

大豆たん白質が尿中カルシウム排泄に及ぼす影響

猿倉薫子^{*1}・小蒲彩子¹・脇川典子¹・鴨下澄子²

¹お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科

²十文字学園女子大学大学院人間生活学研究科

Effect of Soybean Protein on Urinary Ca Excretion

Nobuko SARUKURA^{*1}, Ayako OGAMA¹, Noriko WAKIKAWA¹
and Sumiko KAMOSHITA²

¹Department of Food and Nutritional Science, Graduate School of Humanities
and Sciences Ochanomizu University, Tokyo 112-8610

²Graduate School of Human Life Sciences, Jumonji University, Saitama 352-8510,

ABSTRACT

About 80% of sulfur derived from sulfur amino acid catabolism became sulfuric acids and decrease pH of body fluid. To maintain the pH normal various chemical reactions occur such as $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, CaCO_3 from bone. Sulfur amino acid intakes of Japanese are relatively high. The amino acids of soybean protein is not deficient but not so high as the animal protein rich foods. However, there has not been scientific evidences about the effects of these foods on bone Ca excretion. In this study we tried to find the effect of soybean protein on Ca utilization. Subjects were healthy young women who have regular menstruation cycle. Depending upon the urinary Ca, pairs were made and they were randomly assigned into two groups. Experimental period was 30 days. Each ten days, nutrition survey and 24 hour urine collection were conducted. Urinary pH was measured by pH meter and Ca by OCPC method. Dropped out was only one who had acute viral enteritis. *Soy Protein Research, Japan* **14**, 77-80, 2011.

Key words : human, methionine, sulfur amino acids, soybean protein, Ca excretion, urinary pH

高齢化が進む中、骨粗鬆症は世界的に重要な健康問題¹⁾であり、この発症にはCa摂取不足が大きく関与していることが多くの研究で報告されている²⁾。平成20

年度国民健康・栄養調査結果によると³⁾、平均Ca摂取量は食事摂取基準（DRI 2010）の推奨量を満たしていない。摂取するたん白質の種類によって骨強度が低下する可能性があるとの研究結果もある⁴⁾。

卵白などの動物性たん白質には含硫アミノ酸が多く

*〒112-8610 東京都文京区大塚2-1-1

含まれているが、大豆などの植物性たん白質には比較的小さい (Fig. 1)。

大豆はアミノ酸スコアが100であるが、比較的含硫アミノ酸が少ないたん白質である (Fig. 2)。

たん白質摂取量が増加すると、尿中Ca排泄量が増加することが知られている⁵⁾。その原因として考えられるのが、たん白質中の含硫アミノ酸の影響である。体から失われる含硫アミノ酸の硫黄分のうち、およそ80%が硫酸態や亜硫酸態などの硫化物になり、生体は弱アルカリ性から酸性方向に傾く。生体はpHが大きく変化することを防ぐために、酸・塩基平衡によりバランスを保っている。最も早く反応するのは炭酸緩衝系であり、炭酸水素ナトリウム (NaHCO_3) および炭酸水素カリウム (KHCO_3) を利用して酸の中和を行う。

その他にも、腎臓、呼吸、ヘモグロビンなどさまざまな機構によってバランスは保たれていくが、骨もリン酸緩衝系として重要な緩衝物質となっている。酸負荷が長期にわたると細胞外の重炭酸イオンが消費されていくため、骨や歯などに蓄えられているリン酸カルシウム $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ および炭酸カルシウム (CaCO_3) が酸の中和のために利用され始める。このことから、長期にわたる酸性血症は骨の脱石灰化や骨粗鬆症の一因となると考えられる⁶⁾。

含硫アミノ酸量が比較的小さい大豆たん白質が、生体内のカルシウム排泄に及ぼす影響についての報告はない。骨粗鬆症予防に大豆が有意義であるとわかれば、Ca摂取量を増やすだけでなく、Caの体内利用を高める方法としても有効だと考えられる。

方 法

健康な若年成人女性 (20 ~ 22歳) を対象に公募を実施し、月経不順のない14名を被験者とした。被験者は試験開始前に測定した尿中Ca排出量が近いペアを作り、大豆たん白質群 (以下大豆群) と卵白たん白質群 (以下卵白群) にわけた。試験開始日は各被験者の月経最終日から数えて15日目からとした。試験は並行法で30日間行った。普段の食事は自由とし、それに加えて試験食を毎日摂取させた。暴飲・暴食を避け、規則正しい生活を送るように指導した。試験期間である30日間を10日間ずつ3期に分け、各期の最後の2日間を尿採取日として24時間蓄尿を行い、pHとCa排泄量を測定した。さらに、各期で非連続3日間の24時間思い出し法による食事調査を行い、試験食以外の栄養素摂取量を求めた。また、体調に関する簡便な質問も行った。

試験食は、被験者の脱落を防ぐために30日間継続して無理なく摂取できるものでなければならない。分離大豆たん白質粉末 (Soy Protein Isolate: SPI) と乾燥卵白たん白質粉末 (Egg White Protein: EW) は、どちらも独特の風味が強すぎてそのまま摂取することは困難であった。飲み物に溶かす、ヨーグルトに溶かす、料理に混ぜるなど各種の方法を試した。試験食からの摂取栄養素が異ならないように、どちらのたん白質粉末も同じ方法で摂取できる方法を探し、クッキーを採用した (Fig. 3)。

クッキーには、SPIまたは、EWが30 g含まれている。また、大豆イソフラボン含量とCa含量を等しくするため、大豆イソフラボンと炭酸Caを添加調整した。

被験者から受け取った尿は、全容量を計測したのち

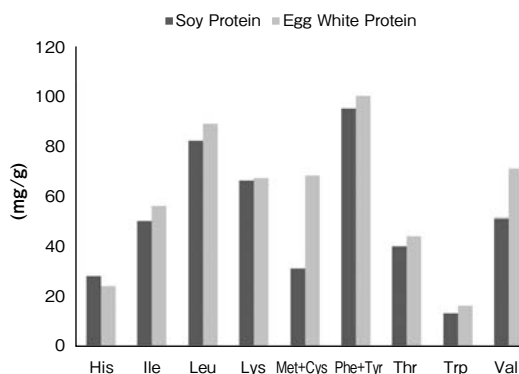


Fig. 1. Comparison of essential amino acid concentrations between soybean and egg white proteins.

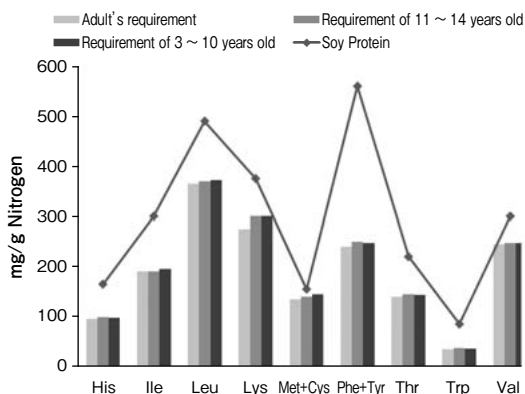


Fig. 2. Essential amino acid concentrations of soybean protein and their requirements reported by FAO/WHO/UNU 2007 for different age groups.



Fig. 3. Cookies with SPI or EW.

混和しながらpHメーターを用いてpHを測定した。尿中Ca排泄量の測定は比色法（OCPC法）で行われた（株式会社ビー・エム・エル）。

結 果

被験者の平均身体測定値は、年齢21歳、身長158 cm、体重49 kgおよびBMI 20となり、平成20年度国民健康・栄養調査の体力・運動能力調査と比較して同年齢の日本人の平均と大きくはずれていないことがわかった。

大豆クッキーと卵白クッキーの一日分のエネルギーと主栄養素量は、含硫アミノ酸の量（それぞれ1,140 mg/日、2,398 mg/日）にのみ大きな差があり、エネルギーやその他の栄養素はほぼ同量となった。

全被験者でクッキー摂取による脱落者は発生しなかった。しかし、卵白群の1名がウイルス性胃腸炎により試験開始から10日間で脱落した。

Table 1にはⅢ期の非連続3日間の24時間思い出し法による被験者の栄養素摂取と尿の状況を示す（Ⅰ、Ⅱ期は示さなかった）。含硫アミノ酸摂取量のみ卵白群が有意に多かった（ $p<0.01$ ）。

尿pHは、卵白群が有意に低くなった（ $p<0.05$ ）。

尿中Ca排泄量は、大豆群と卵白群のあいだに有意差は得られなかったが、大豆群内では試験期間内に有意に減少した（ $p<0.05$ ）。

また、尿pHと尿中Ca排泄量との間に相関関係はみられなかった。

考 察

尿pHと尿中Ca排泄量の結果から、SPIは、EWと比

較して、尿pHの低下および尿中Ca排泄量の増加を抑制する傾向にあるのではないかと考えられる。

本実験では試験食以外の食事は普段通りの自由食と設定したため、両群の栄養素摂取量は完全に同じではない。しかしながら、全期間通して顕著に有意差が生じたのは含硫アミノ酸だけであったことから、含硫アミノ酸の摂取量の違いが尿pHの有意差（ $p<0.05$ ）および尿中Ca排泄量の減少傾向にもっとも影響を及ぼした要因である可能性が高いと考えられる。

含硫アミノ酸による骨吸収の増加が骨の健康に悪影響を及ぼすかどうかについては賛否両論ある^{6,7)}。また、含硫アミノ酸摂取の増加に伴う尿の酸性化および尿中Ca排泄量の促進が、摂取増加からどの程度の期間で起こるのか、先行研究では明らかにされていない。

今回の試験は初回のものであり、投与たん白質量や期間、人数、研究デザイン（並行法か交叉法）など、今後の研究のために探ることを重要な目標とし、それぞれ30 g/日、30日間、7名とした。その結果、尿pHは両たん白質群で差が見られたが、尿中Ca排泄量には、大豆群で少ない傾向はあるものの統計的な有意差は見られなかった。このことから、今回の仮説は間違っているのではないと思われるが、科学的に強いエビデンスとして統計的に $p<0.05$ の結果を得るためには、被験者数のみを変えるなら各群10名以上、日数のみを変えるなら約60日、投与たん白質量のみを変えるなら50 g/日、デザインを変えるなら交叉法であることの必要性が示唆された。

以上、大豆たん白質は、動物性たん白質と比較して、体内のpH低下を抑制し、尿中Ca排泄量を減少させることが示唆された。

Table 1. Energy and nutrient intakes

	SP Group	EW Group
Energy and protein intakes		
Energy (kcal)	2023 ± 168	2024 ± 140
Protein (g)	73 ± 7	78 ± 7
Sulfur amino acids (mg)	2417 ± 238	4019 ± 323**
Lipid (g)	74 ± 5	72 ± 7
Carbohydrate (g)	259 ± 34	254 ± 28
Vitamin D (μg)	4.7 ± 4.3	2.4 ± 1.1
Ca (mg)	504 ± 155	420 ± 151
Urine		
pH	6.16 ± 0.25	5.71 ± 0.38*
Ca excretion (mg)	108 ± 53	138 ± 45

Data: means ± SD *, ** Significantly different by unpaired *t*-test at $p<0.05$ and $p<0.01$, respectively.

要 約

生体内の過剰の含硫アミノ酸は酸化され、生体のpHを低下させる。その中和のために骨吸収が増加し、骨密度が低下する可能性が報告されている。現在、日本人の含硫アミノ酸摂取量は高い。大豆のメチオニンとシステインなど（含硫アミノ酸）の含量は不足ではないが、肉、卵、魚などに比べると低いので、Ca排泄抑制効果が期待できるものの、その根拠はない。本実験では、大豆たん白質と卵白たん白質を与えたときの尿pHおよび尿中Ca排泄量を比較して、大豆たん白質摂取時の尿pHの低下および尿中Ca排泄の抑制効果を検証した。健康な若年成人女性を対象に被験者公募を実施し、月経不順のない14名を被験者とした。次に試験開始前の尿中Ca排泄量に応じたペアを作成し、2群にわけた。試験開始日は月経最終日から数えて15日目からとした。試験期間は30日間であり、10日間ごとに3つの期にわけた。試験期間中は分離大豆たん白質30 gまたは乾燥卵白たん白質30 gを含んだクッキーを摂取し、各期の最後の2日間で24時間蓄尿をした。尿はpHメーターによりpHを測定したのち比色法（OCPC法）でCa排泄量を測定した。また、各期での非連続の3日間の食事について24時間思い出し法による調査を行い、体調に関する簡便な質問も行った。全被験者においてクッキー摂取による脱落者は発生しなかったが、ウイルス性胃腸炎による脱落者が1名発生した。含硫アミノ酸摂取量は卵白群が大豆群よりも多かった（ $p<0.01$ ）が、Ca摂取量に有意差はなかった。尿pHは、卵白群の方が大豆群よりも低下した（ $p<0.05$ ）。尿中Ca排泄量は、大豆群でのみ減少した（ $p<0.05$ ）。以上の結果から、大豆たん白質は、卵白たん白質と比較して、体内のpH低下を抑制し、尿中Ca排泄量を減少させることが示唆された。

文 献

- 1) Delmas PD and Fraser M (1999): Strong Bones in later life: luxury or necessity? *Bull World Health Organ*, **77**, 416-422.
- 2) Cumming RG (1990): Calcium intake and bone mass: a quantitative review of evidence. *Calcif Tissue Int*, **47**, 194-201.
- 3) 国民健康・栄養の現状－平成20年厚生労働省国民健康・栄養調査報告より－，第一出版，2010.
- 4) FAO/WHO expert consultation on human vitamin and mineral requirements: Human Vitamin and Mineral Requirements, Report of a joint FAO/WHO expert consultation, Bangkok, Thailand, 2002.
- 5) 『タンパク質・アミノ酸の必要量：WHO/FAO/UNU合同専門協議会報告』日本アミノ酸学会監訳，医歯薬出版，2009.
- 6) Feskanich D, Willett WC, Stampfer MJ and Colditz GA (1996): Protein consumption and bone fractures in women. *Am J Epidemiol*, **143**, 472-479.
- 7) Thorpe M, Mojtahedi MC, Chapman-Novakofski K, McAuley E and Evans EM (2008): A positive association of lumbar spine bone mineral density with dietary protein is suppressed by a negative association with protein sulfur. *J Nutr. Jan*, **138**, 80-85.