

運動＋乳製品摂取による 熱中症予防



信州大学大学院医学系研究科 e-ヘルスサイエンス講座
特任教授 能勢博

夏になると、熱中症による救急搬送のニュースが連日のように伝えられます。その背景には、地球温暖化、ヒートアイランド現象、高齢者人口の増加などがあるようです。信州大学大学院 特任教授の能勢博先生は、ややきつめの運動と乳製品の摂取が熱中症予防に効果的であることを、若者及び中高年者を対象とした試験で実証されています。なぜ、運動＋乳製品の摂取が熱中症予防につながるのでしょうか。そのメカニズムと効果的な乳製品の摂り方についてお話を伺いました。

気温が33℃を超えると 熱中症のリスクが増大する

●まず、熱中症とはどのような状態なのでしょうか。

熱中症は、高温多湿の状況に置かれた時に、身体が適応できずに生じる様々な症状の総称で、次の4つに大別されます。

1) **熱失神**：皮膚血管が拡張することで心臓に血液が戻りにくくなり、血圧が低下した状態。脳への血流が低下してめまいや一時的な失神を起こします。熱中症の症状としては最も軽く、横たわって安静にしていれば回復します。

2) **熱けいれん**：大量に汗をかいたときに水だけを補給すると、血液中の塩分（ナトリウム）濃度が下がり、足や腕などの筋肉がけいれんを起こします。涼しいところでスポーツドリンクなどナトリウムを含むものを補給すれば通常は回復します。

3) **熱疲労**：大量の汗をかき、脱水症状を起こして倦怠感や悪心嘔吐、頭痛などの症状を引き起こした状態。スポーツドリンクなどで水分を補給し、涼しいところで安静にしていれば通常は回復します。

4) **熱射病**：体温が上昇し、脳の機能に異常をきたして意識障害などが生じた状態。熱中症の症状としては最も重篤で、すぐに救急車を呼ぶ必要があります。

●なぜ、気温が高いと熱中症を起こしやすくなるのでしょうか。

体温調節能の不全が熱中症の主な原因です。体温調節能は、①皮膚血流から外気への熱伝導による放熱、②発汗により蒸発する際の気化熱による放熱、の2つの反応からなっており、そのメカニズムは、次のとおりです。

まず、暑さにさらされると、皮膚や脳などに存在する体内の温度センサーが感知して、脳の視床下部にある体温調節中枢に伝えます。するとその細胞が興奮して血管拡張や発汗といった司令を送ります。その結果、皮膚では血管が拡張して血流が増えます。通常、皮膚の温度は33℃程度ですから、外気温が33℃以下なら、皮膚の血流が活発になれば外気への放熱が促され、心臓に戻る血液の温度が下がって体温が調節されます。

ところが外気温が33℃以上になると、①の熱伝導による放熱は機能しなくなり、②の気化熱による放熱が主体となります。つまり汗をたくさんかくことで気化熱によってより多くの熱量を体外に放散し、体温を一定に維持するわけです。

この2つの体温調節反応は、年齢によって差があります。小児の場合、皮膚血流は非常に多いのですが、汗腺が未発達なため発汗能力があまり高くありません。そのため気温が33℃以上になると放熱が追いつかずに熱中症に陥りやすくなるのです。

思春期の若者は、これとは異なった機序で熱

中症を起こすことがあります。通常は、体温の上昇によって皮膚血管が拡張し下半身に血液が溜まっても、脚の筋肉が伸縮することでポンプ機能がはたらき、血液が心臓に戻るのですが、思春期は身長伸びに筋肉の発達が伴わないため、下半身に溜まった血液が十分に戻らず、熱失神を起こしやすくなります。

高齢者の場合は、老化によって皮膚血管の拡張能も発汗能も20歳代の3分の1程度まで下がってしまうことが熱中症の主な原因です。また、体内の温度センサーの感度も低下しているため、暑さを感知しにくくなっていることも熱中症の要因になります。

血液量を増やすことが熱中症の予防につながる

●熱中症の予防に、なぜ、運動+乳製品の摂取が勧められるのでしょうか。

一言で答えれば、血液量を増やすことがその理由です。

心臓は、末梢から戻ってきた血液を再び送り出すポンプ機能を担っています。4足歩行の動物の場合、血液の70%が心臓より上に位置するため、重力にしたがって自然に血液が心臓に戻ってきます。ところが直立歩行のヒトでは、血液の70%が心臓より下にあるため、血液が戻りにくいのです。したがって、暑さのために皮膚血管が拡張したり、発汗による脱水で血液量が減少したりすると、心臓に戻る血液量が少なくなって血圧が低下したり、場合によっては失神を起こすのです。

では、血液量を増やすためにどうすればよいのでしょうか。私たちの研究でまず取り組んだのはスポーツドリンクの摂取でした。確かにスポーツドリンクは、スポーツ時の発汗による水分減少を補うのに効果がありましたが、脱水の予防にはあまり有効ではありませんでした。前もってスポーツドリンクをたくさん飲んでも、尿として排泄されてしまうからです。

血液量を増やすために次に着目したのは、ややきつい運動です。私たちの研究以前に、本人の最大体力の60%以上の運動を20～30分行くと、肝臓でのアルブミン合成能が亢進するという研究報告がありました。アルブミンというたんぱく質が肝臓で合成されると、すぐに肝静脈から血液中に

放出されます。アルブミンは分子量が5万～6万の大きな分子なので、毛細血管から外に出ていくことはありません。その結果、血管の内外に浸透圧勾配が生じ、血管外から血管内に水分を引き込み、血漿量、つまり血液量が増えることが予測できました。

また別の先行研究によると、筋肉トレーニングによる運動負荷直後には筋肉でのたんぱく質合成能が亢進し、その際、糖質・たんぱく質補助食品を摂取すると筋肥大を促進するという報告もありました。そこで、ややきつい運動を行ったときに糖質・たんぱく質補助食品として乳製品を摂取すれば、肝臓でのアルブミン合成もさらに亢進し、その結果、血液量が増加して体温調節反応が改善するのではないかと考え、次に述べる実証試験を行ったのです。

■若年者を対象とした実証試験

若年男性(平均年齢23歳)を対象に、ややきつい(最高酸素摂取量65%)運動を1日30分間、5日間繰り返し、運動後に糖質70gと乳たんぱく質20gを含む乳製品を摂取してもらい、トレーニング後の血漿量、血漿アルブミン量、トレーニング前後の体温調節反応の変化を対照群(プラセボ摂取)と比較しました。その結果、トレーニング後の血漿量、血漿アルブミン量とも、対照群に比べて2倍ほど増加しました(図1)。

トレーニング前後の食道温に対する発汗速度、皮膚血管拡張度を見ると、両群でトレーニング後は前に比べて反応が亢進していますが、乳製品摂取群のほうがその程度が大きいことがわかります(図2)。食道温に対する発汗速度、皮膚血管拡張度の反応の程度を調べると、対照群に比べて3倍ほど向上していることがわかりました(図3)。

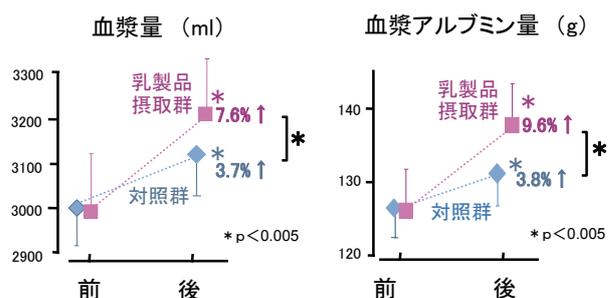


図1 若年者における運動前後の血漿量と血漿アルブミン量の変化

Okazaki et al. J Appl Physiol 107: 725-733, 2009.

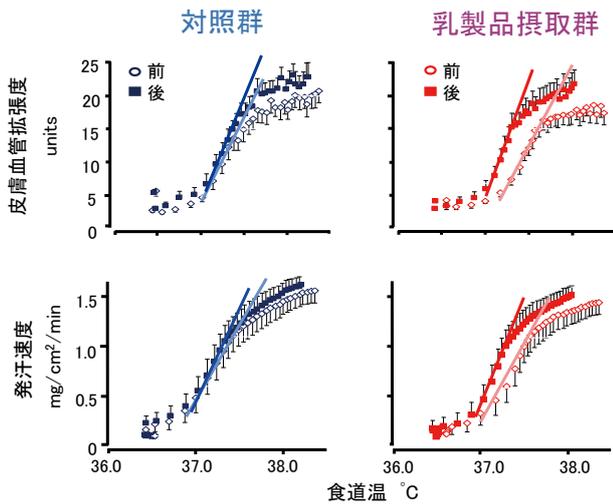


図2 若年者における運動前後の皮膚血管拡張度と発汗速度の変化
Okazaki et al. J Appl Physiol107: 725-733, 2009.

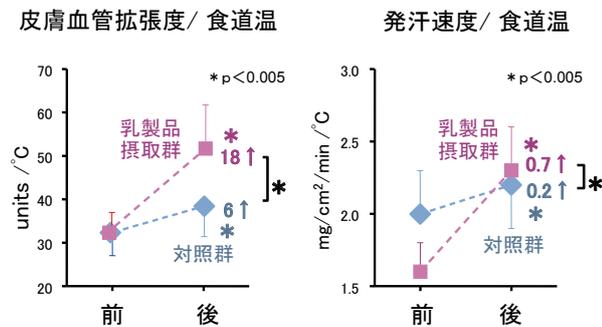


図3 食道温に対する皮膚血管拡張度と発汗速度の感度の変化
Okazaki et al. J Appl Physiol107: 725-733, 2009

■高齢者を対象とした実証試験

高齢者に対しても同様の試験を行いました。高齢男性(平均年齢69歳)を、糖質15g・乳たんぱく質10gを含む補助食品(乳製品)を摂取する群と、ブドウ糖25g(プラセボ)を摂取する対照群に分け、最高酸素摂取量60～75%の強度の自転車運動を1日60分、週3日の頻度で8週間行ってもらい、運動直後に乳製品またはプラセボを摂取してもらいました。

すると、対照群では、血漿アルブミン量、血漿量に大きな増加が見られませんでした。乳製品摂取群ではともに増加しました(図4)。また、対照群ではトレーニング前後で発汗、皮膚血管拡張能に顕著な差が認められませんでした。乳製品摂取群ではそれぞれ20%、40%改善しました(図5)。

通常、血漿量が増加すると血圧も上昇しがちで

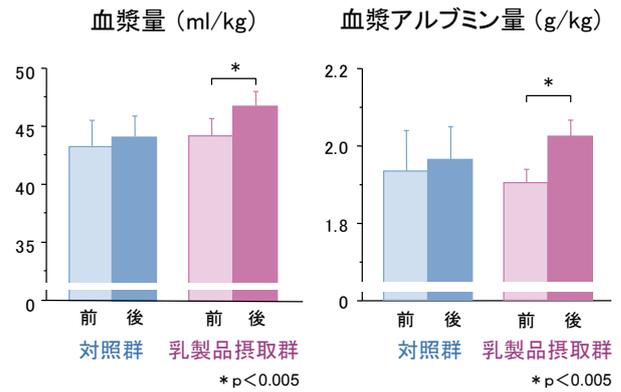


図4 高齢者における運動前後の血漿量と血漿アルブミン量の変化
Okazaki et al. J Appl Physiol107: 725-733, 2009.

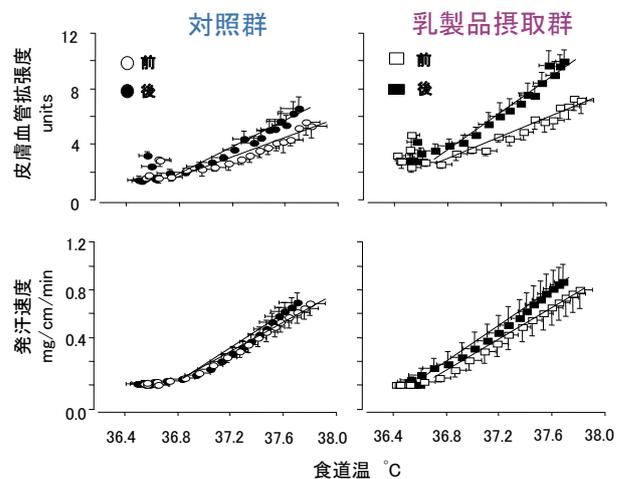


図5 高齢者における運動前後の皮膚血管拡張度と発汗速度の変化
Okazaki et al. J Appl Physiol107: 725-733, 2009

すが、この研究では、乳製品摂取群、対照群ともに安静時、運動時の血圧が大きく低下しました。その理由として、運動トレーニングによって血管壁が柔らかくなるなど血圧調節機能の改善が、血漿量の増加による影響を緩和したと考えられます。

アミノ酸の筋肉中への取り込みが活発になることで、血液量が増加

●運動後の乳製品摂取によって、どのようなメカニズムで血漿量が増加するのでしょうか。

肝臓でのメカニズムは実験手技の制限があり、まだよくわかっていませんが、筋肉では、ややきつい運動を行うことでグリコーゲンが消費されると、それが刺激となってGLUT4というブドウ糖の輸送体が筋細胞表面に発現し、血液中から筋肉に

ブドウ糖を取り込むことがわかっています。面白いことに、この際、同時にアミノ酸の輸送体も活性化され、多くのアミノ酸を筋肉中に取り込みます。そして、筋肉に取り込まれたアミノ酸は筋線維の合成に使われ、筋肉がより太くなります。肝臓でも同様のメカニズムがはたらき、運動によってより多くのアミノ酸が肝臓に取り込まれてアルブミンの合成が活発になると考えられます。

したがって、そのタイミングで乳製品を摂取すると、乳糖を構成するブドウ糖がインスリンの分泌を刺激し、それが運動によって活性化したGLUT4やアミノ酸輸送体をさらに活性化するため、ブドウ糖やアミノ酸が筋肉や肝臓にいつそう取り込まれやすくなります。牛乳やヨーグルトならコップ1～2杯を摂取すると効果的ですが、やや糖分が足りないので、一緒にジャムやはちみつなどを摂取するとよいでしょう。

もう少し長期的なスパンで見ると、運動+乳製品の摂取は筋細胞の肥大にも有効です。運動+乳製品の摂取により筋肉のポンプ機能が向上し、多くの血液が心臓に戻ることで熱失神が起これにくくなるのです。また、筋肉が太くなるとそこに蓄えられる水分も多くなります。その結果、発汗によって体内の水分量が減少したときに血液量の過度な減少が抑制され、熱中症の予防につながると考えられます。

運動+乳製品の摂取が生活習慣病予防と関係する理由とは

●先生の研究では、運動+乳製品の摂取は生活習慣病予防にも効果があるとのことですが、これはなぜなのでしょう。

加齢に伴い筋力が低下してきますが、これは加齢性筋減少症またはサルコペニアと呼ばれ、最近では高血圧や糖尿病、高脂血症、肥満といった生活習慣病や、認知症、がんなどと深く関係していることがわかってきました。

そのメカニズムとして、加齢に伴うミトコンドリアの機能劣化が考えられています。ミトコンドリアは細胞内にある器官で、ブドウ糖や脂肪酸を燃焼してエネルギーをつくりだします。このミトコンドリアの機能が劣化すると、不完全燃焼を起こして活性酸素が生じるようになります。活性酸素は細胞や組織を傷つけ、それによって炎症反応が起こりま

す。炎症反応が脂肪細胞に起こると糖尿病、血管内皮に起これば動脈硬化や高血圧、脳細胞に起これば認知症やうつ病、がんの抑制遺伝子に炎症反応が及べば発がんの要因になるのです。

つまり、サルコペニアによって筋細胞のミトコンドリアに機能劣化が起こると、筋肉自体から活性酸素が産生されますが、そのほか、筋力が低下すると、身体を動かすのが億劫になって筋肉以外の臓器の代謝も低下し、活性酸素が産生されます。その結果、全身に慢性炎症が及び、生活習慣病を引き起こすと考えられるのです。

したがってミトコンドリアの機能劣化を防ぐにはサルコペニアの予防が重要であり、そのためには、前述のとおりややきつめの運動+乳製品の摂取が有効なのです。また、最近私達が行った研究では、運動+乳製品の摂取によって、炎症を促進するNF κ B1、NF κ B2という遺伝子のメチル化（不活性化）を促すこともわかりました。

このように、運動+乳製品の摂取によって筋肉を強化することは中高年者では生活習慣病全般を抑制することにつながり、その延長線上に熱中症予防があると位置づけられます。

インターバル速歩と乳製品の摂取で熱中症と生活習慣病の予防を

●最後に、読者にメッセージをお願いします。

中高年の方はサルコペニアに伴って血液量が低下するとともに、体温調節能も低下していきます。これを食い止めようとするには運動が不可欠ですが、その効果を増大させるのが運動後の乳製品の摂取です。

夏場なら、朝や夕方と比較的涼しい時間帯に20～30分程度のややきつめの運動を行うのがよいでしょう。ややきつめの運動として、速歩きとゆっくり歩きを交互に3分間ずつ行う「インターバル速歩」がお勧めです。筋肉中のグリコーゲンがある程度消費するためには速歩が適していますが、長く歩くと疲れてしまいます。ゆっくり歩きを挟むことで無理なく長時間歩けるのです。

このインターバル速歩を1日30分、週に4回程度行い、運動後に牛乳やヨーグルトなど乳製品をコップ1～2杯摂取すれば、熱中症予防になると同時に生活習慣病の改善にもつながりますので、ぜひ実行していただきたいと思います。