

ラットの発育に及ぼす Ca および P の利用に関する研究

(1) 飼料中タンパク量の相違による Ca および P の利用

宮崎 幸恵・奥村 ミサヲ

Studies on the utilization of Ca and P by the growing of rats

(1) Ca and P utilization by dietary protein level

Sachie Miyazaki and Misao Okumura

緒 言

近年、学童・生徒の骨折が増加しつつあると指摘されている。この原因については現在までには充分明らかにされていないが、主要因としては体型および体力の変化と食生活の変化の2点が考えられている。

骨折の要因を食生活の点から考えてみると、以前と異なり現代では豊富にある食品すなわち自然食品、加工食品、清涼飲料水等を自由に選択・摂取できるようになっている。したがって現状下において問題となるのは、食品の選択であり、幅広くバランスのとれた食生活をしていくことが大切である。食生活の上で骨折との関連から問題視されているのは、カルシウムとリンの摂取量、摂取比率、それらと他の栄養素との関係である。

リン摂取について考えてみると、食品の多様化により結着剤、抗酸化剤等として、リン酸塩が添加されている加工食品や清涼飲料水等が食事や間食、夜食に多くとり入れられるようになってきており、リンの過剰摂取をもたらしやすい状況になっている。

一方、カルシウムについてみると、その摂取量は、年々増加しつつある。しかしカルシウム等を豊富に含んでいる自然食品の摂取量が減少してきている点やリン摂取量の増加に比べ、それ程増加していないのが現状である。このような状況下ではカルシウムとリンとの摂取比率が好ましくない方向へ傾き、その利用率が悪くなっている可能性があると考えられる。

さらにカルシウムとリンの利用はその摂取比率だけに限らず、他の栄養素との関連において検索する必要がある。菅家ら¹⁾は、ラットを用いて低タンパク質食餌におけるタンパク質およびでんぷんの種類の違いによるミネラル利用効率への影響を観察し、タンパク質およびでんぷんの種類の相違がカルシウムとリンの出納に影響する可能性があるとして指摘している。

そこで本研究では、ラットを用いてカルシウムとリンとの摂取バランスを一定にし、飼料中のタンパク質含量を変化させた3種の飼料を投与した場合、その発育状態（体重および大腿骨）、血中におけるカルシウム、リンおよびタンパク量、アルカリフォスファターゼ（以下ALPと略記）活性、糞尿中におけるカルシウムおよびリンの排泄量を測定し、カルシウムとリンの利用について比較検討した。

実験材料

1) 供試動物

体重50g前後（4週令）のWistar系雄ラット15匹を用いた。

2) 飼料

表1に示すようにHarper²⁾の精製飼料に準じ飼料を調製した。すなわち、22%のカゼインを標準として過不足分のカゼインをコーンスターチと置き換えて低タンパク質飼料（10%）、標準タンパク質飼料（22%）および高タンパク質飼料（30%）を作成した。

3) 試薬

カルシウム標準液（1mg/ml）およびグリシン、ジニトロフェニールリン酸2ナトリウム、

表1 飼料組成

成分% \ 群	低タンパク質飼料	標準タンパク質飼料	高タンパク質飼料
カゼイン	10.0	22.0	30.0
ミネラル混合物 ^a	5.0	5.0	5.0
ビタミン混合物 ^b	0.75	0.75	0.75
コーンオイル	4.5	4.5	4.5
コーンスターチ	64.597	52.597	44.597
ショ糖	15.0	15.0	15.0
塩化コリン	0.15	0.15	0.15
マンガン	0.003	0.003	0.003
計	100.0	100.0	100.0

a：（ミネラル混合物 100g 中 g）

CaCO₃ 29.29, CaHPO₄·2H₂O 0.43, KH₂PO₄ 34.31, NaCl 25.06

MgSO₄ 9.98, Fe(C₆H₅O₇)·6H₂O 0.623, CuSO₄·5H₂O 0.156

MnSO₄·H₂O 0.121, ZnCl₂ 0.02, KI 0.0005, (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O 0.0025

b：（飼料 100g 中含量）

ビタミンB₁ 0.5 mg, ビタミンB₂ 0.5 mg, ニコチン酸 2.5 mg, パントテン酸カル

シウム 2.0 mg, ビタミンB₆ 0.25 mg, ビタミンK 0.05 mg, ビオチン 0.01 mg,

葉酸 0.02 mg, イノシット 10.0 mg, ビタミンA 400 I.U., ビタミンB₁₂ 0.002 mg,

ビタミンC 5.0 mg, ビタミンD 200 I.U., ビタミンE 10 mg

パラニトロフェノールは第1化学薬品製を、オルトクレゾールフタレインコンプレクソン(OCPC)および1, 2, 4-アミノナフトールスルホン酸は和光純薬工業製を、ポリビニルピロリドン(K-30, PVP), 8-ヒドロキシキノリン, ジエタノールアミン, ジエチルアミン, 亜硫酸水素ナトリウム(NaHSO_3), 無水亜硫酸水素ナトリウム(Na_2SO_3), その他の一般試薬は片山化学工業製を用いた。なお試薬はすべて特級品を使用した。

実験方法

1) 動物の飼育および試料の採取

動物を群間で体重ができるだけ等しくなるように5匹ずつ3群に分けて飼育した。すなわち動物室は温度を $22 \pm 2^\circ\text{C}$, 湿度50%前後に, 照明を14時間明, 10時間暗(6時点灯, 20時消灯)に調節し, 尿と糞を別々に採取できる

Immortal型代謝ケージを用いて4週間単飼した。体重は毎日または隔日に測定し, 飼料の投与量は体重の15%とし, 水は純水を自由に摂取させた。また体重測定時に, 飼料の残量, 糞量および尿量を測定し, 糞および尿は1週間ずつプールして凍結保存し, 以下の実験に使用した。飼育4週間後にエーテルで麻酔し, 後部腹大動脈から血液を採取した後屠殺した。さらに大腿部を切開し, 筋肉をはく離して大腿骨を摘出し図1のようにa, b, cの部位の大きさを測定した。

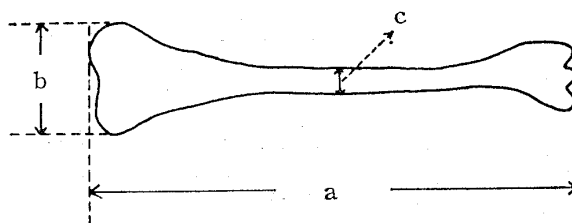


図1 大腿骨測定部位

2) 糞尿中および血清中のカルシウムの定量

o-Cresolphthalein Complexone 比色法(OCPC法)³⁾により行った。糞は前処理として各週ごとに採取したものをそれぞれよく混合し, その一定量を灰化炉(Yamato Muffle Furnace FM-36)で3時間(750°C)乾式灰化した。これを10 mlの3 N塩酸に溶解後蒸発乾固させ, さらに10 mlの3 N塩酸に溶解し10分間以上加熱した後, 一定量に希釈したものを試料溶液とした。

表2に示すように標準液・尿・血清および糞の試料溶液を各々0.02 mlずつとり, これに反応液を加えて混和し, 15分放置後波長570 nmにおける吸光度を測定した。標準液から得た検量線をもとに糞尿・血清

表2 カルシウム定量法

試薬 (ml)	標準液 (mg/dl)			試料 (糞・尿・血清)
	0	5	10	
	0.02			0.02
反応液*	3.0			3.0
15分 放置				
比色 (O. D. 570)				

* ジエタノールアミン500ml, ジエチルアミン500ml
オルトクレゾールフタレインコンプレクソン(OCPC) 80mg
ポリビニルピロリドン(K-30, PVP) 2.0g
8-ヒドロキシキノリン 2.5gを混和溶解し, この溶液1に対し, 再蒸留水5の容量比で混和させ1N-HClを用いてpHを11.5に調整。

ならびに飼料中のカルシウム含量を算出した。なお吸光度測定には島津分光光度計 QV 50 を使用した。

3) 糞尿中および血清中のリンの定量
Fiske-Subbarow の方法⁴⁾ に準じて行った。すなわち表3に示すように標準液, 各試料溶液を 0.2 ml ずつとり, これに 10g/dl トリクロル酢酸を 3.0 ml ずつ加えて5分放置後遠心し, その上清 2.0 ml を別の試験管に移しとった。これにモリブデン酸試薬 0.4 ml 加え混和後, さらに還元剤 0.2 ml, 水 1.4 ml ずつ加えて混和し冷暗所で20分放置した。これを波長 660 nm で吸光度を測定し標準液より得られた検量線から糞尿中ならびに血清中のリン含量を求めた。なお血清については試料用量を半量にして行った。また糞の試料溶液はカルシウム定量用と同一のものを使用した。

表3 リンの定量法

試薬 (ml)	標準液(mg/dl)				試料	
	0	2.5	5	10	尿*糞	血清
	0.2				0.2	0.1
10g/dl トリクロル酢酸	3.0				3.0	1.5
5分放置後遠心 (3000 r.p.m. 15分)						
上清	2.0				2.0	1.0
モリブデン酸 試薬	0.4				0.4	0.2
還元剤	0.2				0.2	0.1
水	1.4				1.4	0.7
冷暗所 20分放置						
比色 O.D. 660						

* 10倍希釈尿を用いた

4) 血清中アルカリフォスファターゼ (ALP) 活性の測定

Bessey-Lowry 法⁵⁾ に準じて行った。すなわち, 表4に示すように, 試験管2本にアルカリ性基質緩衝液 1.0 ml ずつをとり, 37°C の恒温槽に入れ約5分加温し, 1本には水を(盲検用)別の1本には血清を 0.1 ml ずつ加え 37°C で30分反応させた後 0.02N 水酸化ナトリウムを 10 ml 各管に加えて転倒混和し酵素を不活性化した。盲検を対照として被検液の吸光度 E_A を求めた後各管に濃塩酸を 0.1 ml ずつ加えて, 盲検を対照として吸光度を求め, これを E_B とした。 $E_A - E_B$ を計算し, あらかじめ作成しておいた検量線から Bessey-Lowry 単位を求めた。この数値を 16.7 倍して ALP の国際単位 (U/l) に換算した。

表4 ALP 活性の測定法

試薬 (ml)	盲検	被検
アルカリ性基質緩衝液	1.0	1.0
37°C 5分		
	H ₂ O 0.1	血清 0.1
37°C 30分		
0.02N-NaOH	10.0	10.0
比色 O.D. 410 (E_A)		
濃塩酸	0.1	0.1
混和後比色 O.D. 410 (E_B)		

5) 血清タンパク定量法

Biuret 法⁶⁾ により測定した。すなわち血清 0.1 ml に水 0.9 ml および Biuret 試薬 4 ml を加えて室温にて30分反応させた後波長 540 nm における吸光度を測定した。なお標準タンパク

としてウシ血清アルブミンを使用した。

6) 飼料中カルシウムおよびリン含量の定量

飼料約 1g を計量し灰化炉で乾式灰化した後 10 ml の 3 N 塩酸に溶解して蒸発乾固した。さらにこれを 10 ml の 3 N 塩酸に溶解させ 10 分以上加温後ろ過して一定量に希釈した後、糞尿および血清中の場合と同様な方法でカルシウムおよびリン含量を測定した。

実験結果

1) 体重

飼育 4 週間における各群の体重の変化を図 2 に示し、各週の群別の体重変化を表 5 に示した。低タンパク質飼料投与群の成長は悪く、飼育 4 週目には、標準タンパク質飼料、高タンパク質飼料投与群の約半分の体重であった。全飼育期間を通し、低タンパク質飼料投与群と他の 2 群との間に体重増加量において有意な差が認められた ($P < 0.01$)。標準タンパク質飼料投与群と高タンパク質飼料投与群との間には有意な差は認められなかった。

2) 尿量

表 6 に体重 100 g あたりの尿量を示した。各週とも群間で有意な差は認められなかったが、低タンパク質飼料投与群の尿量は他の 2 群に比べ少なかった。

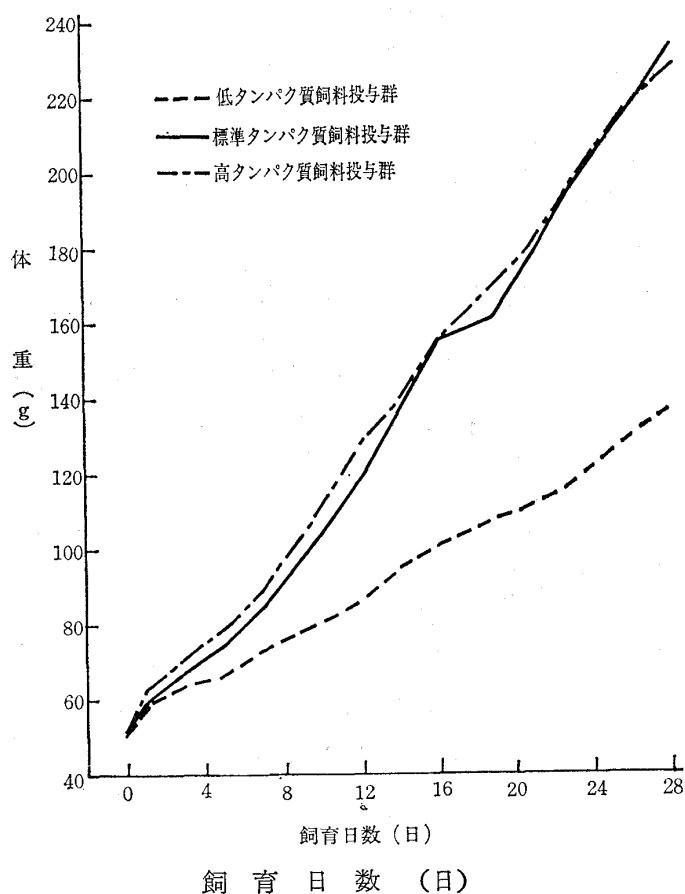


図 2 体重の変化

表 5 体重の変化

群	体重 (g)	初体重	1 週 目	2 週 目	3 週 目	4 週 目
低タンパク質飼料	55.08	55.08	73.10 ± 1.03 ^{*A}	94.00 ± 3.73 ^A	110.82 ± 3.79 ^A	135.70 ± 4.53 ^A
標準タンパク質飼料	55.16	55.16	84.62 ± 2.24 ^B	136.38 ± 1.85 ^B	176.94 ± 3.31 ^B	231.06 ± 4.35 ^B
高タンパク質飼料	55.16	55.16	89.34 ± 2.19 ^B	139.36 ± 8.14 ^B	179.14 ± 7.27 ^B	227.00 ± 13.45 ^B

*: Mean ± SE (N=5)

異符号間に有意差あり ($P < 0.01$)

表6 尿量の変化

群 \ 週	尿量 (ml/日/100g 体重)			
	1	2	3	4
低タンパク質飼料	9.91±1.32 *	8.48±1.08	7.42±1.11	6.43±0.77
標準タンパク質飼料	11.08±0.75	10.09±1.17	9.28±1.23	9.74±1.44
高タンパク質飼料	10.49±0.45	9.14±0.93	8.27±0.88	7.60±0.77

* : Mean±SE (N=5)

3) 糞重量

1週間ごとの糞重量を表7に示した。第3週目までは群間に差はなかったが、第4週目では低タンパク質飼料投与群は他の2群に比べ有意に少なかった。

表7 糞重量の変化

群 \ 週	糞重量 (g)			
	1	2	3	4
低タンパク質飼料	1.81±0.14 *	2.25±0.09	2.63±0.09	2.55±0.18 ^{Aa}
標準タンパク質飼料	1.76±0.15	2.49±0.16	3.03±0.16	3.61±0.18 ^B
高タンパク質飼料	1.82±0.12	2.53±0.14	2.96±0.14	3.11±0.23 ^b

* : Mean±SE (N=5)

異符号間に有意差あり (大文字 $P<0.01$, 小文字 $P<0.05$)

4) 飼料中のカルシウムおよびリンの含量

3飼料ともほぼ等しく、カルシウム含量は 506~514 mg/100g 飼料、リン含量は 331~344 mg/100g 飼料であったのでそれらの平均値前者 511 mg/100g 飼料、後者 340 mg/100g 飼料として飼料中のカルシウム、リン含量を計算した。また、この結果より飼料中のカルシウム量に対するリン量の割合は 1.50 となった。

5) 糞および尿中におけるカルシウムとリンの排泄量および体内蓄積率

1週間ごとの飼料摂取量からカルシウムとリンの摂取量を求め、この値とその期間中の糞および尿中カルシウムとリンの排泄量とを比較することにより体内のカルシウムとリンの蓄積量および蓄積率を計算し表8に示した。

体内カルシウム蓄積率は第1週目、第2週目ともに群間で有意な差がみられなかったが、第3週目では標準タンパク質飼料投与群がもっとも高くなり、他の2群との間に有意な差が認められた ($P<0.05$)。4週目では、3週目と異なり低タンパク質飼料投与群がもっとも高くなり、他の2群との間に有意な差がみられた ($P<0.05$)。実験期間中どの群でも90%を越える高い蓄積率を示した。

一方、体内リン蓄積率をみると、1週目では低タンパク質飼料投与群が最も高く、ついで標準タンパク質飼料投与群、高タンパク質飼料投与群の順であった。この傾向は2週目以降も同

表8 カルシウム(Ca)とリン(P)の摂取量, 糞と尿中への排泄量, 体内蓄積量,
体内蓄積率および蓄積 Ca/P 比の比較

群	週	1	2	3	4	
Ca	低タンパク質飼料	Ca 摂取量 mg	446.9± 6.1*	425.4±13.7	459.6±16.0	538.3±14.6
		糞中 Ca 排泄量 mg	28.7± 4.35	30.3± 1.29	34.1± 1.44	33.3± 1.12
		尿中 Ca 排泄量 mg	3.3± 0.38	2.7± 0.20	3.5± 0.32	2.9± 0.36
		体内 Ca 蓄積量 mg	414.9± 7.6	392.4±13.6	422.0±15.9	502.1±14.9
		体内 Ca 蓄積率 %	92.8± 1.0	92.2± 0.4	91.8± 0.4 ^a	93.3± 0.3 ^a
出	標準タンパク質飼料	Ca 摂取量 mg	476.4±13.0	511.4±25.3	611.4± 8.1	649.6±29.5
		糞中 Ca 排泄量 mg	25.3± 2.10	32.8± 2.00	33.8± 2.89	44.9± 2.37
		尿中 Ca 排泄量 mg	4.1± 0.57	6.1± 0.60	7.6± 0.60	9.4± 2.20
		体内 Ca 蓄積量 mg	447.0±12.1	472.2±24.3	570.0± 3.9	595.3±26.0
		体内 Ca 蓄積率 %	93.8± 0.5	92.5± 0.3	93.2± 0.4 ^b	91.7± 0.3 ^b
納	高タンパク質飼料	Ca 摂取量 mg	479.6±15.7	525.3±38.3	570.2±30.1	611.1±52.6
		糞中 Ca 排泄量 mg	24.3± 2.14	6.7± 0.67	41.3± 1.63	41.4± 2.91
		尿中 Ca 排泄量 mg	4.6± 0.26	33.9± 1.81	8.4± 0.98	9.7± 1.04
		体内 Ca 蓄積量 mg	450.7±14.3	484.7±37.8	520.5±29.6	560.0±49.8
		体内 Ca 蓄積率 %	94.0± 0.3	92.1± 0.5	91.2± 0.6 ^a	91.6± 0.4 ^b
P	低タンパク質飼料	P 摂取量 mg	297.9± 4.1	283.6± 9.1	306.4±10.7	358.8± 9.8
		糞中 P 排泄量 mg	38.7± 1.33	67.6± 3.14	97.8± 3.81	89.7± 1.84
		尿中 P 排泄量 mg	39.3± 2.45	43.2± 6.00	55.6± 4.95	34.1± 9.14
		体内 P 蓄積量 mg	219.9± 3.1	172.8± 9.46	153.0± 6.8	235.0± 4.2
		体内 P 蓄積率 %	73.8± 0.6	60.8± 2.0 ^A	50.0± 1.5 ^a	65.6± 1.7 ^{aA}
出	標準タンパク質飼料	P 摂取量 mg	315.2± 9.5	354.6± 7.7	407.6± 5.4	432.9±19.7
		糞中 P 排泄量 mg	33.2± 5.74	84.5± 3.68	98.0± 5.49	104.0± 6.20
		尿中 P 排泄量 mg	58.1±10.11	91.8± 7.72	116.2± 7.14	100.5± 6.68
		体内 P 蓄積量 mg	223.9±20.4	178.3± 6.1	192.8± 7.1	228.4±15.9
		体内 P 蓄積率 %	70.6± 4.8	50.4± 1.8 ^B	47.5± 1.8 ^a	52.6± 2.0 ^{bB}
納	高タンパク質飼料	P 摂取量 mg	319.7±10.4	336.8±18.5	380.0±20.2	400.6±29.9
		糞中 P 排泄量 mg	32.1± 5.52	72.1± 4.50	95.7± 4.10	93.5± 7.21
		尿中 P 排泄量 mg	71.1± 6.15	109.8± 3.81	132.4± 9.13	128.4± 4.55
		体内 P 蓄積量 mg	216.5± 9.0	154.9±15.3	151.9±19.2	178.7±24.4
		体内 P 蓄積率 %	67.8± 2.4	45.5± 2.4 ^B	39.5± 3.4 ^b	43.8± 3.2 ^{cB}
Ca/P 比	低タンパク質飼料	1.89± 0.02	2.28± 0.07	2.77± 0.09	2.15± 0.07	
	標準タンパク質飼料	2.09± 0.07	2.65± 0.01	3.00± 0.12	2.63± 0.10	
	高タンパク質飼料	2.05± 0.14	3.17± 0.14	3.56± 0.29	3.25± 0.22	

*: Mean±SE (N=5)

異符号間に有意差あり (大文字 P<0.01, 小文字 P<0.05)

様で週令が進むにつれ顕著になった。第4週目においては、体内リン蓄積率は低タンパク質飼料投与群が65.6%ともっとも高く、ついで標準タンパク質飼料投与群52.6%、高タンパク質飼料投与群43.8%となり、すべての群間に有意な差が認められた。

体内カルシウム蓄積量に対する体内リン蓄積量の割合（以下Ca/P比と略記）は、すべての週令を通して高タンパク質飼料投与群がもっとも高く、ついで標準タンパク質飼料投与群、低タンパク質飼料投与群の順であった。飼料中のCa/P比は分析の結果1.50であったが、体内蓄積量のCa/P比はこれよりいずれも高かった。

- 6) 4週目（8週令）における血清カルシウム、リンおよびタンパク量とALP活性
4週間飼育後の血清カルシウム、リンおよびタンパク量とALP活性を表9に示した。

表9 4週目（8週令）における血清中のCa、Pおよびタンパク量とALP活性

群	Ca 濃度 (mg/dl)	P 濃度 (mg/dl)	タンパク量 (g/dl)	アルカリフォスファターゼ 活性(ALP) (U/l)
低タンパク質飼料	10.4±0.29*	4.3±0.26 ^A	7.61±0.35	9.8±1.42 ^a
標準タンパク質飼料	11.2±0.34	7.3±0.56 ^B	7.59±0.36	24.2±2.95 ^b
高タンパク質飼料	10.1±0.54	7.4±0.78 ^B	7.53±0.07	16.4±1.71 ^c

*: Mean±SE (N=5)

異符号間に有意差有り (大文字 $P<0.01$, 小文字 $P<0.05$)

血清のカルシウム濃度は、低タンパク質飼料投与群で10.4 mg/dl、標準タンパク質飼料投与群で11.2 mg/dl、高タンパク質飼料投与群では10.1 mg/dlとなり、摂取飼料の相違による差はみられなかった。

血清中のリン濃度は、低タンパク質飼料投与群で4.3 mg/dlと最も低い値を示し、他の2群との間に有意な差が認められた ($P<0.01$)。

血清タンパク量については、低タンパク質飼料投与群で7.61 g/dl、標準タンパク質飼料投与群で7.59 g/dl、高タンパク質飼料投与群で7.53 g/dlとなり、群間で有意な差は認められなかった。いずれの群のタンパク量も一般正常値5.7~6.2 g/dlと比べやや高かった。

ALP活性は、標準タンパク質飼料投与群で24.2 U/lと最も高く、ついで高タンパク質飼料投与群で16.4 U/l、低タンパク質飼料投与群で9.8 U/lの順であった。すべての群間に有意な差が認められた ($P<0.01$)。

- 7) 4週目（8週令）における大腿骨

4週目における大腿骨のa, b, c部位（図1参照）の長さを表9に示した。高タンパク質飼料投与群では、測定したどの部位においても他の2群に比べ長かったが、群間に有意差はなかった。

表10 大腿骨の長さ (8週令)

長さ(cm)	a	b	c
群			
低タンパク質飼料	2.54±0.071*	0.67±0.010	0.39±0.011
標準タンパク質飼料	2.51±0.032	0.68±0.012	0.39±0.014
高タンパク質飼料	2.63±0.071	0.69±0.009	0.42±0.002

*: Mean±SE (N=5)

考 察

1. ラットの発育に及ぼす飼料中タンパク質含量の相違による影響

図1および表5より、低タンパク質飼料投与群は、標準タンパク質飼料投与群ならびに高タンパク質飼料投与群に比べ成長が悪く、大きな体重差を生じた。飼育4週間後の体重を比較してみると低タンパク質飼料投与群で 135.70 g, 標準タンパク質飼料投与群で 231.06 g, 高タンパク質飼料投与群で 227.0 g であり、低タンパク質飼料投与群では、ラットの標準成長の値と比べ著しく低かった。このことから成長に与えるタンパク質の影響は大きいこと、また飼料中のタンパク質含量が10%になると成長阻害が明確に現われ、カルシウム、リンの利用にも影響を与えると考えられる。

2. カルシウムおよびリンの蓄積率の変化

表8にみるごとくカルシウムの蓄積率はいずれの週、群でも90%以上の高率を示したが、第3週目に入ってはじめて群間に差が現れた。これに対し、リンの蓄積率はいずれの群でもカルシウムのそれと比べると低く、高いものでも低タンパク質飼料投与群第1週の73.8%であった。リンの蓄積率は、第2週目より摂取した飼料による差が顕著にあらわれている。低タンパク質飼料投与群でリンの蓄積率が高く、ついで標準タンパク質飼料投与群、高タンパク質飼料投与群の順となっている。両者の蓄積率の値からも類推できるように Ca/P 比は標準タンパク質飼料投与群で最も大きく、ついで低タンパク質飼料投与群、高タンパク質飼料投与群の順になっている。この Ca/P 比をみると投与飼料中の Ca/P 比:1.50 と比べ大きいことがわかる。これはカルシウムとリンとの摂取バランスを1.50にしても、タンパク含量の異なる飼料では体内での代謝によりカルシウムの出納およびリンの出納に変化があらわれるとの報告¹⁾と考えあわせると興味深い。食物として摂取する場合、カルシウムとリンの比が理想的(1:1, 2:1, 1:2)であったとしても低タンパク状態では体内の Ca/P 比は、摂取時 Ca/P 比より大きくなると考えられる。さらに考えを進めると低タンパク食でリンの多い食物を摂取した場合、標準タンパク食の場合よりリンが体内に多く蓄積され、バランスが大きく崩れる可能性がある。逆に高タンパク食の場合は、リンの多い食物を摂取しても、低タンパク食に比べバランスの崩れは小さいと推測される。したがってリンの摂取量が多くなった場合には、タンパク質摂取量をふやすように心がける必要がある。また低タンパク食でカルシウムの摂取がふえた場合、カ

ルシウムとリンの摂取バランスの崩れはそれ程大きくはないと考えられる。しかしこの場合、本実験の低タンパク質飼料投与群のように標準的な成長を阻害されるので栄養学的にみて好ましくない。

さらに別の例として高タンパク食でカルシウム摂取がふえた場合を想定することができるが、この場合もバランスの崩れはそれ程大きくはないと考えられる。ただ過剰のカルシウムを摂取すると脂肪の吸収を抑制し、脂質代謝の異常をおこす⁷⁾⁸⁾⁹⁾可能性が考えられる。現実問題としてカルシウム過剰になる可能性はほとんどあり得ないので、特に問題はないと思う。カルシウムとリンの摂取量の比について考えるだけでなく、適量のタンパク質を摂取することによってカルシウムとリンの有効な吸収および利用がなされると考えられる。

3. 血清タンパクと ALP 活性

表9に示したように血清中のタンパク量はすべての群間に差はみられなかったが、単位タンパク量あたりの ALP 活性をみると、標準タンパク質飼料投与群、高タンパク質飼料投与群、低タンパク質飼料投与群の順に低くなった。ALP 活性の標準値(8週令)¹⁰⁾は 24.3 U/l であり、この値は骨疾患等で上昇し、慢性腎炎等で低下するといわれているが、本実験では、標準タンパク質飼料投与群のそれは標準値とよく一致していた。したがって低タンパクレベルや高タンパクレベルでは異常性を招き易いと考えられる。

4. 大腿骨の長さ

表10にみられるように各群間で、長さの差はほとんどみられなかった。しかし低タンパク質飼料投与群の成長(体重)は他の2群に比べて有意に低く、カルシウムおよびリンの摂取量も低かった。これはカルシウムおよびリンが骨の成長に優先的に利用されているのか、骨に蓄積した量が少ないかのどちらかである。もし骨の中にカルシウムおよびリンの蓄積量が少なければ、骨が弱くなり、骨折の原因となりうるので骨中のカルシウムおよびリン含量も測定して検討する必要があると考えられる。

要 約

ラットを用いて、Ca/P 比が等しく、タンパク含量の異なる3種の飼料を投与し4週間飼育した。その糞尿および血清中のカルシウム、リン含量、血清タンパク量、ALP 活性、および大腿骨の長さを測定した結果、以下のことが判明した。

1. 成長は、高タンパク質飼料投与群、標準タンパク質飼料投与群ともに順調であり、低タンパク質投与群では著しく下まわった。
2. カルシウム、リンの体内蓄積量より求めた Ca/P 比は、高タンパク質飼料投与群で最も高く、ついで標準タンパク質飼料投与群、低タンパク質飼料投与群の順であった。
3. 血清中タンパク含量は群間で差がみられなかった。また単位タンパク量あたりの ALP

活性は、標準タンパク質飼料投与群の値が最も標準値に近く、ついで高タンパク質飼料投与群、低タンパク質飼料投与群と順に低い値を示した。

4. 大腿骨の長さは群間で有意な差は認められなかった。

参 考 文 献

- 1) 菅家祐輔, 鈴木和春, 五島孜郎: 栄養と食糧, **35**, No 3, 161 (1982)
- 2) A. E. Harper: J. Nutr., **21**, 405 (1958)
- 3) Morin. L.G.: Am. J. Clin. Path., **61**, 114 (1974)
- 4) Fiske, C. H., and Subbarow. Y.: J. Biol. Chem., **66**, 375 (1925)
- 5) Bessey, O. A., Lowry, O. H. and Brock, M. J.: J. Biol. Chem., **164**, 321 (1946)
- 6) Gornall, A. G., Bardawill C. J., and Maxima, M. M.: J. Biol. Chem., **177**, 751 (1949)
- 7) Goto, S. and Sawamura, T.: J. Nutr. Sci. Vitaminol., **19**, 355 (1973)
- 8) Goto, S. and Sugai, T: Nutr. Rep. Int., **11**, 49 (1975)
- 9) Yacowitz, H., Fleischman, A. I., Hayton, T. and Bierenbaum, M. L.: J. Nutr., **88**, 255 (1966)
- 10) 長瀬すみ, 田中寿子: 実験動物の臨床生化学データ, **34**, ソフトサイエンス社, 東京 (1976)