

成人女子の窒素出納に及ぼす摂取エネルギー制限および運動負荷の影響—大豆たん白質を含んだ日本人日常食の場合—

EFFECT OF ENERGY RESTRICTION OR EXERCISE 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 Mitsuyo AIKYO²

¹Faculty of Education, Yokohama National University, Yokohama 240

²Kagawa Nutrition College, Sakado 350-02

ABSTRACT

Effect of energy restriction by reducing energy intake and addition of aerobic exercise on nitrogen (N) balance was studied in non-obese thirteen female students aged 19 to 22 years old. Six of them were fed in order two experimental diets containing 145 and 175 mg N/kg/day and low energy as 1.25 times of basal metabolism (BM) for 10 days each. Other seven subjects performed aerobic exercise (jogging and ergometer exercise) at energy expenditure of about 200 kcal/day during two 10-day experimental periods given low in energy (1.44 times of BM) and N at intake levels of 145 and 175 mg/kg/day. Calculated energy balance was negative about 200 to 300 kcal/day in both groups. Means of weight loss during 10 days of experimental periods were 0.6 to 1.0 kg, not significantly different between two groups or N intake levels in a group. Both groups were able to establish N balance at two levels of N intake, and N balances were improved slightly when N intake increased from 145 to 175 mg/kg/day in both groups. The group exercised in addition to energy restriction achieved more positive N balance than sedentary group. Combined the results of the present experiment with the previous data (1987), a significant regression equation in N intake (x) and N balance (y) was calculated and the figure of 139 mg N/kg BW/day as intersection of the regression line with zero balance was obtained. N requirement was increased 45% compared with that supplied adequate energy reported previously (1988). *Nutr. Sci. Soy Protein, Jpn.* **13**, 115-121, 1992.

たん白質必要量算定の基礎となる窒素（以下N）平衡維持量は摂取エネルギーレベルによって変動することが知られており、摂取エネルギー量が低いときには尿中N排泄が増し、N平衡維持量が大きくなると報告されている¹⁻³⁾。最近わが国では肥満患者のみならず、標準体重の範囲の人たちにも肥満予防、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、この程度の摂取エネルギー制限がN平衡維持量、たん白質必要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。

これまでに著者らは標準体重の範囲の若年成人女子を被検者として、摂取エネルギーを基礎代謝の

1.1～1.45倍程度に制限した場合、ならびに消費エネルギー200～300 kcal に相当する有酸素運動を負荷した場合のN出納に及ぼす影響について研究報告してきた^{4,5)}。今回はさらにN摂取レベルを、これまでより高い145および175 mg/kg BW/日の2段階に設定し、従来と同様な実験条件のもとにN出納を測定し、すでに報告した結果と併せて低エネルギー摂取時のN平衡維持量を算出することとした。

実験方法

19～22歳の健康な女子大学生13名を運動なし群6名、運動あり群7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±0.7歳、156±4 cm、53.5±6.9 kg、運動あり群20±0.6歳、160±7 cm、53.2±8.0 kgである。

Fig. 1 に示したように、N摂取レベルの異なる10日

Fig. 1. Experimental design.

Group	No. of subjects	Experimental period	
		10 days ^a	10 days ^a
		N intake	N intake
Food restricted	3	145 mg/kg	175 mg/kg
	3	175 mg/kg	145 mg/kg
Exercise	4	145 mg/kg	175 mg/kg
	3	175 mg/kg	145 mg/kg

^aUrine and feces were collected during the last four days of each 10-day experimental period.

Table 1. Composition of the experimental diets (protein intake 48.9 g/day)

Food	Weight <i>g</i>	Energy <i>kcal</i>	Protein <i>g</i>	Nitrogen <i>mg</i>
Bread	35	98	3.5	619
Polished rice with germs	110	390	8.3	1 406
SPI gel	35	46	6.0	1 054
Canned salmon	45	63	10.2	1 647
Chicken	35	37	8.4	1 348
Egg	20	31	2.8	460
Milk	65	39	2.4	368
Potato	50	229	7.3	1 166
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 fruit	110			
‘Shiitake’, dried	1			
‘Wakame’, dried	1			
Soy sauce	7			
Total		639	48.9	5 230

間の実験を2回実施した。N摂取レベルは両群とも145, 175 mg N/kg BW の2段階であるが、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15日間のインターバルをはさんだ。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研究成果を参考にして、N出納が平衡に近くなるように考慮した⁴⁻⁶⁾。運動なし群では、摂取エネルギーを基礎代謝の1.2~1.3倍に制限し、体重がゆるやかに減少するように調節した。運動あり群ではジョギングと自転車エルゴメーター（消費エネルギー表示機能付）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。摂取エネルギーは、基礎代謝の1.2~1.3倍プラス「運動によって消費する量（約200 kcal/日）」とし、体重がゆるやかに減少するよう調節した。

10日間の各実験食期に摂取した実験食の例を Table 1 に示したが、その構成は前報⁹⁾に準じている。すなわち、日本人日常食の混合たん白質を設定するにあたり、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種を選び出し、食品群別摂取量の全国平均を各食品の摂取割合とした。摂取たん白質量の調整はパン、米、SPI ゲル、サケ缶詰、鶏肉、牛乳で行い、また摂取エネルギー量については砂糖、カロライナーの量を変えて調整した。摂取エネルギーに対する脂肪のエネルギー比は20%前後とし、Table 1 に示した食品のほかにミネラル混合2g、ビタミン剤2錠、食物繊維

源として寒天2~8g を毎日摂取した。

各実験食期の最後4日間にわたる24時間尿を採集し、総N、尿素N、アンモニアN、クレアチニンを定量した。各実験期の7日目および実験終了翌日の朝食時に糞便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。これを熱風乾燥後N量を測定し、また実験食材料についてもN量を分析してN摂取量を算出した。

実験期間中は毎日、早朝排尿後に体重を測定し、消費エネルギー計（株式会社スズケン製）を装着して生活活動によるエネルギー消費量を把握した。実験開始前、各実験期間中の早朝空腹時に仰臥安静状態にて基礎代謝を測定した。また、水中体重測定法により測定した体密度から Brozek の式⁷⁾を用いて体脂肪量を算出し、これから LBM を求めた。なお、被検者は実験期間中、女子栄養大学内のメタボリックユニットに宿泊し、勉学を中心とした日常の生活活動を行った。

平均値の差の有意性については Student's t test により検定した。なお、各実験群内における実験期による差異については対応のある差の検定を用いた。

結果および考察

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。全期間を通じてのエネルギー摂取量は運動なし群では1390 kcal/日、運動

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

Group	N mg/kg/day	Energy kcal/day	Protein g/day	Lipids g/day
Food restricted (n=6)	145	1375±142 ¹	46.6±4.7	17.3±1.5
	175	1406±138	56.1±6.0	20.3±2.1
Exercise (n=7)	145	1680±132	45.7±7.0	17.1±2.3
	175	1633±50	54.9±8.6	19.8±2.7

¹Mean±SD.

Table 3. Body weight, change in body weight, basal metabolism and lean body mass of the subjects in the experimental periods

Group	N intake mg/kg/day	Initial BW ¹ kg	Change in BW kg	Basal metabolism kcal/kg	Lean body mass kg
Food restricted (n=6)	145	53.3±7.4 ²	+0.9±0.7	21.2±2.3	39.3±4.3
	175	53.6±7.8	-1.0±0.7	21.2±2.4	39.2±4.0
Exercise (n=7)	145	53.0±8.1	-0.6±0.3	22.5±4.0	39.9±4.6
	175	53.4±8.2	-1.0±0.4	22.4±4.0	39.2±4.5

¹Body weight at the first day of the experimental period. ²Mean±SD.

あり群では1660 kcal/日であり、その差は270 kcal であった。この摂取エネルギー量は基礎代謝量 (BM) に対し、運動なし群では1.27倍、運動あり群では1.44倍となる。

消費エネルギー計による1日の消費エネルギー量

(運動あり群ではこれに自転車エルゴメーターによる消費エネルギーを加算) は、運動なし群では1617±164 kcal であり、運動あり群では1810±174 kcal, このうち負荷運動による消費量は208±8 kcal であった。したがって、エネルギー出納は両群とも負値になっていた

Table 4. Nitrogen intake, fecal and urinary excretion of nitrogen and nitrogen balance

Group	N intake <i>mg/kg/day</i>	Subject	N intake	Urinary N <i>mg/kg BW/day</i>	Fecal N	N balance
Food restricted	145	01	138.8	120.9	38.6	-20.6
		02	150.0	111.9	13.2	+24.9
		03	150.6	107.1	18.3	+25.2
		04	144.5	114.1	16.0	+14.4
		05	149.3	127.9	15.1	+ 6.3
		06	141.9	117.6	12.8	+11.5
		Mean±SD	145.9±4.5	116.6±6.6**	19.0±9.0	+10.3±15.4
	175	01	169.8	144.3	17.6	+ 7.9
		02	181.8	131.6	15.0	+34.5
		03	180.1	134.2	36.8	+ 9.1
		04	175.8	121.4	15.5	+38.9
		05	175.5	135.1	35.2	+ 5.2
		06	170.8	151.6	29.2	-10.0
		Mean±SD	175.5±4.2	136.4±9.6**	24.9±9.2	+14.3±17.1
Exercise	145	11	132.3	98.9	16.5	+16.9
		12	153.0	124.3	12.7	+16.0
		13	139.8	116.9	15.4	+ 7.5
		14	144.6	91.6	16.3	+36.7
		15	152.1	123.1	14.7	+14.3
		16	140.0	109.6	19.4	+11.0
		17	139.3	103.8	9.1	+26.4
		Mean±SD	143.0±6.9	109.7±11.5**	14.9±3.0	+18.4±9.2
	175	11	157.3	99.2	33.4	+24.7
		12	187.1	151.0	12.1	+24.0
		13	164.4	121.9	29.6	+12.9
		14	175.0	116.2	16.5	+42.3
		15	182.8	154.3	18.3	+10.2
		16	166.3	132.1	18.6	+15.6
		17	167.4	135.7	13.5	+18.2
		Mean±SD	171.4±9.9	130.1±18.0**	20.3±7.5	+21.1±10.0

**Significantly different between the values for different N intake level in the groups ($p<0.01$).

Table 5. Digestibility of nitrogen and net protein utilization

Group	N intake <i>mg/kg/day</i>	Digestibility %	NPU
Food restricted (n=6)	145	93.8±6.5 ¹	35.9±10.0
	175	91.6±5.2	34.7±10.0
Exercise (n=7)	145	96.6±2.2	42.6±6.7
	175	93.8±4.8	37.2±6.0

¹Mean±SD. *Significantly different between two values ($p<0.05$).

たものと考えられる。

この結果として体重は両群ともに減少し、減少量に有意差は見られなかった (Table 3)。また、基礎代謝量, LBM には有意な変化は認められなかった (Table 3)。

Table 4 に摂取N, 糞および尿中排泄N, N出納の結果をまとめた。運動あり群, 運動なし群ともに摂取N量が増すと糞および尿中N排泄量が増大した。N出納値は両群とも正の値となり, 運動あり群の方が高い数値となった。またN出納値の標準偏差は運動なし群の方が大きかった。

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 5 のようになり, 運動あり群の方がいずれも, やや高い値を示した。

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

$$\text{NPU} = \frac{\text{In} - (\text{Fn} - \text{Fo}) - (\text{Un} - \text{Uo})}{\text{In}}$$

In: 摂取N量 (mg N/kg BW)

Fn: 糞中排泄N (mg N/kg BW)

Fo: 内因性糞中N損失量 (10.1 mg N/kg BW)^{a)}

Un: 尿中排泄N量 (mg N/kg BW)

Uo: 内因性尿中N損失量 (32.3 mg N/kg BW)^{b)}

尿中クレアチニン, 尿素N, アンモニアN排泄量を Table 6 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には大きな違いはなかった。

本研究において得られた成績を, これまでに報告した成績⁴⁻⁶⁾とあわせて図示すると Fig. 2 のようになる。

Table 6. Urinary creatinine, urea N and ammonia N excretion

Group	N intake mg/kg/day	Creatinine g/day	Urea N % of total N	Ammonia N
Food restricted (n=6)	145	1.11±0.13 ¹	72.2±2.6	4.12±0.71
	175	1.14±0.12	78.8±2.6 ^{**}	4.10±0.54
Exercise (n=7)	145	1.06±0.09	73.0±3.1 ^{**}	3.95±0.64
	175	1.09±0.10	75.3±1.0	4.29±0.74

¹Mean±SD. ^{**}Significantly different between two values (p<0.01).

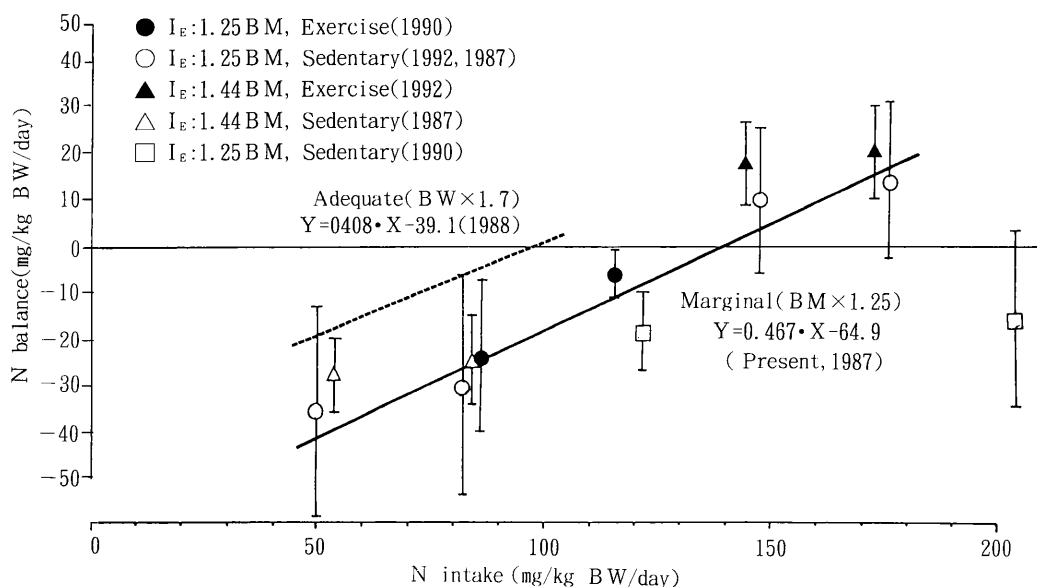


Fig. 2. Relationship between N intake and N balance.

摂取エネルギーを基礎代謝の1.25倍程度に制限し、運動を負荷しなかった場合の成績を、すでに報告した同条件の成績⁵⁾とあわせて、回帰式をもとめると、摂取N(X)とN出納(Y)の間には $Y=0.467X-64.9$ ($r=0.757$)の有意な1次回帰式が得られ、N平衡維持量は139 mg N/kg BW/日と計算された。このN平衡維持量は成人女子における維持エネルギー摂取時の数値⁶⁾と比較して45%ほど大きかった。

本研究における運動あり群の摂取エネルギー量は基礎代謝の1.44倍であり、N出納は運動なし群に比べてやや改善されたが、改善の程度は運動負荷なしで摂取エネルギーを同じ程度に増やした既報の成績⁵⁾と同じ程度であった。したがって、この改善が運動の負荷によるものと結論することはまだ早計と思われる。Toddら⁹⁾は摂取N量91および128 mg/kg BW/日において、エネルギー出納を摂取制限ないし運動負荷によって負値にした場合のN出納を調べている。エネルギー摂取制限では128 mg NであってもN出納はマイナスであったが、維持エネルギーを摂取した上で運動負荷により消費エネルギーを増せば正出納になったとしている。N出納に及ぼす運動負荷の影響については今後さらに、研究方法をも含めて検討する余地があろう。しかしながら、減量時に運動を負荷することは、その分摂取エネルギーを増大させながら同じ程度の減量効果をあげることができる訳であり、たん白質必要量を増すことを免れることにつながると結論できよう。

著者らの経験では、さらに低エネルギー摂取(BM×1.1)の場合に、摂取N量が200 mg/kg BWであってもN出納は負のままであった⁴⁾。一方、尾井らによる肥満男女患者のエネルギー制限時の成績では1100 kcal/日でN平衡維持量が160 mg/kg BW程度であったという¹⁰⁾。Jourdanら¹¹⁾も、肥満女性では摂取エネルギーを維持レベルの50%に制限してもN摂取量12 g/日でN平衡を維持できたとしており、肥満者では摂取エネルギーを制限しても体たん白質の損失を抑制できるのではないかと考えられている。しかし、肥満者であっても400 kcal/日^{12,13)}、700 kcal/日¹⁴⁾といった極端な摂取エネルギー制限ではたん白質を100 g/日以上摂取してもN出納は負値であったとの報告もみられる。肥満者における、このような厳しいエネルギー制限時のN必要量および運動負荷の影響についても今後詳細な検討が必要と思われる。

文 献

1) 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.

- 2) 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.
- 3) Rao CN, Naidu AN and Rao BSN (1975): Influence of varying energy intake on nitrogen balance in men on two levels of protein intake. *Am J Clin Nutr*, **28**, 1116-1121.
- 4) 金子佳代子, 小池五郎, 愛敬光代 (1990): 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—。大豆たん白質栄養研究会会誌, **11**, 49-54.
- 5) 金子佳代子, 小池五郎 (1987): 成人女子の経皮的窒素損失と日常食混合たん白質の利用効率. 必須アミノ酸研究, No. **116**, 16-19.
- 6) 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.
- 7) Brozek J, Grand F, Anderson JT and Keys A (1963): Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Ann NY Acad Sci*, **110**, 113-140.
- 8) 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.
- 9) Todd KS, Butterfield GE and Calloway DH (1984): Nitrogen balance in men with adequate energy intake at three levels of work. *J Nutr*, **114**, 2107-2118.
- 10) 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.
- 11) Jourdan M, Margen S and Bradfield RB (1974): Protein-sparing effect in obese women fed low calorie diets. *Am J Clin Nutr*, **27**, 3-12.
- 12) Fisler JS, Drenick EJ, Blumfield DE and Swen-dseid ME (1982): Nitrogen economy during

- very low calorie reducing diets: quality and quantity of dietary protein. *Am J Clin Nutr*, **35**, 471-486.
- 13) Hendler R and Bonde AA (1988): Very-low-calorie diets with high and low protein content: impact on triiodo-thyronine, energy expenditure, and nitrogen balance. *Am J Clin Nutr*, **48**, 1239-1247.
- 14) Phinney SD, LaGrange BM, 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.
- 15) 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.