顎骨の成長に関する X 線的, 光顕的
ならびに走査電顕的研究
— 食物の硬軟による歯槽骨の変化 —

首 藤 洋 治

九州歯科大学小児歯科学講座 (指導: 木村光孝教授)

平成 4 年 6 月 25 日受理

Radiological, Light Microscopic, and Electron Microscopic
Study on the Growth of the Jaw Bones
— Changes in the Alveolar Bone due to Food Hardness —

Yoji Shuto

Department of Pedodontics (Director: Prof. Mitsutaka Kimura)
Kyushu Dental College, Kitakyushu, Japan

Three-week-old male rats of Wistar strain were grouped into the control group, kneaded standard diet group, mixed kneaded diet group, powdered standard diet group and mixed powdered diet group, which were fed on the corresponding food showing different hardness and calcium-content. Effect of the food on the mandible was then examined after six weeks of maintenance.

The results were as follows :

1. Food hardness

Average compressive strength of food as a measure of hardness was 92.38 kg/cm² for the control group, 13.06 kg/cm² for the kneaded standard diet group and 12.98 kg/cm² for the mixed kneaded diet group.

2. Bone density

In density of the alveolar bone, the control group showed significantly higher values than the powdered standard diet group ($P < 0.05$).

3. Mandible size

Height of the mandibular ramus decreased for the kneaded standard diet and mixed kneaded diet groups. Both mandibular length and mandibular ramus height decreased for the powdered standard diet and mixed powdered diet groups.

4. Histopathological and electron microscopic findings

As compared with those in the standard diet group, the alveolar bones in the mixed diet group showed increasing tendency in Haversian system, bone lacunae, etc. Nothing special was found in bone resorption or bone formation with regard to the aspect of formation of

bone matrix.

On the basis of the foregoing findings, the amount of calcium contained in food and softening of food are closely correlated in thier effect on the growth of the alveolar bone.

Key words : Jaw bone / Alveolar bone / Food hardness / Male rats of Wistar strain

緒 言

人類の進化の過程にみられる咀嚼器官の退化は、食文化の発達と密接な関連をもつことが指摘されている¹⁾。例えば、日本人の顎骨は次第に縮小してきたが、その原因として食物の性状が、粗で硬く栄養素の乏しいものから、調理加工の進んだ滑らかで軟かく栄養素の濃縮したものへと変化することにより、食品の摂取に要する咀嚼運動が減少したことによると考えられている¹⁾。現代人は極端に柔らかく栄養価の高い食品を好み、しかも少量の摂取であることから咀嚼器官の発育が遅れ、歯の大きさと顎骨の大きさの不調和 (discrepancy) を生じ²⁾、不正咬合や歯科疾患を招来することが報告されている³⁾。

日本人の食生活は著しく変化し、かつて経験したことのない飽食時代を迎えたとはいえ、1988年の国民栄養調査⁴⁾でも、主な栄養素の中でも特にカルシウムは所要量の600 mgに達することはなく、524 mgと、その87%にとどまっているという異常現象も注目されている^{5,6)}。最近の子供の骨折は昔と比べ6倍あるいは9倍にも増え、しかもそのほとんどはカルシウムの不足によるものと報告されている^{7,8)}。

このような流れの中で、食物の硬さおよび食物中のカルシウム含有量と骨組織の成長との関連を解析することが必要である。しかしこの種の研究はほとんどみられない。そこで著者は木村ら (1987)⁹⁾の研究を基に、栄養素の中でも特に水溶性、不溶性の良質の蛋白質とCaが自然の状態で結合し、細胞の増殖、細胞の老化を防ぐ核酸が含有されているものとして、豊富なCaを含有し、血液中の中性脂肪を下げるエイコサペンタニン酸を含有し、腸管で吸収されやすいとされているイワシパウダー (蛋白資源開発社製) をカルシウムの栄養源とし、さらに、石井 (1986)¹⁰⁾、木村ら (1991)¹¹⁾の方法に準じて、硬さの異なった飼料を用い、下顎骨に及ぼす影響を検索したので報告する。

材料ならびに方法

材料としては、生後3週齢のWistar系雄ラット50

匹を使用した。ラットは無作為に次のような5群に分けた。

対照群 (固型飼料群) : オリエンタル酵母のラット標準固型飼料と水道水で飼育した。

練標準食群 : オリエンタル酵母のラット標準粉末飼料を $\frac{1}{2}$ 量の水で練り、2日間自然乾燥した後の飼料と水道水で飼育した。

練混合食群 : イワシパウダー (蛋白資源開発) とオリエンタル酵母のラット標準粉末飼料 (1:2) の混合飼料を $\frac{1}{2}$ 量の水で練り、2日間自然乾燥した後の飼料と水道水で飼育した。

粉末標準食群 : オリエンタル酵母のラット標準粉末飼料と水道水で飼育した。

粉末混合食群 : イワシパウダー (蛋白資源開発) とオリエンタル酵母のラット標準粉末飼料 (1:2) の混合飼料と水道水で飼育した。

飼育6週間後にすべてのラットを深麻酔下で屠殺した。致死後直ちに頭部を採取し、10% 中性ホルマリン液にて固定した。固定後の下顎骨をSoftex type のCSMを用いて管電圧25 kVp, 管電流5 mA, 撮影時間40秒および焦点・フィルム間距離40 cmの条件下で撮影を行った。X線フィルム (Fuji softex film FG) にアルミニウム・スロープを貼って撮影した。

X線学的観察は、肉眼的観察以外にマイクロフォトメーター (PDS-15, コニカ) を用いて光学的観察を行った。濃度測定は光速スリット幅 $10 \times 500 \mu\text{m}$ で行い、測定方向は石井 (1986)¹⁰⁾の方法に準じて下顎下縁より歯槽骨へ走査し、Scanning patternを描出した。

次にエネルギー分散型X線マイクロアナライザー (SED 880, セイコー EG & G) を用いて、歯槽骨研磨試料におけるCaおよびPについて点分析による定量分析を行い、特性X線像によるそれらの分布状態を観察した。

Fig. 1 は下顎骨の大きさの測定部位を示している。測定には、Softex film を接写し、印画紙に1.75倍に拡大した写真を用いた。まず、下顎骨底部に基準となる接線を引き、この基準線に対して、下顎頭後縁および歯槽

Fig. 1 Measurement of mandible.

骨前縁から垂線を下ろす。次に下顎頭上縁に接し、かつ基準線に平行な線を引く。この作図によって得られたA, Bをそれぞれ下顎骨長および下顎枝高として、1/20 mm目盛りのノギスで5回計測し、平均値を求めた。

その後、下顎骨を上昇 ethanol 系列にて脱水し、acetone で置換した後 Rigolac 樹脂に包埋した。次いで、これら包埋標本は下顎骨を前額断で 60 ~ 80 μ m の非脱灰切片標本作製した。切片標本は Softex type の CSM を用い、管電圧 20 kVp, 管電流 5 mA, 撮影時間 16 分, 焦点・フィルム間距離 30 cm の条件下で撮影した。フィルムは Spectroscopic plate (Type 649-0, Kodak) を用い、D-15 (Kodak) で現像を行い、contact microradiogram を作製した。

試料は 5% 硝酸脱灰し、セロイジン包埋後、下顎骨を前額断で 15 μ m 連続脱灰切片標本作製し、ヘマトキシリン・エオジン重染色を施した。

さらに、歯槽骨を形態的に観察するために、走査型電子顕微鏡試料を作製した。下顎骨を取り出し、切歯と歯槽骨を前額断に摘出し、phosphate buffer (pH 7.2) に浸し、超音波洗浄器で付着物その他を洗浄し、除去した。2.5% glutaraldehyde で 1 時間浸漬固定した後、phosphate buffer で洗浄を行い、後固定として 1% osmic acid (phosphate buffer pH 7.2) で 1 ~ 2 時間

浸漬した。固定後の試料は、上昇 ethanol 系列で脱水し、2-Methyl-2-propanol で置換後、凍結乾燥機 (ID-2 型, エイコーエンジニアリング) を用いて乾燥した。その後、イオンスパッタ (JFC-1100, 日本電子) を用いて試料表面に Au coating を行い、走査電子顕微鏡 (JSM T-300, 日本電子) にて観察を行った。

血液検査は血清中の Ca, IP, Ca/IP, Na, K, Cl などの電解質, CPK, LDH, AL-P, GOT, GPT などの生化学および N-PTH, C-PTH などの内分泌機能検査を行った。

実験結果

I. 飼料の強さ

飼料の硬さの指標として測定した圧縮強さは、対照群、練標準食群および練混合食群の飼料で、それぞれ平均 92.38 g/cm², 13.06 kg/cm², 12.98 kg/cm² であった (Table 1)。

II. 体重

対照群および実験群ラットの体重変化を Table 2 に示す。実験開始時の体重はいずれも 38 g 前後であり、その後 3 週目までの体重増加には対照群と各実験群との間で差は認められなかった。実験 4 週目には粉末混合食群が対照群より小さくなり ($p < 0.05$)、また 5 週目には練標準食群および練混合食群が対照群より小さくなる ($p < 0.05$) 傾向にあったが、6 週目になるといずれの実験群も対照群と同程度の体重を示すようになった。

III. X 線学的所見ならびに X 線骨濃度 (骨密度)

対照群の歯槽骨はほぼ均一な厚さを持って切歯の表面を被っており、不透過性の像として認められ、骨梁は規則的に、緻密に配列していた (Fig. 2)。

練標準食群の歯槽骨は、対照群のものと比べ、厚さならびに骨梁は減少し、疎になって配列していた (Fig. 3)。

練混合食群の歯槽骨は形態的には対照群のものとはほぼ同じであるが、部分的に骨梁の減少が見られた。また練標準食群の歯槽骨よりも骨梁が増加し、緻密に配列して

Table 1 Types of diets and their compressive strengths

(kg/cm²)

Type	Control group	Kneaded standard diet group	Mixed kneaded diet group	Powdered standard diet group	Mixed powdered diet group
Compressive strength	92.38	13.06**	12.98**	—	—

** $p < 0.01$

Table 2 Differences of body weight between the control group and the experimental groups (g)

Exp. group	Control group		Kneaded standard diet group		Mixed kneaded diet group		Powdered standard diet group		Mixed powdered diet group	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Pre-Ex	37.94	1.66	37.96	1.57	37.86	1.43	37.87	1.22	38.03	1.19
1 W	65.89	3.95	66.55	3.37	61.95	4.67	62.86	2.56	64.46	2.02
2 W	112.17	6.29	113.00	3.23	108.70	8.11	106.94	3.98	101.48	6.02
3 W	160.31	8.02	150.24	8.10	152.22	12.44	157.90	6.73	148.20	9.21
4 W	213.68	8.06	207.83	13.11	202.86	14.44	214.09	13.44	196.36*	9.24
5 W	264.31	10.58	242.58*	13.86	246.58*	11.93	269.55	12.98	251.94	17.89
6 W	308.64	12.76	293.69	15.17	290.61	17.85	321.69	19.04	306.17	22.35

*Significant difference was found between control and each diet group ($p < 0.05$).

Fig. 2 Radiogram at the 6th week.
Control group
Arrow : Alveolar bone

Fig. 4 Radiogram at the 6th week.
Mixed kneaded diet group
Arrow : Alveolar bone

Fig. 3 Radiogram at the 6th week.
Kneaded standard diet group
Arrow : Alveolar bone

Fig. 5 Radiogram at the 6th week.
Powdered standard diet group
Arrow : Alveolar bone

Fig. 6 Radiogram at the 6th week.
Mixed powdered diet group
Arrow : Alveolar bone

Table 3 Density of alveolar bone in the equivalent of aluminum (mm)

Exp. group	Mean	S.D.
Control group	1.90	0.13
Kneaded standard diet group	1.86	0.16
Mixed kneaded diet group	1.87	0.13
Powdered standard diet group	1.61*	0.16
Mixed powdered diet group	1.82	0.15

*denotes significant difference between control and each diet group ($p < 0.05$)

いた (Fig. 4).

粉末標準食群の歯槽骨は、練標準食群に比べ厚さの減少がみられ、骨梁の数の減少と配列の疎鬆化もみられた (Fig. 5).

粉末混合食群の歯槽骨は、形態的に粉末標準食群のものとほぼ同じであるが、骨梁が増加し、緻密に配列していた (Fig. 6).

次に歯槽骨骨濃度を Al 等量に換算し、厚さの平均値を求めた。対照群は平均 1.90 mm, 練標準食群は 1.86 mm, 練混合食群は 1.87 mm, 粉末標準食群は 1.61 mm, 粉末混合食群は 1.82 mm であり、粉末標準食群のみ対照群より有意に低い値 ($p < 0.05$) を示した (Table 3).

IV. X線マイクロアナライザーによる分析所見

Ca および P の特性 X 線像を観察した。対照群、練標準食群、練混合食群、粉末飼料群および粉末混合食群のすべてにおいて同一骨梁の範囲内では Ca の濃度が P に比べ高かった (Fig. 7 a, b, c ~ Fig. 11 a, b, c).

Fig. 7 Ca and P characteristic x-ray images of alveolar bone.

Control group

a : alveolar bone

b : Ca characteristic x-ray image

c : P characteristic x-ray image

各飼料群の Ca と P の点分析による定量分析を行うと、対照群の Ca の占める割合は平均 27.92%, 練標準食群の平均は 20.84%, 練混合食群の平均は 27.53%, 粉末標準食群の平均は 14.31%, 粉末混合食群の平均は

Fig. 8 Ca and P characteristic x-ray images of alveolar bone.
Kneaded standard diet group
a : alveolar bone
b : Ca characteristic x-ray image
c : P characteristic x-ray image

Fig. 9 Ca and P characteristic x-ray images of alveolar bone.
Mixed kneaded diet group
a : alveolar bone
b : Ca characteristic x-ray image
c : P characteristic x-ray image

17.90%であった。対照群のPの占める割合は平均20.42%，練標準食群の平均は13.76%，練混合食群の平均は23.27%，粉末標準食群の平均は10.17%，粉末混合食群の平均は14.08%であった。Caについて対照群と

練混合食群には、有意差は認められなかった。対照群と練標準食群においてはそれぞれ有意差がみられ対照群が高値を示した ($p < 0.05$)。対照群と粉末標準食群および粉末混合食群においては対照群が高値であった ($p <$

Fig.10 Ca and P characteristic x-ray images of alveolar bone.

Powdered standard diet group

a : alveolar bone

b : Ca characteristic x-ray image

c : P characteristic x-ray image

Fig.11 Ca and P characteristic x-ray images of alveolar bone.

Mixed powdered diet group

a : alveolar bone

b : Ca characteristic x-ray image

c : P characteristic x-ray image

0.01). P について対照群と練混合食群の平均値の差の検定を行ったところ、有意差はみられなかった。対照群と練標準食群および粉末混合食群においてはそれぞれ有意差がみられ ($p < 0.05$), 対照群が高値を示した。対

照群と粉末標準食群においては有意差がみられ ($p < 0.01$), 対照群が高値を示した (Table 4)。

次に各群における Ca と P の増減を判断するために対照群と比較した相対 Ca 量比 ($\text{Ca}/[\text{Ca}]_c$) および P 量

Table 4 Analysis of the Ca, P of alveolar bone
by x-ray microanalyzer (%)

Group	Ca		P	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Control group	27.92	1.48	20.42	2.72
Kneaded standard diet group	20.84*	1.95	13.76*	0.64
Mixed kneaded diet group	27.53	1.29	23.27	1.35
Powdered standard diet group	14.31**	0.80	10.17**	1.28
Mixed powdered diet group	17.90**	0.28	14.08*	1.45

*and**denote significant differences between control and each diet group ($p<0.05$ and $p<0.01$, respectively).

Table 5 Relative percentages of Ca and P in alveolar bone
by quantitative X-ray microanalysis and comparison
with those of the control group (Ca/ [Ca]c and P/ [P]c)

Exp. Group	Ca/ (Ca+P) (%)	P/ (Ca+P) (%)	Ca/ [Ca]c	P/ [P]c
Control group	57.76	42.24	1	1
Kneaded standard diet group	60.23	39.77	0.75	0.67
Mixed kneaded diet group	54.19	45.81	0.99	1.44
Powdered standard diet group	58.46	41.54	0.51	0.50
Mixed powdered diet group	55.97	44.03	0.64	0.69

Table 6 Comparison of five groups in the length of mandible (cm)

	Mixed powdered diet group	Powdered stand- ard diet group	Mixed kneaded diet group	Kneaded stand- ard diet group
Control group 4.30 $\pm$ 0.12	*	*	—	—
Kneaded stand- ard diet group 4.25 $\pm$ 0.12	—	—	—	
Mixed kneaded diet group 4.26 $\pm$ 0.14	—			
Powdered stand- ard diet group 4.19 $\pm$ 0.11	—			
Mixed powdered diet group 4.18 $\pm$ 0.13				

* $p<0.05$

比 ($P/[P]c$) を求めた。各飼料群における ($Ca/[Ca]c$) は、練混合食群、練標準食群、粉末混合食群、粉末標準食群の順に低値を示した。($P/[P]c$) についてみると、練混合食群のみ高値を示し、他群は、粉末混合食群、練標準食群、粉末標準食群の順に低値を示した (Table 5)。

V. 下顎骨の計測

A. 下顎骨長

対照群、練標準食群、練混合食群、粉末標準食群および粉末混合食群における下顎骨長の平均値は、対照群で 4.30 cm、練標準食群で 4.25 cm であり、両群の間に有意差は認められなかった ($p > 0.05$)。練混合食群の下顎骨長の平均は 4.26 cm であり、対照群の下顎骨長との平均値の差の検定を行ったところ、両群の間に有意差は認められなかった。粉末標準食群の下顎骨長の平均は 4.19 cm であり、対照群の下顎骨長より有意に低値であった ($p < 0.05$)。粉末混合食群の下顎骨長との平均は 4.18 cm であり、同様に対照群の下顎骨長より有意に低値であった ($p < 0.05$)。練標準食群と粉末混合食群、練標準食群と粉末標準食群、練標準食群と練混合食群との下顎骨長の平均値の差の検定を行ったところ、それぞれの群間には有意差は認められなかった。また、練混合食群と粉末混合飼料群、練混合食群と粉末標準食群、ならびに粉末標準食群と粉末混合食群の間で下顎骨長には有意差が認められなかった (Table 6)。

B. 下顎枝高

対照群、練標準食群、練混合食群、粉末標準食群および粉末混合食群における下顎枝高の平均値は、対照群で 1.95 cm、練標準食群で 1.80 cm であり、対照群に比べて練標準食群の方が有意に低値であった ($p < 0.01$)。練混合食群の下顎枝高の平均は 1.85 cm であり、対照群より有意に低値となり ($p < 0.05$)、また粉末標準食群の下顎枝高の平均は 1.67 cm であり、対照群より有意に低値であった ($p < 0.01$)。粉末混合食群においては下顎枝高の平均は 1.70 cm であり、対照群より有意に低値であった ($p < 0.01$)。練標準食群と練混合食群の間には下顎枝高に有意差は認められなかった。練標準食群と粉末標準食群とでは粉末標準食群の下顎枝高の方が有意に低値であった ($p < 0.01$)。また、練標準食群と粉末混合食群とでは粉末混合飼料群の下顎枝高の方が有意に低値となり ($p < 0.05$)、練混合食群と粉末標準食群、練混合食群と粉末混合食群においては、それぞれ粉末標準食群、粉末混合食群の下顎枝高の方が有意に低値を示した ($p < 0.01$)。粉末標準食群と粉末混合食群との間には、下顎枝高に有意な差は認められなかった (Table 7)。

VI. 病理組織学的所見

A. Contact microradiogram (以下 CMR と略す) の所見

対照群の歯槽骨の CMR 像は、全体的によく石灰化し、緻密度の高い組織としてみられ、その中に大きさが均一で、緻密に配列しているハバース系がみられる。ハ

Table 7 Comparison of five groups in the height of mandibular ramus (cm)

	Mixed powdered diet group	Powdered standard diet group	Mixed kneaded diet group	Kneaded standard diet group
Control group 1.95 ± 0.08	. .	. .	.	. .
Kneaded standard diet group 1.80 ± 0.10	.	. .	—	
Mixed kneaded diet group 1.85 ± 0.09	. .	. .		
Powdered standard diet group 1.67 ± 0.08	—			
Mixed powdered diet group 1.70 ± 0.08				

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

Fig. 12 CMR of alveolar bone at the 6th week.
Control group (× 20)

Fig. 14 CMR of alveolar bone at the 6th week.
Mixed kneaded diet group (× 20)

Fig. 13 CMR of alveolar bone at the 6th week.
Kneaded standard diet group (× 20)

Fig. 15 CMR of alveolar bone at the 6th week.
Powdered standard diet group (× 20)

ハバース管の周りに骨小腔が規則的に配列していた。辺縁には吸収窩もみられるが、平滑であった (Fig. 12)。

練標準食群の歯槽骨の CMR 像は対照群の歯槽骨と比べ、ハバース系は減少し、辺縁も不規則になっている。ハバース管の周りの骨小腔は減少し、疎になって配列していた (Fig. 13)。

練混合食群の歯槽骨の CMR 像は練標準食群に比べ、形態的にはほぼ同じであるが、ハバース系が増加し緻密

に配列している。骨小腔も増加し、規則的にハバース管の周りに配列していた (Fig. 14)。

粉末標準食群の歯槽骨の CMR 像では、歯槽骨の辺縁は不規則で、その中のハバース系は減少している。ハバース管の周りの骨小腔も疎になって配列していた (Fig. 15)。

粉末混合食群の歯槽骨の CMR 像におけるハバース系は減少もみられるが、辺縁は粉末標準食群に比べ規則的

Fig. 16 CMR of alveolar bone at the 6th week.
Mixed powdered diet group (×20)

Fig. 17 Alveolar bone at the 6th week.
Control group
H·E stain (×20)

である。また、骨小腔も増加し規則的にハバース管の周りに配列していた (Fig. 16)。

B. 光顕的所見

対照群の下顎第1小臼歯前方3mmの部の歯槽骨の前額断組織像では、歯槽骨は構造を異にする2種類の骨組織からなっている。その1つは歯根膜に接する部分で、歯根膜のシャープリー線維束で柵状に貫かれている束状骨よりなっており、ハバース管はほとんどなく、骨小腔は整然と歯槽面に平行に並んでいる。もう1つはその上部にみられ、大小数個の骨髓を囲む部分で、骨小腔はハバース管を中心にして同心性に配列し、層板状を呈している。歯槽骨の表面に骨芽細胞と破骨細胞がみられ、吸収窩もみられた (Fig. 17, 18)。

練標準食群の歯槽骨は対照群に比べ薄くなっている。歯根膜に面している骨層における骨小腔は減少し、不規則に配列している。シャープリー線維束も減少していた。骨髓を囲む骨層におけるハバース系は減少し、ハバース管を中心にして同心性配列している骨小腔も少なくなっている。歯槽骨表面への骨増殖も減少していた (Fig. 19, 20)。

練混合食群の歯槽骨の形態は、練標準食群とはほぼ同じであるが、骨髓を囲む骨層におけるハバース系は増加し、骨小腔も規則的にハバース管を中心にして同心性に配列している。歯根膜に面している骨層における骨小腔も増加していた (Fig. 21, 22)。

粉末標準食群の歯槽骨における骨層は減少している。

Fig. 18 A higher magnification of Fig. 17.
H·E stain (×100)

歯根膜に面している骨層はかなり吸収され、骨内に柵状に貫かれているシャープリー線維束も減少し、不規則に配列している。それによって骨小腔も減少し不規則に配列している。骨髓を囲む骨層におけるハバース系はさらに減少し、ハバース管を中心にして同心性配列している骨小腔も少なくなっていた (Fig. 23, 24)。

粉末混合食群の歯槽骨の形態は粉末標準食群のものと

Fig. 19 Alveolar bone at the 6th week.
Kneaded standard diet group
H·E stain (× 20)

Fig. 21 Alveolar bone at the 6th week.
Mixed kneaded diet group
H·E stain (× 20)

Fig. 20 A higher magnification of Fig. 19.
H·E stain (× 100)

Fig. 22 A higher magnification of Fig. 21.
H·E stain (× 100)

ほぼ同じであるが、骨層がより緻密にみられた。歯根膜に面している骨層の吸収も減少し、骨小腔は増加し規則的に配列していた。骨髄を囲む骨層におけるハバース系も多く、ハバース管を中心にして同心性配列している骨小腔も増加していた (Fig. 25, 26).

VII. 走査型電子顕微鏡学的所見

対照群についてみると、歯槽骨は全体的に緻密に形成

されていた。骨基質の表面は密なコラーゲン原線維が一定方向に走行していた。

骨基質部には不完全な未石灰化のコラーゲン原線維層に骨芽細胞が埋入されていると思われる骨小腔が認められた。骨小腔壁の骨基質部におけるコラーゲン原線維の最表層にはコラーゲン原線維網が密な所と疎な部分が認められた。また骨基質の最表層に認められるコラーゲン

Fig. 23 Alveolar bone at the 6th week.
Powdered standard diet group
H·E stain (× 20)

Fig. 25 Alveolar bone at the 6th week.
Mixed powdered diet group
H·E stain (× 20)

Fig. 24 A higher magnification of Fig. 23.
H·E stain (× 100)

Fig. 26 A higher magnification of Fig. 25.
H·E stain (× 100)

原線維網は直下のコラーゲン原線維と癒合している部分も認められた。骨基質面には骨細管の開口部が多数認められた (Fig. 27)。

一方、骨層は骨基質形成面に隣接して内部では吸収所見が認められた。吸収窩は高底が比較的浅いものから深いものまで認められた (Fig. 28)。その部のコラーゲン原線維の走行は不規則で、露出した骨小腔が多数認めら

れた。骨小腔壁にはコラーゲン原線維が一定方向に、しかも密に走行することによって区画を明らかにしていた。さらにその部の最表層ではコラーゲン原線維は不規則に走行しコラーゲン原線維網として認められた。また血管周囲の基質は骨基質の組織構造と同様な所見を呈していた。

練標準食群では、骨基質の表面はコラーゲン原線維が

Fig. 27 Alveolar bone at the 6th week.
Control group (SEM $\times$ 5,000)

Fig. 28 Alveolar bone at the 6th week.
Control group (SEM $\times$ 1,500)

密になって一定方向に走行していた。その部には骨小腔が認められ、骨小腔壁は密なコラーゲン原線維の走行によって区画を明らかにしていた。骨小腔壁には骨細管の

開口が認められた。コラーゲン原線維の最表層にはコラーゲン原線維網が密に分布していた (Fig. 29)。

練混合食群は、骨層はほぼ平坦で高度に石灰化した基

Fig. 29 Alveolar bone at the 6th week.
Kneaded standard diet group (SEM)

Fig. 30 Alveolar bone at the 6th week.
Mixed kneaded diet group (SEM × 3,500)

Fig. 31 Alveolar bone at the 6th week.
Powdered standard diet group (SEM $\times 7,500$)

Fig. 32 Alveolar bone at the 6th week.
Powdered standard diet group (SEM $\times 750$)

質で滑沢に認められた。しかし骨の成長の度合いによって骨基質内面に認められる骨小腔は大小さまざまな形態を示し、骨小腔壁は種々なる様相を呈していた (Fig.

30). 骨基質形成面に隣接して吸収所見がみられ、吸収窩底にはコラーゲン原線維が網状を呈しているのが明らかで、骨小腔壁には骨細管の開口部が認められた。

Fig. 33 Alveolar bone at the 6th week.
Mixed powdered diet group (SEM × 3,500)

Table 8 Laboratory values of electrolytes

Exp. Group	Control group		Kneaded standard diet group		Mixed kneaded diet group		Powdered standard diet group		Mixed powdered diet group	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
Ca	10.52	0.13	10.64	0.24	10.66	0.57	10.62	0.40	10.64	0.26
IP	8.98	2.27	10.12	1.46	10.32	0.92	9.20	0.21	9.34	0.60
Ca/ IP	1.20	0.23	1.06	0.14	1.04	0.05	1.16	0.05	1.12	0.05
K	6.92	2.76	6.26	0.45	6.62	1.07	6.34	0.48	6.78	0.39
Na	142.63	2.65	145.61	0.80	145.23	2.14	143.80	0.75	144.01	0.63
Cl	104.62	2.25	104.63	1.20	102.85	2.48	103.60	2.25	103.61	1.20

No significant difference was found between control and each diet group ($p > 0.05$).

粉末標準食群においては、骨層全体は平滑面として認められた。骨基質の表面はコラーゲン原線維が密に一定方向に走行していた。Fig. 31 でみられるように骨基質面は一定方向に走行する密なコラーゲン原線維で形成されているが、さらに密な部分と疎なコラーゲン原線維網が認められた。

骨基質形成部に隣接して骨吸収部も認められ、大小の吸収窩は不定形を示し、その窩底にはコラーゲン原線維

の露出部が認められた、骨小腔が認められる部分では骨細管の開口部が認められた (Fig. 32)。

粉末混合食群では、形態的には他の4群と特別に異なった所見は認められなかった。骨基質面には大小多数の骨小腔が認められ、骨細管の開口部も認められた。また骨基質面にはコラーゲン原線維網が豊富に分布し、その部には微小構造物が存在している所も認められ、石灰化の度合いに差が認められた (Fig. 33)。

Table 9 Laboratory values of blood chemistry

Exp. Group	Control group		Kneaded standard diet group		Mixed kneaded diet group		Powdered standard diet group		Mixed powdered diet group	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
CPK	6617.01	5855.23	8463.42	3503.71	6438.60	1356.40	4323.01	2135.61	5996.21	5344.23
LDH	2871.80	500.01	2811.62	716.70	2993.80	568.71	2472.82	472.81	2248.40	760.60
AL-P	170.80	20.26	177.21	65.28	159.61	30.53	180.43	20.91	197.60	27.18
GOT	246.81	68.51	264.40	68.16	260.80	59.56	212.64	36.34	214.60	68.99
GPT	51.42	12.96	69.20	19.36	53.63	8.24	43.40	4.18	46.60	4.45

No significant difference was found between control and each diet group ($p>0.05$).

Table 10 Laboratory values of endocrine functional test

Exp. Group	Control group		Kneaded standard diet group		Mixed kneaded diet group		Powdered standard diet group		Mixed powdered diet group	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
N-PTH	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00
C-PTH	0.22	0.04	0.38	0.19	0.28	0.09	0.24	0.08	0.30	0.89

No significant difference was found between control and each diet group ($p>0.05$).

VIII. 血液学的所見

血液学的所見については、Table 8～10 に示すように各測定項目値には実験群と対照群との間に著しい差異は認められなかった ($p>0.05$).

考 察

これまで、地球上では多くの動物が繁栄と滅亡を繰り返しながら、現在に至っていると考えられているが、この過程においてエネルギーの窓口である咀嚼器官が重要な位置を占めていた。つまり、生命を維持するためのエネルギー源である食物を食べる営みが、いかに合理的に行われるかが動物の種の繁栄および維持のために非常に重要な歴史的課題であると考えられている¹²⁾。食物の摂取に際して、よく噛むことが不可欠な摂取様式を遺伝的に備えている動物が、成長発育期にたとえ栄養素が同じでも、よく噛まなくても摂取できるような性状の食物を食べ続けたとしたら、咀嚼筋の発達に阻害され、顎骨の発達も阻害される。ところが、ヒトにおいてこのようなことが、離乳期以後、顎骨が最も成長する時期にかけて惹起したとしたら問題はさらに深刻になる^{10, 13)}。斉藤 (1987)¹⁴⁾ の研究では、スパゲッティとハンバーグに代

表される現代食の咀嚼回数並びに食事時間は戦前の約 $\frac{1}{2}$ であり、弥生時代の食事時間の約 $\frac{1}{3}$ と報告している。すなわち、現代食の硬さは戦前の約 $\frac{1}{2}$ であり、弥生時代の食物の約 $\frac{1}{3}$ になっているともいえる。本来、口腔内では硬い食べ物を噛み砕いて飲み込むという大切な仕事が必要とされているため、その仕事が食品加工工場をはじめ口腔外でなされるとなると、口腔は楽をすることになる。その結果、現代の若年者は、歯と顎骨の発育障害が現れ、不正咬合や若年性顎関節症の増加をきたしているとも考えられる。

木村 (1989)¹⁵⁾ は顎骨の小進化の原因は、遺伝的要因はもちろんのこと咬合力、咀嚼能力と咀嚼筋の活動量などの物理的な刺激の減少の他に、食物中のカルシウム含有量の多寡にも関係していると報告している。特に我が国の国土のほとんどは火山灰に囲まれ、カルシウムの取れにくい土壌であるため、食物中のカルシウム含有量は欧米などと比べかなり少ない。石井 (1986)¹⁰⁾ のカルシウム欠乏実験をみると、成長期のラットにカルシウム欠乏食を与えることによって、下顎骨の発育障害などがみられる。そこで、木村ら (1987)⁹⁾ は我が国で最も漁獲量の多いイワシをカルシウム源として使用し、成長期顎

骨の形成に促進効果があることを報告している。著者は木村ら (1991)¹¹⁾ の食物の軟化による顎骨の劣成長結果は時代の変化における事実として認め、その事実を踏まえた上で木村ら (1987)⁹⁾ が提唱したカルシウム投与法に準じ、成長期のラットにカルシウム含有量と硬さの異なった飼料を与え、下顎骨の発育に及ぼす影響を検索した。

I. 飼料の強さ

対照群の圧縮強さの平均値は 92.38 kg/cm² で、木村ら (1991)¹¹⁾ が使用した固型飼料群の圧縮強さの平均値 93.24 kg/cm² とほぼ同じである。木村ら (1991)¹¹⁾ のオリエンタル酵母のラット標準粉末飼料を用いて、その飼料を 1/3 量の水分を加えて練り、2 日間室内で乾燥した練飼料における圧縮強さの平均値は 13.33 kg/cm² である。著者のカルシウムを多量に加えた練混合食群の圧縮強さの平均値は 12.98 kg/cm² であった。また、両練飼料群の圧縮強さはともにほぼ対照群の圧縮強さの 1/3 であり、斉藤 (1987)¹⁴⁾ の報告にみられる弥生時代と現代との硬さの差とほぼ同じであるともいえる。

II. 体重

体重は日常生活の中で身体が健康であるバロメーターとも言える。すなわち身体があらゆる器官を通じて総合的に成長の過程をたどっている指標となり得る。今回報告するヒトの離乳期に相当するラットの成長を観察するためには健康状態を知る上でも不可欠となる。出生体重や個体差があるため身体のアラゆる組織とバランスをとりながら体重が増加していく過程においては個体の栄養状態と密接な関連がある。ヒトの小児期に最も成長が顕著に現れる時期は乳幼児期と思春期である。

体重の増減は遺伝因子より後天的な生活環境因子によって大きな影響を受ける。今回の研究にみられるように歯槽骨の構造は緻密骨（歯槽の内壁と外壁）と海面骨（内部の骨質と骨髓）から形成されている。

このようなことから骨梁と体重は比例しており後述する X 線による骨濃度から体重との関連性を推察することができる。

梅津 (1991)¹⁶⁾ は成長期のラットにカルシウム欠乏飼料を与えて虚弱骨を惹起させた後、標準飼料と高カルシウム飼料に変え体重の変化を観察している。それによると対照群に比べると両方とも低値に推移しているが、カルシウム欠乏飼料群に比べると体重は増加し、高値に推移していることから、一旦骨組織の減少とともに体重も減少をきたしたが、虚弱化した骨の改善が認められると述べている。またカルシウム欠乏食により体重の減少を

認めているものとしては飯田ら (1981)¹⁷⁾、石井 (1986)¹⁰⁾、Nagayama ら (1985)¹⁸⁾ の報告がみられる。

著者の実験では成長発育期の過程にある離乳期に相当するラットを用いて、食物の硬さと食物中のカルシウム含有量を変えて体重の変化を観察した。その結果 4 週目と 5 週目に一時的に変化が認められるものの、6 週目に至ると何ら有意差は認められなかった。このことは栄養素のバランスがとれた食餌であるため、食物の硬さによる体重差が認められなかったことによるものと思われる。

III. X 線学的所見および骨濃度

木村ら (1991)¹¹⁾ は硬さの異なった飼料実験において、練飼料群は歯槽骨の厚さが減少して、骨梁の数も少なく不規則に配列し、粉末飼料群は歯槽骨の厚さはさらに減少し、骨梁の数もより少なく不規則に配列していると述べている。しかも歯槽骨幅の減少とともに、骨梁の減少と骨梁の配列の乱れなどの内部構造の変化も生じることが特徴的所見であると述べている。著者の実験においては、練標準食群の歯槽骨は実験後 6 週目に、骨梁は減少し、疎になって配列していた。練混合食群の歯槽骨における骨梁の減少も見られるが、練標準食群に比べ骨梁は増加し、緻密に配列している。粉末標準食群における歯槽骨の厚さは減少し、骨梁はさらに疎に配列していた。粉末混合食群の歯槽骨は、形態的に粉末標準食群とほぼ同じであるが、骨梁は増加し、緻密に配列している。全体的にみると飼料中のカルシウム含有量の多寡に関係なく、木村ら (1991)¹¹⁾ の結果と同様に飼料の強さが減少すれば、歯槽骨の形態と内部構造の成長は遅延することになる。このことは竹中 (1989)¹³⁾ の下顎頭における所見においても同じ減少を挙げている。しかしながら本研究の骨濃度所見をみる限りにおいては、練あるいは粉末飼料のいずれにおいてもカルシウム含有量の高い混合飼料の方が歯槽骨の成長に及ぼす影響が少ないことも事実である。木村ら (1987)⁹⁾ は、生後 3 週齢のラットにカルシウム含有量の高い混合食を与えると、歯槽骨の骨濃度は高くなっていたと報告している。すなわち、高カルシウム食の投与は、例えば食物の硬さの減少状況下においても多少なりとも歯槽骨の成長発育に有効であるといえる。しかし、食物の硬さの減少による歯槽骨の成長発育に及ぼす影響は大きい。この現象は食物中カルシウム含有量のみの改善では、歯槽骨の成長発育に対する働きは限度があることも示唆していると思われる。

さらに骨構築の程度を客観的に評価するために骨密度（骨塩量）の判定材料として骨濃度を AI 等量に換算し

た。木村ら（1991, 1990）^{11, 19)} は食物の硬軟による成長期下顎骨の変化を検索し、固型飼料群と練飼料群および粉末飼料群との間には 5% あるいは 1% の危険率で有意差が認められたと報告し、さらに成長期の下顎歯槽骨（対照群）と虚弱状態に陥った下顎歯槽骨（実験群）の骨密度を測定し、5% あるいは 1% の危険率で有意差がみられ対照群が骨密度が高いと述べている。また石井（1986）¹⁰⁾、住本（1986）²⁰⁾ は同じ歯槽骨でも咬合外圧の相違により骨濃度に変化がみられると報告している。このような流れの中で本実験は食物の硬さと食物中のカルシウムの含有量の差によって骨濃度を測定した。その結果食物の硬さとカルシウム含有量の差によって骨密度に変化が認められた。

Ⅲ. 下顎骨の計測

伊藤（1988）²¹⁾ は日本人古人骨と現代人正常咬合者の頭部 X 線規格写真観察の中で、顔立ちには各時代ごとに特徴があると述べている。縄文時代人は一般に顔の高さが低く、角張っていてたくましい顔をしている。側貌は直顎型から弱い突顎型で、とくに下顎骨の後方部が発達していて下顎枝の幅が広く、下顎角は張り出して直角に近い。オトガイ隆起もはっきりしている。一方弥生時代人は、下顎骨は大きいが発達が少なく、下顎角の張り出しが弱く、大きく開いて全体にたくましさや力強さが無い。古墳時代人は縄文時代人に類似した形をしているが、顎骨の発達は何れも弱まっている。鎌倉時代人では顎骨はだんだん細くなり、前歯の前方傾斜が著しく、いわゆる歯槽性の突顎の傾向が強くなっている。そして江戸時代では下顎骨の発達が少なく歯槽性の突顎となって、かなり現代人に近い側貌となっていると報告している。また、頭部 X 線規格写真を計測し、下顎体長、下顎最大長と下顎枝高においては、早期縄文時代に最も低い値を示し、その後、増大して弥生時代から古墳時代にかけて最大値に達している。その後の縮小は項目によって多少異なっている。まず下顎体長は明治時代まで縮小し、その後現代に向かってやや大きくなっているが下顎最大長と下顎枝高は逆にいったん大きくなった後、急速に縮小している。全体として日本人の顎骨は、下顎体長、下顎最大長、下顎枝高の縮小と下顎角の開大という方向に進んできているとも述べている。木村ら（1991）¹¹⁾ の実験においても、食物の軟化により下顎骨の横の成長に及ぼす影響よりも下顎枝の縦に及ぼす影響が大きいと述べている。著者の実験においては、対照群の下顎骨長と粉末標準食群の下顎骨長については、5% の危険率で有意差があり、粉末標準食群の下顎骨長は短い。

対照群の下顎骨長と粉末混合食群の下顎骨長についても、5% の危険率で有意差があり、粉末混合食群の下顎骨長が短い。また、対照群の下顎枝高と粉末標準食群、粉末混合食群、練標準食群などの下顎枝高については、1% の危険率で有意差があり、後 3 群の下顎枝高が低い。練標準食群の下顎枝高と粉末標準食群、粉末混合食群の下顎枝高についてはそれぞれ 1% と 5% の危険率で有意差があり、後 2 群の下顎枝高が低い。練混合食群の下顎枝高と粉末標準食群、粉末混合食群の下顎枝高については 1% の危険率で有意差があり、後 2 群の下顎枝高が低い。以上のことから、全体の結果としては食物中のカルシウム含有量の多寡に関係なく、木村ら（1991）¹¹⁾ の結果と同様に食物の軟化により、下顎骨の成長に及ぼす影響があるといえる。しかも下顎骨の横の成長よりも、縦の成長に及ぼす影響が大きいことも同様であった。しかしながら、下顎枝高の結果だけについてみると、標準食の軟化よりも、混合食の軟化の方がやや影響が少ないという見方もあるように思われる。

Ⅳ. 病理組織学的所見

木村ら（1991）¹¹⁾ は練飼料群の歯槽骨 CMR 所見は、歯槽骨幅の減少、ハバース管とハバース管周囲の骨小腔の減少および吸収腔の増加であり、粉末飼料群は歯槽骨の幅はさらに減少し、ハバース管と骨小腔もより少なくなっており、吸収腔が増えていると報告している。さらに、これらの食物の硬さの減少によって歯槽骨の内部構造の変化は、井上（1988）²²⁾ のカルシウム欠乏所見とはほぼ同じであると指摘している。本実験の練標準食群と練混合食群の歯槽骨 CMR 所見においては、ハバース系の減少、ハバース管の周りの骨小腔の減少と疎な配列、辺縁の不規則化である。粉末標準食群と粉末混合食群になると、歯槽骨の辺縁は不規則で、その中のハバース系はさらに減少し、ハバース管の周りの骨小腔も疎になって配列している。しかしながら飼料は練あるいは粉末状態においても、高いカルシウムを含む混合飼料群の歯槽骨が、標準飼料群に比べ、ハバース系、骨小腔などの減少所見が少なかった。すなわち、食物中のカルシウムが高くなれば、食物の軟化による影響はある程度抑制できる素因の 1 つであることも考えられる。木村ら（1989）²³⁾ は骨虚弱状態になった顎骨に混合食を投与し、標準食の投与群に比べハバース管が多く、骨小腔の減少が見られると述べている。食物の軟化による顎骨劣成長下においての混合食の投与は、骨虚弱になった状態よりも有効であることもいえる。

木村ら（1991）¹¹⁾ の組織像をみると、練飼料群におい

て骨髓の増加と骨量の減少がみられ、ハバース系と骨小腔も減少している。粉末飼料群になると、骨髓の占める部分はさらに増加し、骨層は薄く、歯根膜に面している骨層は吸収され、骨内に柵状に貫かれているシャーピー線維束は、消失し、不規則に配列しており、ハバース系と骨小腔はさらに減少していると報告している。石井(1986)¹⁰⁾のカルシウム欠乏性の歯槽骨の組織像と比べ、食物の硬さの減少により歯根膜に面している歯槽骨への影響は大きい、歯槽骨内部構造の増加と減少所見がカルシウム欠乏性のものに比べ軽度であると指摘している。そこで、著者の混合飼料群の所見を見ると、両群ともに標準食群に比べ歯根膜に面している骨層は増加し、その中の骨小腔、骨髓を囲む骨層におけるハバース系も増加している。すなわち、食物中のカルシウム含有量を高くすれば、食物の硬さの減少が歯根膜に面している歯槽骨に及ぼす影響を軽減することがある程度までは可能といえる。なお、走査電顕的には形態的検索では明かな差は認められなかった。

V. 血液学的所見

本研究では食物中の栄養素のバランスがとれており、カルシウム含有量が高くなっても食物の硬さによって血清中の電解質、生化学および内分泌機能には影響がないことが明らかであった。

結 論

生後3週齢のWistar系雄ラットに、対照群、練標準食群、練混合食群、粉末標準食群および粉末混合食群など、硬さとカルシウム含有量の異なった飼料を与え、飼育6週間後に成長期下顎骨に及ぼす影響を検索し、次のような結果を得た。

1. 飼料の強さ

対照群の平均圧縮強さは92.38 kg/cm²、練標準食群の平均圧縮強さは13.06 kg/cm²、練混合食群の平均圧縮強さは12.98 kg/cm²であった。

2. X線学的所見ならびに骨濃度(骨密度)所見

X線学的所見は、対照群に比べ、練標準食群の骨梁は減少し、疎になって配列していた。練混合食群の骨梁も減少していたが、練標準食群に比べると骨梁は増加し、緻密に配列していた。粉末標準食群における歯槽骨の厚さは減少し、骨梁は減少して疎に配列していた。粉末混合食群の歯槽骨は、形態的には粉末標準食群とほぼ同じ所見を呈していた。骨梁は増加し、緻密に配列していた。

次に歯槽骨骨濃度は、対照群と粉末標準食群との間に

は5%の危険率で有意差がみられ、対照群が高い値を示した。

3. X線マイクロアナライザーによる分析所見

定量分析では、相対Ca量比、相対P量比を求めた。その結果、相対Ca量比では、対照群が高値で、次いで練混合食群、練標準食群、粉末混合食群および粉末標準食群の順で低値を示した。またP量比では、練混合食群が高値で、次いで対照群、粉末混合食群、練標準食群および粉末標準食群の順に低値を示した。

4. 下顎骨の計測所見

練標準食群および練混合食群は下顎枝高の減少がみられた。粉末標準食群および粉末混合食群は、下顎骨長と下顎枝高ともに減少した。

5. 病理組織ならびに走査電顕所見

歯槽骨のCMR所見は、混合食群では歯根膜に面している骨層は増加し、骨髓を囲む骨のハバース系も増加していた。歯槽骨の一般組織所見では、練標準食群および練混合食群ではハバース系の減少、ハバース管の周りの骨小腔の減少と疎な配列、辺縁の不規則化がみられた。粉末標準食群および粉末混合食群では、歯槽骨の辺縁は不規則になり、その中のハバース系はさらに減少し、ハバース管の周りの骨小腔も疎になって配列していた。しかし、混合食群の歯槽骨は、標準食群に比べ、ハバース系、骨小腔など増加傾向を呈していた。また超微形態的には、骨基質形成面は骨吸収、骨形成を中心に特に異なった所見は明かではなかった。

以上のことから、食物中のカルシウム含有量の多寡と食物の軟化が下顎骨の成長に及ぼす影響とは大いに関連性があることが示唆された。

稿を終るにあたり、終始懇篤なるご指導、ご鞭撻ならびにご校閲の労を賜った恩師木村光孝教授に深甚なる敬意と感謝の意を捧げます。さらに実験に終始ご協力頂いた九州歯科大学小児歯科学教室員の各位にお礼申し上げます。

本論文の要旨は、平成元年5月18日第27回日本小児歯科学会大会および総会、平成3年9月1日第39九州学校保健学会において発表した。

引用文献

- 1) 井上直彦：いわゆる discrepancy について II. Discrepancy の成因. 日本歯科評論 448: 151-161, 1980.
- 2) 井上直彦：人類における歯と顎骨の不調和. 人類誌 88:

- 69-82, 1980.
- 3) 井上直彦：いわゆる discrepancy についてⅢ. Discrepancy の病態. 日本歯科評論 450:133-145, 1980.
 - 4) 厚生省保健医療局健康増進栄養課：昭和 63 年国民栄養調査成績概要. 臨床栄養 76:269-274, 1990.
 - 5) 江澤郁子：骨の成長と栄養. 歯科ジャーナル 26:903-910, 1987.
 - 6) 木村光孝：成長期顎骨とカルシウム摂取. 歯科ジャーナル 26:871-885, 1987.
 - 7) 藤田拓男：カルシウムバイブル. あき書房, 東京, 1985, 64-66.
 - 8) 川島四郎：もっとカルシウムもっと青野菜. 実業之日本社, 東京, 1986, 18-22.
 - 9) 木村光孝, 内野公一, 佐藤秀輝, 竹中正史, 原田和己, 栗生 悟：カルシウムの成長期顎骨に及ぼす影響に関する X 線学的検索. 小児歯誌 25:521-530, 1987.
 - 10) 石井貴三男：成長期顎骨における実験的骨粗鬆症に関する実験的研究—とくに歯槽骨について—. 九州歯会誌 40:530-554, 1986.
 - 11) 木村光孝, 西田郁子, 牧 憲司, 高橋宙丈, 渡辺博文, 野沢典央, 堤 隆夫, 岡 裕美子：食物の硬軟による成長期下顎骨の変化に関する実験的研究. 小児歯誌 29:291-298, 1991.
 - 12) 前田憲彦：咀嚼筋の生後発達に対する食物の性状の影響. 咀嚼システムの形成と適応（窪田金次郎・他編）. 風人社, 東京, 1988, 243-255.
 - 13) 竹中正史：顎骨の成長に関する実験的研究—食物の硬軟による下顎頭の変化—. 九州歯会誌 43:669-692, 1989.
 - 14) 斉藤 滋：咀嚼とメカノサイトロジー. 咀嚼システム入門（窪田金次郎・他編）. 風人社, 東京, 1987, 115-129.
 - 15) 木村光孝：小児における顎骨小進化の予防. 歯科ジャーナル 29:1065-1073, 1989.
 - 16) 梅津哲夫：虚弱骨に対する高カルシウム食の影響に関する X 線の, 光顕のおよび走査電顕の研究—歯槽骨の変化—. 九州歯会誌 45:629-652, 1991.
 - 17) 飯田 勝, 恩地主典, 磯部 鏡, 桜田豊三, 渡辺 晋, 早野和夫, 折茂 肇：実験的骨粗鬆症に対するエルカトニンの効果. 骨代謝 14:228-233, 1981.
 - 18) Nagayama, M., Saburi, N., Oka, T. and Matsumoto, A.: Endochondral ossification of the condyle in rats on a strontium or low-calcium diet. J. Oral Maxillofac. Surg. 43:693-703, 1985.
 - 19) 木村光孝, 西田郁子, 牧 憲司, 加来昭典, 矢野目鎮照, 高橋宙丈, 松田容士子：虚弱骨に対する食餌の影響に関する実験的研究—とくに下顎骨について—. 小児歯誌 28:949-955, 1990.
 - 20) 住本和隆：実験的骨粗鬆症に対する食餌の影響に関する研究—とくに歯槽骨の変化—. 九州歯会誌 40:1245-1268, 1986.
 - 21) 伊藤学而：軟食に対する咀嚼システムの硬組織の適応. 咀嚼システムの形成と適応（窪田金次郎・他編）. 風人社, 東京, 1988, 231-239.
 - 22) 井上秀人：成長期顎骨の実験的骨粗鬆症に対する活性型ビタミン D₃ の影響に関する研究—とくに歯槽骨の変化—. 九州歯会誌 42:918-948, 1988.
 - 23) 木村光孝, 西田郁子, 牧 憲司, 横本 満, 曾我富美雄, 尾崎章寿, 古谷充朗, 高橋宙丈：成長期顎骨の実験的骨粗鬆症に対する高カルシウム食の影響に関する研究—とくに歯槽骨の変化—. 九州歯会誌 43:771-801, 1989.