放射性Srの排泄とCa摂取量との関係について(第3報)

Studies on the Relation between the Excretion of Sr*
and the Intake of Ca (Report 3)

国立栄養研究所 食品化学部 (Division of Foodchemistry, National Institute of Nutrition)

五島 孜郎 (Shiroh Gotoh) 早川 徳子 (Tokuko Hayakawa)

鈴木 一正 (Kazumasa Suzuki) 速水 洸 (Hiroshi Hayami)

This study was projected for the purpose of knowing how to reduce the ^{90}Sr excretion from relation between amount of Ca and Mg intake.

Experimental: Twenty-four growing albino rats were subjected to this experiment, and they were divided into four groups. The 1st group was fed a low Ca-normal Mg diet and the 2nd a low Ca-high Mg diet and the 3rd high Ca-normal Mg diet and the 4th high Ca-high Mg diet.

The high Mg means to contain twice amount of Mg in the normal diet. Radioactive Sr (Sr-^{90}) was injected into the abdominal cavity of the rat, $5\mu\text{c}$ per capita.

After the injection, urine and feces of the rats were collected every two days during the first 10 days, thereafter both were collected occasionally up to the thirtieth day.

Thirty days after the injection the rats were killed and under leg. incisor were taken off for determination of deposit activity in hard tissue.

Results: (1) The amount of ^{90}Sr excreted by the rats fed the high Ca diet was higher than that of the low Ca fed group. (2) In high Mg group, ^{90}Sr excretion in urine seemed to indicate higher trend than normal Mg fed group. (3) The retained amount of ^{90}Sr in hard tissue, especially, in the femur was larger in the low Ca group than that of the high Ca group. (4) In the report 2, the retained amount of ^{90}Sr in the teeth was larger than the under-leg. This different is presumable due to the duration to be anatomized. (5) The high amount of Mg uptake had no relation to deposition of ^{90}Sr , whereas it had in the case of high Ca uptake.

〔はしがき〕 さきに、成熟ラット及び幼若ラットの場合における摂取Ca量と放射性Srの排泄程度との関係を観察し、両者の場合ともCaを多く摂取した群が少ない群より多くの放射性Srを排泄することを示したのであるが、今回は、成長期のラットについて前報同様、Ca摂取量と放射性Srの排泄及び硬組織への沈着に及ぼす影響をみた。同時にCaと拮抗的作用を有するMgとの関係も併せ観察したので報告する。

〔実験方法〕 1. 体重 120g前後の Wister 系ラット24匹を用い、実験開始に先立ち1ヶ月間実験食で飼育し、その後各群6匹ずつ A, B, C, Dの4群にわけ供試ラットは1匹ずつ、前報同様、Metabolic Cageに入れた。

2. 実験開始と同時にラット1匹当たりにつき、 $5\mu\text{c}$ の ^{90}Sr を腹腔内に注射した。

注射後10日目までは2日毎に、その後は適時、尿尿を採取して計30日間の排泄状況を観察した。

その後、エーテル麻酔のもとに殺して解剖、大腿骨、脛腓骨及び門歯をとり出し硬組織への沈着をも観察した。

3. 各被験動物群に投与した実験飼料は、第1表に示すものをB群に与え、A群にはB群に投与した飼料よりCaを除いたものを、C群にはA群に投与したと同じ飼料に Mg を添加したものを、D群にはB群に投与したと同じ飼料に同じく Mg を添加したものを投与した。

この Mg の添加量は第1表に示す数値の2倍量である。

Table 1 Mixture rate of Basal diet (%)

Casein	18	CaCO ₃	37
Dextrin	62	NaCl	6.5
Oil	10	Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	10
Liveroil	2	K ₂ HPO ₄	30
Yeast	4	Fe(NH ₄) ₂ (C ₆ H ₅ O ₇) ₂	3
Saltmixture	4	KI	0.5
		MgSO ₄ ·7H ₂ O	13

4. 放射能測定のための尿尿及び硬組織の測定試料の作製ならびに測定方法は前報に準じて行なつた。

実験成績

1. 被験動物の発育 各実験飼料による飼育開始直前の各群の平均体重 120g であつたものが、第1図にみられるように飼育期間とともに発育の程度が異なり、実験最終日にはB、D群の高Ca摂取群では230gに達して

Fig. 1 Body-weight Curve in Each Group

A : Low Ca-Normal Mg Diet Group
C : Low Ca-High Mg Diet Group
B : High Ca-Normal Mg Diet Group
D : High Ca-High Mg Diet Group

Fig. 2

いるのに、A、C群の低Ca摂取群では僅かに 150~160g にとどまり、発育の盛んな時期にはCa の必要なことを示している。

2. ⁹⁰Sr の排泄

i 尿中排泄 第2, 3, 4 図に示すように低Ca摂取群高Ca摂取群とも実験初期には後期に比して多量の⁹⁰Srを

排泄するが、Ca を多く摂取した群は低い群に比して、その割合は大きい。

また実験初期ほど Sr* の排泄量は多く、本実験では4日目では急速に排泄されるが、その後はゆるやかな傾向で減少し、10日以後は殆んど Constant に近づいていくようである。

Fig. 3

Fig. 4

第 5 図 (I, II) の累積排泄率をみても、実験後期になるにつれて最初に比して次第に排泄量が増加していくとはいえない。

ii 尿中排泄 排泄量は尿中のそれにくらべると低いが排泄状況は同じような傾向を示している。

さらに、第 2 表より Mg を多く投与した群は Mg の摂取量の少ない群に比して ^{90}Sr をいくぶんか多く尿中に排泄する傾向がみられる。

3. ^{90}Sr の硬組織への沈着 大腿骨、脛腓骨、門歯各 1 本当りの ^{90}Sr 沈着量 (μc) を第 3 表に示す。

また、同表にある屍体とは両側の大腿骨、脛腓骨及び門歯上下 4 本を除いたものである。この表より Ca 摂

Fig. 5 (I)

Fig. 5 (II)

Table 2 Excretion rate of ^{90}Sr in each group (%)

Group		total excretion in 10 days		total excretion in 20 days		total excretion in 30 days	
Low Ca-Normal Mg Diet Group	Feces	4.3	5.9	6.2	8.4	6.6	9.1
	Urine	1.6		2.2		2.5	
Low Ca-High Mg Diet Group	Feces	4.7	7.0	6.3	9.2	7.0	10.3
	Urine	2.3		2.9		3.3	
High Ca-Normal Mg Diet Group	Feces	40.2	42.5	42.8	45.3	44.5	47.1
	Urine	2.3		2.5		2.6	
High Ca-High Mg Diet Group	Feces	22.0	24.6	25.0	28.2	26.4	29.8
	Urine	2.6		3.3		3.4	

Table 3. The retained amount of ^{90}Sr in hard tissue

Group	unite: μc			
	Femur	Tibia, Fibula	Incisor	Carcase
Low Ca-Normal Mg Diet Group	0.138 ± 0.015	0.104 ± 0.013	0.091 ± 0.018	3.620 ± 0.192
Low Ca-High Mg Diet Group	0.176 ± 0.020	0.119 ± 0.012	0.092 ± 0.005	3.430 ± 0.126
High Ca-Normal Mg Diet Group	0.081 ± 0.023	0.085 ± 0.018	0.060 ± 0.011	2.064 ± 0.380
High Ca-High Mg Diet Group	0.099 ± 0.017	0.091 ± 0.016	0.060 ± 0.012	2.438 ± 0.150

取量の多い群は少ない群に比して、硬組織殊に大腿骨、門歯への ^{90}Sr の沈着度の低いことがうかがわれる。

また屍体についても同様の傾向がみられる。Mg 摂取量と ^{90}Sr の沈着との間には、Ca のような関係はみられない。

4. ^{90}Sr の回収率 投与 ^{90}Sr の回収率は各群とも 95~99% で平均して 97% であった。

考 察

1. Sr^* の排泄及び骨沈着について

i Ca との関係 著者等が成熟ラット及び幼若ラットで Sr^* 排泄と Ca 摂取の関係をみた実験ではともに Ca を多く摂取したラットでは摂取量の少ないものに比して、より多くの排泄をみる傾向を得ているが、本実験の成長期のラットにおいても、また同様の結果が得られた。

しかし、成熟ラットの場合のその程度は他の二者に比して劣っている。

¹⁾ 檀原の実験の実測値をみても、幼若ラットでは可成りの差がみられるが、成熟ラットでは左程著明な差は認められないようである。

今回の実験の高 Ca 摂取群は、^{2, 3)} さきに行つた高 Ca 摂取群の成績より多く排泄しており、これは Ca 摂取量の相違によるものであろう。

排泄の状況については、尿中への排泄は指数曲線を描いて減少していくようで、⁴⁾ 小山等のマウスに Sr^* を皮下注射し、経日的に観察した結果によると 1~2 日間は著しい Sr^* の排泄がみとめられ、3 日以後は略々指数曲線を示しており、同様の結果は亀田等の実験によつても明らかである。⁵⁾

本実験でも 1~2 日間は ^{90}Sr の排泄が著しく、さらに 4 日目までは可成りの排泄がみられるが、その後はゆるやかな傾斜となり 10 日以後は殆んど Constant である。

尿中排泄は量的には尿中のそれより低い、傾向としては類似している。また Ca 摂取量の多寡による排泄量の差異は尿においては見られない。

Sr^* の総排泄の投与量に対する割合は、本実験における高 Ca 摂取の状態では Sr^* 投与後 10 日間で体内に入れた量の約 $1/3$ であり、⁵⁾ 亀田等は 8 日間で、体内に吸収された量の $1/3$ に近い量が尿より排泄されるようだとのべているが、この差は動物の老若あるいは個体差によつても起りうるであらう。

次に骨への Sr^* の沈着については、Ca 摂取量の少ない群の硬組織へは Ca 摂取量の多い群より多くの Sr^* が入り込み、殊に大腿骨においてその差は大きく、次いで門歯にも或る程度の差がみとめられる。

⁶⁾ 莊野は高 Ca 食、中等量 Ca 食、Ca 欠乏食でラットを飼育し、 Sr^* を経口あるいは経皮投与したとき Sr^* の骨中及び血中濃度は高 Ca 食群では低 Ca 食群の 40% 以下であつたとのべている。

7) 8) また鳥塚、菊池は高 Ca 食餌は Sr* の骨沈着量を減少するといひ、さらに Ca を多く必要とする幼若ラットでは Ca を大量に与えたラットに比して、Ca 欠乏の食餌を与えたものでは Sr* の骨沈着が数十倍にも達するとも云われている。⁹⁾

10) Wasserman 等の成長期のラットによる実験でも、食餌中 Ca 量の増加は Sr* の硬組織への蓄積を減少させている。このように Ca 摂取量の多い場合には Sr* の排泄が増加し、骨への沈着が少なくなると考えられる。

本実験では大腿骨に可成りの Sr* の沈着がみられるが、先に行つた幼若ラットの場合には門歯に多くの沈着がみられたのである。これは、年令的な差によるものというよりは、むしろ解剖までの時間的ずれによるものであろう。即ち、本実験は実験開始30日後に解剖したものであり、幼若ラットの場合は実験開始60日後に解剖している。

これより、硬組織内においても新陳代謝は行われており、その新陳代謝速度が同じ硬組織でも骨と歯では異なることが推定される。

ii 食餌中の Ca 対 P 比との関係 骨の形成には Ca と共に P も極めて関係が深いことは周知のところであるが、伊藤等によると体重 130~190g のラットで低 P 食群が対照食群の約 2 倍の Sr* を排泄している。¹¹⁾

これは低 P 食によつて Ca が尿中へ多く排泄されるような原因がつけられると、これが体液中の Sr にも働き、その排泄を促進させるのであろうと推察している。

また幼若ラットにおいても低 P 食群は正常 P 食の対照群の数倍も多く Sr* を排泄したという報告もある。¹²⁾

食餌中の Ca/P 比が大きいと、P の吸収が抑制され、体内での Ca の相対的過剰を来し、そのために細尿管における Ca の再吸収がさまたげられ、尿への排泄が亢進するというのが伊藤等の考えであるが、著者等の実験では成熟、幼若ラットの場合と同様、本実験でも高 Ca 普通 P 摂取群 (Ca/P=1/1) の方が低 Ca 普通 P 摂取群 (Ca/P=1/15) より多くの Sr* を排泄しており、Ca と P の比のみならず Ca、P の絶対量の関係もまた大切であるといえる。

13) Wasserman 等は幼若ラットでは飼料中の Ca 量が高めることにより P 量に関係なく Sr* の骨への沈着を減少させることができたが、成熟ラットでは Ca のみ増加させても Sr* の沈着は殆んど減少しない。しかし Ca と共に P 量も増加したとき、ある程度 Sr* の沈着の減少が認められるといつている。

iii 食餌中の Mg との関係 著者等の実験では Mg を多く摂取した群は、摂取量の低い群に比して尿中にいくぶんか多くの Sr* を排泄する傾向がみられた。

動物に Mg を注射したとき、また経口的に投与量を増加したとき、尿中の Ca 量は増加するといわれている。¹⁴⁻¹⁵⁻¹⁶⁾

Sr と Ca が類似の行動をとると考えると、Mg の投与によつて Sr* の尿中排泄をいくぶんでも促すことができるといえよう。しかし Mg の摂取が多いときには尿中への Ca の排泄を増すということについて、著者等の成績では、これと逆の結果をえている。

2. Sr* の排泄と投与方法との関係 ¹⁷⁾¹⁸⁾ Spencer 等は人に Sr* を静脈注射によつて投与したところ、主に腎を介して排泄され、更に Sr* 排泄の割合は骨機能代謝の状態によつても影響されるようだと報告しており、¹⁹⁾ Harrison 等も同じく人に Sr* を静脈注射したところ、1ヶ月後には尿中に66%排泄され、尿中への排泄はわずかであつた。しかし経口投与したときは尿中に64%、尿中に24%排泄されたといつている。

しかし、Sr* を腹腔内注射で投与した著者等の成熟、幼若ラットによる実験、更に今回の成績はともに、これらと反して尿中より尿中に多くの排泄をみており、また Stover ²⁰⁾ 等も犬について 0.56~100 μ c/kg の Sr* を静脈注射し、尿尿中への排泄をみたところ投与量による影響はなく、尿中に多く排泄され平均して22日間に

注射量の34.6%が尿中に、25.9%が尿中にあらわれたといっている。

この傾向は Ca*投与の際にもみられ、Ca*を皮下注射と経口投与の2方法で投与し、尿尿中への排泄を観察した²¹⁾速水等の実験によると、皮下注射群でも尿中より、はるかに大量の Ca* が尿中に排泄されている。

このように、一旦摂取された Sr*も Ca*も腸管より排泄されることは明らかであるが、研究者により、その排泄状態は一致しない。

Sr*の排泄がすべて消化液を介してなされるものか、あるいは大腸粘膜より排泄されるものかその Mechanism については、なお明らかではないが Sr*の腸管内排泄についての検討は、Ca の排泄とともに興味深いものとする。

結論 被験動物として体重 120g前後のラットを用い、これらを低 Ca 正常 Mg 食、低 Ca 高 Mg食、高 Ca 正常 Mg 食、高 Ca 高 Mg 食で飼育し、⁹⁰Sr を腹腔内に投与して Sr* の排泄及び硬組織への沈着の状態を観察した。

1. Ca 摂取量の多い群は少ない群に比して、尿中への Sr*の排泄率は高い。
2. 尿中への Sr*排泄量は実験初期ほど多く、実験後期になるにつれて減少し Constant に近づいてゆく。
3. Mg摂取量の多い群は少ない群に比して尿中に Sr* を、いくぶん多く排泄する傾向がみられる。
4. Ca摂取量の多い場合には硬組織への Sr*の沈着度が低い。殊に大腿骨ついで門歯においてみられ、また屍体についても同様の結果を得た。

Ca の摂取量をますことによつて、Sr*の体外排泄をまし、硬組織への Sr*の沈着を阻止することができるということは、我々日本人の Ca 摂取量が、まだ所要量においつかぬ現状において、Ca摂取量の増加が望ましいことはいうまでもないであろう。

(本論文要旨は第15回栄養食糧学会にて発表した)

文 献

1. 檀原 宏：農技研報，25号1 (昭35)
2. 五島孜郎他：印刷中
3. 五島孜郎他：印刷中
4. 小山 豪他：日医放誌，17，557 (昭32)
5. 亀田魁輔他：東京医事新誌，73，17 (昭31)
6. 莊野 格：日医放誌，17，1516 (昭33)
7. 鳥塚 莞爾：日血会誌，19，245 (昭31)
8. 菊池 武彦：研究報告集録医学及薬学編，216 (昭32年版)
9. 福田 隆：日医放誌，15，845 (昭30)
10. R. H. Wasserman et al : *Science*, 126, 1180 (1957)
11. 伊藤四十二他：薬学誌，78，76 (昭33)
12. D. H. Copp et al : UCRL-1446 (1956) ; C. A., 46, 11398 (1952)
13. R. H. Wasserman et al : *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.*, 103, 124 (1960)
14. L. B. Mendel et al : *Am. J. Physiol.*, 25, 1 (1909)
15. E. B. Hart et al : *J. Biol. Chem.*, 14, 75 (1913)
16. M. Whelan : *J. Biol. Chem.*, 63, 585 (1925)

17. H. Spencer et al : *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.*, **91**, 155 (1956)
18. H. Spencer et al : *Metabolism*, **IX**, 916 (1960)
19. G. E. Harrison et al : *Atomic Energy Research Estab. (Gt. Brit.)*, SPAR/2 14pp (1955): C. A., **50**, 10925 (1956)
20. B. J. Stover et al : *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.*, **99**, 201 (1958)
21. 速水決他 : 栄養学雑誌, **9**, 94 (1951)

(受付 : 昭和36年8月2日)

抄 録

摂取熱量の分析値と計算値の比較 Comparison of Analyzed and Calculated Energy Values of Food Intakes of Adult women. Helen L. Pilcher, Jane M. Leichsenring, Stephen P. Frommes, Loana M. Norris : *Metabolism*, **10**, 475 (1961)

食品成分表から算出したカロリー摂取量と、実際に食物をカロリーメーターで計測して得られたカロリー量とを比較してみるために、6人の婦人を対象として20日から84日間にわたって実験を試みた。

対象は52才~65才の婦人で、自由食期と制限食期に分け、何れも食した食品を計量して記録せしめた。そして食事の一部をとってボンブカロリーメーターでエネルギー発生量を計測し、又尿と尿を毎日採取した。

利用熱量は、カロリーメーターではかつた gross energy から尿、尿中のカロリーロスを出したものとした。即ち尿中ロスは各個人の排泄窒素 1g につき 7.9 カロリーという係数を用いて計算し、尿中ロスは 1 日 100 カロリーとした。

その結果は、自由食の場合は、分析値と計算値の差が -77 から +86 カロリー、これを平均すると +11 カロリーとなつて分析値と計算値はおどろく程の一致をしたことを示している。制限食の場合はその差が -111 から +142 カロリー、平均 +26 カロリーでこれもよく一致していると考えてよい。

カロリー摂取の多少によつて差異があるかどうかをたしかめるために、1800 カロリー以下摂取群と、それ以上摂取群とにわけると、自由食では低カロリー群が全実験例の 57% が 5% 以内の差で分析値と計算値が一致しているのに対して高カロリー群では全例の 47% が 5% の差で一致している。制限食の場合は低カロリー群では 61% が 5% 以内の差に入り

高カロリー群ではそれが 44% にすぎない。

以上のことから、分析値と計算値は比較的よく一致するけれども、カロリー摂取量が低い場合に一層このことが信頼出来るようである。カロリー摂取が高い場合は、分析値が計算値よりいくらか高く出る傾向がみえる。

(磯部)

人体試験によるアミノ酸利用率、そのⅢ 鶏卵及び牛肉 Biological Availability of Essential Amino Acid to Human Subjects, Ⅲ Whole egg and Beet muscle. J. H. Watts, C. H. Allen, L. K. Booker : *J. Am. Dietet. Assn.*, **36**, 42 (1960)

成人男女 5 名に低蛋白食、鶏卵食、牛肉食を夫々 10 日間ずつ投与し、各期の食餌及び尿中排泄必須アミノ酸を微生物法により測定した。アミノ酸利用率(摂取量-排泄量/摂取量)は鶏卵食及び牛肉食共似た値を示し、Try. 以外のアミノ酸は 5 名平均で鶏卵食 89~91%, 牛肉食 89~92% であつた。Try. は鶏卵食 70%, 牛肉食 79% で低かつたが、これは Try 定量法の困難性によることが大であろう。(松野信)

食品のビタミン K 活性度 Comparative Vitamin K Activity of Frozen, Irradiated and Heat-processed Foods. L. R. Richardson Stella Wilkes, S. J. Ritchey : *J. Nutrition*, **73**, 369 (1961)

アスパラガス、ブロッコリー、キャベツ、カリフラワー、グリーンビーンズ、ホウレンソウの 6 種類について冷凍したもの、普通の加熱処理して缶詰にしたもの、 γ 線 2.79, 5.58 megarade で照射したものについてビタミン K 活性度を chick assay 法で測定した。その結果、加熱処理や γ 線照射をした食品より冷凍した食品の方がビタミン K 活性度が高かつた。

(平山)