スポーツ医学的観点からのアミノ酸機能 分岐鎖アミノ酸 (BCAA) を中心として

ヒトが運動するとエネルギー代謝が著しく亢進する。このエネルギー代謝は酸素消費量に反映され⁽¹⁾、健康な成人の酸素消費量は運動により安静時（およそ250 mL/分）の10倍にも増加する。さらに、よくトレーニングされたアスリートでは20倍にも増加することが知られている。エネルギー代謝の基質としては、糖質と脂質が中心的に利用されるが、亢進したエネルギー代謝ではその生理状態に応じて全エネルギーの3～18%がタンパク質やアミノ酸から供給されるようである⁽²⁾。したがって、アミノ酸も重要なエネルギー源である。エネルギー源になりやすく筋肉で直接代謝されるアミノ酸としては、タンパク質合成に必要な20種類のアミノ酸のうち、ロイシン、イソロイシン、そしてバリンの分岐鎖アミノ酸 (Branched-chain amino acids; BCAA) が知られている。筆者らの研究で、運動習慣のないヒトが20分程度の比較的軽い運動を行った場合、血中のBCAA濃度は約20%減少した⁽³⁾。また、高強度の運動によりBCAA代謝が促進されることは明らかであるので、スポーツ時のBCAA補給により生理的な有効性を得られる可能性が高い。さらに、BCAA代謝系の最初の酵素であるBCAAアミノ基転移酵素を欠損したマウスでは、運動能力が著しく低下することが報告されている⁽⁴⁾。このマウスでは、BCAAを分解できないために正常マウスと比べて筋中のBCAA濃度は10倍以上に上昇するが、逆にアラニンとグルタミン濃度は50%以下に低下していた。よって、運動中の円滑なBCAA代謝が運動持久力などのパフォーマンスを発揮するために重要と考えられる。

運動トレーニング（特にレジスタンストレーニング*¹）は、骨格筋を肥大させスポーツにおけるパフォーマンスを向上させるために必須である。筋肥大を起こすためには、トレーニングとともに適切なタンパク質・アミノ酸栄養を適切なタイミングで摂取することが重要であり、特に体内で合成されにくい栄養学的な必須アミノ酸を十分量摂取する必要がある⁽⁵⁾。運動による筋タンパ

ク質合成の促進は運動直後より始まるが、筋タンパク質合成をより効果的に上げるための栄養摂取のタイミングがヒトにおいて検討された。摂取する栄養物として10 gタンパク質、8 g糖質、3 g脂質を含むサプリメントを運動直後または数時間後に摂取させて比較したところ、前者が筋タンパク質合成に対して有意に高い効果を示した。一方、必須アミノ酸と炭水化物の混合物を摂取した場合には、運動1時間前の摂取ではタンパク質合成促進の効果は認められなかったが、運動直前および運動終了1時間後の摂取で高い効果が認められた^(5,6)。したがって、運動直前では必須アミノ酸の摂取、運動後ではタンパク質・アミノ酸の速やかな摂取が筋肉づくりに有効であると考えられる。このタンパク質または必須アミノ酸

図1 ■ スクワット運動により発生する遅発性筋肉痛に対するBCAA摂取の効果

数値は平均値 ± SE (n=16). * $p < 0.05$ vs. 同時点のコントロール. (1) 被験者: 運動習慣のない健康な16名の成人女性. 全被験者は、BCAAもしくはデキストリン (コントロール) 摂取の2回の試験 (クロスオーバー試験) に参加. (2) スクワット運動: (20回/1セット) を7セット実施. セット間の休憩は3分間. (3) サプリメント: 運動開始の15分前に5 gのBCAAもしくはデキストリンを約200 mLの水とともに摂取. (4) 筋肉痛の測定: 主観的な痛みの評価法である visual analog scale 法 (VAS法: 10 cmの線上の片方の端を“0” (無痛) としほかの端を“10” (最大の痛み) とし測定時に感じられる痛みの程度をその線上に記入する方法) にて測定. この測定では、座る動作を行ったときの筋肉痛を、運動直前と直後、さらにその2～5日目に測定.

*¹レジスタンストレーニングとは筋肉に負荷をかけるトレーニングの総称であり、ウエイトトレーニングもこれに含まれる。

を含む栄養物の摂取による筋タンパク質合成促進は、ロイシンによる mammalian Target of Rapamycin (mTOR) complex 1 の活性化を介しているとされている⁽⁶⁾。mTORは動物の細胞内シグナル伝達に関与するタンパク質キナーゼの一種である。さらに、高ロイシン配合の必須アミノ酸混合は、特にタンパク質合成促進に効果的であり、インスリン抵抗性（インスリン感受性の低下）の状態にある高齢者の筋タンパク質合成にも有効であることが報告されている⁽⁷⁾。

運動による筋障害とそれに伴う遅発性筋肉痛（運動の翌日以降などに発生する筋肉痛）などを軽減できれば、一般のヒトが運動を習慣化することに役立ち、またアスリートに対してはトレーニング効果を高める可能性が期待される。そこで、筆者らは運動習慣をもたない成人女性被験者に対して、スクワット運動により誘発される遅発性筋肉痛に対するBCAAサプリメントの効果を検討した。その結果、運動直前に約5 g BCAAを1回摂取させただけで、遅発性筋肉痛は有意に軽減することが認められた⁽⁸⁾（図1）。この1回だけのBCAA摂取によりこのような効果が得られることは、サプリメントとしての利便性と有用性を示唆している。BCAAサプリメントによるこの効果の詳細なメカニズムは十分に解明されていないが、主にロイシンによるタンパク質分解抑制作用とタンパク質合成促進作用が関係すると考えられる。さらに、BCAAは肝硬変患者の低アルブミン血症の改善薬として利用されているが、興味深いことに肝硬変患者で頻発する「腓返り（筋痙攣）」の頻度はBCAA摂取によりかなり効果的に減少することが認められている⁽⁸⁾。このBCAAの骨格筋に対する作用は、運動時などの骨格筋にも同様に作用して筋痙攣を抑制する可能性が高い。すなわち、BCAAは筋肉の恒常性維持および機能発揮に有効なアミノ酸と考えられる。

- 1) 宮村実晴：“健康運動指導マニュアル”，文光堂，2008，p. 48.
- 2) J. R. Poortmans: *Medicine and Sport Science*, **27**, 164 (1988).
- 3) Y. Shimomura, H. Kobayashi, K. Mawatari, K. Akita, A. Inaguma, S. Watanabe, G. Bajotto & J. Sato: *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **55**, 288 (2009).
- 4) P. She, Y. Zhou, Z. Zhang, K. Griffin, K. Gowda & C. J. Lynch: *J. Appl. Physiol.*, **108**, 941 (2010).
- 5) 下村吉治：“スポーツと健康の栄養学 [第3版]”，ナッパ，2010，p. 3.
- 6) M. J. Drummond, H. C. Dreyer, C. S. Fry, E. L. Glynn & B. B. Rasmussen: *J. Appl. Physiol.*, **106**, 1374 (2009).
- 7) C. S. Katsanos, H. Kobayashi, M. Sheffield-Moore, A. Aarsland & R. R. Wolfe: *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, **291**, E381 (2006).
- 8) 下村吉治：“サプリメントのほんととウソ”，ナッパ，2013，p. 9.

(下村吉治，北浦靖之，名古屋大学大学院生命農学研究科)

プロフィール

下村 吉治 (Yoshiharu SHIMOMURA)
 <略歴> 1983年名古屋大学大学院医学研究科博士課程修了 (医博) / 同年同大学医学部助手 / 1986～1987年米国インディアナ大学医学部生化学講座に留学 / 1987年筑波大学体育科学系講師 / 1992年名古屋工業大学工学部助教授 / 1997年同教授 / 2008年名古屋大学大学院生命農学研究科教授，現在に至る<研究テーマと抱負> 分岐鎖アミノ酸代謝の調節機構に関する研究，分岐鎖アミノ酸の生理機能に関する研究<趣味> ゴルフなど

北浦 靖之 (Yasuyuki KITaura)
 <略歴> 2002年名古屋大学大学院生命農学研究科博士後期課程修了，博士 (農学) / 同年日本学術振興会特別研究員 (PD) / 2003年 Postdoctoral Research Fellow, Columbia University (USA) / 2006年理化学研究所バイオリソースセンター研究員 / 2009年名古屋大学大学院生命農学研究科助教<研究テーマと抱負> 分岐鎖アミノ酸と中鎖脂肪酸の生理機能の解明<趣味> スポーツ観戦，旅行