooling unit, in heat strokes and temperature regulation. Academic Press 1983; 139.