

Otsuka & NSCA Japan Sports Nutrition Academy

深部体温の上昇には要注意！ 体を冷やすアイススラリーの可能性

濱田 広一郎 DVM, Ph.D., 大塚製薬株式会社 佐賀栄養製品研究所 所長

はじめに

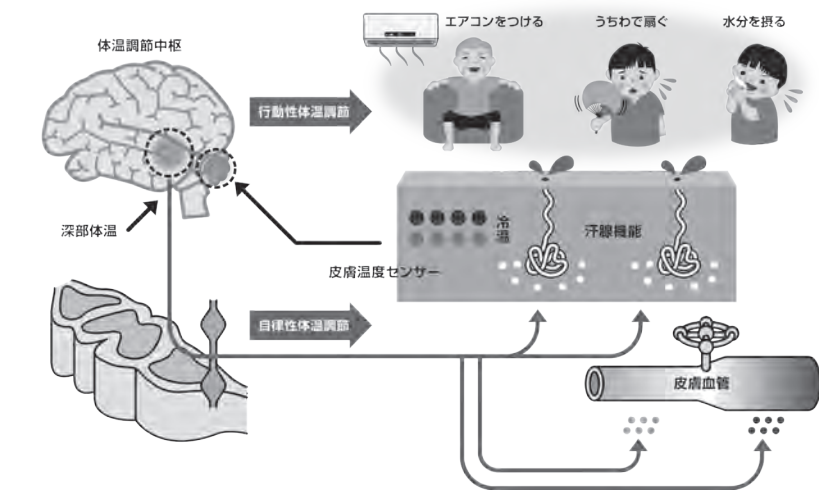
アイススラリーとは、微細な氷と液体が混合した流動性のある飲料で、水分補給と身体冷却を同時にでき、水の比熱に加えて固体(氷)から液体への相変化時に熱が吸収されるため、液体の水のみよりも身体冷却効果があると考えられている。暑熱環境下での活動中に発生する熱中症は深部体温の上昇によるもので、特に熱射病は著しい体温上昇のため中枢機能に異常をきたした状態であり、意識障害が起こり死亡率が高い。熱中症の予防のためには、深部体温が上昇しないように注意する必要がある。また、深部体温が上昇することによって運動パフォーマンスが低下することも報告されている。我々の体温は、末梢血管拡張や発汗による放熱によって一定に保たれているが、外部環境や着衣などの状況によっては、この調節機能が十分に働かない状況もありうる。暑熱下での活動時の深部体温上昇を防ぐために水分補給は欠かせないが、本稿では、優れた身体冷却効果を有すると思われるアイススラリーの可能性について考えてみたい。

暑熱環境下の体温調節と水分補給

外部から身体を冷却することを考える前に、我々自身が有する体温調節機能を理解しておく必要がある。我々の身体は、暑熱環境に対応するため体温上昇に対する調節機構を備えている。図1に示したように、暑いときには、自律神経を介して末梢血管が拡張し、皮膚血流量を増やして外気への熱伝導

により体温上昇を防ぐ。また、発汗により、皮膚からの汗の蒸発により気化熱が生じ熱を放散する。このように「熱の産生」と「熱伝導と汗による熱の放出」のバランスをとることで体温は一定に保たれている。

体内での血流分布の変化や、発汗による体水分や塩分の喪失に対して、身体が適切に対処できずにこのバランス



参照) 熱中症の現状と予防

図1 体温調節の仕組み

が崩れると、体温が著しく上昇し熱中症の発症に繋がる。熱中症の病型として、熱失神(皮膚血管の拡張によって血圧が低下、脳血流が減少して起こる)、熱痙攣(大量に汗をかき水だけを補給して血液の塩分濃度が低下した時に起こる)、熱疲労(脱水による症状で、脱力感、倦怠感、めまい、頭痛、吐き気などがみられる)、熱射病(深部体温上昇のため中枢機能に異常をきたした状態で、意識障害がおこり死亡率が高い)がある(1)。また、日本救急医学会では重症度に応じてⅠ度からⅢ度の3段階に分類しており、病型であてはめるとⅢ度が熱射病にあたる(2)。

皮膚血流と発汗は、体温調節に重要な役割を担っているが、汗は血液から作られるため、発汗による水分損失(脱水)が進むと循環血液量が減少し、発汗と皮膚血流による熱放散は抑制される。図2は運動時に水分摂取をした場合としない場合での血液量の変化と深部体温である直腸温の変化を示したものである(3)。水分摂取をせずに運動した場合、運動時間に伴って血液量が減少し、それに伴って深部体温も上昇していく。一方、水分補給をして運動した場合、血液量が維持され、深部体温の上昇も水分摂取をせずに運動した場合に比べて抑えられる。このように、運動時に水分をきちんと補給することで、循環血液量を維持し、発汗と皮膚血流による熱放散を確保し、運動中の体温上昇を回避することができる。

体温上昇は、運動パフォーマンスとも大きく関係し、体温の上昇に加えて、脱水に伴う循環血液量の減少は、心拍出量や筋血流量の低下に関係し、運動能力の低下を引き起こす。図3は、脱水あるいは水分補給と持久運動能力指標である踏み台昇降運動指数の関係について示したものである(4)。脱水率

が大きいほど運動能力は低下し、水分摂取をしっかりとすることによって運動能力の低下が抑えられている。

ただし、水だけを大量に摂取すると低ナトリウム血症(水中毒)が起こることも指摘されている(5)。運動前後で体重が増加するほど水分を摂取することは控えるべきである。脱水時に必要な水分補給は、飲みやすく、体内に素早く吸収されて長く留まることが最も大切であり(6)、そのためには、市販のスポーツドリンクのように電解質と糖質がバランスよく配合された飲料を利用することがより効果的である。

運動前後の体重の減少量は、脱水量に相当する。また、脱水時には尿の濃縮が起きるため、通常より尿量も少なく色も濃くなっていく。このため、体重や尿の状況をこまめにチェックすることで、個々人の脱水状況を把握することに役立つ。運動時の適切な水分補給量としては、スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブックで提唱しているように、体重減少が体重の2%以内に収まるのが目安となる(1)。ただし、気象条件や運動の種類などによって、発汗による体重の減少量が変わってくるので十分に注意が必要である。

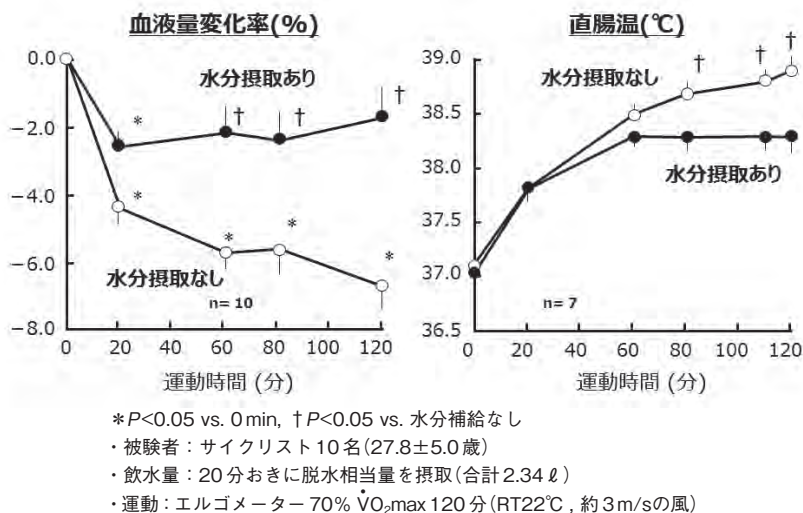


図2 運動時の水分補給と血液量・深部体温の変動(3)

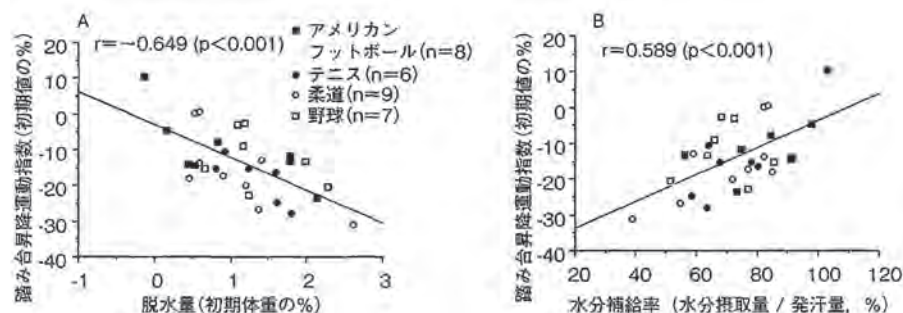


図3 脱水の程度と有酸素性運動能力の関係(4)
 各練習後の踏み台昇降運動指数(有酸素性運動能力の指標)の変化と脱水量(A)、水分補給率(B)との相関関係

アイススラリーとは

アイススラリーは微細な氷と液体が混合した流動性のある飲料である。氷は融けるときに周囲の熱を奪うため、周囲の温度を下げる効果があり、これを融解熱という。氷の融解熱は80 cal/gであり、我々が物を冷やす際に利用できる身のまわりにあるものとしては、最も効率的である。アイススラリー中の氷は微細であるため、固形の氷に比べると周囲との接触面積が大きくなり熱を奪いやすいため、より効果的に物を冷やすことができる。加えて、通常の氷のように噛み砕いて飲む必要がなく、そのまま口から胃、消化管を通りながら、身体を内側から冷やすことが可能である。このように、アイススラリーは、固形の氷よりも流動性があり、水よりも冷却能力があるため、効率よく身体を冷却できる形態といえる。

アイススラリーは、市販のフローズンマシンなどと呼ばれる機器を使うことで簡易的に作製することが可能である。しかし、その機器を作動させるには電源が必要となる上、作製にはある程度手間と時間を要することから、必要な場所や必要なタイミングで飲めるよう準備することはなかなか容易ではない。

近年では、冷凍庫で数時間凍らせるだけでアイススラリーとなる製品も市販され、凍結させても小さい氷の粒となることや、融かして再度凍結しても使えるよう、容器や成分が工夫されている。このような製品であれば、例えば利用する前に冷凍庫で凍らせておき、クーラーボックスなどで運搬すればいつでも必要ときに飲むことができる。

アイススラリーと深部体温

体温上昇は運動パフォーマンスに影響を及ぼすため、最近では運動前に一時的に体温を下げるプレクーリングといった概念が提唱されている。運動前に水風呂に入ったり、ウォームアップ時にアイスベストを着用したりするなどの方法がある。これらは身体の外側から冷却する方法であるが、身体の内側から冷却する方法としてアイススラリーの摂取も用いられている。

図4は、5%の糖質を含む飲料をアイススラリーあるいは4℃にして、それぞれ飲用したときの深部体温と運動持続時間を示したものである(7)。アイススラリーを飲用することによって運動開始前の深部体温は低下し、その状態で運動すると、4℃の飲料と体温の上昇速度は変わらないが運動中の深部体温は低く抑えられており、運動持続時間も延長している。

また、前述の通り身体活動を行なったときに起こる体温上昇を抑制するために、汗の働きは非常に重要である

が、その作用は汗が皮膚上で蒸発してはじめて発揮される。蒸発しない汗は、無効発汗と呼ばれ体温調節には参与しない。全身を覆うような服を着て身体活動を行なう場合、身体の熱は外部に逃げずこもりやすい上、汗も機能しないため、深部体温は上昇しやすい。このような場面を想定し、消防士が防火服を着て活動する前にアイススラリーでプレクーリングを行なった場合の体温への影響が検討されている。運動は、室温35℃の環境で30分間の自転車こぎ運動を行ない、アイススラリーは糖電解質飲料(大塚製薬(株)製)で調製したものを運動開始10分前から体重1kg当たり5gの量を摂取させ、常温の糖電解質飲料を同量摂取した場合と深部体温の変動などを比較している。

その結果、運動前にアイススラリーを摂取した場合のみ、摂取開始後10分で深部体温の指標である直腸温と外耳道温はともに低下し、深部体温が低い状態で運動を開始した。運動

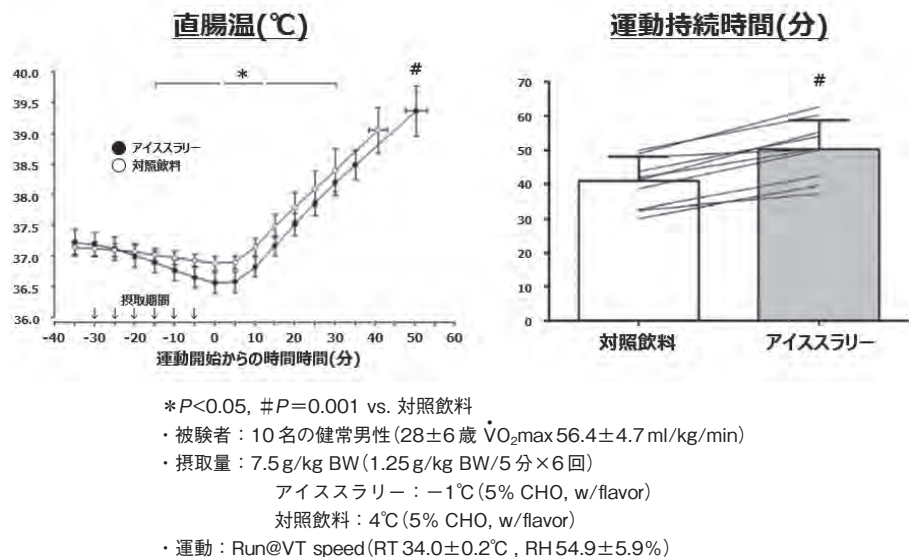


図4 アイススラリー摂取が深部体温と運動パフォーマンスに及ぼす影響(7)

開始後どちらの飲料を摂取した場合でも直腸温と外耳道温はほぼ直線的に上昇しているものの、運動終了後までその差を維持したまま推移していた(図5)。また、運動前にアイススラリーを摂取した場合の運動中に失った汗の量は常温飲料と比べて抑えられており(図6)、これは、運動中の深部体温が低く推移していたことによると考えられる。以上の結果から、発汗が体温調節に役立ちにくい防火服を着用しての活動のみならず、アメリカンフットボール、フェンシングや剣道など全身を覆う防具や服を身に付けて行なう競技や防護服を着用しての作業時にも、プレクーリングとしてのアイススラリーの摂取は、体温上昇や脱水を抑え熱中症のリスクを軽減しつつ、活動時間の延長に繋がり効率的な作業にも役立つ可能性が考えられる。

アイススラリーの可能性

ここまで、アイススラリーをプレクーリングとして活用することで運動中の深部体温上昇を遅らせ、パフォー

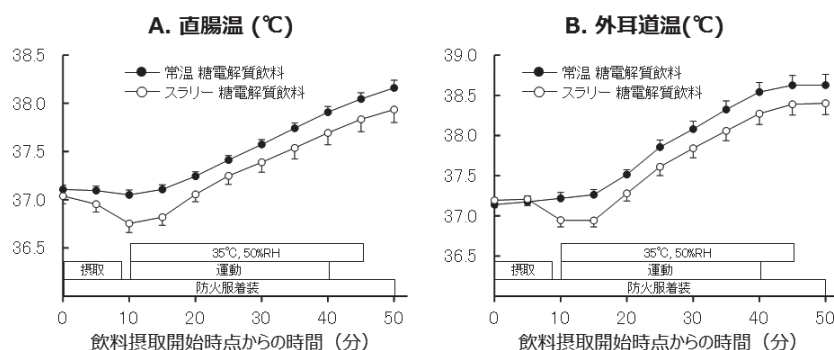
マンス維持などに繋がることを紹介してきた。それでは、運動によって深部体温が上昇したときにアイススラリーを摂取することで深部体温を速やかに低下させることは可能だろうか。

図7は暑熱環境下での実際の屋内労働作業中に、休憩として空調の効いた部屋に入室し、すぐにアイススラリー(大塚製薬(株)製)を100g摂取し、10分間の休憩後に再び作業に戻ったときの深部体温(外耳道温)の変動を表している(未公表データ)。100g程度のアイススラリーでも摂取した場合はなかった場合に比べて外耳道温は約40分間にわたり低い状態で推移していた。このような場面を競技スポーツにあてはめると、例えば試合中のハーフタイムや試合と試合の間などが想定される。運動後のリカバリーには水風呂やアイスバスのような身体冷却方法があるが、ハーフタイムなどで利用することは実際の現場では難しいかもしれない。アイススラリーは、短時間で次の運動が控えている場合などで、手軽に身体冷却を行なえるアイテムとして有

効かもしれない。このように、アイススラリーは深部体温を速やかに低下させたいときにも利用でき、暑さ対策のひとつとなりうる。

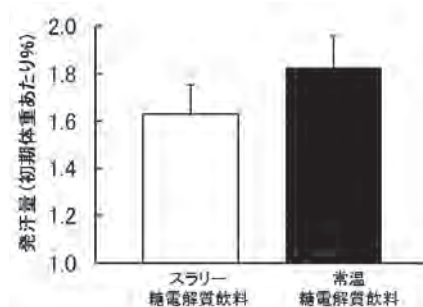
おわりに

地球温暖化の影響か、近年では夏季の気温上昇が大きな社会問題となってきた。スポーツ現場での熱中症事故は、様々な取り組みによって減少傾向にあるが、高齢者の熱中症事故は増加している。その原因のひとつとして、高齢者は若者に比べて皮膚血管拡張機能や発汗機能が低下しており、深部体温の上昇をきたしやすいことが挙げられる(9)。加えて、近年では障害者スポーツも盛んになってきているが、障害の程度によっては体温調節機能が低下している場合もあり(10)、障害者アスリートへの熱中症対策も望まれる。これは、障害者アスリートだけの問題ではなく、障害を有する一般生活者にもあてはまる。また、子どもは体温調節機能が未発達であり、深部体温の上昇を起こしやすい(9)。このような社会的



- ・被験者：12名の健康男性消防士(平均年齢24歳 平均体重70kg)
- ・摂取量：5.0g/kg BW(1.25g/kg BW 8分以内に摂取)
アイススラリー：-1.7°C(6.2% CHO)
対照飲料：20°C(6.2% CHO)
- ・運動：自転車エルゴメーター 始めの10分間は125ワット、残り20分間は75ワット、計30分間
- ・環境：RT 35°C, RH 50%

図5 アイススラリー摂取が防火服を着装し運動した場合の直腸温(A)および外耳道温(B)に及ぼす影響(8)



条件は図5に同じ。

図6 アイススラリー摂取が防火服を着装し運動した場合の発汗量に及ぼす影響(8)

弱者と呼ばれる人たちにおいては、熱中症対策として水分補給だけでは十分ではない場合も考えられる。このように、活動強度の高いアスリートや労働者だけでなく、暑熱など外部環境の影響を受けやすい社会的弱者においても、深部体温の上昇が熱中症事故に繋がることを考えれば、深部体温をうまくコントロールすることが今後ますます重要になる。深部体温の上昇を抑制することや、上昇した深部体温を速やかに低下させるためにも、十分な水分補給に加えて、アイススラリーをうまく活用することは熱中症予防の一助になるのではないと思われる。◆

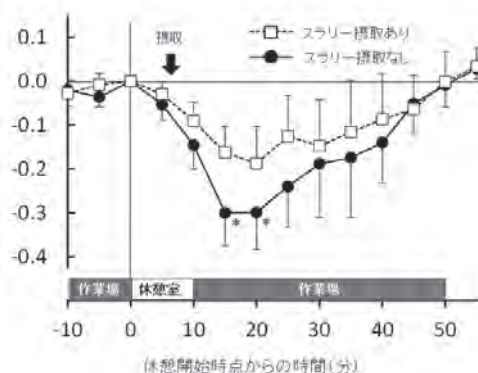
参考文献

1. 日本スポーツ協会. スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック. <http://www.japan-sports.or.jp/medicine/tabid/523/Default.aspx>
2. 日本救急医学会. 熱中症診療ガイドライン 2015. www.jaam.jp/html/nettyu/index.htm
3. Hamilton MT, et al. Fluid replacement and glucose infusion during exercise prevent cardiovascular drift. *J Appl Physiol* 71: 871-877. 1991.
4. Yoshida T, et al. Relationship between dehydration, rehydration and decreases in exercise performance during various sports in hot environments. *Adv Exerc Sports Physiol* 8: 71-76. 2002.
5. Almond CSD, et al. Hyponatremia among runners in the Boston marathon. *N Eng J Med* 352: 1550-1556. 2005.
6. 濱田広一郎. スポーツに必要な栄養の話. 第5回. 夏バテと熱中症の予防対策. *臨床スポーツ医学* 34: 508-515. 2017.
7. Siegel R, et al. Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 42: 717-725. 2010.
8. 北九州市消防局. 消火活動時の適切な水分補給についての検討ーヒートストレスに対する危機管理の再認識ー. *ほのお* 5: 5-11. 2018.
9. 井上芳光. 子どもと高齢者の熱中症予防策. *日生気誌* 41 61-66. 2004.
10. Price MJ and Campbell IG. Thermoregulatory responses of spinal cord injured and able-bodied athletes to prolonged upper body exercise and recovery. *Spinal Cord* 37: 772-779. 1999

著者紹介



濱田 広一郎：
運動と栄養をテーマにニュートラシューティカルズ製品の研究開発を行なう、大塚製薬株式会社佐賀栄養製品研究所の所長。



- * $P < 0.05$ vs. スラリー摂取無し, 混合モデル
- ・被験者: 5名の健康成人男性 (37.2 ± 1.8 歳 体重 64.6 ± 12.0 kg)
- ・摂取量: 100gを10分間の休憩開始時に3分以内に摂取
- ・作業場環境: 平均WBGT 30.3°C (最低 27.4 ~ 最高 34.4)

図7 暑熱環境作業中の休憩時にアイススラリーを摂取した時の深部体温の変動 (未公表データ)