

飼料中のタンパク、脂肪の組成がマウスの歯質性状に及ぼす影響

飯塚 康之

岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座

(主任 : 石川 富士郎 教授)

(受付 : 1997 年 10 月 17 日)

(受理 : 1997 年 11 月 20 日)

Abstract : This study was done to examine the effects of protein and fat contents in the diet of mice on the resistance to demineralization of a tooth and the distribution of calcium and phosphorus in the enamel and dentine. Since the maternal generation, the mice were bred and given a diet of different contents ; group H (high-protein : high-fat diet), group L (low-protein : low-fat diet) and group C (normal content diet). Electron probe X-ray microanalysis (EPMA) was used to determine the amount of calcium and phosphorus in the tooth.

The results were as follows : 1) The resistance to demineralization of the tooth was lower in a low-protein and low-fat diet, and increased with the additional content of protein and fat in the diet. Reach and over some amount, the tooth size had a tendency to increase because of the diet, but the increase of resistivity was not remarkable. 2) Among the three groups, no particular difference of the concentrations in weight percent of both calcium and phosphorus was confirmed. 3) In all groups, both of the elements increased in the concentration in weight percent, from the surface to the inner limit of one third of the outer enamel layer. In the area of two thirds of the inner enamel layer decreased slightly toward the dentinoenamel junction. In the dentine layer, these two elements gradually increased in the concentration toward the depth of the tooth. 4) The resistance to demineralization of tooth group L was significantly lower than group H or group C. It is suggested that the intake of protein and fat in the formative period of a tooth may influence the resistance to demineralization.

Key words : nutrition, teeth, resistance to demineralization, calcium, phosphorus

緒 言

日本人の歯は徐々に大きくなってきており、最近の 20 ~ 30 年という短期間にも歯冠幅径が増大してきていることが報告されている^{1~4)}。このことは、近年増加の傾向にある不正咬合の原因として、軟食による顎骨の発育不全ばかりではなく、歯冠幅径の増大に伴う歯と顎骨の不調和も大きい要因であることを示している。こ

の歯冠幅径が増大している原因として、Suzuki³⁾ は、歯質形成期における栄養摂取量、特にタンパクと脂肪の摂取量の増大が影響していることを指摘している。栄養が歯の大きさに及ぼす影響については、成長に必要な基本栄養素の一部あるいは飼料摂取を制限することによって歯冠が小さくなる傾向にあることを指摘している報告が多い^{5~8)}。Riesenfeld⁷⁾ は、離乳したラットを飢餓状態を生じるほど極端に少

The effect of protein and fat contents in the diet on the properties of tooth of mice.

Yasuyuki Iizuka

(Department of Orthodontics, School of Dentistry, Iwate Medical University, Morioka, 020 Japan)

岩手県盛岡市中央通 1 丁目 3 - 27 (〒020)

Dent. J. Iwate Med. Univ. 22 : 256 - 263, 1997

ない飼料で飼育すると臼歯は小さくなり、逆に栄養価の高いミルクで飼育すると、臼歯は大きくなることを報告している。また、中野ら⁹⁾は、高タンパク高脂肪食摂取のマウスの歯が普通食や低タンパク低脂肪食を摂取したマウスよりも大きかったと報告している。これらのことは、現代日本人にみられる歯冠形態の増大が、高栄養摂取への食生活の変化^{10,11)}と関わっていることを示すものである。しかし、この高栄養摂取が歯の構造や組成にどのような影響を及ぼすかについて検討した研究は、著者の渉猟した範囲においては木津¹²⁾や中井¹³⁾の報告があるにすぎない。この中で彼らは飼料中の炭水化物、タンパク、脂肪の組成が齲蝕の発生頻度ならびに程度に及ぼす影響について調べている。

そこで本研究では、栄養摂取の違いが歯の大きさのみならず歯質の性状にまで影響を及ぼす可能性について、人工初期齲蝕の形成による脱灰抵抗性試験によって間接的に歯の構造を把握し、また、Electronprobe X-ray microanalysis (EPMA) によるエナメル質と象牙質におけるCaとP元素の量的な分布状態を検討した。

材 料 と 方 法

1. 材料

中野ら⁹⁾の方法に準じ、Jcl: ICR 系純系マウス (F0 世代) を交配時 (9 週齢) から、高タンパク高脂肪食群 (H 群: 粗タンパク 29%, 粗脂肪 8%), 低タンパク低脂肪食群 (L 群: 粗タンパク 12%, 粗脂肪 4%), コントロール群 (C 群: 粗タンパク 20%, 粗脂肪 6%) に分けて飼育した。なお、飼料中のミネラル、ビタミン類は3群とも同一とした。F0 から生まれた子 F1 は3週間哺乳させ、4週齢から親と分離して飼育した。そして5週齢で屠殺した。H, L, C の3群ともに雌雄 11 匹ずつ下顎骨を剖出し、パバイン処理して軟組織を除去した後、水洗、自然乾燥して乾燥下顎骨を得た。さらに、実験に先立ち、エナメル質表面を湿润状態に置くためにこの試料を蒸留水中に24時間浸漬した。各群11匹の下顎骨のうち8匹の下顎骨を脱灰抵抗

性試験に用い、残りの3匹の下顎骨をEPMAによる元素分析に用いた。

2. 方法

(1) 脱灰抵抗性試験

in vitro で脱灰を行うための人工初期齲蝕の形成は、歯が植立した状態の下顎骨を6wt%カルボキシメチルセルロースを含む0.1M乳酸ゲル (pH=5) に37℃で1週間浸漬した^{14,15)}。その後、試料を水洗、乾燥し、即時重合レジン (Ortho Crystal, ニッシン社) に包埋した。これを硬組織切断機 (Isomet Low Speed Saw, Buehler 社) を用いて薄切し、下顎右側臼歯の頬舌側中央を通る矢状断平行切片を作製した。

この切片と5段階からなるアルミニウムステップウエッジ (30 μ m~150 μ m) を共に微粒子型ポジティブフィルム (フジフィルム社) 上に密着させ、軟X線発生装置 (PW-1830 X-ray generator, Philips 社) を用いて、microradiograph (MR) を撮影した。X線照射条件は、20 kV, 20 mA, 4分で被写体管球間距離は35 cmとした。撮影したフィルムは、20℃に保った現像液 (コレクトール, フジフィルム社) で5分間現像し、定着液 (フジフィックス, フジフィルム社) に5分間浸漬した後、30分間水洗してから自然乾燥した。

作製したMR像は、光量を一定の条件に設定した顕微鏡像として捉え、CCDカメラ (CS 8310, 東京電子工業社) を介してパーソナルコンピュータ (Power Macintosh 8500/150, Apple 社) に8 bit のデジタル画像として入力した。これらの画像をInaba ら¹⁶⁾の開発したミネラル画像定量法 (CAV) ならびにミネラル指標解析ソフト (MDA)¹⁷⁾ を用いて分析し、マウス下顎右側第三臼歯の遠心面から歯髄腔に向かう脱灰深度 (Lesion depth: l_d , μ m) ならびにミネラル喪失量 (Mineral loss value: ΔZ , vol% $\cdot \mu$ m) を計測した (Fig. 1, 2)。なお、3群間における要因ならびに平均値の差の統計学的有意性は、一元配置分散分析 (ANOVA) ならびにNewman-Keul の多重比較法により検討した。

(2) EPMA による元素分析

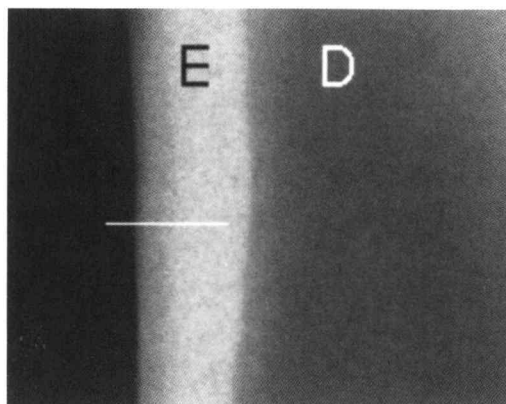


Fig. 1. Analyzed area of the microradiograph is shown in the white line.

E : Enamel
D : Dentine

歯の植立した状態にある右側下顎骨を試料埋込樹脂 (No.6300, 丸本工業社) に包埋した。作製した樹脂ブロックを硬組織切断機を用いて下顎臼歯の頬側咬頭頂を通る矢状断で切断し、その表面を試料研磨機 (ドクターラップ, マルター社) を用いて、鏡面研磨した。白金蒸着後, X線マイクロアナライザー (JXA-8900L 型, 日本電子社) を用いて, 3 群とも下顎右側第三臼歯遠心側のエナメル質ならびに象牙質の Ca と P 元素の定量分析マップを得た。マップ上において, 第三臼歯遠心面に対して直交する一定の幅を持った線上で表面から歯髄腔に向かって線分析を行った。以上の分析条件は加速電圧: 15.0 kV, 試料電流: 0.2 nA, ビーム径: 0.2 μm , 作業距離: 11.0 mm, 分光結晶: PETH とした。分析データの定量化は今回使用した X 線マイクロアナライザー本体に登録されている純物質のデータに基づいた CAL STD モードを用いて行った。

結 果

脱灰抵抗性試験における脱灰深度 (l_d , μm) は, Fig. 3 に示すように, L 群が $70.9 \pm 17.9 \mu\text{m}$ (mean \pm S. D.) と H 群の $54.9 \pm 5.9 \mu\text{m}$ に対し有意差 ($P < 0.05$) を認めたが, C 群 $59.9 \pm 4.7 \mu\text{m}$ とに有意な差は認められなかった。また, ミ

Mineral, vol%

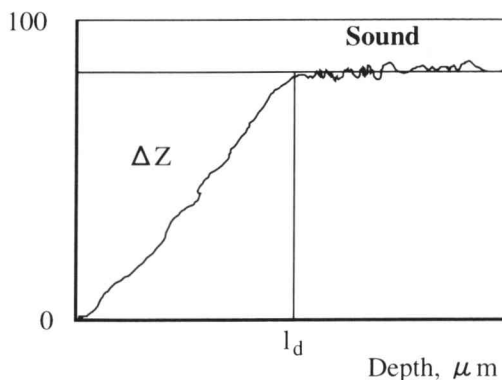


Fig. 2. Schematic mineral distribution and parameters assessed.

l_d : Lesion depth
 ΔZ : Mineral loss value

ネラル喪失量 (ΔZ , vol% $\cdot\mu\text{m}$) は, Fig. 4 に示すように L 群が $2,632 \pm 562 \text{ vol}\% \cdot \mu\text{m}$ で, H 群 $2,095 \pm 148 \text{ vol}\% \cdot \mu\text{m}$ と C 群 $2,195 \pm 163 \text{ vol}\% \cdot \mu\text{m}$ 両方に対し, 有意差 ($P < 0.05$) を示した。これらの結果より脱灰に対する抵抗性は, 低タンパク低脂肪食群のほうが高タンパク高脂肪食群やコントロール群に比べて有意に低かった。

EPMA による Ca ならびに P 元素の濃度 (重量%) を示す定量分析マップは Fig. 5 に示した。上段に Ca 元素の濃度の分布図を, 下段に P 元素の分布図を示した。エナメル質, 象牙質ともに, H, C, L 3 群間における Ca と P の濃度に特徴的な傾向は認められなかった。しかし, Fig. 5 に示す 2 本の赤線の間の範囲における線分析による元素の濃度の推移を同じマップ上の赤い折れ線グラフで示してあるが, Ca ならびに P 元素のエナメル質表面から象牙質深部にかけての濃度の推移は, 3 群とも以下のような同じ傾向を示した。エナメル質では全層の外側 1/3 で内側に向かって極くわずかな増加があり, 表層 1/3 の深さからエナメル象牙境に向かって軽度の減少を示した。象牙質ではエナメル象牙境から深層に向かって高くなる傾向がみられた。

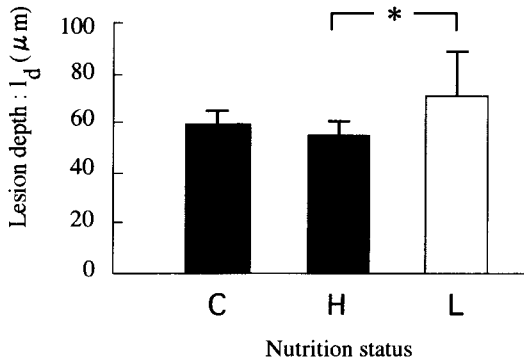


Fig. 3. Relationship between nutrition status and lesion depth.

C : group C (normal content diet)

H : group H (high-protein : high-fat diet)

L : group L (low-protein : low-fat diet)

* $p < 0.05$

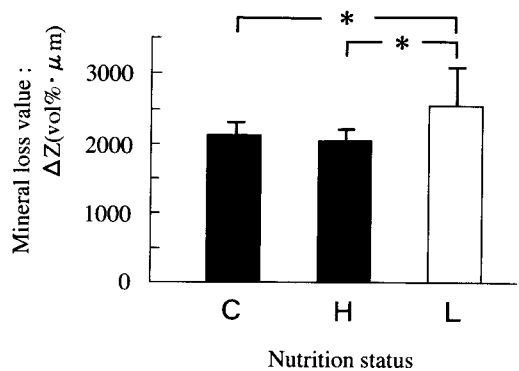


Fig. 4. Relationship between nutrition status and mineral loss value.

C : group C (normal content diet)

H : group H (high-protein : high-fat diet)

L : group L (low-protein : low-fat diet)

* $p < 0.05$

考 察

栄養摂取と歯の大きさに関して、タンパク等の摂取制限によって歯が小さくなる傾向を示すのは第三臼歯が最も顕著で、咬頭の欠如するものも認められている⁶⁾。中野ら⁹⁾も、飼料の条件を変えることによって現れる歯の大きさの差は第三臼歯において最も大きかったと報告している。歯冠の形態は、歯胚の石灰化開始期に大きさが急速に増大する¹⁸⁾といわれており、マウスの第三臼歯は、生後11～12日目に石灰化が開始することから、母乳を介した母体の影響を強く受けることが報告されている^{5, 18~21)}。本実験ではこのような点を考慮して母親の世代から飼料を変えて飼育し、被験歯には第三臼歯を選択した。

一般に齲蝕は、細菌叢、唾液の性状、小窩・裂溝の形態、ショ糖などに加えて歯質の状態も影響することが知られている。本実験では、歯質の性状を調べるために、齲蝕の影響をできるだけ排除する目的で人工的な脱灰実験を行い、評価歯面は自浄性の良い第三臼歯遠心最大豊隆部とした。元素分析については、3群間の比較が目的であり、定量精度はさほど高くなくとも問題なかったため、EPMAの本体に登録され

ている純物質のデータを使ったCAL STDモードを用いて定量した。

今回行った脱灰抵抗性試験において、脱灰に対する抵抗性は、低タンパク低脂肪食群のほうが高タンパク高脂肪食群やコントロール群に比べて有意に低かった。木津¹²⁾および中井¹³⁾はカゼイン量が減少すると実験的齲蝕の発生が増加することを示しているが、今回の結果も脱灰というプロセスにおいて同様の傾向であった。齲蝕発生の増加の理由について中井¹³⁾は、タンパクの減少が直接齲蝕の発生を惹起するためか、あるいは、タンパクの減少がショ糖の高齲蝕誘発性を助長するのか、いずれかによるものと推測している。しかし、歯の形成におけるタンパクの関わりは、エナメル質の形成過程では、初期にタンパク基質によってエナメル質の外形が形成される。その後、その基質の有機成分と水分が消失し、そのスペースにミネラルが添加されることで石灰化の機能亢進が起り、エナメル質の結晶の厚さや幅が成長するといわれている²²⁾。また、象牙質の形成においても、まず、有機性基質であるコラーゲンの形成が開始され、基質が形成されると基質小胞による初期石灰化がおこり象牙前質がつくられる。その後行われる象牙質の石灰化においてもカルシウムと結合

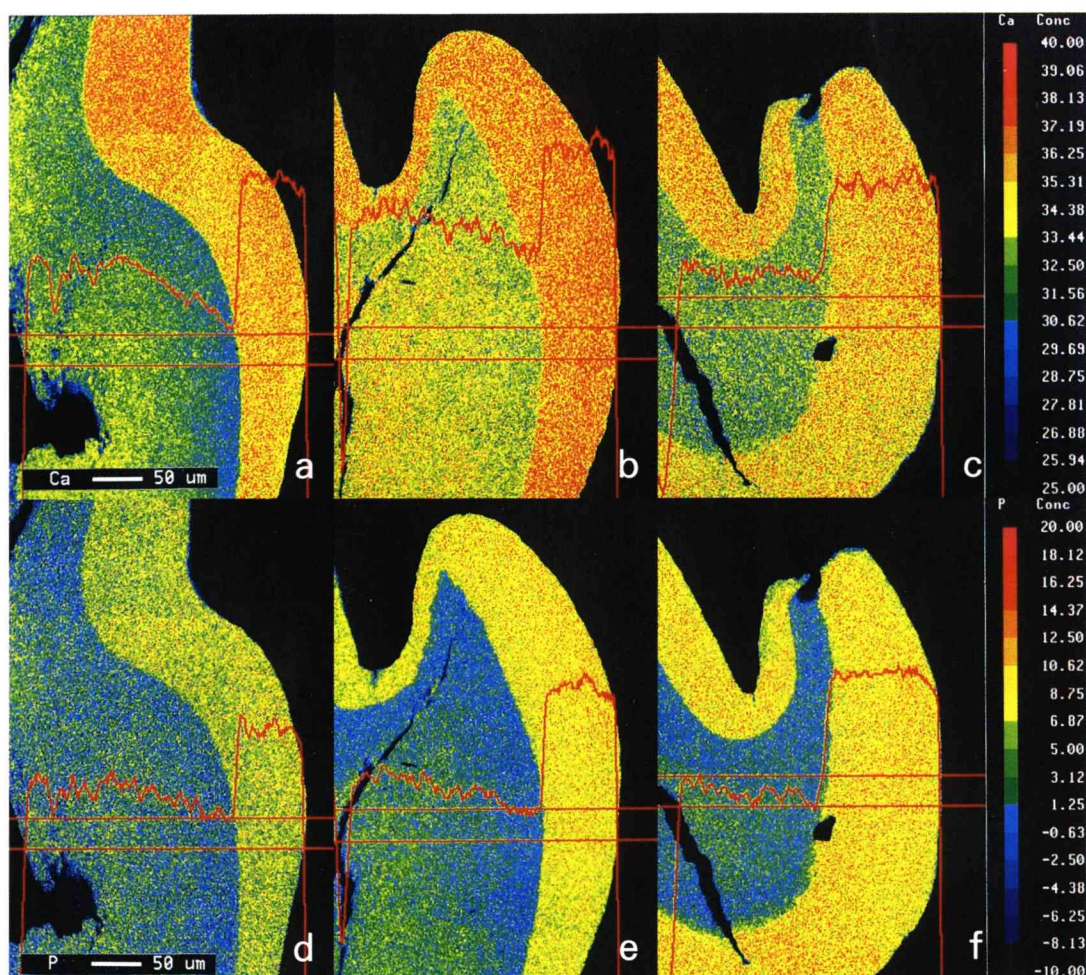


Fig. 5. Typical distribution area maps of calcium and phosphorus by means of EPMA.

- a : The map of calcium in the group H
- b : The map of calcium in the group C
- c : The map of calcium in the group L
- d : The map of phosphorus in the group H
- e : The map of phosphorus in the group C
- f : The map of phosphorus in the group L

The elementary analysis was made between the two horizontal red lines, and the results of concentration in weight percent of that element are shown in the red broken line.

する能力を有するリンタンパク（ホスホリン）が関与している可能性が示唆されている²²⁾。タンパク欠乏に伴う栄養障害の影響として歯の基質形成異常が生じ、そのため石灰化も不十分となり、ときには歯冠形態や歯の構造の異常を生じるという意見もある^{23~25)}。

これらのことから、本実験でL群がH群やC群に比べて脱灰抵抗性が低かったのは、L群

においては、歯の形成過程におけるタンパクの摂取量が充分でなかったために歯の形成に影響が生じたと考えられる。

一方、タンパク摂取量の違いは、Caの生体における出納にも影響を及ぼし、摂取タンパクが中等度レベル以上存在すればCa吸収に差はみられないが、低タンパクのときにはCaの吸収率、体内保留率の低下をみたとの報告がある²⁶⁾。

このことから、体内へのCa取り込みにおいても摂取タンパク量の低下は歯の石灰化に不利な条件として働いていることが考えられ、脱灰抵抗性の低下に関わっていることが推察される。

一方、脂質と歯の形成についてWuthier²⁷⁾は、酸性リン脂質の中でホスファチジルセリンがカルシウムと結合して無定型リン酸カルシウムを安定化させ、その役割は明かではないが石灰化機構に関与している可能性を示唆している。しかし、詳細は不明で、脱灰抵抗性と脂質の関わりについては現状では明かでない。

歯質の脱灰に影響を与える因子として結晶の大きさや結晶の密度があるが、結晶の大きさには、CaならびにPの沈着量が、また、結晶の密度は、タンパク基質の形成状態が関与していると考えられる。前述したように、タンパクは、Caの生体内への取り込みを含めた歯の基質形成ならびに石灰化に重要な役割を果たしており、タンパク欠乏に伴う栄養障害として歯の基質形成異常を生じ、そのため石灰化も不十分となることが理解される。EPMAによるCaとPの定量分析は、濃度（重量%）による組成を中心とした分析方法である。従って、歯のハイドロキシアパタイト結晶におけるカルシウムの沈着量や結晶密度を定量的に検出することはできない。低タンパク飼料で飼育したシロネズミの歯において、中井¹³⁾はCaとP含有量の低下を、伊藤²⁸⁾はタンパク系成分ならびにCa含有量の低下を生化学的に確認していることから、本実験における脱灰程度の差は結晶の大きさ、あるいは密度の違いによって引き起こされた可能性が高いと思われる。

さらに、歯質の脱灰に影響を与える因子として結晶の構造欠陥やイオン置換に基づく格子不整、結晶分子組成なども考えられている。

TravisとGlimcher²⁹⁾は、エナメル質の成熟につれて結晶内に転位や不連続、あるいは格子欠陥が生じてくると考えている。しかし、森脇³⁰⁾は、結晶成長は格子不整の修復に先行するものの、結晶子が大きくなるにしたがって格子不整も徐々に減少すると述べている。結晶に存

在する格子不整は歯に対する衝撃等の物理的、あるいは齲蝕などの化学的侵襲に対する弱点となり、格子不整の部分が優先的に崩壊し、そこが発端となって結晶が崩壊することが知られている³¹⁾。このような機序と今回の結果の関連については、結晶構造の解析が必要である。

結晶組成については、アパタイト結晶の Mg^{2+} 、 $(CO_3)^{2-}$ の含有量が増えると溶解度は高くなり、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 F^{-} の含有量が増えると溶解度は低くなることが知られている³²⁾。本実験における3群間の飼料では、ミネラル分の組成は同じであることから結晶組成の違いによる脱灰抵抗性の差はあまり考えられない。

今回H群はC群に比べるとわずかに脱灰抵抗性が高かったが、2群間に有意差は認められなかった。中井¹³⁾は、たとえタンパクを多量に与えても、いわゆる正常タンパク量といわれるある一定の量以上では、骨および歯の灰分、CaおよびP含有量は増加しないこと、またそれによって齲歯の発生を抑制することも不可能であることを報告しており、今回の脱灰抵抗性試験における傾向はこのことを示すものと考えられた。

中野⁹⁾によれば、高タンパク高脂肪食群のマウスの第三臼歯の大きさはコントロール群より有意に大きく、タンパクならびに脂肪の摂取量の増大にともなって歯の大きさも増大する傾向を認めている。今回の結果をこの報告と照らし合わせて考えると、マウスの歯の脱灰抵抗性は、飼料中のタンパク・脂肪の含有量の増加に伴って増強するが、ある一定量以上になると歯の増大傾向は続くものの、抵抗性の増加は認められなくなることがわかった。

EPMAを用いた元素分析で、3群間における濃度の高低は、個体差が激しいためか特徴的な傾向を見いだすことはできなかったが、Fig. 5に示すように、エナメル質における傾向は、Frankら³³⁾の生化学的に検討した報告に一致していた。本法において、歯の結晶の大きさや密度の差から、脱灰程度の違いを生じているかを明らかにすることはできなかったが、この点に

については、今後X線回折や透過型電子顕微鏡などによる検討が必要であると考えられた。

結 語

飼料中のタンパク、脂肪の含有量の違いによる、歯の脱灰抵抗性ならびにエナメル質と象牙質におけるCa、P元素の分布状態について検討した。その結果以下のことが明かになった。

1. 歯の脱灰抵抗性は、飼料中のタンパクならびに脂肪の含有量が少ない場合には低く、増加とともに向上するが、その含有量がある一定以上になると、歯の大きさが増大する傾向にあっても、脱灰に対する抵抗性の向上は顕著には認められなかった。

2. Ca、Pの元素分析において3群間における元素濃度に特徴的な傾向は認められなかった。

3. Ca、Pの線分析において、3群ともエナメル質における両元素の重量%濃度は、エナメル質全層の外側約1/3では表面から内側に向かって極くわずかな増加が認められ、そこからエナメル象牙境にかけてわずかな減少を示していた。一方、象牙質においては、3群ともにエナメル象牙境から深層に向かって両元素の濃度の低下が認められた。

4. L群はH群とC群に比べて脱灰抵抗性が有意に低く、歯の形成期におけるタンパクならびに脂肪の摂取量の影響が示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始懇篤なる御指導、御校閲を賜りました岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座石川富士郎教授、岩手医科大学歯学部予防歯科学講座米満正美教授に深甚なる謝意を表します。また、数々の御教示、御助言をいただきました岩手医科大学歯学部予防歯科学講座稲葉大輔助教授と岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座亀谷哲也客員教授と中野廣一講師ならびに岩手県立博物館の赤沼英男博士に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 上村健太郎, 山内和久, 九良賀野進, 井上直彦, 桑原未代子, 亀谷哲也: 鹿児島地区における咬合とdiscrepancyの世代差, 日矯歯誌, 42: 409-418, 1983.
- 2) 上村健太郎, 伊藤学而: 現代日本人における歯の大きさの世代差—第2報—, 日矯歯誌, 48: 636-637, 1989.
- 3) Suzuki, N.: Generational differences in size and morphology of tooth crowns in the young modern Japanese. *Anthropol. Sci.* 101: 405-429, 1993.
- 4) 久保田公雄, 鶴岡好明, 川崎泰右, 上明戸芳光, 尾崎 公: 近代日本人の歯冠近遠心径および頬舌径との関係, 日大口腔科学, 17: 442-453, 1991.
- 5) Searle, A. G.: Genetical studies on the skeleton of the mouse. XI. The influence of diet on variation within pure line. *J. Genet.* 52: 413-424, 1954.
- 6) Holloway, P. J., Shaw, J. H., and Sweeney, E. A.: Effects of various sucrose: casein ratios in purified diets on the teeth and supporting structures of rats. *Ach. Oral. Biol.* 3: 185-200, 1961.
- 7) Riesenfeld, A.: The effect of environmental factors on tooth development. *Acta. Anat.* 77: 188-215, 1970.
- 8) 小野晴美, 黒江和斗, 大迫恒伸, 吉田礼子, 二木みか, 上村健太郎, 伊藤学而: 歯胚形成期の栄養状態と歯冠の大きさに関する実験的研究, 西日矯誌, 34: 18-23, 1989.
- 9) 中野廣一, 鈴木尚英, 添野一樹, 亀谷哲也, 石川富士郎: 高タンパク・高エネルギー食の摂取が歯の形成とその大きさに及ぼす影響に関する研究, 平成2・3年度科学研究費補助金(一般C 課題番号02670927)研究成果報告書, 1-30, 岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座, 岩手.
- 10) 吉田 勉, 藤森 泰: 日本における食生活の問題点, 栄養誌, 41: 343-351, 1983.
- 11) 山口百子, 岩谷昌子, 吉池信夫, 松村康弘, 田中平三, 伊達ちぐさ, 中山健夫, 山本 卓: 国民栄養調査によるエネルギー摂取量と食料需給表による供給量のかい離, 栄養と食糧, 46: 252-255, 1993.
- 12) 木津弘司: 幼若白鼠における栄養成績と齲歯の発生について, 歯科学報, 61: 512-535, 1961.
- 13) 中井一仁: 乳児栄養に関する実験的研究 第29報 低蛋白試料に種々の必須アミノ酸を添加した幼若シロネズミの栄養成績及び骨の灰分Ca及びP含有量について, 日児誌, 70: 170-174, 1966.
- 14) Inaba, D., Iijima, Y., Takagi, O., Ruben, J., and Arends, J.: The influence of air-drying on hyper-remineralization of demineralized dentine: A study on bulk as well as on thin wet section of dentine. *Caries Res.* 29: 231-236, 1995.
- 15) Inaba, D., Ikeda, H., Takagi, O., Yonemitsu, M., and Arends, J.: The influence of laser irradiation on the remineralization of demineralized dentine.

- tion on the acid resistance of demineralized enamel grooves *in vitro*. *J. Dent. Health* 46, 683-687, 1996.
- 16) Inaba, D., Takagi, O., and Arends, J.: A computer-assisted videodensitometric method to visualize mineral distributions in *in vitro* and *in vivo* formed root caries lesions. *Eur. J. Oral Sci.* 105 : 74-84, 1997.
- 17) Inaba, D., Tanaka, R., Takagi, O., Yonemitsu, M., and Arends, J.: Computerized measurements of microradiographic mineral parameters of de- and remineralized dental hard tissues. *J. Dent. Health* 47 : 67-74, 1997.
- 18) Ooe, T. and Nomata, N.: Mesio-distal growth of the deciduous front tooth germs in man. *Bul. Tokyo Med. Dent. Univ.* 10 : 513-522, 1963.
- 19) Cohn, S. A.: Development of the molar teeth in the albino mouse. *Am. J. Anat.* 101 : 295-319, 1957.
- 20) 村居正雄: マウス下顎臼歯発育の遺伝学的研究, *Japan J. Genetics*, 50 : 73-90, 1975.
- 21) Deol, M. S. and Truslove, G. M.: Genetical studies on the skeleton of the mouse. XX. Maternal physiology and variation in the skeleton of C57BL mice. *J. Genet.* 55 : 288-312, 1957.
- 22) 大塚吉兵衛, 榑 鉄也, 安孫子宜光, 阿部公生, 加藤節子, 藤田 厚: スタンダード口腔生化学, 第1版, 学建書院, 東京, 84-100 ページ, 1996.
- 23) 中山義之: 歯科栄養学, 第2版, わかば出版, 東京, 145 ページ, 1979.
- 24) 島田義弘: 予防歯科学, 第2版, 医歯薬出版, 東京, 147 ページ, 1987.
- 25) Mühlemann, H. R.: Nutrition, tooth formation and caries susceptibility. *Symp. Swed. Nutr. Found.* 3 : 9-20, 1965.
- 26) 鈴木和春, 五島孜郎: 食事性たんぱく質, カルシウム出納との関係, *栄養誌*, 34 : 57-62, 1976.
- 27) Wuthier, R. E.: The role of phospholipids in biological calcification. *Clin. Orthop.* 90 : 191-200, 1973.
- 28) 伊藤博夫: 乳児栄養に関する実験的研究 第33報 飼料中の蛋白質量と骨格及び歯牙の蛋白質組成との相互関係ならびにそれに及ぼす蛋白同化ホルモンの影響に関する研究(第2報) 飼料中の蛋白質量が歯牙の蛋白質組成に及ぼす影響について, *歯科学報*, 66 : 899-905, 1966.
- 29) Travis, D. F., and Glimcher, M. J.: The structure and organization of, and the relationship between the organic matrix and the inorganic crystals of embryonic bovine enamel. *J. cell Biol.* 23 : 447-497, 1964.
- 30) 森脇 豊, 可兒徳子, 古座谷 隆, 堤 定美, 下出直悠, 山賀礼一: 牛歯エナメル質の成熟に伴う結晶性の変化について, *歯理工誌*, 9 : 78-85, 1968.
- 31) 一条 尚: ヒトの歯と骨の結晶の微細構造, *歯界展望*, 74 : 1031-1038, 1989.
- 32) 岡崎正之: 歯と骨をつくるアパタイトの化学, 東海大学出版会, 東京, 36-41 ページ, 1992.
- 33) Frank, R. M., Capitant, M., and Goni, J.: Electron probe studies of human enamel. *J. dent. Res.* 45 : 672-682, 1966.