

間接熱量計を用いた食事負荷試験測定法の開発

—玄米の単回摂取が食後脂質酸化量に及ぼす影響—

A measurement method for postprandial energy expenditure using indirect calorimetry
—Effects of single oral administration of brown rice on postprandial fat oxidation—

小治 健太郎¹, 玉木 有子¹, 長谷川 千織¹, 町田 修²
Kentaro Shoji¹, Yuko Tamaki¹, Chiori Hasegawa¹, and Shuichi Machida²

¹大妻女子大学家政学部食物学科, ²順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科

キーワード：間接熱量計, 脂質酸化量, 玄米

Key words : Indirect calorimetry, Fat oxidation, Brown rice

1. 研究目的

世界の肥満人口は1975年から40年間で急速に増え、今後10年で5人に1人が肥満になると予測されており、肥満の予防および改善は世界的に重要な課題となっている。

肥満はエネルギー摂取量がエネルギー消費量を上回ることによって生じるため、肥満の解消は日々の食事量を制限するか、活動量（運動量）を増やすかである。しかしながら、肥満者にとってはいずれも継続的に続けることが難しいという問題がある。

近年、ある種の食品成分の摂取が食事誘導性熱産生量（diet induced thermogenesis : DIT）および食後脂質酸化量に影響を及ぼすことが報告されている。そこで、われわれは食後エネルギー代謝研究に着目した。

エネルギー消費量の測定は、直接熱量測定法と間接熱量測定法の2つに大別される。直接法は、消費されたエネルギーが熱となって放散されるため、その熱量を直接的に測定することによりエネルギー消費量を知る方法である。例えば、直接法のヒューマンカロリメーターは気密性の高い空間に入り、それを取り囲む水管の水温変化、呼気中の水蒸気の気化熱、あるいは対象者の体温変化などを考慮してエネルギー消費量を測定している。しかし、この装置は非常に大がかりであり、24時間装置に滞在することで1日の総エネルギー消費量を算出するには優れているものの、毎回の食事を摂取することによって産生されるDIT量に関しての詳細な解析には向いていない。

一方、間接法ではヒトがエネルギーを生成する

際、食物から摂取した栄養素と酸素が化学反応を起こし、二酸化炭素を産生するという生理的なメカニズムを利用して、呼気中の酸素および二酸化炭素の濃度と容積からエネルギー消費量を算出する。この原理に基づいた間接熱量計は1950年代から運動生理学の分野で標準機器として利用されており、栄養供給についてもエネルギー代謝の精度の高い測定法として期待されている。

今回、われわれは今後の様々な食品素材を用いたエネルギー代謝研究の本格的な実施に向けて、予備的な研究の位置づけで、玄米を用いた間接熱量計の測定様式の1つであるmixing chamber法による食後エネルギー代謝測定を行った。

2. 研究方法

2-1. 試験方法

本試験は本研究グループから被験者を募り、ヘルシンキ宣言の精神に則り、試験の内容を十分に理解し同意を得られた者を被験者とした（健常女性7名、健常男性1名）。

被験者には、測定前日21時以降は水のみを摂取とし、12時間以上の絶食後に測定を行った。測定当日、被験者は朝食を摂らず実験室に来室し、測定はすべて午前中に行った。身体測定と内臓脂肪計（EW-FA90：パナソニック株）による腹囲および内臓脂肪面積を測定後、呼気ガス分析装置（ポータブルガスモニターAR-10：有アルコシステム）を用いて、安静時代謝測定を2回行った。その後、試験食を摂取させ、摂取後3時間まで、30分毎に10分間の呼気ガス計測を行った。

試験食はパック米の白米 160 g (佐藤食品工業(株)) およびパック米の玄米 160 g (東洋水産(株)) とし、被験者は1週間の wash out 期間を設けて別日に、水 200mL と共に摂取した。Table 1 に試験食の栄養成分を示す。

Table 1 Nutrient composition of the experimental meals (per 160g)

	Brown rice	White rice
Energy (kcal)	228	224
Protein (g)	4.2	3.7
Fat (g)	1.6	0.0
Carbohydrate (g)	49.1	51.7

2-2. 統計解析

統計解析は、IBM SPSS Statistics ver. 25 (IBM Co., Armonk, NY, USA) を用いて行った。経過時間に対する絶対値および変化量 (デルタ値) を算出し、変化量に関して、混合モデルを用いた二元配置分散分析を実施した。両側検定で危険率 5% 以下を有意水準とした。各測定項目解析結果を平均値±標準偏差で示した。

3. 結果

3-1. 被験者背景

Table 2 に被験者背景を示す。被験者は BMI 20kg/m²、内臓脂肪面積 32cm²前後であり、標準体型であった。

Table 2 Characteristics of Subjects

	7/1
Female/male	
Age (y)	25.6 ± 8.6
Height (cm)	156.9 ± 7.2
Weight (kg)	49.3 ± 6.7
BMI (kg/m ²)	20.0 ± 1.9
Waist Circumference (cm)	70.9 ± 5.4
Visceral fat area (cm ²)	32.0 ± 12.0

BMI, Body mass index. Values are means ± SD

3-2. 食後エネルギー代謝関連項目の変化 (Table 3)

Table 3 に試験食品摂取後のエネルギー消費量、呼吸商および脂質酸化量の変化を示す。

エネルギー消費量は実測値および変化量において、統計学的な有意な差は認められなかった。一方、呼吸商は変化量において、玄米群で白米群と比し、有意に低値を示し、呼吸商から算出される脂質酸化量においてもその変化量で統計学的な有意な差が認められ、玄米群が白米群と比べて脂質酸化量の増加が認められた。

Table 3 Changes in postprandial energy expenditure, respiratory quotient, and fat oxidation after ingestion of test meals.

	0h	0.5h	1h	1.5h	2h	2.5h	3h	p value of ANOVA		
								Group	Time	Group x Time
Energy expenditure (kcal/day)										
Brown rice	1195.0 ± 83.2	1248.3 ± 80.1	1291.2 ± 73.5	1289.2 ± 71.4	1265.5 ± 72.3	1223.9 ± 80.1	1186.2 ± 75.5			
White rice	1114.0 ± 114.6	1262.9 ± 89.0	1164.4 ± 97.8	1193.1 ± 100.0	1105.7 ± 121.5	1202.2 ± 72.0	1228.6 ± 68.0			
ΔBrown rice	0.0	53.3 ± 61.6	96.1 ± 58.3	94.1 ± 37.3	70.5 ± 67.5	28.8 ± 74.2	-8.8 ± 51.9	0.630	0.968	0.787
ΔWhite rice	0.0	148.8 ± 81.1	50.4 ± 111.0	79.1 ± 105.0	-8.3 ± 133.7	88.2 ± 78.6	114.6 ± 83.5			
Respiratory quotient										
Brown rice	0.81 ± 0.02	0.79 ± 0.02	0.84 ± 0.01	0.85 ± 0.02	0.87 ± 0.01	0.85 ± 0.01	0.84 ± 0.01			
White rice	0.77 ± 0.01	0.77 ± 0.01	0.82 ± 0.01	0.84 ± 0.01	0.86 ± 0.01	0.86 ± 0.02	0.84 ± 0.01			
ΔBrown rice	0.00	-0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.06 ± 0.02	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.000	0.000	0.883
ΔWhite rice	0.00	-0.01 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.07 ± 0.01			
Fat oxidation (mg/min)										
Brown rice	55.30 ± 3.1	65.60 ± 6.20	51.20 ± 4.30	46.90 ± 3.50	41.90 ± 4.90	44.60 ± 4.10	42.80 ± 3.20			
White rice	63.50 ± 7.70	72.30 ± 4.10	48.80 ± 2.60	45.30 ± 1.80	35.80 ± 3.10	40.80 ± 4.70	48.30 ± 3.80			
ΔBrown rice	0.00	10.20 ± 6.00	-4.20 ± 4.80	-8.40 ± 1.90	-13.40 ± 5.60	-10.70 ± 4.90	-12.50 ± 3.40	0.019	0.000	0.873
ΔWhite rice	0.00	8.80 ± 5.00	-14.70 ± 7.20	-18.20 ± 8.40	-27.70 ± 9.50	-22.70 ± 6.10	-15.20 ± 6.90			

Values are means ± SD (N=8). Participants ingested either a brown rice meal or a white rice meal. Statistical differences are based on repeated-measures ANOVA.

4. まとめと今後の課題

本研究では玄米を単回摂取させることによる食後エネルギー代謝に及ぼす影響について検討し、玄米の摂取が白米の摂取と比較して、呼吸商が低値を示し (p<0.001)、脂質酸化量の増加が認められた (p=0.019)。この作用メカニズムとしては、食後エネルギー代謝に関係する消化管ホルモンの1つである glucose-dependent insulinotropic polypeptide (GIP)の変動が関与しているものと考え

えられる。

GIP は脂肪細胞に直接的に働き、脂肪細胞へのグルコースの取り込みや、lipoprotein lipase (LPL) の活性化による脂肪細胞への遊離脂肪酸の取り込み作用がある。逆に GIP シグナルが遮断された状態では、脂肪細胞への栄養素の蓄積が低下し、脂質がエネルギー源として優先的に利用される²⁾。

Okahara らは玄米摂取による食後 GIP の分泌抑制作用を報告し、玄米中の植物ステロールの1つ

であるシクロアルテノールでも同様の効果を確認している。一方、シクロアルテノールに関しては Fukuoka らの報告により、動物実験で食後 GIP 分泌抑制だけでなく、食後脂質酸化量の増加が認められている。

以上のことより、本研究における玄米の食後脂質酸化量亢進効果は食後 GIP 分泌抑制によるものと推察される。

本研究の limitation として、被験者数が 8 名と少人数での効果であり、今後においては被験者数を増やし、同様の効果が再現できるかについて検討を行う必要がある。また、血液検査による食後 GIP 濃度の変化についても検討し、本研究で得られた玄米の食後脂質酸化量亢進効果と食後 GIP 分泌との関連性について詳細に検証していくべきと考える。

5. 参考文献

- 1) NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014: a pooled analysis of 1698 population-based measurement studies with 19.2 million participants. *Lancet*. 2016; 387: 1377-1396.
- 2) 山田祐一郎, 成田琢磨 インクレチンによるエネルギー代謝調節. *糖尿病* 2008; 51: 385-387.
- 3) Okahara F, Suzuki J, Hashizume K, Osaki N, Shimotoyodome A. Triterpene alcohols and sterols from rice bran reduce postprandial hyperglycemia in rodents and humans. *Mol Nutr Food Res*. 2016; 60: 1521-1531.
- 4) Fukuoka D, Okahara F, Hashizume K, Yanagawa K, Osaki N, Shimotoyodome A. Triterpene alcohols and sterols from rice bran lower postprandial glucose-dependent insulinotropic polypeptide release and prevent diet-induced obesity in mice. *J Appl Physiol* 2014; 117: 1337-1348.