原 著

飼料中のカルシウム含量が妊娠白ネズミのカルシウム、リンおよびマグネシウム代謝におよぼす影響

The Effect of Calcium Level of Diet on the Metabolism of Calcium, Phosphorus and Magnesium in Pregnant Rats

第 1 報 妊娠白ネズミの無機質代謝

Part 1 Mineral Metabolism in Pregnant Rats

金沢大学医学部衛生学教室 (Department of Hygiene, School of Medicine, Kanazawa University)

関 博 磨 (Hiromaro Seki)

Metabolism of calcium, phosphorus and magnesium during pregnancy was investigated with 20 primigravida albino rats about 170 g body weight of Wister Imamichi strain fed with diets containing Ca 0.534 and 1.077% respectively.

The animals were divided into four groups (A, B, C and D), and in the early period of pregnancy, A and B group were fed with low—Ca diet and C and D group were fed high—Ca diet. In the middle period, A and D group fed with low, and B and C group with high, then in the last period A and B fed with high, and C and D with low Ca diet.

In the early period, calcium retention increased with the amount of calcium intake, therefore the absorption and the utilization of calcium were better in high calcium groups. In the middle and last period, the absorption rate was decreased and the amount of calcium retention of group C was smaller than that of calcium requirement for growth of fetuses.

It seemed that the calcium need to fetuses was removed from the calcium stored in mother rat during the early period of pregnancy.

From these results, it is considered that high calcium feeding in the middle or in the last period of pregnancy have no effect on calcium utilization, therefore it is preferable to feed high calcium diet from the beginning of pregnancy.

Absorption and utilization of phosphorus in diet are affected by its Ca/P ratio, and the rats of high-Ca group utilized P better than that of the low-Ca group.

Metabolism of magnesium resembles to that of phosphorus, and high Ca/Mg ratio in diet seems to have good effect on magnesium utilization.

妊娠時のカルシウム代謝は母体の平衡維持と胎仔の骨形成に必要な量を満たさなければならず、母体におけるそれらの代謝は非妊時とはまた異なる様相を示し、胎仔のカルシウム（以下 Ca とす）要求量の増大と親の Ca 吸収率、蓄積量との間に平行関係はないといえる¹⁾。このことは非常に重要な問題なので、初妊白ネズミに Ca 含量が異なる飼料を妊娠期と各種に組み合わせて投与し、Ca の効果的な投与方法を知るため出納実験を行なった。また Ca 代謝と骨形成に関与するリン（以下 P とす）およびマグネシウム（以下 Mg とす）の出納観察も併せて行なった。

実 験 方 法

妊娠経験のない体重 170 g 前後のウイスター今道の白ネズミを用いた。

表 1 飼料組成

ブドウ糖	36.0%
デンプン	32.9
カゼイン	20.0
大豆油	5.0
無機塩類 ¹⁾	5.0
ビタミン混合 ¹⁾	1.0
塩化コリン	0.1

表 2 妊娠各期に投与した飼料

動物群	A	B	C	D
妊 娠 初 期	低 Ca 食	低 Ca 食	高 Ca 食	高 Ca 食
妊 娠 中 期	低 Ca 食	高 Ca 食	高 Ca 食	低 Ca 食
妊 娠 後 期	高 Ca 食	高 Ca 食	低 Ca 食	低 Ca 食
低 Ca 食 : Ca 534mg%, P 650mg%, Mg 71mg%, Ca/P 比 0.82				
高 Ca 食 : Ca 1077mg%, P 650mg%, Mg 86mg%, Ca/P 比 1.66				

飼料組成を表 1 に示す。飼料中の無機質量は調整後に分析したもので、第 1 飼料は Ca 量 534mg% で以下便宜上低 Ca 食とし、第 2 飼料は Ca 量 1077mg% で以下高 Ca 食とす。白ネズミを40匹用意し、低 Ca 食を 5 日間投与して環境にならせたのち交配させ、妊娠を確認したものから順に A、B、C および D の 4 群に分け 1 群を 5 匹とし、全期間を初期、中期および後期に分け、1 期間を 7 日間とし後期は分娩までとしないで、妊娠22日目の朝で出納観察を終った。期間中の飼料投与順序は表 2 のごとくで、飼育方法、飼料投与方法、尿・尿採取法、妊娠確認法および無機質定量法はすべて前報¹⁾ とおなじである。

表 3 食料摂取量と体重増の 1 日当りの平均値

動物群		A	B	C	D
飼料摂取量 (g)	妊 娠 初 期	15.5±0.9	14.7±0.5	14.2±0.4	14.9±1.1
	中 期	17.2±0.7	17.3±0.3	17.1±0.5	15.4±0.8
	後 期	16.1±0.5	16.6±0.9	16.0±0.3	14.6±0.5
体重増 (g)	妊 娠 初 期	2.3±0.5	2.3±0.4	2.5±0.3	3.6±0.5
	中 期	3.3±0.3	4.6±0.1	4.9±0.1	3.2±0.4
	後 期	7.7±0.5	8.3±0.7	7.8±0.5	6.7±0.6

各群 5 匹の平均値±標準誤差

実験結果と考察

Ca 出納を表 4 に示す。初期に Ca 含量が同一の飼料を投与したにもかかわらず、A 群と B 群（低 Ca 食群）の間に、また C 群と D 群（高 Ca 食群）の間にも吸収率、蓄積量に差がみられたが、これを低 Ca 食群と高 Ca 食群の 2 群に分けて観察すると吸収率は低 Ca 食群 21.2%、高 Ca 食群 20.2% で両群の間にあまり差はないが、蓄積量は低 Ca 食群 16.0mg/日、高 Ca 食群 30.5mg/日で明らかに有意の差がある。妊娠初期に Ca を 846 mg% 含む飼料を与えたときも蓄積量は 28.6mg/日あった¹⁾。したがって初期では摂取量が多ければ蓄積量も多いようで、投与量の多少にかかわらず吸収率が近似であれば初期に高 Ca 食を投与した方が Ca を蓄積するには有効である。胎仔がその形を備え骨形成が盛んになるのは、妊娠14日以降の後期であるから¹⁾ 初期に親が摂取した Ca は親の体内に貯留されたものと考えてよい。

中期に初期とおなじ飼料を投与した A 群（低 Ca 食）の吸収率は 22.7%、C 群（高 Ca 食）は 16.3% と低い、蓄積量は A 群（19.8mg/日）より C 群（28.9mg/日）の方が多い。高 Ca 食を投与した B 群は吸収率 (23.3

表 4 妊娠時におけるカルシウム出納 (mg/匹/日)

動 物 群		A	B	C	D
妊 娠 初 期	摂 取 量	81.9± 4.7	76.5±2.5	152.5±4.1	157.9±12.5
	尿中排泄量	68.4± 3.8	56.2±1.8	124.4±4.6	123.0± 9.7
	尿中排泄量	0.9± 0.1	1.0±0.1	1.1±0.2	1.1± 0.2
	吸 収 量	13.5± 3.4	20.3±2.2	28.1±2.1	34.9± 4.1
	吸 収 率(%)	(16.1± 3.6)	(26.4±2.3)	(18.5±1.4)	(22.0± 1.9)
	蓄 積 量	12.6± 3.5	19.3±2.2	27.0±2.0	33.9± 4.1
	蓄 積 率(%)	(15.0± 3.8)	(25.1±2.3)	(17.8±1.4)	(21.4± 2.0)
妊 娠 中 期	摂 取 量	90.9± 4.2	186.0±2.8	184.0±5.0	78.0± 3.3
	尿中排泄量	70.1± 2.1	142.6±3.1	154.0±5.1	68.4± 3.8
	尿中排泄量	1.0± 0.2	1.5±0.3	1.1±0.4	1.0± 0.2
	吸 収 量	20.8± 2.4	43.4±1.1	30.0±3.0	9.5± 1.7
	吸 収 率(%)	(22.7± 1.6)	(23.3±0.7)	(16.3±1.5)	(12.3± 2.3)
	蓄 積 量	19.8± 2.4	41.9±1.0	28.9±2.8	8.5± 1.9
	蓄 積 率(%)	(21.6± 1.0)	(22.6±0.7)	(15.7±1.4)	(11.0± 2.5)
妊 娠 後 期	摂 取 量	173.6± 5.2	178.7±9.4	85.4±1.7	74.0± 2.8
	尿中排泄量	144.5±11.5	158.2±7.7	70.3±1.5	55.4± 2.2
	尿中排泄量	1.3± 0.2	1.1±0.04	0.9±0.2	0.9± 0.1
	吸 収 量	29.2±10.7	20.5±5.3	15.1±2.2	18.6± 1.5
	吸 収 率(%)	(16.8± 6.0)	(11.4±2.9)	(17.6±2.3)	(25.1± 1.5)
	蓄 積 量	27.9±10.7	19.4±6.5	14.3±2.2	17.7± 1.5
	蓄 積 率(%)	(16.1± 6.1)	(10.7±3.0)	(16.6±2.3)	(23.9± 1.5)

各群 5 匹の平均値±標準誤差

%) が低下したが蓄積量は他の群より多く 41.9mg/日もあり、蓄積率も 22.6% と高かった。低 Ca 食の D 群は (投与方法としては適当ではない) 吸収量、蓄積量ともに他の 3 群より劣って、初期よりすべてが激減した。これは初期に高 Ca 食であったため、中期になった直後の尿中排泄には高 Ca 食餌の尿の残りが出たものと思われるので、D 群中期の数値は摂取量の低下によるものとは断定できない。中期における胎仔はまだ Ca 要求量が多くない¹⁾ ので、親が摂取した Ca は初期とおなじく体内に貯留されていると推定してよい。

後期は胎仔の Ca 要求量が急速に増大する時期なので、親の Ca 吸収率、蓄積量も当然増加すると考えられていたが、A、B 群 (高 Ca 食) の吸収率は中期より低下し、とくに B 群は吸収量 (率) および蓄積量 (率) とともに中期の 1/2 に激減した。西村²⁾ による妊婦の Ca 吸収率は 29 週では 24.2%、33 週では摂取量 915mg (1 日平均) に対して 17.3% と低下し、他の期間でも Ca 摂取量が多い場合に必ずしも吸収率は上昇していないし、少ない場合でも高率に吸収されず、妊娠後半では親の吸収利用は低下する。

胎仔の Ca 要求量が増大するまでにどの位の Ca 蓄積があったら妥当かは判明しないが、各群の蓄積は A 群初期 88.3mg、中期 138.4mg、B 群初期 135.2mg、中期 293.3mg、C 群初期 189.1mg、中期 202.2mg で、飼料投与方法が悪いと思われた D 群は初期 237.2mg、中期 59.6mg で A 群よりも蓄積量が多いことは注目すべきことである。初・中期では胎仔の Ca 要求量が少ない¹⁾ のでこれらの量は多分に親の体内にプールされたと思われるし、吸収率もそれほど悪くはないので、初・中期のうちいずれかの時期に高 Ca 食を投与する方が親の Ca 代謝からみて有効なようである。

表5 妊娠時におけるリン出納 (mg/匹/日)

動 物 群		A	B	C	D
妊 娠 初 期	摂 取 量	101.8±6.0	96.3±3.3	91.3±2.4	94.6±7.5
	尿中排泄量	52.5±3.7	44.0±2.1	61.3±2.4	54.1±5.6
	尿中排泄量	30.6±2.4	27.7±0.7	11.3±0.9	13.1±0.5
	吸 収 量	49.3±5.3	52.3±2.4	30.0±1.0	40.4±1.9
	吸 収 率(%)	(48.1±3.3)	(54.3±1.7)	(32.9±1.2)	(43.2±1.5)
	蓄 積 量	8.6±4.6	24.5±2.6	18.6±0.6	27.4±1.8
	蓄 積 率(%)	(17.9±4.0)	(25.4±2.3)	(20.5±1.1)	(29.1±1.0)
	蓄積量のCa/P比	0.69±0.14	0.82±0.12	1.45±0.12	1.22±0.09
妊 娠 中 期	摂 取 量	112.9±4.9	111.4±1.7	110.2±3.0	100.9±5.1
	尿中排泄量	51.5±2.6	65.9±1.8	73.3±6.0	47.0±3.5
	尿中排泄量	33.6±2.6	14.8±1.4	14.3±0.6	31.2±1.2
	吸 収 量	61.4±3.4	45.5±1.4	36.9±3.8	53.9±2.3
	吸 収 率(%)	(54.4±1.6)	(40.9±1.2)	(33.8±3.9)	(53.6±1.6)
	蓄 積 量	27.8±1.7	30.7±1.4	22.5±4.3	22.7±1.7
	蓄 積 率(%)	(24.7±1.6)	(27.6±1.5)	(20.7±4.1)	(22.5±1.6)
	蓄積量のCa/P比	0.68±0.08	1.38±0.05	1.68±0.62	0.36±0.06
妊 娠 後 期	摂 取 量	104.0±3.2	107.0±5.6	104.7±2.2	95.6±3.3
	尿中排泄量	63.3±4.3	68.2±4.1	48.4±1.3	41.6±2.6
	尿中排泄量	12.4±0.5	10.8±0.9	28.0±1.1	24.9±1.7
	吸 収 量	40.7±4.5	38.8±4.6	56.3±1.9	54.0±3.1
	吸 収 率(%)	(39.1±4.0)	(35.9±3.6)	(53.7±1.2)	(56.5±2.3)
	蓄 積 量	28.3±4.3	28.0±4.3	28.3±1.4	29.1±1.6
	蓄 積 率(%)	(27.0±3.9)	(25.8±3.6)	(27.0±1.0)	(30.4±1.1)
	蓄積量のCa/P比	0.89±0.02	0.64±0.11	0.50±0.06	0.61±0.05

各群5匹の平均値±標準誤差

後期における1腹の胎仔のCa要求量³⁾と親自身のCa出納量との関係は、A群の胎仔のCa要求量は100.9mg、蓄積量195.0mgでこの差を親の蓄積とすると+94.1mg、B群は要求量127.3mg、蓄積量135.5mgで+8.2mg、C群は要求量109.9mg、蓄積量99.9mgで-10.0mg、D群は要求量D104.0mg、蓄積量124.2mgで+20.2mgとなり、ここでも注目すべきことは条件の悪いD群が+20.2mgの蓄積があったことである。

胎仔の骨形成に動員されるCaは食餌性Caのみに由来するものでないことは、胎仔のCa要求量が増大する後期におけるCa吸収率、蓄積量の低下から、また前報¹⁾の結果からもいえる。もし胎仔の骨形成に動員されるCaが、食餌性Caのみによるものとすれば、後期に高Ca食を投与したA・B両群の吸収率、蓄積率は増大すべきであるのかえって中期より低下しているのは骨形成に動員されるCaは、食餌性Ca以外のものが動員されていることを意味している。

妊娠後期にCaを補給投与することは必要ではあるが、A・B両群の蓄積量を見るとA群27.9mg/日、B群19.4mg/日でA群の方が勝って効果的には見えるが、分散が大きく、つまりばらつきが多いので適当なCa投与方法とはいえない。以上のことから妊娠時にCa投与量を増す時期は後期ではおそく、飼料に対する適応性と母体の蓄積を考慮して中期には投与量を増加すべきで、できれば妊娠初期から多くのCaを投与することが望ましい。

P 出納を表 5 に示す。飼料中の P 含量は全期間を通じて同一であるにもかかわらず、各群間の出納はおなじ傾向ではなく、低Ca 食群と高Ca 食群の間にはっきりとした差が認められた。全期間を通じていえることは低 Ca 食群は高 Ca 食群より尿中排泄が少なく、尿中排泄が多い。したがって吸収率が高い。初期の蓄積量については Ca とおなじく A・B 群の間に、また C・D 群の間にも差があったが、低 Ca 食群、高 Ca 食群の間にはあまり差がない。胎仔の P 要求量は Ca と同じく後期に増大するが、1 腹の要求量³⁾は A 群 122.1 mg, B 群 148.3mg, C 群127.7mg および D 群 121.9mg で、これに対して各群後期の蓄積量は A 群198.0mg, B 群195.7 mg, C 群198.2mg, 飼料条件の悪い D 群が 203.8mg で、いずれも胎仔の P 要求を満足して Goss⁴⁾, Sherman⁵⁾ らのごとく脱 P を起していない。

飼料中の Ca/P 比は非妊時の Ca, P 出納に影響があるが、妊娠時のごとく骨形成のみでなく、体成分にも P が重要な役割を示す場合は、またこの Ca/P 比が P 出納に重要な因子となっている。Ca と P の吸収利用を蓄積量の Ca/P 比から考察すると、初期の蓄積量の Ca/P 比は低 Ca 食群 (飼料の Ca/P=0.82) では 1 より小であるが、高 Ca 食群 (飼料の Ca/P=1.66) では 1 より大で Ca の利用は良い。P は吸収はよいが蓄積量についてはあまり差がない。中期でも低 Ca 食群は 1 より小で、高 Ca 食群は 1 より大である。後期においては、いずれの群も 1 より小となり、この Ca/P 比からも初・中期での Ca の利用が後期よりもよいこと、また P は Ca と異なる代謝を示すことを示している。

Mg 出納を表 6 に示す。飼料中の Mg 量が 71mg% と 86mg% で、この差が大差といえるかどうかは判然

表 6 妊娠時におけるマグネシウム出納 (mg/匹/日)

動 物 群		A	B	C	D
妊 娠 初 期	摂 取 量	11.9±0.9	10.7±0.7	12.2±0.3	12.6±1.0
	尿中排泄量	5.1±0.2	3.9±0.4	5.0±0.4	4.7±0.6
	尿中排泄量	3.5±0.4	3.8±0.2	2.7±0.2	3.1±0.3
	吸 収 量	6.9±0.7	6.9±0.7	7.2±0.2	7.9±0.6
	吸 収 率(%)	(57.2±2.9)	(63.6±4.1)	(59.5±2.4)	(63.0±2.8)
	蓄 積 量	3.4±0.8	3.1±0.6	4.6±0.3	4.8±0.4
妊 娠 中 期	蓄 積 率(%)	(27.4±0.5)	(28.1±4.2)	(37.8±3.1)	(38.3±2.8)
	摂 取 量	13.3±1.0	14.9±0.2	14.7±0.4	9.9±0.3
	尿中排泄量	5.3±0.4	5.8±0.6	5.9±0.2	4.5±0.4
	尿中排泄量	3.6±0.4	4.0±0.2	3.1±0.2	3.7±0.2
	吸 収 量	8.0±0.7	9.1±0.6	8.9±0.4	5.5±0.4
	吸 収 率(%)	(59.6±1.4)	(60.9±3.8)	(60.1±1.5)	(55.4±3.5)
妊 娠 後 期	蓄 積 量	4.3±0.6	5.1±0.5	5.8±0.2	1.8±0.5
	蓄 積 率(%)	(31.7±2.5)	(34.4±3.7)	(39.3±1.1)	(17.8±4.7)
	摂 取 量	13.9±0.4	14.3±0.8	13.0±0.3	9.6±0.7
	尿中排泄量	5.2±0.3	5.9±0.3	4.4±0.2	3.5±0.4
	尿中排泄量	2.9±0.2	2.9±0.1	3.4±0.3	3.4±0.2
	吸 収 量	8.7±0.5	8.4±0.6	8.6±0.3	5.8±0.8
妊 娠 後 期	吸 収 率(%)	(62.6±2.4)	(58.3±2.0)	(66.4±2.1)	(60.2±4.2)
	蓄 積 量	5.8±0.4	5.5±0.6	5.2±0.1	2.4±0.6
	蓄 積 率(%)	(41.7±2.6)	(37.9±2.4)	(40.1±0.9)	(24.0±4.3)

各群 5 匹の平均値±標準誤差

としないが、低 Ca 食群と高 Ca 食群の間に蓄積量にわずかながら差がみられたが、Mgについては Ca および P と異なり摂取量も少ないので、1mg 内外の差が大きな意味があるかどうかは今後検討したいが、D群の蓄積量は中・後期とも他の3群より劣っていた。Coons⁶⁾ らが食餌中の Ca/Mg 比が 1.5~4.7 と食餌をとった妊婦の Ca 蓄積はあまり効果的でなく、Mg 自体の蓄積でも23例中12例が負出納を示していたが、本実験では Ca/Mg比が 7.52 と 12.52で Coons らよりも比が高かったためか負出納の親はいない。後期の蓄積量はA群 40.7mg, B群 38.3mg, C群 36.0mg およびD群 16.5mg でばらつきは大きい、1腹の仔の要求量³⁾は 8.3~10.8mg で、いずれも親の蓄積量以下であった。Mg はCaおよびP と異なり胎仔の要求量も少なく、本実験程度の Mg 量では親は負出納にはならなかった。

以上のことから飼料中の Ca, P および Mg の量的比が相互の出納に影響をおよぼすので、妊娠初期から高 Ca 食を投与した方が Ca は勿論、P および Mg の蓄積のためにも効果があるといえる。

一 要 約

妊娠後期に母体 Ca の吸収および利用が悪くなるといわれるので、初妊の白ネズミに Ca 含量が異なる高Ca食と低 Ca 食の2種類の飼料を妊娠各期と組み合わせて投与して出納観察を行ない、後期における蓄積量と仔のCa要求量から Ca を増量投与するのに有効な時期をたしかめた。

1. 妊娠の中・後期から高 Ca 食を投与しても後期の吸収率および蓄積率は低下傾向で、あまりよく利用されていない。後期に高 Ca 食を投与した群の親は Ca 蓄積を示したが、低 Ca 食のC群のみは負出納を示した。A群の蓄積は多かったが分散が大きく、後期のみの高 Ca 食の投与は適当ではない。Ca 投与量を増す時期は中期または初期からがよく、後期に入ってからの高 Ca 食投与ではあまり効果的ではない。また飼料中の Ca 含量は1.0g %位がよいようである。

2. 尿中P排泄は各期とも低 Ca 食群が高 Ca 食群より多く、後期の蓄積量は各群間に差はなく、蓄積量の Ca/P 比も初・中期では高 Ca 食群が1より高く、Ca がよく吸収利用されているが、後期ではいずれの群も1以下になりPの利用が Ca より多く、飼料中の Ca/P 比が相互の出納に影響がある。

3. 飼料中の Ca/Mg 比が Mg の出納に影響をおよぼし、各期とも高 Ca 食群が低 Ca 食群より蓄積量が多かった。初期のみ高 Ca 食であった親の Mg 蓄積量は中・後期に低下した。

稿を終るに当り、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜った石崎有信教授に心から拝謝する。なお本研究は厚生省栄養所要量等策定委員会ミネラル小委員会委員長国立栄養研究所速水映食品化学部長、同委員相模女子大学五島孜教授の研究費によるもので、多大な御便宜と御助言を賜ったことを感謝する。

参 考 文 献

- 1) 関 博磨：栄養と食糧，第24巻投稿中
- 2) 西村和男：同誌，13，233 (1960)
- 3) 関 博磨：本誌，投稿中
- 4) Goss, H. and Schmidt, C. L. A.: *J. Biol. Chem.*, 86, 417 (1930)
- 5) Sherman, H. C. and Quinn, E. J.: *J. Biol. Chem.*, 67, 667 (1926)
- 6) Coons, C. M. and Blunt, K.: *J. Biol. Chem.*, 86, 1 (1930)

(受付：昭和46年5月10日)