

体温調節のメカニズムと熱中症の予防

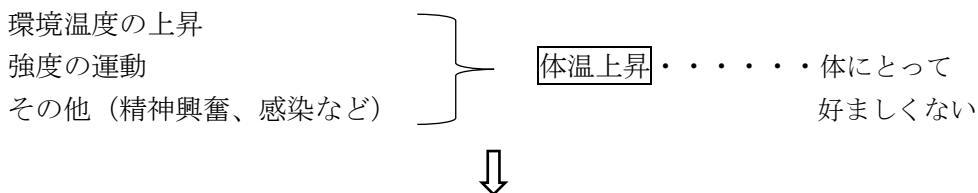
育成係 (2017/07/21)

【まとめ】

- 1) 生体は、みずからの生命活動（代謝）、運動による熱の生成と外界の温度変化（上昇）などにもかかわらず、体温を一定（36～37℃）に保つ機構を備えている。
- 2) 高温環境中にあるときや、運動強度が増したとき、体温が上昇するが、これに対してまず能動的に衣類調節・送風冷却などを行い、さらに**皮膚血管反応**によって体内の熱を体外に逃がし、最終的には**発汗**によって体温を下げる。
- 3) 汗はその蒸発（気化）によって膨大な熱エネルギー（熱量）を体内から持ち去る。
- 4) 発汗はその一方で、体内の水分と塩分の喪失（**脱水症**）を引き起こす。
- 5) 水分の補給（飲水）が十分でなかったときや、高湿度環境中に長時間いたとき、体温上昇が持続して、いわゆる「**うつ熱**」（熱が体内にこもる）状態を招く。この状態がさらに続くと**熱中症**を発症する。
- 6) 熱中症は軽い段階のものから順に、①**熱疲労**、②**熱けいれん**、③**熱中症（熱射病）**の3つに分類される。予防には、適正な**水分と塩分の補給**が必要である。
- 7) 熱中症に対しては、疲労感やだるさ、吐き気などの**初期症状**をよく察知して、早期に対処しなければならない。重症化したときは致命的となるおそれがある。
- 8) 熱中症症状がみられたときは、速やかに、風通しのよい、涼しい場所に寝かせ、衣服を緩めて風を送り、湿ったタオルで体を拭くなどの冷却処置を施すとともに、水分を補給する。意識障害がみられた場合は、直ちに救急車（へり）を依頼する。
- 9) 登山時の水分の補給には、**スポーツ飲料**（ポカリスエットなど）が適している。
- 10) 熱中症の予防には、運動の強度を下げるとともに、意識して、飲みたいと思う欲求以上の水分（脱水量分）を、数十分ごとに確実に補給することが大切である。
- 11) 高齢者は体内の水分比、発汗機能が低下しており、熱中症にかかりやすい。

1 体温調節

詳しくはホームページ「資料館」内の「2.山でのトラブル対処法—4) 熱中症—①体温調節のメカニズム」を参照してください。



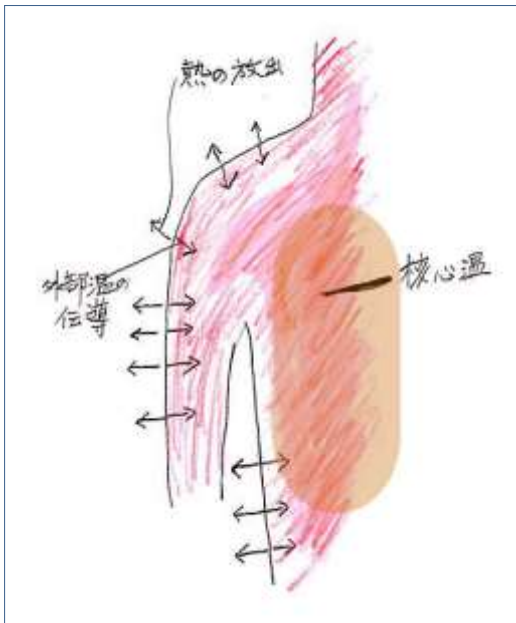
体温調節中枢（脳幹部の視床下部）から体温低下の指令



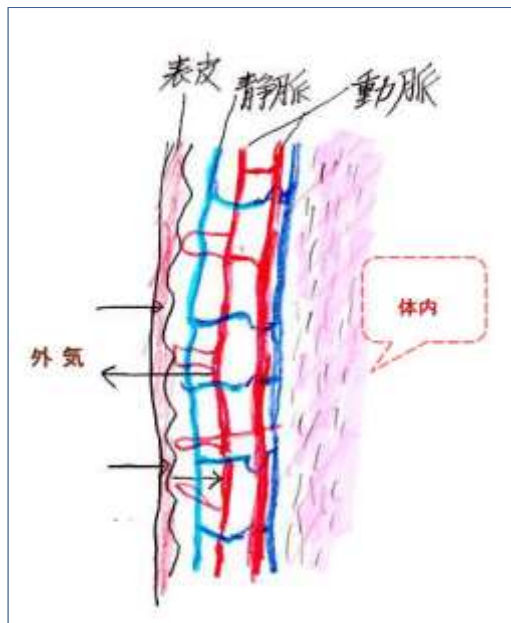
- 1) 意識的反応 (衣類の調節やうちわ、冷房装置の使用など)
- 2) 無意識的反応 (生理的反応で、自律神経調節)

- ①熱伝導や放射・対流 (▼図 1)
- ②皮膚血管反応 (▼図 2)
- ③発汗 (▼図 3)

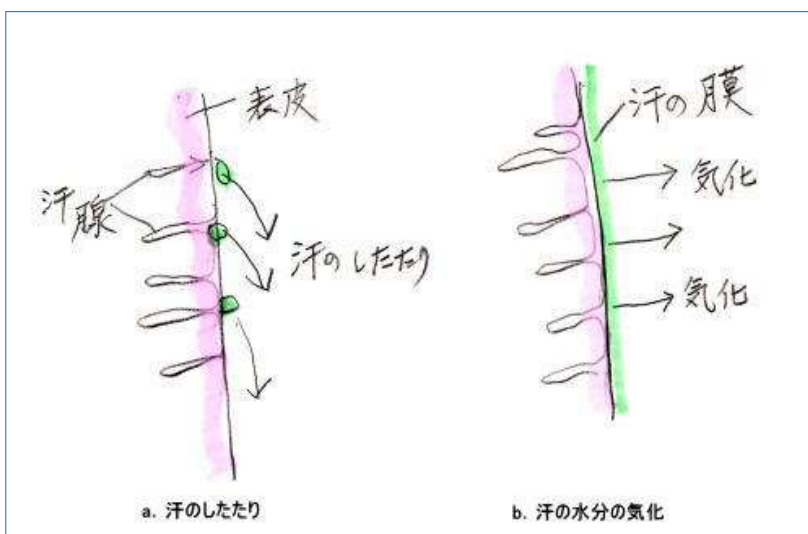
段階的に
起こる



▼図 1 体温の伝達・放出・発散



▼図 2 皮膚血管反応 (体熱の放出)



▼図 3 汗による体温の持ち出し

2 発汗

1) 汗による体温の低下効果

①体温調節の仕組み (▼図1)

体温が上昇すると、まず①外界(環境)との温度較差(落差)から伝導や対流・放射(▼図1)によって、②皮膚血管反応(▼図2)によって、③発汗によって体温を下げる。これらの反応は体温の上昇の速さや程度に応じて段階的に順を追って起こり、発汗は人間において高体上昇時における体温維持の「最後の砦」である。

動脈の血液(動脈血)の温度は通常、体温と同じだが、体表に近づくにつれて冷やされる。汗は血液中の水分(血漿)に依存し、末梢血管から汗腺(エクリン腺)を経て体外に放出される。汗は体表面に水分がとどまり続ける限り、伝導によって外界の温度落差分、体温をよく冷やす(水は熱の良導体)が、滴り落ちると、その効果がなくなる。

体温はほとんどが血流で体内を伝わるが、皮膚血管反応は、皮膚(表在血管)に血液を多く流して体表部から体温を逃がす仕組みである。自律神経系のシグナルにより末梢血管(動脈・静脈)が弛緩して開くと同時に、多量の血流が表皮部を激しく往復する。表皮の血液が「高温(動脈)→(動静脈吻合)→低温(静脈)→(静脈還流)」が繰り返されて、中核部(体内)の冷却が起こる。また表皮に高体温が運ばれて、発汗と汗の蒸発が進みやすくなる。

外界(環境)の温度が体温以上に上昇し、あるいは強い日射を受ける場合には、①と②による体温低下の効果は期待できなくなり、③の発汗だけが体温を下げる手段となる。

②汗の気化(蒸発)による大きな体温低下効果

汗1g(1mL)が完全に蒸発すると、約580cal(加リー* $=0.58\text{kcal}$)の熱量(気化熱)を体から奪う(沸騰水の気化では539cal)。1L(リットル)の発汗があり、それがすべて蒸発したとすると、気化熱は580kcalに達する。

*カロリー:1グラムの水を14.5°Cから15.5°Cに温めるのに必要な熱量。どの温度域でも同じ。

ちなみに、炎天下に10分いるだけで100mLの汗が出るといわれている。37°Cの汗が放出されて皮膚に付着したまま残り、外気との伝導で25°Cまで下がったとする。この汗をすべてタオルで拭き取ってしまったとしたら、汗の体温に対する下熱効果は $100 \times (35 - 25) = 1000\text{cal}$ 、つまり1kcalにすぎない。一方、100mLがすべて蒸発したなら、 $100 \times 580 = 58000\text{cal}$ 、つまり58kcalの気化熱を生む。なんと伝導の60倍近い値となる。

【問題例】短時間の急激な運動で体温が39°Cに達した、体重が60kgの人が、もし発汗だけで体温を36°Cまで下げるとしたら、発汗量はどれくらい必要でしょうか。ただし、汗は100%水とし、発汗量の50%が気化するものとします。また、人体は比熱が0.83、比重が0.95*、36~39°C時の水の気化熱は1g(mL)あたり580calとします。

*人が水に浮くのは、比重が1以下だからで、脂肪が多い人ほど比重は低い。

【答え】39°Cの人の体の熱容量は「(体重×比重)×(体温×比熱)」から、「 $(60 \times 0.95) \times (39 \times 0.83)$ 」=「1845kcal」です。そのうち、下げるべき体温の割合は「 $(39 - 36) \div 39$ 」なので、「 $1845 \times (3/39)$ 」=142kcalです。

水の気化熱は1mL (g) あたり 580cal で、汗の 50%が気化するので、気化に寄与するのは「 580×0.5 」=290cal です。 $142\text{kcal} = 142 \times 1000 = 142000\text{cal}$ の気化熱を生むのに必要な汗は、「 $142000 \div 290$ 」 $\approx 490\text{mL}$ (g) で、約 0.5L となります。

激しい運動後には短時間で体温は 39°C程度まで上昇するが、以上から、体温を 3°C下げるのに、汗の水分の半分が気化するとして 500mL (0.5L) 近く必要となる。

汗のうちのどれくらいが気化するのかは、環境条件 (気流・風や気温、湿度) によって大きく左右されるので一概にいえない。しかも、登山などでは運動は長時間続くので、体温はただでさえ上昇し続ける。真夏の低山の裾野付近では、山風は期待できないうえ、草いきれで暑さはただものではない。その体温を下げるためにどれだけの汗が出て、そのためにどれだけの水分が必要なのかを想像する 1つの材料にはなると思う。

2) 運動 (代謝亢進) による体温上昇と脱水

筋肉運動で消費されるエネルギーのうち、運動に使われるのは 20%弱で、80%以上が体温の産生に向かうとされる。運動をすると、体温が上昇するのは避けられない。

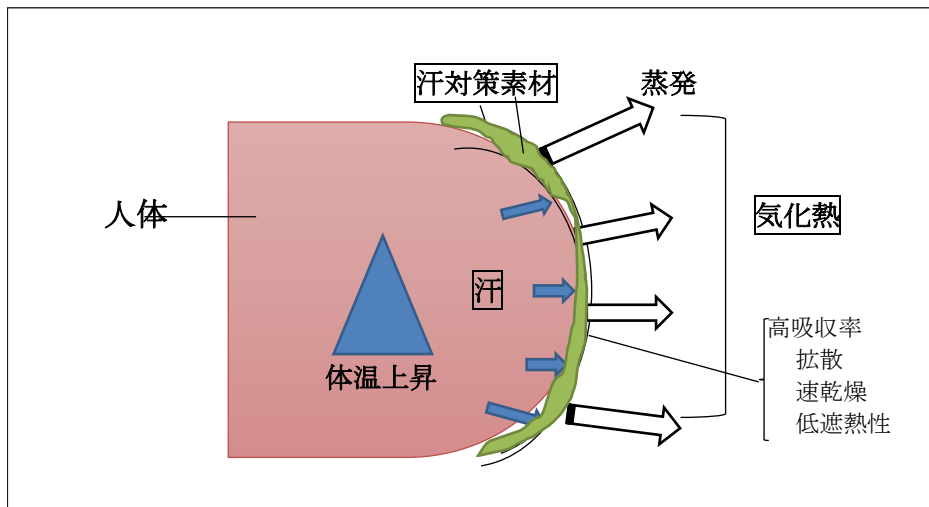
1日に食事から摂取されるエネルギー (カロリー) は、普通の成人男性で 2000~2500kcal だが、水分摂取の十分な状態で体重の増減がなかった場合 (エネルギーがすべて食事でまかなわれて、体の脂肪や筋肉の増減はなかったと仮定して)、そのエネルギーの 8割方が運動によって体温の上昇に転化されたことになる。そのエネルギー量は、 $2000 \sim 2500 \times 0.8 = 1600 \sim 2000\text{kcal}$ となる。熱は筋肉以外に内臓でも産生される。

高い峰々を歩く際の涼しい風や冷涼な気温などが体温を下げるのに大きく役立つので、発汗ばかりが体温の低下を担うのではないにしても、汗の働きの大きさと、そしてそれを補う水分 (飲水) がどれほど重要かが推測できる。

●**脱水量** 『登山の運動生理学百科』(東京新聞)の著者、山本正嘉氏 (鹿屋体育大学教授) がみずから 3名を被験者として登山を実践して測定した結果、富士吉田口と富士宮口 (どちらもほぼ五合目で標高 2300m) から富士山山頂を往復した場合、それぞれ 8時間、7時間を要し、脱水量はそれぞれ 2630~3450g (mL)、2510~3170g だったと同書で書いている。劔岳の 10時間に及ぶ登山では、3000~4000g だったという。

【参考】発汗促進素材

激しい発汗が必ずしも効果的な体温低下効果を生むわけではない。体調の悪いときアスリートは、滴り落ちるような汗をかくという。気化を促す賢い汗のかき方は、汗の表面にごく薄く膜状に広がって残るくらいの状態が続くもので、そのような汗のかき方ができるように開発されているのが、**汗対策素材**といわれる、化学繊維でできた下着だ。多くの繊維メーカーが開発、販売している。その機能は、①汗を素早く吸収して繊維内に薄く拡散させ、②繊維表面から気化を促し、③体温の放出を遮らないで体外 (環境) へ高い熱伝導率を持つ、など (▼図 4)。つまり、着ていても暑くなく、汗が効果的に蒸発する仕組みになっているので、発汗効果を高め、体温を下げるのに適している。



▼図4 汗対策素材の機能

3 脱水と体液の変化

1) 水分の喪失（脱水、脱水症）

発汗によって水分が体外に出て、水分を補給しないまま、あるいは補給量が不十分なまま経過し、生理的に必要な体内水分量を下回った状態（水分負債）を**脱水**と呼び、それに伴って臨床的な症状を伴うものを**脱水症**と呼ぶ。脱水症は熱中症の前段階である。

なお、アスリートや運動訓練をした人では発汗機能が発達し、より少量の汗で体温調節ができるようになり、塩分の喪失も少なくなるという。

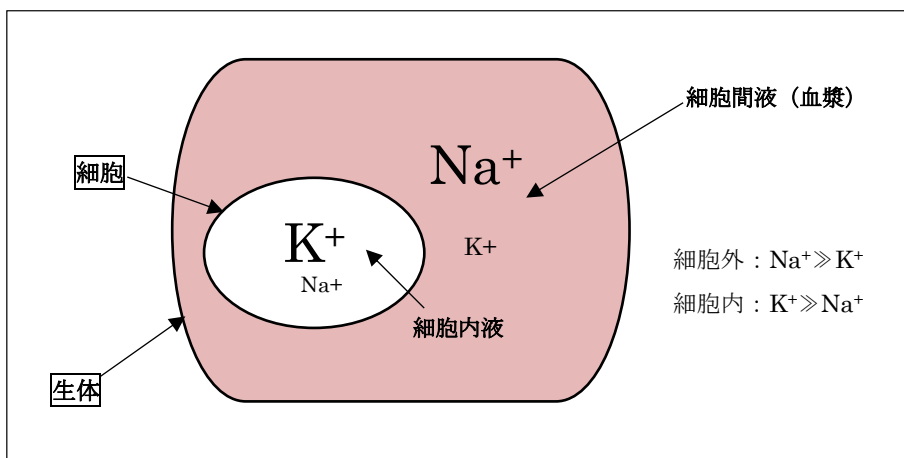
2) 汗以外による水の喪失——不感蒸泄（不感蒸散）と尿・呼吸

発汗がない安静状態においても、①皮膚や呼吸器からたえず水分が蒸発し（これを不感蒸泄とか不感蒸散という）、あるいは②排泄（尿・便）によって水を失う。尿には、最低限の生理的必要性による不可避尿と、ビールやお茶、多量の水を飲んだ後などに起こる随意尿がある。これらだけで1日に1.5～2.5Lが体外に出る。

通常の生活では食事を含めて1.5～2L程度水を飲めばよいが、登山の場合には、これらを含め、脱水で失った水の量を追加して摂取しなければならない。

3) 塩分の喪失

汗の塩分（ほとんどが塩化ナトリウム NaCl）濃度は0.3～0.8%（平均0.5%）とされる。塩分濃度0.9%は生理食塩水の濃度で、体液（血液を含む体内の細胞外液成分の総称）と等しい。これは水1000mL（1L）に食塩（塩化ナトリウム）約9グラムを溶かした水溶液の濃度にあたり、汗はほぼその半分の濃度となる。これから、1Lの汗で3～4.5グラム程度の塩分が失われる。日本人の1日あたりの食塩摂取量は10グラム程度（厚生省推奨は6グラム）だから、1Lの発汗ではその1/3～1/2の塩分が失われる。



▼図5 生体内の電解質（ミネラル；Na⁺、K⁺）の分布

汗腺（エクリン腺）近くを流れる血液（血漿；血液から血球を除いた液性成分）中の塩分は、再吸収されて体内に戻る機構があり体内に再度吸収されるが、激しい発汗では血漿が汗として汗に出るため、とくに激しい発汗は体内の多量の塩分の喪失を招く。

4) 体液濃度の恒常性

生体は**体液の恒常性**を維持しなければ、生きていくことができない（その調節は腎臓が担っている）。**体液**は細胞にとって外的生存環境を担っており、いろいろな電解質（ミネラル）成分が溶解し、pHも一定の値（7.4）に保たれているが、**図5**に示したように、最も多量に存在する、重要な電解質は**ナトリウム（Na）**だ。他方、細胞内に多いのは**カリウム（K）**で、NaとKのこの濃度差で活動電位を生じ、筋肉の収縮が起こる（主成分がKの筋弛緩薬の注射によって患者を死亡させるという事件が以前にあったが、それはNaとKのバランスが崩れて、心筋の活動を停止させるため）。

塩分喪失を伴った脱水に対して水分だけを補給したとき、体液が薄まって低ナトリウム血症（その結果としての筋肉のけいれんを伴った**熱けいれん**）をきたす。それに対して、生体は水分を尿として出して、恒常性を調節し、維持しようとする。その結果、水分だけを再度放出し、脱水症に対する飲水効果が出ない。血液は粘度を増す。

【参考】体液のこと

ここで問題とするのは、細胞内にある液ではなく、細胞外にある液（**細胞外液**）である。生体の持つ生命の実体は**60兆個**といわれる細胞で、それらが「生きている」活性が合わさって生命活動が営まれるが、細胞はみずからで栄養素や酸素、水分などを摂取したり、老廃物や代謝産物を排泄したりすることができない。つねに**体液**を介して、それに溶け込んだ成分間でやり取りを受動的にしている。体液は細胞の生存環境の首根っこをつかんでいるわけで、生命の根幹だ。

例えば、人間の住む環境中の酸素濃度が変わったりした場合、どういうことになるだろうか。例えば、それが高所だったり、サウナ風呂だったりする。高所は酸素濃度は薄

くなるし、サウナ風呂は高温・高湿度だ。こういうことがあつては、細胞は生きていくことができない。しかも、細胞によっては（中枢神経細胞と心筋細胞を除いて、とくに表皮と粘膜部で）作り変えが頻繁に行われているので、そのための細胞構成成分としてタンパク質やコレステロールなどがある。これらの素材も体液で運ばれる。

だから、細胞外液はつねに一定の条件に保たれ、適切な栄養成分が供給されなければならない。その役を一手に担っているのが、腎臓だ。腎臓は食事から体内に入ってきた栄養成分（タンパク質の成分としてのアミノ酸、ブドウ糖＝グルコース）はもとより、塩分（Na や Mg、Ca、Cl など）などの放出と取り込み（分泌と再吸収）という選別を行って、栄養素と血液内の各電解質濃度などを一定に調節している。不要な成分は捨て、栄養素は再吸収するが、糖尿病患者では、血中の糖分濃度が高すぎて腎臓で再吸収が全部できないため、尿中に糖分が失われる。

細胞外液にある圧倒的に多い電解質はナトリウム（▼図 5）だが、恒常性が維持されるため、その濃度は一定である。これから、「体内の Na（食塩 NaCl）総量／体内の水の総量＝一定」という定律が導かれる。血液もこの法則から逃れられない。塩辛いものをたくさん食べた後は喉が渇くし（渇中枢刺激→水の摂取を促し）、ビールなどで水分をよけいに飲みすぎたときは（利尿作用も手伝って）水が尿にたくさん出る。

下山後に「むくみ（浮腫）」に気づかれることがあるだろう。脱水症をきたすと、生体は危機を感知して、水分を外に出すことを控えるために、抗利尿ホルモン（ADH；バソプレッシン）を分泌する（人類は魚が祖先といわれるが、水中から陸上に上がったため、水の欠乏に対する防備の記憶がその後も遺伝子に残り続けているせいかもしれない）。この分泌は、脱水状態が解除された後も 2～3 日続くという。下山から 2 日目以降に尿がたくさん出て、むくみが引く、ということを経験されたと思う。

4 熱中症の病態と予防

熱中症はまれな病気と思っている方が多いかもしれないが、厚生労働省の過去数年間のデータでも、年間に 4 万～5 万もの患者が救急搬送され、多い年は 1500 人以上も死亡している、こわい疾患である。しかも、初期症状はちょっとした気分の悪さや脱力感だったりする程度で、重症化するという認識に結びつきにくい。

高齢者では発汗機能が低下するうえ、脱水状態を自覚する感受性も低下している。さらに体の水分の含有量も少なく、ただでさえ室内という高湿度環境にいる時間が多くなる。こうして運動時の労作性熱中症ばかりでなく、非労作性熱中症も少なくないという。

登山も夏季に高温・高湿度、無風などの状況で行った場合には、労作性に非労作性の要因が重なって発症する可能性がある。

1) 熱中症の病態

熱中症は「熱にあたる（中）」病気という意味である。脱水（症）を基調とし、適切な水分と塩分が補給されなかった場合や、水だけが補給された場合に生じる病態である。逆にいうと、適当量の水と塩分が補給される限り発症は予防できる。

2) 熱中症の分類と症状

熱中症は病態、重症度や進行の順序から、①熱疲労、②熱けいれん、③熱中症（熱射病）に分けられる。

①熱疲労

登山で脱水に陥ったまま放置したとしよう。どのような状態になるだろうか。

汗は自動車でいうとラジエーターみたいなもので、このおかげでエンジンの燃焼による過熱状態になることを抑えることができる。上で引いた山本氏によると、体は「オーバーヒート」を招くという。生体は適切な体温を保たなければ生きていけない。例えば、オーバーヒートしたままだと、エンジンの焼き付きを起こすのと同じだ。

人体では、乳酸がたまりすぎて（肝臓での乳酸の分解が進まない）筋肉運動を止め、低下させるように働く。また血液中の水分量が減少するため血流量が減り、それを代償するために拍出量（心拍数）が増え、心臓の運動負荷が増大する。このようにして、持久運動自体ができなくなり、オーバーヒート状態の解消に向かうしかないというマイナスのフィードバック（ネガティブ・フィードバック）がかかる。これが熱疲労だ。

特徴的な症状：だるさ（脱力）、息切れ、めまい、吐き気・嘔吐など。

②熱けいれん

脱水（等張性～高張性脱水）に対して水だけを補給した場合、低ナトリウム血症（塩分不足によるもので、水中毒に類似する）から、脚の筋や腹筋などのけいれん（痙攣；強縮）が起きるものだ。

特徴的な症状：筋肉の痛みを伴ったけいれん（ひきつり）、疲労感、吐き気など。

③熱中症（熱射病）

オーバーヒートによる「うつ熱」状態がさらに続いた場合、電解質異常・脱水以外に、中枢の体温調節機能自体に異常を生じた病態で、高熱を発し、全身性のショック（多臓器不全）をきたす。致死的となることもある。

原因・病態から、①労作性熱中症と②非労作性（古典的）熱中症に分けられる。

特徴的な症状：高体温（40℃前後）、意識障害、低血圧と頻脈、呼吸異常など。

3) 熱中症の予防と処置

①予防

(1) **運動前の給水と脱水症状の把握** 予防的には、登山活動前、例えば登山口に着いたときなど、登山装備に水が重さに加わらない時点で、早めに摂取する。行動中では、喉の渇きは脱水の兆候だし、足の運びの重さや異常に暑さを感じられたり、口中のつばの分泌が少なくなった、粘りを感じたりしたときは、脱水の始まりだ。

山本氏によると、登山の形態（日帰りと宿泊、テント泊、季節別）にかかわらず、脱水量の推計式が提案されている。

$$\text{脱水量} = 5 \text{ (g)} \times \text{歩行時間 (h)} \times \text{体重 (kg)}$$

また、脱水量は体重の2%以内に抑えるように提唱している。

(2) **運動強度の低下と水分・塩分の適切な摂取** 自分のいる環境状態をきちんと把握

し、適切で十分な量の水分と塩分の摂取、ならびに運動の強度（ペース）を加減することに尽きる。悪天候や高湿度時など、場合によっては、登山の中止も考慮に入れる。

水分摂取の目安としては、①少なめの決まった水分量、②個人が欲するだけの水分量、③理論的な必要水分量—この3つの水の飲み方で比較したところ、体温上昇や脈拍数の上昇が最も抑えられて適切だったのは③のケースとなった（山本氏も自験例でそれを証明しているが、他の検査でもその結果が得られている）。つまり、ほしいと思う水分量よりも5割増しくらいに意識して「多め」に摂取することが重要である。

また、たとえ脱水に陥っていても、水は一気に飲むことを拒絶する特性がある。登山ではこまめに、例えば30分ごとに0.3~0.5Lずつ飲むなど、給水のインターバルを短くして摂取する。

(3) スポーツ飲料の使用 水の補給に、**スポーツ飲料**（スポーツドリンク；ポカリスエット[®]、アクエリアス[®]、ゲータレード[®]など）が医学界からも推奨されている。スポーツ飲料は糖分と塩分（主に食塩）、ビタミンなどが配合されており、粉末状でユーザーが調合する製品もある。

スポーツ飲料は摂取された後、糖分と塩分が先に小腸から吸収されるが、それによってその浸透圧格差から腸内から腸壁を経て水分がより速く吸収されて血中に移動する（経口補水液とよばれる下痢性感染症の小児に用いる特効の加工水が20倍以上、真水よりも吸収が速いとされる）。また、冷たい水のほうが吸収が速いとされている。

ポカリスエットは血漿、生理食塩水の塩分（NaCl）濃度の0.9%よりも少し高い（1.24%）。登山では汗による塩分喪失の割合（0.45%）などから、これを半分の濃度に薄めるなどして使うことが勧められる。なお、スポーツ飲料の代わりに、梅と水および飴の組み合わせや、塩分を一つまみジュースに加えた臨時的飲料など、工夫の余地がある。梅1個は辛さがさまざまだが、2.5~3グラムの塩分を含む。

②処置

初期症状を早めに察知し、状態が進行しないうちに対応を急ぐべきである。もしなんらかでも症状がみられたなら、涼しい場所に休ませ、衣服を緩め、体の冷却処置（風を送り、湿ったタオルで拭く、脇の下や鼠径部など動脈走行部を冷やすなど）をとるとともに、飲水行動を促す。末梢部（表皮）への血流の増加から中枢への血流が減少しているので、足を高くして休ませ、脳への血液循環を促進する。

意識障害や言語障害（ろれつのみわりの悪さやうわ言）がみられた場合は、緊急度が高い。

【参考文献】

- 1) 日本登山医学研究会編：登山の医学ハンドブック、杏林書院、2002。
- 2) 山本正嘉：登山の運動生理学百科、東京新聞出版局、2000。
- 3) 日本山岳会医療委員会編：山の救急医療ハンドブック、山と溪谷社、2005。
- 4) 本間研一ほか編：標準生理学（第8版）—第14編、医学書院、2014。
- 5) 我孫子山の会育成係：山の会ホームページ；「資料館」中「熱中症①」、2016。