

SPI を用いた高たん白食のカルシウム代謝に及ぼす影響

EFFECTS OF HIGH SPI DIET ON CALCIUM METABOLISM.

金子佳代子（横浜国立大学）

小池五郎（女子栄養大学）

Kayoko KANEKO¹ and Goro KOIKE²

¹Yokohama National University

²Kanagawa Nutrition College

ABSTRACT

After 5 days of basal diet period (protein intake 55 g/day), seven female students were given a high protein diet (100 g protein/day) containing 340 g meat (meat diet) or 105 g SPI (SPI diet) for 9 days. Other six subjects were given a high protein diet containing meat or SPI added 160 g apple (meat+apple diet and SPI+apple diet) for 9 days. Urine and feces of last 4 days of each experimental period were collected and urinary pH, titratable acid, Ca, P, S, K and ammonia excretion and fecal Ca, P, S excretion were measured. Dietary intakes of S-containing amino acids in basal diet, meat diet and SPI diet were 1.82 g, 3.72 g and 3.03 g, respectively. Meat diet improved the absorption of Ca and increased urinary Ca excretion compared with those of basal diet period. In SPI diet period Ca absorption and urinary excretion of Ca were as much as those of basal diet period. Ca balances were -37 ± 62 mg/day in meat diet period, -45 ± 30 mg/day in SPI diet period and -58 ± 37 mg/day in basal diet period. In meat+apple diet period fecal Ca excretion increased, Ca absorption decreased and urinary Ca excretion decreased to the level of basal diet period. Addition of apple to high SPI diet did not affect Ca absorption or urinary excretion of Ca. *Nutr. Sci. Soy Protein, Jpn.* 8, 40-45, 1987.

従来高たん白食はカルシウム (Ca) の腸管吸収を良くすることが知られていたが、近年この両者の関係について人体を対象として詳しく研究されるようになった。それによると、たん白質の摂取量を増すと Ca の吸収は若干高まるが、それ以上に尿中 Ca 排泄が増加し、Ca 出納は負を示すという。高たん白食を長期間摂取し続けると骨の Ca 損失がおこり、骨粗鬆化状態をひきおこすおそれも考えられる。

Linkswiler らの研究¹⁻⁶⁾では、実験食のたん白質源として混合たん白質を用いているが、尿中 Ca 排泄増大に伴って尿中の硫黄 (S) が増加することなどから、たん白質中の含硫アミノ酸が関与するものと推察されている。

我々は大豆たん白質の含硫アミノ酸含量が比較的少ないことに着目し、SPI を用いた高たん白食を摂取した場合に Ca 代謝にどのような影響がみられるかについて検討した。

実験方法

健康な女子大学生13名を被検者として、Fig. 1 に示した実験計画により代謝実験を行なった。実験1では含硫アミノ酸の多い獣鳥肉 (meat diet) とこれの少ない分離大豆たん白質 (SPI diet) を多量負荷した際の Ca 出納に及ぼす影響について、また実験2ではこれら高たん白食摂取時にりんごを付加することの影響について検討した。

被検者の年齢，身長，体重，エネルギー摂取量を Table 1 に，実験食の食品構成および栄養素量をそれぞれ Table 2, 3 に示した。

摂取たん白質 55 g / 日の基準食を 5 日間，ひき続きたん白質約 100 g / 日の高たん白食又は高たん白食とりんご 160 g を 9 日間摂取させ，その後通常の食事(たん白質摂取量 50～60 g / 日) にもどした後，もう一度高たん白食又は「高たん白食＋りんご」を 9 日間摂取させた。このとき Fig. 1 に示したように，meat diet と SPI diet の順序を被検者の半数づつ逆転させて摂取させた。摂取エネルギーは被検者ひとりひとりについて，体重維持に必要な量とし，体重の変動がある場合は砂糖，炭酸飲料(無果汁)，米の摂取量を増減して調節した。獣鳥肉，SPI にりんごを付加した場合にはそのエネルギー増加分を米，砂糖，炭酸飲料の摂取量を減ずることにより調節した。また実験期間中，飲料水はすべて蒸留水を使用した。

各実験期の最後の 4 日間尿，尿を採集し，また被検者の健康状態をみるため各実験期に 1 回ずつ早朝空腹時に採血して血液検査を実施した。尿は 24 時間尿を採集し，pH，滴定酸度，Ca，リン (P)，硫黄 (S)，カリウム (K) アンモニア (NH₃)，クレアチニンを測定した。採尿期間の初日及び終了翌日の朝食時にマーカーとしてカルミン 0.5 g を服用させマーカーからマーカーまで全量採集した。これを 100℃ で熱風乾燥後粉碎

して分析に供した。食事は 1 日分をホモゲナイズし，凍結乾燥後分析に供した。尿および食事試料の一部を 550℃ で灰化後，Ca，P，S 含量を測定した。分析方法は次のとおりである。

Ca：原子吸光法

P：Fiske-Subbarow 法

S：Jackson and McCandless の方法⁷⁾

尿の滴定酸度：Lemann らの方法⁸⁾

アンモニア：ウレアーゼ，インドフェノール法

クレアチニン：Jaffé の比色法

K：炎光光度法

結果と考察

Ca の尿中および尿中排泄量，みかけの吸収率，出納は Table 4 のとおりであった。尿の pH，滴定酸度，S，P，K，アンモニア排泄量の変動を Fig. 2 にまとめた。

含硫アミノ酸含量の高い meat diet 期では，基準食期にくらべて，Ca のみかけの吸収率が向上したが尿 Ca 排泄量が増大し，Ca 出納は -37 ± 62 mg であった。一方，SPI diet 期には，Ca 摂取量がやゝ多かったが，みかけの吸収率は基準食期と同じ程度であり，尿 Ca 排泄の増大はみられず，Ca 出納は -45 ± 30 mg であった。この結果は，肉を多量に投与した高たん白食では Ca の吸収率がよくなるものの同時に尿中 Ca

Table 1. Characteristics of the subjects

	Subj. No.	Age (yr.)	Height (cm)	Weight (kg)	Energy intake		
					Basal (kcal/kg)	Meat (kcal/kg)	SPI (kcal/kg)
Exp. 1	01	19	168.0	64.3	37.2	37.1	35.5
	02	19	153.0	43.7	46.0	47.2	45.3
	03	19	166.6	58.3	34.7	40.1	39.1
	04	21	166.6	47.4	36.0	38.6	37.6
	05	24	162.5	49.7	32.2	35.4	33.6
	06	19	152.0	59.5	33.5	36.6	34.4
	07	19	158.0	54.7	29.6	33.3	31.4
	Mean	20	161.0	53.9	35.6	38.3	36.7
	SD	1.9	6.7	7.3	5.2	4.5	4.6
Exp. 2	11	19	155.0	42.8	42.1	39.5	39.7
	12	22	155.0	55.8	32.7	35.3	35.7
	13	21	163.0	46.5	42.9	—	41.6
	14	24	153.0	49.8	40.1	44.4	38.9
	15	19	161.0	55.2	36.1	37.0	34.5
	16	19	161.0	42.3	34.9	36.0	34.2
	Mean	20.7	158.3	50.4	38.1	38.4	37.4
	SD	2.1	3.7	5.1	4.2	3.7	3.1

Table 2. Composition of the experimental diets

	Basal	Meat diet	SPI diet	Meat + apple	SPI + apple
Milk products	243	243	243	243	243
Egg	33	33	43	33	43
Fishes	43	43	43	43	43
Pork	33	193	33	193	33
Chicken	25	105	25	105	25
Soy beans	23	23	23	23	23
SPI	—	—	105	—	105
Vegetables, rich in carotene	88	88	88	88	88
Other vegetables	91	96	91	96	91
Potatoes	40	40	40	40	40
Fruits	61	61	68	221	228
Rice	158	108	78	98	78
Bread	61	61	61	61	61
Sugar	31	18	24	8	27
Fats and oils	11	11	25	11	25
Beverages	420	210	210	210	—

Table 3. Nutrient contents in the experimental diets

	Exp. 1			Exp. 2		
	Basal	Meat diet	SPI diet	Basal	Meat + apple	SPI + apple
Protein (g) ^a	55.1	101.0	99.2	54.8	101.2	98.9
S-containing A. A. (g) ^b	1.82	3.72	3.03	1.80	3.71	3.03
Fats (%) ^b	30.3	29.0	30.3	30.3	27.5	28.9
Ca (mg) ^b	543.3	543.8	608.9	542.8	548.5	614.7
P (mg) ^a	1046.7	1399.0	1386.1	1037.3	1404.3	1395.5
Ca : P ^b	1 : 1.9	1 : 2.6	1 : 2.3	1 : 1.9	1 : 2.6	1 : 2.3
Fe (mg) ^b	8.4	11.0	8.8	8.4	11.3	9.0
K (g) ^b	2.14	2.83	2.09	2.14	3.00	2.26
Vitamin A (I. U) ^b	2253.6	227.6	2338.6	2253.6	2277.6	2338.6
Vitamin B ₁ (mg) ^b	1.19	2.97	2.81	1.17	2.95	2.80
Vitamin B ₂ (mg) ^b	1.05	1.60	1.53	1.05	1.53	1.60
Niacin (mg) ^b	9.4	29.1	28.1	9.3	29.1	28.2
Vitamin C (mg) ^b	62.8	66.1	66.3	62.8	70.9	71.1
Crude fiber (g) ^b	5.82	5.45	5.11	5.78	11.68	11.28

^a Measured on lyophilized samples.^b Calculated from the Food Composition Table (Ministry of Health and Welfare of Japan).

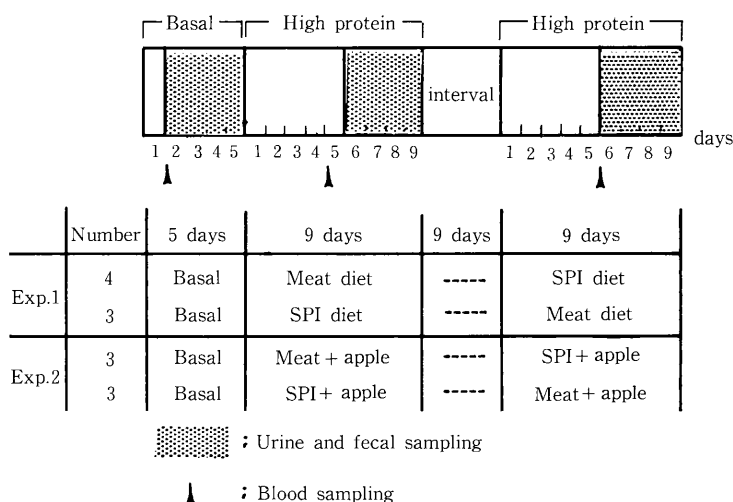


Fig. 1. Experimental design

Table 4. Calcium absorption and balance

	Exp. 1			Exp. 2		
	Basal	Meat	SPI	Basal	Meat + apple	SPI + apple
Ca intake (mg/day)	543±3	544±4 ^{b,c}	609±4 ^{a,b,c}	543±2	548±1 ^{a,b,c}	615±2 ^{a,b,c}
Urinary Ca (mg/day)	145±48	174±41 ^{a,b}	143±43 ^b	153±65	154±80 ^b	136±70 ^b
Fecal Ca (mg/day)	456±56	407±97 ^b	511±63 ^b	460±178	509±202	513±139
Absorption (%)	16±10	25±18	16±10	15±33	7.2±37	16±23
Balance (mg/day)	-58±37	-37±62	-45±30	-70±149	-114±172	-34±108

^a Significantly different from the value for basal diet period ($p < 0.05$).

^b Significantly different between the values for meat diet period and SPI diet period or the values for meat + apple period and SPI + apple period ($p < 0.05$).

^c Significantly different between the values for meat diet period and meat + apple period or the values for SPI diet period and SPI + apple period ($p < 0.05$).

排泄を増大させるというこれまでの報告と一致するものであったが、一方 Ca 出納については、これまでの報告と異なり普通たん白食（基準食）との間に差が認められなかった。また SPI による高たん白食では Ca 吸収率の向上、尿 Ca 排泄の増大のいずれもみられず、Ca 出納についても基準食、meat diet との間に有意差は認められなかった。

Meat diet 期には、基準食期にくらべて尿の滴定酸度、S、P、K、NH₃ 排泄量が有意に増大しており、生体内で含硫アミノ酸が代謝されて硫酸の生成が増大し、これを排泄する際に K、NH₃ とともに Ca が動員されているものと推測される。一方 SPI diet 期では、含硫アミノ酸摂取量が基準期（1.82 g/日）より多く

（3.03 g/日）になっており、尿中 S 排泄量も増加しているものの、滴定酸度、P、K、NH₃ 排泄量は基準食期よりもむしろ少なく、尿 pH も中性に近い。この機序については今後の検討を要するであろう。

次に高たん白食にりんごを付加することの影響についてみると、meat diet では Ca 吸収率の向上は阻止されて吸収率は低下し、また尿中 Ca 排泄の増大もみられなかった。SPI diet では Ca 吸収率、尿中 Ca 排泄量にりんご付加の影響は認められなかった。

酸・塩基平衡については、meat diet、SPI diet いずれにおいても、尿 pH、滴定酸度、S、P、NH₃ 排泄に、りんご付加の有無による差異はみられず、わずかに尿 K 排泄が増加することが観察された。

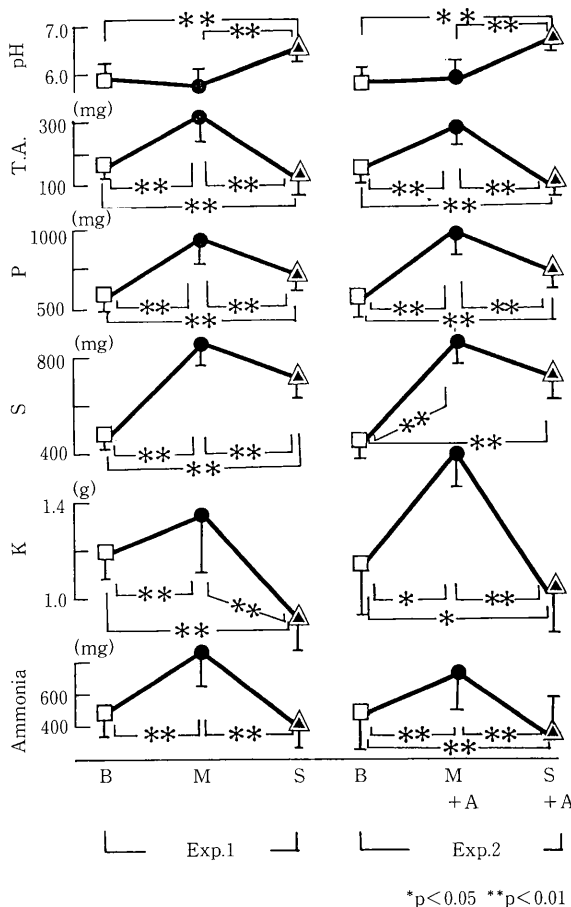


Fig. 2. Urine pH, titratable acidity and sulfur, potassium, phosphorus and ammonia excretion.

尿クレアチニン排泄量は meat diet 期に増加し, SPI diet では基準食期と変わらなかった。またりんご付加による影響はみられなかった。3 回にわたる血液検査の結果から被検者の健康状態に異常は認められなかった。

高たん白食摂取による尿中 Ca 排泄の増加については腎臓における Ca の再吸収能力の低下が主な理由と考えられているが、その機構については明らかではない⁹⁾。Zemel¹⁰⁾ らは含硫アミノ酸の負荷により尿中 Ca の排泄量の増加、腎臓における Ca 再吸収能力の低下がみられたと報告している。最近 Dokkum ら¹¹⁾ も、肉あるいは大豆たん白質を多量投与して Ca 代謝への影響をみているが、尿中 Ca 排泄が大豆たん白質で増加し、尿中 Ca 排泄は大豆たん白質の場合にも肉の場合にも増大し、結局 Ca 出納は大豆たん白質で負の値になったとしている。また、含硫アミノ酸負荷の

際に P (リン酸第一カリウム) を投与すると尿中 Ca 排泄が減少したこと¹⁰⁾、高たん白質摂取時に炭酸水素ナトリウムを投与すると尿中 Ca 及び尿中 Ca の排泄が減少し、Ca 出納は正值を示したこと¹²⁾、高たん白食に果物と野菜を付加して食物繊維量を増す (23.8 g/日) と尿中 Ca 排泄の増加と尿中 Ca 排泄の減少がみられ、Ca 出納が負値を示した¹³⁾ ことなどが報告されている。

本研究の結果をこれらの成績とあわせて考えてみると、「meat diet + りんご」では、りんごに含まれる食物繊維あるいは K などにより、尿中 Ca 排泄の増大およびその結果として Ca 吸収量の減少、さらに腎臓における Ca の再吸収に影響のあったことが考えられる。一方 SPI diet にりんごを付加した場合には尿中 Ca 排泄にそれ以上の増大がみられなかった点についても興味をもたれる。

今後さらに含硫アミノ酸の影響について詳しく検討するとともに、Ca 摂取量、P 摂取量、K ならびに食物繊維の影響についても実験条件を変化させて検討する必要があると思われる。

本研究では Ca 摂取量を日本人成人の所要量 (10 mg/kg/日) に設定したものの、全体に Ca 出納が負値を示した。被検者はふだん自宅から通学しているが、実験期間中はキャンパス内のメタボリックユニットに宿泊して生活したため運動 (立位) 不足となり、これが Ca 出納に影響したことも考えられる。今後この点についても検討を要すると思われる。

文 献

- 1) Johnson, N. E., Alcantala, E. N. and Linkswiler, H. M. (1970): Effect of level of protein intake on urinary and fecal calcium and calcium retention of young adult males. *J. Nutr.*, **100**, 1425-1430.
- 2) Walker, R. M. and Linkswiler, H. M. (1972): Calcium retention in the adult human males as affected by protein intake. *J. Nutr.*, **102**, 1297-1302.
- 3) Anand, C. R. and Linkswiler, H. M. (1974): Effect of protein intake on calcium balance of young men given 500 mg calcium daily. *J. Nutr.*, **104**, 695-700.
- 4) Kim, Y. and Linkswiler, H. M. (1979): Effect of level of protein intake on calcium metabolism and on parathyroid and renal function in the adult human male. *J. Nutr.*, **109**, 1399-1404.
- 5) Hegsted, M. and Linkswiler, H. M. (1981):

- Long-term effects of level of protein intake on calcium metabolism in young adult women. *J. Nutr.*, **111**, 244-251.
- 6) Hegsted, M., Schuette, S. A., Zemel, M. B. and Linkswiler, H. M. (1981): Urinary calcium balance in young men as affected by level of protein and phosphorus intake. *J. Nutr.*, **111**, 553-562.
 - 7) Jackson, S. G. and McCandless, E. L. (1978): Simple, rapid, turbidometric determination of inorganic sulfate and/or protein. *Anal. Biochem.*, **90**, 802-808.
 - 8) Lemann, J., Lenon, E. J. and Brock, J. (1966): A potential error in the measurement of urinary titratable acid. *J. Lab. Clin. Med.*, **67**, 906-913.
 - 9) 五島孜郎 (1983): カルシウムの栄養. pp. 1~7, 食品品質保持技術研究会資料
 - 10) Zemel, M. B., Schuette, S. A., Hegsted, M. and Linkswiler, H. M. (1981): Role of sulfur-containing amino acids in protein-induced hypercalciuria in men. *J. Nutr.*, **111**, 545-552.
 - 11) Dokkum, W. V., Wesstra, A., Luyken, R. and Hermus, R. J. J. (1986): The effects of a high-animal and a high-vegetable-protein diet on mineral balance and bowel function by young men. *Br. J. Nutr.*, **56**, 341-348.
 - 12) Lutz, J. (1984): Calcium balance and acid-base status of women as affected by increased protein intake and by sodium bicarbonate ingestion. *Am. J. Clin. Nutr.*, **39**, 281-288.
 - 13) Kelsay, J. L., Behall, K. M. and Prather, E. S. (1979): Effect of fiber from fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects. I. Calcium, magnesium, iron, and silicon balances. *Am. J. Clin Nutr.*, **32**, 1876-1880.