モルモット臼歯の神経分布に関する研究

(付) 骨様象牙質の形成状態について

九州歯科大学口腔病理学講座 (指導: 上野正康教授)

安 部 榮 一 郎

昭和58年4月21日受付

本論文の要旨は, 昭和57年5月29日第42回九州歯科学会総会において発表した.

A Study of Nerve Distribution in Molar Teeth of Guinea Pigs

—with Formation State of Osteodentin—

Eiichiro Abe

Department of Oral Pathology (Director: Prof. Masayasu Ueno)

Kyushu Dental College, Kitakyushu, Japan

Changes in histological structures with growth, especially the formation state of osteodentin in the occlusal third of the teeth, and nerve fibers distributed in the teeth and periodontal tissue were investigated with use of lower molar teeth of guinea pigs from birth to five months after birth when they reach maturity.

The results were as follows:

1. The molar teeth of guinea pigs immediately after birth are mature teeth in miniature and morphologically present the structures similar to those of mature teeth.
2. In the occlusal third of the molar teeth of guinea pigs, osteodentin enclosing cells and blood vessels was observed and its width increased gradually with growth and development. At three months after birth, three of six cases showed osteodentin occupying a third or more of the width of the dentin. At five months after birth four of five cases showed significant formation of osteodentin occupying more than a half of the dentin width.
3. The formation of osteodentin seems to center around dystrophic calcification resulting from metabolic disturbance in the pulp tissue caused by chronical and continuous stimulation of attrition and by nutritional deficiency due to narrowing of the pulp cavity.
4. In correspondence with the fact that the molar teeth of guinea pigs at birth already have structures similar to those of the mature ones, the distribution pattern of nerve fibers is also similar to that of the mature ones. The nerve fibers merely increased slightly with growth in the number and diameter.

5. Most of the nerve fibers distributed in the pulp and periodontal membrane run monotonously in parallel to the tooth axis and no formation of large bundles or plexus was observed.

6. Most of the nerve fibers entering into the pulp from the dental papilla entrance showed bending or meander. From the narrow of the pulp cavity to inside the narrow canal, nearly sound nerve fibers with fine branches and nerve fibers with various degeneration such as swelling, laceration, or granular decomposition were observed.

7. The nerve fibers distributed in the pulp were a mixture of unmyelinated and myelinated nerve fibers and seemed to consist mainly of sensory nerves.

8. The nerve fibers distributed in the periodontal membrane also were a mixture of unmyelinated and myelinated nerve fibers. Many of the nerve fibers in the gingival lamina showed free nerve endings or club-shaped nerve endings. These fibers are mostly related to touch sensation but those related to pain sensation also were thought to exist.

結 言

齧歯動物の中には、歯牙の根尖部にエナメル器を有し、常に胎生期、歯牙発生時の状態におかれているものが多い。中でもモルモット臼歯は、先端では絶えず咬耗し、根尖末端より成長を続ける無根歯で、舌側溝、頬側溝を有する独特な層板構造を示す。この独特かつ複雑な構造のため、モルモット臼歯の組織学的研究に関しては、古くから幾つかの論議がなされてきた。モルモット臼歯の構造を比較的詳細に観察したものには、Gottliebら(1923)¹⁾、Sicher(1923)²⁾、Santoné(1935)³⁾、Hunt(1959)⁴⁾、工藤(1976)⁵⁾、田中(1980)⁶⁾などの報告がある。また、実験的に壊血病を起こさせたモルモットの臼歯を組織学的に研究した報告も数多くみられる⁷⁻²¹⁾。

無根歯においては、生理的な咬耗により切端が消耗していくけれども、この失地回復のために、歯髓先端部は不規則な象牙質により閉塞されていく。モルモット臼歯先端部においても、細胞や血管を封入した不規則な構造をもつ象牙質、いわゆる骨様象牙質がみられるけれども、この形成に関しては未だ十分一致した見解は得られていないようである。また、一生萌出し続ける無根歯では、歯根の完成した歯牙に比べてその神経線維の分布に関しては非常に興味のあるところである。モルモット臼歯における神経線維の分布を観察したものには、上野ら(1958)²²⁾、Bernick(1966)²³⁾の報告があるが、それらは断片的で十分な説明はなされておらず、また、成長発育に伴う神経線維の分布状態を調べたものは全くみ

られない。

そこで著者は、出生直後から成熟に至る生後5カ月までのモルモット下顎臼歯を経日的に採取し、その組織学的構造、とくに先端にみられる骨様象牙質の形成状態を中心に観察するとともに、成長発育に伴う歯牙および歯周囲組織における神経線維の分布に関しても検索を行い、興味ある知見を得たので報告する。

研究材料および方法

研究材料としては、出生直後から生後5カ月目までのモルモット下顎臼歯を用いた。対象としたものは、出生直後7例(平均体重82g)、生後1週齢6例(同116g)、2週齢6例(同166g)、3週齢6例(同195g)、1カ月齢7例(同264g)、2カ月齢7例(同301g)、3カ月齢6例(同452g)、5カ月齢5例(同782g)の計50例である。

以上のモルモットを撲殺後、下顎骨のみを採取し、直ちに神経固定液に投入した。固定後、50%ギ酸と20%クエン酸ナトリウムの等量混合液にて脱灰を行い、通法に従い、脱水脱脂後、パラフィン包埋を行った。その後、近遠心的縦断方向に10μの連続切片を作製し、Hematoxylin-Eosin 重染色とUngewitterによる尿素硝酸銀法のPowers変法をさらに改良した本教室独自の手法による神経染色を施した。

観 察 結 果

所見を述べるにあたって、便宜上、成熟したモルモット臼歯の縦断切片における各部の名称および構造を簡単

に述べ、その後成長発育に伴う組織構造を述べる。

1. モルモット臼歯の縦断切片における基本構造

モルモット臼歯部は、前臼歯、第1臼歯、第2臼歯、第3臼歯の計4本より成り、歯牙の大きさは、前臼歯が最も大きく、第1臼歯、第2臼歯、第3臼歯の順となっている。各歯牙は大きさが異なるだけで、基本的な組織形態には相異は認められない。

各臼歯は、切歯のような単一体ではなく、象牙質を主体とする3つの部分体、近心板、中央板、遠心板の結合により構成されている独特な層板構造を示す(写真1)。

下顎第2臼歯の縦断切片の模式図を図1に示す。

各部分体は、細い結合部によって連絡しており、根端部には、各歯髓腔に共通の中胚葉組織と4つのエナメル器を有している。象牙芽細胞が象牙質を形成する位置より咬端側を歯髓、それより下部を歯乳頭と呼んでおり、根端部では、3つの歯乳頭がつながって歯根膜組織に移行している。この領域では、中胚葉細胞が疎に分布しているが、歯乳頭入口付近では、細胞の分布が密となり、歯髓に入ると再び疎な分布に戻る。

咬合面に向かって象牙質の幅が増すにつれて、歯髓腔

下顎第2臼歯縦断切片模式図

略 号 説 明

AM : エナメル芽細胞	D : 象牙質	EO : エナメル器	OB : 象牙芽細胞
AL : 歯槽骨	DPL : 歯乳頭	GE : 歯肉上皮	P : 歯髓
CC : 軟骨様セメント質	DP : 遠心板	MPL : 近心板	PF : 歯根膜線維
CP : セメントパール	E : エナメル質	MES : 中胚葉組織	PM : 歯根膜
CPL : 中央板			

図 1

写真1 生後2カ月
第2臼歯縦断切片全体像

は漸次狭窄されていき、その後は断続的な細管様構造をとりながら咬合面に至っている。

エナメル器は、星状細胞が疎に分布するエナメル髄とその周囲をとりまく中間層細胞、内エナメル上皮細胞、外エナメル上皮細胞より成る。

内エナメル上皮細胞は、根端部ではほとんど紡錘形であるが、咬端側に向かうにつれて背の高い円柱状のエナメル芽細胞に分化してエナメル質を形成する。エナメル芽細胞が円柱状を示す部位のエナメル質は、基質成分が豊富であるが、急速に背丈が減少して立方形の退化エナメル上皮細胞に変化するにつれて、エナメル質の石灰化

も高度となる。退化エナメル上皮細胞は、咬合面表層まで配列し、エナメル質もずっと象牙質を被覆しているが、咬合面では、象牙質はエナメル質に被覆されずに露出している。

根端側の内エナメル上皮細胞に接して、中胚葉細胞から分化した紡錘形の象牙芽細胞が配列し、咬合面に向かって象牙質を形成していく。

各層板間、即ち、近心板と中央板、中央板と遠心板の間には、頰側溝、舌側溝という深い陥入部がみられ、その中は軟骨様セメント質で満たされている。軟骨様セメント質は、大小不揃いの細胞を均質無構造な基質が取り囲む軟骨様組織に類似した構造を呈している。

軟骨様セメント質とエナメル器の間には、比較的血管に富む未分化な中胚葉組織が認められる。

エナメル質に接する軟骨様セメント質には、セメントパールが介在している。

歯周組織は、歯肉、歯根膜、歯槽骨より成っている。

歯肉固有層は、比較的細胞成分に富み、その間を歯根膜線維が走行している。

歯槽骨は、各々の歯牙をとり囲んでおり、各歯牙間の歯槽中隔は、根端部では幅広く、咬合面へと向かうにしたがって次第に幅が狭くなる。

エナメル質に接する歯根膜表層には、軟骨様セメント質でみられたものと同様のセメントパールが介在し、エナメル質と歯根膜線維を結合している。

2. 出生直後

一般組織所見

第3臼歯を除く残り3本の臼歯は、すでに萌出している。第3臼歯は、7例ともすべて半埋伏であった。

咬合面に向かって象牙質の幅が増加するにつれて歯髓腔は漸次狭窄されていき、歯牙全長の $\frac{1}{2}$ あたりで最も狭窄し、その後、髓腔は断続的な細管様構造をとりながら咬合面に至っている。このような狭窄歯髓や細管様構造内では、細胞の変性や萎縮が著しく血管の充血も著明であるが、炎症性細胞浸潤はほとんど認められない(写真2)。

歯牙全長の $\frac{1}{2}$ 近くまでの象牙質の構造は、象牙細管がほぼ規則正しく配列して均一な石灰化像を呈している。

歯髓内が狭窄するにつれて象牙質の幅は広がっていくが、髓腔内の組織の変性や充血が著明になるのに対応して象牙質の構造にも変化がみられる。歯髓狭窄部から咬合面に至るまでの細管様構造内には、変性した細胞や充血血管が含まれており、その一部は均質無構造な基質中に封入され、いわゆる骨様象牙質が形成される。その周

囲の象牙細管の走行はほぼ規則的であるが石灰化の程度には、不規則な層があり、その中に歯牙長軸に平行な成長線が数本認められる。最外層においては、石灰化の高度な象牙質がとりまいている（写真3）。

エナメル器につづく上部には未分化な間葉組織がみられ、エナメル髓内の星状細胞よりやや密に細胞が集合しており、血管も充血調を呈している。

歯牙全長の $\frac{1}{2}$ あたりから咬合面に至るまでの溝状部には、軟骨様セメント質が満たされているが、充血管や中胚葉細胞を多く介在させている。咬合面に近い部の軟骨様セメント質間に介在する中胚葉細胞は、変性や萎縮を生じている。

エナメル質に接する軟骨様セメント質や歯根膜には、歯牙全長の $\frac{1}{2}$ あたりから咬端部に向けてセメントパールが認められるが、数も少なく石灰化の程度も低い。

歯肉上皮は、角化が著明である。根基底部の歯槽骨は1本の歯牙をとりまくようにみられ、各歯牙間では、根端側 $\frac{1}{2}$ 近くまで形成されているが、骨梁は細く網状となっており、未熟な線維骨形態を呈している。

神経分布所見

すでに萌出している3本の臼歯歯髓内における神経線維の分布に関しては、ほとんど差異は認められず、それに比べて第3臼歯歯髓の神経分布量は、極く少量であった。

この時期の神経線維は、Schwann細胞を伴って走行する未熟なものが多く、軸索がわずかに膨隆しているものもみられる。

歯髓および歯根膜に分布する神経線維は、無髓線維がほとんどであるが、時折、有髓線維も混在していた。

歯乳頭入口付近から歯髓内に進入する神経線維は、2、3本の小束をなして走行しており、血管に伴伴しているものが多い。この領域では、神経線維は、屈曲、蛇行する走行を示した（写真4）。

歯髓中央部では、神経線維は歯牙の長軸に平行な単調な走行を示し、大きな神経束や叢の形成はなく、分岐や吻合もみられなかった。この部の神経線維は、多くは2、3本の小さな束をなして血管に伴伴して走行しているが、時々、単独に血管から離れて走行するものもみられた（写真5）。これらの神経線維は、歯髓中央部で終止するものが多いが、時折、狭窄された歯髓内に伸長するものもみられた。

歯髓狭窄部では、比較的健全に近い姿を呈する神経線維（写真6）と、膨化、断裂などの変性像を示す神経線維が混在していた。全長の $\frac{1}{2}$ より咬端部における細管様構

造内には、神経線維は認められなかった。

歯根膜に分布する神経線維も歯髓内と同様に、ほとんどのものが歯牙の長軸に平行な単調な走行を示した。根端部近くでは、神経線維は、歯槽骨に接するように5、6本の束をなして走行していた。歯槽骨の形成が未熟な付近から固有層にかけては、神経線維は単独に走行したり、2、3本の束をなして走行していた（写真7）。中には、歯肉上皮内に進入する神経線維もみられた（写真8）。

写真2 出生直後
歯髓狭窄部（H・E）

写真3 出生直後
歯牙中央部から咬合面（H・E）

写真4 出生直後
歯乳頭入口付近（神経）

写真6 出生直後
歯髓狭窄部（神経）

写真5 出生直後
歯髓中央部（神経）

写真7 出生直後
歯槽骨側（神経）

写真8 出生直後
歯肉上皮内 (神経)

写真9 生後1週
歯髄狭窄部 (H・E)

3. 生後1週

一般組織所見

臼歯は、4本とも完全に萌出している。

歯髄は、出生直後と同様、歯牙全長の $\frac{1}{2}$ あたりで狭窄しており、この部では細胞の変性や萎縮が著しく、線維化や充血も認められる。咬合面に至るまでの断続的な細管様構造内には、変性した細胞や充血血管などが含まれている。

歯髄の狭窄部から咬合面に至るまでの象牙質の構造も、出生直後と同様で、中央部に細胞や血管を封入した骨様象牙質がみられ (写真9)、その周囲には石灰化の不規則な象牙質がとりまき、最外層には高度に石灰化した象牙質が認められる。

出生直後に比べて、各層板間を埋めている軟骨様セメント質の割合が増加しており、また、歯槽骨骨梁の幅がわずかに広がっている。

神経分布所見

出生直後に比較して、わずかに数の増加を認める。

歯乳頭入口付近から歯髄内に進入する神経線維は、屈曲、蛇行を示している。

歯髄中央部を走行する神経線維は、2, 3本の小束をなして血管に随伴するものもあれば、単独に走行するものもみられたが、ほとんどが歯牙の長軸に平行な単調な走行を示した。歯髄の中央部のみでなく、象牙芽細胞層付近を走行する神経線維もみられたが (写真10)、象牙芽細胞内に進入するものは認められなかった。

写真10 生後1週
象牙芽細胞層付近 (神経)

狭窄歯髄内では、健全に近い神経線維と変性を被った神経線維が混在していた。

歯根膜に分布する神経線維は、エナメル質側より歯槽骨壁を走行するものが多く、その走行は、歯牙の長軸に平行な単調なものばかりで、時折、未熟な歯槽骨の間隙を走行するものもみられた。固有層付近では、Schwann細胞を伴う神経線維が、単独にあるいは2, 3本の束をなして走行している (写真11)。この中には、時折、

写真11 生後1週
歯肉固有層 (神経)

写真13 生後1週
未分化中胚葉組織内 (神経)

写真12 生後1週
歯肉上皮内 (神経)

写真14 生後2週
歯髄狭窄部 (H・E)

有髄線維が混在していた。固有層内で終止するものもあれば、上皮内で終止するものもみられた (写真12)。

軟骨様セメント質内には、神経線維は認められないが、その下方の未分化な中胚葉細胞が存在する領域には、未熟な神経線維が散在していた (写真13)。

4. 生後2週

一般組織所見

歯髄が狭窄された部位では、前期例のものとはほぼ同様

の変化、即ち、変性や萎縮、線維化、充血などが認められる (写真14)。

狭窄された部位から咬合面に至るまでの象牙質の構造も前期例と比較して著変はなく、細胞や血管を封入した骨様象牙質 (写真15)、石灰化の不規則な象牙質、石灰化の高度な象牙質の3層がみられる。

神経分布所見

歯髄内における神経線維の分布量は、前期例のものと

写真15 生後2週
骨様象牙質（H・E）

写真16 生後3週
骨様象牙質（H・E）

さほど変化はみられない。

歯乳頭入口付近で屈曲，蛇行した神経線維は，歯髓中央部では，歯牙長軸に平行な単調な走行を示す。

歯牙全長の $\frac{1}{2}$ あたりにみられる狭窄して細管様構造を示す中にも神経線維は認められるが，それらは，膨化，断裂が強く，崩壊寸前の姿を呈していた。

歯根膜における神経線維の分布量も，前期例のものに比してさほどの変化はみられなかった。

5. 生後3週

一般組織所見

狭窄した歯髓およびそれをとり囲む象牙質の構造は，前期例と比べて著変は認められない（写真16）。

軟骨様セメント質は，根端側 $\frac{1}{3}$ あたりから咬合面に至るまでをほとんど満たしており，細胞や血管の封入は少なくなっている。

歯槽骨の緻密化は前期例のものよりかなり進行している。

神経分布所見

前期例のものと比較して，歯髓および歯根膜ともに神経線維の数に若干の増加が認められる。Schwann細胞を伴う無髓神経線維が，単独にあるいは2，3本，4，5本の束をなして走行しており，その中に時折有髓線維が混在している（写真17）。

6. 生後1カ月

一般組織所見

歯牙全長の上方 $\frac{1}{3}$ あたりから歯髓は狭窄し，内部に変

写真17 生後3週
歯槽骨側（神経）

性した組織を認める。細胞の変性や萎縮，線維化などのみられる範囲が，前期までのものに比べてやや広がっている。

石灰化の不規則な象牙質は，歯髓が狭窄された部位よりもやや下方の位置から認められ，歯牙長軸に平行な5，6本の成長線が，はっきりみえるようになる。また，変性した細胞や充血血管を含む細管様構造をとりまく均質無構造な骨様象牙質の幅も，前期例のものに比べてわ

写真18 生後1ヵ月

骨様象牙質 (H・E)

ずかに増加している (写真18)。その周囲の象牙細管の不規則な象牙質にも、成長線が数本認められる。最外層においては、高度に石灰化した象牙質がとりまいている (写真19)。

軟骨様セメント質は、前期例同様、根端側 $\frac{1}{3}$ あたりから咬合面に至るまでの層板間の頰側溝内および舌側溝内をほとんど満たしている。

エナメル質に接する軟骨様セメント質や歯根膜にみられるセメントパールは、根端側 $\frac{1}{3}$ あたりから存在し、前期までのものに比べて数も増し、石灰化も高度になっている。

歯牙間にみられる歯槽中隔は、全体的に幅が広く、骨梁の幅も広がっている。また、歯槽頂部の骨の添加も歯牙全長の $\frac{1}{3}$ 近くまでみられている。

神経分布所見

前期までのものに比べると、神経線維の数は増しており、また径の太いものも多くなっている。

歯乳頭入口付近の神経線維は、屈曲、蛇行を示しているが、必ずしも中央部を走行するものばかりでなく、象牙芽細胞層付近を走行するものも認められる。また、2, 3本の小束が並列して走行するもの、有髄線維を混在するものなどもみられた (写真20)。

歯髓の中央部から狭窄部にかけては、2, 3本の小さな線維束が、血管に随伴したり、単独に離れて走行したりしているが、分岐や吻合を示すものはなく、すべて歯牙長軸に平行な単調な走行を示し、釣針状や尖鋭状の終

写真19 生後1ヵ月

歯牙中央部から咬合面 (H・E)

写真20 生後1ヵ月

歯乳頭入口付近 (神経)

末をもって終止するものが認められた (写真21)。

狭窄部近くまで束をなしていた神経線維は、各々単独に走行するようになる。線維化のみられる領域では、これらの線維から繊細な分枝の放出がみられ、迂回、迂曲、時には弧状の走行を示して終止している。また、細管様構造内に伸長していく神経線維もみられ、歯髓組織の変性、萎縮が著しく、充血が著明な領域においては、健全な像を呈したり、繊細な分枝を出して終末をなした

写真21 生後1カ月
歯髄中央部（神経）

写真23 生後1カ月
歯槽骨側（神経）

写真22 生後1カ月
歯髄狭窄部（神経）

写真24 生後1カ月
歯肉固有層（神経）

り、膨化、断裂、染色性の低下などの変性所見を呈するものもみられる（写真22）。

咬端部 $\frac{1}{2}$ 以上の細管様構造内には、神経線維は認められない。

歯根膜に分布する神経線維も太い径のものが増加している。根端部近くを走行する神経線維は、歯槽骨壁側を走行しており、無髄線維や有髄線維が小束をなしている（写真23）。歯槽頂付近や歯肉固有層では、Schwann 細

胞を伴う細い神経線維が、単独にあるいは2、3本の束をなして走行している（写真24）。多くの神経線維は、この領域で尖鋭状や棍棒状の終末形態をとっており、分岐して終末をなすものや特殊な終末形態は認められなかった。

7. 生後2カ月

一般組織所見

象牙質の構造の中で、均質無構造な骨様象牙質の幅

が、前期例に比べてやや増加しており、封入された細胞や充血血管の数も増加している（写真25）。

歯牙間にみられる歯槽骨の幅は、前期例よりもさらに広くなり、骨梁の幅も広くなって緻密化が進んでいる。

神経分布所見

前期までのものと比較して太い径の神経線維が増加している。

歯乳頭入口付近から歯髓中央部を走行する神経線維

は、前期例のものと同じような分布を示している。

狭窄歯髓部から細管様構造内においては、前期例同様、健全に近い繊細な神経線維が走行する場合（写真26）もあれば、膨化、断裂、顆粒状崩壊などの種々の変性を呈する場合（写真27）もみられた。

歯根膜に分布する神経線維も前期例のものとさほど変化はみられない（写真28）。

8. 生後3カ月

写真25 生後2カ月
骨様象牙質（H・E）

写真27 生後2カ月
歯髓狭窄部（神経）

写真26 生後2カ月
歯髓狭窄部（神経）

写真28 生後2カ月
歯槽骨側（神経）

一般組織所見

歯髄は、根端側 $\frac{1}{3}$ あたりで狭窄しており、狭窄部にみられる細胞の変性や萎縮、線維化などを示す領域が、前期例に比べてわずかに拡がっている (写真29)。

歯髄狭窄部から咬合面に至るまでの髓腔や細管様構造をとりまく象牙質の構造には、2つのタイプがみられた。

6例中3例は、生後2カ月でみられたものとほぼ類似した構造を示した。

ところが、残りの3例には、著明な骨様象牙質の形成が認められた。歯髄狭窄部から咬端側 $\frac{1}{4}$ に至るまでの象牙質の構造は、前期までのものによく似ている。象牙質の中央部に細胞や血管、細管様構造を含む均質無構造な骨様象牙質がみられ、その周囲には石灰化の不規則な象牙質がみられるが、この象牙質の中に象牙細管の走行が乱れて細胞や血管を封入した骨様象牙質が介在している。咬端側 $\frac{1}{4}$ から咬合面に至る領域では、骨様象牙質が象牙質全体の幅の $\frac{1}{3}$ 以上を占めている (写真30)。骨様象牙質には、均質無構造な基質の中に変性や萎縮した細胞、壊死細胞の残遺物、充血血管などが含まれている (写真31)。骨様象牙質の周囲には、石灰化の不規則な象牙質がとりまき、最外層には石灰化の高度な象牙質がみられる。

神経分布所見

歯髄および歯根膜を走行する神経線維は、Schwann細胞を伴う未熟なものは少なくなり、2, 3本、時には

写真29 生後3カ月

歯髄狭窄部 (H・E)

写真30 生後3カ月

歯牙中央部から咬合面 (H・E)

写真31 生後3カ月

骨様象牙質 (H・E)

4, 5本の神経線維が束をなして走行するものも多く、その中に有髓線維を混在するものも多くみられた (写真32)。

狭窄された歯髄から細管様構造内における神経線維は、前期例のものと同様、健全な線維から分岐して、迂曲、蛇行を示すもの (写真33)、膨化、断裂、顆粒状崩壊などの変性を示すもの (写真34) がみられた。

9. 生後5カ月

写真32 生後3カ月
歯髄中央部（神経）

写真34 生後3カ月
歯髄狭窄部（神経）

写真33 生後3カ月
歯髄狭窄部（神経）

一般組織所見

出生直後のものと比較すると、歯牙の全長は約1.5～2倍近くに増大している。歯牙の基本的な組織形態は、出生直後のものと大差はみられない。

生後3カ月でみられた著明な骨様象牙質の形成が、この時期では5例中4例に認められた。歯髄は、根端側1/3あたりから急速に狭窄しており、その周囲の石灰化の不規則な象牙質の中に数本の成長線が認められる（写真

35）。髓腔が断続的になるにつれて、中央部に細胞や血管を封入した骨様象牙質の幅が増し、その周囲には成長線を伴う石灰化の不規則な象牙質がみられる。咬端側1/3から咬合面に至るまでの領域では、骨様象牙質の幅が象牙質の幅の1/2以上を占めている（写真36）。その中には、生後3カ月でみられたものと同じような変性や萎縮した細胞、壊死細胞の残遺物、充血血管などが数多く封入されている（写真37）。その周囲には、骨様象牙質をとり囲む石灰化の不規則な象牙質が一層みられ、最外層には高度に石灰化した象牙質が認められる。

各層板間は、根端側1/3から咬合面に至るまでほとんど軟骨様セメント質で占められている。

エナメル質に接する軟骨様セメント質や歯根膜にみられるセメントパールは、根端側1/3あたりから存在している。

歯肉固有層は、比較的細胞成分に富んでおり、その間を歯根膜線維が歯牙どうしを結合させるように走行している。

各臼歯間の歯槽中隔は、根端部では幅広く、咬合面に向かうにつれて次第に狭くなり、歯牙全長3/4付近で頂をなしている。歯槽骨の形態は、線維骨ではなくかなり緻密化している。

神経分布所見

神経線維の径の太さや数は、前期例のものとはほとんど差異は認められない。

歯乳頭入口付近から歯髄に入る神経線維は、2、3本

写真35 生後5ヵ月
歯髄狭窄部 (H・E)

写真37 生後5ヵ月
骨様象牙質 (H・E)

写真36 生後5ヵ月
象牙質咬端部 (H・E)

写真38 生後5ヵ月
歯乳頭入口付近 (神経)

の小束をなして屈曲，蛇行しながら進入している (写真38)。

歯髄中央部を走行する神経線維は，血管に随伴するものと単独に走行するものがみられるが，すべて歯軸に平行な単調な走行を示し (写真39)，大きな束や叢の形成，分岐や吻合などはほとんど認められない。

組織の変性が著明な狭窄歯髄では，小束をなして伸長してきた神経線維が分散傾向を示す (写真40，41)。さ

らに狭窄部から細管様構造内には，健全に近いもの，繊細な分枝を出すもの，膨化，断裂，顆粒状崩壊などの変性を示すものなど，様々な態度を示す神経線維がみられた (写真42，43)。

咬端側 $\frac{1}{8}$ から咬合面に至る領域では，神経線維は認められなかった。

歯根膜に分布する神経線維も，ほとんどのものが2，3本の束をなして，歯牙の長軸に平行な単調な走行を示

写真39 生後5ヵ月
歯髄中央部（神経）

写真41 生後5ヵ月
歯髄狭窄部（神経）

写真40 生後5ヵ月
歯髄狭窄部（神経）

写真42 生後5ヵ月
歯髄狭窄部（神経）

写真43 生後5カ月
歯髄狭窄部 (神経)

写真44 生後5カ月
未分化中胚葉組織内 (神経)

していた。歯肉固有層では、尖鋭状や棍棒状の終末形態をとるものが認められたが、特殊な終末はみられなかった。

エナメル器と軟骨様セメント質間に介在する未分化な中胚葉組織では、Schwann 細胞を伴う未熟な神経線維が多数走行していた (写真44)。

〔一般組織所見の総括〕

出生時では、第3臼歯のみが半埋伏の状態、前臼歯、第1臼歯、第2臼歯は完全に萌出しており、生後1週になると、第3臼歯も完全に萌出する。

出生直後のものと成熟体のものを比較すると、各歯牙の基本的構造には大差はなく、出生直後のものは成熟体の縮小形に過ぎない (図2)。

図 2

咬合面に向かって象牙質の形成量が増すにつれて歯髄腔は漸次狭窄されていき、その後は断続的な細管様構造をとりながら咬合面までつらなっている。出生時では、歯髄の狭窄は歯牙全長の $\frac{1}{2}$ あたりでみられたが、生後1カ月を過ぎた頃から根端側 $\frac{1}{3}$ あたりですでに狭窄がみられている。

歯髄腔が狭窄されるために、歯髄内の細胞は変性や萎縮を起こし、線維化や充血も著明になる。この狭窄部における組織の変性領域は、成長発育につれてわずかに増大した。

歯髄が狭窄されるにつれて、象牙芽細胞は紡錘形から円形へと萎縮、変性していき、また狭窄部から咬合面に至る領域の象牙質の構造にも変化が認められた。

出生直後から生後2カ月までの象牙質は、類似した構造を示した。即ち、狭窄した歯髄から咬合面に至る細管様構造内には、極性を失い骨芽細胞と区別し難い形態をとる象牙芽細胞や充血血管が介在している。また、その一部は均質無構造な基質中に骨小体と同じように封入し、いわゆる骨様象牙質を形成している。その周囲には、石灰化の不規則な象牙質がみられ、歯軸に平行な成

長線が数本認められる。最外層においては、石灰化の高度な象牙質が認められる。骨様象牙質の幅は、成長発育に伴いわずかに増大していった。

生後3カ月では、6例中3例、生後5カ月では、5例中4例に著明な骨様象牙質が認められた。生後3カ月のものでは、咬端側 $\frac{1}{4}$ から咬合面までの領域で象牙質幅の $\frac{1}{2}$ 以上を占め、生後5カ月のものでは、咬端側 $\frac{1}{3}$ から咬合面までの領域で象牙質幅の $\frac{1}{2}$ 以上を占めていた。この領域では、均質無構造な基質の中に変性や萎縮した細胞、壊死細胞の残遺物、充血血管などが数多く封入されていた。

軟骨様セメント質は、出生時では歯牙全長の $\frac{1}{2}$ あたりから形成されており、軟骨様セメント質間には中胚葉細胞や充血血管が多く介在しているが、成長発育につれて細胞成分は少なくなり、生後1カ月を過ぎると根端側 $\frac{1}{3}$ 付近から咬合面までをほとんど軟骨様セメント質が満たすようになる。

軟骨様セメント質とエナメル器の間には、比較的血管に富む中胚葉組織が認められるが、この領域は成熟体においても未分化な状態であった。

歯肉上皮は、出生時ですでに著明な角化が認められた。

歯槽骨は、各々の歯牙をとり囲んでおり、各歯牙間の歯槽中隔は、根端部では幅広く咬合面へと向かうにつれて次第に幅が狭くなる。出生時では、歯槽頂は全長の $\frac{1}{3}$ 近くまでしか形成されておらず、骨梁は細く網状となっており、未熟な線維骨形態を呈している。成長発育に伴って骨の添加が進行し、生後1カ月では全長の $\frac{2}{3}$ 近くまで歯槽頂が形成され、歯槽骨の幅も広くなり緻密化している。さらに成熟するにつれて、骨の緻密化が進行している。

〔神経分布所見の総括〕

前述のように、モルモット臼歯は出生時においてすでに成熟体と同様の形態を有しており、歯牙および歯周囲組織における神経線維の分布に関しても、出生時のものは、成熟体のものと比較して神経線維の数が少なく未熟な線維が多いだけで、その分布領域には著しい差異は認められない。

モルモット臼歯の歯髓内血管は、ほとんどのものが歯牙長軸と平行に走っており、神経線維の走行もそれに沿って単調な走行を示している。

歯乳頭入口付近から歯髓内に進入する神経線維は、多くは2, 3本の小束をなして走行しているが、時折、単独に走行するものもみられた。この領域を通りぬける神

経線維は、ほとんどのものが屈曲、蛇行を示した。

歯髓中央部では、ほとんどの神経線維が歯牙の長軸に平行に、単独に走行したり、2, 3本の小さな束をなして走行したりしているが、大きな神経束や叢の形成は全くみられない。

歯髓の中央部のみでなく、象牙芽細胞層付近を走行するものもみられたが、神経線維の分岐や吻合はほとんどなく、歯髓内を横走する神経線維は全く認められない。

時折、歯髓中央部から狭窄歯髓内に伸長する小さな線維束が認められるが、多くのものはこの領域に達する以前に、これよりやや下方あるいは歯髓中央部において、釣針状や尖鋭状の終末をもって終止している。

組織の変性や萎縮、線維化などが認められる狭窄部近くでは、小線維束は分散し、繊細な分枝の放出が認められる。さらに狭窄部から細管様構造内に上昇した神経線維は、健全に近い像で走行するもの、繊細な分枝を出すもの、膨化、断裂、顆粒状崩壊などの変性像を呈するものなど、種々の態度が認められた。

咬端側 $\frac{1}{3}$ あたりから咬合面に至る細管様構造内には、神経線維は認められなかった。

根端部の3つの歯乳頭がつらなって構成している歯根膜組織には、神経線維はほんの少量しか認められない。

歯根膜に分布する神経線維も、歯髓内と同様にほとんどのものが歯牙の長軸に平行な走行を示した。根端部付近では、2, 3本から4, 5本の線維束が歯槽骨壁に極めて近接して走行していた。歯肉固有層では、単独に走行するものや2, 3本の小束をなして走行するものが混在していた。ほとんどの神経線維は、固有層で尖鋭状や棍棒状の終末形態で終止しているが、時折、歯肉上皮内に伸長するものもみられた。しかし、特殊な終末形態はみられなかった。

エナメル器と軟骨様セメント質間に介在する中胚葉組織は、成熟体においても未分化な状態であり、この領域には未熟な神経線維が多数存在していた。

モルモット臼歯は無根歯であるため、有根歯と比較すると神経線維の分布量は少なく、大きな神経束や叢の形成はみられず、ほとんどのものが単独にあるいは2, 3本の小束をなして歯牙長軸に平行な単調な走行を示した。

出生時から生後1カ月にかけては、神経線維の数が増加し、その後成熟に至るにつれて径も増大していった。また、有髓線維も出生直後の歯髓中央部や歯肉固有層でみられ、成長発育につれてその数は増加した。

考 察

モルモットは、齧歯類の中でも胎生期間が約70日と一番長く、そのため新生児はすでに開眼し全身に毛が密生しており、出産後数刻を経ずして活発に歩行し、雑穀および草根類を摂取する。咀嚼器官である歯牙、顎骨および咀嚼筋なども出生後直ちにその活動が開始できるようになっており、歯牙においても成熟体と同様の形態を整えている。

モルモット臼歯は、根端部にエナメル器を有する独特な層板構造を示すことは周知の事実である。エナメル器の存在により根端部では絶えず成長し、比較的一定のリズムで咬合面をすりへらしていく。Fish ら (1935)¹⁰⁾ は、正常な咬耗状態下では、モルモット臼歯は約40日毎に新しい歯牙構造に置換すると報告している。

このような複雑な構造をもつモルモット臼歯の組織学的形態を比較的詳細に研究したものには、Gottlieb ら (1923)¹⁾、Sicher (1923)²⁾、Santoné (1935)³⁾、Hunt (1959)⁴⁾、工藤 (1976)⁵⁾、田中 (1980)⁶⁾ などの報告がある。また、実験的に壊血病を起こさせた時のモルモット臼歯を組織学的に観察した報告も数多く見られる⁷⁻²¹⁾。

複雑な組織構造を示すため観察者により多少異なった見解がみられるが、上記の研究者の報告と今回の観察結果を総合したものを要約すると次のようになる。

各臼歯は、象牙質を主体とする3つの部分体、近心板、中央板、遠心板の結合により成り、根端部には各歯髓腔に共通の中胚葉組織と4つのエナメル器を有している。歯髓腔は、根端部では拡がっているが、咬合面に向かって次第に狭くなっていき、逆に象牙質の幅が広がっていく。各層板間は、軟骨様セメント質が満たされている。歯槽骨は、3つの部分体を取り囲むようにしてつながっている。

ところが、上記の研究者の報告の中で、象牙質の構造に関しては、様々であり一致した見解は得られていないようである。

今回の観察では、歯髓狭窄部から咬合面に至るまでの象牙質の構造は、規則正しい象牙細管をもつ石灰化の均一なものではなく、不規則な石灰化の中に細胞や血管を封入したものが認められた。

このような象牙質に関して Hunt (1959)⁴⁾ および工藤 (1976)⁵⁾ は、不規則な構造をもつ象牙質が認められるとしか記載しておらず、Fish ら (1935)¹⁰⁾ は、この構造を石灰化癥痕組織だと述べているだけで詳細な観察

はしていない。

この不規則な構造をもつ象牙質に、骨様象牙質という名称を用いたものには、Santoné (1935)³⁾、Bernick (1966)²³⁾、Holmstedt ら (1977)²⁴⁾ などがみられる。彼らは、咬端側 $\frac{1}{3}$ 以上にみられる細胞や血管を封入した象牙質を骨様象牙質とみなしている。Santoné (1935)³⁾ は、胎生期の最後数日間に骨様象牙質の形成を認めており、骨様象牙質の著明な増加は咀嚼機能が活発になる以降だと述べている。

また、壊血病を起こさせたモルモットの組織構造を観察したものでは、ビタミンC欠乏により膠原線維ならびにそれを基質とする骨や象牙質の形成障害が生じ、そのために正常とは異なる骨様象牙質の形成がみられることを Höyer ら (1925)⁷⁾、Kotányi (1927)⁸⁾、Hunt ら (1959)¹⁶⁾、清水 (1959)¹⁷⁾、石川ら (1981)²¹⁾ などが報告している。Höyer ら (1925)⁷⁾、Hunt ら (1959)¹⁶⁾、清水 (1959)¹⁷⁾ によると、骨様象牙質はビタミンC欠乏により不整化した象牙芽細胞や歯髓細胞により生じるもので、正常な歯牙では認められないと述べている。

これに対して、Holmstedt ら (1977)²⁴⁾ は、正常なモルモットとビタミンCを欠乏させたモルモットの組織構造を観察した結果、両者に差異は認められず、どちらにも骨様象牙質の形成が認められたと述べている。

このように相反する報告がみられる原因は、骨様象牙質という言葉の概念が異なっているためと思われる。

Orvig (1967)²⁵⁾ は、骨様象牙質は下等脊椎動物の歯牙にみられる興味ある稀な硬組織であると述べており、Bradford (1967)²⁶⁾ は、骨様象牙質は多形性の組織で、個体間だけでなく個々の歯牙間でも様々にみられるものだとして述べている。また、石川ら (1978)²⁷⁾ は、osteodentin は、根管の内壁や象牙質の中にある類骨組織を意味する場合と、急速に第2象牙質が作られるときに多数の象牙芽細胞や歯髓細胞が封入され、これが骨細胞のようにみえる組織を意味する場合があると述べている。

Holmstedt ら (1977)²⁴⁾ は、髓腔が歯牙全長の $\frac{1}{2}$ あたりで狭窄し、咬合面に向かうにつれて細い吻合細管を形成しながら骨様象牙質を形成し、これらの細管内には紡錘状の細胞が配列していると述べている。Bernick (1966)²³⁾ は、咬合面側 $\frac{1}{3}$ にみられる骨様象牙質を、線維芽細胞の集合と基質の沈着、骨芽細胞様細胞の形成、規則的な象牙質に対する骨様象牙質の石灰化と癒着という3層構造に分けている。

石川ら (1981)²¹⁾ は、ビタミンC欠乏時の象牙質の構

造を次のように述べている。ビタミンC欠乏により、象牙質の形成量は著しく減少してとても菲薄となり、エナメル器が存在する根端部近くの象牙質の形成が乱れ、石灰化が不規則となって基質内に細胞や血管を埋入した構造をとるようになり、この構造を骨様象牙質と呼んでいる。また、ビタミンC欠乏時では、象牙質だけでなくエナメル質や歯槽骨も菲薄となり、歯根膜線維も減少し、破骨細胞の出現、上皮角化の減少など多くの形態的变化を認めるようになる。

以上のことより、正常なモルモット臼歯にみられる骨様象牙質と、ビタミンC欠乏により形成された骨様象牙質とは、本質的に異なるものであり、今回著者の観察した骨様象牙質は、Santoné (1935)³¹⁾、Bernick (1966)²³⁾、Holmstedt ら (1977)²⁴⁾などが観察したものと同じものであった。即ち、ビタミンC欠乏時にみられる骨様象牙質とは異なり、正常な飼育下においても、モルモット臼歯先端部には細胞や血管を封入した骨様象牙質が認められることを確認した。

このような骨様象牙質の形成は、ラットやマウスの切歯先端部においても認められることが知られている。

ラット切歯にみられる骨様象牙質に関しては、Takuma ら (1968)²⁸⁾および田中 (1974)²⁹⁾が比較的詳しく観察している。彼らは、胎生後期から出生初期におけるラット切歯先端部に多孔性かつ含細胞性の骨様象牙質がみられることを観察しており、この構造を次のような3層構造に分けている。骨様象牙質の主体をなす内層は、多量の基質とその中に埋没した少数の細胞より成り、中層は内層より出る細い梁状基質によって多くの小腔に分割され、かつ小腔内には不規則な細胞を含んでいる。外層は、細胞を含有することなくふつうの象牙質とよく似た染色性を示す薄い層より成っている。骨様象牙質で囲まれた髓腔内には、比較的広い細胞間隙をもつ紡錘形ないし多角形の細胞が多く認められ、象牙芽細胞層はなくやや大型の卵円形の細胞を含有しており、種々の量の白血球を浸潤させているのが常であると述べている。

また、Akisaka ら (1980)³⁰⁾は、胎生18日目から生後4日目までのマウス下顎切歯先端部に骨様象牙質の形成がみられることを観察しており、骨様象牙質の形成時、石灰化部から細胞の断片を除去するために白血球の出現がみられると述べている。

モルモット臼歯にみられる骨様象牙質とラットでみられたものを、Holmstedt ら (1977)²⁴⁾は、形態的には類似していると述べている。けれども、ラットやマウスでは、骨様象牙質の形成は出生前後にしかみられないの

に対して、モルモットでは、咀嚼機能が活発になるにつれてその形成量が増加することを Santoné (1935)³¹⁾および今回の観察で認めている。また、ラットやマウスで認められた細胞断片を除去する白血球の存在を、Holmstedt ら (1977)²⁴⁾、Santoné (1935)³¹⁾、Bernick (1966)²³⁾および今回の観察では認めていないことから、モルモット臼歯にみられる骨様象牙質とラットやマウスでみられた骨様象牙質とは、形態的には比較的類似した構造を示すけれども、本質的には異なったものではないかと思われる。

Holmstedt ら (1977)²⁴⁾は、骨様象牙質の形成量と封入された細胞の数は、個体間で異なっており、また歯牙間でも様々であり、必ずしも年齢に関係しているわけではなかったと述べている。彼は、体重200gから675gまでのモルモットを研究の対象にしているが、骨様象牙質の形成量と年齢や個体間の関係を詳述していないため、どの程度の関係があったのかは全くわからない。

著者の観察では、出生直後から成熟に至る生後5カ月まで(平均体重80gから800gまで)のモルモットを対象にした結果、成長発育につれて骨様象牙質の形成量が増加していき、生後3カ月や5カ月では著明な骨様象牙質が認められた。

骨様象牙質の石灰化に関して、田熊ら (1977)³¹⁾は、2通りのパターン、即ち1つはふつうの象牙質や骨と同じようなコラーゲン線維の石灰化によるものと、もう1つは非コラーゲン性の基質に細胞内で形成されたアパタイト結晶塊の細胞外への放出に関連した異栄養性の石灰化によるものを述べ、両者により形成が進行すると述べている。Akisaka ら (1980)³⁰⁾も同様に2通りの石灰化様式を述べているが、異栄養性の石灰化に関しては、壊死細胞残屑由来の基質小胞を観察しており、これが骨様象牙質の初期石灰化に大きな役割を果たしていると報告している。Bernick (1966)²³⁾は、歯髓毛細血管の位置的变化と骨様象牙質の形成とは相互に関連していると述べ、象牙前質から象牙芽細胞と歯髓の境界まで血管の不規則な枝分かれがあり、このような血管の局在化の変化に付随して骨様象牙質が沈着すると述べている。

従来の報告と今回の観察結果を考えあわせると、モルモットにおける骨様象牙質の形成は、正常な硬組織の石灰化におけるコラーゲン線維を主体とするものというよりは、咬耗という慢性的刺激と歯髓の狭窄による栄養不足が歯髓細胞の代謝変化をひき起こし、それにより生じた非コラーゲン性の異栄養性の石灰化が中心となるのではないかと思われる。

このような骨様象牙質の意義に関しては、Addison ら (1915)³²⁾ は、萌出後歯にできるだけ早く咬合面を作るために必要だと述べている。一方、Santoné (1935)³⁾ は、咬耗の連続により露出から歯髄を保護するために形成されると述べ、Bernick (1966)²³⁾ は、咬合面にエナメル質が存在せず、絶え間のない刺激のために秩序ある象牙質の形成ができないため、その代わりとして骨様象牙質の沈着がみられるのだと述べている。また、Holmstedt ら (1977)²⁴⁾ は、骨様象牙質は、感染に対して強い抵抗性をもっており、咬耗や口腔液への露出に対する反応として骨様象牙質が形成されると述べている。

今回の観察においても、露髄が認められるにもかかわらず、炎症細胞の浸潤はほとんどなく、骨様象牙質の形成量が咀嚼機能が活発になるにつれて増加していることが観察された。以上のことから、骨様象牙質は、咬耗という慢性の持続的な刺激により形成され、歯髄を保護し感染に対しても強い抵抗性をもっているものと思われる。

次に根の完成した有根歯とは異なり、絶えず咬耗と萌出がみられる無根歯における神経線維の分布は、非常に興味のあるところである。モルモット臼歯の神経分布に関しては、上野ら (1958)²²⁾、Bernick (1966)²³⁾ の報告がみられるが、それらは断片的で詳細な報告はなされていないようである。

無根歯の発育過程における神経支配を調べたものには、佐藤 (1960)³³⁾、矢野ら (1979)³⁴⁾ の報告がある。佐藤 (1960)³³⁾ は、ラット切歯を出生前から生後10日まで観察し、神経線維は発育につれて歯乳頭から歯髄内に拡がっていき、歯牙が萌出する生後10日頃には、歯冠頂近くまで神経線維が伸長していると述べており、矢野ら (1979)³⁴⁾ もラット切歯で同様の報告をしている。即ち、歯牙が萌出した時点では、神経線維は歯冠全体に分布していることを確認している。今回の観察においても、歯牙が萌出している出生直後において、歯髄狭窄部や歯肉上皮内に神経線維の伸長を認めており、歯牙全体に神経線維が分布していることを確認した。

無根歯における出生直後と成熟体との神経分布を比較した報告はなく、今回の観察では、出生時のものは成熟体のものに比べて未熟な神経線維が多く数も少ないだけで、神経線維の分布領域に関しては、著しい差異は認められなかった。このことは、モルモット臼歯が出生時においてすでに成熟体と類似した形態を有しているため、神経線維の分布領域も成熟体のものと類似しているのだと思われる。

モルモット臼歯歯髄内の神経分布に関して、上野ら (1958)²²⁾ は、歯髄内に進入する神経線維は4、5本の繊細な無髄線維のみであると述べており、Bernick (1966)²³⁾ も歯髄に進入する神経束は認められず、細い無髄線維が血管に随伴して走行しているだけであると述べている。Wasserman (1939)³⁵⁾ は、ラット切歯の神経支配を調べて、血管に随伴してわずかに2、3本の神経線維がみられるだけでいかなる叢も発達していないことを観察し、齧歯動物の永久に萌出し続ける無根歯では、その神経支配に関しては単に永久的な歯胚にすぎず、その頂点を露出してしかも連続的な形成を伴っては神経叢の形成や象牙質の神経支配は不可能であると述べている。Bishop (1981)³⁶⁾ もラット切歯歯髄の神経分布を観察して、ラット切歯は1カ月で完全に歯牙が置換するために神経線維は未熟で有根歯に比べて無髄線維がとて多いと述べている。Katele ら (1962)³⁷⁾ は、ハムスター切歯歯髄内の神経支配を調べ、絶えず成長している歯牙や前方に移動していく象牙芽細胞層には神経線維の分布は必要でないように思われると述べている。このように無根歯歯髄においては、神経線維は径が小さく数も少なく血管に随伴した走行をとるということは、Bernick (1956)³⁸⁾、Pohto ら (1968)³⁹⁾、Scheinin ら (1969)⁴⁰⁾ も認めている。

今回の観察においてもモルモット臼歯歯髄内を走行する神経線維は、有根歯に比べると数も少なく単独あるいは2、3本の小さな神経線維が束をなして歯牙長軸に平行な単調な走行を示しており、大きな神経束や叢の形成は認められなかった。モルモット臼歯は、約40日で歯牙が完全に置換するといわれており、有根歯と同じような神経線維の分布状態がみられないのは当然と思えるが、上野ら (1958)²²⁾ や Bernick (1966)²³⁾ が述べた報告に比べると、今回ではより多くの神経線維が認められた。

また、上野ら (1958)²²⁾ や Bernick (1966)²³⁾ は、象牙芽細胞層付近を走行する神経線維を認めていないが、今回の観察では、歯髄の中央部のみでなく象牙芽細胞層付近を歯牙長軸に平行に走行する神経線維もわずかに認められた。しかし、象牙芽細胞層に平行なのみで象牙芽細胞内に進入するものは認められなかった。このことは、ラット切歯を観察した Weatherford (1939)⁴¹⁾、日浦ら (1973)⁴²⁾、Sakai (1974)⁴³⁾、Zajicek (1976)⁴⁴⁾ なども認めており、無根歯においては象牙質内に進入する神経線維が認められないのは当然だと思われる。

非常に興味ある知見として、歯乳頭入口から歯髄内に進入する神経線維は、ほとんどのものが屈曲、蛇行を示

した。佐藤 (1960)³³⁾ は、歯乳頭は発生初期において細胞密度の極めて高い間葉組織であり、また細胞間質が特有の寒天様基質を有するため神経線維が進入しにくい場所であると述べている。モルモット臼歯では、歯乳頭入口近くに中胚葉細胞が密集しているため、神経線維がこの領域を走行する時に屈曲、蛇行を示すのではないかとされる。

また、歯髓が狭窄された部において神経線維がどのような変化を示すのかということも興味あるところである。

Katele ら (1962)³⁷⁾ は、神経線維の形態は歯髓組織の代謝活性に対する適応に応じて異なると述べ、連続萌出歯では先端部の結合組織は変性しており、歯牙の先端部における神経線維の変性は神経周囲の壊死組織の代謝活動の影響によるものと述べている。彼は、ハムスター切歯歯髓を観察し、先端部には多くの神経線維が伸長しており、壊死層近くでは、変性を示すものもあったが、中には健全なものもみられ、変性した軸索は平坦、顆粒状、断裂などの不規則な外形を示したと述べている。中村ら (1979)⁴⁵⁾ は、ラット下顎切歯先端付近において、細胞崩壊の始まっている部位においても細い無髓神経線維が認められ、上顎では無髓線維と有髓線維の両方が認められたと述べている。上野ら (1958)²²⁾ および Bernick (1966)²³⁾ は、モルモット臼歯先端部における神経分布に関しては記述していない。

今回の観察では、歯髓中央部を走行する神経線維は、歯髓狭窄部に達する以前にこれよりやや下方あるいは歯髓中央部において釣針状や尖鋭状の終末をもって終止しているが、時折、2, 3本の神経線維が小束をなして狭窄部に至っている。組織の変性が著明な領域では、この小束は分散していく。さらに狭窄部から細管様構造内に進入した神経線維は、健全に近いもの、繊細な分枝を出すもの、膨化、断裂、顆粒状崩壊などの変性像を呈するものなど、種々の態度がみられた。咬端側 $\frac{1}{3}$ から咬合面に至る細管様構造内には、神経線維は認められなかった。

このような狭窄された歯髓内における神経線維の変化は、歯髓組織の代謝活性に対する適応に応じて異なるといふ Katele ら (1962)³⁷⁾ の説明に一致するものと思われる。即ち、咬耗という慢性的持続的な刺激と歯髓腔の狭窄による組織への栄養供給障害により、歯髓組織は種々の退行性変化に陥っていき、それに対応して神経線維も変性を被ったのだと思われる。

また、ラット切歯先端部の細胞崩壊の始まった部位に

おいても神経線維が認められたという中村ら (1979)⁴⁵⁾ の報告同様、今回の観察においても、歯髓の変性部に健全に近い神経線維が認められたということは、神経線維が周囲の組織に対して比較的抵抗性の強い組織であるという Torneck (1974)⁴⁶⁾ の所見に賛同するものである。

一方、咬合面に近い部では、田中 (1974)²⁹⁾ が述べているように、迅速にすべての組織が変性して順次石灰化組織に置換していくことから、咬端側 $\frac{1}{3}$ 以上の細管様構造内に神経線維が認められないのは当然と思われる。

さて、無根歯歯髓内における有髓線維の有無に関しても様々な見解がみられる。上野ら (1958)²²⁾ および Bernick (1966)²³⁾ は、モルモット臼歯歯髓内はすべて無髓線維であると述べている。ラット切歯歯髓内の神経支配を観察したものは多く、Bernick (1956)³⁸⁾、Hattay (1956)⁴⁷⁾ などは、歯髓内にはわずかの無髓線維しか認められないと述べ、日浦ら (1973)⁴²⁾ も、根尖部では有髓線維も混在しているが、歯髓内ではすべて無髓になると述べている。また、Scheinin ら (1969)⁴⁰⁾ は、有髓線維と無髓線維の両方の存在を認めており、佐藤 (1960)³³⁾ は、出生直後は無髓線維のみであるが、成長発育につれて有髓線維が増加すると述べ、Ridehalgh ら (1938)⁴⁸⁾ は、すべて有髓であると報告している。Katele ら (1962)³⁷⁾ は、ハムスター切歯歯髓の神経支配を観察して、根端部では無髓線維のみで中央部では成熟した有髓線維が混在するようになることと述べており、これとよく似た所見を片山ら (1982)⁴⁹⁾ は、ラット切歯で報告している。また、ラット切歯歯髓神経を電気生理学的な方法で調べたものでは、Shigenaga ら (1976)⁵⁰⁾ はすべて有髓線維、Jiffry ら (1977)⁵¹⁾ はすべてが無髓線維だろうという相反する結果を報告している。電子顕微鏡を用いて観察した Bishop (1981)³⁶⁾ は、ほとんどが無髓線維であるがその中に数本の有髓線維が含まれていることを認めている。同じく中村ら (1979)⁴⁵⁾ もラット下顎切歯を電子顕微鏡で観察し、根端側では有髓線維と無髓線維が混在しており、歯髓中央部になると無髓線維がほとんどでまれに有髓線維が混在しているが、先端部ではすべて無髓になると述べている。このような様々な報告がみられる理由は、方法論の相異、統一性の欠如、光学顕微鏡や電子顕微鏡レベルの限界などが観察を困難にしているためと思われる。

今回の観察では、上野ら (1958)²²⁾、Bernick (1966)²³⁾ の報告に反して、歯乳頭入口付近から歯髓中央部において、無髓線維に混在して有髓線維が認められた。また、歯髓狭窄部では、有髓線維は認められずすべてが無

髓線維であった。

モルモット歯髓内の神経線維の機能に関しては、Bernick (1966)²³⁾ は、細い無髓線維のみしかみられずすべてのものが血管の走行に随伴していることから、これらの線維は自律神経系であると述べ、歯髓が露出している無根歯に知覚神経が存在すれば外部の刺激を感じすぎるので、このような歯牙では知覚神経は必要ないだろうと述べている。また、Hattiyasy (1956)⁴⁷⁾ は、ラット切歯において、常に咬耗という刺激をうけているにもかかわらず炎症所見がみられないのは、知覚神経線維がほとんどないためであろうと述べている。

ところが、上野ら (1958)²²⁾ は、モルモットを含めた齧歯動物の歯牙では、歯髓内における無髓線維はほとんど尖鋭状の遊離終末として終止しており、これらはすべての刺激を痛みとして感じるであろうと述べている。また、ラット切歯歯髓内神経に関して、佐藤 (1960)³³⁾、日浦ら (1973)⁴²⁾、Sakai (1974)⁴³⁾ は光学顕微鏡で、Bishop (1981)³⁶⁾ は電子顕微鏡で、Jiffry ら (1977)⁵¹⁾ は電気生理学的な方法で、Pohto ら (1968)³⁹⁾ は組織化学を用い、Furstman (1975)⁵²⁾ は H.R.P. により知覚神経線維の存在を確認している。

今回の観察では、モルモット臼歯歯髓内に分布する神経線維は知覚性のものが主体をなすという上野ら (1958)²²⁾ の報告と一致するものが得られた。即ち、無根歯では咬耗という持続的な刺激を受けてはいるけれども、歯髓内は自律神経線維ではなく、知覚神経が主体をなしていると思われる。

モルモットに特有な軟骨様セメント質とエナメル器との間には、未分化な中胚葉組織が介在しているけれども、この領域に分布する神経線維に関する報告は全くみられない。今回の観察では、この領域では Schwann 細胞を伴った未熟な無髓線維がほとんど単独に散在して走行しており、その中に時折有髓線維が混在してみられた。この領域の神経線維は、成熟体においても未熟な状態であった。これは、Katele ら (1962)³⁷⁾ が述べている神経線維の形態は組織の代謝活性に対応しているという説明に一致しており、成熟体においても、未分化な組織では神経線維も未熟なものが多いと思われる。

モルモット歯根膜に分布する神経線維に関して、上野ら (1960)⁵³⁾ は、極く少量の微細無髓神経線維が歯根膜中央部を歯軸に平行に直走するのみで、それらが全く分岐しないか稀に2叉状、3叉状に分岐して遊離終末として終わっていると述べている。Bernick (1966)²³⁾ は、モルモット歯根膜の神経支配は歯牙の形態と機能に適応

しており、神経線維は細い無髓神経線維の自由神経終末か被包性の紡錘状の神経終末で終わっていると述べ、後者は触覚および圧覚のレセプターであろうと述べている。

今回の観察では、歯根膜内の神経線維は、単独に走行するものだけでなく、2、3本の線維が小束をなすものも多くみられ、また無髓線維のみでなく有髓線維も混在してみられた。その走行は、歯髓と同様に歯牙の長軸に平行であり、大きな神経束や叢を形成するものはみられず分岐や吻合もなく、ほとんどのものが単調な走行を示していた。

モルモット歯根膜における神経線維の機能に関しては、上野ら (1960)⁵³⁾ は、ほとんどが分岐しないで終わり稀に分岐して尖鋭状を呈するということから、触覚を司るものが主体をなすが、痛覚を司るものも含まれていると述べている。Bernick (1966)²³⁾ は、被包性の紡錘状神経終末は触覚、圧覚のレセプターであろうと述べている。Kizior ら (1968)⁵⁴⁾ は、ネコ歯根膜の終末形態を調べ、遊離終末形態は重い圧や疼痛を感じ、特殊化した被包状レセプターは、軽い圧に反応すると述べている。

今回の観察では、特殊な終末形態はみられず、ほとんどのものが尖鋭状や棍棒状の終末形態をとって固有層に終わっていることから、モルモット歯根膜に分布する神経線維は、触覚を司るものが主体をなしているが、痛覚を司るものも混在していると思われる。

結 論

出生時から成熟体となる生後5カ月までのモルモット下顎臼歯を用いて、成長発育に伴う組織構造の変化、とくに先端部の骨様象牙質の形成状態と、歯牙および歯周囲組織に分布する神経線維に関して検索を行い、次のような結果を得た。

1. 出生直後のモルモット臼歯は成熟体の縮小形に過ぎず、形態的にはすでに成熟体と類似した構造を有している。

2. モルモット臼歯先端部には、細胞や血管を封入した骨様象牙質が認められ、成長発育につれてその幅は徐々に増加していき、生後3カ月では、6例中3例に象牙質幅の $\frac{1}{3}$ 以上を占める骨様象牙質を認め、生後5カ月では、5例中4例に象牙質幅の $\frac{1}{2}$ 以上を占める著明な骨様象牙質の形成を認めた。

3. 骨様象牙質の形成は、咬耗という慢性的持続的な刺激と歯髓の狭窄による栄養供給不足が歯髓組織の代謝

変化を引き起こしたために生じた異栄養性の石灰化が中心になっていると思われる。

4. モルモット臼歯は、出生時すでに成熟体と類似した形態を整えていることに対応して、神経線維の分布様式も成熟体のものと類似しており、成長発育に伴って神経線維の数や径がわずかに増大しただけであった。

5. 歯髄および歯根膜に分布する神経線維は、ほとんどが歯牙長軸に平行な単調な走行を示しており、大きな神経束や叢の形成は認められなかった。

6. 歯乳頭入口付近から歯髄内に進入する神経線維のほとんどは、屈曲、蛇行を示した。また、狭窄部歯髄から細管様構造内にかけては、繊細な分枝を出す健全に近い神経線維と、膨化、断裂、顆粒状崩壊など、種々の変性を示す神経線維とがみられた。

7. 歯髄に分布する神経線維は、無髄線維のみでなく有髄線維も混在しており、知覚神経が主体をなしていると思われる。

8. 歯根膜に分布する神経線維も、無髄線維と有髄線維が混在しており、歯肉固有層において尖鋭状や棍棒状の終末形態を示すものが多く、これらは触覚を司るものが主体であるが、痛覚を司るものも存在すると思われる。

稿を終わるにあたり、本研究に終始御懇篤なる御指導、御鞭撻、御校閲を賜りました恩師上野正康教授に深甚なる敬意を表します。また本研究に対して、終始御教示、御鞭撻を戴きました福山宏助教授に謝意を表するとともに、多数の暖かい御協力をして下さいました教室員各位に感謝の意を表します。

引用文献

- 1) Gottlieb, B. and Greiner, E.: Der histologische Bau der Meerschweinchenmolaren und ihres Befestigungsapparat. *Z. Stomatol.* 21: 565—580, 1923.
- 2) Sicher, H.: Bau und Funktion des Fixationsapparates der Meerschweinchenmolaren. *Z. Stomatol.* 21: 580—594, 1923.
- 3) Santoné, P.: Studien über den Aufbau, die Struktur und die Histogenese der Molaren der Säugetiere. I. Molaren von *Cavia cobaya*. *Z. Mikrosk. Anat. Forsch.* 37: 49—100, 1935.
- 4) Hunt, A.M.: A description of the molar teeth and investing tissues of normal guinea pigs. *J. Dent. Res.* 38: 216—231, 1959.
- 5) 工藤昭臣: モルモット下顎臼歯の組織構造とその発生に関する研究. 九州歯会誌 30: 201—223, 1976.
- 6) 田中 秀: モルモット臼歯の cementum pearl に関する組織発生学的研究. 口病誌 47: 281—327, 1980.
- 7) Höjer, A. and Westin, G.: Jaws and teeth in scorbutic guinea pigs. *Dental Cosmos* 67: 1—24, 1925.
- 8) Kotányi, E.: Die Veränderungen der Zähne und ihrer Umgebung bei experimentellem Skorbut des Meerschweinchens. *Z. Stomatol.* 25: 655—719, 1927.
- 9) 真崎義男: 「ビタミン」C 欠乏が成熟動物歯牙に及ぼす影響に就ての実験的研究. 臨床歯科 4: 707—721, 1932.
- 10) Fish, E.W. and Harris, L.J.: The effects of vitamin C deficiency on tooth structure in guinea pigs. *Br. Dent. J.* 58: 3—20, 1935.
- 11) 青木千春: ビタミンC 欠乏及び補給の歯髄ビタミンC 含量及び歯牙に及ぼす影響に就て. 日本歯学誌 30: 1—22, 1937.
- 12) 小林 峻: 生体内 vitamin C 含有量の消長, 特に歯髄及び歯牙周囲組織内 vitamin C 含有量と病理組織学的変化に就て. 慶応医学 18: 1033—1047, 1938.
- 13) Boyle, P.E., Bessey, O.A. and Howe, P.R.: Rate of dentin formation in incisor teeth of guinea pigs on normal and on ascorbic acid-deficient diets. *Arch. Pathol.* 30: 90—107, 1940.
- 14) Wasserman, F.: Analysis of the enamel formation in the continuously growing teeth of normal and vitamin C deficient guinea pigs. *J. Dent. Res.* 23: 463—509, 1944.
- 15) Kalnins, V.: Developmental disturbances of enamel in scurvy. *J. Dent. Res.* 31: 440—452, 1952.

- 16) Hunt, A.M. and Paynter, K.J. : The effects of ascorbic acid deficiency on the teeth and periodontal tissues of guinea pigs. *J. Dent. Res.* **38** : 232—243, 1959.
- 17) 清水元正 : Vitamin C 欠乏が歯のエナメル質形成に及ぼす影響に関する病理組織学的研究. 歯学 **47** : 1—48, 1959.
- 18) 須賀昭一・中村博亘 : Vitamin C 欠乏による歯牙象牙質石灰化の変化について〔会〕. 日病会誌 **53** : 269—270, 1964.
- 19) Inoue, H. : An electron microscopic study of influence of vitamin C on the guinea-pig's gingiva. *J. Osaka Dent. Univ.* **5** : 184—212, 1971.
- 20) 朝比奈祐将 : Vitamin C 欠乏による歯周組織変化の組織化学的観察. 歯学 **60** : 359—387, 1972.
- 21) 石川堯雄・川崎堅三・田中 秀・田中 倫・下田信治・川原英明 : 実験的壊血病モルモットの歯の組織学的構造について〔会〕. 解剖誌 **56** : 351, 1981.
- 22) 上野正康・北村勝也・伊高三千男・別府正敏 : 各種口腔組織神経分布に関する研究, (その Ⅲ) 家兎, モルモット, 白鼠, 二十日鼠の歯牙内神経について. 九州歯会誌 **12** : 362—368, 1958.
- 23) Bernick, S. : Vascular and nerve supply to the molar teeth of guinea pigs. *J. Dent. Res.* **45** : 249—260, 1966.
- 24) Holmstedt, J.O.V., McClugage, Jr. S.G., Clark, J.S. and Guevara, M.J. : Osteodentin formation in continuously erupting teeth of guinea pigs. *J. Dent. Res.* **56** : 1569—1576, 1977.
- 25) Orvig, T. : Phylogeny of tooth tissues ; Evolution of some calcified tissues in early vertebrates. In : *Structural and chemical organization of teeth*, Vol. 1 (ed. by Miles, A.E.W.). Academic Press, New York and London, 1967, 45—110.
- 26) Bradford, E.W. : Microanatomy and histochemistry of dentin. In : *Structural and chemical organization of teeth*, Vol. 2 (ed. by Miles, A.E.W.). Academic Press, New York and London, 1967, 3—34.
- 27) 石川梧朗・秋吉正豊 : 口腔病理学 I, 永末書店, 京都, 1978, 240—257.
- 28) Takuma, S., Kurahashi, Y. and Tsuboi, Y. : Electron Microscopy of the osteodentin in rat incisors. In : *Dentin and Pulp ; their structure and reactions* (ed. by Symons, N.B.B.). Williams and Wilkins Co., Baltimore, 1968, 169—195.
- 29) 田中省順 : ラット切歯先端部の微細構造について. 歯科学報 **74** : 1651—1676, 1974.
- 30) Akisaka, T., Nishimori, T., Shiba, T., Hosoi, M., Imanishi, I. and Inoue, H. : Initial formation of the osteodentine in mouse incisor teeth: An electron microscopic study. *J. Hiroshima Univ. Dent. Soc.* **12** : 190—195, 1980.
- 31) 田熊庄三郎・柳沢孝彰・林 文隆 : ラット切歯骨様象牙質の構造と形成機序〔会〕. 骨代謝 **10** : 202—203, 1977.
- 32) Addison, W.H.F. and Appleton, Jr. J.L. : The structure and growth of the incisor teeth of the albino rat. *J. Morphol.* **26** : 43—96, 1915.
- 33) 佐藤幸男 : 歯髄の神経の発生について (ラットの歯髄への神経線維の進入および発達についての研究). 口病誌 **27** : 16—25, 1960.
- 34) 矢野 浩・増田純一・吉田 穰・沢熊正明・北村勝也 : ラット切歯の発育過程における神経分布に関する研究〔会〕. 歯基礎誌 **21** : 197—198, 1979.
- 35) Wasserman, F. : The innervation of teeth. *J. Am. Dent. Assoc.* **26** : 1097—1109, 1939.
- 36) Bishop, M.A. : A fine-structural survey of the pulpal innervation in the rat mandibular incisor. *Am. J. Anat.* **160** : 213—229, 1981.
- 37) Katele, K.V. and James, V.E. : Innervation of the hamster maxillary incisor. *J. Dent. Res.* **41** : 1072—1084, 1962.

- 38) Bernick, S. : The innervation of the teeth and periodontium of the rat. *Anat. Rec.* 125 : 185—205, 1956.
- 39) Pohto, P. and Antila, R. : Acetylcholinesterase and noradrenalin in the nerves of mammalian dental pulps. *Acta Odontol. Scand.* 26 : 641—656, 1968.
- 40) Scheinin, A. and Light, E.I. : Innervation of the dental pulp. *Acta Odontol. Scand.* 27 : 301—311, 1969.
- 41) Weatherford, H.L. : The innervation of the teeth in the albino rat with some observations on the finer structure of dental pulp. *Anat. Rec.* 74 : 329—347, 1939.
- 42) 日浦 透・岡田和彦・重永凱男・匠原悦雄・堺 章：ラット歯髓神経，特に切歯について。阪大歯誌 18 : 124—131, 1973.
- 43) Sakai, A. : Innervation and afferent fiber projection of rat incisor pulp. *Bull. Tokyo Med. Dent. Univ.* 21 : 22—24, 1974.
- 44) Zajicek, G. : The rodent incisor tooth proliferon. *Cell Tissue Kinet.* 9 : 207—214, 1976.
- 45) 中村尚子・藤井博子・花井 汎：ラット切歯歯髓における神経の微細形態。城歯大紀要 8 : 269—273, 1979.
- 46) Torneek, C.D. : Changes in the fine structure of the dental pulp in human caries pulpitis, 1. Nerves and blood vessels. *J. Oral Pathol.* 3 : 71—82, 1974.
- 47) Hattysy, D. : Innervation of the continuously growing incisor. *Nature* 178 : 416, 1956.
- 48) Ridehalgh, E. and Stewart, D. : The course of the incisor branch of the inferior dental nerve in rodents and some observations on the nerve supply of the pulp. *J. Anat.* 72 : 416—421, 1938.
- 49) 片山 隆・窪田金次郎・保坂晃一郎・長江一樹・高田和朋・佐藤弥四郎：ラット歯髓神経の特性—特に切歯・臼歯における差異—〔会〕。解剖誌 57 : 196—197, 1982.
- 50) Shigenaga, Y., Sakai, A. and Okada, A. : Effects of tooth pulp stimulation in trigeminal nucleus caudalis and adjacent reticular formation in the rat. *Brain Res.* 63 : 402—407, 1976.
- 51) Jiffry, M.T.M. and Batthews, B. : Conduction velocities of pulpal afferents in the rat. [Abst.] *J. Dent. Res.* 56 : D128, 1977.
- 52) Furstman, L., Saporta, S. and Kruger, L. : Retrograde axonal transport of horseradish peroxidase in sensory nerves and ganglion cells of the rat. *Brain. Res.* 82 : 320—324, 1975.
- 53) 上野正康・北村勝也・松永隆義・永田 幸・佐田 喬：各種動物の口腔組織神経分布に関する研究，（そのIV）犬，猫，家兎，モルモット，白鼠，二十日鼠の歯根膜に於ける神経分布。九州歯会誌 13 : 880—888, 1960.
- 54) Kizior, J.E., Cuozzo, J.W. and Bowman, D.C. : Functional and histologic assessment of the sensory innervation of the periodontal ligament of the cat. *J. Dent. Res.* 47 : 59—64, 1968.