食事性PレベルとCa, Mg出納

鈴木和春, 菅家祐輔, 五島孜郎

東京農業大学栄養学科

Effects of Dietary Phosphorus Levels on Calcium and Magnesium Balance

Kazuharu Suzuki, Yusuke Kanke and Shiro Goto

Department of Nutrition, Tokyo University of Agriculture

The balances of calcium, phosphorus and magnesium were studied in young rats, using a combination of magnesium and phosphorus at each level.

The effects of changes in dietary magnesium on calcium and phosphorus balance was dependent on the dietary magnesium concentration. Increases in dietary magnesium reduced the apparent absorption of calcium and phosphorus and in respect of the fecal excretion rate a certain tendency was observed, namely high intake of magnesium seemed to induce an increase in phosphorus excretion as compared with calcium excretion. High intake of phosphorus lowered the apparent absorption of magnesium but did not affect the calcium balance.

Jap. J. Nutr., 36 (2) 77~84 (1978)

Table 1 Composition of diets (%)

緒 言	Group	NN*	HN	NH	HH
近年, リン酸塩はその用途が増し, 種々の加工食品に種々の目的で使用されている関係で, 我われの食生活においてリン(以下P)の摂取の過剰傾向が指摘されている ¹⁾ 。しかし田村ら ²⁾ の加工食品中のリン酸塩の使用実態調査によるとPの1日平均摂取量およびCa/Pの均衡に対して添加されたリン酸塩はほとんど影響を及ぼさないだろうとしている。	Casein, milk	18.0	18.0	18.0	18.0
	Starch, corn	69.60	66.58	67.97	64.95
	Oil, corn	5.0	5.0	5.0	5.0
	Vitamin mix ¹⁾	1.0	1.0	1.0	1.0
	Mineral mix. ²⁾	2.9	2.9	2.9	2.9
	Ca-lactate	3.08	3.08	3.08	3.08
	NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	0.42	3.44	0.42	3.44
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	—	—	1.63	1.63
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0
	Ca	0.4	0.4	0.5	0.5
	P	0.5	1.0	0.5	1.0
	Mg	0.06	0.06	0.20	0.20
	P/Ca	1.2	2.5	1.0	2.0

1) According to A.E.Harper (*J. Nutr.* 68 408, 1959).

2) According to A.E.Harper (*J. Nutr.* 68 408, 1959), but CaCO₃ and KH₂PO₄ was excluded.

*) NN : normal P. normal Mg. HN : high P. normal Mg.
NH : normal P. high Mg., HH : high P. high Mg.

ところで食事性Pレベルが高くなった場合, カルシウム(以下Ca)あるいはマグネシウム(以下Mg)出納の様相を変化させることが考えられる。

Fig. 1 Experimental period.

そこで本実験においては飼料中 Ca レベルを一定にし P 量を上げた場合、さらには Mg レベルを変えた時に Ca, Mg そして P の 3 者間に出納上どのような変化がみられるかを白ネズミを用いて観察した。また同時に血清中の上記ミネラル濃度および参考までに血液 pH の測定も行なった。

実 験 方 法

被験動物として体重70g 前後の Wistar 系白ネズミ24匹を用い、これを4群に分け、各群に表1に示す飼料を40日間投与した。なお実験開始に先立ち、表1の NN 食(対照食)で全白ネズミを数日間飼育した後、1匹ずつ代謝籠に移し、出納試験を行なった。

飼料摂取は *ad-libitum* とし各白ネズミについて、それぞれ摂取量を測定し、飲料水は蒸留水を用いて自由にとらせた。

尿尿は出納期間中は毎日分離採集した。

出納期間は図1に示す太線の部分で行なった。

飼料、尿尿の分析試料は、いずれも 550°C で灰化し試料溶液を調製した。そして Ca はキレート滴定法³⁾、Mg は原子吸光分析法⁴⁾、P は Gomori 法⁵⁾ により定量した。

実験終了後直ちに心臓採血

Fig. 2 Growth curve.

Table 2 Average food intake, weight gain and fecal weight

Group	period	Av. daily food intake (g)	Av. daily wt. gain (g)	Av. daily fecal wt. (g)
NN	I	10.8±0.4 ¹⁾	5.1±0.1	0.16±0.02
	II	16.4±0.3	5.8±0.1	0.29±0.02
	III	17.1±0.5	2.7±0.5	0.41±0.03
HN	I	10.1±0.2	4.7±0.2	0.14±0.02
	II	15.3±0.5	4.8±0.4	0.27±0.01
	III	14.4±1.2	1.6±0.7	0.31±0.01
NH	I	11.0±0.4	5.6±0.2	0.20±0.02 ^{a)}
	II	16.1±1.1	4.7±0.4	0.51±0.04 ^{a)}
	III	14.9±1.6	1.0±0.8	0.66±0.07 ^{a)}
HH	I	11.5±0.4	5.2±0.2	0.27±0.01 ^{b)}
	II	17.9±0.7	5.5±0.3	0.45±0.02 ^{b)}
	III	17.2±0.3	2.3±0.3	0.56±0.02 ^{b)}

1) Mean (6 rats) ±SE (mean)

NN: normal P. normal Mg.

HN: high P. normal Mg.

NH: normal P. high Mg.

HH: high P. high Mg.

a) Difference, when compared to NN, was statistically significant at $P < 0.01$.

b) Difference, when compared to HN, was statistically significant at $P < 0.01$.

により得られた血液の pH を東亜電波工業 (株) 5G-515 電極により測定した。また分離された血清中の Ca, Mg, P の測定は Ca は Opcp 法と Ca-Test wako 法⁶⁾により, Mg は原子吸光法⁴⁾, P は Taussky 法⁷⁾を用いて行なった。

実 験 結 果

1. 体重増加について

図 2 に示すように実験後半, 特にⅢ期においては NH および HN 群, すなわち Mg あるいは P いずれかの多量摂取群は体重増加の割合が他群に比して低下している。

表 2 に示すようにⅢ期における各群の飼料摂取量は NN 群 17.1 ± 0.5 g, HH 群 17.2 ± 0.3 g に対し HN 群 14.4 ± 1.2 g, NH 群 14.9 ± 1.6 g と低値を示し飼料摂取量の差が体重増加に影響を示したのかもしれない。

2. Ca, P, Mg の出納について

Ca, P, Mg の出納については表 3, 4, 5 にそれぞれ摂取量に対する % として示した。

Ca については飼料中の Mg レベル上昇は Ca の吸収率そして体内保留率を低下させる結果を得たが, P のレベル上昇は Ca の出納に大きな影響を与えなかった。

P については飼料中の Mg レベル上昇は P の吸収率, 尿中排泄率の低下をきたし体内保留の割合には影響を示さなかった。高 P レベルの P 出納は尿中への P 排泄の増加を伴い, 体内保留率の減少をきたした。

Mg については飼料中 P レベルの上昇は Mg の吸収率低下を示した。

高 Mg 食投与時の Mg 出納は対照に比し Mg の吸収率の低下および尿中排泄率の低下傾向を示した。

Ca, P, Mg の関係をみる 1 つの考えとして表 6 を作製してみた。この表から高 Mg 食は Ca よりむしろ P の尿中排泄を高める傾向が伺われる。また高 P 食は尿中排泄を高めるようである。

Table 3 Ca balance

	Period	Intake (mg)	Absorption (%)	Urinary excretion (%)	Retention (%)
NN	I	$444.7 \pm 15.1^{1)}$	78.5 ± 2.3	2.0 ± 0.2	76.5 ± 2.3
	II	675.4 ± 14.1	57.1 ± 3.5	0.8 ± 0.1	56.4 ± 3.5
	III	704.4 ± 20.6	59.0 ± 2.0	1.3 ± 0.1	57.6 ± 2.0
HN	I	405.9 ± 8.5	74.8 ± 1.3	$1.2 \pm 0.1^{a)}$	73.6 ± 1.4
	II	581.0 ± 23.8	$67.7 \pm 2.8^{a)}$	$1.6 \pm 0.2^{a)}$	66.1 ± 2.7
	III	576.8 ± 46.9	52.7 ± 2.8	1.5 ± 0.2	51.3 ± 2.8
NH	I	496.1 ± 16.3	$68.1 \pm 2.9^{a)}$	$2.5 \pm 0.5^{a)}$	$65.6 \pm 3.0^{a)}$
	II	724.1 ± 47.6	56.1 ± 1.6	1.2 ± 0.2	54.9 ± 1.6
	III	668.8 ± 72.6	$42.7 \pm 3.0^{a)}$	$2.1 \pm 0.2^{a)}$	$40.6 \pm 3.1^{a)}$
HH	I	510.3 ± 17.2	$63.1 \pm 2.8^{b)}$	$2.2 \pm 0.3^{b)}$	$60.9 \pm 2.9^{b)}$
	II	770.3 ± 30.0	$55.6 \pm 1.2^{b)}$	1.7 ± 0.2	$53.8 \pm 1.4^{b)}$
	III	759.1 ± 13.0	$44.1 \pm 2.0^{b)}$	1.7 ± 2.0	$42.3 \pm 1.9^{b)}$

1) Mean $\pm$ SE

(all figures indicate percentage of intake)

Difference, when compared to NN, was statistically significant;

a) : $P < 0.01$, a') : $P < 0.05$.

Difference, when compared to HN, was statistically significant;

b) : $P < 0.01$, b') : $P < 0.05$.

Table 4 P balance

	Period	Intake (mg)	Absorption (%)	Urinary excretion (%)	Retention (%)
N N	I	581.2±19.7 ¹⁾	86.9±1.2	43.9±1.0	43.0±0.7
	II	882.7±18.4	75.6±1.8	37.0±3.4	38.5±2.5
	III	920.6±26.9	77.0±1.1	47.3±1.3	28.8±1.5
H N	I	1,127.0±23.4	92.0±1.1 ^{a')}	67.5±1.2 ^{a)}	23.6±1.2 ^{a')}
	II	1,705.7±51.6	88.7±0.9 ^{a)}	69.8±1.5 ^{a)}	18.8±1.9 ^{a)}
	III	1,601.4±130.0	84.8±1.0 ^{a)}	69.1±1.9 ^{a)}	14.9±1.7 ^{a)}
N H	I	593.6±19.5	73.5±2.0 ^{a)}	30.3±1.1 ^{a)}	43.3±2.1
	II	886.5±57.0	62.7±1.3 ^{a)}	19.8±0.9 ^{a)}	42.4±1.5
	III	812.9±90.6	55.8±2.6 ^{a)}	30.1±1.2 ^{a)}	25.7±3.3
H H	I	1,250.2±42.0	80.6±0.8 ^{b)c)}	56.1±0.9 ^{b)c)}	24.6±1.3 ^{c)}
	II	1,887.4±73.5	77.3±0.9 ^{b)c)}	58.3±1.4 ^{b)c)}	18.5±1.4 ^{c)}
	III	1,860.0±31.8	71.9±0.9 ^{b)c)}	61.2±2.1 ^{b)c)}	10.7±2.0 ^{c)}

1) Mean±SE

(all figures indicate percentage of intake)

Difference, when compared to N N, was statistically significant;

a) : P < 0.01, a') : P < 0.05.

Difference, when compared to H N, was statistically significant;

b) : P < 0.01, b') : P < 0.05.

Difference, when compared to N H, was statistically significant;

c) : P < 0.01.

Table 5 Mg balance

	Period	Intake (mg)	Absorption (%)	Urinary excretion (%)	Retention (%)
N N	I	60.6± 2.0 ¹⁾	73.2±4.1	25.4±1.6	47.7±3.9
	II	92.1± 1.9	66.4±3.3	11.5±2.0	49.9±3.5
	III	96.1± 2.8	65.8±2.5	19.8±0.5	46.0±2.5
H N	I	57.7± 1.2	67.5±1.7	22.5±0.9	45.1±1.7
	II	88.2± 2.7	62.8±2.5	14.8±2.4	48.1±2.9
	III	82.8± 6.7	52.9±2.2 ^{a)}	19.5±0.8	33.4±2.6 ^{a)}
N H	I	258.9± 8.5	56.3±2.6 ^{a)}	26.4±1.5	29.8±2.0 ^{a)}
	II	378.0±24.8	46.7±1.7 ^{a)}	7.4±1.0	39.2±2.2 ^{a')}
	III	349.2±37.9	51.3±3.3 ^{a)}	14.4±1.0 ^{a)}	36.9±3.3 ^{a')}
H H	I	266.8± 9.0	44.8±4.6 ^{b)c)}	15.3±0.6 ^{b)c)}	29.5±4.9 ^{b')}
	II	407.8±15.8	23.3±1.2 ^{b)c)}	9.9±1.2	12.7±2.1 ^{b)c)}
	III	396.9± 6.8	35.3±2.3 ^{b)c)}	13.0±0.9 ^{b)}	22.4±2.1 ^{b)c)}

1) Mean±SE

(all figures indicate percentage of intake)

Difference, when compared to N N, was statistically significant;

a) : P < 0.01, a') : P < 0.05.

Difference, when compared to H N, was statistically significant;

b) : P < 0.01, b') : P < 0.05.

Difference, when compared to N H, was statistically significant;

c) : P < 0.01.

Fig. 3 Ca balance

F : Fecal excretion
F + U + R : Intake

U : Urinary excretion
U + R : Absorption

R : Retention

Fig. 4 P balance

F : Fecal excretion
F + U + R : Intake

U : Urinary excretion
U + R : Absorption

R : Retention

Fig.5 Mg balance

F : Fecal excretion
F + U + R : Intake

U : Urinary excretion
U + R : Absorption

R : Retention

Table 6 Ca, P and Mg ratio in feces.

	Period	NN	HN	NH	HH
Ca/P	I	1.3±0.0 ¹⁾	1.0±0.1	1.0±0.0	0.8±0.1
	II	1.3±0.0	1.0±0.0	1.0±0.1	0.8±0.0
	III	1.4±0.0	1.1±0.0	1.1±0.0	0.8±0.0
Ca/Mg	I	6.2±0.6	5.4±0.3	1.4±0.0	1.3±0.1
	II	8.1±0.6	6.0±0.2	1.6±0.1	1.1±0.0
	III	8.8±0.3	7.0±0.4	2.2±0.0	1.7±0.1

1) Mean±SE (6 rats)

Table 7 pH of blood and concentration of Ca, P and Mg in serum.

	pH of Blood	Ca (mg/dl)	P (mg/dl)	Mg (mg/dl)
NN	7.25±0.07 ¹⁾	13.8±0.8	11.5±0.2	2.9±0.2
HN	7.02±0.08	9.1±0.5 ^{a)}	9.6±0.4 ^{a)}	2.3±0.1
NH	7.03±0.13	9.2±0.9 ^{a)}	11.4±0.2	3.3±0.1
HH	7.01±0.05	9.3±0.6	8.2±0.4 ^{b)}	3.0±0.2

1) Mean±SE (6 rats)

a) Difference, when compared to NN, was statistically significant at $P < 0.01$.b) Difference, when compared to HN, was statistically significant at $P < 0.01$.

3. 血清 Ca, P, Mg 値および血液 pH について

表7に測定値を示した。血清中 Ca 濃度は飼料中 P 0.5%, Mg 0.06% のとき最高値を示し、血清 P 濃度は飼料中 Mg 濃度に関係なく飼料中 P 濃度の低いときに高値を示した。

血清 Mg 濃度は4群間に差はみられなかった。血液 pH は NN 群は他群に比して高値を示すようにみえるが4群間に有意な差はみられない。

考 察

Bunce ら⁹⁾ のラットによる実験成績より考察するに食事性 P レベルが一定のとき (P: 0.5, 1.0%) Mg レベルの上昇 (13, 26, 100 mg %) により Ca の吸収の低下傾向がみられ、食事性 Mg 量が低レベル (13, あるいは 26 mg%) のときには P 量を変化しても Ca 吸収に影響を及ぼさないようであるが、Mg レベルが 100 mg% のときは高 P 食は、Ca 吸収を低下させることが伺われる。

本実験でも食事性 P レベルが一定のとき Mg レベルの 60 mg% より 200 mg % への上昇は Ca 吸収を低下させた。しかし Mg レベルが一定のとき P レベルの変化 (0.5% より 1.0% へ) は Ca 吸収に影響を与えなかった。これは食事性 Mg レベルの違いによるものとおもわれる。つぎに Mg 出納に及ぼす P の影響について Bunce らは Mg 摂取の低いときに P は Mg 吸収を増進させるが、Mg 摂取の高いときには P は逆に Mg 吸収を抑制するといひ、さらに高 Mg 食は P の吸収を減少させると述べている。本実験においてもこれと同様の成績が得られた、すなわち表5に示すように Mg の吸収には各期とも NN > HN, NH > HH の関係がみられまた表4より P の吸収にも各期とも NN > NH, HN > HH の関係がみられる。さらに表6からも推察されよう。

Forbes⁹⁾ はラットを用い食事性 P レベルを 0.19% より 0.5% に上げたところ Mg の出納が改良されたと

報告しているが、本実験では逆の結果となった。

Forbes の Mg レベルは 14 mg% あるいは 42 mg% で筆者らのレベルより低く、また設定した P レベルも異なりこれが成績を逆転させたのではないかと考える。

体重 500 g のラットを用いて食事性 Ca レベルを 0.6% と一定にし P レベルを 0.3, 0.6, 1.2, 1.8% と変えたとき、血漿 Mg 濃度を測定した Draper ら¹⁰⁾ の成績によると血漿中 Mg 濃度は P レベルに関係ないとしており、このときの飼料中 Mg 濃度は筆者らの計算では約 200 mg% である。とにかく、P, Mg, そして Ca 3 者間の飼料中レベルの関係については現在なお不明な点が多く、今後検討の必要があると考えている。

2 週間にわたり幼若ラットを用いた実験⁹⁾ によると Mg レベル 13 mg% のとき 0.3% P 食では 0.5% P 食より体重の増加量が少ないが Mg レベルが 26 mg% ないし 100 mg% のときには体重増加に P レベルによる影響はみられなかったという、そしてこれは多分 Mg 出納の減少の結果であろうとしている。すなわち、Mg レベルの低いとき (13 mg%) 0.3% P 食では 0.5% P 食に比し Mg の体内保留が負値を示した事によるものであろうというのである。

筆者らの実験では実験初期にはこのような結果はみられず後期、すなわち、実験開始 3 週目頃より Mg あるいは P の高レベル食摂取群に体重減少がみられた。この結果の違いは食事中的 Mg レベルの差異によるものであろうか、そしてさらに食事中的 P と Mg レベルとの関係が発育と共に飼料摂取の上に影響を及ぼすことが考えられる。

血清中 Ca, P 濃度について、Bunce ら⁹⁾ の成績によると飼料中 P 0.5%, Mg 26 mg% のとき飼料中 P 0.5%, Mg 100 mg% より血清 Ca 濃度は高値を示し、血清 P 濃度は飼料中 Mg レベルが低値で同一 (13, 26 mg%) のとき飼料中 P レベルに関係なくほぼ一定の値を示しているが飼料中 Mg 濃度が高くなると (100 mg%) 飼料中 P レベルの高いとき低値を示している。これらの成績と筆者らの成績とは同じ傾向を示しており飼料中 Mg 濃度が影響しているように考えられる。飼料中 Mg の不均衡が尿石灰を誘発する鍵になるという説¹¹⁾ があるが、Mg がいかんして尿中リン酸カルシウムの溶解性を増進させるかはわかっていない。

要 約

飼料中 Ca レベル (0.5%) を一定にし、P 量 (0.5, 1.0%) さらに Mg 量 (0.06, 0.2%) を変えたとき Ca, Mg そして P の 3 者間の出納上にどのような変化がみられるかを白ネズミを用いて観察した。

その結果は飼料中 Mg レベルの上昇は Ca, P の吸収率を低下させた。そして Ca よりむしろの P 尿中排泄を高める傾向をえた。

飼料中 P レベルの上昇は Ca 出納に影響を与えなかったが Mg の吸収率を低下させた。

文 献

- 1) 国民栄養振興会編：日本人の栄養所要量と解説 (1975) 第一出版
- 2) 田村行弘，真木俊夫，山田洋，嶋村保洋，落合節子，西垣進，木村康夫：東京衛研年報 26, 205~207 (1975)
- 3) 上野景平：キレート滴定法 (1969) 南江堂
- 4) Gomori, G.: *J. Lab. Clin. Med.*, 27, 955 (1942)
- 5) Slavin, W., 下村滋訳：原子吸光分析 (1972) 広川書店
- 6) 金井 泉：臨床検査法提要 IV (1964) 金原出版

- 7) 北村元仕, 斎藤正行, 丹羽正治: 臨床化学分析V (1973) 東京化学同人
- 8) Bunce, G.E., Sauberlich, H.E., Reeves, P.G. and Oba, T.S.: *J. Nutr.*, **86**, 406~414 (1965)
- 9) Forbes, R.M.: *J. Nutr.*, **80**, 321~326 (1963)
- 10) H.H.Draper, Ten-Lin, Sie and J.G.Bergan: *J. Nutr.*, **102**, 1133~1142 (1972)
- 11) H.E.Sauberlich, G.E.Bunce, C.A.Moore and O.G.Stonigton: *Am. J. Clin. Nutr.*, **14**, 240(1964)

(受付: 昭和53年5月8日)