根未完成永久歯の根管中間位歯髓切断後の根尖 閉鎖に関する光顕的ならびに電顕的研究

九州歯科大学大学院歯学研究科小児歯科学専攻 (指導: 木村光孝教授)

高 橋 成 久

昭和63年12月22日受付

A Light and Electron Microscope Study of Apical Closure after Pulpotomy at the Mid-Root-Canal of Immature Teeth

Shigehisa Takahashi

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

Pulpotomy at the middle portion of the root canal was performed on immature teeth of young adult dogs. Healing process of the pulpal wounds, change in nerve fibers in the dental pulp, process of the formation of the dentin barrier, and apical closure including growth of the root were investigated under the light and the electron microscope.

The results were as follows:

1. Three days after operation, a necrotic layer was formed extensively directly under the pulpotomied surface, and the nerve fibers in the inflammatory layer directly under the necrotic layer were degenerated. Observation under the transmission electron microscope (TEM) of this region showed undifferentiated mesenchymal cells poor in cell organelles and nerve fibers with marked destruction of myelin of the myelin sheath. At the root apex, Hertwig's epithelial sheath was observed.

2. A week after operation, a calcified barrier was beginning to be formed on the pulpotomied surface and slight inflammatory cellular infiltration limited to the dental pulp directly under the surface was seen. Directly under the barrier, cells which were comparatively large in cell and nucleus sizes were found. The TEM observation of these cells showed cells which had nuclei with small depressions in part, were rich in rough-surfaced endoplasmic reticula, and showed wide intercellular space.

3. At the second week after operation, the formation of the dentin barrier was beginning to be seen directly under the pulpotomied surface. Observation of this region, viewed from the pulpal side, under the scanning electron microscope (SEM) showed large and small calcospherite-like structures fused together and piled. The TEM observation of the cells at this region showed large oval nuclei with gently sloped depressions, and many rough-surfaced endoplasmic reticula and mitochondria in cytoplasm around the nucleus, and odontoblast-like cells connected by junctional complex. The TEM observation of the nerve fibers showed normal nerve fibers of laminated structure with orderly formed myelin sheath.

At the root apex from this time, addition of connecting cellular cementum was seen

and the TEM observation showed active cementoblasts in both the control and experimental groups.

4. The cases from one to two months after operation showed the formation of the dentin barrier with dentinal tubules, on the pulpotomied surface, continuously from the periphery to the center of the pulp. The SEM observation of this region showed peritubular dentin on the coronal side, but its borders with matrix were distinct at some places and indistinct at other places. Dentinal tubules were not uniform. The TEM observation of the cells directly under the barrier showed, as in the case of odontoblasts of root dentin, large ovoid nuclei poor in chromatin, and uneven distribution of cell organelles such as mitochondria and many rough-surfaced endoplasmic reticula. As to the nerve fibers in the dental pulp, small nerve bundles and single nerve fibers were ascending toward the dentin barrier. Active apposition of cellular cementum was seen at the root apex and the TEM observation of this region showed cells with a large oval nucleus and rich in rough-surfaced endoplasmic reticula and mitochondria.

5. Six months after operation, the dentin barrier was thickened. The SEM observation of the dentin barrier showed that, on the pulpal side, calcospherites were orderly distributed, fused and increased in compactness, and had uniform dentinal tubules. The nerve fibers, at this time, reached near the dentin barrier with some running parallel with the dentin barrier and terminating in the odontoblast layer and some infiltrating into the barrier together pulpal intrinsic tissue and blood vessels.

At the root apex, slight internal resorption of dentin was observed in part and the formation of cementum with inclusion of cementocytes was seen in those sites. Calcification was completed and about the same degree of apical closure was seen as in the control group. The SEM observation of this region showed the formation a flat surface and highly calcified cementum lacunae. The TEM observation of cementoblasts on the surface of cementum showed resting cells poor in rough-surfaced endoplasmic reticula and mitochondria. Fibrous bundles of the periodontal membrane were arranged functionally.

Key words: *Immature teeth / Mid-root-canal pulpotomy / Apical closure / Light and Electron microscope*

緒 言

日常の小児歯科臨床において、齲蝕罹患率は激減しているとはいえ、根未完成永久歯は食物残渣の停滞を起しやすい、そのうえ歯質が脆弱であるため齲蝕に罹患しやすい傾向にある。また外傷などにより歯髓処置を必要とする症例に遭遇する機会是非常に多い。根未完成永久歯の歯髓処置法としては歯髓の障害の程度に応じて **Apexogenesis** と **Apexification** の2通りあることは周知のとおりである。本教室においては根未完成歯の歯髓処置に関して一連の研究を行っており、**Apexogene-**

sis に関しては、木村 (1973)¹⁾、中村 (1977)²⁾ が歯髓処置を完全に施し覆髓剤が適切ならば歯根の発育、根尖閉鎖は未処置歯と同様に行われることを実証した。また神内 (1985)³⁾、中村 (1987)⁴⁾ は歯髓処置後の歯髓内神経線維の動態について神経組織学的に検索を行い詳細にわたって報告している。このような流れのなかで臨床の場において、炎症が根部歯髓に波及している症例では **Apexification** を期待しなければならない。鬼塚 (1986)⁵⁾、長谷川 (1986)⁶⁾ らの報告にもあるように、**Apexification** は歯根の発育は望めず、有細胞セメント質による根尖閉鎖も未処置歯に比べ非常に困難である。

そこで根部歯髓の一部に炎症が波及した場合でも出来る限り歯髓を保存することにより、歯根の発育と根尖閉鎖を期待し、歯牙の保存に努めるため根管中間位歯髓切断による **Apexogenesis** が望まれる。しかし根未完成永久歯の根管中間位歯髓切断後の創傷治癒、神経線維の動態、歯根の発育および根尖閉鎖に関する研究はほとんどみられない。そこで著者は根未完成永久歯の根管中間位歯髓切断後の根尖閉鎖に関して、光顕的ならびに電顕的に検索を行い、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

I. 実験材料

実験動物は生後6～7カ月の雑種健康幼若犬を用いた。生後5カ月前後より飼育を開始し環境に十分適応させたのち実験に供した。実験歯は下顎左側第2、第3、第4小臼歯で反対側同名歯は何ら処置を施さず対照群として用いた。また、実験歯の歯根形成状態を出来る限り一定に保つため、下顎第2、第3乳臼歯の自然脱落后10日目を基準として実験を行った。実験に用いた幼若犬は12頭で実験期間と例数は **Table 1** に示しているとおりである。実験に用いた覆髓剤は水酸化カルシウム製剤を使用した。

II. 実験方法

実験動物は、**Sodium pentobarbital** (商品名: **so-mnopentyl**) により体重1kg当たり25mgの割合で静脈内注射を施し、全身麻酔下に歯科用X線撮影を行い、歯根形成状態を確認した。次に口腔内を3% H_2O_2 で、実験部位を **Iodoglycerin** で清掃消毒した。その後簡易防湿下にて滅菌水の持続的注水下にカーボランダムポイントで歯冠部歯質を歯肉縁上1mmの高さまで均等に削除した。次に滅菌ラウンドバー (No. 2～5) で歯髓腔の開拓を行った。根管中間位歯髓切断に際して、X線写真を参考にし歯根の1/2の部位を目安とし、根管の太さとはほぼ同じ滅菌ロングネックラウンドバーにストッパーをつけ、その長さまで滅菌水の持続的注水下で根部歯髓を切断した。次に3% H_2O_2 と8% **NaOCl** 溶液で交互洗浄を行い、最後に0.9%の滅菌生理的食塩水で洗浄後、滅菌綿栓を切断面に軽く圧接して止血し、根管内を十分

乾燥させた。前述の覆髓剤による覆罩を行い、酸化亜鉛ユージノールセメントにて裏層し、インバーテッドコーンバー (No. 34, 35) でアンダーカットを付与し、アマルガム充填を施し、手術を終了した。手術終了後に歯科用X線フィルムを用いて、再度実験部位の撮影を行った。

III. 観察方法

術後3日、1週間、2週間、1カ月、2カ月、6カ月経過後、下顎骨を採取した後に直ちに実験部位と対照歯のX線撮影を行い、神経染色固定液に浸漬した。固定後50%蟻酸と20%クエン酸ナトリウムの等量混合液で脱灰し、エタノール系列脱水後、通法に従いパラフィン包埋を行い、10～15 μ mの連続切片標本作製し、ヘマトキシリン・エオジン重染色、渡辺鍍銀染色ならびに **Unge-witter** (1951)⁷⁾ の尿素硝酸銀法の **Powers** (1952)⁸⁾ 変法をさらに改良した神経染色を施し、鏡見した。

走査電顕的観察は下顎骨採取後直ちに10%中性ホルマリンにて固定後、ダイヤモンドディスクならびに簡易切断機 (**T. Morita Corporation** 社製) を用いて、注水下で第4小臼歯の遠心側と第2小臼歯の近心側を縦断し、次にX線写真を参考にして、各歯牙を歯根分岐部及び歯槽間部で縦断し、**dentin barrier** 上部と下顎管上部で横断し、単一塊とした。その後再度X線撮影を行い、X線写真を参考に **dentin barrier** と根尖部を含んだ各小塊とした後、8% **NaOCl** 溶液で軟組織を除去し超音波洗浄を施した。標本は歯軸方向に縦断し、50%正リン酸にて1分間酸処理を施し、エタノール系列にて脱水し、酢酸イソアミル置換後、臨界点乾燥を行い、イオンスパッタ (日本電子 **JFC-100**) にて **Au coating** を施し、**JSM-25** 及び **JSM-T 300** 走査型電子顕微鏡で観察した。

次に透過型電顕的観察は、下顎骨を採取時に被検歯周囲で切断し、4℃のカコジル酸バッファーで洗浄後、1%パラホルムアルデヒド—3%グルタルアルデヒド固定液に4℃で12時間固定した。同固定液注水下にてダイヤモンドディスクを用いて **dentin barrier**、根尖部ならびに歯周組織を含む小塊に横断した。さらに同固定液中に1週間浸漬固定後、2.5%グルタルアルデヒ

Table 1 Experimental period and number of case

Duration	3rd day	1st week	2nd week	1st month	2nd month	6th month	Total
Control group	12	12	12	12	8	8	64
Experimental group	12	12	12	12	8	8	64

ド液による 7.5% EDTA 溶液で 2～3 週間脱灰し、カコシル酸バッファーで洗浄後、2% オスミウム酸にて後固定を行った。エタノール系列にて脱水し、プロピレンオキシド置換後、Epon 812 にて包埋した。試料はガラスナイフを用いて LKB-4800 型超ミクロトームにて 2～3 μm の準超薄切片を調製し、0.1% トルイジンブルー染色を施して、観察部位を光顕的に確認した。脱脂ナイフでトリミングした後、ダイヤモンドナイフ (Diatome 社製) を併用し、0.1 μm 以下の超薄切片を作製し、Reynolds 氏法による酢酸ウラニル・クエン酸鉛重染色を施し、JEM-100C 透過型電子顕微鏡で観察した。

実験成績

I. 一般組織所見ならびに神経組織所見

術後 3 日

歯髄切断面直下には薬剤の残存がみられ、薬剤に接して広範囲に壊死層の形成が認められる。壊死層内には大小の石灰塊が散在している。細胞成分は融解しており、全体的に希薄となっている。壊死層内の血管は赤血球で満たされているのが認められる。壊死層と生活歯髄との境界部には大小不同、凹凸不整の石灰塊が辺縁部から歯髄中央部に連続して認められ、いわゆるリン酸カルシウムの連続した von Kóssa 陽性顆粒層に相当する分界層の出現が認められる。分界層直下ならびにやや下方の歯髄内には血管の拡張、充血ならびに限局した出血巣や、好中球を中心とする炎症性細胞浸潤が認められる。その周囲に線維芽細胞の出現が著明に認められ、出血巣を取り囲んでいる (Fig. 1)。さらに下方の根尖に至るまでの歯髄は充血調であるほかは、正常像を呈している。根尖相当部は広く開大し、根管中間位付近とほぼ同様な幅を有していて blunderbuss の状態を呈している。また

Fig. 1 On the 3rd day
H・E stain. $\times 50$

Hertwig 上皮鞘は著明に認められる (Fig. 2)。

神経線維についてみると、切断面の壊死層内には膨化、自己融解寸前の変性神経線維がみられ、直下の歯髄内を横断像でみると Fig. 3 に示しているように変性した軸索の集合が明瞭である。

Fig. 2 On the 3rd day
H・E stain. $\times 20$

Fig. 3 On the 3rd day
Toluidine blue stain. $\times 100$

術後 1 週間

歯髄切断面直下には、術後 3 日経過例と同様に薬剤の残存がみられ、その下には広範囲に壊死層の形成が認められる。壊死層内の細胞成分は融解しており、さらに希薄となっている。リン酸カルシウムの連続した分界層直下にはエオジンに好染した有機質の形成所見が認められ、比較的核と細胞体の大型な細胞が出現している辺縁部においては石灰化嚢形成開始所見も認められる。有機質形成直下の歯髄およびやや下方の歯髄内には好中球を主体とする軽度の炎症性細胞浸潤が認められるが、限局している (Fig. 4)。切断面を鍍銀染色で観察すると大型細胞の間を歯髄より膠原線維が活発に進入している。

根尖相当部は未だ広く開大し、**Hertwig** 上皮鞘が著明に認められ、有細胞セメント質の形成は認められない (**Fig. 5**)。根尖部を鍍銀染色で観察すると、**Hertwig** 上皮鞘の先端部を中心とする同心円状に膠原線維が束状になって根尖歯根膜側から上皮隔膜を通過し、根部歯髄に進入し、歯冠部に向って上行している。

Fig. 4 On the 1st week
H・E stain. $\times 20$

Fig. 5 On the 1st week
H・E stain. $\times 20$

神経線維についてみると、切断面直下には変性所見がみられるものの、やや離れた歯髄内には神経線維の変性をみることはない。歯髄内中央部を **Schwann** 細胞を伴った微細な再生神経線維が活発に切断面に向って上行している (**Fig. 6**)。下顎管内の下歯槽神経より分岐し、管外に出た神経のうち歯髄内に分布するものは根尖相当部直下の歯根膜及び槽間中隔、根管中隔側の **Hertwig** 上皮鞘の外側歯根膜に集合し、複雑に分岐、吻合して神経叢を形成している。神経叢の中には一部屈曲、蛇行した神経線維も認められる (**Fig. 7**)。

Fig. 6 On the 1st week
Stain for nerve fibers. $\times 100$

Fig. 7 On the 1st week
Stain for nerve fibers. $\times 100$

術後2週間

歯髄切断面直下には辺縁部から歯髄中央部に連続して細胞を含有した **dentin barrier** の形成開始所見がみられ、柵最内方の辺縁部の一部にはエオジンに好染した幼若象牙質の形成が認められ、柵形成部直下の歯髄には、大型の核を含む長方形または立方形の細胞の出現が認められる。歯髄には軽度の充血が認められるが、炎症性細胞浸潤はほとんど認められない (**Fig. 8**)。

歯根象牙質は歯髄切断部から根尖相当部に連続してヘマトキシリン不染層が認められ、その内側には象牙質が添加されている。その内側にはエオジンに好染する幼若象牙質が一定の幅を保ち、根尖部まで連続している。それに伴って象牙芽細胞層が重層をなして整然と配列して

Fig. 8 On the 2nd week
H · E stain. ×50

いる。根尖相当部は Hertwig 上皮鞘が消失し、有細胞セメント質の添加が始まり根尖中央部に向って伸長しているものもみられるが、根尖部はいまだ開大し、歯髓と歯根膜は大きく交通している (Fig. 9)。

神経線維についてみると、術後1週間目とはほぼ同様の所見を呈し、歯髓内には単一神経線維、微細な神経線維が切断面に向って上行しており、神経束はほとんどみられない。

Fig. 9 On the 2nd week
H · E stain. ×20

術後1ヵ月

歯髓切断面は辺縁部から歯髓中央部に連続して dentin barrier の形成が認められる場合と Fig. 10 に示すように切断面は歯髓の固有組織と血管の進入により不

完全である場合がある。また dentin barrier と骨様象牙質の組織癒合が認められる。歯髓は根尖部に至るまで正常像を呈している。根尖部は有細胞セメント質の添加により閉鎖が進行の途上であり、側枝様構造も明瞭に認められる。根尖部セメント質の表層部にはセメント芽細胞が活発に増殖している。一部にはセメント芽細胞を含有しながらセメント質の石灰化が進行している所見も認められる (Fig. 11)。この時期の歯根膜線維を鍍銀染色で観察するとセメント質から歯槽骨に向かう歯根膜線維束が認められるが、いまだ不規則である (Fig. 12)。

神経線維についてみると下方の歯髓内より上行する小神経束および単一神経線維は、そのまま上方の dentin barrier に向けて上行するものも認められるが、象牙芽細胞層にまで至るものはほとんどない。また嚢に向かう神経線維は直前で向きを変えて辺縁に向けて伸長するものも認められ、それらの大部分の神経線維は正常像を保っている (Fig. 13, 14)。根尖相当部直下の歯根膜に集合する神経線維は複雑に分岐、吻合して神経叢を形成す

Fig. 10 On the 1st month
H · E stain. ×50

Fig. 11 On the 1st month
H · E stain. ×50

Fig. 12 On the 1st month
Silver stain. $\times 100$

Fig. 14 On the 1st month
Stain for nerve fibers. $\times 100$

Fig. 13 On the 1st month
Stain for nerve fibers. $\times 100$

るが、根尖から歯髄内に進入する直前で変性に陥入る神経線維も散見される。

術後2カ月

歯髄切断面直下の壊死層は大部分剝離消失している。残存する壊死層には大小の石灰塊がわずかに認められる。壊死層に接して、辺縁部から歯髄中央部に連続して象牙細管構造をもった dentin barrier の形成がみられる。柵最内方にはエオジンに好染した幼若象牙質がほぼ一定の幅を保って認められ、歯根象牙質と連続してい

る。それに伴って象牙芽細胞が規則正しく配列している (Fig. 15)。歯根象牙質は歯髄切断部から根尖相当部にかけて厚径を増している。dentin barrier 直下の歯髄は根尖部に至るまで正常像を呈している。根尖部は一般には有細胞セメント質の添加が進行し、分岐根管の形成が認められる (Fig. 16)。この時期では対照歯についても歯根の発育はほぼ同程度の所見を呈している。

神経線維についてみると、歯髄内中央部を走行する神経線維は、小神経束や単一神経線維が上行するなかで、

Fig. 15 On the 2nd month
H・E stain. $\times 20$

Fig. 16 On the 2nd month
H · E stain. ×20

Fig. 18 On the 2nd month
Stain for nerve fibers. ×100

歯根の象牙芽細胞層に向かう交叉、吻合する微細な神経線維として散見される (Fig. 17). また、根尖部にセメント細胞を封入したセメント小腔が認められるようになると、神経叢より分岐し分岐根管を通じて血管とともに主に小神経束が歯髄内に進入するようになる (Fig. 18).

術後6ヵ月

歯髄切断面直下の壊死層は一層を残し、大部分剝離消失している。この時期では壊死層に接して dentin barrier の形成がみられる場合と Fig. 19 に示すように

Fig. 19 On the 6th month
H · E stain. ×20

Fig. 17 On the 2nd month
Stain for nerve fibers. ×100

壊死層に接して辺縁部から歯髄中央部に連続して dentin barrier と骨様象牙質の癒合所見がみられ、一部を除いて象牙細管構造をもっている。dentin barrier は厚径を増している。dentin barrier と歯根象牙質は組織癒合が行われ、歯髄は被覆保護され正常像を保っている。dentin barrier を鍍銀染色で観察すると、表層は粗い線維性基質を呈し、内層は象牙細管構造をもった dentin barrier が厚く形成され、歯髄からは好銀線維が活発に蛇行しながら幼若象牙質に進入している (Fig. 20).

根尖部では一部にわずかな象牙質の内部吸収がみられ、その部にはセメント細胞を封入したセメント質の形成がみられる。また、根尖部象牙質の外側は有細胞セ

Fig. 20 On the 6th month
Silver Stain. $\times 100$

ント質の形成がみられ分岐根管も認められ、石灰化は完了し根尖は閉鎖している (Fig. 21). 歯根の周囲には歯根膜線維がとり囲み、ほぼ一定の幅をもち、エナメル・セメント境から歯根中央部まで無細胞セメント質の菲薄な一層で歯根象牙質を覆っている. 対照群の根尖部歯根象牙質の発育、根尖閉鎖 (Fig. 22) に比べ実験群もほぼ同程度の所見を呈している.

神経線維についてみると、この時期に至ると下方の歯髓から上行してきた神経線維が dentin barrier の形成部下方に至ると一部に蛇行、屈曲が認められるものもあるが、正常な形態を保ったまま、柵に平行に辺縁部の象牙芽細胞層に終止するもの (Fig. 23, 24) や柵内の歯髓の固有組織や血管とともに柵内に神経線維が進入している所見もみられる. 根尖部はセメント細胞を封入した有細胞セメント質により閉鎖され、根尖歯根膜の神経叢より分岐した中、小神経束が分岐根管を通じて歯髓内に進入するようになる (Fig. 25).

Fig. 21 On the 6th month
H · E stain. $\times 20$

Fig. 22 On the 6th month
Control group H · E stain. $\times 20$

Fig. 23 On the 6th month
Stain for nerve fibers. $\times 100$

歯根膜は実験群 (Fig. 26) ならびに対照群 (Fig. 27) に示しているように歯根膜線維の走行は規則正しくセメント質から歯槽骨に斜走し、機能的配列を示しているのが明瞭である.

Ⅱ. 電子顕微鏡的所見

A. 走査電顕的所見

術後2週間

切断面に形成された dentin barrier の形成開始所見の部を歯髓側より観察すると、類円形を呈した大小の石

Fig. 24 On the 6th month
Stain for nerve fibers. $\times 100$

Fig. 26 On the 6th month
Silver stain. $\times 100$

Fig. 25 On the 6th month
Stain for nerve fibers. $\times 100$

Fig. 27 On the 6th month
Control group Silver stain. $\times 100$

灰化球様構造物が互いに癒合し、重なり合って集合している。また、石灰化球様構造物との間には多数の間隙が認められ、その部には多数の顆粒状沈着物も散見される (Fig. 28)。

術後1カ月

切断面に形成された dentin barrier を歯冠側より観察すると、辺縁部から歯髄中央部に連続して Fig. 29 に示すように比較的平滑面が多く認められる。平滑面は結晶構造物により癒合し、緻密さを増している。粗造面に

は大小の顆粒状構造物が散在し、線維様構造物はほとんど認められない。また、dentin barrier を歯髄側からみると、象牙細管の開口部がよく観察でき、不規則ではあるが、管周象牙質が識別され、基質との境界が明瞭なところと不明瞭な所がある (Fig. 30)。

術後2カ月

この時期になると一般に切断面に形成された dentin barrier は歯根の原生象牙質とほぼ均等な緻密さを呈している。この dentin barrier を縦断すると、表層部は

Fig. 28 On the 2nd week
C : Calcospherite-like structure
G : Granule deposits

Fig. 29 On the 1st month
S : Smooth surface
R : Rough surface
Fusion of crystal-like structure

Fig. 30 On the 1st month

P : Peritubular dentin

* : Opening of dentinal tubules

大部分平滑面で占められ、多孔性を呈している。その内部を観察すると、その部には結晶構造物が癒合し間隙部を満たしている。結晶構造物は密なコラーゲン成分によって被われているのが明瞭である (Fig. 31)。この時期

になると dentin barrier は歯根象牙質と癒合するようになる。dentin barrier の辺縁部を歯髄側より観察すると、小孔が多くみられ石灰化球が癒合し、緻密さを増している。象牙細管構造は不均一でその数も少なく形成

Fig. 31 On the 2nd month

↑ : Calcified structure covered with collagen component

の途上にある (Fig. 32).

根尖部に形成されるセメント質についてみると、対照群ではセメント質表面は全般にわたって石灰化が進行中であるが、石灰化度の高いセメント質面が部分的に形成されている所もみられ、線維成分に富んだ部分もみられ

る。実験群では対照群とほぼ同様の所見を呈している (Fig. 33)。

術後6ヵ月

切断面の **dentin barrier** は平滑面を呈し、歯根象牙質と癒合し、歯根象牙質と **dentin barrier** の厚さはほ

Fig. 32 On the 2nd month Fusion of calcosphrite

↑ : Structure of dentinal tubules

★ : foraminas

Fig. 33 On the 2nd month Rich with collagen fibril

ば均等である (Fig. 34). この dentin barrier を歯髄側より観察すると, 石灰化球がほぼ規則正しく分布している. 石灰化球は癒合し緻密さを増し均一な象牙細管構造を有しているのが明瞭である (Fig. 35).

根尖部のセメント質についてみると, 対照群は, 根尖部セメント質表面は全体的に平滑面を形成し, 直径 $5\mu\text{m}$ ~ $60\mu\text{m}$ の小孔が多数認められる (Fig. 36). Fig. 36 の一部を拡大すると, 直径約 $40\mu\text{m}$ ~ $60\mu\text{m}$ の分岐根

Fig. 34 On the 6th month
DB : Dentin barrier

Fig. 35 On the 6th month Pulpal side of dentin barrier
C : Calcospherite DB : Dentin barrier
DT : Dentinal tubules

管の開口部がみられる．また，小窩も認められ，石灰化小球は密に集合し表面は緻密さを増している (Fig. 37)．
Fig. 38 はセメント小腔を示しており，小腔壁はほぼ平

滑面を呈し，石灰化度の高い辺縁によって囲まれているが境はやや不明瞭である．小腔底部は基質原線維によって形成され，数個のセメント細管の開口部が認められ

Fig. 36 On the 6th month

★ : Smooth surface

↑ : foraminas ×75

Fig. 37 On the 6th month

* : Opening of ramificated canal

↑ : Pit

る．根尖部に形成されたセメント質に接する歯根膜面を観察すると，Fig. 39 に示すように円形または楕円形を示す Sharpey 線維束の横断像がみられ，辺縁は石灰化

した基質原線維によって囲まれている．セメント小腔には数個のセメント細管の開口部が認められる．

実験群についてみると，根尖部に形成されたセメント

Fig. 38 On the 6th month Cementum lucunae

* : Opening of cementum canaliculi

MF : Matrix fibril

Fig. 39 On the 6th month

↑ : Cementum canaliculi

S : Bundles of Sharpey fibril

質は Fig. 40 に示すように全体にわたって対照群と同様に平滑面を形成している。直径約 $5\mu\text{m}$ ~ $60\mu\text{m}$ の小孔が多数みられる (Fig. 40)。Fig. 40 の一部を拡大す

ると直径約 $40\mu\text{m}$ ~ $60\mu\text{m}$ 分岐根管の開口部がみられ、その周囲は微細な顆粒状構造物によって囲まれている。大小不同の小窩は $5\mu\text{m}$ ~ $10\mu\text{m}$ で形状の異なるセメン

Fig. 40 On the 6th month
S : Smooth surface
↑ : foraminas

Fig. 41 On the 6th month
★ : Opening of ramificated canal
↑ : Pit

ト小腔がみられる (Fig. 41). この時期に至るとセメント質形成面にはセメント小腔が認められるが、その周囲は基質原線維によって囲まれている。底部を観察すると、平坦な面で形成されており、その部には数個のセメント細管の開口部が認められる (Fig. 42)。

B. 透過電顕の所見

対照群

術後3日から1週間までは根尖部の新生象牙質表面には、大型の核をもち細胞質内に豊富な粗面小胞体とミトコンドリアをもつセメント芽細胞が認められ、細胞間隙は比較的広い (Fig. 43)。根尖部表層のセメント芽細胞を観察すると術後2週間から2カ月目には大型の楕円形の核をもち細胞質内には豊富な粗面小胞体とミトコンドリアが存在し、**active** なセメント芽細胞が認められる。細胞間には多数のコラーゲン原線維が認められ、その中に細胞質突起が認められる (Fig. 44)。術後6カ月に至ると、セメント質表面にクロマチンの豊富な楕円形の核をもち細胞質内にわずかな粗面小胞体とミトコンドリアを有するセメント芽細胞が認められ、セメント質に細胞質突起を出し、いわゆる **resting cell** の状態を呈している (Fig. 45)。また、セメント質中には細胞内にライゾゾームと少数の粗面小胞体とミトコンドリアをもち細

胞小器官に乏しいセメント細胞が認められ、全体的に細胞は暗調を呈している (Fig. 46)。

術後3日から2カ月に至るまで歯根膜の線維芽細胞はクロマチンに乏しい卵円形の大型の核と細胞質内に多数の粗面小胞体、ミトコンドリアが存在している (Fig. 47)。術後6カ月に至ると線維芽細胞は大型の核をもち、ミトコンドリア、粗面小胞体が認められるが細胞小器官に乏しい。その周囲に多数のコラーゲン原線維束が認められ、コラーゲン原線維束の走行に細胞の長軸を一致させている (Fig. 48)。細胞外形には突起が少なく、扁平な核と細胞体をもつ細胞も認められるようになる。

神経線維について観察するとシュワン細胞は軸索を含み、細胞質内には比較的発達がよくない粗面小胞体と豊富な **filament** を含んでいるが、細胞小器官は少ない。髄鞘はシュワン細胞の細胞膜の一部が螺旋状にとりまいて層状構造が認められる。その内部に軸索が認められる。軸索内に神経細線維、ミトコンドリア、神経細管が認められ、神経細線維、神経細管は軸索の長軸と平行に走行している。神経線維の微細構造は、実験期間を通じて同様な所見を呈している (Fig. 49)。

実験群

術後3日

Fig. 42 On the 6th month

↑ : Opening of cementum canaliculi

L : Cementum lacunae

MF : Matrix fibril

切断面直下の炎症層付近の細胞を観察すると血管の周囲には未分化間葉細胞が観察され細胞質内には大型の核が認められるが、細胞小器官は乏しい。その周囲のコラ

ーゲン原線維は少ない (Fig. 50)。

切断面直下の歯髄内の有髄神経線維を観察すると、髄鞘のミエリン部の破壊は著明で髄鞘内部の軸索は髄鞘の

Fig. 43 On the 3rd day Control group

R : Red cell CB : Cementoblast

rER : rough surfaced endoplasmic reticulum ×6,600

Fig. 44 On the 2nd week Control group

Mit : Mitochondria CF : Collagen fibril

rER : rough surfaced endoplasmic reticulum ×5,000

変形に沿って一部変形が認められ、軸索と髄鞘には間隙が認められ、神経細管のわずかな減少が認められ神経細線維も認められる (Fig. 51).

根尖部にみられるセメント芽細胞を観察すると、クロマチンに乏しい大型の楕円形の核をもち核小体の明瞭な

細胞が認められ、細胞質内には豊富な粗面小胞体とミトコンドリアが認められる (Fig. 52). この時期の歯根膜の線維芽細胞を観察すると同時期の対照群と同様な所見を呈しており、クロマチンに乏しい大型の類円形の核をもち細胞質内にはミトコンドリア、粗面小胞体が多数認

Fig. 45 On the 6th month Control group
CB : Cementoblast ×6,600

Fig. 46 On the 6th month Control group
CC : Cementocyte ×6,600

められ、細胞間には縦横に走行する多数のコラーゲン原線維が認められる (Fig. 53).

術後1週間

切断面直下の歯髄内には比較的核の占める割合が大きい多角形の細胞が認められる。核は部分的に小さな陥凹が認められ、核をとり囲むように粗面小胞体が豊富に認

Fig. 47 Periodontal ligament Control group
 FB : Fibroblast CF : Collagen fibril
 rER : rough surfaced endoplasmic reticulum
 Mit : Mitchondria ×6,600

Fig. 48 On the 6th month Control group Periodontal ligament
 FB : Fibroblast ×6,600

められ、ミトコンドリアも認められる。細胞間隙は広く、コラーゲン原線維がほとんど認められない (Fig. 54)。切断面直下の歯髄神経線維を観察するとシュワン細胞膜は二重に認められ髄鞘は一部破壊が認められるも

の規則正しい層状構造を呈している所見が認められ、神経細線維、神経細管、ミトコンドリアが認められる (Fig. 55)。

根尖部のセメント芽細胞と歯根膜の線維芽細胞は術後

Fig. 49 Control group Nerve fiber

NT : Neurotubule NF : Neurofibril Ax : Axon

Mit : Mitochondria $\times 8,300$

Fig. 50 On the 3rd day

MC : Undifferentiated mesenchymal cell $\times 6,600$

3日と同様の所見を呈している。

術後2週間

dentin barrier の形成開始所見を示す直下の象牙芽

細胞様細胞について観察すると、ゆるやかな陥凹を示す大きな楕円形の核と細胞質内に核の周囲をとり囲むように多数の粗面小胞体とミトコンドリアで占められ、細胞

Fig. 51 On the 3rd day Nerve fiber
Ax : Axon My : Myelin sheath
NF : Neurofibril $\times 10,000$

Fig. 52 On the 3rd day
CB : Cementoblast Mit : Mitochondria
rER : rough surfaced endoplasmic reticulum $\times 5,000$

間隙は狭く, **junctional complex** によって結合されている (Fig. 56). 歯髓内神経線維を観察するとシュワン細胞膜は明瞭に二重で髓鞘はほとんど規則正しい層状構

造を呈しており, 軸索内にはミトコンドリア, 神経細管, 神経細線維が認められる (Fig. 57).

根尖部においては同時期の対照群と同じ **active** なセ

Fig. 53 On the 3rd day Periodontal ligament

FB : Fibroblast Mit : Mitochondria

rER : rough surfaced endoplasmic reticulum $\times 5,000$

Fig. 54 On the 1st week. Polygonal cell

rER : rough surfaced endoplasmic reticulum

Mit : Mitochondria $\times 8,300$

メント芽細胞が認められ、大型の楕円形の核をもち細胞質内には豊富な粗面小胞体とミトコンドリアが認められ、細胞間に多数のコラーゲン原線維が認められる。以

後術後2カ月まで同様な所見を呈している。根尖の歯根膜の細胞を観察すると、大型の卵円形の核をもち、細胞質内に多数のミトコンドリアと粗面小胞体が認められ

Fig. 55 On the 1st week. Nerve fiber
 NF : Neurofibril NT : Neurotubule
 Ax : Axon Mit : Mitochondria
 Sc : Schwann cell My : Myelin sheath $\times 8,300$

Fig. 56 On the 2nd week Odontoblast-like cell
 rER : rough surfaced endoplasmic reticulum
 Mit : Mitochondria $\uparrow$: junctional complex $\times 8,300$

る．その中に大型の卵円形の核をもちその周囲に張原線維が認められる細胞が認められる．その細胞質内にミトコンドリアが存在するが粗面小胞体は少なくリボゾーム

が多数認められ，マラッセの残存上皮細胞と考えられる．歯根膜の細胞を観察すると以後2カ月まで同様の所見を呈している（Fig. 58）．

Fig. 57 On the 2nd week. Nerve fiber
 NF : Neurofibril NT : Neurotubule
 Ax : Axon Mit : Mitochondria
 Sc : Schwann cell My : Myelin sheath ×8,300

Fig. 58 On the 2nd week Periodontal ligament
 Mit : Mitochondria T : Tonofilament
 rER : rough surfaced endoplasmic reticulum ×8,300

術後1月から6ヵ月

術後1ヵ月～6ヵ月の dentin barrier の直下の象牙芽細胞を観察すると卵円形の核をもち、多数の粗面小胞

体、ミトコンドリアなど細胞小器官が偏在し、細胞間隙は比較的狭い (Fig. 59). 歯根象牙質の象牙芽細胞を観察すると、dentin barrier の象牙芽細胞と同様な所見

Fig. 59 On the 1st month Odontoblast under dentin barrier
rER : rough surfaced endoplasmic reticulum
Mit : Mitochondria $\times 8,300$

Fig. 60 On the 1th month Odontoblast of root dentin
rER : rough surfaced endoplasmic reticulum
Mit : Mitochondria $\times 8,300$

を呈し、クロマチンに乏しい卵円形の大きな核と細胞質内には細胞の象牙質側に多数の粗面小胞体、ミトコンドリアなど細胞小器官が偏在し、細胞間隙は比較的狭い (Fig. 60) .

術後1カ月から6カ月に至るまで、神経線維の微細構造は同様な所見を呈していて、シュワン細胞膜は二重に認められ、軸索を含み髄鞘のミエリン部は規則正しい層状構造を軸索には神経細線維、神経細管が認められる

Fig. 61 On the 1st month Nerve fiber

Ax : Axon Mit : Mitochondria

My : Myelin sheath Sc : Schwann cell ×8,300

Fig. 62 On the 6th month

CB : Cementoblast ×6,600

(Fig. 61).

根尖部のセメント芽細胞を観察すると術後1カ月から2カ月までは、対照群と同様の所見を呈し、大型の楕円形の核をもち細胞質内に豊富な粗面小胞体、ミトコンドリアが認められる。しかし術後6カ月目に至ると、対照

群と同様にセメント質表面にクロマチンの豊富な楕円形の核をもち細胞質内にわずかな粗面小胞体が認められセメント質に細胞質突起を出し、いわゆる *resting cell* の状態を呈する細胞が多く (Fig. 62), また、セメント質中に細胞質内にライソゾームと少数の粗面小胞体とミ

Fig. 63 On the 6th month
CC : Cementocyte ×6,600

Fig. 64 On the 6th month
FB : Fibroblast CF : Collagen fibril ×6,600

Fig. 65 On the 6th month

CF : Collagen fibril C : Cementum ×10,000

トコンドリアをもち細胞小器官に乏しいセメント細胞が認められる (Fig. 63).

歯根膜の線維芽細胞を観察すると術後1カ月から2カ月までは楕円形の核をもち細胞質に粗面小胞体, ミトコンドリアが認められ, 細胞間に多数のコラーゲン原線維が認められるが術後6カ月になると大型の核をもつが, 細胞質内に粗面小胞体, ミトコンドリアは乏しくなり, 周囲にはコラーゲン原線維束が多数認められるようになる (Fig. 64).

セメント質表面を強拡大で観察すると, セメント質にコラーゲン原線維束がほぼ直角に封入して Sharpey 線維束となって終止している. Sharpey 線維束はコラーゲン原線維の周期構造と同様の縞の周期構造を呈している (Fig. 65).

総括ならびに考察

根末完成永久歯の歯髄処置に関する研究は多く, 本教室でも木村 (1973)¹⁾, 中村 (1977)²⁾, 神内 (1985)³⁾, 中村 (1987)⁴⁾ が Apexogenesis に関する報告を行い, 品川 (1980)⁹⁾, 鬼塚 (1986)⁵⁾, 長谷川 (1986)⁶⁾ は Apexification に関する報告を行っている. 根部歯髄の一部に炎症が波及している根末完成永久歯は歯質が薄く, 根尖が開いていることから, できるだけ歯髄を保存することによって, 歯根の発育, 根尖閉鎖を期待しなけ

ればいずれ, 歯牙の破折の可能性が高くなり歯牙の保存が難しい. しかし, 根管中間位歯髄切断後の治癒に及ぼす研究は町田 (1960)¹⁰⁾, 山田 (1970)¹¹⁾ の報告がある程度で, 根末完成永久歯に関しては, ほとんどみられない.

以下, 根末完成永久歯の根管中間位歯髄切断後の創傷治癒ならびに dentin barrier の形成, 歯髄内神経線維の動態, 歯根の発育, 根尖閉鎖について著者の研究と過去の報告を参考に考察する.

近年, pulpotomy に用いる覆髄剤としては, 主に水酸化カルシウム製剤 (Calvital, Dycal) グアヤコールフォルムアルデヒドの縮合物 (FR) が用いられている. 今回の実験では, 水酸化カルシウム製剤を用いた. pulpotomy は歯髄充血や急性一部性漿液性歯髄炎など適応症の範囲は狭いが, 木村 (1973)¹⁾, 中村 (1977)²⁾ らの研究によると, pulpotomy 後, 歯根の発育, 根尖閉鎖が未処置歯と同様に認められることを実証している. また歯科材料としての安全性と有効性に関しても FDI (国際歯科連盟)¹²⁾, ADA (米国歯科医師会)¹³⁾, ISO (国際標準化機構)¹⁴⁾ も生物学的立場を評価している.

I. 歯髄の創傷治癒ならびに dentin barrier の形成
幼若犬の根末完成歯に生活歯髄切断を施した例では木村 (1973)¹⁾ は術後3日目に壊死組織と接した歯髄には紡錘形細胞の出現と膠原線維の増加を伴った石灰化組織

と、新生 **dentin barrier** の形成開始の様相を呈し、不整な象牙芽細胞の出現を認め、同じく中村 (1977)²⁾ も同様な所見を認めている。

本研究においては切断面には分界層の出現が認められ、歯髄には血管の拡張、充血ならびに好中球を中心とする炎症性細胞浸潤がみられ、出血巣周囲を線維芽細胞がとり囲んでいた。木村 (1973)¹⁾、中村 (1977)²⁾ らの創傷治癒に比べ劣っている。このことは切断部位による影響と思われる。

切断面直下の炎症層付近の細胞を透過電顕的に観察すると、成犬の永久歯を用いた **pulpotomy** に関して、東 (1981)¹⁵⁾ は紡錘形ないし、多角形の細胞を認めており、細胞小器官が発達していると述べており、市川 (1976)¹⁶⁾ は同じく成犬の永久歯を用いた実験で術後5日経過例で、壊死層直下に比較的核の占める割合の大きい多角形ないし楕円形の大型の細胞である未分化間葉細胞を認めており、切断面の新生骨様象牙芽細胞及び、新生象牙芽細胞は歯髄細胞由来であると述べている。山村 (1985)¹⁷⁾ は歯髄細胞は未分化間葉細胞に脱分化し、カルシウムや壊死物質や象牙質削片の残存などの誘導因子によって、象牙芽細胞に再分化すると述べている。Fitzgerald (1979)¹⁸⁾ によれば、線維芽細胞が活発に増殖し、細胞の一部が骨または象牙質産生細胞に分化すると述べている。

本研究においては、壊死層直下に増殖する細胞は歯髄細胞の消失した部位で認められ、その部の細胞は、細胞小器官に乏しく、楕円形の核をもつ細胞が認められるため、未分化間葉細胞と思われる。

木村 (1973)¹⁾ は術後5日目に新生 **dentin barrier** の形成をみており、術後7日目になると一定の幅を保った **dentin barrier** の形成をみている。中村 (1977)²⁾ も同様に新生 **dentin barrier** の形成を認めている。

本研究においても術後1週間では分界層直下に、有機質の形成所見が認められ、石灰化柵形成開始所見も認められ、有機質形成直下の歯髄および下方の歯髄内には好中球を主体とし、軽度の炎症性細胞浸潤が認められるが限局している。本研究において **dentin barrier** の形成がいまだ認められないのは、根管中間位で歯髄を切断することと、そのために覆髄剤の貼布も難しいという実験の難易さによるとと思われる。

術後7日の壊死層直下で増殖する細胞を透過電顕的に観ると、市川 (1976)¹⁶⁾ は術後7日に壊死層直下の増殖細胞は比較的凹凸が著明で、核膜に著明に **heterochromatin** が集積し、細胞は核をとりまくように粗面小胞

体が豊富に存在し、ミトコンドリアも増加しているが、隣接細胞との接触はみられなく、細胞間隙が広いと述べている。東 (1981)¹⁵⁾ は術後7日に壊死層下に密に配列した梨状の細胞は、外形の不規則な核内にしばしば1, 2個の大きな核小体を有し、細胞質には発達した粗面小胞体を有し、細胞質には発達した粗面小胞体や小腔を伴うゴルジ装置、多数のミトコンドリアが観察され、トームス突起も形成途上にあるなど象牙芽細胞への移行像を思わせる所見も認められると述べている。

本研究では比較的核の占める割合の大きい多角形の細胞が認められるが細胞間隙は広く、周囲にコラーゲン原線維はほとんど認められないことから、いまだ象牙芽細胞様細胞の形態をとっておらず、その前駆体であることが考えられる。

術後2週間に至ると木村 (1973)¹⁾、中村 (1977)²⁾ らや **Apexogenesis** に関する神内 (1985)³⁾ の研究では、歯髄内には出血巣、炎症性細胞浸潤は殆んど認められないと述べているが、本研究では炎症が限局性にみられ、他の **Apexogenesis** の報告に比べ、創傷治癒が遅延しているが、幼若犬の根未完成永久歯を用いて **FC** を応用した **Apexogenesis** に関する中村 (1987)⁴⁾ の報告では、切断面直下の歯髄内に軽度の出血と硝子様化が認められ、創傷治癒は同様に遅れている。

術後2週間の **dentin barrier** に接した歯髄を透過電顕で観察すると市川 (1976)¹⁶⁾ は、歯冠側には骨様象牙質が形成され、骨様象牙質の内側に円柱状の新生象牙芽細胞が存在し、隣接細胞と **tight junction**、及び **desmosome** で結合していたと述べている。また東 (1981)¹⁵⁾ は **dentin barrier** 直下の細胞の象牙芽細胞化を認めている。

本研究では核が歯髄切断面の反対側に偏在しており、隣接細胞と **junctional complex** によって結合しているものの、まだ核の周囲をとり囲むように粗面小胞体、ミトコンドリアが豊富に認められ、核はゆるやかな陥凹を示した楕円形の細胞を認め、象牙芽細胞様細胞を呈していると考えられる。

切断面に形成される **dentin barrier** について観察すると、本研究では術後2週間で **dentin barrier** の形成開始所見が認められる。

大野 (1986)¹⁹⁾ は幼犬の乳歯を用いて生活歯髄切断を行った研究で、術後14日で石灰化柵は緻密になり、辺縁部で **dentin barrier** の形成が著明となり、鍍銀染色で観察すると、辺縁部の **dentin barrier** ならびに石灰化柵は、いまだ膠原線維性の粗い基質としてみられ、緻密

な所と粗となっている所もみられるが、**dentin barrier** の形成開始所見を呈していると述べている。中村（1977）²⁾は、歯髄表層部では髄腔壁から歯髄中央部に連続して、**dentin barrier** ならびに骨様象牙質の形成がみられ、**dentin barrier** は原生象牙質の構造と類似性をもっていると述べている。本研究では **dentin barrier** の形成が他の **pulpotomy** の報告に比べ遅れているものの、歯髄を可能な限り保存し、根尖閉鎖をはかるという意味において、順調に **dentin barrier** の形成は進行していると考えられる。

中村（1986）²⁰⁾は、幼犬乳歯歯髄切断後の **dentin barrier** について走査電顕的に観察し、術後14日では歯髄側から観察すると、多くの間隙を認め、大小不同の円形、類円形の岩石様結晶構造物が認められ、互いに重なりあったものや癒合しているものが認められ、その間に小円状の顆粒状沈着物が集合しているのが認められ、より小さな顆粒状物より形成されている粗造な部分が認められると述べている。

本研究でも切断面を走査電顕で観察すると、歯髄側では石灰化球様構造物がみられ、その間に間隙と多数の顆粒状沈着物も認められ、また歯髄と外界との交通も認められることから **dentin barrier** は形成途上であると思われる。

術後35日目に至ると神内（1985）³⁾は生活歯髄内には出血巣や細胞浸潤は全く認められず、**dentin barrier** の下方の歯髄は正常像を保っていると述べている。中村（1987）⁴⁾は **dentin barrier** の直下の歯髄に軽度の出血と炎症性細胞浸潤と硝子様化を認めると述べている。

本研究では術後1カ月目において **dentin barrier** に接した歯髄は正常像を呈しており、FC を応用した **Apexogenesis** より創傷治癒は良好と思われる。

dentin barrier の直下の増殖細胞を透過電顕で観察すると、市川（1976）¹⁶⁾は術後21日に新生象牙芽細胞に類似した細胞が認められると述べており、伊津（1976）²¹⁾は雑種成犬を用いて歯髄切断した術後10～15日に石灰化層直下に骨様象牙質の形成がみられ、骨様象牙質層に接する細胞は形態的、機能的に象牙芽細胞に類似した肥大細胞が認められ、術後20日過ぎに象牙芽細胞に分化すると述べている。東（1981）¹⁵⁾は術後14日後に、光顕的、電顕的に象牙芽細胞をおもわせる細胞の出現を認めると述べている。

本研究では術後1カ月の **dentin barrier** の直下の象牙芽細胞は象牙質の反対側に卵円形の核を偏在させ、豊富なミトコンドリア、粗面小胞体を持ち、歯根象牙質の

象牙芽細胞とはほぼ同様な所見を呈するようになり、他の報告と同様な時期に **dentin barrier** に接した歯髄内の増殖細胞は象牙芽細胞への分化を認めた。

術後1カ月目になると、神内（1985）³⁾の報告では辺縁部から歯髄中央部に向って連続して **dentin barrier** の形成がみられ、柵内方に幼若象牙質が歯根の幼若象牙質とほぼ同等の幅をもって認められ、その内方に象牙芽細胞が規則正しく配列していると述べている。

本研究では切断面には **dentin barrier** の形成が認められる場合と歯髄の固有組織と血管の進入が認められ、**dentin barrier** の形成が不均一な場合が認められる。

走査電顕で観察すると、中村（1986）²⁰⁾は術後35日に切断面に形成された **dentin barrier** の形成面に多数の顆粒状構造物が緻密に集合していて、その部には大小不同直径0.1 μ m～5 μ m 大の小孔が散見され、小孔の周囲には線維状沈着物が多数みられる。歯髄側から観察すると、管周象牙質と管間象牙質の区別が不規則な所見を呈していると述べている。

本研究では術後1カ月では歯冠側は、緻密さを増し、粗造面には大小顆粒状構造物が散在し、線維状構造物は認められないが、歯髄側は中村（1986）²⁰⁾と同様の所見を呈していて、石灰化は進行していると思われる。

本研究では術後2カ月目には辺縁部から歯髄中央部へ連続して象牙細管構造をもった **dentin barrier** の形成がみられ、柵最内方にはエオジンに好染した幼若象牙質がほぼ一定の幅を保って認められ、歯根象牙質と連続している。

神内（1985）³⁾は術後95日目に至ると切断面には著しく厚径を増して均等に形成された **dentin barrier** を認めている。中村（1987）⁴⁾は、術後95日で **dentin barrier** と歯根象牙質は完全に組織癒合が行われ、それに伴って幼若象牙質もほぼその幅を一定にして連続していると述べ、本研究とはほぼ同様の所見を呈しているが、**dentin barrier** の厚径は、本研究では他の報告に比べて若干薄弱であった。

術後2カ月に至った **dentin barrier** を走査電顕で観察すると **dentin barrier** の縦断面を観察した所見と歯髄側より観察した所見は中村（1986）²⁰⁾が述べている術後35日で観察した乳歯の **dentin barrier** の同部位の所見とはほぼ同様であり、本研究では **dentin barrier** の形成がわずかに遅延していると考えられる。しかし、中村（1986）²⁰⁾も象牙細管構造は不均一であると報告していることから、**dentin barrier** は本研究と同様に形成途上であると考えられる。

術後6カ月で本研究では dentin barrier は平滑面を呈し、歯根象牙質と癒合し、歯根象牙質と dentin barrier の厚さがほぼ均等であった。dentin barrier を鍍銀染色で観察すると表層は粗い線維性基質を呈し、内層は象牙細管構造をもった dentin barrier が厚く形成しているのが認められる。

中村 (1987)⁴⁾ は、FC を応用し、術後120日目で dentin barrier は辺縁部から歯髓中央部に連続して象牙細管構造がみられ、辺縁部では斜走し、中央部の一部を除いて規則正しい配列を示していると述べていて、本研究の術後6カ月目と同様な所見を呈し、術後6カ月で十分に dentin barrier ができると考えられる。

走査電顕で術後6カ月の dentin barrier を観察すると、術後2カ月では不均一であった象牙細管構造は緻密で、均一な構造を呈するようになったことから、十分に歯髓の被覆保護が可能になったと考えられる。

II. 歯髓内神経線維の動態

神内 (1985)³⁾ は、術後3日で切断部直下の壊死層内に染色性が低下し、輪郭が不明瞭となった変性神経線維が観察され、主として屈曲、蛇行しながら膨化した形で残存していると述べている。中村 (1987)⁴⁾ は術後3日の壊死層には、ほとんどの神経線維は染色性を低下させたものや、膨化したまま融解消失したものが多くと述べている。

幼犬の乳歯を用いて生活歯髓切断した研究で松山 (1984)²²⁾ は、神経線維は壊死層内ではほとんど顆粒状崩壊や変性に陥り、消失しつつあるが、とくに歯髓中央部において切断面に向かい膨化しながら融解消失寸前のものもみられると述べている。許 (1987)²³⁾ は幼犬の乳歯を用いて、FC を応用して Calvital で生活歯髓切断を施した研究で、術後3日の壊死層直下の炎症性変化のみられる部に膨化、肥厚、屈曲、断裂、顆粒状化した変性神経がみられたと述べている。

本研究では、切断面の壊死層内に膨化、自己融解寸前の変性神経線維がみられ、直下の歯髓は変性した軸索の集合が明瞭で、他の報告と同様に強い変性像が認められた。

許 (1987)²³⁾ は術後3日目の壊死層直下の歯髓内を透過電顕で観察し、髓鞘のミエリン部の破壊が著明で軸索の微細管の減少を認めると述べている。林 (1982)²⁴⁾ は雑種成犬永久歯を用いた生活歯髓切断の実験を術後1日目と壊死層内有髓神経線維の髓鞘の周期構造の乱れが著明であったと述べている。

本研究における透過電顕的観察では、髓鞘のミエリン

部の破壊は著明で髓鞘の変形に沿って軸索は一部変形が認められ、軸索と髓鞘には間隙が認められたが、神経細線維は認められ、神経細管のわずかな減少が認められた。

神内 (1985)³⁾ は術後7日目では壊死層内に変性神経線維の残存がみられ、膨化、顆粒状を呈した変性神経線維が認められ、術後3日目に正常像が認められなかった歯髓内に、神経線維が有機質形成部に向けて上行していると述べている。松山 (1984)²²⁾ は術後3日目に石灰化層より下方の歯髓内には、大部分神経線維が変性しているのが、術後7日目には石灰化層直前まで再生神経線維がのびていると述べている。

中村 (1987)⁴⁾ は広範囲な出血巣に膨化、顆粒状崩壊した変性神経線維が一部散見されるが、出血巣から離れた部の歯髓組織内と、微小神経束、単一神経線維、微細な神経線維が上方に向かって伸長していると述べている。

本研究では神内 (1985)³⁾、松山 (1984)²²⁾ の報告ほど再生神経の上行は認められず、中村 (1987)⁴⁾ が術後1週間で述べているように、切断面からやや離れた下方の歯髓内では神経線維の変性はみることはないが、活発に再生神経線維は上行していた。

炎症層のある歯髓内神経線維を透過電顕で観察すると、許 (1987)²³⁾ は術後1週間目に再生の途中に変性に陥った二重の髓鞘の有髓神経線維を認め、最内方の軸索は、ほぼ正常像を呈していると述べている。Nathaniel and Peace (1963)²⁴⁾ はラット脊髄神経線維背根の再生に関し、髓鞘のミエリン部は破壊したが、基底膜周辺に有髓化を始めた再生軸索が認められたと述べている。

本研究では透過電顕で髓鞘のミエリン部の破壊も術後3日に比べて、かなり少なく一部破壊が認められるものの、ほとんど規則正しい層状構造を呈し他に変性所見が認められないことから、歯髓内神経線維の変性は少なくなっていると考えられる。

歯根の発育に伴う神経線維の動態についてみると、根尖相当部は広く開大し、Hertwig 上皮鞘が著明に認められ、根尖相当部直下の歯根膜及び槽間中隔、根管中隔側の Hertwig 上皮鞘の外側歯根膜に神経は集合し、複雑に分岐、吻合して神経叢を形成し、歯髓内に分布していく。本研究において歯髓直下の、歯髓内神経線維の回復は神内 (1985)³⁾、松山 (1984)²²⁾ に比べ遅延しているが、根尖部の神経線維は一部屈曲、蛇行した神経線維がみられるものの術後7日目の所見としては順調に経過していると考えられる。

術後2週間目では、神内 (1985)³⁾ は、歯髓内の変性

神経線維はほとんど認められなく、下方から伸びてきた神経線維を認めるが、石灰化柵には入っていないと述べている。松山（1984）²²⁾は、この時期になると柵に向かう2、3本の神経線維束が活発に走行し、ほとんどの症例において柵に進入する直前に方向をかえるが、そのまま終末をむかえるものがみられると述べている。

本研究では単一神経線維、微細な神経線維が切断面に向って上行しているが、神内（1985）³⁾の報告のように神経束の上行は認められなく、松山（1984）²²⁾のように上行する神経束が数本認められることもなく、中村（1987）⁴⁾の報告と同程度の再生神経線維の伸長がみられ、通常の *Apexogenesis* に比べて、神経線維の再生は遅延していると思われる。

透過電顕で観察すると、許（1987）²³⁾が述べているように、内部の髄鞘のミエリン部の破壊はほとんど認められない。

以上のことにより、術後2週間では歯髄内神経線維の変性はなくなると考えられる。

神内（1985）³⁾は術後35日目の切断面下方の歯髄内神経線維は *dentin barrier* の下方で向きをかえ、柵に平行に走行する神経線維を認め、これらの神経線維は分枝を出し、象牙芽細胞に至るものは、わずかに認められると述べている。中村（1987）⁴⁾は、同時期に柵直下の辺縁部に上行してきた微小神経束、単一神経線維は象牙芽細胞下方で終わっていると述べている。松山（1984）²²⁾は柵直下の辺縁部から分岐した微細な神経線維が豊富に縦横と交叉、吻合し、象牙芽細胞内に入るものが認められると述べている。許（1987）²³⁾は、同時期の歯髄内には、神経束から分岐した微細な神経線維の分岐が認められるが、神経叢や象牙芽細胞層付近に進入する自由終末はほとんど認められないと述べている。

本研究では術後1カ月目では中村（1987）⁴⁾、許（1987）²³⁾らの報告と同様に柵に向かう神経線維はその直前で向きをかえて辺縁に伸びていて、そのまま上方の *dentin barrier* に向けて上行するものも認められるが、神内（1985）³⁾、松山（1984）²²⁾の報告でみられるように、神経叢の形成は認められず、象牙芽細胞層に進入する神経線維はほとんど認められず、再生神経線維の伸長は遅延していると考えられる。

術後1カ月以降の歯髄内神経線維を透過電顕で観察しても、本研究では神経線維の変性は認められない。

根尖部セメント質が添加され、分岐根管が形成されるところになると中村（1987）⁴⁾は根尖部歯髄から歯冠部に向って上行する神経線維は歯髄の中央部に位置し、

大、中、小神経束が通過していて、健全な神経線維が走行していると述べている。

本研究において根尖相当部直下の歯根膜に集合する神経線維は神経叢を形成しているもの、根管中間位で歯髄切断したため、根尖部から歯髄内に進入する直前に変性に陥る神経線維も散見され、上行する神経線維の数は減少しているが、根管中間位歯髄切断によって歯髄を保存し、歯根象牙質の発育を伸長させる目的においては術後1カ月目の所見は順調と思われる。

術後2カ月になると根尖相当部神経叢内にみられた屈曲、蛇行、膨化を呈する変性神経線維は、歯根が完成期に入ってくると著しく少なくなる。

本研究では根管内の歯髄中央部を走行する神経線維は小神経束や単一神経線維が上行する。しかし、神内（1985）³⁾の報告でみられるような中神経束は認められない。

術後6カ月に至ると、セメント細胞を封入した有細胞セメント質により根尖は閉鎖され、歯根は完成する。神内（1985）³⁾は術後95日になると下方の歯髄から伸びてきた神経束及び単一神経線維は象牙芽細胞に終末分岐を出して、辺縁部に達するとさらに分岐を増し、これらの分岐は複雑に交錯して神経叢を形成すると述べている。中村（1987）⁴⁾は術後120日に歯髄中央部の健康組織から上行してきた大、中、小神経束、単一神経線維は柵近くの歯髄内に到達すると膨化、断裂、顆粒状化を呈し、柵直下で変性に陥らず健全な姿を呈したものは象牙芽細胞に向って分枝を派出しているが辺縁部の象牙芽細胞層に進入して終止するような遊離終末もほとんど認められないと述べている。

本研究では術後6カ月経過しても辺縁部の象牙芽細胞層に終止する神経線維は少なく、神内（1985）³⁾の報告にあるような柵直下に神経叢を認めなかった。歯髄を根管中間位で切断したため、再生神経線維の伸長は遅延しているが、中村（1987）⁴⁾が施した *Pulpotomy* の適応範囲を拡大する意味で FC を応用した *Apexogenesis* の場合より、根管中間位で歯髄を切断した本研究の方が再生神経の伸長は認められた。

神内（1985）³⁾の報告では、歯根完成期の根尖の歯根膜の神経叢から側枝を通じて、大、中、小神経束が血管とともに歯髄内に進入しているが、本研究では歯髄内にみられる神経束はほとんどが中、小神経束で神経線維の再生も遅延しているが、歯髄内には炎症は認められないことから、今回の観察期間は柵直下に神経叢は確認されなかったが、より長期の観察を行った場合、神経叢の形成がみられると思われる。

Ⅲ．根尖閉鎖

神内 (1985)³⁾ は術後3日から7日まで、根尖部は広く開大し、**Hertwig** 上皮鞘は著明に認められ、有細胞セメント質の添加は認められないと述べており、中村 (1987)⁴⁾ も同様な所見が得られ、本研究でも同様な所見が得られた。

幼若犬の根未完成永久歯は再植後、透過電顕で観察した辻 (1988)²⁵⁾ の報告では対照群は、術後3日では根尖部幼若象牙質表層は大きく明瞭な核小体をもつ大型の核と細胞質内に豊富な粗面小胞体を有するセメント芽細胞を認めており、細胞間隙は比較的広く、間隙中には赤血球を認めると述べている。

本研究においても実験群、対照群とも大型の核をもつ細胞内に豊富な粗面小胞体とミトコンドリアをもつセメント芽細胞を認めている。

神内 (1985)³⁾ は術後2週間でほとんどの症例でまだ有細胞セメント質の添加は認められないと述べているが、中村 (1987)⁴⁾ は術後2週間で根尖に有細胞セメント質の添加を認めていると述べている。

本研究では **Hertwig** 上皮鞘は消失し、有細胞セメント質の添加を認めているが、実験材料の個体差によるのである。

同時期のセメント芽細胞を透過電顕で観察すると辻 (1988)²⁵⁾ は対照群でセメント質表層で核小体の明瞭な大きな類円形の核と細胞質に豊富な粗面小胞体とミトコンドリアを認め、活性が高いと報告している。本研究でも対照群、実験群ともに同様な **active** な所見を呈しており、根管中間位歯髄切断は、根尖部のセメント芽細胞にほとんど影響を与えていない。

術後1カ月から2カ月まで神内 (1985)³⁾、中村 (1987)⁴⁾ らは、根尖が有細胞セメント質による閉鎖が認められるようになると報告している。幼若犬の根未完成永久歯を用いて **Apexification** を施した品川 (1980)⁹⁾ によるとこの時期では根尖部は硬組織の閉鎖は認めていないと報告しており、幼若犬の根未完成永久歯を用いて、**Apexification** を施した研究で長谷川 (1986)⁶⁾ は、術後2カ月に菲薄なセメント様硬組織の形成を認めると述べている。

本研究では術後2カ月までに、神内 (1985)³⁾、中村 (1987)⁴⁾ らの報告とほぼ同様の時期に、有細胞セメント質の添加によって根尖閉鎖が認められ、**Apexification** に比べより早い時期に根尖閉鎖が認められる。

術後2カ月の根尖部に形成されたセメント質を走査電顕で観察すると、実験群、対照群ともにセメント質表面

は、全般にわたって線維成分に富んでおり、石灰化が進んでいない所見がみられ、まだ根尖部セメント質は石灰化途上であることがわかる。

この時期の歯根膜をみると木村 (1988)²⁶⁾ は、根側では線維性結合組織から構成され、歯根の完成時にみられる歯根膜の主線維を示す歯槽縁、水平方向、斜走方向を示す歯根膜線維は配列を不規則にして認められるが、根尖部のセメント質と歯槽骨に放射状に進入する歯根膜線維束の形成は不安定な状態といえると述べている。本研究では術後1カ月目に根尖閉鎖が認められたが、歯牙は十分な咬合機能をはたしていないため、歯根膜はセメント質から歯槽骨に向かって、歯根膜線維が認められるものの機能的配列は認められない。

この時期の歯根膜の細胞を透過電顕で観察すると、雨宮 (1983)²⁷⁾ は線維形成の盛んな部位では、多数の突起を有する線維芽細胞が認められ、よく発達した粗面小胞体を持ち、ミトコンドリアが細胞質内に分布していると述べている。

本研究でも同様の所見を呈していて、線維芽細胞は **active** な状態にあるといえる。

術後6カ月に至ると長谷川 (1986)⁶⁾ は **Apexification** を施した実験群では根尖に、菲薄なセメント様硬組織ができるが、十分でなく、8カ月に至ると厚いセメント質の形成により、完全に根尖は閉鎖され、側枝様構造も認められる。根尖部外側面よりセメント質の形成がみられ、根尖部まで連続して厚い硬組織の根尖閉鎖がみられると述べている。神内 (1985)³⁾ は術後95日で実験群、対照群ともに根尖部の有細胞セメント質が球状に形成され、全域にセメント細胞を封入したセメント小腔が散在し、石灰化が完了していると述べている。

中村 (1987)⁴⁾ も、術後120日で有細胞セメント質の形成により、根尖部の閉鎖は、ほぼ安定した状態を呈していると述べている。

本研究では一部にわずかな象牙質の内部吸収がみられるものの、その部にセメント細胞を封入したセメント質の形成がみられ、十分に根尖は閉鎖し、根部歯髄は保存されている。根管中間位歯髄を切断してもその後の歯根象牙質は十分厚さを増し、咬合に対して歯根部の強度は十分増してくると考えられる。

根尖部のセメント質について、鬼塚 (1986)⁵⁾ は **Microphotogram** で術後6カ月目の実験群の **apical bridge** は、いまだ対照群に比べて低い値を示しているが、術後8カ月に至ると根尖部セメント質は、対照群と実験群は近似の値を示すようになると述べている。

走査電顕による観察において、本研究では根尖部にはセメント質表面に全体的に平滑面を形成し、小孔を多数認められる。また小窩も認め、石灰化小球は密に集合し、表面は緻密さを増し、石灰化度が高い。

同時期の根尖部を透過電顕で観察すると、辻（1988）²⁵⁾は対照群の歯根完成期で、セメント質表面に楕円形の核と細胞質にわずかな細胞小器官をもつセメント芽細胞が認められ、セメント質中に細胞質突起を出している、**resting cell**の状態を呈しており、セメント小腔内にセメント細胞が認められ、細胞質全体が暗調像を呈している、細胞質内に粗面小胞体、ミトコンドリアが乏しく、ライソゾームを認めると報告している。

本研究でも対照群、実験群ともに根尖部に形成された有細胞セメント質は、ほぼ対照群と同様であった。

術後6カ月目の歯根膜を観察すると、対照群、実験群ともに機能的配列を示すようになり、その歯根膜の密度もほぼ同様の所見を呈している。歯牙の萌出が完了し、咀嚼機能がはたされるようになり、歯根膜が安定した状態になったと考えられる。

この時期の歯根膜を透過電顕で観察した雨宮（1983）²⁷⁾の報告では歯根膜の線維芽細胞の細胞質突起が縮小し、細胞小器官も減少し、コラーゲン原線維束の走行に、細胞の長軸に一致した形態を示していると述べている。本研究でも術後6カ月目で同様の所見がみられる。

本研究においては走査電顕で根尖には、円形または楕円形を示す**Sharpey**線維束の横断像がみられ、中心に丸くなった低い隆起のみられる型が多くみられた。これは**Armitage**（1980）²⁸⁾のいう石灰化の完了した休止期のセメント質にみられるものと同様と考えられる。

また透過電顕で観察すると、セメント質にコラーゲン原線維束が封入して**Sharpey**線維束となって終止しており、**Sharpey**線維束はコラーゲン原線維の周期構造と同様の縞の周期構造が認められ、雨宮（1983）²⁶⁾の報告と同様の所見を呈している。町田（1960）¹⁰⁾は成人の歯牙を用いて、麻酔根管中間位切断を施した症例のうち、歯根未完成永久歯で、切断後の歯根発育を認めている。

本研究では根管中間位歯髄切断後、歯髄の創傷は治癒し、**dentin barrier**による被覆がなされ、歯髄内神経線維の再生がおり、歯根象牙質に部分的に内部吸収があるものの、厚い歯根象牙質、根尖は有細胞セメント質で閉鎖され、歯根膜の機能的配列がみられた。

結 論

幼若犬の根未完成永久歯に根管中間位歯髄切断処置を施し、歯髄の創傷治癒、歯髄内神経線維の動態、**dentin barrier**の形成過程ならびに歯根の発育を含めて根尖閉鎖について光顕的ならびに電顕的に検索し、以下の結果を得た。

1. 術後3日目では、歯髄切断面直下に広範囲に壊死層の形成がみられ、壊死層直下の炎症層の神経線維は変性に陥っていた。この部を透過電顕で観察すると、細胞小器官に乏しい未分化間葉細胞がみられ、髄鞘のミエリン部の破壊が著明な神経線維が認められた。根尖部には**Hertwig**上皮鞘が認められた。

2. 術後1週間目は、切断面には石灰化柵形成開始所見が認められ、直下の歯髄には軽度の炎症性細胞浸潤が限局していた。柵直下には、比較的核と細胞体の大型な細胞を認め、透過電顕で観察すると、部分的に小さな陥凹がある核をもち、細胞質内に粗面小胞体が豊富で、細胞間隙の広い細胞が認められた。

3. 術後2週間目になると、切断面直下には**dentin barrier**の形成開始所見がみられ、その部を走査電顕で歯髄側より観察すると、大小の石灰化球様構造物が互いに癒合し重なりあって集合していた。この部の細胞を透過電顕で観察するとゆるやかな陥凹をもった大きな楕円形の核と核の周囲をとり囲むように細胞質内に多数の粗面小胞体とミトコンドリアで占められ、**junctional complex**で結合した象牙芽細胞様細胞を認めた。神経線維を透過電顕で観察すると、髄鞘は規則正しい層状構造をもった正常な神経線維が認められた。

根尖部ではこの時期より有細胞セメント質の添加がみられ、透過電顕で観察すると対照群、実験群ともに**active**なセメント芽細胞が認められた。

4. 術後1カ月から2カ月経過例では、切断面には辺縁部から歯髄中央部に連続して象牙細管構造をもった**dentin barrier**の形成が認められた。この部を走査電顕で観察すると歯冠側では管周象牙質が識別され、基質との境界が明瞭な所と不明瞭な所があり、象牙細管構造は不均一であった。柵直下の細胞を透過電顕で観察すると、歯根象牙質の象牙芽細胞と同様に、クロマチンに乏しい卵円形の大きな核と、多数の粗面小胞体、ミトコンドリアなど細胞小器官が偏在する所見が認められた。歯髄内神経線維は**dentin barrier**に向って小神経束及び単一神経線維が上行していた。根尖部は有細胞セメント質の添加が活発に行われ、透過電顕で観察すると、大型

の楕円形の核をもち豊富な粗面小胞体, ミトコンドリアが認められた。

5. 術後6カ月目に至ると, **dentin barrier** は厚さを増し, **dentin barrier** を走査電顕で観察すると歯髄側では石灰化球が規則正しく分布し, 癒合し, 緻密さを増し均一な象牙細管構造を有していた。神経線維はこの時期に至ると, **dentin barrier** に達し, 柵に平行に辺縁部の象牙芽細胞層に終止するものや, 歯髄の固有組織や血管とともに, 柵内に進入している所見がみられた。

根尖部は一部わずかな象牙質の内部吸収がみられるが, その部にセメント細胞を封入したセメント質の形成がみられ, 石灰化は完了し, 対照群とほぼ同程度の根尖閉鎖が認められた。この部を走査電顕で観察すると, 対

照群, 実験群とも平滑面を形成し, 石灰化度の高いセメント小腔が認められた。セメント質表面のセメント芽細胞を透過電顕で観察すると, 粗面小胞体, ミトコンドリアの乏しい **resting cell** の状態を呈していた。歯根膜線維束は機能的配列を示していた。

稿を終るにあたり, 本研究に際して終始ご懇篤なご指導とご校閲を賜りました恩師木村光孝教授に深甚の謝意を捧げます。また本実験に種々の御協力を戴いた小児歯科学教室の各位に御礼申し上げます。

本論文の要旨は, 昭和63年5月20日第26回日本小児歯科学会大会において発表した。

引用文献

- 1) 木村光孝: 根未完成歯の歯髄の処置に関する実験的研究. 九州歯会誌 27: 17—44, 1973.
- 2) 中村一孝: 根未完成歯の歯髄処置における各種薬剤効果に関する実験的研究. 九州歯会誌 30: 821—854, 1977.
- 3) 神内正人: **Apexogenesis** に伴う歯髄内神経線維の消長に関する実験的研究. 九州歯会誌 39: 1—26, 1985.
- 4) 中村聖: **FC** を応用した **Apexogenesis** に伴う歯髄内神経線維の動態に関する実験的研究. 九州歯会誌 41: 25—45, 1987.
- 5) 鬼塚一徳: **Apexification** に伴う根尖閉鎖硬組織のX線学的ならびに電子顕微鏡的研究. 九州歯会誌 40: 165—187, 1986.
- 6) 長谷川 喬: **Apexification** に伴う歯根膜の創傷治癒に関する実験的研究. 九州歯会誌 40: 1—30, 1986.
- 7) Ungewitter, L.H.: A urea silver nitrate method for nerve fibers and nerve endings. *Stain Tech.* 26: 73—76, 1951.
- 8) Powers, M.M.: The staining of nerve fibers in teeth. *J. Dent. Res.* 31: 383—392, 1952.
- 9) 品川光春: 歯根未完成歯の根尖閉鎖に関する実験的研究. 九州歯会誌 34: 355—376, 1980.
- 10) 町田幸雄: 抜髄法並びに根管中間位歯髄切断法に関する臨床病理学的研究. 日歯保誌 3: 126—189, 1960.
- 11) 山田 享: 歯髄切断部位が, その後の治癒におよぼす影響. 歯科医学 33: 711—730, 1970.
- 12) Stanford, J.W.: Recommended standard practices for biological evaluation of dental materials. *Int. Dent. J.* 30: 140—188, 1980.
- 13) Stanley, H.R.: American national standards institute/American Dental Association Document. No. 41 for biological evaluation of dental materials. *J. Am. Dent. Assoc.* 99: 697—698, 1979.
- 14) Working Group 5 of the FDI Commission on Dental Products: Biological evaluation of dental materials. ISO Technical Report 7405, 1983.
- 15) 東 富恵: 生活歯髄切断法における硬組織庇蓋形成過程に関する電子顕微鏡的研究 I. 脱灰標本による組織の変化の検討. 広歯誌 13: 248—275, 1981.
- 16) 市川 徹: 犬における生活歯髄切断後の **Dentin Bridge** 形成に関する光顕的ならびに電顕的研究. 歯科学報 76: 391—439, 1976.
- 17) 山村武夫・下野正基・井上 孝・辻 孝憲: 歯髄の創傷治癒における歯髄細胞の分化と誘導. 歯基礎誌 27: 395—408, 1985.

- 18) Fitzgerald, M. : Cellular mechanics of dentinal bridge repair using ^3H -thymidine. *J. Dent. Res.* 58 : 2198, 1979.
- 19) 大野秀夫 : 乳歯歯髓切断後の創傷治癒に関する実験的研究. 九州歯会誌 40 : 911—933, 1986.
- 20) 中村嘉明 : 乳歯歯髓切断後の dentin barrier に関する実験的研究. 九州歯会誌 40 : 1065—1097, 1986.
- 21) 伊津進弘 : 象牙質被蓋形成機序に関する光学顕微鏡ならびに電子顕微鏡的研究. 歯科医学 39 : 583—622, 1976.
- 22) 松山道孝 : 乳歯歯髓切断後の創傷治癒に関する神経組織学的研究. 九州歯会誌 38 : 1042—1063, 1984.
- 23) 許 淵仁 : FC を応用した乳歯歯髓切断後の神経線維の動態に関する実験的研究. 九州歯会誌 41 : 1219—1237, 1987.
- 24) Nathaniel, E.T.H. and Peace, D.C. : Degenerative changes in rat dorsal roots during Wallerian degeneration. *J. Ultrastruct. Res.* 9 : 533—549, 1963.
- 25) 辻 裕文 : 根未完成永久歯再植後の根尖周囲組織の治癒過程に関する X 線学的, 光顕的ならびに透過型電子顕微鏡的研究. 九州歯会誌 42 : 1—29, 1988.
- 26) 木村光孝 : 根未完成永久歯根尖部の組織変化. 歯科ジャーナル 27 : 855—861, 1988.
- 27) 雨宮 璋 : 歯根膜, セメント質の微細形態と病変. 細胞 15 : 404—408, 1983.
- 28) Armitage, G.C. : Cementum. In : *Orban's Oral histology and embryology* (ed. by Bhaskar, S.N.). 9ed., Mosby St. Louis, 1980, 180—203.