

大学生男子陸上長距離走選手における食物繊維の増量と短鎖脂肪酸

Possible effects of prebiotic fiber supplement on the concentration of SCFAs

伊藤 拳^{****,*****}, 大湊 八重子^{*.*****}, 右代 啓祐^{**}
小川 博之^{***}, 羽田 克彦^{****,*****.*****.†}, 金子 雅希^{*.*****.†}

Susumu ITO^{****,*****}, Yaeko OMINATO^{*.*****}, Keisuke USHIRO^{**}
Hiroyuki OGAWA^{***}, Katsuhiko HATA^{****,*****.*****.†} and Masaki KANEKO^{*.*****.†}

I. はじめに

アスリートの日々の体調管理や競技力アップのためには、3大栄養素（たんぱく質、脂質、糖質）、ビタミン・ミネラルなどの栄養素を過不足なく毎日摂取する必要がある。そしてそれが十分に精神力やパフォーマンスに反映されていくために、まず栄養素を吸収する場である腸内環境を整えることが重要である。しかし、駅伝などに取り組む長距離ランナーは、精神的ストレスや長く激しい練習時間の積み重ねで、下痢や血便、腹痛など消化器系の異常が起こることがしばしば問題となる^{1,2)}。

ヒトの腸内には、1000種類以上の細菌が棲むと言われ³⁾、その腸内細菌叢のバランスや多様性がヒトの健康と疾患（消化器疾患、代謝疾患、免疫疾患など）と関連することが知られている。また、脳でストレスを感じると下痢をすることは周知の事実であるが、古くから脳腸相関（または腸脳相関）と呼び、腸から脳へ、脳から腸への情報伝達が双方向に影響し合うことのメカニズムが日々研究されている。

腸内細菌叢のバランスに影響を与える上位の因子として食習慣が考えられており、その中でも食物繊維の働きが注目されている。ある種の腸内細菌は食物繊維を餌として分解し、短鎖脂肪酸（主に酢酸、n-酪酸、プロピオン酸）を産生する。この短鎖脂肪酸は生体のエネルギー源であり、排便の促進、腸内pHを下げることで病原菌の繁殖抑制、免疫システム向上効果、ミネラルや水の吸収促進効果などが知られている⁴⁾。腸内微生物に発酵される食物繊維として水溶性食物繊維があるが、発酵されない不溶性食物繊維を投与しても腸内細菌叢に間接的に影響を与えることが報告されている¹⁵⁾。健康を維持するため最適な腸内細菌叢の多様性を保った上で、ヒトにとって有用な細菌を如何にして繁栄させるか、プロバイオティクス（腸内細菌叢のバランスを改善することによって宿主の健康に良い影響を与える生きた微生物。Fuller R, 1989）、プレバイオティクス、シンバイオティクスの面から研究が盛んに行われている^{5,6)}。食物繊維は各国で定義が異なることもあり、日本食物繊維学会からは食物繊維だけではないルミナ

* 国士館大学体育研究所 (The Institute of Physical Education, Kokushikan University)

** 国士館大学体育学部体育学科 (Department of Sport Science, Kokushikan University)

*** 国士館大学陸上競技部駅伝助監督 (The Track and Field Club, Kokushikan University)

**** 国士館大学救急システム研究科 (Department of Emergency Medical System, Kokushikan University)

***** 国士館大学体育学部スポーツ医科学科 (Department of Sport and Medical Science, Kokushikan University)

***** 数理医学研究センター (Department of Neuroscience, Research Center for Mathematical Medicine)

***** KYB メディカルサービス (KYB Medical Service Co., Ltd.)

† Corresponding authors

コイドという新しい概念も提唱されている。

また、適度な運動習慣でも短鎖脂肪酸（酪酸）が増えるなど腸内細菌叢が変化することが知られており⁷⁾、今まで糖質やたんぱく質、他の栄養素に注目が集まっていたアスリートにおいても、腸を整えることへの期待がより一層高まっている。2019年にはマラソンアスリートにおける *Veillonella* 菌の存在について報告された⁸⁾。この *Veillonella* 菌は、運動によって産生された乳酸を炭素源として代謝し、短鎖脂肪酸（酢酸、プロピオン酸）を産生する。このプロピオン酸を投与したマウスにおいて有意にトレッドミルのパフォーマンスが向上したことが同論文にて報告されている。アスリートの短鎖脂肪酸に関しては、座位の多い一般人に比し、プロラグビー選手で腸内細菌叢の種類と働きの多様性と短鎖脂肪酸（酢酸、n-酪酸、プロピオン酸）が多いことが報告されている⁹⁾。腸内細菌叢が宿主ミトコンドリアで産生される ROS（活性酸素種）に関わっているため、腸内細菌叢を研究することは持久系アスリートにとって有用との報告もある¹⁰⁾。アスリートに特有の運動習慣や食習慣が腸内細菌叢に影響を及ぼすのか、腸内細菌がアスリートたらしめるのか、議論がされているところであるが、本試験被験者6名にアンケートを行ったところ、20kmを超える長距離走パフォーマンスにおいて、腸が整っていることは極めて重要な因子であると全員が答えている。

2019年には、生活習慣病をはじめとする疾患を予防するために、より適切な量の食物繊維の摂取が勧められる（25～29g/日推奨。30g/日以上はより推奨される）という報告がなされた¹²⁾。それに対し、日本人の食物繊維摂取量はまだまだ少なく、平成30年国民健康・栄養調査によれば、本研究被験者の年齢層（20～29歳）における食物繊維摂取量の1人1日当たり平均は12.9gであり、1日30gを達成することは到底難しい。腹部膨満感を訴えやすい長距離アスリートにとって、30g/日という食物繊維の量が適当かという課題も残るが、その論文において推奨される下限の

25g/日の食物繊維を達成するためには、日頃の食事で摂取しうる食物繊維摂取量に約12g上乗せして摂る必要がある。

被験者である大学生男子陸上長距離選手は、寮生活で2度の食事が提供されている。競技のために日頃から体重を厳格に管理し、すでに自分自身にとってのエネルギー摂取量や食事全体の量を意識していることもあり、その分の食物繊維を一気に増やすことは容易ではない。また、昼食はコンビニ食、外食で補い、合宿生活の多い男子大学生にとって、それを達成する環境を獲得すること自体難しいことがある。現役のアスリートの食事内容に直接言及することは、アスリート本人の意思が最も尊重されるため実際に介入することは難しく、普段の食事での食物繊維増量や、食物繊維サプリメント摂取によるアスリートの腸内細菌叢への変化について報告が少ないのが現状である。

本研究の目的は、大学生男子陸上長距離選手の腸内細菌叢の好ましい変化への食物繊維加工食品の有用性を検討するため、食物繊維量として1日25g以上の摂取を目指して1日12.6gを追加摂取させ、その便量や性状、練習での体調、便中の短鎖脂肪酸の量を指標として、健康管理およびパフォーマンスの向上に役立てることである。

II. 方 法

1. 研究対象

被験者は、大学生陸上駅伝男子長距離選手6名（年齢 21.0 ± 0.89 歳、身 168.5 ± 6.16 cm、体重 54.3 ± 4.63 kg、平均 \pm 標準偏差）、日常的に週6日、1日平均25～30km、月間走行距離約600km～800kmの練習をする者である。被験者の選定条件は、①持病がない者、②非喫煙者、③期間中にバリウム・内視鏡検診を受けない者、④期間中、暴飲暴食をしない、⑤試験直前の1か月（control期間）および期間中、薬品（下剤、整腸剤、抗生物質）の摂取をしない、の5条件とし、そのすべてを満たすと確約できる者を採用した。試験前には、本研究

の目的、調査・試験方法、リスクおよび被験者の権利や個人情報の取り扱い等について十分に説明を行った上で、被験者より研究参加への同意書を得た。なお、本試験は国士舘大学学術研究倫理委員会の承認を得て実施した。調査期間中は、その他の食生活、練習などについて、普段と変化の少ないように過ごしてもらった。

2. 研究デザインおよび試験スケジュール

本試験は6名を無作為に3名ずつ2グループに分けたクロスオーバーデザインにて実施した。試験期間は、コントロール期4週間、摂取期間2週間、観察期間2週間の計8週間とし、試験対象者には、摂取期間に食物繊維加工品を食物繊維量にして1日12.4g摂取させた。AグループはBグループとクロスオーバーで実施した。なお、本試験が第97回東京箱根間往復大学駅伝競走に期日が近く、被験者への影響を最小限に抑えるため、観察期間群にはプラセボは投与せず、栄養補助食品ビタミンE（総トコフェロール量270mg/日、株式会社分子栄養学研究所）を摂取期間、観察期間の4週間に渡り摂取させた（図1参照）。

3. 試験時期

大学生陸上長距離選手の練習場は主に屋外であることから、激しい気候変動によるストレスを避けるため、関東地域で比較的天候が安定していると考えられる2020年10月1日～11月28日の8週間とした。

4. 被験食品

食物繊維加工食品（主成分セルロース、サイリウムハスク、グァーガム分解物、フェヌグreek種子エキス。株式会社分子栄養学研究所）を1日12.4g（水溶性食物繊維として6.4g（サイリウムハスク、グァーガム分解物、フェヌグreek種子エキス）、不溶性食物繊維として6.0g）を摂取させた。その内訳は、朝3.1g、昼3.1g、夕6.2g、いずれも食前の摂取とした。なお、この食物繊維加工品には有孢子性乳酸菌（*Bacillus coagulans*）も含まれており、本試験では食物繊維摂取期間に1日20億個摂取している。

5. 短鎖脂肪酸等の有機酸の調査方法

採取した朝いちばんの便を、採取直後に家庭用冷凍庫（-18℃）で冷凍し、採取から2週間以内に高速液体クロマトグラフィーによって9物質（コハク酸、乳酸、ギ酸、酢酸、プロピオン酸、iso-酪酸、n-酪酸、iso-吉草酸、n-吉草酸）を測定した。採便は一人につき3回（①実施直前、②摂取期間14日目（予備日として13日目）、③観察期間14日目（予備日として13日目））実施した（図1参照）。

6. 便通および便性の調査方法

便通および便性については、4週間分の試験記録用紙を各被験者に配布し、毎日日記方式で記録した。毎日の排便状態の指標として「Bristol Stool Scale（便形状スケール）」（過敏性腸症候群

(week)	1	2	3	4	5	6	7	8
Group-A (n=3)	control	control	control	control	食物繊維12.4g/日 &Vitam inE 270mg/ 日 adm inistration	食物繊維12.4g/日 &Vitam inE 270mg/ 日 adm inistration	Vitam inE 270mg/日 adm inistration	Vitam inE 270mg/日 adm inistration
Group-B (n=3)	control	control	control	control	Vitam inE 270mg/日 adm inistration	Vitam inE 270mg/日 adm inistration	食物繊維12.4g/日 &Vitam inE 270mg/ 日 adm inistration	食物繊維12.4g/日 & Vitam inE 270mg/日 adm inistration
				↑			↑	
便検査				○			○	○

図1 Protocol of the experiment

診断の一部として用いられる指標)を用い、形状と排便量の2項目を記録した。形状は「コロコロ状」「カチカチ状」「バナナ状」「半練状」「泥状」「水状」の6種類から、便量は「片手1杯より少ない」「片手1杯以上」「両手1杯以上」から選択させた。

7. 食事内容、ストレス状況についての調査方法

過度なストレスによっても腸内細菌叢は容易にバランスを変えるため、日々の練習強度、ストレス度合の変化についても毎日記録させた。採便に直接関連する食事は、採便前日に摂取したメニューを各1日分記入させた。日ごろの食生活における食物繊維摂取量については、被験者それぞれに平均的な連続した3日間の食事を写真で記録してもらい(携帯デジタル画像を用いた写真撮影法による食事調査方法¹⁶⁾)、栄養計算ソフト(栄養価計算 ヘルシーメーカー432 R2020)を用いて計算した。

Ⅲ. 今後の予定および考察

短鎖脂肪酸結果を待ち、統計解析にはMicrosoft® Excel2019、JMP15PROを用い、解析次第報告する予定である。なお、短鎖脂肪酸は、腸管粘膜から全産生量の95%が吸収され、その吸収はpHや濃度等に依存するといわれる。そのため、試験食品の効果を糞便中の短鎖脂肪酸のみで測定するだけでは、不十分との意見もある^{13,14)}。そこで、単に糞便中の短鎖脂肪酸の量が食物繊維加工食品によって変化するかどうかだけでなく、本人の自覚的体調の変化にも注目して考察を行う予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、国士舘大学ウエルネス・リサーチセンター所属 田中クララ先生には、被験者募集の際大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Simons SM, et al : Curr Sports Med Rep. 2004 ; 3 : 112-6.
- 2) Nuria Mash, et al : J Sports Health Sci. 2017 Jun ; 6 (2) : 179-197.
- 3) José E Belizário, et al : Front Microbiol. 2015 Oct 6 ; 6 : 1050.
- 4) Bedford A., et al : Anim Nutr 2018 ; 4 : 151-159
- 5) Jager, R., et al : J Int Soc Sports Nutr. 16 : 62, 2019
- 6) Gibson GR, et al : Nat Rev Gastroenterol Hepatol. 14 : 491-502, 2017
- 7) Allen, J. M. et al : Med Sci Sports Exerc. 50 : 747-757. 2018.
- 8) Scheiman J, et al : Nature Medicine. 25 (7), 1104-1109, 2019.
- 9) Barton W, et al : Gut. 67 : 625-633, 2018
- 10) Allison Clark, et al : Front Physiol. ; 8 : 319. 2017
- 11) Mahesh S Desai, et al : Cell. 167 (5) : 1339-1353. 2016
- 12) Andrew Reynolds, et al., : THE LANCET, VoLume 393, pp434-445, 2019
- 13) Engelhaedt W.v. : Cambridge University Press. Cambridge, UK, pp149-170, 1995
- 14) 塚原隆充 / 腸内細菌-宿主のクロストークと食事要因 / 建帛社 / pp97-119 / 2019
- 15) Chen T, et al : BioMed Research International. 2019
- 16) 鈴木亜矢子他 / 写真法による食事調査の観察者間の一致制および妥当性の検討 / 日本公衛誌第49巻、第8号 / 平成14年