ラットの Ca, P 代謝におよぼす食餌性タンパク質 および Mg レベルの影響 (第 1 報)

Effects of Dietary Protein and Magnesium Levels on Calcium and Phosphorus Metabolism in Rats (Rep. 1)

出 納 試 験 成 績 に つ い て

A balance study

(昭和 42 年 7 月 6 日 受 理)

五 島 孜 郎
(Shiroh Gotoh)

関 博 磨
(Hiromaro Seki)

The first suggestion of protein-magnesium relationship was made by Colby et al. (1951). Menaker (1954) and Bunce et al. (1963) elaborated thereafter on this problem.

The following study was designed to give further information on the influence of dietary protein and magnesium levels on the calcium and phosphorus metabolism, using 30 male albino rats of the Wistar strain, averaging 41 g in the initial body weight.

Either in the low or high protein intake, there was no difference in the weight gain between the diet with 50 mg% and that with 200 mg% of magnesium. In moderate protein intake, however, the gain with low magnesium intake was greater than that with high magnesium diet.

In the group receiving equal amount of protein, the calcium metabolism was not affected by dietary magnesium level but the lower level of magnesium caused higher absorption and urinary excretion of phosphorus. The high protein-low magnesium diet caused a decrease in absorption of magnesium.

In the group receiving equal amount of magnesium, the protein-deficient diet decreased the percentage absorption of calcium and phosphorus, and increased the percentage excretion of calcium in urine.

タンパク質と Mg の関係を最初に指摘したのは Colby ら¹⁾で、彼らは Mg 欠乏食でタンパク質レベルを 24% から 50% にあげたときに、体重増加量および血清 Mg 値の低下することを観察している。Menaker²⁾は食餌性タンパク質レベルが 14% と 7% で、かつ Mg 含量が低いとき後者の体重増加量が良好であったという。Bunce³⁾らはラットとヒナ鶏について、それらの Mg 要求量と食餌性タンパク質との関係をみた中で、高タンパク-低 Mg 食はラットの体重増加に悪影響をおよぼしたという。さらに出納試験の結果、高タンパク食は尿中への Mg 排泄増加を、また飼料中にタンパク質あるいは Mg のいずれかが増加すると Ca の尿中排泄が増すことを観察している。これらは、いずれも食餌性 Mg レベルが低いときのタンパク質レベルとの関係をみたものであるが、日本食では Mg の摂り方が多いとされているので⁴⁾、著者らはラットの食餌性 Mg レベルを各研究者が正常と考えて使用している量と、過剰の量の 2 種について、タンパク質レベルを変えたときに、Ca, P の出納がどのように変わ

るかを検討した。

実 験 方 法

体重 41 g 前後の Wistar 系ラット 30 匹を用い、6 群に分けた。すなわち、まずタンパク質レベル別に低い、(8.8%), 中等度 (17.5%), 高い (35.0%) の 3 群に分け、さらに各タンパク質レベルごとに 50 mg% (以下低 Mg 食とする)、200 mg% (以下高 Mg 食とする) の 2 種のレベルの Mg 量を与えるという 6 群をつくった。

飼料はタンパク源としてカゼインを、糖質としてブドウ糖を用いた。他の飼料構成成分は飼料 100 g あたり、大豆油 5%, ビタミン混合としてパンビタン末 1% (武田製薬 K K) を用い、この 1 g 当たりに塩化コリン 100 mg を添加した。無機質混合としては Mameesh ら⁵⁾のものを 4 % 用い、高 Mg 食のときは $MgCO_3$ の添加により調製した。

この飼料中の Ca, P 量は分析の結果、それぞれ 670 mg%, 490 mg% であった。

実験開始に先立ち、各ラットを代謝籠に入れ、前記の飼料を各群ごとに与え、5日間飼育した後、実験を開始した。飼料摂取量は各ラットについて、それぞれ測定し、飲料水は自由に与えられた。尿尿は1日ごとに分離採取し5週間にわたり観察した。

飼料および尿尿中のMg, Caはキレート滴定法⁶⁾により、PはGomoriの方法⁷⁾によって定量した。得られた成績についてはF分布を用いて有意差の検定を試みた。

実 験 成 績

I. 体重増加について

図1に示す曲線は週ごとの各群の平均体重増加量を累積したものである。低タンパク質食間では飼料中のMgレベルにより体重増加量に差はみられず、高タンパク質食間においても、これと同様な傾向がみられる。しかしタンパク質17.5%レベルでは飼料中のMgレベルによって体重増加量に差がみられ、Mgが多量に飼料中に存在すると体重増加量の低下することを示している。全体的にはタンパク質レベルの高い方が体重増加量も高くなっているが、とくにタンパク質17.5%、Mg 50mg%の飼料を摂取した群は効率がよいようである。

Fig. 1. Average weekly weight gain

II. 無機質の出納成績について

表1は各飼料を摂取したラットのCa, PおよびMgの出納成績を各摂取量に対する%で示したものであり、これを図示したのが図2である。さらに表1の数値間の有意差を検討したのが表2である。

1) Caの出納について

タンパク質レベルが同一のとき：MgレベルによってCaの吸収率、尿中排泄率、体内保留率に影響はみられない。すなわち出納結果に差はみられない。しかし、Mgレベルが同一のとき：タンパク質レベルによって差がみられ、タンパク質8.8%のとき、他の群に比してCaの吸収率は低く、尿中排泄率は高い。そして体内保留率は低くなる結果を示した。タンパク質17.5%、35.0%の両者間にはならぬ差がみられない。

2) Pの出納について

タンパク質レベルが同一のとき：Mgレベルの低い飼料を摂取した群はPの吸収率が高くなるが、また尿中排泄率も高くなる結果を示した。そして体内保留率では各群間に差はみられない。つぎにMgレベルが同一のとき：タンパク質8.8%レベルのときPの吸収率をもっとも低く、タンパク質35.0%レベルのときPの尿中排泄率をもっとも高い値を示した。そして体内保留率では全ての群間に差はみられない。なおMgレベルの低いときには高いときに比し、尿中にPを多く排泄することがうかがわれる。

3) Mgの出納について

タンパク質レベルが同一のとき：タンパク質35.0%の群間でMg吸収率に差がみられるが、他のタンパク質レベルでは差がみられない。尿中排泄率は各群間に差がみられない。体内保留率はタンパク質8.8、35.0%レベルのときMgレベルの低い方が低値を示している。Mgレベルが同一のとき：まず高タンパク低Mg食ではMg吸収率をもっとも低く、尿中排泄率は低タンパク食のとき高い値を示している。体内保留率はタンパク質17.5%食で高い値を示している。つぎに低タンパク高Mg食のときMgの吸収率、尿中排泄率ともに高値を示すが、体内保留の割合は、B, D, Fの3群間に差がみられない。

飼料中のタンパク質レベルがあがるにしたがい尿中のMg排泄率低下の傾向が6群間にみられる。

4) Ca, P, Mgの体内保留量について

表3は実験全期間を通じての体重増加量100g当りのCa, PおよびMgの体内保留量を示したものである。

Caの体内保留量：飼料中タンパク質レベルが同一のとき、低タンパク食でMgレベル50mg%のときに高値を示した。他の群間には差がみられない。Mgレベルが

Table 1. Absorption, excretion and balance of calcium, phosphorus and magnesium with different level of protein and magnesium
(all figures indicate percentage of intake)

Protein, % Magnesium, mg%		A 8.8 50	B 8.8 200	C 17.5 50	D 17.5 200	E 35.0 50	F 35.0 200
Ca	Fecal excretion	66.6 ±1.3*	70.2 ±2.0	56.1 ±2.8	59.4 ±2.0	55.1 ±2.1	55.9 ±3.0
	Absorption	33.4 ±1.3	29.8 ±2.0	43.9 ±2.8	40.6 ±2.0	44.9 ±2.1	44.1 ±3.0
	Urinary excretion	1.5 ±0.1	1.4 ±0.1	0.6 ±0.2	0.8 ±0.2	1.1 ±0.3	1.0 ±0.3
	Balance	31.9 ±1.4	28.4 ±2.0	43.3 ±2.7	39.8 ±2.0	43.9 ±1.8	43.1 ±2.8
P	Fecal excretion	44.2 ±1.5	50.7 ±1.9	35.7 ±1.6	43.2 ±2.4	35.1 ±1.0	41.7 ±1.8
	Absorption	55.8 ±1.5	49.3 ±1.9	64.3 ±1.6	56.8 ±2.4	64.9 ±1.0	58.3 ±1.8
	Urinary excretion	18.1 ±1.2	7.2 ±1.0	16.6 ±1.3	8.6 ±1.3	25.3 ±1.2	16.3 ±1.3
	Balance	37.7 ±2.8	42.1 ±2.3	47.7 ±2.9	48.2 ±2.0	39.6 ±1.8	42.0 ±2.6
Mg	Fecal excretion	49.5 ±3.5	43.1 ±1.6	46.8 ±3.9	50.3 ±2.7	66.4 ±2.2	56.3 ±2.4
	Absorption	50.5 ±3.5	56.9 ±1.6	53.2 ±3.9	49.7 ±2.7	33.6 ±2.2	43.7 ±2.4
	Urinary excretion	45.1 ±5.8	36.4 ±1.8	22.0 ±2.1	25.2 ±2.3	17.6 ±3.5	16.9 ±4.4
	Balance	5.4 ±5.1	20.5 ±2.9	31.2 ±3.2	24.5 ±1.3	16.0 ±3.1	26.8 ±3.8

* : Mean ± SE of mean

同一のときは低 Mg 飼料群間では差がみられないが、高 Mg 食群間では低タンパク食のときに Ca の体内保留量は低値を示した。

P の体内保留量：タンパク質レベルが同一のときも、Mg レベルが同一のときも各群間の体内保留量に差はみられない。

Mg の体内保留量：タンパク質レベルが同一のときは各群とも、Mg レベルの高い方が高い体内保留量を示している。Mg レベルが同一のときは、まず低 Mg 飼料摂取群では中等度タンパク質レベルのとき、もっとも高い体内保留量を示し、高 Mg 飼料摂取群間ではタンパク質レベルによる影響はみられない。

考 察

飼料中のタンパク質レベルが高く(36%), Mg レベル

が低い (100 ppm) ときに体重増加量は低かったと Bunce ら³⁾ は述べているが、初体重がほぼ同量のラットを用いた著者らの高タンパク (35%) —低 Mg (50 mg%) 食の本実験では、このような成績は得られなかった。それは飼料中の Mg レベルが低いとき、あるいは Ca レベルが高く、Mg レベルが低いときには被験動物の成長減退がみられるという報告¹⁾²⁾のように、飼料中 Mg レベルの相違によるものであろう。著者らも、この現象を別の実験⁹⁾にて観察している。したがって、ラットの場合、各研究者が普通使用している飼料中の Mg 含量であれば、タンパク質レベルの僅かな差では体重増加に影響ないものといえよう。

飼料中のタンパク質および Mg のレベルと Ca, P 出納との関係は、Mg レベルが同一でタンパク質レベルが高いときには Ca 吸収の割合が高まり、かつ体内保留の割

Table 2. The table of statistical examination from Tables 1 and 3

	Absorption			Percentage of Urinary excretion			Balance			Retained mg 100 g gain		
	Ca	P	Mg	Ca	P	Mg	Ca	P	Mg	Ca	P	Mg
A—B	/	*	/	/	**	/	/	/	*	**	/	**
C—D	/	*	/	/	**	/	/	/	/	/	/	**
E—F	/	*	*	/	**	/	/	/	*	/	/	**
A—C	*	**	/	**	/	**	*	/	**	/	/	**
C—E	/	/	**	/	**	/	/	/	**	/	/	**
A—E	**	**	**	/	**	**	**	/	**	/	/	/
B—D	**	*	*	**	/	**	**	/	/	/	/	/
D—F	/	/	/	/	**	/	/	/	/	/	/	/
B—F	*	*	**	/	**	**	*	/	/	**	/	/

* : Indicates a significant difference at 5% level

** : Indicates a significant difference at 1% level

(The total bars represent percentage of absorption, the solid areas represent urinary excretion and the empty areas represent balance.)

Fig. 2. Average daily absorption, urinary excretion and balance of calcium, magnesium and phosphorus

合も高まるようである。Mg レベルと Ca 出納の間には関係がみられず、Bunce ら³⁾ がいう Mg 摂取増に伴う尿中 Ca 排泄増という現象はみられなかった。P 出納との関係は Mg レベルが同一のとき、タンパク質レベルが高くなるにしたがい、P の吸収率および尿中排泄率が高くなるような傾向を示す。つぎに Mg レベルが高いときは低いときより尿中 P の排泄が低くなっている。このことは前²⁾にも経験しているが、飼料中に含まれる Mg, P あるいは Ca との間の量的比率によるものであろう。Mg の出納は飼料中 Mg レベルが同一のときには、タンパク質レベルが高くなると Mg の吸収率、尿中排泄率がさがる傾向にある。体内保留の割合は飼料中のタンパク質、Mg レベルの影響を受け、とくに 50 mg% Mg 食で、タンパク質 17.5% のとき高い体内保留率を示した。この結果は実験に用いた飼料中 Mg レベルが著者らの、それより低い Bunce ら³⁾ の成績とも一致し、飼料中のタンパク質レベルによって Mg 要求量のかわることを示唆するものであろう。

体重増加量を減少させた低タンパク—低 Mg 食群が一

Table 3. Retained mg/100g weight gain, during total test period

	A	B	C	D	E	F
Protein, %	8.8	8.8	17.5	17.5	35.0	35.0
Magnesium, mg%	50	200	50	200	50	200
Calcium	913±16*	772±20	863±21	837±31	889±26	926±28
Phosphorus	663±11	725±25	692±11	743±31	699±19	741±30
Magnesium	18±10	191±34	54±2	160±10	24±3	158±15

* : Mean ± SE of mean

定体重増加量当たりの Ca 保留量に高値を示したこと、さらに Mg 保留量では低 Mg 食のときタンパク質 17.5% 摂取群で高い値を示したことなどより、Ca, Mg の体内保留量には飼料中タンパク質および Mg レベルが影響するといえよう。

要 約

成長期ラットを用い、各試験群の飼料中 Ca, P 量を一定にし、タンパク質と Mg レベルを変えたときの Ca, P および Mg の出納を観察した。

飼料中タンパク質レベルが同一のとき、Ca 出納は飼料中 Mg レベルに影響されなかったが、P 吸収率および尿中排泄率は低 Mg 食摂取群で高くなった。また Mg 出納では、高タンパク低 Mg 食のとき吸収率の低下をみた。

飼料中 Mg レベルが同一のとき、低タンパク食において Ca, P の吸収率の低下および Ca の尿中排泄率の増加

をみた。Mg 出納については、低タンパク高 Mg 食のとき Mg 吸収率は高く、高タンパク低 Mg 食では Mg 吸収率の低下をみた。

本実験の概要は第19, 20回の日本栄養・食糧学会にて報告した。

文 献

- 1) Colby, R. M. & Frye, C. M.: *Am. J. Physiol.*, **166**, 408 (1951)
- 2) Menaker, W.: *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **85**, 149 (1954)
- 3) Bunce et al.: *J. Nut.*, **79**, 220 (1963)
- 4) 中川一郎ら編集: 新栄養学 (朝倉書店) p. 214 (1963)
- 5) Mameesh, M. S. et al.: *J. Nut.*, **65**, 161 (1958)
- 6) 関博磨: 総合医学, **14**, 835 (1957)
- 7) Gomori, G.: *J. Lab. Clin. Med.*, **9**, 521 (1935)
- 8) Hegsted, D. M. et al.: *J. Nut.*, **58**, 175 (1956)
- 9) Gotoh, S. & Seki, H.: *Physiol. Bohemoslov.*, **15**, 538 (1966)

(東京都衛生研究所・栄養部)

食肉および肉製品のコレステロール含量

Mann の血清コレステロール定量法を修正して、食肉のコレステロールを定量した。全コレステロール量は牛肉で平均58mg%, 豚肉で平均 65mg%, 牛豚脂肪では43~68mg% であった。薄層クロマトグラフィーにより遊離コレステロールとエステル型とに分けて定量したところ牛豚肉いずれもエステル型は6%にすぎなかった。実験から肉の脂肪量と全コレステロール量の関係式を得たが脂肪の増加によるコレステロールの増加はごく僅かで

ある。調理によりコレステロール量は激減するといわれていたが、ひき肉をボイルした結果、煮汁中にコレステロールは約15%だけ溶出した。(表3, 図3)

Free and Esterified Cholesterol Content of Animal Muscles and Meat Products.

by Tu, C., Powrie, W. D., Fennema, O.:

J. Food Sci., **32**, 30~34 (1967)

(飼持)

酵素による大豆タンパク質抽出性の向上

Pestalotiopsis westerdijkii の生産する酵素を用いて、大豆タンパク質抽出性を改良し、豆乳中のタンパク量を74%から96%に増加させた。一般分析、アミノ酸分析、動物実験の結果から、この酵素使用により、タンパク質の品質、収量ともに改善されることが明らかにされた。この品質的改善とは豆乳中の毒性物質がなくなり、消化性がよくなること、良好なアミノ酸パターンを示すことである。酵素の生産は、ふすま—Solka floc を培地として *Pestalotiopsis westerdijkii* を31°C, 10日間平板培養し

た後、水抽出—硫酸塩析—ゲル濾過による。酵素の最適使用条件は、豆乳分離後の残渣1gに対し、酵素32mg, pH4.6, 37°C, 6時間。この条件で酵素処理をすると粗せんいの約半分が可溶化する。(表9)

Enzymatic Modification of the Extractability of Protein from Soybeans, *Glycine Max.*

by Abdo, K. M., King, K.W.:

J. Agr. Food Chem., **15**, 83~87 (1967)

(飼持)