ラットの発育, 自発運動量, 遊泳持続時間に及ぼす白米食, 玄米食, 新強化米食の影響に関する比較研究

高橋 徹三, 村松 成司, 小尾 裕志, 柴原 百合子
筑波大学 体育科学系

Effect of White Rice, Brown Rice and New Enriched Rice Diets on Growth, Amount of Voluntary Exercise and Swimming Endurance Time in Rats

Tetsuzo Takahashi, Shigeji Muramatsu, Hiroshi Obi and Yuriko Shibahara
The Institute of Health and Sport Science; the University of Tsukuba

Effects of white, brown and new enriched rice diets on growth, amount of voluntary exercise and swimming endurance time were compared in rats. Main results were as follows:

- 1) The final body weight was heaviest in the group fed new enriched rice and lightest in the white rice group with significant differences. The body length showed the same tendency as the body weight, but there were no significant differences in the tail length.
- 2) Food intake in the white rice group was significantly less than the other two groups during the most of the experimental period. Food intake in the new enriched rice group tended to be larger than in the brown rice group after 42nd day, but the difference was not significant.
- 3) Apparent digestibility of protein in the brown rice group was significantly lower than in the other two groups. There was no significant difference between the white rice and the new enriched rice groups.
- 4) Amount of voluntary exercise was significantly less in the white rice group than in the other groups after 59th day. The amount in the brown rice group was less than in the new enriched rice group after 63rd day, but not significantly so.
- 5) Swimming endurance time was shorter in the white rice group than in others. No significant difference was found between the brown rice group and the new enriched rice group.
- 6) No significant differences were found in the total cholesterol level in the serum of three groups. Urinary excretion of vitamin B₁ and B₂ were in the following order; new enriched rice group > brown rice group > white rice group with significant difference.

Jap. J. Nutr., 40 (6) 303~310 (1982)

今日、我々日本人の日常の食事の中心は米である。そしてそのほとんどが精白米である。白米が玄米に比べて栄養的に数多くの不利な点を有しながら、おいしいこと、消化吸収率がよいこと、見て美しいことなどの理由から繁用されている。

白米を多食し、量的、質的に劣る副食をとっていた昔の日本人の食生活では、たん白質、ビタミン類をはじめ種々の栄養上の欠陥が指摘された。その後、我が国の経済の発展、社会の近代化に伴い食生活も改善され、平均的には、日本には栄養不足の問題はほとんどなくなったと考えられ、むしろ過剰摂取による肥満の問題が多くとりあげられている。しかし、現在でも潜在性鉄欠乏による貧血はかなり広く存在するといわれ、局部的、個人的にはビタミン類などの栄養素の不足の問題もないわけではない。たとえば昭和50年前後より脚気の再発が報じられ¹⁾²⁾、その特徴は10代、20代の男子に多く、しかも激しい運動をする高校生や肉体労働をする者に多く、栄養調査の結果では、白米を主食とし、インスタント食品、砂糖入り清涼飲料水、砂糖を多用し、

Table 1 Vitamins and minerals in rice (mg/100 g)

	White rice	Brown rice	White rice+New* enriched rice
Vitamin B ₁	0.12	0.54	0.87
Vitamin B ₂	0.03	0.06	0.06
Vitamin B ₆	0.06	0.43	0.10
Niacin	1.40	4.50	4.50
Pantothenate	0.23	1.40	1.40
α-Tocopherol	0.09	0.78	0.78
Ca	6.0	10.0	10.0
Fe	0.5	1.1	1.1

* : Mixture of white rice and new enriched rice (weight ratio, 200 : 1)

肉，魚，卵，牛乳，野菜などをあまり摂取せず偏食傾向にあったという。

食生活は，多種類の食品の摂取による複合的・総合的なもので，全体としての栄養価・栄養のバランスを考えなければならない。しかし，嗜好，生活習慣，経済的要因などに由来する偏食の問題をも考慮すると，食生活の中心となる白米の欠点を少しでも改善することは意義のあることと思われる。

玄米を精白することによって失われる栄養素のうち，ビタミン B₁，B₂，B₆，ナイアシン，パントテン酸，α-トコフェロール，カルシウム，鉄を白米に強化するような新強化米がつくられている。白米に1/200（重量比）の新強化米を加えたものを，白米，玄米と比較すると^{3)~6)}，上記栄養素の含量は Table 1 のとおりとなり，ビタミン B₆ 以外は玄米と同水準になり，ビタミン B₁ は玄米を上回る。

本実験は，白米食，玄米食および新強化米食で飼育したラットの発育，自発運動量，遊泳持久力を比較，検討したものである。

実 験 方 法

実験計画を Fig. 1 に示した。実験動物として SD 系雄ラット 30 匹（約 4 週齢，平均体重 72.4 g）を用いた。まず，市販固型飼料（日本クレア CE-2）にて 1 週間飼育し，この間に自発運動量および摂食量，体重の

Fig. 1 Experimental schedule

Table 2 Experimental diet composition

(%)

Ingredient	Groups		
	W	B	N
Rice	75* ¹	75* ²	75* ³
SPI	15	15	15
Mineral Mixture* ⁴	5	5	5
Corn oil	5	5	5

W : White rice group

B : Brown rice group

N : New enriched rice group

SPI : Soy protein isolate

*¹ : White rice powder*² : Brown rice powder*³ : Mixture of white rice powder and new enriched rice powder (weight ratio, 200 : 1)

*⁴ : (in 100 g of mineral mixture) $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 14.56 g, KH_2PO_4 25.72 g, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 9.35 g, NaCl 4.66 g, Ca-lactate 35.09g, Fe-Citrate 3.18 g, MgSO_4 7.17g, ZnCO_3 0.11 g, $\text{MnSO}_4 \cdot 4-6\text{H}_2\text{O}$ 0.12 g, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.03 g, KI 0.01 g

動きを観察した。続いてそれらの資料を基にして各群がほぼ均質になるようにラットを、白米食群、玄米食群、新強化米食群の3群に10匹ずつ割り当て、実験食で85日間飼育した。実験食飼育開始第2週目に各群のたん白質の消化吸収率を測定した。測定は連続3日間代謝ケージ内で飼育し、糞をプールして糞中N排泄量を求め、同時に摂取したN量をも求めた。第15日目より全てのラットに自発運動を4日目ごとに行わせた。なお、45日目あるいは46日目に1日尿を採集し、尿中ビタミン B_1 、 B_2 排泄量を測定した。また48日目、65日目および73日目にオールアウトまでの遊泳運動を行わせ、遊泳持続時間を測定した。遊泳持久力の測定方法は先の報告⁷⁾のとおりである。実験食飼育期間中の摂食量はFig. 1に示したとおりほぼ1週間ごとに6日間プールして測定した。

実験食の組成をTable 2に示した。

白米食は白米粉末を、玄米食は玄米粉末を、そして新強化米食は白米粉末 200 に対して新強化米粉 1 の割合

Fig. 2 Changes in body weight of rats

W : White rice group

B : Brown rice group

N : New enriched rice group

(重量比)で混ぜたものをそれぞれ75%含むようにし、以下分離大豆たん白質15%, ミネラル混合5%, コーソオイル5%とした。各実験食に100g当たり、ビタミンA 5,000 IU, ビタミンD 500 IUを1週間に2度添加した。各実験食100g中のN含量は白米食 2,453 mg, 玄米食 2,426 mg, 新強化米食 2,406 mg と3群間にほとんど差のないことを分析確認した。

85日間の実験食飼育終了後、体長、尾長、腎周囲脂肪量、血清総コレステロール量を測定した。

実験食中N定量にはセミマイクロケルダール法を、ビタミンB₁定量にはチオクローム蛍光法を、ビタミンB₂定量にはルミフラビン蛍光法を用いた。血清総コレステロールはベックマンコレステロール分析計(O₂-Rate法)を用いて測定した。

結 果

実験食飼育期間中の体重増加の状況を Fig. 2 に示した。10日目頃より白米食群が他の2群よりも劣り始め、15日目以後は有意に軽かった。玄米食群と新強化米食群とでは45日目頃より玄米食群がやや劣る傾向を示したが、80日目までの間有意な差はみられなかった。しかし、85日目の解剖時には有意差がみられた(Table 5)。

摂食量を Fig. 3 に示した。3群ともに第3週目より自発運動をすることにより急激に減少し、その後徐々に回復傾向を示し、第5週目頃よりほぼ一定に保たれた。全般的に白米食群が他の2群よりも少なく、26~31日、42~47日、50~55日を除いて有意差が認められた。42日以降玄米食のほうが新強化米食群より平均値では摂食量が少なかったが、有意差はなかった。

白米食、玄米食、新強化米食中のたん白質の消化吸收率の結果を Table 3 に示した。たん白質の、みかけの消化吸收率は白米食と新強化米食の間には差がなかったが、これら2実験食に比べ玄米食は有意に低かった。

自発運動量の変動を Fig. 4 に示した。43日目までは3群ともに増加し、3群間にほとんど差は認められなかったが、47日目には減少し、さらに48日目の第1回目の遊泳持久力テスト後には3群ともに急激に減少した。白米食群はその後の第2回目、第3回目のテスト後にはさらに減少し、第2回目および第3回目のテスト時にはほぼ2,000回転を維持するにとどまった。新強化米食群は第2回目、第3回目のテスト後もほぼ同量の自発運動量を維持したが、玄米食群はやや低下の傾向を示した。統計的には59日目以降は白米食群は他の2群に比べて有意に運動量が少なかった。

遊泳持久力テストの結果を Fig. 5 に示した。遊泳持久力テストは実験期間中18日目、65日目

Fig. 3 Changes in food intake of rats

Fig. 4 Amount of voluntary exercise of rats
PT : Pre-test
*: Swimming endurance test

Table 3 Apparent digestibility

Groups	N intake* ¹ (g)	Fecal N* ¹ (g)	Apparent digestibility (%)
White rice	1.196* ² ±0.181	0.080 ±0.015	93.3 ± 1.2
Brown rice	1.443 ±0.131	0.127 ±0.023	91.2 ± 1.3
New enriched rice	1.357 ±0.146	0.092 ±0.013	93.2 ± 0.7

*¹ : Value of accumulated sample for 3 days
*² : Mean±SD
*** : $p < 0.001$

および73日目と計3回行ったが、各測定日の間に有意差は認められなかったので、各群ごとに、全ての測定値を平均して1匹1回当たりの遊泳持続時間を求めて比較した。その結果、玄米食群と新強化米食群との間には差は認められず、白米食群がこれら2群に比べ有意に短いことが観察された。

血清総コレステロール値は3群間に有意差はみられず、尿中ビタミン B₁、B₂ 排泄量はともに有意差をもって、新強化米食群>玄米食群>白米食群の順であった (Table 4)。

解剖時のラットの体重、体長、尾長および腎周囲脂肪組織重量を Table 5 に示した。体重、体長ともに有意差をもって、新強化米食群>玄米食群>白米食群の順であった。尾長においては3群間に差はみられなかつ

た。脂肪組織重量は白米食群が他の2群よりも有意に軽かった。玄米食群と新強化米食群では有意な差はみられなかった。

考 察

摂食量が、自発運動を行わせることにより一時的に減少することは、その後の実験においても広く認められた現象である。その原因については、運動による疲労も考えられるが、明らかでない。白米食群が摂食量も発育も他の2群に比べて明らかに劣っていたが、その原因は白米食が玄米食、新強化米食に比べて、ビタミン B₁、B₂ をはじめ幾つかのビタミンの含量が少ないことにあると思われる。特に、ビタミン B₁ の不足が食欲を下げること、ビタミン B₂ 欠乏が発育を抑制することはよく知られており、これらビタミンの不足が摂食量の低下を介して、あるいは直接的に白米食群の発育を阻害したものと考えられる。

玄米が白米より消化吸収の悪いことはよく知られているが、今回の実験のように粉末にした場合にも有意差が認められた。最終の体重、体長において玄米食群が新強化米食より劣っていたことには、摂食量がやや少なかったのみならず、消化吸収率の低いことも影響したことが考えられる。

Fig. 5 Swimming endurance time of rats
Swimming endurance test were undertaken three times with 10 rats in each group. Pooled mean of each group is shown.
***: $p < 0.001$

Table 4 Serum total cholesterol and urinary excretion of vitamin B₁ and B₂ of rats

Groups	Serum total cholesterol (mg/dl)	Urinary excretion	
		Vitamin B ₁ (μg/day)	Vitamin B ₂ (μg/day)
White rice (W)	43.1*	1.65	1.58
	± 5.5	± 0.71	±0.14
Brown rice (B)	41.2	14.37	2.09
	± 6.1	± 1.98	±0.51
New enriched rice (N)	42.1	43.18	2.73
	± 6.8	±12.67	±0.55
Significance			
W vs B	NS	0.001	0.01
W vs N	NS	0.001	0.001
B vs N	NS	0.001	0.05

* : Mean±SD

Table 5 Final body weight, length of body and tail and adipose tissue weight of rats

Groups	Final body weight (g)	Length		Adipose tissue	
		Body (cm)	Tail (cm)	(a) (g)	(b) (g)
White rice (W)	262.9*	40.3	23.1	3.34	1.26
	± 32.7	± 1.2	± 1.0	± 0.89	± 0.24
Brown rice (B)	318.9	41.9	23.9	6.07	1.91
	± 34.8	± 1.3	± 0.6	± 1.72	± 0.52
New enriched rice (N)	351.0	43.6	23.8	7.82	2.19
	± 32.1	± 1.0	± 0.6	± 2.73	± 0.60
Significance					
W vs B	0.005	0.05	NS	0.001	0.005
W vs N	0.001	0.001	NS	0.001	0.001
B vs N	0.05	0.005	NS	NS	NS

(a) : Weight of adipose tissue

(b) : Relative weight per 100 g body weight

* : Mean±SD

尿中ビタミン B₁ 排泄量が有意差をもって、新強化米食群>玄米食群>白米食群の順であったことは、飼料中ビタミン B₁ の含量からみて当然の結果である。尿中ビタミン B₂ 排泄量が白米食群に最も少なかったことは飼料中含量が最も少ないことから理解できる。食餌中ビタミン B₂ 含量が同じであったにもかかわらず、玄米食群が新強化米食群に比べて尿中排泄量が少なかった原因としては、玄米食群のほうが摂食量がやや少なかったこと、消化吸収率が劣っていたことがあげられる。

自発運動量は、遊泳持久力テストにより急激に減少したが、これは遊泳負荷によるストレス、疲労によるものと思われる。新強化米食群が遊泳持久力テスト開始後もほぼ同量の自発運動量を維持した理由としては、新強化米食群が他の2群、特に白米食群に比べ疲労からの回復が早かったことが考えられる。白米食群が59日以降他の2群に比べて自発運動量が有意に少なく、遊泳持久力も白米食群が他の2群に比べ有意に短かったが、白米食には玄米食、新強化米食に比べ幾つかのビタミンが不足していることが主要な原因と考えられる。ビタミンB₁、B₂、ナイアシン、パントテン酸はいずれも生体におけるエネルギー産生機構に関与しており、これらビタミンの欠乏は疲労、活動力の低下をもたらすことが知られている。なお、白米食群が他の2群より腎周囲脂肪量が少なかったが、その理由の1つとしては摂食量の少なかったことがあげられ、貯蔵脂肪量の少なかったことも白米食群の遊泳持久力の劣っていた原因の1つと考えられる。

要 約

ラットの発育、自発運動量および遊泳持久力に及ぼす白米食、玄米食および新強化米食の影響を比較検討した。新強化米は玄米を精白米にする過程で失われる幾つかの栄養素を充足することを目的につくられたものである。SD 系雄ラット（平均体重 72.4 kg）30匹を白米食群、玄米食群、新強化米食群の3群に分けた。実験食飼育期間は85日間とし、その間摂食量、発育の状況を観察した。第2週目に各実験食のたん白質の消化吸収率を測定し、第3週目より自発運動を4日目ごとに全群のラットに行わせた。45日と46日に尿を採集し、尿中ビタミンB₁、B₂ 排泄量を測定した。また実験期間中3回遊泳持久力テストを行った。実験食飼育終了後解剖し、

体重, 体長, 尾長, 腎周囲脂肪量および血清総コレステロールを測定した。結果は以下のとおりである。

1) 白米食群の体重増加は他の2群よりも劣り, 最終の解剖時には, 体重, 体長ともに有意差をもって, 新強化米食群>玄米食群>白米食群の順であった。尾長においては有意差はみられなかった。

2) 摂食量は自発運動をすることにより, 3群ともに一時的に減少したが, その後徐々に回復し, 5週目以降はほぼ一定であった。全体的に白米食群が明らかに他の2群よりも少なく, 多くの時期において有意差がみられた。42日以後, 新強化米食群が玄米食群よりも多い傾向がみられたが有意差はなかった。

3) たん白質の, みかけの消化吸収率は玄米食群が有意に他の2群より劣り, 白米食群と新強化米食群とは差はみられなかった。

4) 自発運動量は3群ともに43日目までは徐々に増加したが, 第1回目の遊泳持久力テストにより3群ともに急速に減少した。さらに2回目, 3回目のテスト後, 白米食群は明らかに減少し, 玄米食群はやや減少の傾向を示したが, 新強化米食群はほぼ同量の自発運動量を維持した。統計的には59日以降白米食群は他の2群に比べて有意に運動量が少なかった。

5) 遊泳持続時間は白米食群が最も劣り, 新強化米食群と玄米食群の間には有意な差は認められなかった。

6) 血清コレステロール値は3群間に有意な差はなく, 尿中ビタミン B₁, B₂ 排泄量はともに有意差をもって, 新強化米食群>玄米食群>白米食群の順であった。

7) 解剖時の脂肪組織重量は白米食群が他の2群よりも有意に軽く, 玄米食群と新強化米食群との間には有意な差はみられなかった。

*

おわりに, 本研究に対する武田薬品工業株式会社食品事業部のご援助と隠塚輝明, 菊池行両君のご協力に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 阿部達夫, 橋詰直孝, 井形昭弘, 高橋和郎: 栄養と食糧, **30**, 323 (1977)
- 2) 橋詰直孝: 日本医師会雑誌, **82** (4), 451 (1979)
- 3) 榎場博保: 調理科学, **11**, 51 (1978)
- 4) 科学技術庁資源調査会編: 三訂補日本食品標準成分表 (1978)
- 5) 岩井和夫, 横溝久枝: 栄養と食糧, **20**, 495 (1967)
- 6) 安本教伝: ビタミン, **50**, 327 (1976)
- 7) 高橋徹三, 酒井正男, 村松成司: 筑波大学体育科学系紀要, **2**, 131 (1979)

(受付: 昭和57年8月9日)