

乳牛の妊娠末期における燐の補給が分娩時の 血中カルシウムと上皮小体ホルモン 濃度に及ぼす影響*

小倉紀美** 佐野信一*** 中川忠昭****

Effects of phosphorus dietary intake in dairy cows of
late pregnancy on the levels of plasma calcium and
parathyroid hormone at parturition time

Noriyoshi OGURA, Shin-ichi SANO and Tadaaki NAKAGAWA

放牧条件下で妊娠末期牛に対する飼料中の燐含量をかえ、カルシウム (Ca) と燐 (P) の比が1.0のP補給群 (5頭) と1.5の対照群 (5頭) について分娩時の血中Ca、無機P、上皮小体ホルモン (PTH) 濃度を比較した。1. 血中Ca濃度は両群ともに分娩後24時間目に最低値を示し分娩前より有意に低下したが、この低下の程度は乳熱発症牛 (両群各1頭) を除いてほぼ正常の範囲であった。また、分娩前後を通じて両群の間に濃度差は認められなかった。2. 血中無機P濃度の変化は両群ともにCa濃度にほぼ平行し群間の差も認められなかった。3. 血中PTH濃度は両群ともにCa濃度が最も低下した分娩後24時間目にピークを示した。この時のPTH濃度には群間の差がなかったが、血液の低Ca状態に対する上皮小体の反応はP補給群が強い傾向を示した。4. その他の血液成分 (マグネシウム、カリウム、ナトリウム、血糖) 濃度にも両群間の差がなかった。

緒 言

乳牛の分娩後にしばしばみられる乳熱の予防法に関する研究は多い。なかでも妊娠末期の飼料中カルシウムと燐の比率及び含量を調節する方法は古くから検討されている。

これまでの報告をみると、カルシウム給与の絶対量を少なくする方法が効果をあげている^{5,6,9,27)} ようであるが、カルシウムと燐の比率を小さくする効果を認めている報告^{5,23)} も広く知られている。

近年、北海道で多発傾向にある乳牛の起立不能症候群の大部分は乳熱とみられ、根釧、天北地方における実態調査^{11,13)} をみると、本症の発生頭数及び発生率は放牧期に多い。カルシウムと燐の給与に関する従来の報告はサイレージ、乾草、濃厚飼料の飼料構成で検討されたものが大部分であり、放牧条件下の報告はほとんど見当たらない。乳熱は単にカルシウム、燐などのミネラルの過不足による代謝障害ではないと考えられている¹⁰⁾ ので、放牧条件下のカルシウムと燐の給与比率などについても検討の必要があると考える。

放牧飼養時において、カルシウムと燐の摂取量を調整し、乳熱の予防を図ろうとする場合、牧草中のカルシウム、燐含量から推測して、カルシウム摂取の絶対量を小さくする方法は困難なので、燐の摂取量を高める方法が实际的と考える。そこで本試験では、放牧条件下の妊娠末期牛に対し燐を補給し、分娩時の血中カルシウム、無機燐、上

1979年10月23日受理

* 本報の一部は、第32回日本畜産学会北海道支部会 (1976, 9) で発表した。

** 北海道立根釧農業試験場, 086-11 標津郡中標津町

*** 現北海道立滝川畜産試験場, 073 滝川市東滝川

**** 現標茶町多和育成牧場, 088-23 川上郡標茶町

皮小体ホルモン濃度の動きなどから磷補給効果の有無を確かめようとした。

試 験 方 法

供試牛は根釧農試において飼養している2産から8産まで経歴した妊娠末期牛(ホルスタイン種)で、1973年7月から10月までの放牧期間に分娩した10頭である。これらの牛を分娩予定月日、年令、乳熱の前歴の有無などにより2頭1組とし、磷(P)補給群と対照群に各組の1頭を無作為にあてた。試験期間は分娩予定日の6週前から分娩後1週までとした。

分娩前の飼養条件は放牧に加えて、P補給群にはP強化飼料(1kg中米ぬか700g,市販配合飼料225g,磷酸カリウム50g,食塩25g)を500g,対照群には市販配合飼料500gを給与した。摂取量の調査期間(12日間)は酸化クロム(10g)を混入した市販配合飼料50gを用いた。放牧方法は1牧区約1週間滞牧の輪換放牧とし、放牧時間は制限せず昼夜放牧させた。放牧地は造成後10年目のいね科優先草地で、その構成草種はオーチャードグラス、ケンタッキーブルーグラス、メドウフエスク、チモシー、ラジノクローバなどである。施肥管理は早春にN, P_2O_5 , K_2O (3, 6, 6 kg/10a)を化成肥料で行った。分娩後3日間の飼養管理は乾草を自由採食させ、

配合飼料は、分娩当日は1kg, 2・3日目は2kg給与した。

放牧草の摂取量は、酸化クロム法¹⁶⁾から排ふん量を求め、模擬採食草のin vitro乾物消化率²⁶⁾を採食草の消化率とし、この両者から算出した。

血液試料採取は、分娩前は4, 1週及び1日前の午前10~11時の間に行い、分娩後はほぼ8, 24, 48, 72時間及び7日目に行った。採取した血液は直ちに血漿を分離し、分析まで凍結保存した。血漿の分析項目と分析方法は、カルシウム(Ca), マグネシウム(Mg), カリウム(K), ナトリウム(Na)は原子吸光光度法²⁵⁾, 無機磷(Pi)はTaussky法²⁾, 糖はSomogy-Nelson法³⁾により測定した。上皮小体ホルモン(PTH)は農林水産省家畜衛生試験場北海道支場に依頼し、ラジオイムノアッセイ法²²⁾により測定した。飼料の無機成分は農林省園芸試験場の方法¹⁸⁾により測定した。TDNとDCP含量の算出方法は次のように行った。放牧草のTDN含量はin vitro乾物消化率²⁶⁾を求め、この値を著者ら²¹⁾によるTDN含量とin vitro乾物消化率との関係式に当てはめ算出した。DCP含量はAdamsの回帰式¹⁾により求めた。濃厚飼料のTDNとDCP含量は日本標準飼料成分表¹⁹⁾をもとに算出した。

放牧草と濃厚飼料の無機成分及び栄養価は表1に示すとおりである。

表1. 放牧草および濃厚飼料の栄養価と無機成分

飼 料	TDN	DCP	Ca	P	Mg	K	Na
放 牧 草 ²⁾	72.9 ± 3.2	18.8 ± 2.4	0.46 ± 0.05	0.35 ± 0.04	0.16 ± 0.01	2.84 ± 0.33	0.07 ± 0.05
磷 強 化 飼 料	79.2	9.7	0.49	3.37	0.47	5.75	0.90
市販配合飼料	81.1	10.4	1.13	0.47	0.29	1.35	0.51

注 1) 乾物中%

2) 放牧草は平均値と標準偏差

試 験 結 果

妊娠末期における推定乾物摂取量と日増体量は表2に示すとおりである。

推定乾物摂取量は日本飼養標準²⁰⁾における体重550kgの妊娠末期牛の乾物要求量11.1kgをやや下回り、NRC飼養標準¹⁷⁾における体重550kgの妊娠末期牛の乾物要求量9.3kgを上回る値である。TDN, DCP摂取量は算出していないが、表1に示した栄養価から推察して要求量は満されていると

表2. 乾物, CaおよびPの推定摂取量と日増体量

項 目	磷補給群	対照群
乾物摂取量 kg/日	10.6 ± 1.0	10.5 ± 1.3
Ca 摂取量 g/日	50.0 ± 1.7	53.3 ± 3.1
P 摂取量 g/日	51.4 ± 7.2	36.5 ± 2.5
Ca : P	1.0	1.5
日 増 体 量 kg/日	1.34 ± 0.24	1.54 ± 0.31

いえよう。これは乾乳期間の日増体量からもうかがえる。CaおよびPの摂取量も推定値であるが、日本飼養標準における体重 550 kgの妊娠末期牛のCa要求量33g, 同じく P 要求量25gを上回っている。

乳熱の発症は分娩後24時間以内に両群各 1 頭みられたが、この 2 頭はいずれも本症の前歴がある牛である。発症時の血中Ca濃度は、17号牛 (P補給群) が5.80mg/dl, 30号牛 (対照群) が3.90mg/dlであり、Pi濃度も17号牛が2.17mg/dl, 30号牛が1.93mg/dlに低下した。これに対し、PTH濃度は17号, 30号牛それぞれ、分娩前の0.2, 0.2 ng/mlが6.7, 7.4ng/mlにまで増加した。これら発症牛の値は非発症牛のCa濃度 (P補給群8.36mg/dl, 対照群8.96mg/dl), Pi濃度 (P補給群3.38mg/dl, 対照群3.55mg/dl) 及びPTH濃度 (P補給群6.4ng/ml, 対照群2.2ng/ml) に比較すると、発症牛のCa及びPi濃度は明らかに低かった。また、これら発症牛の治療にはグルコン酸カルシウム剤を用い、17号牛は 1 回, 30号牛は2回の静脈注射で治癒した。

図 1 は血漿Ca, Pi, PTH濃度を分娩 4 週前から分娩後 7 日目まで経時的にみたものである。

血中Ca濃度は両群ともに分娩当日から低下し、分娩後24時間目に最低値 (P補給群 7.7 ± 1.4 mg/dl, 対照群 8.0 ± 2.3 mg/dl)を示した。血中Pi濃度はCa濃度とほぼ平行して変化し、その最低値はP補給群 3.5 ± 1.4 mg/dl, 対照群 3.6 ± 0.8 mg/dlであった。これに対し、PTH濃度は両群ともにCa, Pi濃度とは逆に分娩後24時間目に最高に達した。この時のP補給群のPTH濃度は対照群より高い傾向にあるが有意でない。また、この値はP補給群ではその前後の日に比べ有意に高いが、対照群では有意とならなかった。分娩前におけるPTH濃度は、P

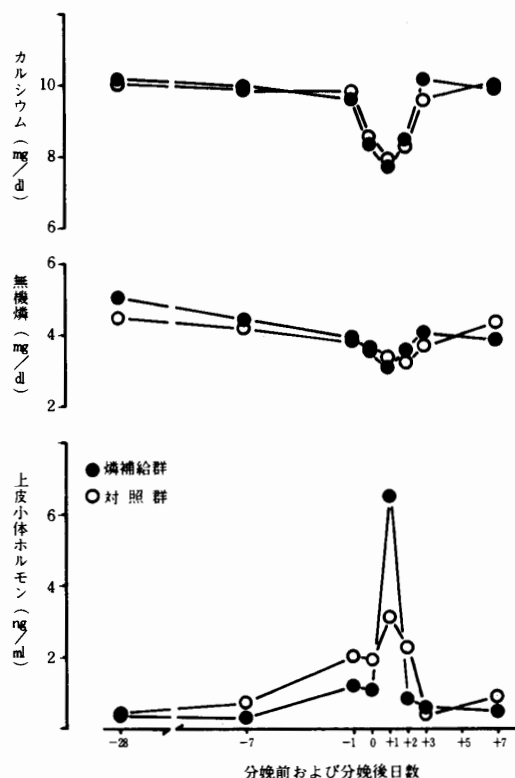


図 1. 分娩前後における血中カルシウム, 無機燐, 上皮小体ホルモンの変化

補給群が対照群より低めに推移しているが有意な差でない。また、発症牛と非発症牛の違いをあげると、血中Ca及びPi濃度は分娩当日から分娩後 2 日目までの間両群ともに発症牛の低下割合が非発症牛より大きかった。PTH濃度の推移は分娩 1 日前から分娩後 2 日目までの濃度が両群ともに発症牛が高かった。しかしながら、P 補給の影響が発症牛と非発症牛で異なるか否かは、発症牛の例数が両群とも 1 例のため判断できなかった。

表 3 は分娩前 3 ~ 4 週と分娩後 8 ~ 48 時間の平

表 3. 分娩前後における血漿成分

血 漿 成 分	分 娩 前 ¹⁾		分 娩 後 ²⁾		分 散 分 析		
	燐補給群	対 照 群	燐補給群	対 照 群	処理間 分娩後	分娩前後間	
						燐補給群	対照群
Ca mg/dl	10.21 $\pm$ 0.15	10.08 $\pm$ 0.31	8.14 $\pm$ 1.10	8.33 $\pm$ 1.78	無	* ³⁾	*
Pi mg/dl	5.12 $\pm$ 1.08	4.49 $\pm$ 0.72	3.44 $\pm$ 1.13	3.42 $\pm$ 0.82	無	*	*
Mg mg/dl	2.22 $\pm$ 0.26	2.29 $\pm$ 0.25	2.17 $\pm$ 0.33	2.44 $\pm$ 0.37	無	無	無
K meq/l	4.97 $\pm$ 0.50	4.72 $\pm$ 0.38	4.81 $\pm$ 0.86	4.79 $\pm$ 0.49	無	無	無
Na meq/l	137.5 $\pm$ 3.1	137.0 $\pm$ 5.3	140.8 $\pm$ 3.6	137.8 $\pm$ 4.2	無	無	無
PTH ng/ml	0.37 $\pm$ 0.35	0.40 $\pm$ 0.44	2.80 $\pm$ 3.63	2.52 $\pm$ 2.44	無	無	無
糖 mg/dl	58.4 $\pm$ 5.1	54.3 $\pm$ 15.6	76.1 $\pm$ 12.6	69.1 $\pm$ 15.1	無	無	無

注 1) 分娩前 3 ~ 4 週における 2 点の平均値

2) 分娩後 8 ~ 48 時間における 3 点の平均値

3) * 5 % 水準で有意

均血漿成分濃度を示したものである。分娩前後ともに、いずれの成分にも両群間に有意な差は認められなかったが、P補給群のMg濃度が分娩後に対照群よりやや低い傾向にあった。分娩前後を比較すると、両群ともにCa, Pi濃度が分娩後に低く ($P < 0.05$), 血糖, PTH濃度が分娩後に高い傾向にあった。

考 察

乳牛の分娩前後における血中Ca濃度の低下は広く認められている事実であり、正常値の下限は8 mg/dlと考えられている¹²⁾。Jørgensen¹²⁾は低Ca血症を軽度 (7.5~8.5 mg/dl) と重度 (5~6 mg/dl) に分け、乳熱の発症は通常5 mg/dl以下で起り、重度の段階では全頭が必ずしも乳熱にならないとしている。本試験では、分娩後3日間の平均血中Ca濃度は両群ともに8 mg/dl以上であり (表3), ほぼ正常の範囲にあった。ただ、個体毎にみると、乳熱の経歴牛2頭 (両群各1頭) が6 mg/dl以下となり乳熱にかかったが、これは、本症の経歴牛が非常に再発しやすいことを示したといえよう。

この分娩時にみられる血中Ca濃度の低下の原因は十分に解明されていないが次のような考え方が有力である。分娩時には泌乳開始のためCa需要が大きくなり、血中CaプールからのCa流出が大きくなる。一方、CaプールへのCa流入は分娩に伴う血中エストロジェンの分泌亢進により骨代謝の抑制、採食量の減退あるいは消化器の機能低下などによりCa補給が不十分になるためである^{7,24)}といわれている。従って、分娩前後の低Ca血症の予防のためCaとPの給与量を調節する意義は、単に過不足を調整してミネラル代謝障害防止を図るというよりCa代謝調節機構の制御に役立っていると考えられる。

飼料中のP含量を高める意義については、Boda and Cole⁵⁾は分娩時における上皮小体の機能亢進を推察しているが、Stott²³⁾は、むしろ分娩時にCaプールへ流入するmobilize Caの骨への蓄積が大きくなることをあげている。また、腸管からのCa吸収を抑えCa供給量を少なくする場合も考えられるので、Mayer¹⁵⁾の仮説に従えば、上皮小体の感受性を高め骨からCaプールへのCa流入を大きくする効果も考えられる。飼料中のP含量を高め乳熱の予防効果を認めているのは、Boda and

Cole⁵⁾とStott²³⁾の報告である。Boda and ColeはCa/P値を6.0, 1.0, 0.3の3群に分け乳熱の発生割合をみたところ、36, 15, 0%とPの比率が増大するに従い発生率が減少したと報告している。StottはCa/P値が3.7のとき本症の発生率が76%であった牛群が同比を1.6にすることにより発生率が16%に減少したと報告している。このような報告に対し、Kendall¹⁴⁾は燐酸ソーダあるいは炭酸カルシウム添加によりCa/P値を2.3より大きくしても (4.3), 小さくしても (0.9) 乳熱の発生率は高まったと報告しており、Gardner⁸⁾の報告でも乳熱の発生率を低くする飼料の適当なCa/P値は約2.3であるとしている。一方、Beitz⁴⁾の報告では、飼料中のP含量を一定とし、Ca含量を変えCa/P値を2.3と1.1の2群について分娩48時間前から分娩後48時間までの血中Ca, Pi及びMg濃度を比較した結果、血中CaとPi濃度に差がないが乳熱の発生頭数は、Ca/P 2.3群が12頭中9頭、1.1群が14頭中7頭と両群ともに高く、Ca/P値を小さくする効果も、Kendall, Gardnerが主張しているCa/P値を2.3に保つ効果も認められない。本報では、Ca/P値が1.5と1.0の比較であるが分娩時の血中Ca, Pi, Mg濃度及び乳熱の発生割合に有意差が認められない。したがって、飼料のCa/P値をこの付近で動かしても血中Ca, Pi濃度に差が認められない点はBeitz⁴⁾の報告と一致するが、乳熱の発生頻度はBeitzの報告 (61.5%) のように高い段階ではないので、乳熱の発症防止に有効か否かは判断し難い。また、乳熱発症牛と非発症牛ではP補給に対する反応に差異のあることも考えられるが、本試験の結果からは例数が少なく明らかでない。Beitz⁴⁾の報告ではCa/P値を動かしても乳熱の発生率及び非発生牛の血中Ca濃度に処理差が認められず、その差異はあまりないように思われるが、さらに検討を要する。

ところで、PTHの分泌パターンをみると両群の間にやや異なる傾向がみられた (図1)。結果の項でも述べたように、P補給群のPTH濃度は分娩前には対照群より低めに推移し、血中Ca濃度が最も低下した分娩後24時間目に有意に上昇した。これに対し、対照群のPTH濃度は分娩前にはP補給群よりやや高めに推移したが、血中Ca濃度が最低値のときの上昇割合はP補給群より小さく有意でない。この差異はP補給群の上皮小体の感

受性が強まったことを示すと推測できる。従来のCaとP給与に関する報告ではPTHの測定が行われていないので今回得られた傾向は興味深いが、PTH濃度の個体差も大きいので、さらに確認が必要と思われ、今後検討を加えたい。

以上、放牧条件で妊娠末期牛に対する飼料中のP含量を高め、Ca/P値が1.0のP補給群と1.5の対照群の分娩時の血中Ca、PTH濃度などを比較したところ、血液の低Ca状態に対する上皮小体の反応はP補給群が対照群より強い傾向を示し

たが、血中Ca、Pi、Mg、糖などの成分濃度及び乳熱の発生頭数には差がなかった。よって、本試験のようなCa/P値の範囲にあてはまるPの補給は乳熱の予防上特に効果的とは思われないが、さらに、乳熱を再発しやすい経歴牛を対象に追試する必要はあろう。

終りに臨み、PTHの測定をして頂いた農林水産省家畜衛生試験場生化学第1研究室長、林光昭博士ならびに家畜衛生試験場北海道支場第2研究室、佐伯隆清技官に謝意を表する。

引用文献

- 1) Adams, R. S. "(Symposium) Results of feed analysis in feeding program dairy cattle". J. Dairy Sci. **44**, 2105—2112 (1961).
- 2) 馬場茂明, 奥田清編. "医化学実験法講座, 臨床化学Ⅱ". 中山書店, 1973, P.356—357.
- 3) 馬場茂明, 奥田清編. "医化学実験法講座, 臨床化学Ⅱ". 中山書店, 1973, P.122—123.
- 4) Beitz, D. C, Burkhart, D. J, and Jacobson, N. L. "Effect of calcium to phosphorus ratio in the diet of dairy cows on incidence of parturient paresis". J. Dairy Sci. **57**, 49—55 (1974).
- 5) Boda, J. M, and Cole, H. H. "The influence of dietary calcium and phosphorus on the incidence of milk fever in dairy cattle." J. Dairy Sci. **37**, 360—372 (1954).
- 6) Boda, J. M "Further studies on the influence of dietary calcium and phosphorus on the incidence of milk fever." J. Dairy Sci. **39**, 66—71 (1956).
- 7) Braithwaite, G. D. "Reviews of the progress of Dairy Science: Calcium and phosphorus metabolism in ruminants with special reference to parturient paresis". J. Dairy Res. **43**, 501—520 (1976).
- 8) Gardner, R. W. and Park, R. L. "Effects of prepartum energy intake and calcium to phosphorus ratios on lactation response and parturient paresis." J. Dairy Sci. **56**, 385—389 (1973).
- 9) Going, R. L, Jacobson, N. L, Beitz, D. C, Littledike, E. T, and Wigger, K. D". Prevention of parturient paresis by a prepartum calcium deficient diet". J. Dairy Sci. **57**, 1184—1188 (1974).
- 10) 林 光昭. "家畜の衛生, 3. 栄養障害". 畜産大事典. 内藤元男監修. 養賢堂, 1978, 885P.
- 11) 福永 伸, 鴫田 昭, 加藤祐三, 藪木泰男, 佐藤一良. "根釧地方における乳牛の起立不能症の発生状況調査成績." 北獣会誌. **21**, 102—108 (1977).
- 12) Jorgensen, N. A. "Symposium: Health and management practices for high production. Combating milk fever". J. Dairy Sci. **57**, 993—944 (1974).
- 13) 加納公男. "北海道宗谷地区における産前産後起立不能症の実態と臨床的考察". 1976. P. 7—12 (家畜診療 1976年3月特別増刊号)
- 14) Kendall, K. A, Harshbarger, R. L, Hays, Ormiston, E. E, and Spahr, S. L". Responses of dairy cows to diets containing varied levels of calcium and phosphorus". J. Dairy Sci. **53**, 681—682 (1970).
- 15) Mayer, G. P. "The roles of parathyroid hormone and thyrocalcitonin in parturient paresis". Parturient Hypocalcemia. edited by Anderson, J. J. B. Academic Press, 1970, p.177—193.
- 16) 森本 宏監修. "動物栄養試験法". 養賢堂, 1971, 190p.
- 17) National academy of science-national research council. "Nutrient requirements of domestic animals. IV. Nutrient requirement of dairy cattle". 1971, ISBN-O -309-01916-8.
- 18) 農林省園芸試験場編, "永年作物における微量金属元素の異常吸収に関する研究, 原子吸光分光分析法による葉, 土壌中の無機成分の分析法". 成績概要別刷, 1968.
- 19) 農林省農林水産技術会議事務局編. "日本標準飼料成分表, 1975年版". 中央畜産会, 1975, p.44—55.
- 20) 農林省農林水産技術会議事務局編. "日本飼養標準, 乳牛, 1974年版" 中央畜産会, 1974, p. 6—9.
- 21) 小倉紀美, 坂東 健, 蒔田秀夫, 中川忠昭, 吉田悟. "粗飼料の可消化養分含量推定法の検討, 再生

- 草への応用を中心として”。北海道草地研究会報.
8, 27—30 (1974).
- 22) Saeki, T. and Hayashi, M. “Radioimmunoassay of bovine parathyroid hormone.” Nat. Inst. Anim. Hlth Quart. **15**, 151—158 (1975).
- 23) Stott, G. H. “Parturient paresis related to dietary to phosphorus.” J. Dairy Sci. **48**, 1485—1489 (1965).
- 24) Stott, G. H. “Dietary influence on the incidence of parturient paresis”. Fed. Proc. **27**, 156—161 (1968).
- 25) 武内次夫, 鈴木正己. “原子吸光分光分析法”. 南江堂, 1970, p.142—143.
- 26) Tilley, J. M. A and R. A. Terry. “A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops”. J. Brit. Grassland Soc. **18**, 104—111 (1963).
- 27) Wigger, K. D, Nelson, D. K, and Jacobson, N.L. “Prevention of parturient paresis by a low-calcium diet prepartum; A field study”. J. Dairy Sci. **58**, 430—431 (1975).

Effects of Phosphorus Dietary Intake in Dairy Cows of Late Pregnancy on the Levels of Plasma Calcium and Parathyroid Hormone at Parturition Time

Noriyoshi OGURA Shin-ichi SANO and Tadaaki NAKAGAWA

Summary

Ten Holstein cows of late pregnancy were divided into experimental and control group of five each on the basis of calving number, expected calving date and history of parturient paresis. All of them were grazed in a pasture during the 6 weeks prior to expected calving date. Cows in the experimental group were fed daily with 500g of a concentrate mixture containing 3.3% phosphorus and those in the control group with 500g of a concentrate mixture containing 0.4% phosphorus. The estimated intake of the calcium to phosphorus ratio are 1.0 and 1.5 for the experimental and control group, respectively.

Results obtained are as follows;

1. After parturition, levels of plasma calcium in both groups decreased significantly and reached minima in 24 hours. This decline of calcium level at parturition was in the normal range except for the case of parturient paresis one in each group. There was no significant difference in the level of plasma calcium between the two groups during the experimental period.
2. Plasma inorganic phosphorus was of the same level as plasma calcium. No significant difference existed between the two groups.
3. The levels of plasma parathyroid hormone in both groups reached maxima in 24 hours after parturition, when the calcium level reached minima. No significant difference was found between the two groups. Whereas, parathyroid gland response of experimental group was more positive than control group.
4. There was no significant difference in the levels of plasma magnesium, potassium, sodium and glucose between the two groups.