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—

九州歯科大学小児歯科学講座 (指導: 木村光孝教授)

竹 中 正 史

平成元年 7 月 20 日 受付

An Experimental Study on the Growth of the Mandible —Changes in the Mandibular Condyle with Food Hardness—

Masafumi Takenaka

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

The effects of the food hardness on the mandibular condyle, tibia epiphysis and tibia metaphysis in thier growth stages were investigated for three-week-old male rats of Wistar strain six weeks after the start of feeding with formed, kneaded or powdered diet.

The results obtained were as follows.

1. Radiological findings

1) The dense osseous layer in the periphery of the mandibular condyle was thinner and trabeculae were fewer and sparser in the kneaded diet group than in the paste group. In the powdered diet group, the mandibular condyle was smaller than that in the kneaded diet group. The dense osseous layer almost disappeared and trabeculae were further decreased and arranged sparsely.

2) Tibia epiphysis and tibia metaphysis in the kneaded diet group showed no morphological changes as compared with those in the formed diet group. Their trabeculae, however, were slightly decreased and arranged sparsely. The powdered diet group showed still fewer trabeculae than the kneaded diet group.

2. Compressive test findings

The kneaded diet group showed significantly lower compressive strength of the mandibular condyle than the formed diet group. The strength was further markedly decreased with the powdered diet.

3. Histopathologic findings

1) Contact microradiogram findings

The mandibular condyle in the kneaded diet group showed slightly sparser granular trabeculae in primary spongiosa in CMR than that in the formed diet group. The granular trabeculae in secondary spongiosa were also decreased and arranged sparsely. These tendencies were more marked in the powdered diet group.

2) General tissue findings

i) In the formed diet group, the mandibular condyle showed normal growth of cartilage and osteogenesis layers. The scanning electron microscope (SEM) observation showed dense formations of cartilage and subchondrocyte bone layers. The walls of chondrocyte lacunae consisted of longitudinal matrix and the bone lacunae was abundantly distributed showing active bone formation.

The kneaded diet group showed decrease in the static chondrocytes and increase in both the proliferative hypertrophic chondrocytes, although no changes were found in the thickness of the cartilage layer. Little erosion of calcified matrix by chondroclasts and subchondrocyte bone formation were found. The SEM observation clearly showed the cartilage and subchondrocyte bone layers. The bone lacunae were surrounded by chips of bone matrix. At their bottoms there were found several bone canaliculus. In the powdered diet group, the cartilage layers became slightly thinner than those in the kneaded diet group and proliferative chondrocytes were decreased. Erosion of calcified matrix by chondroclasts and subchondrocyte bone formation were decreased as compared with those in the formed diet group. The SEM observation showed irregular arrangement of oval chondrocyte lacunae and subchondrocyte bone formation with wide trabeculae. Around the chondrocyte lacunae, longitudinal matrix were clearly seen in restiform in some places but not clearly in other places. Relatively larger bone lacunae were also observed.

ii) Tibia epiphysis and tibia metaphysis in the kneaded diet group showed no changes in the cartilage layer as compared with those in the formed diet group, while proliferative chondrocytes were decreased and hypertrophic chondrocytes were increased. Erosion of calcified matrix by chondroclasts, subchondrocyte bone formation and intrachondrocyte bone formation were decreased in the kneaded diet group. They were further decreased in the powdered diet group as compared with the paste group.

On the basis of the foregoing findings, decrease in the hardness of food was proven to affect the growth of cartilage tissue in the mandibular condyle and bone formation.

Key words : *Mandible/Mandibular condyle/Growth/Softening of food/Wistar rat*

結 言

先史時代以降、歴史時代を通じて、日本人の顔はいくたびかの変動を経て現代人のもつ型へと変わってきたと報告されている¹⁻³⁾。この顔面形態の変化の1つは、歯列咬合として現われ、縄文時代より現代にかけて正常咬合は80.0%から23.8%へと低下し、それに対応して不正咬合の割合が増加してきた。なかでも、歯と顎骨の不調和による **discrepancy** 型要因に基づく咬合の異常は、過去2000年の間に8.9%から63.1%へと急速に増加する傾向を示しているという報告もある⁴⁾。亀谷 (1980)³⁾

はこの一連の経過は、人類進化の過程で現われた顎顔面形態の変化の方向が、一貫して退化の方向に向っていると解釈している。

井上 (1980)⁵⁾ は、顎顔面の退化は咀嚼機能の低下が終生代謝を続ける咀嚼筋群と顎骨の退化を起し、その結果として歯の退化は二次的に起こるとし、そのため顎骨の退化が歯の退化に対して常に優位であることを指摘している。亀谷 (1980)³⁾ は、食生活状態の変化の速度によって比較的短い期間に顎顔面形態に変化が現われたことを示唆しており、それが人類の築いてきた文化という社会的な環境要因の影響を強く受けることを意味する

と述べている。すなわち、食文化の向上が逆に顎骨の縮小を起こすこととなる。とくに近年、調理法の改善に伴う咀嚼運動量の低下は、顎骨形態に対して退化の方向へ強い影響を及ぼしていることも考えられる。

咀嚼機能の変化が顎骨の発育に影響を及ぼすことについては、すでに Watt ら (1951)⁶⁾、Barber ら (1963)⁷⁾、Moore (1965)⁸⁾ および Beecher ら (1981)⁹⁾ は個体レベルの顎骨の計測による動物実験がみられる。また伊藤ら (1982)¹⁰⁾ は個体レベルだけでなく、次世代までへの影響を調べている。しかし、近年、成長発育期の過程にある幼児期、学童期における骨折の多発がみられる^{11,12)}。咀嚼機能量の低下による顎骨虚弱化が単に顎骨の退化だけを意味するものではないから、顎骨の変化を説明するには、骨組織の内部構造を詳細にわたって観察する必要がある。教室の山本 (1989)¹³⁾ は、食物の軟化による歯槽骨の大きさおよび強さへの影響を調べるとともに X 線学的、光学的、写真濃度、病理組織学および電顕的に骨組織の内部構造の変化を観察している。

しかし、これらの実験を通じて、顎骨の退化現象を究明するには、顎骨の形態変化及び歯槽骨の内部構造変化を捉えることだけでなく、歯牙の咬合関係と相互調和を保ちながら咀嚼、嚥下、発育などの口腔顎系の機能を営む下顎頭に及ぼす影響を知る必要がある。

そこで、著者は硬さの異なった飼料を用い離乳直後のラットに摂食させ、下顎頭および脛骨近位端に及ぼす影響を検索し、いささかの知見を得たので報告する。

実験材料ならびに実験方法

3 週齢の Wistar 系雄ラット 30 匹を使用した。

ラットは無作為に次のような固型飼料群、練飼料群および粉末飼料群に分けた。固型飼料群はオリエンタル酵母のラット標準固型飼料と水道水にて飼育し、練飼料群はオリエンタル酵母のラット標準粉末飼料を 1/2 量の水で練り、水道水にて飼育し、粉末飼料群はオリエンタル酵母のラット標準飼料と水道水にて飼育した。なお飼料の強さは Table 1 に示している通りである。

飼育 6 週間後にすべてのラットを大腿動脈より採血致

死させた。直ちに頭部および後肢を採取し、10% 中性ホルマリン液にて固定した。

固定後、頭部と後肢より下顎頭および脛骨近位端を損傷することのないように剝離し、周囲の軟組織を十分除去した。下顎頭と脛骨近位端ともに Softex type の (CSM) を用いて管電圧 25kvp、管電流 5 mA、撮影時間 40 秒および焦点・フィルム間距離 40cm の条件下で軟 X 線撮影を行った。X 線フィルムには Fuji softex film FG を使用した。

その後、下顎頭と脛骨近位端をアルコール系列にて脱水し、Rigolac に包埋した。次に、外側より矢状断による 60~80 μ m の非脱灰切片標本を作製した。切片標本は Softex type の CSM を用い、管電圧 20kvp、管電流 5 mA、撮影時間 16 分、焦点・フィルム間距離 30cm の条件で撮影した。フィルムは kodak 社製 spectroscopic plate type 649-0 を用い、現像液は kodak の D-15 で現像を行い、contact microradiogram により観察した。

固定後の頭部と後肢は、5% 硝酸脱灰し、セロイジン包埋後、頭骨の顎関節部と後肢骨の膝関節部を矢状断で 15 μ m 連続切片標本を作製し、ヘマトキシリン・エオジン重染色を施して鏡見した。なお一部は、下顎頭、脛骨骨端とともに軟骨表面を立体的に観察するため走査電顕試料とした。摘出した関節円板と関節頭を滑膜部にて切離し、phosphate buffer (pH 7.2) に浸し、超音波洗浄器にて滑液、その他の附着物を除去したのち洗浄した。走査電顕試料は 2.5% glutaraldehyde で 1 時間浸漬固定を施したのち、phosphate buffer にて洗浄し、後固定として 1% osmic acid (phosphate buffer, pH 7.2) に 4 $^{\circ}$ C で 1~2 時間浸漬した。

固定後の試料は 8% 次亜塩素酸ナトリウムを用いて関節面の軟骨部を露出させ流水下にて洗浄を行った。試料の脱水は上昇 alcohol 系列にて行い、isoamyl acetate を経て臨界点乾燥を行った。乾燥を終えた試料は Au coating を行い、日本電子製 JSM T-300 により観察した。

骨組織の圧縮による破砕試験は、木村 (1987)¹⁴⁾ の方法に準じ、下顎頭を関節面より 8 mm 採取し実験に供した。東洋ボールドウィーン (現オリエンテック社製) の万能試験機を用い、クロスヘッドスピード 2 mm/min にて圧縮試験を行った。試験片はそれぞれ同じ寸法とし、圧縮強さは破砕時の最大荷重 (kgf) による比較を行った。なお、圧縮方向は生体において生理的に力が加わる方向とした。

Table 1 Types of diets and their compressive strengths (kg/cm²)

Type	Formed diet group	Kneaded diet group	Powdered diet group
Compressive strength	93.2 $\pm$ 6.9	13.3 $\pm$ 1.5	—

実験結果

I. X線学的所見

A. 下顎頭

固型飼料群の下顎頭の形態は丸味を帯びており、その外周に厚さを持つ緻密な骨層が認められ、表面は平滑である。骨梁は多くみられ規則的に下顎頭の関節面からほぼ垂直的に走行している (Fig. 1)。

Fig. 1 Radiograph of mandibular condyle (arrow). Formed diet group.

練飼料群の下顎頭は、固型飼料群のものとは比べ、下顎頭の形態において変化はみられないが、緻密な骨層がやや薄くなっている。骨梁の数は少なくなり、疎になってやや不規則に関節面から垂直的に走行している (Fig. 2)。

Fig. 2 Radiograph of mandibular condyle (arrow). Kneaded diet group.

粉末飼料群の下顎頭は練飼料群のものとは比べ、その外観は小さくなっている。外周の緻密な骨層はほとんどみられなく、骨梁の数はさらに減少し、より疎になって不規則に下顎頭の関節面からほぼ垂直的に走行している (Fig. 3)。

Fig. 3 Radiograph of mandibular condyle (arrow). Powdered diet group.

B. 脛骨近位端

1. 骨端

固型飼料群の脛骨骨端の形態は明瞭にみられ、その外周に緻密な骨層が認められ、表面は平滑である。骨梁の数は多くみられ規則的に骨端の関節面からほぼ垂直に走行している (Fig. 4)。

Fig 4 Radiograph of epiphysis of tibia (arrow). Formed diet group.

練飼料群の脛骨骨端は固型飼料群のものとは比べ、脛骨骨端の形態はほぼ同じであり、外周の緻密な骨層もみられるが、骨梁の数はやや少なくなって骨梁の関節面からほぼ垂直に走行している (Fig. 5)。

粉末飼料群の脛骨骨端は練飼料群のものとは比べ、脛骨骨端の形態はほぼ同じであり、外周の緻密な骨層も明瞭に認められる。骨梁の数はやや少なくなって骨端の関節

Fig. 5 Radiograph of epiphysis of tibia (arrow). Kneaded diet group.

Fig. 6 Radiograph of epiphysis of tibia (arrow). Powdered diet group.

面からほぼ垂直に走行している (Fig. 6).

2. 骨幹端

Fig. 4 の固型飼料群の脛骨骨端の直下にみられる脛骨骨幹端は漏斗状を呈し、表面は平滑である。骨梁の数は多く、骨幹端の表面から規則的に垂直に走行している。

Fig. 5 の練飼料群の脛骨骨端の直下にみられる脛骨骨幹端は固型飼料群のものと比べ、骨幹端の形態はほぼ同じであるが、骨梁の数が少なくなって骨幹端の表面からより疎になって垂直に走行している。

Fig. 6 の粉末飼料群の脛骨骨端の直下にみられる脛骨骨幹端は練飼料群のものと比べ、骨幹端の形態および

骨梁の数と走行状態はほぼ同じであるが、固型飼料群の骨梁に比べ少なくやや疎になって骨幹端の表面から垂直に走行している。

Ⅱ. 下顎頭の圧縮試験

Fig. 7 は固型飼料群、練飼料群および粉末飼料群における下顎頭の圧縮による破砕試験結果のなかの1例である。縦軸に圧縮荷重をとり、横軸には圧縮変形量をとっている。Table 2 に示すように下顎頭の圧縮強さは固型飼料群で最も大きく、次いで練飼料群、粉末飼料群の順に弱くなっており、検定の結果これら下顎頭の強さには各飼料群間で統計的に有意な差 ($p < 0.01$) が認められた。

Fig. 7 Compressive test of mandibular condyle.

Table 2 Compressive strength of mandibular condyle in each diet group

Formed diet group	Kneaded diet group	Powdered diet group
6.9±0.8	4.6±0.4	2.7±0.3

Significant differences in strength were recognized between these groups ($P<0.01$).

Ⅲ. 病理組織学的所見

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

固型飼料群の下顎頭の CMR 像において, primary spongiosa の粒状骨梁は緻密に走行している. secondary spongiosa の骨梁は鋭縁をなし, 緻密に走行している (Fig. 8, 9).

練飼料群の下顎頭の CMR 像では primary spongiosa の粒状骨梁は固型飼料群のものよりも薄くなってかなり疎に走行している. secondary spongiosa の骨

梁も少なくなり, 疎に走行している (Fig. 10) 粉末飼料群は primary spongiosa の粒状骨梁は疎で secondary spongiosa の骨梁の数はほぼ同じであるが, 固型飼料群のものとは比べ, 骨梁の数が少なく. かなり疎になって走行している (Fig. 11, 12).

B. 一般組織所見

Fig. 10 Contact microradiogram of mandibular condyle.

Kneaded diet group. ×20

Fig. 8 Contact microradiogram of mandibular condyle.

Formed diet group. ×20

Fig. 11 Contact microradiogram of mandibular condyle.

Powdered diet group. ×20

Fig. 9 A magnification of Fig. 8. ×50

Fig. 12 A magnification of Fig. 11. ×50

1. 下顎頭

固型飼料群の側頭部外側より2～5 mmの部分における下顎頭は、構造を異にする5層の軟骨組織と骨組織からなっている。その1つは最表層にみられ、軟骨細胞の長軸が関節面に平行に配列している静止帯である。その2は静止帯の直下に位置し、長方形で小さい軟骨細胞あるいは丸い形でやや大きい軟骨細胞からなっている増殖帯である。その3は増殖帯の直下に位置し、細胞間質で取り囲まれている肥大型細胞が存在する肥大帯である。その4は肥大帯の直下あるいは肥大帯の下縁に位置し、軟骨吸収細胞によって石灰化基質を侵食する侵食帯である。最後は侵食帯より下に軟骨下骨形成がみられ、骨梁の表面に多くの骨芽細胞や破骨細胞がみられる軟骨下骨

Fig. 13 Mandibular condyle. Formed diet group. H·E Stain ×20

Fig. 14 A magnification of Fig. 13.

H·E Stain ×100

形成帯である (Fig. 13, 14).

走査電顕で観察すると、軟骨層および軟骨下骨形成帯の全体像は緻密に形成されている (Fig. 15). 軟骨小腔の一部を拡大すると、直径2 μm 大の多数の石灰化球様構造物が認められる。軟骨小腔壁は緻密な縦走基質として石灰化した所見としてみられる (Fig. 16, 17). 軟骨下骨形成帯の一部を拡大すると、骨小腔の分布は密で、骨梁も緻密となり骨形成も旺盛に行われている。また骨形成帯の部にはコラーゲン原線維束が一定の走行を示し、互いに交叉し、その部には多数の間隙が認められる。類円形を呈した骨小腔も認められる (Fig. 18, 19).

練飼料群の下顎頭は固型飼料群のものとは比べ、軟骨層の厚さにおける変動はみられないが、静止帯軟骨細胞の

Fig. 15 Mandibular condyle. Formed diet group. SEM

Fig. 16 A magnification of Fig. 15. $\times 3,500$ SEM

Fig. 17 A magnification of Fig. 15 $\times 3,500$ SEM

Fig. 18 A magnification of Fig. 15. SEM

Fig. 19 A magnification of Fig. 15. SEM

減少及び増殖帯軟骨細胞と肥大帯軟骨細胞の増加がみられる。軟骨細胞全体の配列はやや疎で不規則である。肥大型軟骨細胞を囲む石灰化基質はやや少なくなり、軟骨吸収細胞による石灰化基質の侵食所見も少ない、軟骨下骨形成も少なく、骨梁は疎になっている (Fig. 20, 21)。

走査電顕で観察すると、軟骨層から軟骨下骨形成帯は明瞭に認められる (Fig. 22)。骨層の一部を拡大すると、長径約 $10\mu\text{m}$ の骨小腔が認められる。骨小腔は短小片からなる骨基質によって囲まれている。小腔の底部には数個の骨細管孔がみられる。骨細管は互いに交叉するコラーゲン原線維によって囲まれている (Fig. 23, 24)。また骨層の一部では広範囲にわたって吸収像がみられ、

Fig. 20 Mandibular condyle. Kneaded diet group. H·E Stain $\times 50$

Fig. 21 A magnification of Fig. 20.

H·E Stain $\times 200$

その吸収窩底は浅い。骨小腔の開口部もみられ、その周囲はコラーゲン原線維で囲まれ小腔底部にはコラーゲン原線維が縦横に交叉している (Fig. 25, 26)。

粉末飼料群の下顎頭は練飼料群のものとは比べ、軟骨層の厚さはやや減少している。静止帯軟骨細胞と肥大帯軟骨細胞における変動はみられないが、増殖帯軟骨細胞が減少している。軟骨細胞全体の配列は緻密になり、さらに不規則に配列している。肥大型軟骨細胞を囲む石灰化基質はさらに少なくなっている。軟骨吸収細胞も少なく、石灰化基質の侵食所見も少ない。軟骨下骨形成はさらに減少しており、骨梁はさらに疎になって軟骨細胞層より走行している (Fig. 27, 28)。

Fig. 22 Mandibular condyle. Kneaded diet group. SEM

Fig. 23 A magnification of Fig. 22. SEM

Fig. 24 A magnification of Fig. 23. SEM

Fig. 25 A magnification of Fig. 22. SEM

Fig. 26 A magnification of Fig. 22. SEM

Fig. 27 Mandibular condyle. Powdered diet group. H·E Stain ×50

Fig. 28 A magnification of Fig. 27.
H·E Stain ×200

走査電顕で観察すると、下顎頭の全体像は扁平な軟骨小腔からなる軟骨層が認められる。増殖帯軟骨層から肥大軟骨層にかけて楕円形を呈した軟骨小腔が不規則にみられ、下層には骨梁の幅の広い軟骨下骨形成帯が認められる (Fig. 29)。軟骨層の一部を拡大すると、軟骨小腔の周囲には Fig. 30 に示すように縦走基質が明瞭に索状を呈している部と不明瞭な所が認められる。軟骨下骨形成帯の一部を拡大すると、比較的大きな骨髓腔が認められ、緻密に形成された骨基質が広範囲にわたって認められる (Fig. 31)。また一方では骨梁の一部には吸収窩もみられ、窩縁の境界は不明瞭で、窩底は比較的浅い (Fig. 32)。さらに軟骨下骨形成帯の一部を拡大すると、コラーゲン原線維が密に交叉し、多数の間隙もみられ、骨小腔も認められる (Fig. 33, 34)。

2. 脛骨近位端

a. 骨端

固型飼料群の脛骨近位端の外側より 4 mm の部における脛骨骨端の組織学的構造は、ほぼ下顎頭のものと同様に、5 層の軟骨組織と骨組織からなっている。表層は軟骨細胞の長軸が関節面に平行に配列している静止帯である。静止帯の直下に位置している大小不同の軟骨細胞は増殖帯である。増殖帯の直下に位置し、石灰化基質で囲まれている肥大型軟骨細胞が存在しているのは肥大帯である。肥大帯の直下あるいは下縁に位置し、石灰化基質

Fig. 29 Mandibular condyle. Powder diet group. SEM

Fig. 30 A magnification of Fig. 29. $\times 5,000$ SEM

Fig. 31 A magnification of Fig. 29. $\times 200$ SEM

Fig. 32 A magnification of Fig. 29. $\times 750$ SEM

Fig. 33 A magnification of Fig. 29. SEM

Fig. 34 A magnification of Fig. 29. SEM

を侵食する軟骨吸収細胞が存在しているのは侵食帯である。その下は骨梁形成がみられる軟骨下骨形成帯である。増殖帯と肥大帯の間に明瞭な境界線が認められ、骨梁形成は肥大帯の下縁までみられる。骨梁は軟骨細胞層より走行しており、その表面に骨芽細胞と破骨細胞が認められる (Fig. 35, 36)。

練飼料群の脛骨骨端は固型飼料群のものとは比べ、軟骨層の厚さにおける変動はみられない。静止帯軟骨細胞における変動はみられないが増殖帯軟骨細胞の減少と肥大帯軟骨細胞の増加がみられる。軟骨細胞の配列はやや疎になり、不規則である。肥大型軟骨細胞を囲む石灰化基質は少なくなり、軟骨吸収細胞による石灰化基質の侵食

Fig. 36 A magnification of Fig. 35.

H·E Stain ×200

Fig. 35 Epiphysis of tibia. Formed diet group. H·E Stain ×50

Fig. 37 Epiphysis of tibia. Kneaded diet group. H·E Stain ×50

Fig. 38 A magnification of Fig. 37.

H·E Stain ×200

所見も少ない。軟骨下骨形成も減少しており、骨梁は減少し疎になって軟骨細胞層より走行している (Fig. 37, 38)。

粉末飼料群の脛骨骨端は練飼料群のものと比べ、軟骨層の厚さにおける変動はみられない。静止帯軟骨細胞、増殖帯軟骨細胞と肥大帯軟骨細胞による石灰化基質の侵食所見はやや減少している。軟骨下骨形成も減り、骨梁

Fig. 39 Epiphysis of tibia. Powdered diet group. H·E Stain ×50

Fig. 40 A magnification of Fig. 39.

H·E Stain ×200

はやや少なくなって軟骨細胞層より走行している (Fig. 39, 40)。

b. 骨幹端

固型飼料群の脛骨骨幹端の軟骨細胞は柱状に配列し、各細胞帯間の区画は明瞭である。骨端の構造と同様に静止帯、増殖帯、肥大帯、侵食帯および骨形成帯の5つの区域がみられる。しかし石灰化基質は肥大型軟骨細胞の柱状間隙にみられ、骨形成所見は侵食帯内にもみられ、軟骨内骨形成帯と称するものである。増殖帯と肥大帯と

Fig. 41 Metaphysis. Formed diet group.

H·E Stain ×50

Fig. 42 A magnification of Fig. 41.

H·E Stain ×200

の間に明瞭な境界線がみられる。骨梁は侵食帯より垂直に走行し、その表面に骨芽細胞が多数みられ、部分的に破骨細胞もみられる (Fig. 41, 42)。

練飼料群の脛骨骨幹端は固型飼料群のものと比べ、軟骨層における変動はみられない。静止帯軟骨細胞の変動はみられないが、増殖帯軟骨細胞の減少と肥大帯軟骨細胞の増加がみられる。軟骨細胞の配列はやや疎になり、肥大型軟骨細胞の柱状間隙にある石灰化基質は減少している。軟骨吸収細胞による石灰化基質の侵食所見も減少

している。軟骨内骨形成は減少し、骨梁の数は少なくなつて侵食帯より走行している (Fig. 43, 44)。

粉末飼料群の脛骨骨幹端は練飼料群のものと比べ、軟骨層の厚さはやや薄くなっている。静止帯軟骨細胞と肥大帯軟骨細胞の変動はみられないが、増殖帯軟骨細胞が減少している軟骨細胞の配列状態はほぼ同じであり、肥大型軟骨細胞の柱状間隙にある石灰化基質は少ない。また、軟骨吸収細胞による石灰化基質の侵食所見は少なく、軟骨内骨形成も少ない。骨梁の数はさらに減少し、よ

Fig. 43 Metaphysis. Kneaded diet group.
H·E Stain ×50

Fig. 45 Metaphysis. Powder diet group.
H·E Stain ×50

Fig. 44 A magnification of Fig. 43.
H·E Stain ×200

Fig. 46 A magnification of Fig. 45.
H·E Stain ×200

り疎になって侵食帯より走行している (Fig. 45, 46).

考 察

中尾 (1987)¹⁵⁾ は食物中のカルシウムが欠乏すると、成長期の下顎頭における軟骨細胞の成熟および骨形成に障害がみられると述べている. 木下 (1987)¹⁶⁾ は活性型ビタミンD₃を投与すると、成長期の下顎頭における骨形成の亢進作用が認められると報告している. また、橋本 (1987)¹⁷⁾ はカルチトニンの投与により、下顎頭における軟骨組織の成長と骨形成の促進作用が認められると報告している. すなわち、成長期における下顎頭は、食物という外的素因とホルモンという内的素因の多寡によって、その発育過程が左右される. Moss ら (1968)¹⁸⁾ は下顎頭の成長は、口腔内組織の機能的要求と口腔顔面筋組織により条件づけられた刺激に対する反応としている. 下顎頭の成長に及ぼす素因は、栄養素あるいはホルモンの条件以外に、咬合機能による環境も大きな素因であることはいうまでもない.

須佐美ら (1971)¹⁹⁾ による近畿、北陸地方での調査では、高校と短大生1,413名中755名 (54.9%) が不正咬合であると述べている. さらにその後、井上ら (1979)²⁰⁾ は昭和54年に岩手県衣川村の中学生を調査したところ、122名中93名 (76.2%) が不正咬合を持ち、昭和56年に鹿児島市の高校生の調査では、102名中91名 (89.2%) が不正咬合者であると指摘している. また、最近一連の日本人古代人骨における研究によると、先史時代から歴史時代における不正咬合の頻度は、早・前期縄文時代では22.4%、後・晩期縄文時代でも20.0%に対し、古墳時代では45.5%、中世52%、江戸時代56.2%と、時代の経過とともに増加しており、現代における80~90%という高頻度が、その延長線上にあると報告している^{3,4,21~24)}. 伊藤ら (1982)¹⁰⁾ は不正咬合の時代的な増加の原因として、この間に顎骨が縮小し、それによって歯と顎骨との不調和が増加していると報告している. また、縄文時代から現代にいたる顎骨の縮小における直接の原因は、各時代における食物の性状や内容が、文化の発達に伴う食生活の変化によって、粗で硬く栄養素の乏しいものから、よく調理された軟らかく栄養素の豊富なものへと移行し、それにつれて咀嚼の機能が減少したためとしている¹⁰⁾. 木村 (1987)²⁵⁾ は1972年と1987年における6歳児のパノラマX線フィルムにみられる下顎底部の皮質骨の厚さを調べたところ、1972年が3.78mmであるのに対し、1987年が3.62mmであり、15年間の歳月で小児の顎骨は小さくなっていると述べている. また、

Corruccini ら (1980)²⁶⁾ も、アメリカ黒人の関節窩が過去200年の間に縮小していると述べ、それも咀嚼の機能量の減少によるものと述べている.

山本 (1989)¹³⁾ は硬さの違う飼料を生後3週齢のラットに6週間投与し、歯槽骨と脛骨の成長に及ぼす影響につき検討している. その結果、食物の硬さの減少によって顎骨の形態および歯槽骨と脛骨の内部構造にまで成長の遅延がみられると報告している. 著者は山本 (1989)¹³⁾ の方法を基準として、硬さの異なった飼料を用いて、成長期の下顎頭、脛骨骨端と骨幹端における軟骨および骨形成に及ぼす影響を検索したので考察する.

I. X線学的所見

中尾 (1987)¹⁵⁾ は生後3週齢のラットに、カルシウム欠乏食を投与した結果、実験後3週目に下顎頭の形態が細くなり、表面が凹凸不整で骨梁の数が少なく乱れて走行し、実験後4週目には、下顎頭の表面の凹凸不整がさらに激しくなると報告している. 一方、橋本 (1987)¹⁷⁾ は生後3週齢のラットにカルチトニンを投与し、下顎頭は実験日数の経過とともに、外周の緻密な骨層が厚くなり、骨梁が増え緻密に関節面からほぼ垂直に走行していると述べている. また、Nakamura ら (1984)²⁷⁾ は hydrocortisone elcatonin および cyclophosphamide などの投与により、下顎頭に骨硬化を惹起することが確かめられたと報告している. 木下 (1987)¹⁶⁾ は生後3週齢のラットに活性型ビタミンD₃を投与し、下顎頭は実験日数の経過とともに、外周の緻密な骨層が厚くなり、骨梁は増え緻密に走行しているが、骨梁の幅が細くなっていると指摘している.

著者の実験においては、練飼料群は実験後6週目に下顎頭の外周にみられる緻密な骨層が薄くなり、骨梁の数は少なく疎になって走行している. 粉末飼料群は実験後6週目に練飼料群の下顎頭よりも小さくなり、外周の緻密な骨層はほとんどみられなく、骨梁の数はさらに減少し疎になって走行している. 粉末飼料群において下顎頭が小さくなっていることは、中尾 (1987)¹⁵⁾ の結果の一部とよく似ている現象である. しかし下顎頭の形態的变化は練飼料群にはみられなかった. このことは、下顎頭の大きさにまで影響を及ぼしていないことがわかる. しかし、山本 (1989)¹³⁾ の実験においては、練飼料群には歯槽骨の厚さの減少がみられると述べている. 本実験の結果と比べ、食物の硬さに対して、歯槽骨に及ぼす成長の影響は下顎頭よりも大きい. 橋本 (1987)¹⁷⁾、Nakamura ら (1984)²⁷⁾ 木下 (1987)¹⁶⁾ らのホルモン薬剤の投与によって、下顎頭の外周の緻密な骨層が厚くなるこ

とをみると、著者の実験にみられた食物の硬さの減少とともに、緻密な骨層が薄くなることは下顎頭の成熟遅延現象の現れであることが考えられる。

また、本実験にみられた骨梁の減少所見も、中尾 (1987)¹⁵⁾、山本 (1989)¹³⁾らの結果にも認められている。山本 (1989)¹³⁾は食物の硬さの減少により歯槽骨の骨梁に及ぼす影響と相似していることを提起している。香川ら (1987)²⁸⁾は咀嚼について実験を行い、食物の硬さに応じて噛む力、噛む回数により、咀嚼筋活動力と硬さと非常に高い相関が認められるとしている。すなわち、食物が硬くて強ければ咀嚼筋活動量が大きくなる。反面、食物の硬さは減少するほど咀嚼筋活動量も小さくなり、それによって下顎頭の成長に与える刺激も小さくなることが考えられる。

山本 (1989)¹³⁾の実験的研究をみると、練飼料群と粉末飼料群における骨間縁皮質骨と内側縁皮質骨の幅は固型飼料群のものとはほぼ同じである。しかし両群の骨組織の内部構造においては、固型飼料群に比べて骨濃度の低下がみられると述べている。本実験の脛骨骨端においては、骨端の形態と外周の緻密な骨層における変化はみられないが、骨梁の数が飼料の硬さの減少とともに減少している。山本 (1989)¹³⁾は咀嚼力とは関係がない脛骨においても、脛骨の成長障害がみられることから、今後検討を要する問題である。脛骨骨端についても、咀嚼とは関係のない部分であり、脛骨骨幹端と同様に骨組織の内部構造に影響があることは、食物の硬さの減少は単に咀嚼力の低下を起すだけでなく、摂食する栄養分まで影響されているのではないかと考える。中尾 (1987)¹⁵⁾のカルシウム欠乏性骨粗鬆症における脛骨骨端の変化は、骨端の変形、骨梁の減少と走行の乱れなどである。著者の結果と比べ、骨梁における変化はよく似ているものであり、しかもその変化は飼料の硬さの減少程度と正比例することである。著者は咀嚼力の低下によって摂食するカルシウム量も減少しているのではないかと考える。

本実験の脛骨骨幹端においては、練飼料群と粉末飼料群における骨幹端の形態変化はみられないが、骨梁の数が減少している。しかし練飼料群と粉末飼料群における骨梁の数の減少差はみられなかった。中尾 (1987)¹⁵⁾はカルシウムを欠乏すると、脛骨骨幹端の骨形成障害が最も強く、次いで脛骨骨端、下顎頭の順であると述べている。この現象は著者の実験においてはみられなかった。しかし、摂食飼料の硬さの減少によって下顎頭の成長に及ぼすだけでなく、脛骨骨端と骨幹端の骨組織の成長にまで影響を及ぼすことが実証された。

Ⅱ．破砕強度所見

骨疾患と骨組織の力学的特性との関係を調べた研究としては Weir ら (1949)²⁹⁾や Bell ら (1967)³⁰⁾の報告がみられる。Weir らはクル病食を与えたラットの骨の曲げ試験を行い、強度と弾性率が低下することおよび破壊時の最大たわみ量は増加するが弾性変形限界での相対たわみ量は逆に減少すると述べている。Bell らは骨粗鬆症の際の骨組織の変化を調べるために、さまざまな年齢のヒト脊椎骨を用いて圧縮強度と石灰化量の測定を行い、圧縮強度も骨石灰化量も加齢とともに低下するが、強度低下の方が骨石灰化量の変化よりも速く進行することおよび変形量は骨の大きさや年齢と無関係であったことを、指摘している。山本 (1989)¹³⁾は圧縮強度の他に破砕強度の変化も骨組織変化所見よりも著しく速く検出できる方法であると述べ、歯槽骨の破砕強度実験において、固型飼料群が最も強く、次いで練飼料群、粉末飼料群の順であると報告している。

著者の実験においても、同じ飼料を用いた山本 (1989)¹³⁾の歯槽骨ならびに脛骨の場合と同様に飼料の硬軟は下顎頭の強度に著しい影響を及ぼし、下顎頭は固型飼料群で最も強くなり、次いで練飼料群、粉末飼料群の順であった。また、Table 1 に示すように飼料の圧縮強さは最も硬い固型飼料で平均 93.2 kg/cm^2 、練飼料で 13.3 kg/cm^2 、粉末飼料で 0 kg/cm^2 であり、固型飼料と練飼料との間の差が約 80 kg/cm^2 あるのに対して練飼料と粉末飼料との間の差は約 13 kg/cm^2 にすぎない。それにもかかわらず、練飼料群と粉末飼料群との間には、固型飼料群と練飼料群の場合と同程度の大きな下顎頭の強さの差がみられた (Fig. 7, Table 2) 下顎頭の破砕強度が食物の硬さに対応していることは、咀嚼力の差が下顎頭の成長に影響を及ぼしていることを示唆するものであると考えられるが、とくに咀嚼をほとんど必要としなくなるほど軟い食物を摂取することによって下顎頭は著しく弱くなるものといえる。

Ⅲ．病理組織学的所見

竹島 (1987)³¹⁾の実験における正常下顎頭の CMR 所見は、粒状骨梁が縦方向に走行している **primary spongiosa**、および鋭縁をなす長い骨梁が緻密に縦方向に走行している **secondary spongiosa** を観察している。また、カルシウムが欠乏した下顎頭では、**primary spongiosa** の粒状骨梁の減少、疎で走行の乱れがみられ、**secondary spongiosa** の骨梁の減少、骨梁幅の減少と走行の乱れがみられる。反面、カルチトニンを投与した下顎頭は、**primary spongiosa** の粒状骨梁の緻密

化と **secondary spongiosa** の骨梁の鋭縁化、幅の増大と緻密化が認められると報告している。著者の実験においては、練飼料群の下顎頭 **CMR** 所見は、**primary spongiosa** の粒状骨梁の厚さが薄くなって疎に走行しており、**secondary spongiosa** の骨梁も少なく疎に走行している。さらに粉末飼料群になると、**primary spongiosa** の粒状骨梁の厚さはより薄くなって疎に走行している。固型飼料群の下顎頭 **CMR** の所見はほぼ竹島 (1987)³¹⁾ の正常下顎頭 **CMR** 所見と一致するものであるが、練飼料群および粉末飼料群などの飼料の軟化によって、下顎頭の所見もカルシウムが欠乏した下顎頭と似た所見を呈することとなる。山本 (1989)¹³⁾ も食物の硬さの減少によって歯槽骨の内部構造は、カルシウムが欠乏した所見と同様な所見であると述べている。とくに下顎頭の **primary spongiosa** は、食物の硬さの減少に対する影響に対してより敏感に反応するようである。

下顎頭における一般組織所見をみると、固型飼料群は軟骨組織と骨組織が規則正しく明瞭に区分され、下顎頭の成長がみられる。走査電顕で観察すると、軟骨層および軟骨下骨形成帯は緻密に形成されている。軟骨小腔壁は緻密な縦走基質としてみられ、骨小腔の分布量も豊富で骨形成も旺盛に行われている。練飼料群では軟骨層の厚さにおける変動はみられないが、静止帯軟骨細胞の減少、増殖帯軟骨細胞と肥大帯軟骨細胞の増加がみられる。一方軟骨吸収細胞による石灰化基質の侵食所見は少なく、軟骨下骨形成も少ない。走査電顕で観察すると、軟骨層から軟骨下骨形成帯は明瞭に認められる。骨小腔は短小片からなる骨基質によって囲まれている。小腔の底部には数個の骨細管がみられる。粉末飼料群においては、下顎頭の軟骨層は薄くなり、とくに増殖帯軟骨細胞の減少が著しい。軟骨吸収細胞はさらに少なく、石灰化基質の侵食所見も少なくなっており、軟骨下骨形成がさらに減少している。走査電顕で観察すると、軟骨層には楕円形を呈した軟骨小腔が不規則にみられ、下層には骨梁の幅の広い軟骨下骨形成帯が認められる。軟骨小腔の周囲には縦走基質が明瞭に索状を呈している部と不明瞭な所が認められる。比較的大きな骨髓腔も認められる。中尾 (1987)¹⁵⁾ のカルシウム欠乏実験においては、下顎頭軟骨層の厚さは肥大型軟骨細胞の増加によって厚くなり、一部に増殖帯軟骨細胞の増減もみられるとしている。また、軟骨吸収細胞の減少と石灰化基質の減少もみられ、骨形成はさらに少なくなると述べている。一方、Nagayama ら (1985)³²⁾ の生後23日のラットの低カルシウム実験においては、ラットの下顎頭は実験後3週目

に軟骨層あるいは肥大帯軟骨細胞の数はほぼ対照群のものと同じであると報告している。Shoshan ら (1971)³³⁾ は170gのラットの低カルシウム食実験においては、実験後17週目の下顎頭を病理組織学的に観察したところ、軟骨層は減少したと述べている。著者の実験における下顎頭の軟骨層は、食物の硬さの減少によって薄くなることは中尾 (1987)¹⁵⁾ の結果と相反する規象である。その中でも肥大帯軟骨細胞があまり増加しないことは、カルシウムが欠乏した下顎頭の所見とは根本的に異なった結果であるものと考える。中尾 (1987)¹⁵⁾ は肥大帯軟骨細胞が増加することは、軟骨吸収細胞の減少による結果であるとしている。本実験においても、軟骨吸収細胞の減少もみられるが、肥大帯軟骨細胞の増加があまりみられなかった。増殖帯軟骨細胞の増減反応をみると肥大帯軟骨細胞の増加規象がみられなかった場合は、増殖帯軟骨細胞は食物の硬さの減少とともに減少するようである。カルシウム欠乏による肥大帯軟骨細胞の増加は軟骨吸収細胞の減少によるものといわれている¹⁵⁾。しかし、本実験においても軟骨吸収細胞の減少もみられたが、肥大帯軟骨細胞の増加はあまりみられなかった。それは増殖帯の減少によるものではないかと考える。すなわち、食物の硬さの低下は下顎頭の増殖帯軟骨細胞の増殖に直接影響し、下顎頭の成長に障害を及ぼしているようである。また、軟骨吸収細胞の減少によって石灰化基質の侵食所見が少なくなり、それに軟骨下骨形成も少なくなっている。

中尾 (1987)¹⁵⁾ のカルシウム欠乏の脛骨骨端においては、軟骨の変化はほぼ下顎頭と同様に軟骨層の増加がみられ、そのほとんどが肥大帯軟骨細胞の増加によるものであると述べている。著者の実験の脛骨骨端では、食物の硬さの減少による軟骨層の変動はみられないが、増殖帯軟骨細胞の減少と肥大帯軟骨細胞の増加がみられる。脛骨骨端の変化と食物の硬さの減少とは関係がない部位である。軟骨細胞の変化がみられることは単に食物の成分の吸収差によるものではないかと考える。また、本実験の脛骨骨端における軟骨吸収細胞による石灰化基質の侵食所見も少なく、軟骨下骨形成が減少したことから、カルシウム欠乏所見と同様に、食物の軟化によってカルシウムの吸収が減少したものと思われる。

結 論

3週齢の Wistar 系雄ラットに、固型飼料群、練飼料群および粉末飼料群の硬さの異なった飼料を与え、飼育6週間後に成長期下顎頭、脛骨骨端および骨幹端に及

ばす影響を検索し、次のような結果を得た。

1. X線学的所見

1) 下顎頭は固型飼料群に比べ練飼料群の外周にみられる緻密な骨層は薄くなり、骨梁の数は少なく疎になって走行していた。粉末飼料群は練飼料群に比べさらに小さくなり、外周の緻密な骨層はほとんどみられなく、骨梁の数はさらに減少し、疎になって走行していた。

2) 脛骨骨端および骨幹端は、固型飼料群に比べ練飼料群の形態的变化はみられないが、骨梁の数がやや減少して走行していた。粉末飼料群は練飼料群に比べ骨梁はさらに減少していた。

2. 破砕強度所見

下顎頭の破砕強度は固型飼料群に比べ練飼料群と粉末飼料群は低下し、さらに粉末飼料群は練飼料群に比べ低下していた。

3. 病理組織学的所見

1) Contact microradiogram の所見

下顎頭は固型飼料群に比べ練飼料群の CMR における primary spongiosa の粒状骨梁はやや疎で、secondary spongiosa の骨梁も減少し疎になって走行していた。粉末飼料群の CMR における primary spongiosa の粒状骨梁は練飼料群に比べさらに疎に走行していた。

2) 一般組織所見

i) 固型飼料群の下顎頭は軟骨層、骨形成層ともに正常な成長がみられた。走査電顕で観察すると、軟骨層および軟骨下骨形成帯は緻密に形成されていた。軟骨小腔壁は緻密な縦走基質としてみられ、骨小腔の分布量も豊富で骨形成も旺盛に行われていた。練飼料群は固型飼料群に比べ軟骨層の厚さの変動はみられないが、静止帯軟骨細胞の減少および増殖帯軟骨細胞と肥大帯軟骨細胞の増加がみられた。軟骨吸収細胞による石灰化基質の侵食所見および軟骨下骨形成所見は少なかった。走査電顕で観察すると、軟骨層から軟骨下骨形成帯は明瞭に認めら

れた。骨小腔は短小片からなる骨基質によって囲まれていた。小腔の底部には数個の骨細管がみられた。粉末飼料群における軟骨層は練飼料群のものよりもやや薄くなり、増殖帯軟骨細胞が減少していた。軟骨吸収細胞による石灰化基質の侵食所見と軟骨下骨形成はさらに固型飼料群に比べ減少していた。走査電顕で観察すると、軟骨層には楕円形を呈した軟骨小腔が不規則にみられ、下層には骨梁の幅の広い軟骨下骨形成帯が認められた。軟骨小腔の周囲には縦走基質が明瞭に索状を呈している部と不明瞭な所が認められた。比較的大きな骨髓腔も認められた。

ii) 脛骨骨端および脛骨骨幹端は、固型飼料群に比べ練飼料群の軟骨層における変動はみられないが、増殖帯軟骨細胞の減少と肥大帯軟骨細胞の増加がみられた。軟骨吸収細胞による石灰化基質の侵食所見は少なく、軟骨下骨形成、軟骨内骨形成も減少していた。粉末飼料群は練飼料群に比べ軟骨吸収細胞による石灰化基質の侵食所見と軟骨内骨形成は減少していた。

以上のことから、食物の硬さの減少によって下顎頭の軟骨組織の成長および骨形成に影響を及ぼすことがわかった。

稿を終るにあたり、終始ご懇切なるご指導とご校閲を賜った恩師木村光孝教授に深甚なる感謝の意を捧げます。骨の破砕試験に関してご指導頂いた歯科理工学講座の小園凱夫教授にお礼申し上げます。あわせて、実験にご協力戴きました九州歯科大学小児歯科学教室員各位にお礼申し上げます。

本論文の要旨は昭和63年5月22日第48回九州歯科学会総会、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ならびに平成元年5月21日第49回九州歯科学会総会において発表した。

引用文献

- 1) 埴原和郎：人類進化学入門，中央公論社，東京，1972，3—192.
- 2) 鈴木 尚：日本人の骨，岩波書店，東京，1978，1—215.
- 3) 亀谷哲也：中世日本人の顎顔面形態．歯界展望 56：635—643，1980.
- 4) 井上直彦：歴史時代における咬合の退化．歯界展望 56：435—444，1980.
- 5) 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.
- 6) Watt, D.G. and Williams, H.M.: The effects of the physical consistency of food on the growth and development of the mandible and maxilla of the rat. *Amer. J. Orthod.* 73: 895—928, 1951.

- 7) Barber, C.G., Green, L.J. and Cox, C.J. : Effects of the physical consistency of the diet on the condylar growth of the rat mandible. *J. Dent. Res.* **42** : 848—851, 1963.
- 8) Moore, W.J. : Masticatory function and skull growth. *J. Zool.* **146** : 123—131, 1965.
- 9) Beecher, R.M. and Corruccini, R.S. : Effects of dietary consistency on craniofacial and occlusal development in the rat. *Angle Orthod.* **51** : 61—69, 1981.
- 10) 伊藤学而・黒江和斗・安田秀雄・井上直彦・亀谷哲也 : 顎骨の退化に関する実験的研究.
日矯歯誌 **41** : 708—715, 1982.
- 11) 藤田拓男 : カルシウムバイブル, あき書房, 東京, 1985, 64—66.
- 12) 川島四郎 : もっとカルシウム もっと青野菜. 実験之日本社, 東京, 1986, 18—22.
- 13) 山本英次 : 顎骨の成長に関する実験的研究—食物の軟化による歯槽骨の変化—. 九州歯会誌 **43** : 448—472, 1989.
- 14) 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.
- 15) 中尾利夫 : 成長期顎骨における骨粗鬆症—下顎頭の変化—. 九州歯会誌 **41** : 46—67, 1987.
- 16) 木下孝昭 : 活性型ビタミンD ($1\alpha\text{-OH-D}_3$) の成長期顎骨に及ぼす影響に関する実験的研究—とくに下顎頭の変化—. 九州歯会誌 **41** : 593—622, 1987.
- 17) 橋本敏昭 : カルチトニンの成長期顎骨に及ぼす影響に関する実験的研究—とくに下顎頭の変化—. 九州歯会誌 **41** : 886—915, 1987.
- 18) Moss, M.L. and Rankou, R. : The role of the functional matrix in mandibular growth. *Angle Orthod.* **38** : 95—103, 1968.
- 19) 須佐美隆三・浅井保彦・広瀬浩三・細井達郎・林 勲・滝本貞蔵 : 不正咬合の発現に関する疫学的研究.
1. 不正咬合の発現頻度—概要—. 日矯歯誌 **30** : 221—229, 1971.
- 20) 井上直彦・高木興氏・桑原未代子・伊藤学而 : いわゆる discrepancy と保隙の効果について. 小児歯誌 **17** : 177—183, 1979.
- 21) 伊藤学而 : 中世日本人における discrepancy. 歯界展望 **56** : 825—833, 1980.
- 22) Hanihara, K., Inoue, N., Ito, G. and Kamegai, T. : Microevolution and tooth to denture base discrepancy in Japanese dentition. *J. Anthropol. Soc. Nippon* **89** : 63—70, 1981.
- 23) Kamegai, T., Kuragano, S. and Hanihara, K. : Secular change of dentofacial morphology during Japanese historic ages. *J. Anthropol. Soc. Nippon* **90** : 303—313, 1982.
- 24) Shiono, K., Ito, G., Inuzuka, K. and Hanihara, K. : Dentofacial morphology of Japanese skeletal remains from later Jomon period. *J. Anthropol. Soc. Nippon* **90** : 259—268, 1982.
- 25) 木村光孝 : 成長発育期の顎骨に及ぼすカルシウムの影響—とくに歯槽骨と下顎頭の変化—. 福岡県歯科医師会誌 **40** : 1—11, 1987.
- 26) Corruccini, R.S. and Handler, J.S. : Temporomandibular joint size decrease in American blacks: Evidence from Barbados. *J. Dent. Res.* **59** : 1528, 1980.
- 27) Nakamura, T. and Kanada, S. : Radiographic evaluation of effects of calcitonin, hydrocortisone and cyclophosphamide on the mandibular condylar of growing rat. 日歯放 **23** : 242—245, 1984.
- 28) 香川芳子・柳沢幸江 : 噛むことを忘れた現代人, 噛まない人はだめになる (咀嚼研究センター設立推進グループ編). 風人社, 東京, 1987, 15—44.
- 29) Weir, J.B., Bell, G.H. and Chambers, J.W. : The strength and elasticity of bone in rats on a rachetogenic diet. *J. Bone and Joint Surg.* **31B** : 444—451, 1949.
- 30) Bell, G.H. and Dunbar, O. : Variations in strength of vertebrae with age and their relation to osteoporosis. *Calc. Tiss. Res.* **1** : 75—86, 1967.
- 31) 竹島 勇 : 実験的骨粗鬆症に対するカルチトニンの効果に関する研究—とくに下顎頭に及ぼす影響—. 九州

歯会誌 41 : 1025—1051, 1987.

- 32) 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.* 46 : 693—703, 1985.
- 33) Shoshan, S. and Pisanti, S. : The metabolic effect of low calcium intake on collagen of bones and dental structures in the rat. *Arch. Oral Biol.* 16 : 791—800, 1971.