白ネズミの授乳時におけるカルシウム、リンおよび マグネシウム代謝

関 博 磨

金沢大学医学部衛生学教室

Calcium, Phosphorus and Magnesium Metabolism in Rats during Lactation

Hiromaro Seki

Department of Hygiene, School of Medicine, Kanazawa University, Kanazawa

J. Jap. Soc. Food and Nutr., 24 (5), 287~291 (1971)

The calcium, phosphorus and magnesium metabolism in rats during lactation and mineral requirement of suckling were investigated.

On the average the content of calcium in the body is found to increase from 14.7 mg at birth to about 217.4 mg at 17th day; and of phosphorus from 15.9 mg to about 168.6 mg, of magnesium from 1.2 mg to about 8.0 mg respectively; these elements obtained by the suckling are derived from dams milk.

No direct correlation was found between the mineral content of sucklings reared and the magnitude of the balance of dams during the lactation period. Calcium balance of dams indicated positive value, however the amounts absorbed was lower than the requirement for growth of suckling. Therefore the dams themselves were in negative balance.

As for the phosphorus and magnesium metabolism during lactation, their metabolism resemble calcium, but in contrast to calcium, their balance of dams indicated positive value.

(Received May 7, 1971)

妊娠後期において親の Ca 蓄積量は胎仔の Ca 要求量を満たすことが出来ず、相当な Ca 不足になり¹⁾ 母体の脱 Ca、脱 P²⁾³⁾ などの悪影響は避けられないようである。つぎに授乳に当っては充分な母乳を出して仔の乳要求量を満足させることが必要課題であるが、妊娠時にうけた悪影響が回復されないまま授乳することによって、更に Ca、P 不足となり母体内の脱 Ca、脱 P が起こるかどうかがまた重要な問題となる。そこで初産白ネズミで授乳中のものを用い、哺乳仔が開眼にいたるまでの Ca、P および Mg 代謝と、仔が親の乳汁から摂取したそれらの無機質量を求め、親の脱 Ca、脱 P の様相を観察した。

実 験 方 法

自然分娩した新生仔に授乳中の初産ウイスター系白ネズミ（出産時体重 260 g 前後）に前報¹⁾ と同一飼料を与えて出納観察を行なった。

出産予定前日（妊娠21日目）にペーパークロマト用の

ろ紙を細切して清潔な手でよくもみ、充分柔かくしたものを飼育籠に入れ産褥の準備をさせて出産を待った。

出産は夜半または早朝にするとされているが、飼育籠を暗所におき、人の眼を遠ざけたので日中でも出産した。出生した仔の泣き声が聞えたものから順次仔数を確認し、新生仔の分析のため¹⁾ に取り除いた残りを親につけて授乳させた。しかし親が興奮していたため産後2~3日の間にその仔を食殺したり、踏殺して10匹の親のうち授乳を終らし得た親は4匹であった。

尿・尿採取法は前報¹⁾ におなじであるが、授乳開始直後の5日間はろ紙を敷いてあるため毎日尿・尿を採取することが出来ず、5~6日目に敷いてあるろ紙を全部取り出して尿を取り、尿の吸着しているろ紙を出来るだけ取り分け、温浸して尿を抽出して尿試料とした。仔の尿・尿は親のものと分離採取出来ないで、仔の排泄量もあわせて親の排泄量とした。この尿・尿採取以外の実験方法はすべて前報とおなじである。観察期間は16~18日

間で出産直後からの5～6日間(1期), その後の5日間(2期), 以後開眼までの6～7日間(3期)の3期に分け, 哺乳仔は開眼したものから順次親より離し, エーテル麻酔で殺し, 前報¹⁾の仔の処理と同様にしてCa, PおよびMgを定量した。

実験結果

親の飼料摂取量と体重増を表1に示す。出産直後の5～6日間(1期)では親も興奮し, 哺乳仔の乳要求量も少ないためか親の飼料摂取量は少ないが6日以降では,

Table 1. Diet intake and weight gain during lactation (g/rat/day)

Period	1st	2nd	3rd
Diet intake	15.2±0.9	24.6±1.8	29.8±2.9
Weight gain		0.7±0.6	-0.1±0.5

Mean of 4 dams±S.E

仔が発育し, 乳要求量の増大に伴って親の飼料摂取量も増大し, 開眼間近では1期の2倍近くも飼料を摂取し, 午前と午後に飼料を投与しなければならない程の食欲を示した。1期には親の体重測定が出来なかったが, 6日以降の体重増はほとんどなく, 飼料摂取量と体重増は関係せず摂取した飼料の栄養素は泌乳のために消費されるようである。

仔の分析結果を表2に示す。哺乳期間は4号17日間, 5号16日間, 7号, 8号は18日間で開眼までに1～2日間のずれがある。開眼時の体重, Ca, P および Mg含量は哺乳日数に関係がないようで, また同腹の哺乳仔数(5匹2腹, 4匹1腹, 1匹1腹)による発育, 無機質含量にほとんど差は見られない。哺乳仔の栄養はすべて母乳のみによるから, 哺乳仔の分析値から出生時の分析値を引

いたものを母乳から得たものとする, 平均して17日間に体重は26.4g増加し, Ca量202.7mg, P量152.7mg, Mg量6.8mgが乳汁を通して仔に移行して蓄積されたということになる。また仔の体内Ca/P比は出産時(0.92)より高く1.29を示し哺乳仔の体内CaはPよりも多くなっている。

Ca出納を表3-1に示す。ただしこの数値は母乳中に分泌した量も含めてのものである(これはPおよびMgについても同様である)。哺乳仔の成長発育に伴って摂取量, 尿中排泄量, 吸収量および蓄積量が増大している。これらとは逆に3期の尿中排泄量は1, 2期より低下している。これは乳中へのCa分泌が増すために尿中排泄量が低下したものと考えられ, 親のCa要求量が高まっていることが推察される。

吸収率, 蓄積率は2期にやや低下したが, 1期と3期では差がなく。授乳時におけるCa代謝は妊娠時とはまた異なる様相を示している。表3-2の蓄積量とは全出納量から母乳中へ分泌した量を差し引いたものであるが(この考えはPおよびMgについても同じ), 授乳仔数が5匹の親は仔のCa要求量を満足させるだけの蓄積量が得られず, 明らかに脱Caを起こした。開眼までの仔1匹当りのCa要求量(哺乳量)は(197.2～213.4)mg/(16～18)日間=(11.0～13.0)mg/日ではほぼ一定している。1期では仔の発育, Ca要求量もあまりないと思われるので, 仔のCa要求量と2, 3期の親のCa蓄積量を見ると授乳仔数が5匹の4号, 5号の親では, 蓄積量が2期では4号429.1mg/5日, 5号184.6mg/5日, 3期では4号371.3mg/7日, 5号443.7mg/6日, 仔の要求量は(11.0～13.0)mg×5匹=60mg/日であるから, いずれの親も2期または3期には脱Caを起こしているが, その仔については授乳仔数に関係なく発育していることから仔のCa要求量を食餌からの摂取Caで満足出来ない

Table 2. Mean value of calcium, phosphorus and magnesium of 15 sucklings

(16-18 days of age)

Mother No.	4	5	7	8	Average
Number of sucklings (rats)	5	5	4	1	
Body weight (g)	29.9	34.5	29.5	31.2	31.9±0.8 (5.5±0.06)
Calcium (mg)	209.8	224.2	211.2	227.2	217.4±3.7 (14.7±0.3)
Phosphorus (mg)	164.5	174.1	161.8	168.8	168.6±2.8 (15.9±0.2)
Ca/P ratio	1.27	1.29	1.31	1.35	1.29±0.01 (0.92±0.01)
Magnesium (mg)	8.0	8.5	6.5	7.5	8.0±0.4 (1.2±0.02)
Age (days)	17	16	18	18	

(): Average of 47 new born rats¹⁾ Mean±S.E

Table 3-1. Calcium, phosphorus and magnesium balance of dams during lactation (mg/rat/day)

Period	1 st	2 nd	3 rd
Intake	125.6± 7.2	204.5±16.6	246.6±24.2
Feces	96.2± 7.1	165.5± 7.9	188.8± 9.3
Ca Urine	4.8± 1.1	2.3± 0.6	1.1± 0.1
Absorption	29.4± 6.2 (23.3± 4.1)	39.0±17.4 (17.6± 6.9)	57.8±15.1 (22.1± 9.1)
Retention*	24.6± 5.6 (19.4± 3.8)	36.7±17.5 (16.4± 7.0)	56.8±15.1 (21.7± 4.6)
Intake	93.3± 5.3	151.4±12.4	182.4±17.9
Feces	48.8± 3.7	85.0± 4.6	97.0± 7.6
P Urine	16.9± 2.3	24.1± 1.6	35.9± 1.5
Absorption	44.5± 4.5 (47.6± 3.1)	66.4±16.0 (42.1± 7.1)	85.4±12.8 (46.1± 3.5)
Retention*	27.6± 6.3 (29.4± 5.5)	42.3±16.9 (25.7± 9.1)	49.5±10.1 (26.2± 3.4)
Intake	13.3± 1.4	21.4± 0.8	26.4± 3.7
Feces	6.8± 2.3	13.2± 2.8	13.3± 3.7
Mg Urine	3.0± 0.6	3.5± 0.6	2.3± 0.7
Absorption	6.5± 1.0 (52.7±13.0)	8.2± 2.4 (38.9±11.6)	13.1± 1.5 (51.7± 7.8)
Retention*	3.4± 1.8 (30.1±15.2)	4.6± 3.0 (22.5±14.1)	10.9± 1.2 (42.2± 4.8)

Mean of 4 dams±S.E () : % of intake

* These figures contain the amount of Ca, P and Mg secreted into milk

Table 3-2. Calcium, phosphorus and magnesium retention of dams during lactation (mg/rat)

Rat No.	4	5	7	8
Total intake	3,455.8	3,436.7	3,705.0	2,892.0
Retention 1st	100.2	199.8	150.8	79.8
Retention 2nd	429.1	184.6	83.0	36.9
Retention 3rd	371.3	443.7	590.5	110.9
Ca Found in sucklings	1,049.0	1,121.0	844.8	227.2
Found in new born rats	61.5	80.5	56.0	13.8
Breast milk*	987.5	1,040.5	788.8	213.4
Excess Ca stored**	-86.9	-212.4	+35.5	+14.2
Total intake	2,560.7	2,546.7	2,740.9	2,141.6
Retention 1st	134.5	227.1	120.3	108.0
Retention 2nd	395.1	308.5	107.5	35.0
Retention 3rd	338.7	356.0	477.8	151.2
P Found in sucklings	822.6	870.3	647.2	168.8
Found in new born rats	70.5	85.8	62.4	15.2
Breast milk*	752.1	784.5	584.8	153.6
Excess P stored**	+116.2	+107.1	+120.8	+143.6
Total intake	304.8	303.6	467.9	363.9
Retention 1st	29.0	20.7	34.8	-12.0
Retention 2nd	63.7	25.5	-4.5	8.2
Retention 3rd	73.5	73.9	92.3	52.3
Mg Found in sucklings	40.1	42.4	26.0	7.5
Found in new born rats	5.7	6.2	5.8	1.2
Breast milk*	34.4	36.2	20.2	6.3
Excess Mg stored**	+131.8	+83.9	+102.4	+42.2
Number of sucklings	5	5	4	1

* Breast milk=Found in sucklings-Found in new born rats¹⁾

**Excess Ca, P and Mg stored=Retention(1st, 2nd and 3rd)-Breast milk

場合に親は体内貯留の Ca を仔の発育・骨形成のために動員するといえる。

P 出納を表3-1, 3-2に示す。P の代謝は Ca に類似して仔の発育に伴って蓄積量は増大するが、尿中排泄は Ca とは逆に期を追って多く排泄し、3 期における親の P 要求量は満足されているようである。仔が開眼にいたるまでの 1 匹当りの P 要求量は(146.2~160.0)mg/(16~18)日間=8.8mg/日で、授乳仔数が 5 匹の親は 1 日 44.0mg 前後が仔のために使われる。4 号の親は 1 期の蓄積量が 134.5mg/5 日、2 期 395.1mg/5 日、3 期 338.7mg/7 日で 1 期と 3 期では仔の要求量を満足させるには不充分である。5 号は 1 期が 227.1mg/5 日でやや不充分な蓄積量であるが、2 期と 3 期ではいずれも 308.5mg/5 日、356.0mg/6 日で不足にはならない。7 号(4 匹授乳)は 1 期、2 期が 120.3mg/5 日、107.5mg/6 日で仔の要求量を満足させることが出来ないが 3 期では 477.8mg/7 日と多く、それぞれの親は Ca のごとく脱 P にはならず、いずれも同程度の P 蓄積があり、仔も授乳仔数に関係なく発育している。蓄積量の Ca/P 比は 1 期では 1 以下で、P の要求量が Ca より多く、3 期では 1 より大きく P 要求量が Ca より少ないことを示し、親が摂取した P の使われかたが Ca とは異なるようである。

Mg 出納を表 3-1, 3-2 に示す。尿・尿の排泄についてはやや Ca に類似しているが、蓄積量については 7 号が 2 期に、8 号が 1 期に負出納になったが、いずれも 3 期にその負出納を取り戻し 7 号は 92.3mg/7 日、8 号は 52.3mg/7 日と多かった。Mg 代謝は Ca と類似はしている様であるが、親および仔の要求量が少ないためか脱 Mg を起こすことはなく、かなりよく利用されていると思われる。

考 察

哺乳仔：親の摂取量、蓄積量の如何にかかわらず仔は一樣に発育し、Ca, P および Mg 含量にも大きな差は見られない。Sherman²⁾³⁾らの生後 15 日の哺乳仔の体内 Ca は 137.7mg/0.6%, P は 95.9mg/0.49% で本実験値の方がわずかに高いが、日数に 1~3 日のずれがあるので、値としては近似しているといえる。Goss⁴⁾らが親に酸性またはアルカリ性で Ca 含量の異なる飼料を与えて妊娠・授乳時の出納を見たものでも、新生仔および授乳仔の Ca 含量に差はなかった。仔の体内 Ca/P 比の上昇は仔が成長し、骨格も一応出来上った開眼時では逆に Ca が多くなったといえる。

Ca 出納：仔の発育に伴って母乳へより多くの Ca を分泌する必要があるため、親の蓄積量の増大は当然と考えられる。しかしこの蓄積量の増大は親自身に蓄積を与えるかどうかは疑わしい。個体によって栄養素を吸収利

用する能力には一定の限界があると考えられるので、仔の Ca 要求量が増大したからといって、また摂取量が多くなったからといって、吸収利用する能力の限界以上に摂取 Ca を吸収するとは考えられないから、仔数が多い仔の Ca 要求量が摂取・吸収した Ca 量より以上に大きければ飼料からの摂取 Ca 量だけでは母乳に分泌する Ca 量に不足を来す。檀原⁵⁾らによると乳汁中の Ca は、飼料から取りこまれて、直ちに移行したものと骨から溶離移行したものとからなっている。そしてこれらの起源を異にする Ca は、生体内で巧妙に調節されその合計量は常に一定のレベルに保たれ、摂取 Ca 量が多いと乳汁中の Ca の多くは(60~99%)直接に、そして骨格からの由来は少なく、摂取 Ca 量が少ないと骨格からの溶離移行が多くなり、乳汁中に分泌する Ca 量は摂取 Ca 量の如何にかかわらず一定している。

多くの哺乳動物は、授乳を開始した初期には泌乳量が少なく、授乳の中期から後期前半にかけて泌乳量が最高になるから、檀原⁵⁾らのごとく搾乳した場合と、本実験のごとく哺乳させた場合とでは泌乳量が異なり、その量は仔数に関係なくおなじように泌乳するものではない。単純に考えて乳汁中の Ca を親が摂取した飼料中の Ca に由来するものと仮定すると、4 号と 5 号の親は蓄積量以上の Ca を乳汁中に分泌している。哺乳仔の分析結果から開眼までの仔 1 匹当りの Ca 必要量はほぼ一定(202.7mg), 11~13mg/日が乳汁を通して仔 1 匹を授乳するのに必要な量となる。各親が授乳のため 1 日に必要とする Ca 量は(11~13mg)×仔数で示すと 4 号、5 号は 55~65mg, 7 号は 44~52mg, 8 号は 11~13mg であるから親の蓄積量がこの必要量以下であれば、その不足分を体内 Ca から溶離移行させて乳汁中に分泌しなければならぬ。授乳の初期(1 期)は仔も小さく要求量も少ないので親の蓄積量が 40.0mg/日(5 号)以下でも間に合うのかも知れないが、2 期以降では蓄積量が仔の要求量(55~65mg)以下になると 4 号、5 号の親のごとく体内 Ca を動員しなければならない。これらのことから親が摂取した Ca を乳汁中に分泌する量には限界があり、それは 1 日に 50mg 位でそれ以上の Ca を分泌する必要があるときは体内 Ca を動員するようである。

本実験では新生仔の約半数を授乳させたのであるが、5 匹に授乳した親はいずれも体内脱 Ca を起こしているため、もし新生仔の全部(10 匹)に授乳したとすれば、親の体内脱 Ca は更に増したかも知れない。Goss⁴⁾らは Ca の損失は同腹の仔の数に関連し、授乳時にすべての親の体内 Ca が損失され、授乳期には Ca 要求量の増大に伴って飼料中の摂取 Ca を十分に吸収するのはむずかしいとしている。授乳した親ネズミの体内 Ca は非妊白ネズミに比べて 10% も少ないことは Sherman²⁾ らも指

摘しているごとく、授乳中の親は脱 Ca を起こすことはヒトも含めて哺乳動物にとって避けられないことであるらしい。この悪影響を避けるためにも妊娠中に Ca を多くとり、骨格に Ca をたくわえておく必要がある。

P 出納：尿中排泄が1期より3期に多いのは、蓄積量がそれ程多くなくても親のP必要量を満たしていると考えられる。母乳中に分泌されたP量はCaと異なり、いずれの親も蓄積量より少なくP不足また脱Pを起こしていない。Pの場合もCaとおなじく仔の体内P含量は、親の蓄積量に関係なくほぼ一定であるから親から仔への移行については、Caとおなじに考えてよい。仔の1日当りのP要求量を $(8.1 \sim 9.8 \text{ mg}) \times \text{仔数}$ で示すと、1期の蓄積量45.4mg/日（5号の場合）以下では不足するが、2、3期ではほぼ蓄積量で間に合う量である。本実験では哺乳仔数は出生仔数の半分であったため、Pについては一応正出納を示しているが、出生した仔全部に授乳すれば、Caとおなじく負出納を示したかも知れない。Sherman³⁾ らではPもCaとおなじく親は脱Pを起こすというが、本実験の出納量だけの観察では親の脱Pは起こっていない。

Mg 出納：仔5匹に授乳した4号、5号の親がいずれの期も正出納を示したのに、1匹の8号が1期にかなり大きい負出納（-12.0mg/6日）になり、7号も2期に負出納（-4.5mg/5日）になったことはCa、P出納では見られなかったことである。ある時期に負出納になりながら脱Mgを起こさなかったことは、仔の要求量に対して摂取量が多かったことが要因と思われるが、仔数の少ない親が尿中排泄が低下し負出納になったことについては今後検討したい。

要 約

出産、授乳することによって親はCaおよびP不足になるといわれているので、初産で授乳中の親にCa 846mg%, P 622mg%およびMg 93mg%を含む飼料を投与して、仔が開眼にいたるまで（16～18日間）のCa、PおよびMg出納と母乳から仔に移行するそれらの量を求め、親の脱Caの様相を観察した。

(1) 仔は出生後16～18日間に体重26.4g、Ca量202.7mg、P量152.7mgおよびMg量6.8mgを母乳を通し

て親から得ている。親の摂取量、蓄積量また授乳仔数に関係なく仔の体重、Ca、PおよびMg量は大差なく発育する。

(2) 親のCaは正出納を示すが、仔のCa要求量が親の蓄積量より多い時は、親の体内Caが母乳中に溶離移行するようで仔数の多い親は脱Caを起こす。

(3) PもCaとおなじ傾向を示したが、親の体内Pを母乳中に動員するほどのP不足にはならなかった。仔の体内Ca/P比は新生仔とは逆に1より大となって、体内CaがPより多く、骨格の形成が一応整ったものと思われる。

(4) Mgの出納は負を示す親もあったが、仔の要求量に比較して親の摂取量が多かったためか、親は脱Mgにはならない。

(5) 親が飼料から摂取した無機質を乳汁中に分泌する量には限界があり、仔の要求量とその限界量以上であれば、親が体内に保留する無機質を動員して仔の要求量を満たすようである。

授乳によって親の体内無機質は失われるようであるから、無機質の補給は授乳時にはもちろんであるが、妊娠時から充分に補給して体内に保留させておく必要がある。

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決食品化学部長、同委員相模女子大学五島孜郎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。

文 献

- 1) 関 博磨：栄養と食糧，5，263(1971)
- 2) Sherman, H. C. and MacLeod, F. L.: *J. Biol. Chem.*, **64**, 429 (1925)
- 3) Sherman, H. C. and Quinn, E. J.: *J. Biol. Chem.*, **67**, 667 (1926)
- 4) Goss, H. and Schmidt, L. A.: *J. Biol. Chem.*, **86**, 417 (1930)
- 5) 檀原 宏，宮本 進，緒方重久：栄養と食糧，**21**, 108 (1968)

(昭和46年5月7日受理)