

# 発育期の成長および骨の発育におよぼす 動物性たん白質の効果

谷 由美子

## Effect of the Milk and the Egg on the Growth and the Maturity of Femur in the Period of Development

Yumiko TANI

### 緒 言

日本人の食事形態の欧米化に伴ない、動物性食品の摂取量が年々上昇し<sup>1)</sup>、それにつれて体格の向上がみられる一方、動物性たん白比の増加による動物性脂肪の摂取量増加が成人病のリスクファクターになっている。従って、近年動脈硬化の原因とされる血中コレステロールや中性脂肪の上昇を抑制する作用<sup>2-4)</sup>が認められている玄米や、たん白質の栄養価が高く、脂質としてリノール酸、ビタミンE、レシチンが含まれ、血中コレステロールを減少すること<sup>4,5)</sup>が知られている大豆は、いずれも食物繊維が多く、成人病の予防および健康の維持、増進のために注目されており、これらを主体とする食生活が静かなブームとなっている。しかし成長期には、動物性たん白質およびカルシウム (Ca) の所要量は、たん白質9~19歳、65~75g/日 (動物性たん白比40%以上)、Ca 10~19歳、0.7~0.9g/日で、成人のたん白質60~70g/日 (動物性たん白比40%)、Ca 0.6g/日<sup>6)</sup>に比べて多く、また Ca の吸収率も動物性食品の方がよいことが知られている。そこで、発育期のラットの成長と骨の発育におよぼす動物性たん白質の効果を植物性たん白質群として玄米・きな粉食および動物性たん白質群としてきな粉を全卵粉または全粉乳で置換した玄米・卵食、玄米・乳食について検討した。さらに発育期には活発な身体活動も伴うところから遊泳運動を負荷し、その影響も合わせて検討した。

### 実 験 方 法

#### 1. 実験動物および飼育方法

静岡実験動物研究所より購入した4週齢の Wistar 系雄ラット (体重100±10g) 30匹を、5日間日本クレア(株)の CE-2 で予備飼育した後、植物性たん白質群として玄米・きな粉群 (BK)、きな粉を動物性たん白質食品の全卵粉 (キューピータマゴ KK) または全粉乳 (雪印乳業 KK) で置換した玄米・卵群 (BE)、玄米・乳群 (BM) にわけ、さらに各群を非運動区 (NE) と毎日30分間遊泳運動を負荷した運動区 (E) にわけ計6区、各区5匹とした。玄米はミキサーで20分磨砕し、篩を通して粉末とした。飼料組成は Table 1 に示したように、エネルギー、たん白質、Caレベルをそろえるために炭酸カルシウム、カゼイン、卵白アルブミン (日本クレア KK) を加えて調整した結果、BK 群、BM 群、BE 群は各々エネルギー3.9, 3.9, 4.1kcal/g、たん白質49, 47, 51mg/kcal, Ca 0.65, 0.68, 0.68mg/kcal となった。飼料は

Table 1 Composition of experimental diets

Groups	BK <sup>a</sup>		BM <sup>a</sup>		BE <sup>a</sup>	
	g %	kcal %	g %	kcal %	g %	kcal %
Water	8.5		8.8		9.0	
Nitrogen free extract	58.3	61	63.3	65	55.3	54
Crude protein	19.3	20	18.5	19	21.0	20
Crude fat	8.3	19	6.9	16	11.9	26
Crude fiber	2.9		0.8		1.0	
Ash	2.7		1.7		1.8	
Ca	0.252		0.267		0.278	
	Weight ratio					
Brown rice			20		20	
Kinako	20					
Whole milk powder <sup>b</sup>	10		7			
Casein			3			
Dried whole egg <sup>c</sup>					9	
Ovalbumin <sup>d</sup>					1	
CaCO <sub>3</sub>	0.120				0.119	

a BK, brown rice-kinako group, BM, brown rice-milk group, BE, brown rice-egg group

b Snow Brand Milk Pro., Tokyo

c Kyupi Tamago Co., Tokyo

d Nihon Clea Co., Tokyo

BK 群を自由摂取として、BM 群およびBE 群を pair feeding し、エネルギー摂取量を BK 群にそろえたところ、飼育期間中の平均エネルギー摂取量は、1日1匹当り53.0~58.9kcal となった。水は蒸留水を自由摂取させた。運動は90ℓ容のポリバケツを使用し、水温20±1℃で5匹一斉に遊泳させた。飼育は温度23±2℃、湿度55~65%において自然採光下で行ない、週2回体重を測定して成育状況を観察し、16週齢に代謝ケージに入れ尿および糞を採取し、尿中総窒素、クレアチニン、Ca および糞中 Ca を測定した。ついで一夜絶食後、エーテル麻酔して解剖し、門脈より採血し血清を分離し、左右後肢大腿骨をとり出した。これより血清および骨の Ca を測定した。

## 2. 尿、糞、大腿骨および血清の分析

尿中総窒素排泄量はマイクロケルダール法で、尿中クレアチニンはヤッフェ反応による比色法で測定した。

血清 Ca は標準として第一化学薬品の炎光用混合標準液（血液用）を用いて、日立208形原子吸光光度計で測定した。

尿中 Ca は混濁尿を前処理した後<sup>7)</sup>、原子吸光分析法で測定した。

大腿骨の Ca 含有量は江澤<sup>8)</sup>の方法に準じて測定した。すなわち、摘出した大腿骨約1gを精秤し、100℃で1晩乾燥させ乾燥重量を求めた後、550~600℃で24時間灰化後灰分を測定した。ついで、灰をIN硝酸8mlに溶解し、適当に希釈して原子吸光法で測定した。

糞中 Ca は大腿骨中 Ca と同様に、灰化後原子吸光法で測定し、(Ca 摂取量-糞中 Ca 排泄量)/Ca 摂取量より見かけの Ca 吸収率を求めた。なお Ca の定量は0.25%ストロンチウム存在

下で行なった。

## 実験結果

### 1. 生育状況

生育曲線を Fig. 1 に、5～9 週齢の飼料効率および飼育期間中の体重増加量を Fig 2 に示した。非運動群の体重は、BK 区は14週齢まで徐々に増加し、その後ほぼ一定となり、BM 区、BE 区は9 週齢まで急上昇し、その後BM 区は徐々に増加したが、BE 区はほぼ一定となった。いずれの群も運動区で低下した。pair feeding したにもかかわらず体重増加量は、非運動群、運動群ともBM 区>BE 区>BK 区となり、BK 群は BM 群、BE 群に比して有意に ( $p < 0.01$ ) 低値を示し、BK-NE 区の16週齢の体重は、BM 群、BE 群の6 週齢の体重に相当し、BK 群に著しい発育遅延が認められた。飼料効率も全く同じ傾向を示した。また体重増加量、飼料効率とも各群、運動区で低値を示し、BK 群 ( $p < 0.01$ ) および BM 群 ( $p < 0.05$ ) において有意差を認めた。

### 2. ラットの尿中窒素化合物におよぼす食餌たん白質および運動の影響

尿中窒素排泄量/窒素摂取量および尿中クレアチニン排泄量について Table 2 に示した。

窒素の体内蓄積状況がある程度推測することができる尿中窒素排泄量/窒素摂取量については、非運動群、運動群とも BM 区>BE 区>BK 区となり、BM-NE 区>BE-NE 区 ( $p < 0.01$ ) と BM-NE 区>BK-NE 区 ( $p < 0.05$ ) に有意差を認めた。

クレアチニン排泄量は、非運動群、運動群とも各区間に有意差は認められなかった。尿中窒素化合物に対する運動負荷の影響はいずれも認められなかった。

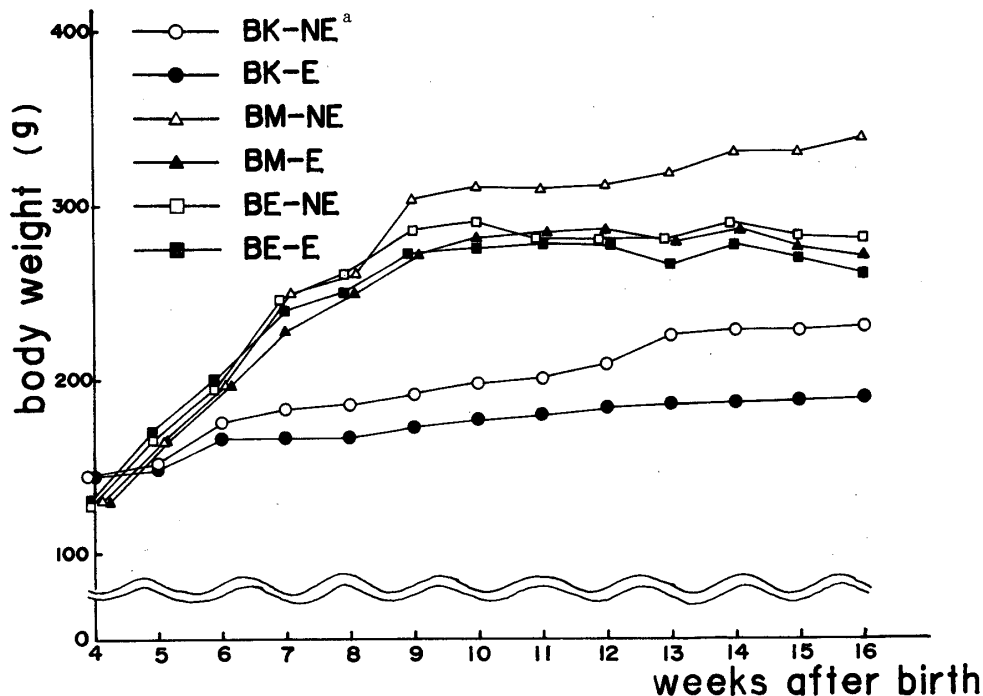


Fig. 1 Growth curves

- a BK-NE brown rice-kinako non-exercise group, BK-E, brown rice-kinako exercise group  
BM-NE brown rice-milk non-exercise group, BM-E, brown rice-milk exercise group  
BE-NE brown rice-egg non-exercise group, BE-E, brown rice-egg exercise group

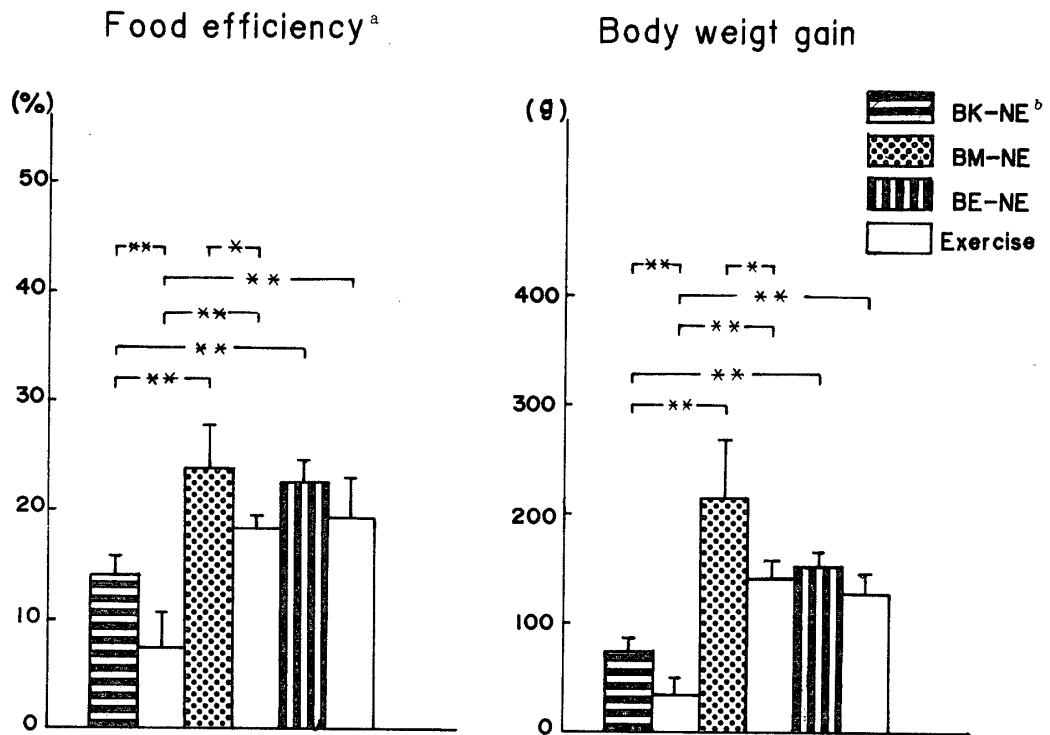


Fig. 2 Food efficiency and body weight gain

a, between five and nine-week-old  
 b, Letters are as described in Fig. 1  
 \*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$

Table 2 Effects of dietary protein and exercise on nitrogen and creatinine in urine

Dietary groups	Urinary N / Intake N (%)	Creatinine (mg / day)
BK-NE <sup>a</sup>	40.4 ± 11.8	7.7 ± 2.1
BK-E	32.3 ± 3.0 *	8.6 ± 1.8
BM-NE	56.8 ± 3.9	10.1 ± 2.4
BM-E	61.9 ± 11.0 *	8.7 ± 1.4
BE-NE	48.5 ± 2.8	8.1 ± 0.9
BE-E	51.5 ± 4.6	8.7 ± 1.9

a. BK-NE, brown rice-kinako non-exercise group  
 BK-E, brown rice-kinako exercise group  
 BM-NE, brown rice-milk non-exercise group  
 BM-E, brown rice-milk exercise group  
 BE-NE, brown rice-egg non-exercise group  
 BE-E, brown rice-egg exercise group

Values are presented as mean ± SD of five rats.

\*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$

### 3. ラットの Ca 代謝におよぼす食餌たん白質および運動の影響

見かけの Ca 吸収率, 尿中 Ca 排泄量/Ca 摂取量および血清 Ca について Table 3 に示した.

見かけの Ca 吸収率は非運動群において BM 区 > BE 区 > BK 区となり, BM 区は BK 区に比して有意に ( $p < 0.05$ ) 高値を示した. 運動群においても BM 区, BE 区は BK 区より高い傾向を認めた. 見かけの Ca 吸収率に対する運動負荷の影響は認められなかった.

尿中 Ca 排泄量/Ca 摂取量については, 非運動群において, BE 区が BK 区, BM 区に比して有意に ( $p < 0.05$ ) 低値となり, これと逆相関して血清 Ca は, BE 区が BK 区 ( $p < 0.01$ ) および BM 区 ( $p < 0.05$ ) に比して有意に高値を示した. 運動群においても全く同じ傾向を示した. 運動負荷の影響は, 血清 Ca には認められず, 尿中 Ca 排泄量/Ca 摂取量において, 運動群の方が高い傾向が認められ, BE 群 ( $p < 0.05$ ) で有意差を示した.

大腿骨における測定値を Table 4 に示した. 乾燥重量/新鮮重量および灰分/乾燥重量については, 非運動群において BK 区に比して BM 区および BE 区は高い傾向がみられ, BM 区は有意に ( $p < 0.05$ ) 高値を示した. Ca/乾燥重量は各区間に有意差を認めなかった. 運動負荷の影響は, 灰分/乾燥重量において, いずれの群も運動区で増加傾向があり, Ca/乾燥重量においては, BK 群で運動区が有意に ( $p < 0.01$ ) 高値を示した.

Table 3 Effects of dietary protein and exercise on absorption of Ca, Ca excretion in urine and serum Ca

Dietary group	Apparent absorption of Ca (%)	Urinary Ca / Intake Ca (%)	Serum Ca (mg / dl)
BK-NE <sup>a</sup>	47.5 ± 11.8	1.4 ± 0.5	7.1 ± 0.4
BK-E	57.6 ± 15.7 *	1.6 ± 0.2	7.0 ± 0.1
BM-NE	66.4 ± 6.8	1.3 ± 0.4 *	7.3 ± 0.7 *
BM-E	64.0 ± 14.3	1.6 ± 0.4 *	7.9 ± 0.4 *
BE-NE	60.9 ± 9.3	0.8 ± 0.1	8.6 ± 0.8
BE-E	64.6 ± 6.8	1.3 ± 0.4 *	8.5 ± 0.5

a. Letters are as described in Table 2.

Values are presented as mean ± SD of five rats.

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

Table 4 Ash contents of the femur

Dietary group	Dry weight / Fresh weight (%)	Ash / Dry weight (%)	Ca / Dry weight (%)
BK-NE <sup>a</sup>	56.3 ± 8.9	54.6 ± 2.2	31.3 ± 2.3
BK-E	60.1 ± 2.1 *	56.1 ± 2.1 *	37.3 ± 1.9 *
BM-NE	68.8 ± 3.5	58.0 ± 1.0	29.3 ± 7.3
BM-E	65.7 ± 2.4	60.0 ± 2.1	29.8 ± 1.3
BE-NE	65.2 ± 1.8	57.2 ± 2.5	29.9 ± 3.0
BE-E	64.7 ± 1.0	60.5 ± 3.8	30.2 ± 2.8

a. Letters are as described in Table 2.

Values are presented as mean ± SD of five rats.

\* $p < 0.05$  \*\* $p < 0.01$

## 考 察

### 1. ラットの生育におよぼす食餌たん白質および運動の影響

近年、食餌たん白質中の動物性たん白比の上昇によって動物性脂肪の摂取量が増加している。それに伴って成人病問題がクローズアップされ、その予防的手段として植物性食品を主体とする食生活がブームとなっている。そこで成長期における发育におよぼす植物性たん白質および動物性たん白質の影響を検討するため、玄米・きな粉群を植物性たん白質群とし、きな粉を動物性たん白質食品の全粉乳または全卵粉で置換した玄米・乳群および玄米・卵群の发育と比較した。BK 群は食欲がなく飼料摂取量が少なかったため、他の2群はBK 群とエネルギー摂取量が同等になるように pair feeding した。Fig. 1 に示したように BK 群の生育は著しく悪く、体重増加量、飼料効率、BM 群、BE 群に比して有意に ( $p < 0.01$ ) 低値を示した。米と大豆の組み合わせによる栄養価の向上は、アミノ酸の相互補足に加えて、組み合わせにより生じる胃内の生理的条件の変化も寄与するとの報告<sup>9)</sup>があるが、食品成分表(四訂)より算出した各飼料成分は、玄米・きな粉食、玄米・乳食、玄米・卵食は100g 中各々メチオニン0.27, 0.53, 0.78g, ビタミンA効力は、0, 159, 599 IU, ビタミンDは0, 46.6, 3.3 IU, ビタミンB<sub>2</sub>は0.13, 0.30, 0.59mg となり、これらの成分が玄米・きな粉食で不足傾向がみられた。また大豆は焙焼したきな粉を用いたため、過酸化脂質量を真杉ら<sup>10)</sup>の方法に準じて測定した結果マロンジアルデヒドとして、100g 中玄米・きな粉食に15.1 $\mu$ mol 含まれ、玄米・乳食(2.4 $\mu$ mol) および玄米・卵食(6.8 $\mu$ mol) に比べて数倍のレベルを示し、これらの因子がBK 群の食欲不振および生育抑制に関与していることも考えられる。

### 2. ラットの尿中窒素化合物におよぼす食餌たん白質および運動の影響

飼料のたん白質レベルをそろえるために、玄米・乳群はカゼインで、玄米・卵群は卵白アルブミンで調整した。等エネルギー、等たん白質を摂取させた本研究では、ラットの16週齢において、尿中窒素排泄量/窒素摂取量は、生育の一番良好だったBM 群が有意に高く、生育が最低だったBK 群が低値を示した。BK 群は生育がおくれているため、16週齢においてもたん白質の同化作用が亢進していることも考えられる。尿中窒素排泄量/窒素摂取量については、運動負荷の影響は認められなかった。運動によって尿中窒素排泄量が増加するのは、運動時のエネルギー供給量が不足しているためとする報告<sup>11-14)</sup>があり、また山地<sup>15)</sup>は、1日の尿中窒素排泄量においては、運動負荷直後の尿中窒素排泄量の増加はその後の減少によって相殺され、変動はみられないとしており本研究と一致した。

筋肉量に比例するといわれている尿中クレアチニン排泄量は、運動負荷による増加は認められず、1日30分間、12週間の遊泳運動負荷では、筋肉の増生がみられなかったものとする。

### 3. ラットのCa代謝におよぼす食餌たん白質および運動の影響

飼料のCaレベルをそろえるために、BK 群およびBE 群には炭酸カルシウムを添加して調整した。見かけのCa吸収率は非運動群ではBM 区が一番よく、乳中の乳糖のCa吸収促進作用<sup>16-18)</sup>およびカゼインの消化時に生成するフォスフォペプチドのCa吸収促進作用<sup>19)</sup>については多くの報告がある。また非運動群、運動群とも動物性たん白質群のBM 区、BE 区の方が植物性たん白質群のBK より見かけのCa吸収率は良好だった。

尿中Ca排泄量/Ca摂取量は非運動群に比べて運動群において増加傾向がみられ、BE 群のみ有意差 ( $p < 0.05$ ) を認めた。ストレスによって交感神経が緊張し、アドレナリンの分泌を増加し、尿中Ca排泄量を促進することは知られており、本実験の運動負荷が若干ストレスと

して作用したとも考えられる。

血清 Ca は非運動群において、尿中 Ca 排泄量/Ca 摂取量が有意に低値だった BE 区が、有意に高値を示し、運動群においても同じ傾向がみられた。血清 Ca、細胞外液の Ca 濃度恒常性維持の調節は、副甲状腺ホルモン、カルチトニン、1,25-ジヒドロキシカルシフェロールなどの Ca 代謝ホルモンにより行われていることは広く知られており<sup>20-22)</sup>、Ca の腸管よりの吸収および骨の Ca 代謝が複雑に関与している。

大腿骨の乾燥重量/新鮮重量および灰分/乾燥重量について、植物性たん白質群の BK 群は、BM、BE 群に比して低値を示し、骨量の減少を認めた。Ca/乾燥重量は非運動群において3区間に有意差を認めなかったが、坂本ら<sup>23)</sup>は0.6%Ca および20%たん白質（たん白源としてカゼイン、分離大豆たん白質、卵白）を含む飼料で発育期ラットを飼育した結果、たん白質の NPU は、分離大豆たん白質（48）<カゼイン（50）<卵白（66）で、NPU と Ca 蓄積率および見かけの Ca 吸収率とは正の相関を認めている。本研究において、飼料中たん白質レベルは坂本らとほぼ等しいが、Ca は0.3%で坂本らの濃度の1/2に相当するため、骨への Ca 蓄積に明確な相違が現れなかったものと思われる。運動負荷による骨量の増加についての報告<sup>24-26)</sup>は多く、本研究においても灰分/乾燥重量は各群とも運動区で上昇傾向がみられ、Ca/乾燥重量は BK 群において運動区が有意に高値となった。

## 要 約

エネルギー、たん白質および Ca の摂取レベルを等しくした植物性たん白質群（玄米・きな粉群）と動物性たん白質群（玄米・卵群、玄米・乳群）の発育期ラットの成長および骨の発育について比較検討した。

1) 体重増加量および飼料効率（5～9週齢）は、いずれも BK 群は他の2群より有意に（ $p < 0.01$ ）低く、いずれの群も運動負荷で低下した。

2) 尿中窒素排泄量/窒素摂取量は、生育の一番良好だった BM-NE 区が有意に高値を示した。

3) 見かけの Ca 吸収率は、BM-NE 区 > BE-NE 区 > BK-NE 区となり、BM-NE 区と BK-NE 区に有意差（ $p < 0.05$ ）を認めた。尿中 Ca 排泄量/Ca 摂取量は BE-NE 区が有意に低く、これと逆相関して血清 Ca は、BE-NE 区が有意に高値を示した。

4) 大腿骨の Ca/乾燥重量は、3群間に有意差はなく、BK 群が運動負荷で上昇した。乾燥重量/新鮮重量および灰分/乾燥重量は、BK-NE 区が有意に低く、植物性たん白質群に骨量の減少を認めた。

## 文 献

- 1) 食糧栄養調査会編：食料、栄養、健康（最新の情報、資料とその解説）、20～22、医歯薬出版（1986）
- 2) 鈴木雅子：学校保健研，**24**，445（1982）
- 3) 鈴木雅子：栄養と食糧，**35**，155～160（1982）
- 4) 伊藤寛：醸協，**79**，846～850（1984）
- 5) Hoffmann, P. and Förster, W.: *Advance in Lipid Research*, **18**, 203～227（1981）
- 6) 厚生省保健医療局健康増進栄養課編：第三次改定日本人の栄養所要量，8～9，第一出版（1985）
- 7) 北村元仕，斉藤正行，丹羽正治：臨床化学分析V（電解質），48，東京化学同人（1972）

- 8) 江澤郁子：家政学雑誌, **31**, 712~715 (1980)
- 9) 堀井正治：栄養と食糧, **33**, 127~136 (1980)
- 10) 真杉文紀, 中村哲也：ビタミン, **51**, 21~29 (1977)
- 11) Young, D. R. and Price, R.: *J. Appl. Physiol.*, **16**, 351~354 (1961)
- 12) Keys, A.: *Fed. Sci. Proc.*, **2**, 164~187 (1943)
- 13) Hedman, R.: *Acta. Physiol. Scand.*, **40**, 305~321 (1957)
- 14) 村松成司, 高橋徹三：日本栄養食糧学会誌, **39**, 257~263 (1986)
- 15) 山地廉平：日本生理学雑誌, **13**, 491~496 (1951)
- 16) Vaugham, O. W. and Filer, L. J. Jr.: *J. Nutr.*, **71**, 10~14 (1960)
- 17) Philip, C. and Paul, S.: *Science*, **139**, 1205~1206 (1963)
- 18) Armbrrecht, H. J. and Wasserman, R. H.: *J. Nutr.*, **106**, 1265~1271 (1976)
- 19) 内藤博：日本栄養食糧学会誌, **39**, 433~439 (1986)
- 20) 江澤郁子, 岡田玲子, 野崎幸久, 尾形悦郎：栄養と食糧, **32**, 329~335 (1979)
- 21) 尾形悦郎：代謝, **13**, 831~849 (1976)
- 22) Messer, H. H., Yuen, S. Y. and Copp, D. H.: *Calcif. Tissue Res.*, **19**, 1~7 (1975)
- 23) 坂本貞一, 文福實, 上西一弘, 新山喜昭：第40回日本栄養食糧学会要旨集, 124 (1986)
- 24) Aloia, J. F.: *J. Am. Geriatr. Soc.*, **29**, 104~107 (1981)
- 25) Nilsson, B. E. and Westlin, N. E.: *Clin. Orthop.*, **77**, 179~182 (1971)
- 26) Aloia, J. F., Cohn, S. H., Babu, T., Abesamis, C., Kalici, N. and Ellis, K.: *Metabolism*, **27**, 1793~1796 (1978)