

低エネルギー食における成人女子の窒素出納について —大豆たん白質を含んだ日本人日常食の場合—

EFFECT OF ENERGY RESTRICTION ON NITROGEN BALANCE IN
YOUNG WOMEN FED A CONVENTIONAL LOW PROTEIN DIET
CONTAINING SOY PROTEIN ISOLATE

金子佳代子 (横浜国立大学教育学部)
小池五郎・愛敬光代 (女子栄養大学)

Kayoko KANEKO¹, Goro KOIKE² and Mituyo AIKYO²

¹Faculty of Education, Yokohama National University, Yokohama 240

²Kagawa Nutrition College, Sakado 350-02

ABSTRACT

Effects of energy restriction and aerobic exercise on nitrogen (N) balance were studied in non-obese eleven female students aged 19 to 23 years old. Six of them were fed in order two experimental diets containing 120 and 200 mg/kg/day of N with low energy as 1.1 times of basal metabolism (BM) for 10 days each. Other five subjects performed aerobic exercise (jogging and ergometer exercise) of about 200 kcal/day in two 10-day experimental periods during which they received diets containing 85 and 115 mg/kg/day of N with low energy (1.25 times of BM). Calculated energy balance was about -200 to -300 kcal/day and there was no significant difference between two groups. Means of weight loss during 10 day experimental periods were 0.3 to 1.2 kg, not significantly different between two groups or N intake levels in a group. N balances were negative in both groups at two levels of N intake. In the only energy restricted group, no improvement was obtained in negative N balance when N intake increased from 120 to 200 mg/kg/day. In the exercised group with energy restriction, nitrogen balance improved when intake N increased, a significant regression equation between N intake (x) and N balance (y) was obtained and the figure of 127.5 mg N/kg/day as intersection of regression line with zero balance was obtained. It is suggested that protein requirement increases significantly when low energy diet is used for the prevention of obesity in non-obese people and aerobic exercise diminishes the increment. *Nutr. Sci. Soy Protein, Jpn.* **11**, 49-54, 1990.

成人のたん白質所要量策定において、窒素（以下N）平衡維持量はその基礎となる数値である。体重維持エネルギーレベルにおける日本人日常混合たん白質のN平衡維持量については、成人男子115 mg N/kg¹⁾、成人女子95.8 mg N/kg²⁾の成績が得られている。

一方、N平衡維持量は摂取エネルギーレベルにより

変動することも示されており、摂取エネルギー量が少ないときには尿中N排泄が増し、それにともないN平衡維持量は大きくなると報告されている³⁻⁶⁾。低エネルギーレベルにおけるN出納の研究は肥満患者についても行われている^{5,7,8)}。

最近わが国では標準体重の範囲の人々にも、肥満予

防、減量を目的とした摂取エネルギー制限が日常的にみられるようになってきており、この程度の低エネルギー条件がN平衡維持量に及ぼす影響について定量的な研究が必要と思われる。本研究では、摂取エネルギーを基礎代謝の1.1倍程度に制限した場合のN出納に及ぼす影響について、N摂取レベルを2段階に変えて測定し、N平衡維持量の変動について推測することを目的とした。また、軽度の摂取エネルギー制限に運動負荷を併用した場合の影響についても実験を行い、比較検討した。

実験方法

19～23才の健康な女子大学生を11名を運動なし群6名、運動あり群5名の2群に分けて実験を行った。実験開始時の被検者の年齢、身長、体重の平均値は、運動なし群 21 ± 1.3 才、 155 ± 5.2 cm、 49.5 ± 4.2 kg、運動あり群 20 ± 0.8 才、 157 ± 5.0 cm、 52.9 ± 2.8 kgである。

実験計画をFig. 1に示した。N摂取レベルの異なる10日間の実験を2回実施したが、N排泄は月経周期の影響を受けると考えられることから、約18日の間隔を

はさんだ。運動なし群では、摂取エネルギーを基礎代謝の1.1倍に制限し、N摂取レベルは120, 200 mg N/kgの2段階とした。運動あり群では、摂取エネルギーを基礎代謝の1.25倍とし、ジョギングと自転車エルゴメーターによる運動負荷を消費エネルギー200 kcal程度となるよう毎日実施させた。N摂取レベルは85, 115 mg N/kgの2段階とした。両群のN摂取レベルの設定にあたっては、著者らのこれまでの実験成績を参考にして、N出納がゼロに近い負値となるように考慮した。

10日間の各実験食期においては、低たん白食に早く適応するよう1日目を無たん白食とし、続く9日間はTable 1に示すような実験食を摂取させた。たん白質源となる食品の構成は、昭和58年国民栄養調査成績をもとに、各食品群から代表的食品25種類をえらび、各食品群別摂取たん白質量の割合を全国平均のそれと同じになるようにした。このほか、たん白質をほとんど含まない砂糖、カロライナー、でんぶんめんを摂取させ、各被検者ごとに摂取エネルギー量を調節した。また、ミネラル混合2 g、ビタミン剤2錠を毎日服用し、寒天0～8 gを摂取した。

Table 1. Composition of the experimental diets (protein intake 31.8 g/day)

Food	Weight	Energy	Protein	Nitrogen
	<i>g</i>	<i>kcal</i>	<i>g</i>	<i>mg</i>
Bread	31	86	3.1	548
Polished rice with germs	55	195	4.2	703
SPI gel	20	26	3.4	603
Canned salmon	25	35	5.7	915
Chicken	20	21	4.8	771
Egg	10	15	1.3	213
Milk	55	32	2.0	311
Potato	50	229	7.3	1166
Sugar	5			
Vegetable oil	5			
Carrot	55			
Cucumber	30			
Green asparagus	30			
Radish	50			
Onion	40			
Tomato	50			
Pimento	15			
Trefoil	5			
Lettuce	70			
Grape fruits	110			
' Shiitake', dried	1			
' Wakame ', dried	1			
Soy sauce	7			
Total		639	31.8	5230

各実験食期の最後の4日間、24時間尿を採集し、総N、尿素N、アンモニウムN、クレアチニンを測定した。糞については、7日目および実験終了翌日の朝食時にマーカーとしてカルミン0.5gを服用し、マーカーからマーカーまでの全量を採集した。糞は熱風乾燥後N量を測定し、また実験食についてもN量を分析した。

実験開始前、各実験期間中に基礎代謝を測定し、また水中体重を測定してLBMを算出した。実験期間中は毎朝体重を測定し、消費エネルギー計（株式会社スズケン製）を用いて、生活活動によるエネルギー消費量を把握した。この生活活動による消費エネルギー量と基礎代謝、特異動的作用（摂取エネルギーの10%として計算）、また運動負荷をした場合は運動による消費エネルギー量を合計して、1日の消費エネルギー量を算出した。

結果と考察

各実験食期のエネルギー、たん白質、脂質の1日平均摂取量をTable 2にまとめた。また、摂取エネルギー

量、消費エネルギー量、エネルギー出納の計算値をTable 3に示した。1日のエネルギー摂取量は、運動なし群では1250 kcal、運動あり群では約1450 kcalであった。この摂取エネルギー量は基礎代謝に対し、運動なし群では1.1倍、運動あり群では1.25倍となる。

1日の消費エネルギー量は運動なし群で基礎代謝の1.3倍、運動あり群では1.5倍となった。その結果、エネルギー出納は運動なし群で-216 kcal/日（120 mg N/kg/day）および-256 kcal/日（200 mg N/kg/day）、運動あり群では-299 kcal/日（85 mg N/kg/day）および-285 kcal/日（115 mg N/kg/day）となった。このようにエネルギー出納としては両群のあいだに有意差はなく、同程度のエネルギーバランス調整ができたものと考えられる。

10日間エネルギー出納を調節した結果、体重は運動なし群、運動あり群ともに減少したが（Table 4）、基礎代謝、LBMには有意な変化は認められなかった。

Table 5に摂取N、糞および尿中N排泄、N出納の成績をまとめた。運動なし群では、N摂取量が増すと

Fig. 1. Experimental design

Experimental group	Number of subjects	Experimental period			
		1 day	9 days ¹		1 day 9 days ¹
			<i>mg N/kg</i>		<i>mg N/kg</i>
Food restricted	3		120	Break	200
	3	Protein-	200		120
Exercise	2	free diet	85		115
	3		115		85

¹ Urine and feces were collected during the last four days of each 9-day experimental period.

Table 2. Daily intakes of energy, protein and fat in the experimental periods

Group	N	Energy	Protein	Lipids
	<i>mg/kg/day</i>	<i>kcal/day</i>	<i>g/day</i>	<i>g/day</i>
Food restricted (n=6)	120	1262±91	36.4±2.5	15.8±0.9
	200	1252±122	60.7±4.7	29.2±5.9
Exercise (n=5)	85	1434±113	27.2±2.1	23.2±0.8
	115	1475±137	37.3±2.1	16.0±1.0

Table 3. Intake and expenditure of energy and energy balance in the experimental periods

Group	N intake	Energy intake		Energy expenditure		Energy balance
	<i>mg/kg/day</i>	<i>kcal/BW</i>	<i>kcal/BM</i>	<i>kcal/BW</i>	<i>kcal/BM</i>	<i>kcal/day</i>
Food restricted (n=6)	120	25.7±3.5	1.13±0.07	30.1±4.1	1.32±0.06	-216± 83
	200	25.7±4.7	1.09±0.13	30.7±3.4	1.31±0.05	-256±168
Exercise (n=5)	85	27.3±2.6	1.26±0.08	32.9±1.1	1.53±0.05	-299± 99
	115	27.8±2.4	1.23±0.01	33.2±1.3	1.48±0.03	-285± 93

Table 4. Body weight, change in body weight, basal metabolism and lean body mass of the subjects in the experimental periods

Group	N intake	Initial BW ¹	Change in BW	Basal metabolism	Lean body mass
	<i>mg/kg/day</i>	<i>kg</i>	<i>kg</i>	<i>kcal/kg</i>	<i>kg</i>
Food restricted	120	49.7±4.3	-1.0±0.3	22.9±3.7	37.8±2.4
(n=6)	200	49.4±4.2	-0.9±0.3	23.5±3.4	37.7±2.2
Exercise	85	52.7±2.6	-1.2±0.6	21.5±0.9	40.9±1.7
(n=5)	115	53.1±3.2	-0.3±0.8	22.4±1.0	40.4±1.4

¹ Body weight at the first day of the experimental period.

Table 5. Nitrogen intake, fecal and urinary excretion of nitrogen and nitrogen balance

Group	N intake	Subject	N intake	Urinary N	Fecal N	N balance
	<i>mg/kg/day</i>			<i>mg/kg/day</i>		
Food restricted	120	01	118.7	115.1	17.3	-13.7
		02	120.6	131.0	18.1	-28.5
		03	119.0	114.6	13.6	- 9.2
		04	121.1	132.2	19.4	-30.5
		05	128.4	128.4	19.8	-19.8
		06	118.9	110.8	16.0	- 7.9
	200	Mean±SD	121.1±3.7	122.0±9.5 ¹	17.4±2.3	-18.3±9.7
		01	202.5	204.3	15.9	-17.7
		02	198.9	160.0	26.5	+12.4
		03	195.9	182.4	19.1	- 5.6
		04	210.6	228.4	17.6	-35.4
		05	211.7	203.4	20.5	-12.2
		06	203.0	220.4	17.4	-34.8
		Mean±SD	203.8±6.3	199.8±25.1 ¹	19.5±3.8	-15.6±18.2
	85	11	82.0	62.2	15.9	+ 3.9
		12	91.2	106.1	17.4	-32.3
		13	78.9	71.3	28.2	-20.6
		14	87.3	114.6	18.1	-45.4
		15	85.0	105.7	10.7	-31.4
		Mean±SD	84.9±4.7	92.0±23.5	18.1±6.4	-25.2±18.5
Exercise	115	11	114.2	111.8	13.5	-11.1
		12	122.1	114.5	16.3	- 8.7
		13	113.6	90.9	22.8	- 0.1
		14	113.7	101.8	16.5	- 4.6
		15	112.5	92.8	17.4	+ 2.3
		Mean±SD	115.2±3.9	102.4±10.7	17.3±3.4	- 4.4±5.6

¹ Significantly different between two values (p<0.01).

尿中N排泄も増大し、その結果N出納に有意な改善をみることはできず、N摂取レベル200 mg/kgにおいてもN平衡維持には大きく及ばなかった。また個人間のばらつきが大きかったため、N出納とN摂取量間の一次回帰式を求めることはできなかった。一方、運動あり群では、摂取N量が増すと尿中Nもやや増大したもの、N出納は改善され、115 mg N/kg レベルでは平衡維持状態に近付いた。また、摂取N (x) とN出納 (y)

との間には $y=0.538x-68.6$ ($r=0.527$) の一次回帰式が得られ、N平衡維持量は127.5 mg N/kg と計算された。

本研究において得られた成績を、これまでに報告されている日本人日常混合たん白質の成績と比較してみると Fig. 2 のようになる。本研究では運動なし群について回帰式は得られなかったが、各摂取NレベルにおけるN出納値の平均値を仮に結んで図に示した。摂取

エネルギー量を体重維持レベルとした場合の成績 c, dと比較して, 低エネルギーの a, b, e ではないずれも N 平衡維持量が大きくなると思われるが, その程度は被検者の身体特性, 運動量などによって違いがあるのではないかと思われた。今後さらに実験条件の設定等を考慮し, 例数も増して定量的に検討する必要がある。

実験食混合たん白質の消化吸収率, NPU を次式によって求めると Table 6 のようになり, 運動あり群の方がやや高い値を示した。

$$\text{消化吸収率 (\%)} = \frac{I - (Fn - Fo)}{I} \times 100$$

$$\text{NPU} = \frac{I - (Fn - Fo) - (Un - Uo)}{I} \times 100$$

I: 摂取 N 量 (mg N/kg)

Fn: 糞中排泄 N 量 (mg N/kg)

Fo: 内因性糞中 N 損失量 (10.1 mg N/kg)⁹⁾

Un: 尿中排泄 N 量 (mg N/kg)

Uo: 内因性尿中 N 損失量 (32.3 mg N/kg)⁹⁾

尿中クレアチニン, 尿素 N, アンモニア N 排泄量を Table 7 に示した。クレアチニン排泄量は摂取 N レベルが変化してもほぼ一定であり, 尿素 N, アンモニア N は尿中総 N 排泄が増すと増加したが, 総 N 排泄量に対する割合はほぼ一定であった。

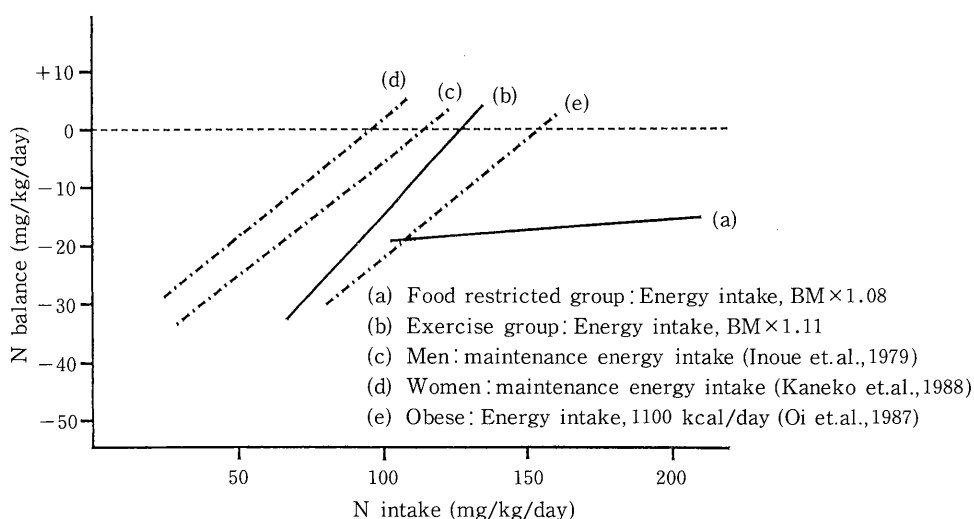


Fig. 2. Relationships between nitrogen intake and nitrogen balance.

Table 6. Digestibility of nitrogen and Net Protein Utilization

Group	N intake	Digestibility	NPU
	mg/kg/day	%	
Food restricted (n=6)	120	94.1±1.6	20.0±7.6
	200	95.4±1.7	13.3±8.5
Exercise (n=5)	85	90.5±7.3	21.0±7.3
	115	93.7±2.7	33.1±4.9

Table 7. Urinary creatinine, urea N and ammonia N excretion

Group	N intake	Creatinine	Urea N	Ammonia N
	mg/kg/day	g/day	% of total N	
Food restricted (n=6)	120	1.08±0.04	65.5±4.6	3.91±0.58
	200	1.15±0.06	68.0±1.3	2.97±0.67
Exercise (n=5)	85	1.06±0.09	64.0±8.4	3.74±0.99
	115	1.09±0.10	63.0±5.2	3.64±0.30

摂取エネルギーを制限した場合、不足したエネルギーを補充するために、たん白質がエネルギー源として利用される割合が増大する。しかし、本研究の運動あり群のように有酸素運動を行った場合、グリコーゲンなど糖質のほかに体脂肪がエネルギー産生に動員されやすくなる。また、運動が筋肉に刺激を与え、筋たん白質が保留されやすい状態になると考えられる。したがって、単にエネルギー摂取制限のみをした場合とでは生体内のたん白質代謝が異なり、摂取したたん白質もより効率よく利用される可能性が考えられるが、この点を明らかにするためにはさらに詳細な研究が必要であろう。

文 献

- 1) 井上五郎, 小松龍史, 岸 恭一, 松本善子 (1979): 成人における日本人日常摂取混合蛋白質の必要量とNPU. 必須アミノ酸研究, **81**, 56-58.
- 2) Kaneko, K., Ishikawa, K., Setoguchi, K. and Koike, G. (1988): Utilization and requirement of dietary protein taking into account the dermal and miscellaneous nitrogen losses in Japanese women. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **34**, 459-467.
- 3) Inoue, G., Fujita, Y. and Niiyama, Y. (1973): Studies on protein requirements of young men fed egg protein and rice protein with excess and maintenance energy intake. *J. Nutr.*, **103**, 1673-1687.
- 4) Kishi, K., Miyatani, S. and Inoue, G. (1978): Requirement and utilization of egg protein by Japanese young men with marginal intakes of energy. *J. Nutr.*, **108**, 658-669.
- 5) Fisler, J. S., Drenick, E. J., Blumfield, D. E., and Swendseid, M. E. (1982): Nitrogen economy during very low calorie reducing diets: quality and quantity of dietary protein. *Am. J. Clin. Nutr.*, **35**, 471-486.
- 6) Rao, C. N., Naidu, A. N. and Rao, B. S. N. (1975): Influence of varying energy intake on nitrogen balance in men on two levels of protein intake. *Am. J. Clin. Nutr.*, **28**, 1116-1121.
- 7) Oi, Y., Okuda, T., Koishi, H., Koh, H., Waki, M., Kurata, M. and Nambu, S. (1987): Relationship between protein intake and nitrogen balance in obese patients on low energy diet. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **33**, 219-226.
- 8) Phinney, S. D., LaGrange, B. M., O'Connell, M. and Danforth, E. (1988): Effects of aerobic exercise on energy expenditure and nitrogen balance during very low calorie dieting. *Metabolism*, **37**, 758-765.
- 9) Kaneko, K. and Koike, G. (1983): Obligatory N loss and utilization of egg and rice mixed protein in young Japanese women. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **29**, 455-466.