

軽度血管内皮機能異常者における 湿熱処理玄米米粉米菓単回摂取による血流依存性血管拡張反応の変化

渡辺 賢一^{1*}・平山 匡男²・中村 澄子³・大坪 研一³・本間 紀之⁴・藤井 義文⁵
室橋 直人⁶・ソマズンダラム アムルガム⁷・鈴木 浩史⁷・曾根 博仁⁷・菅原 正義⁸

¹ 新潟大学・大学院医歯学総合研究科・生活習慣病予防検査医学

² (株) 新潟バイオリサーチパーク

³ 新潟薬科大学・応用生命科学部

⁴ 新潟県農業総合研究所・食品研究センター・穀類食品科

⁵ (株) 新潟製粉

⁶ (株) ブルボン・健康科学研究所

⁷ 新潟大学・医学部・血液内分泌代謝学

⁸ 長岡工業高等専門学校

Effects of Single-intake of Rice Cracker Prepared from Heat-moisture-treated Brown Rice Flour on Vasodilator Response in Adults with Mild Endothelial Dysfunction

Kenichi WATANABE^{1*}, Masao HIRAYAMA², Sumiko NAKAMURA³, Ken'ichi OHTSUBO³, Noriyuki HOMMA⁴,
Yoshifumi FUJII⁵, Naoto MUROHASHI⁶, Somasundaram AMURUGAM⁷, Hiroshi SUZUKI⁷,
Hirohito SONE⁷ and Masayoshi SUGAWARA⁸

¹ Department of Laboratory Medicine and Clinical Epidemiology for Prevention of Noncommunicable Diseases,
Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences

² Niigata Bio-Research Park Co., Ltd.

³ Faculty of Applied Life Sciences, Niigata University of Pharmacy and Applied Life Sciences

⁴ Cereal Food Section, Niigata Agricultural Research Institute Food Research Center

⁵ Niigata-Seifun Co., Ltd.

⁶ Bourbon Institutes of Health, Bourbon Corporation

⁷ Department of Hematology, Endocrinology and Metabolism, Niigata University Faculty of Medicine

⁸ National Institute of Technology, Nagaoka College

要 旨

動脈硬化症を予防しうる食品の出現が期待されている。動脈硬化の早期発見・予防に血流依存性血管拡張反応 (Flow-mediated dilation, FMD) 検査があり、フェルラ酸を含む食事性ポリフェノール類による FMD 値の改善効果が報告されている。高アミロース米“越のかおり”の

Reprint requests to: Kenichi WATANABE
Department of Laboratory Medicine and
Clinical Epidemiology for Prevention of
Noncommunicable Diseases, Niigata University
Graduate School of Medical and Dental Sciences,
1-757 Asahimachi-dori, Chuo-ku,
Niigata 951-8510, Japan.

別刷請求先: 〒951-8510 新潟市中央区旭町通1-757
新潟大学大学院医歯学総合研究科
生活習慣病予防検査医学

渡辺 賢一

湿熱処理 (0.4MPa・144°C・10分間) 玄米米粉米菓 (60gに総ポリフェノール量 48 mg・総フェルラ酸量 24.6 mg 含有) を、FMD 軽度異常者 6名に単回摂取していただき、摂取前・摂取1時間後・摂取2時間後のFMD値を経時的に測定するオープン試験を実施した。FMD測定値は、摂取前 (3.05 ± 0.77 %) から摂取1時間後に最大値 (4.23 ± 1.07 %) になり、2時間後には減弱 (2.98 ± 1.34 %) したが、Dunnett 多重検定法で比較すると統計的な差異を示さなかった ($P = 0.137$)。1時間後のFMD変化量 ($\Delta 1.18 \pm 0.99\%$) は増加傾向 ($P = 0.053$) を示した。本試験の結果は、新しい健康機能を付与した米菓開発の可能性を示唆するものと考えられた。

Abstract

Atherosclerosis (which leads to cardiovascular diseases) can be regulated by diet. Vascular endothelial function, which is influenced by oxidative stress, is a potent surrogate marker of atherosclerosis and cardiovascular mortality. Dietary polyphenols involving ferulic acid are known to improve flow-mediated dilation (FMD) values. We performed an open label intervention study, investigating time-course effects of single-intake of rice cracker (60 g, containing 48 mg of total polyphenols and 24.6 mg of ferulic acid equivalent) prepared from heat-moisture-treated (0.4MPa/144°C・10 min) brown rice flour (high-amylose rice, Koshinokaori) on FMD response at baseline, 1 hour and 2 hours after intake in adults with mild endothelial dysfunction (n=6).

Observed FMD values at 1 hour after intake were found to reach maximum (4.23 ± 1.07 %) being not significant from the baseline (3.05 ± 0.77 %, $P = 0.137$) by Dunnett's multiple comparison test, but, the delta-FMD showed a tendency toward increase ($\Delta 1.18 \pm 0.99\%$, $P = 0.053$). These results are considered to suggest the possibility for developing rice crackers with a new health function.

Key words: Atherosclerosis; heat-moisture-treated brown rice flour; rice cracker; FMD (Flow-mediated dilation); polyphenols.

はじめに

厚生労働省「平成29年人口動態統計」による日本人の死因の統計を見ると、1位 悪性新生物(がん) 28%、2位 心疾患(心臓病) 15%、4位 脳血管疾患(脳卒中) 8%となっている。すなわち、血管に関わる心疾患と脳血管疾患による死因率は約1/4となる。この背景には、高血圧・糖尿病・脂質代謝異常・肥満などの生活習慣病と密接な関連がある動脈硬化がある。

動脈硬化の測定は、動脈硬化がある程度進行した段階で評価する機会が多いが、より早期に予防的に測定することが望まれている。動脈硬化を早期に評価する方法のひとつとして、超音波装置を使い「血管内皮機能」を調べる「血流依存性血管

拡張反応検査 (Flow-mediated dilation, FMD) がある¹⁾。

動脈硬化の進行に食事内容が強く関係しており、逆に動脈硬化の進行を抑えるのも食生活・食事内容が基本になることはよく知られている²⁾。従って、食事成分により動脈硬化を抑制しようとする研究も活発に行われており、早期の動脈硬化の予測となるFMD値を指標とする研究報告も多くなっている。その一つの標的に食事性ポリフェノール成分群がある。ポリフェノールは、同一分子内に複数のフェノール性水酸基をもつ植物成分で、基本骨格構造だけでも10群以上に分類される多様な化学構造を持つ成分の総称である。これらの中でも、フラバノール類(図1)のFMD改善作用研究が嚆矢となっており、カカオなどの

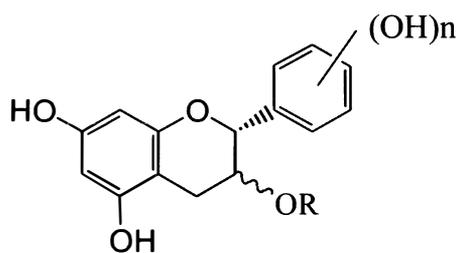


図1 フラバノール類の骨格構造

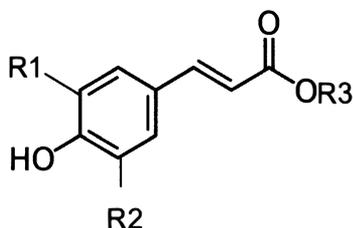
ポリフェノールは、同一分子内に複数のフェノール性水酸基をもつ植物成分で、基本骨格構造だけでも10群以上に分類される多様な化学構造を持つ成分の総称である。カカオなどは、フラバノールを基本骨格とする。

フラボノール成分の摂取がFMD改善作用に及ぼす影響を評価したメタアナリシスが報告されている³⁾。

フラボノール成分の研究で示されるように、摂取した成分が臨床的に有効なFMD改善作用を示すためには、(1)作用成分の示す血管拡張作用の比活性が強いこと(2)作用成分の生体利用性が

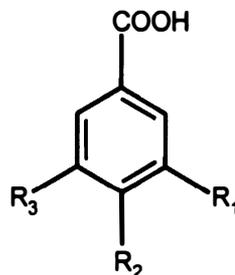
高いことが必須となる。標的関与成分の構造が異なれば、最高血中濃度(Cmax)や最高血中濃度到達時間(Tmax)が異なるため、血管拡張の発現様式も異なってくる⁴⁾⁶⁾。また、構造が同じであっても、植物の起源や品種・含有量・収穫後の加工工程・調理方法などによって、含有量に影響が及ぶことが明らかになっている⁷⁾。

玄米も多様な構造群のポリフェノール類が著量含まれており、品種や加工方法・調理方法によって、そのプロファイルも異なる。主要な骨格構造はヒドロキシ桂皮酸類とヒドロキシ安息香酸類であり、置換基の異なる成分群が含まれている(図2)。ヒドロキシ桂皮酸類の構成成分であるフェルラ酸は玄米中に含まれる代表的なポリフェノール成分であり、遊離型とγ-オリザノール・feruloylsucrose・feruloylsinapoylsucroseなどの結合型が存在する⁸⁾⁹⁾。これらのポリフェノール成分が含まれているにもかかわらず、米飯摂取後のFMD値への影響に関する研究は少ない。私達が調べた限りでは、ジャポニカ米の玄米ご飯



ヒドロキシ桂皮酸類

名称	R1	R2	R3
p-クマール酸	H	H	H
カフェ酸	HO	H	H
フェルラ酸	CH3O	H	H
シナピン酸	CH3O	CH3O	H
γ-オリザノール	CH3O	H	sterol
クロロゲン酸	HO	H	キナ酸



ヒドロキシ安息香酸類

名称	R1	R2	R3
プロトカテキュ酸	H	HO	HO
ヒドロキシ安息香酸	H	HO	H
バニリン酸	H	HO	CH3O
シリング酸	CH3O	HO	CH3O

図2 玄米に含まれるヒドロキシ桂皮酸類およびヒドロキシ安息香酸類の構成成分

玄米に含まれる主要なポリフェノールの骨格構造はヒドロキシ桂皮酸類とヒドロキシ安息香酸類であり、置換基の異なる成分群が含まれている。ヒドロキシ桂皮酸類の成分に該当するフェルラ酸は玄米中に含まれる代表的なポリフェノール成分であり、遊離型とγ-オリザノールなどを含む結合型が存在する。

(エネルギー構成比, 44.4%) を含む食事を摂取した時, 1時間後のFMD値が向上した結果が唯一報告されているのみである¹⁰⁾。しかし, 米飯や米加工品のみの摂取が及ぼすFMD値の影響は, 摂取後の経時的変化や米の品種・加工工程・調理方法の違いが及ぼす影響に関する研究も報告されていない。

米菓は, 米粒や米粉から製造される日本の伝統的食品である。日本人に極めて馴染み深いためその生産量も大きく, その中の50%以上を占める新潟県にとっては極めて重要な産業となっている¹¹⁾。生産性や嗜好性等の技術改良を通じて市場は拡大してきているが, 近年, 食後血糖値に配慮する米菓など健康志向研究にも関心が高まっている¹²⁾。

本試験は, 米および米加工品の新しい健康機能性を探索する研究の一環として, 高アミロース米“越のかおり”の湿熱処理玄米米粉から調製した米菓(素焼き薄焼煎餅)をFMD値が低い¹³⁾成人が摂取した後のFMD値の経時的変化を検討して, 最大変化量とその到達時間を確認することを目的とした。

試験方法

1. 被験者

被験者は, (株)新潟バイオリサーチパークが有償で一般公募した試験参加希望者12名について, 試験実施20日前に以下のスクリーニング検査を実施した。身体指数測定[身長・体重・Body Mass Index (BMI)・体脂肪率・血圧], 血液学的・血液生化学的検査[白血球数・赤血球数・ヘモグロビン(Hb)・ヘマトクリット・血小板・アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ(AST)・アラニンアミノトランスフェラーゼ(ALT)・γ-グルタミントランスフェラーゼ(γ-GTP)・高密度リポタンパク質コレステロール(HDL-C)・低密度リポタンパク質コレステロール(LDL-C)・中性脂肪(TG)・尿素窒素(BUN)・クレアチニン・空腹時血糖], 空腹時FMD測定および問診を行った。身体指数測定および血液学的・血

液生化学的検査, 空腹時FMD測定は(社)新潟県労働衛生医学協会検査部(新潟市)が実施した。これらの結果から, 以下の選択基準を満たし・除外基準対象者に抵触しないと判断され・本試験への参加について書面で同意を得た, 被験者6名(男性3名・女性3名)を選定し, 試験食を摂取していただくオープン試験を実施した。尚, 事前検査も含めて試験日前夜は, 次のことを遵守するよう指導した(1)発汗を伴うような激しい運動を控えて, 20時以降は水及び常備薬以外の飲食物を摂取しないこと。(2)検査日当日の朝は絶食とし, 飲水(200 mL程度)及び常備薬は可とした。

(1) 選択基準

- 1) 空腹時FMD値が低めの者。
- 2) 事前検査の検査結果にて試験責任医師が安全に試験に参加が可能と判断した者。

(2) 除外基準

- 1) 糖尿病で治療・投薬を受けている者。
- 2) 重篤な脳血管疾患・心疾患・腎疾患・消化器疾患や届出が必要な感染症, などに罹患している者。
- 3) 胃切除・胃腸縫合術・腸管切除など消化器系に大きな手術歴のある者。
- 4) 妊娠中または妊娠している可能性のある女性・および授乳中の女性。
- 5) 他の臨床試験に現在参加しているか, あるいは1カ月以内に参加していた者。
- 6) その他, 試験責任医師が不適格であると判断した者。

2. 試験食

- (1) 高アミロース米“越のかおり”の湿熱処理玄米米粉から調製した米菓(素焼き薄焼煎餅)

湿熱処理玄米米粉は, (株)新潟製粉のプラントにて調整した。簡単に記述すると, 初期水分含有量12%の越のかおり玄米(2Kg)をステンレスバスケッに入れて, 湿熱処理装置(内容積15L; 貫流型ボイラー, Miura Co. Ltd.)にセットした。その後, 水蒸気圧0.4MPaで10分間湿熱処理し

た後、常温水に浸漬し、遠心分離機で附着水を脱水して、気流粉碎機（PG-1, Nara Machinery Co. Ltd.）にて平均粒径 100 ミクロン以下の米粉に調整した。

米菓は、株式会社ブルボンが作成した。上記 0.4MPa・144℃・10 分間で湿熱処理した越のかおり玄米米粉（4000g）と飲料水（2500g）を均一に混合して練った生地をシート状に圧延（厚さ約 1.3mm）して、円盤状に型抜きした¹⁴⁾。乾燥（70℃・1.5 時間）した後、焙焼炉（240～270℃・2.5 分間）で素焼きして調製した。焙焼後の重量は約 0.7g/枚。冷却後、米菓（30g）を包装袋にいれて密閉し、試験に供するまで常温保管した。

(2) 摂取量と摂取方法

検査来所日に摂取前の FMD 測定を行った後、試験食（60g）を一口 15～40 回程度噛んで、10 分間で摂取した。摂取時の飲用水は、350mL に統一した。

3. 試験デザイン

本試験は、被験者 6 名が試験食を摂取して、摂取前・1 時間後・2 時間後の FMD 値変動を検証・解析するオープン試験とした。試験はヘルシンキ宣言および人を対象とする医学系研究に関する倫理指針（平成 27 年 4 月 1 日より施行/文部科学省・厚生労働省）を遵守し、新潟大学・人を対象とする研究等倫理審査委員会（承認番号 2018-0225）および NBRC 研究倫理審査委員会の承認（承認番号 IRB2018-BPD-003）を経て、医師の監督下・十分な配慮のもとに実施した。本試験参加者には、試験内容及び試験方法などについて事前に十分な説明を行い、文書による同意を得た。また、本試験は、UMIN 臨床試験登録システムに登録した（UMIN 番号 000034897 0000）。

主要評価項目は試験食摂取前・摂取後 1 時間・摂取後 2 時間の FMD 経時的変化の検証である。

4. 試験方法

被験者 6 名に対して、試験食摂取前に FMD 測定を行った後、試験食を摂取して 1 時間後および

2 時間後に FMD の測定を行い、FMD 値の変化量を算出・解析した。

5. 統計解析

数値は、平均値 ± 標準偏差（SD）で示した。FMD の経時的変化の解析は、食後 1 時間値および食後 2 時間値それぞれを摂取前値と比較する Dunnett 法で多重検定した。統計解析には、R および R コマンダーの機能を拡張した EZR（自治医科大学附属さいたま医療センター、埼玉）を用いて行った。有意水準は危険率 5% 未満（ $P < 0.05$ ）を有意な差、10% 未満（ $P < 0.1$ ）を傾向と判定した。

試験結果

1. 被験者、試験デザイン

試験食摂取中および試験終了後に、試験食摂取に起因すると思われる有害事象は確認されなかった。被験者 6 名の背景因子を表 1 に示した。被験者の空腹時 FMD の平均値は $2.4 \pm 1.0\%$ 、その範囲は 1.4～3.6% であった。全測定値の中で、正常域から外れる値が 3 測定値（収縮期血圧 140 mmHg；中性脂肪 184 mg/dL；LDL-コレステロール 142 mg/dL）存在した。

2. 試験食

原料米粉は 0.4MPa・144℃・10 分間の湿熱処理条件下で、(株)新潟製粉が調製した。原料米粉と(株)ブルボンが調製した試験食米菓を分析（日本食品分析センター、東京）し、摂取量（60g）当たりの栄養成分量・非栄養成分を表 2 に示した。米粉から米菓に調理する工程において、水分含量が減少（7.6g から 1.1g）している影響を考慮すると、米菓と原料米粉との間に栄養成分の変化は殆ど無いと判断された。但し、非栄養成分中の遊離 γ -アミノ酪酸量と L-ORAC 値が、米菓ではほぼ半減していた。総フェルラ酸・遊離型フェルラ酸・総ポリフェノール・ γ -オリザノールのポリフェノール関連成分の含有量については、米菓と原料米粉との間に明確な変化は認められなかつ

表1 本試験の被験者背景 (スクリーニング検査時)

項目	被験者 n=6 (男3・女3)		
	平均値	SD	範囲
年齢 (歳)	62.0	6.4	51 - 68
身長 (cm)	158.8	5.4	153.6 - 167.9
体重 (kg)	59.2	8.4	43.5 - 65.0
Body mass index (kg/m ²)	23.4	2.9	17.9 - 24.6
体脂肪率 (%)	27.9	8.3	21.5 - 39.0
収縮期血圧 (mmHg)	122.2	13.6	104 - 140
拡張期血圧 (mmHg)	75.2	9.0	63 - 84
中性脂肪 (mg/dL)	88.7	52.2	26 - 184
LDL-コレステロール (mg/dL)	123.7	19.7	88 - 142
HDL-コレステロール (mg/dL)	67.7	15.5	47 - 85
尿素窒素 (mg/dL)	12.3	2.1	10 - 15
クレアチニン (mg/dL)	0.7	0.2	0.55 - 1.02
AST (U/L)	22.2	5.1	18 - 30
ALT (U/L)	17.7	3.4	15 - 22
γ-GTP (U/L)	37.7	33.2	10 - 95
空腹時血糖 (mg/dL)	96.2	8.8	91 - 110
赤血球数 (x10 ⁴ /μL)	447	48	386 - 501
ヘモグロビン (g/dL)	13.9	1.7	11.6 - 16.1
ヘマトクリット (%)	41.6	4.8	35.9 - 47.6
白血球数 (/μL)	5000	777	3900 - 6200
血小板数 (x10 ⁴ /μL)	23.4	3.2	19.5 - 27.7
スクリーニング時FMD (%)	2.4	1.0	1.4 - 3.6
試験開始時FMD (%)	3.05	0.77	2.2 - 4.0

表2 試験食米菓・その原料米粉の摂取量 (60 g) 当たりの栄養成分量と非栄養成分量

分析項目		試験食米菓 (可食性)	原料米粉 (非食性)
栄養成分	エネルギー kcal	243	215
	たんぱく質 g	5.2	4.4
	脂質 g	2.0	1.8
	灰分	0.78	0.72
	炭水化物 g	50.9	45.4
	糖質 g	48.8	43.7
	食物繊維 g	2.0	1.7
	水分 g	1.1	7.6
	食塩相当量 g	0.01	0.00
非栄養成分	総フェルラ酸 mg	24.6	24.0
	フェルラ酸 (遊離型) mg	検出限界 (0.3) 以下	検出限界 (0.3) 以下
	総ポリフェノール mg	48	42
	γ-オリザノール mg	16.5	18.5
	γ-アミノ酪酸 mg (加水分解処理後)	3.0	3.0
	遊離 γ-アミノ酪酸 mg	1.8	3.6
	α-tocopherol mg	0.48	0.42
ORAC	T-ORAC μmolTE/g	7.8	12.6
	H-ORAC μmolTE/g	3.6	3.6
	L-ORAC μmolTE/g	4.2	9.0

た。特に、遊離フェルラ酸の含有量は検出限界に及ばない量であった。

3. FMD 測定値と変化量

被験者 6 名の試験食摂取前・摂取 1 時間後・2 時間後の FMD 測定値の平均値 ± 標準偏差 (SD) は、それぞれ、 3.05 ± 0.77 , 4.23 ± 1.07 , 2.98 ± 1.34 % であり、摂取前からの FMD 変化量は、 0.0 ± 0.0 , 1.18 ± 0.99 , -0.07 ± 1.09 % と算出された。摂取 1 時間後および摂取 2 時間後の値を摂取前の値と Dunnett 多重検定法により比較すると、FMD 測定値では統計的な差異が認められなかった (摂取 1 時間後, $P = 0.137$) が、FMD 変化量は摂取 1 時間後に増加傾向 ($P = 0.053$) が認められた (図 3)。また、被験者 6 名

それぞれについて、摂取前後の FMD 値の経時変化を図 4 に示した。

考 察

高アミロース米“越のかおり”の湿熱処理玄米米粉米菓を摂取した後の FMD 値の経時変化を検証する目的で、被験者 6 名の FMD 値を摂取前・摂取 1 時間後・摂取 2 時間後に測定するオープン試験を実施した結果、摂取 1 時間後に最大値が認められ、かつ摂取前からの変化量は摂取前の値と比較して増加傾向を示した ($\Delta 1.18 \pm 0.99$ %, $P = 0.053$)。摂取 2 時間後には摂取前の値と同等に減弱した。

FMD 低値者は心血管イベントが多く発症し、

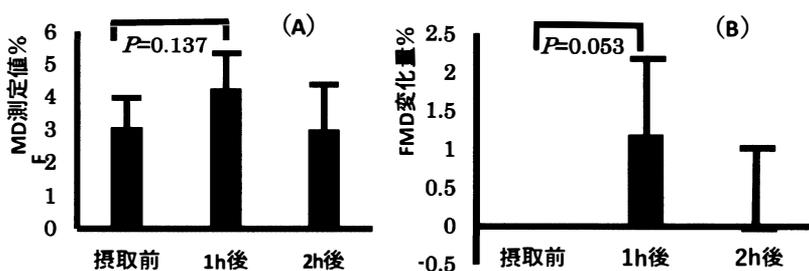


図 3 湿熱処理玄米米粉米菓摂取前・摂取 1 時間後・摂取 2 時間後 FMD 値の経時変化 (A: 測定値, B: 変化量)。N=6。値は平均値 ± 標準偏差 (SD)。P 値は、Dunnett 多重検定法による摂取前と摂取 1 時間後値の比較を示す。

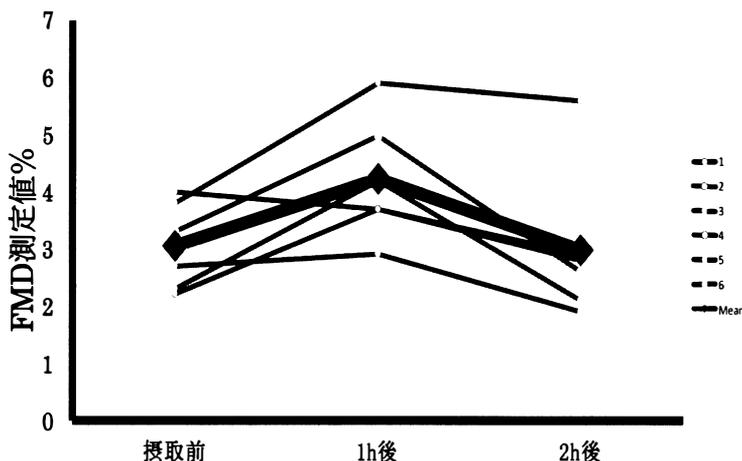


図 4 被験者 6 名それぞれの摂取前・摂取 1 時間後・摂取 2 時間後 FMD 値の経時変化。太線は平均値を示す。摂取前値と摂取 1 時間後値を t 検定で検討すると、有意な増加が見られた ($P = 0.033$)。

FMDが1%増加すると約12%の心血管イベント低下が見られるとの報告などがある³⁾¹⁰⁾¹³⁾。被験者6名の事前検査におけるFMDの平均値は $2.4 \pm 1.0\%$ ・その範囲は1.4-3.6%、検査日試験食摂取前の平均値は $3.05 \pm 0.77\%$ ・その範囲は2.2-4.0%であり、最近提案された日本人の診断基準ではabnormal領域に相当した¹³⁾。摂取1時間後および摂取2時間後の値を摂取前の値とDunnett多重検定法により比較すると、FMD測定値では統計的な差異も傾向も認められなかった(摂取1時間後、 $P = 0.137$)が、FMD変化量は摂取1時間後に増加傾向($P = 0.053$)が認められた(図3)。更に、敢えて参考値として摂取前値と摂取1時間後値をt検定で検討すると、有意な増加が見られた($P = 0.033$, 図4)。

本試験食は、(1)高アミロース米(2)湿熱処理(3)玄米などが特徴であり、これらがFMD改善に寄与したと思われる。アミロース含有が高い品種はGI(グリセミクス インデクス)値は一般的に低い。湿熱処理は、アミラーゼ活性・リパーゼ活性・L-ORAC値・H-ORAC値・損傷デンプン含有量・難消化性デンプン量などに影響する¹⁴⁾。玄米は白米に比べフェルラ酸などが豊富である。本試験でFMD最大値が摂取1時間後に出現した結果に興味をいだき、フェルラ酸類を含むポリフェノール成分との関与を敢えて推論した。経口摂取したフェルラ酸の T_{max} は1.1時間であるが、食事性の遊離型および結合型フェルラ酸の T_{max} もほぼ1時間と報告されている⁷⁾。更に、玄米を含む食事を摂取した後のFMD最大値も1時間後に現れており、フェルラ酸類の T_{max} に合致している¹⁰⁾。

本湿熱処理玄米米粉米菓中の遊離型フェルラ酸量は、検出限界(0.3 mg/60 g)に及ばない量であった。しかし、摂取米菓(60 g)中には、結合型フェルラ酸(24.6 mg)および総ポリフェノール(48 mg)が存在している。これらのうちの何れかの成分が、構造・bioaccessibility・FMD値に影響を及ぼしていると思われ興味を持たれる。本湿熱処理玄米米粉米菓は、血管内皮機能改善を介し抗動脈硬化作用を有する食品であることが示唆さ

れた。また、本試験により示されたFMD値の改善傾向の結果は、米菓に新しい健康機能を付与できる可能性を示唆するものと考えられた。

まとめ

高アミロース米“越のかおり”の湿熱処理(0.4MPa・144℃・10分間)玄米米粉米菓を摂取した後のFMD値の経時変化を被験者6名で検証した。FMD値を摂取前・摂取1時間後・摂取2時間後に測定するオープン試験を実施した結果、FMD値は摂取1時間後に最大値となり、かつ摂取前からの変化量は増加傾向を示した。

研究資金: 本研究は生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業(うち地域戦略プロジェクト)」の支援を受けて行った。

利益相反: 本論文について開示すべき利益相反関連事項はない。

文 献

- 1) 高瀬凡平: FMDによる血管内皮機能評価. 心臓 46: 1324-1329, 2014.
- 2) 吉野秀朗: 動脈硬化と食生活. 杏林医会誌 42: 47-48, 2011.
- 3) Hooper L, Kroon PA, Rimm EB, Cohn JS, Harvey IM, Le Corn KA, Ryde JJ, Hal WL and Cassidy A: Flavonoids, flavonoid-rich foods and cardiovascular risk: a meta-analysis of randomized controlled trials. Am J Clin Nutr 88: 38-50, 2008.
- 4) Bondonno CP, Yang X, Croft KD, Considine MJ, Ward NC, Rich L, Puddey IB, Swinney E, Mubarak A and Hodgson JM: Flavonoid-rich apples and nitrate-rich spinach augment nitric oxide status and improve endothelial function in healthy men and women: a randomized controlled trial. Free Radic Biol Med 52: 95-102, 2012.
- 5) Matsushima A, Furuuchi R, Sakaguchi Y, Goto H, Yokoyama T, Nishida H and Hirayama M: Acute and chronic flow-mediated dilation and blood pressure responses to daily intake of

- boysenberry juice: a preliminary study. *Int J Food Sci Nutr* 64: 988-992, 2013.
- 6) Mills CE, Flury A, Marmet C, Poquet L, Rimoldi SF, Sartori C, Rexhaj E, Brenner R, Allemann Y, Zimmermann D, Gibson GR, Mottram DS, Oruna-Concha MJ, Actis-Goretta L and Spencer JPE: Mediation of coffee-induced improvements in human vascular function by chlorogenic acids and its metabolites: Two randomized, controlled, crossover intervention trials. *Clin Nutr* 36: 1520-1529, 2017.
- 7) Azzini E, Bugianesi R, Romano F, Di Venere D, Miccadei S, Durazzo A, Foddai MS, Catasta G, Linsalata V and Maiani G: Absorption and metabolism of bioactive molecules after oral consumption of cooked edible heads of *Cynara scolymus* L. (cultivar Violetto di Provenza) in human subjects: a pilot study. *Br J Nutr* 97: 963-969, 2007.
- 8) Tian S, Nakamura K and Kayahara H: Analysis of phenolic compounds in white rice, brown rice, and germinated brown rice. *J Agric Food Chem* 52: 4808-4813, 2004.
- 9) Pang Y, Ahmed S, Xu Y, Beta T, Zhu Z, Shao Y and Bao J: Bound phenolic compounds and antioxidant properties of whole grain and bran of white, red and black rice. *Food Chem* 240: 212-221, 2018.
- 10) Shimabukuro M, Higa M, Kinjo R, Yamakawa K, Tanaka H, Kozuka C, Yabiku K, Taira S, Sata M and Masuzaki H: Effects of the brown rice diet on visceral obesity and endothelial function: the BRAVO study. *Br J Nutr* 111: 310-320, 2014.
- 11) 清水希容子：新潟県における米菓産業の産地形成とイノベーション—食品研究センターとの産学協同を中心として—。産業学会研究年報 2013: 119-132, 2013.
- 12) 山崎祥史, 福田真一, 白石浩荘, 泉 康雄：難消化性デキストリンを配合した米菓の摂取が健康成人の食後血糖値に及ぼす影響—米菓 80 kcal 摂取における検討—。生活衛生 50: 84-88, 2006.
- 13) Tanaka A, Tomiyama H, Maruhashi T, Matsuzawa Y, Miyoshi T, Kabutoya T, Kario K, Sugiyama S, Munakata M, Ito H, Ueda S, Vlachopoulos C, Higashi Y, Inoue T and Node K: Physiological Diagnosis Criteria for Vascular Failure Committee, Physiological Diagnostic Criteria for Vascular Failure (Brief review). *Hypertension* 72: 1060-1071, 2018.
- 14) Nakamura S, Okumura H, Sugawara M, Noro W, Homma N and Ohtsubo K: Effects of different heat-moisture treatments on the physicochemical properties of brown rice flour. *Biosci Biotechnol Biochem* 81: 2370-2385, 2017.

(令和元年7月4日受付)