

2. 腸内細菌代謝産物のコンディショニングへの応用

枝 伸彦*

●はじめに

アスリートのハイパフォーマンスの発揮のためには、トレーニング後の十分なりカバリーや良好なコンディションの維持が重要である。近年、アスリートのコンディショニングにおいて腸内細菌叢が注目されているが、腸内細菌が産生する代謝産物の有益性についても報告が増えてきている。代表的な腸内細菌の代謝産物として、短鎖脂肪酸や水素ガス、水酸化脂肪酸、ポリアミンなどがあげられるが、特に、アスリートのハイパフォーマンスの発揮やコンディショニングへの応用については、食物繊維などの難消化性糖類を代謝した際に産生される短鎖脂肪酸や水素ガスが期待されている。本稿では、これらの腸内細菌代謝産物による生体への有益な効果について紹介し、腸内細菌代謝産物のアスリートのコンディショニングへの応用の可能性について述べる。

●短鎖脂肪酸とパフォーマンス

短鎖脂肪酸には、酢酸塩、プロピオン酸塩、酪酸塩などがあり、B細胞の成熟、制御性T細胞の分化と増殖、粘膜構造の維持などの作用によって、免疫機能の調節に貢献している¹⁾。近年、短鎖脂肪酸が持久性パフォーマンスにも影響することが報告されている。ラットを対象とした研究では、抗生剤によって腸内細菌を死滅させたラットでは短鎖脂肪酸がほとんど産生されず、通常ラットと比較して疲労困憊までの運動継続時間が有意に低下することが示されている²⁾。また、食物繊維が豊富

な餌を与えられたラットは、食物繊維の乏しい餌を与えられたラットと比較して、短鎖脂肪酸が顕著に産生され、運動継続時間も有意に増加することが報告されている²⁾。トライアスロン選手を対象とした研究では、乳酸菌 (*Lactobacillus plantarum* PS128) を4週間摂取した群において短鎖脂肪酸の産生量が有意に増加するとともに、プラセボ摂取群と比較して運動継続時間の有意な増加も示されている(図1)³⁾。腸内で産生された短鎖脂肪酸の多くは肝臓で脂肪合成の基質として用いられるが、その残りは全身の細胞のエネルギー源として使用される。従って、腸内での短鎖脂肪酸の産生の促進は筋の補助的なエネルギー源の増加につながり、持久性パフォーマンス向上に寄与すると推察されている。

●水素とエネルギー代謝

水素による活性酸素の除去作用は、様々な疾病の予防や治療に効果的であるだけでなく、アスリートにおいても有益性が知られている。サッカー選手を対象とした研究では、水素水を摂取すると、プラセボを摂取した時と比較して急性運動時の乳酸の増加が有意に抑制されることが示されている⁴⁾。また、トライアスロン選手を対象とした暑熱環境下での持久性運動時には、水素水を摂取した方が運動時のエネルギー消費量が有意に少なくなることを報告している⁵⁾。一方で、水素は低分子のため体内の至る所に供給可能な反面、供給後に即時的に体外に排出されてしまうため、摂取のタイミングを調整する必要がある。しかしながら、最近の研究によって腸内細菌に難消化性糖類を代謝させることで水素ガスを4~5時間にわたって多量に産生させる方法が確立されている(図2)⁶⁾。そ

* 獨協医科大学基本医学基盤教育部門 (健康スポーツ科学)
Corresponding author: 枝 伸彦 (nobuhiko.eda@gmail.com)

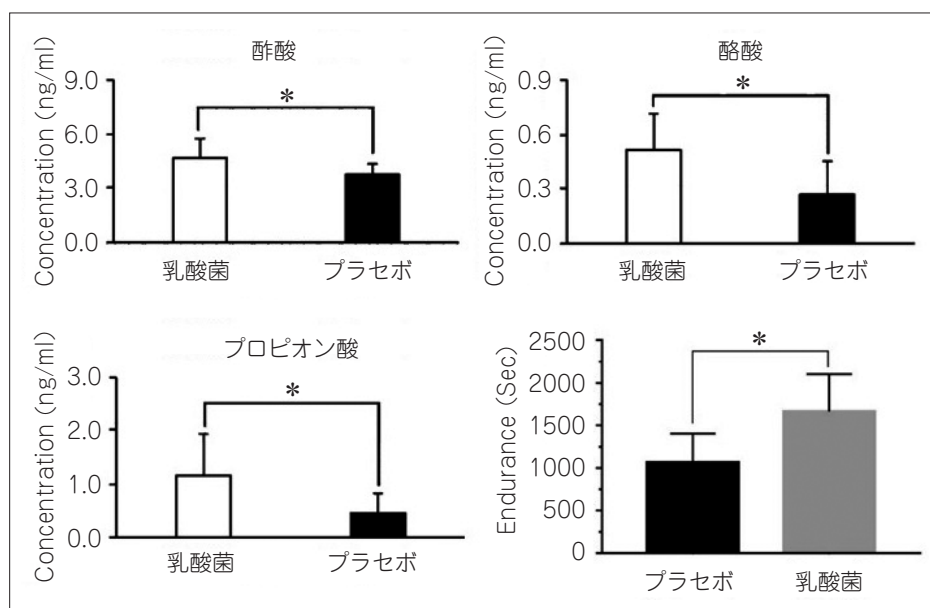


図1 乳酸菌 (*Lactobacillus plantarum* PS128) とプラセボの摂取が糞便中の短鎖脂肪酸量と持久性パフォーマンスに及ぼす影響 (文献3) より改変)

* $p < 0.05$

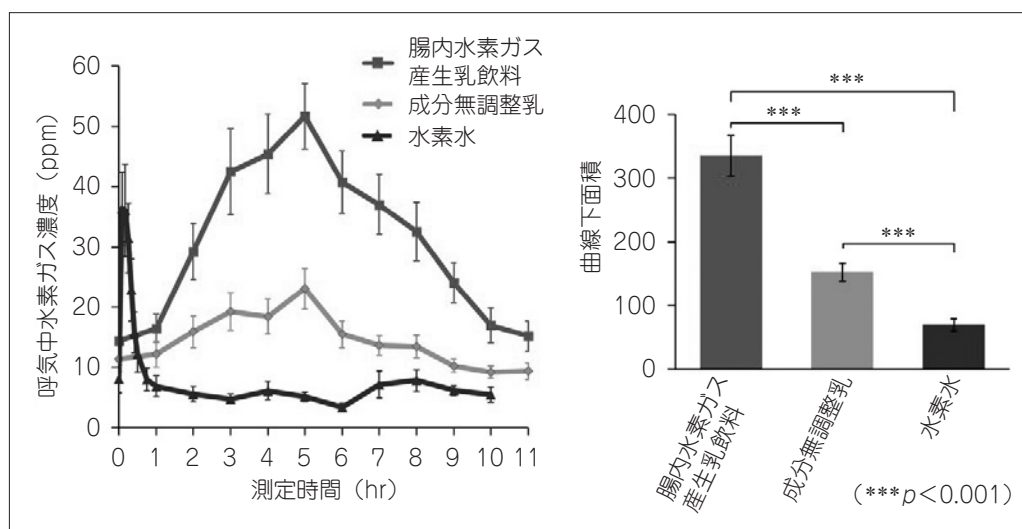


図2 各飲料摂取後の呼気中水素ガス濃度の推移 (文献6) より改変)

ここで、我々の研究グループでは、このような腸内細菌由来の水素ガスが、運動時の酸化ストレス産生やエネルギー代謝に及ぼす影響を検討した⁷⁾。健康成人男性を対象に、75%VO_{2max}の負荷で60分間の自転車ペダリング運動を実施し、運動前に腸内水素ガス産生乳飲料を摂取する試行とプラセボを摂取する試行で比較を行った。その結果、腸内水素ガス産生乳飲料を摂取した方が運動時の血中乳酸濃度や酸化ストレス指標である尿中8-hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG)の増加が抑

制され、それらの変化量は水素ガスの産生量と相関関係を示した(図3)。また、腸内水素ガス産生乳飲料を摂取した方が運動中の脂質酸化量が有意に増大することが示された(図3)。このような水素ガスによる脂質代謝の亢進のメカニズムとしては、PGC-1 α の発現の増加が関与しており⁸⁾、運動時の脂質代謝の亢進は筋の主要なエネルギー源であるグリコーゲンの利用を節約できる可能性が考えられている。

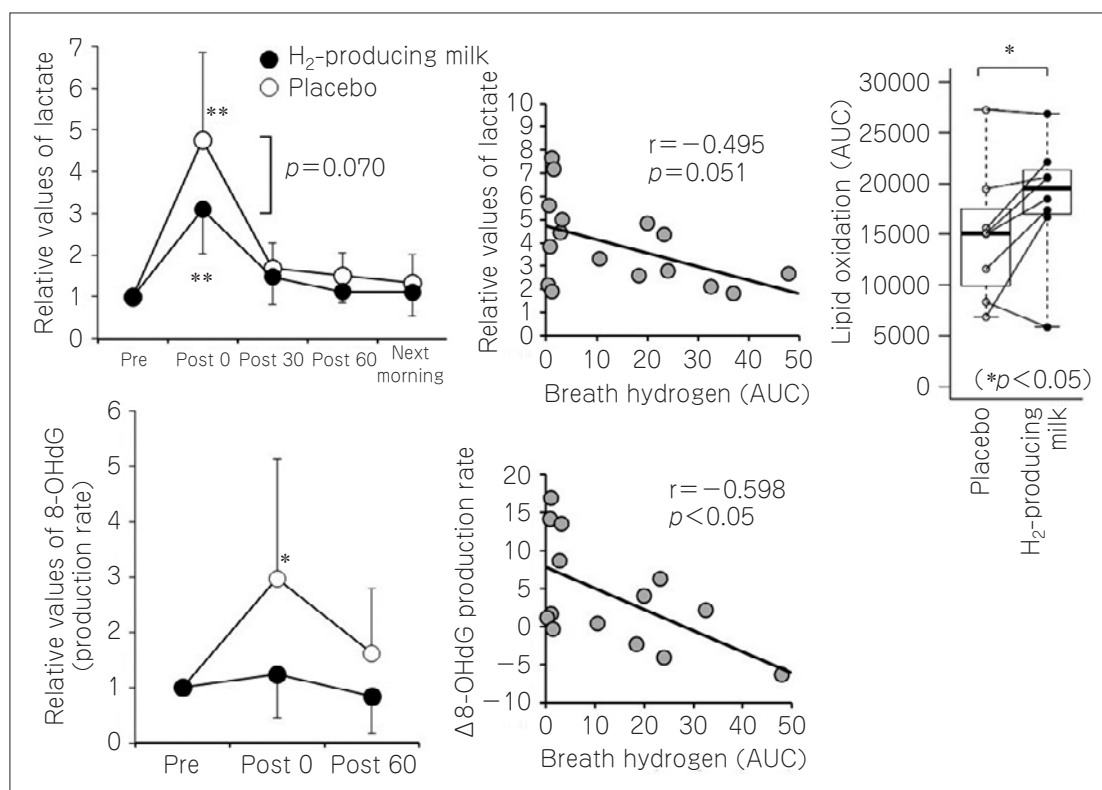


図3 腸内水素ガス産生乳飲料とプラセボの摂取が運動時の血中乳酸、尿中8-OHdG、脂質酸化量に及ぼす影響（文献7）より引用）

** $p < 0.01$ vs Pre, * $p < 0.05$ vs Pre

●まとめ

腸内細菌代謝産物である短鎖脂肪酸の免疫調節機能や、水素ガスの酸化ストレス軽減作用は、アスリートの感染症予防やリカバリーの促進に有効であると考えられる。さらに、短鎖脂肪酸は筋の補助的なエネルギー源となるほか、水素ガスは筋グリコーゲンの節約に寄与する可能性が示されているため、アスリートのハイパフォーマンス発揮にも有益であると期待される。従って、食物繊維などの難消化性糖類や乳酸菌を普段の食事に取り入れることで、これらの腸内細菌代謝産物の恩恵を容易に得ることができ、アスリートのコンディショニングをより効率的に行うことができると考えられる。

文 献

- 1) Lavelle A, Sokol H. Gut microbiota-derived metabolites as key actors in inflammatory bowel disease. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2020; 17(4): 223-237 doi:10.1038/s41575-019-0258-z.
- 2) Okamoto T, Morino K, Ugi S, et al. Microbiome po-

tentiates endurance exercise through intestinal acetate production. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2019; 316(5): E956-E966 doi: 10.1152/ajpendo.00510.2018.

- 3) Huang WC, Pan CH, Wei CC, et al. *Lactobacillus plantarum* PS128 Improves Physiological Adaptation and Performance in Triathletes through Gut Microbiota Modulation. *Nutrients*. 2020; 12(8): 2315 doi:10.3390/nu12082315.
- 4) Aoki K, Nakao A, Adachi T, et al. Pilot study: Effects of drinking hydrogen-rich water on muscle fatigue caused by acute exercise in elite athletes. *Med Gas Res*. 2012; 2: 12 doi: 10.1186/2045-9912-2-12.
- 5) Ito H, Kabayama S, Goto K. Effects of electrolyzed hydrogen water ingestion during endurance exercise in a heated environment on body fluid balance and exercise performance. *Temperature (Austin)*. 2020; 7(3): 290-299 doi: 10.1080/23328940.2020.1742056.
- 6) Matsumoto M, Fujita A, Yamashita A, et al. Effects of functional milk containing galactooligosaccha-

- ride, maltitol, and glucomannan on the production of hydrogen gas in the human intestine. *J Functional Food*. 2017; 35: 13-23 doi: 10.1016/j.jff.2017.05.013.
- 7) Eda N, Tsuno S, Nakamura N, et al. Effects of Intestinal Bacterial Hydrogen Gas Production on Muscle Recovery following Intense Exercise in Adult Men: A Pilot Study. *Nutrients*. 2022; 14(22): 4875 doi: 10.3390/nu14224875.
- 8) Kamimura N, Ichimiya H, Iuchi K, et al. Molecular hydrogen stimulates the gene expression of transcriptional coactivator PGC-1 α to enhance fatty acid metabolism. *NPJ Aging Mech Dis*. 2016; 2: 16008 doi: 10.1038/npjamd.2016.8.

2. 腸内細菌代謝産物のコンディショニングへの応用