

〔原著〕 松本歯学 4 : 19~26, 1978

歯根透明象牙質の Microradiography と Electron-microscopy, 第1報

枝 重夫, 川上敏行, 林 俊子, 中村千仁
松本歯科大学 口腔病理学教室 (主任 枝 重夫 教授)

赤 羽 章 司
松本歯科大学 電子顕微鏡室 (主任 赤羽章司 学士)

渡辺郁馬, 山崎喜之
東京都養育院附属病院歯科 (主任 渡辺郁馬 博士)

Microradiography and Electron-microscopy on the Transparent Root Dentin, First Report

SHIGEO EDA, TOSHIYUKI KAWAKAMI,
TOSHIKO HAYASHI and CHIHITO NAKAMURA
Department of Oral Pathology, Matsumoto Dental College
(Chief: Prof. S. Eda)

SHOJI AKAHANE
Laboratory of Electron-microscope, Matsumoto Dental College
(Chief: B. Sc. S. Akahane)

IKUMA WATANABE and YOSHIYUKI YAMAZAKI
Department of Dentistry, Tokyo Metropolitan Geriatric Hospital
(Chief: Dr. I. Watanabe)

Summary

Using 25 incisors and molars obtained from patients over 60 years of age, most of transparent root dentin and some of opaque dentin were studied by means of ordinary microscopy, microradiography and electron-microscopy both of transmission and scanning.

Results are as follows:

1. There were two optical natures in the radio-opaque dentin, the one was transparent (compare Figs. 1, 2 t with the same part in Fig. 5), and the other was opaque (cf. Figs. 1, 2 arrow with the same part in Fig. 5).

2. There were two radiological natures in the opaque dentin in the dry ground section, the one was radio-opaque (cf. Figs. 1,2 arrow with the same part in Fig. 5), and the other was radio-lucent (cf. Figs. 1,2 o with the same part in Fig. 5).
3. The opaque dentin in dry specimen, having radio-lucency (Figs. 1,2 o) disappeared its opacity when it mounted with Canada balsam (Figs. 3,4). However, the opaque dentin having radio-opacity (Figs. 1,2 arrow) did not show any changes when it mounted with Canada balsam (Figs. 3,4).
4. The developments of the transparent root dentin were shown due to the calcium salt deposition into the dentinal tubules by microradiography (Fig. 9), scanning electron-microscopy (Fig. 10) and transmission electron-microscopy (Figs. 11, 12).

歯牙は年齢の増加とともに硬軟両組織において形態的ならびに物理・化学的に各種各様の慢性変化を惹起するが、これらを歯牙の増齢的变化と呼んでいる。この変化が最も顕著に現われるのは象牙質で、その微細構造的なものは咬耗症や磨耗症における透明層および不透明層、歯根部の透明象牙質の出現で代表される。とくに歯根部透明象牙質は年齢の増加とともに歯根端側から歯冠部に向けて次第に拡大するため年齢推定の1つの手がかりとなっている (Gustafson, 1950⁶⁾; 加藤, 1956⁸⁾; 加藤と山崎, 1957⁹⁾; 北原, 1968¹⁰⁾; 見明, 1975¹¹⁾; 森口他, 1975¹²⁾)。咬耗などにおける歯冠部象牙質の変化については Fish (1931; 1932)³⁾ 4) 以来数多くの研究があるが(後述)、歯根部透明象牙質についての業績は比較的少ない。われわれはこれら象牙質の増齢的变化について検索を続けており、今回は第1報として歯根透明象牙質の光学顕微鏡的、顕微X線のならびに走査型および透過型電子顕微鏡の所見について報告する。

材料と方法

材料は、年齢60歳以上の前歯あるいは臼歯で、歯槽膿漏症等で抜去した肉眼的に齲蝕のない歯牙25本である。抜去後、直ちに2%グルタルアルデハイド液または10%ホルマリン液にて固定、ダイヤモンド・ジスクを用いて約300 μ に薄切後、砥石を使って厚さ50 μ ないし80 μ の研磨標本に作成した。この標本は、Softex CMR (5kV, 5mA, 20~30分)にてマイクロラジオグラフを撮影し、その後研磨標本を乾燥のまま、さらにその後キシロールで透徹してバルサムにて封入し、それぞれについて透過光線と落下光線を使用して顕微鏡写

真の撮影を行なった。そしてこれらとマイクロラジオグラフの同一視野、同一拡大の顕微鏡写真と比較検討した。走査電顕については、固定後厚さ約2mmに切断し、透明象牙質を確認後象牙細管が横断されるよう破折し、金イオンスパッタコーティングをほどこして電子顕微鏡(日本電子JEM100B-ASID)を用いて観察した。透過電顕については、固定後エポキシ樹脂に包埋し、ダイヤモンドナイフにて象牙細管が横断されるよう非脱灰超薄切片を作製し、無染色にて電子顕微鏡(日本電子JEM100B)で観察した。

成 績

まず透明象牙質と不透明象牙質の光学顕微鏡的所見を述べる。図1から図5までは72歳男性下顎左側側切歯の厚さ80 μ の非包埋研磨標本より得たものである。図1は乾燥(非封入)標本の透過光線による拡大写真である。切端部咬耗に関連して暗黒の不透明象牙質がみられるが(矢印)、さらに歯根部透明象牙質(t)に隣在する不透明象牙質も認められる(o)。図2は落下光線でみたもので、不透明象牙質と透明象牙質とは、図1と比べ明暗がまったく逆になっており、とくに歯根部不透明象牙質(o)は光輝を発しきわだっている。同じ標本をキシロールで透徹しバルサム封入後透過光線で観察したものが図3である。乾燥標本の図1と比較し全体的に透過性を増しているが、切端部不透明象牙質の不透過性にはほとんど変化が認められない。これに対し、歯根部中央にみられた不透明象牙質は完全に消失している。すなわち不透明象牙質には光学的性質の異なる2種があることを示している。同じ封入標本を落下光線でみると(図4)、図1と図2との関係と同じように図3とは明

暗が逆になっており、図2でみられた歯根中央部の不透明象牙質はまったくこれを見ることができない。

次にマイクロラジオグラフをみると切端部不透明象牙質はX線不透過性であるが、歯根中央部の不透明象牙質は反対にX線透過性になっているのが注目される(図5)。さらに歯根部透明象牙質はわずかにX線不透過性であると認められる。以上の所見からX線不透過性の象牙質にも光学顕微鏡的に不透明のものと透明の2種があることがあきらかである。すなわちこれらは硬化不透明象牙質(sclerosed opaque dentin)および硬化透明象牙質(sclerosed transparent dentin)と呼ばれるものである。

図6は84歳男性上顎左側中切歯の厚さ 80μ の非包埋研磨標本を透過光線で観察したもので、歯根部拡大像を示す。上部の暗い正常象牙質と下部の明るい透明象牙質とが比較的境界明瞭に分布し、一部では交互に存在し縞模様を呈している。同じ部位のマイクロラジオグラフによると正常象牙質では象牙細管が明瞭であるのに対し、透明象牙質では象牙細管が不明瞭でX線不透過性となっていた(図7)。これを詳細に観察するため矢印部を拡大したのが図8である。右側の正常象牙質では象牙細管の走行がきわめて鮮明に認められるのに、左側の透明象牙質では不鮮明で歯髄側にはまったく均一にみえるところもある(矢印)。

象牙細管と管間基質との関係をより正確に知るために、正常象牙質と透明象牙質との境界部において象牙細管が横断されるような研磨標本を作りマイクロラジオグラフを撮影した。第9図は61歳男性下顎左側第2大臼歯の厚さ 50μ の非包埋研磨標本から得たものである。対角線左上部が歯根透明象牙質で、象牙細管はX線不透過性となりそれは管間基質のそれよりはるかに高度である。右下の正常象牙質では象牙細管はX線透過性で黒く点在している。しかし境界付近を詳細に観察すると、X線透過性の象牙細管の周囲に管間基質よりもさらにX線不透過性の輪状物が数多く認められ、その中にはX線透過性の部分が中心にわずかにみられるものもある(矢印)。

次に電子顕微鏡所見に移る。図10は74歳女性下顎右側犬歯の歯根部透明象牙質付近において象牙細管が横断されるように破折した断面の走査型

電子顕微鏡像である。上方は正常象牙質で、象牙細管の管腔が散在している。下方の透明象牙質ではその基質がほぼ均一であるが、注意してみると閉鎖した象牙細管がわずかに黒く観察される。図11は79歳女性上顎左側側切歯の歯根部透明象牙質の非脱灰切片を無染色にて透過型電子顕微鏡でみたものである。横断された2本の象牙細管が電子密度の高い石灰塩の沈着によって完全に閉鎖されている。管間基質ではコラーゲン線維の走行に従って石灰塩が沈着していることがわかる。図12は図11の上部の拡大像である。象牙細管内の石灰塩の結晶はきわめて微少で密であるが(右側)、方向性は持っていないようにみえる。これに対し管間基質ではコラーゲン線維の走行に関連して、針状のやや大きい石灰塩の結晶が排列していることが明瞭である。なおこの写真では高石灰化の管周基質は判然としない。象牙細管内の沈着物の電子密度は標本および場所により種々であった。

考 察

象牙質の増齡的变化の1つとして咬耗や磨耗によってあらわれる歯冠部のいわゆる硬化象牙質(sclerotic dentin)については、古くから光学的な研究があり(Fish, 1931³⁾; 1932⁴⁾)、さらにマイクロラジオグラフによるもの(Röckert, 1956¹⁵⁾; Bradford, 1958²⁾; Van Huysen, 1960²⁰⁾; Weber, 1974²¹⁾; 見明, 1975¹¹⁾など)、電子顕微鏡の観察もかなり多数にのぼる(Takuma and Eda, 1966¹⁸⁾; Tronstad and Langeland, 1971¹⁹⁾; 見明, 1975¹¹⁾など)。しかし歯根透明象牙質については、その分布範囲の増齡的变化や物理・化学的变化の研究が主で(Gustafson, 1950⁶⁾; 加藤, 1957⁸⁾; 加藤と山崎, 1957⁹⁾; 山崎, 1959²²⁾; 高橋, 1959¹⁷⁾; Azaz, et al. 1977¹⁾)、その微細構造についての業績は意外に少ない(五井, 1929⁵⁾; 山崎, 1959²²⁾; 高橋, 1959¹⁷⁾; Nalbandian, et al. 1960¹³⁾; Takuma and Eda, 1966¹⁸⁾)。そしてこれらの論文では、透明象牙質の成因は象牙細管内に石灰塩が沈着し、管間象牙質と均一になるためであるとされている。しかし歯冠部の硬化象牙質の多くが、光学的に不透明でいわゆる硬化不透明象牙質であるのに対し、歯根部では、かならず硬化透明象牙質になるという興味深い問題点があるにもかかわらず、その理由については論究していない。

しかも象牙細管周囲には管周基質 (peri-tubular matrix) が存在するため (Takuma and Eda, 1966¹⁸⁾), それと硬化象牙質の初期像との区別はかならずしも容易でない。

歯根透明象牙質の成因について, 五井 (1929)⁵⁾ は, “透明象牙質の成因は, おそらく一方において歯細管鞘, 歯線維およびその側枝に, 他方において灰化基質に, 二次的石灰塩の浸潤沈着するによりてこれらの諸構造が平等の密度を有するに至りたる結果ならん”と述べ, さらに山崎 (1959)²²⁾ は “歯根透明象牙質は象牙芽細胞の機能減退に伴って現われる退行性変化である”としている。また高橋 (1959)¹⁷⁾ も “歯根部透明層の形成は, 咬合圧の歯周組織に及ぼす機能的影響; および歯髓の退行変性によるものであり, 要するに象牙質の退行変性である”と考えている。森口他 (1975)¹²⁾ は “歯根透明象牙質の形成に伴う根管歯髓組織には石灰変性 (沈着) が高率に発現する他, それぞれに対応する根管内壁には不規則な石灰化 (帯状) 物が発現していた”ことからこれらの石灰化物が透明象牙質の形成に関係することを示唆した。

今回の成績においてマイクロラジオグラフでの所見は, Nalbandian, et al. (1960)¹³⁾ や Takuma and Eda (1966)¹⁸⁾ のものとはほぼ同様に象牙細管内への石灰塩の沈着を認めたが, 象牙細管の縦断と横断について正常象牙質と透明象牙質の境界部をとらえ, 明瞭に対比させることができた。なお五井 (1929)⁵⁾ は “人類歯牙において, 根端部象牙質の透明なるものあり。この部は時に Röntgen 線に対する透過性を示し, その写真像において透明部の境界線があたかも根端の折傷を疑はしむことあり。”と記しているが, 全く逆の所見で理解できない。さらに高橋 (1959)¹⁷⁾ は歯根部透明層を歯牙まるごと, 正中片面削除, および研磨薄片として, 100 v, 20 mA, 0.3~1.0 秒で X 線撮影を行なったが, いずれの条件下においても正常象牙質と透明象牙質の差異は認められなかったと述べている。これは普通の歯科用 X 線装置を使用したものと考えられ (詳細な記載なし), 従って X 線が強すぎて微細な差異があらわれなかったものと想像される。次に走査型電顕所見であるが, これは山崎 (1959)²²⁾ がみた歯根透明象牙質研磨面のレプリカ像とほぼ同様に, 閉鎖象牙細管の断面は緻密で管間基質と移行していた。透過型電顕所見では,

Nalbandian, et al. (1960)¹³⁾ や Takuma and Eda (1966)¹⁸⁾ の記載した如く, 象牙細管内に種々な程度の電子密度をもつ微細なしかも方向性をもたない沈着物が観察された。しかしこの沈着物と管間基質との関係については, Takuma and Eda (1966)¹⁸⁾ の如く明瞭に区別されなかった。

付随的に観察した咬耗部の X 線不透過性象牙質は, 光学的には歯根部と全く逆に不透明になることが確認されたが, この光学的性質の差異は石灰塩の結晶の相異にもとづくものと考えられ, 今後, 検索を続ける予定である。さらに歯根部にみられた不透明象牙質が, 前記切端部の不透明象牙質とは逆に X 線透過性であったことも興味深い点で, これはバルサムで封入することにより光学的不透明性を失ったことから象牙細管内に空気が侵入したことに由来すると思われた。

結 論

年齢 60 歳以上の前歯あるいは臼歯 25 本を用いて, 主として歯根透明象牙質, 付随的に不透明象牙質について, 光学顕微鏡的, 走査型電子顕微鏡的ならびに透過型電子顕微鏡的に検索し, 比較検討した結果, 次の如き結論を得た。

1. 歯根部の X 線不透過性象牙質は光学的に透明でいわゆる硬化透明象牙質であるのに対し, 咬耗により切端にできた X 線不透過性象牙質は不透明で硬化不透明象牙質であった。

2. 非封入乾燥標本にみられる不透明象牙質には X 線的に不透過性のものと透過性のものが認められた。

3. 前者 (X 線不透過性不透明象牙質) はバルサムに封入してもほとんど光学的不透明性に変化が起こらなかったが, 後者 (X 線透過性不透明象牙質) は, バルサムで封入することによりその光学的不透明性は完全に消失した。

4. 歯根透明象牙質は象牙細管内に石灰塩が密に沈着するために成立することが顕微 X 線および電子顕微鏡的に確認することができた。

文 献

- 1) Azaz, B., Michaeli, Y. and Nitzan, D. (1977) Aging of tissues of the roots of nonfunctional human teeth (impacted canines). Oral Surg. 43 : 572—578.
- 2) Bradford, E. W. (1958) The maturation of the

- dentine. *Brit. dent. J.* 105: 212—216.
- 3) Fish, E. W. (1931) The reaction of the dental pulp to peripheral injury of the dentine. *Proc. Roy. Soc. B.* 108: 196—208.
 - 4) Fish, E. W. (1932) The pathology of the dentine and the dental pulp. *Brit. dent. J.* 53: 351—363.
 - 5) 五井道夫 (1929) 透明歯根端の組織学的所見. 歯科新誌, 22: 288—298, 2pls.
 - 6) Gustafson, G. (1950) Age determinations on teeth. *J. Amer. dent. Ass.* 41: 45—54.
 - 7) Johnson, C. C. (1968) Transparent dentine in age estimation. *Oral Surg.* 25: 834—838.
 - 8) 加藤一男 (1956) 歯質の理学的性質と年齢との関係. 日口科誌, 5: 403—410.
 - 9) 加藤一男, 山崎長夫 (1957) 象牙質透明層の理学的性質の年齢的变化について. 日歯医誌, 10: 465—468.
 - 10) 北原祐佐 (1968) 歯牙硬組織の経年的変化. 日大医誌, 27: 931—946, 6 pls.
 - 11) 見明清 (1975) 増齢に伴う歯牙の変化. 日歯評論, (387): 73—88.
 - 12) 森口美津子, 上松博子, 坂井剛, 見明清, 松井隆弘, 東昇平 (1975) 咬耗, 歯ぎん囊および歯根透明象牙質の増齢的变化. 歯科学報, 75: 1870—1879.
 - 13) Nalbandian, J., Gonzales, F. and Sognnaes, R. F. (1959) Sclerotic age changes in root dentin of human teeth as observed by optical, electron, and x-ray microscopy. *J. dent. Res.* 39: 598—607.
 - 14) 尾上慎吾 (1955) 象牙小管の幅径の年齢的变化に就て. 日口科誌, 4: 19—23.
 - 15) Röckert, H. (1956) Some observations correlated to obliterated dentinal tubules and performed with microradiographic technique. *Acta Odontol. Scand.* 13: 271—275.
 - 16) Simon, W. J. and Armstrong, W. D. (1941) Translucent dentin. *J. Amer. dent. Ass.* 28: 1115—1120.
 - 17) 高橋正行 (1959) 歯根部透明層の観察と実験的研究. 第1報 歯根部透明層の形態について. 第2報 歯根部透明層の増齢的变化について. 第3報 歯根部透明層の組織学的観察について. 日口科誌, 8: 459—481.
 - 18) Takuma, S. and Eda, S. (1966) Structure and development of the peritubular matrix in dentin. *J. dent. Res.* 43: 683—692.
 - 19) Tronstand, L. and Langeland, K. (1971) Electron microscopy of human dentin exposed by attrition. *Scand. J. dent. Res.* 79: 160—171.
 - 20) Van Huysen, G. (1960) The microstructure of normal and sclerosed dentine. *J. Pros. Dent.* 10: 976—982.
 - 21) Weber, D. F. Human dentine sclerosis: A microradiographic survey. *Archs oral Biol.* 19: 163—169.
 - 22) 山崎長夫 (1959) 歯根透明象牙質の組織学的並びに物理学的研究. 口病誌, 26: 216—232.

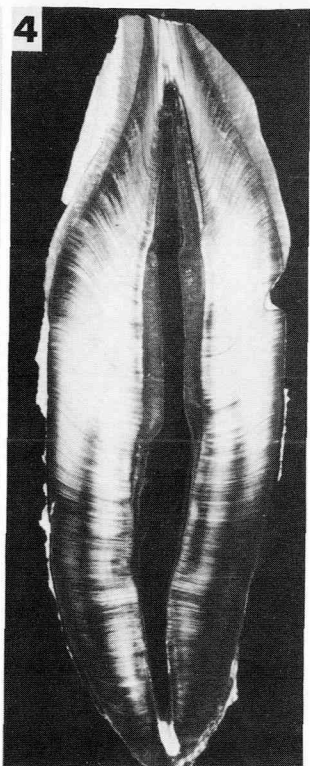
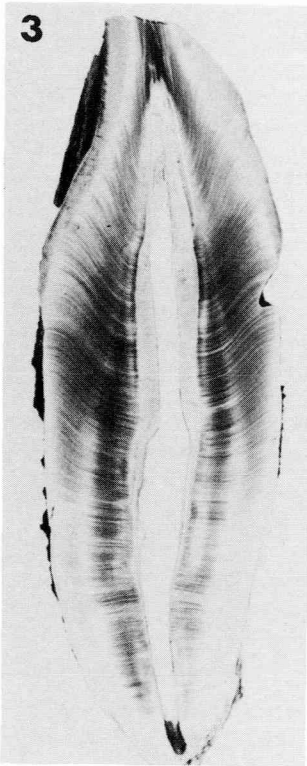
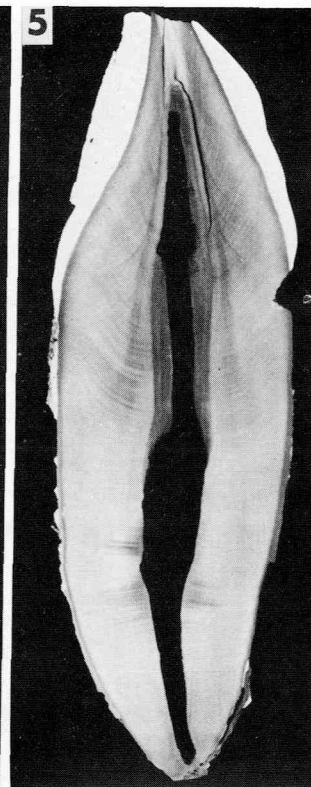
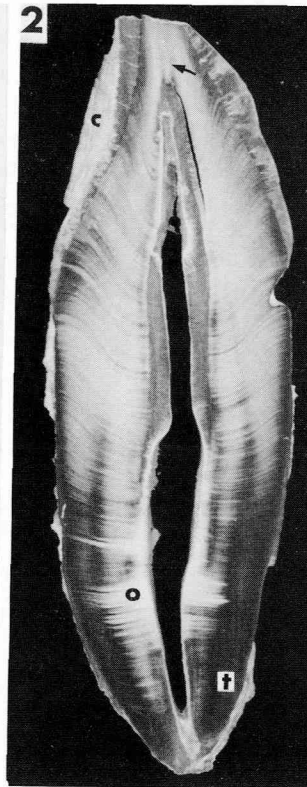
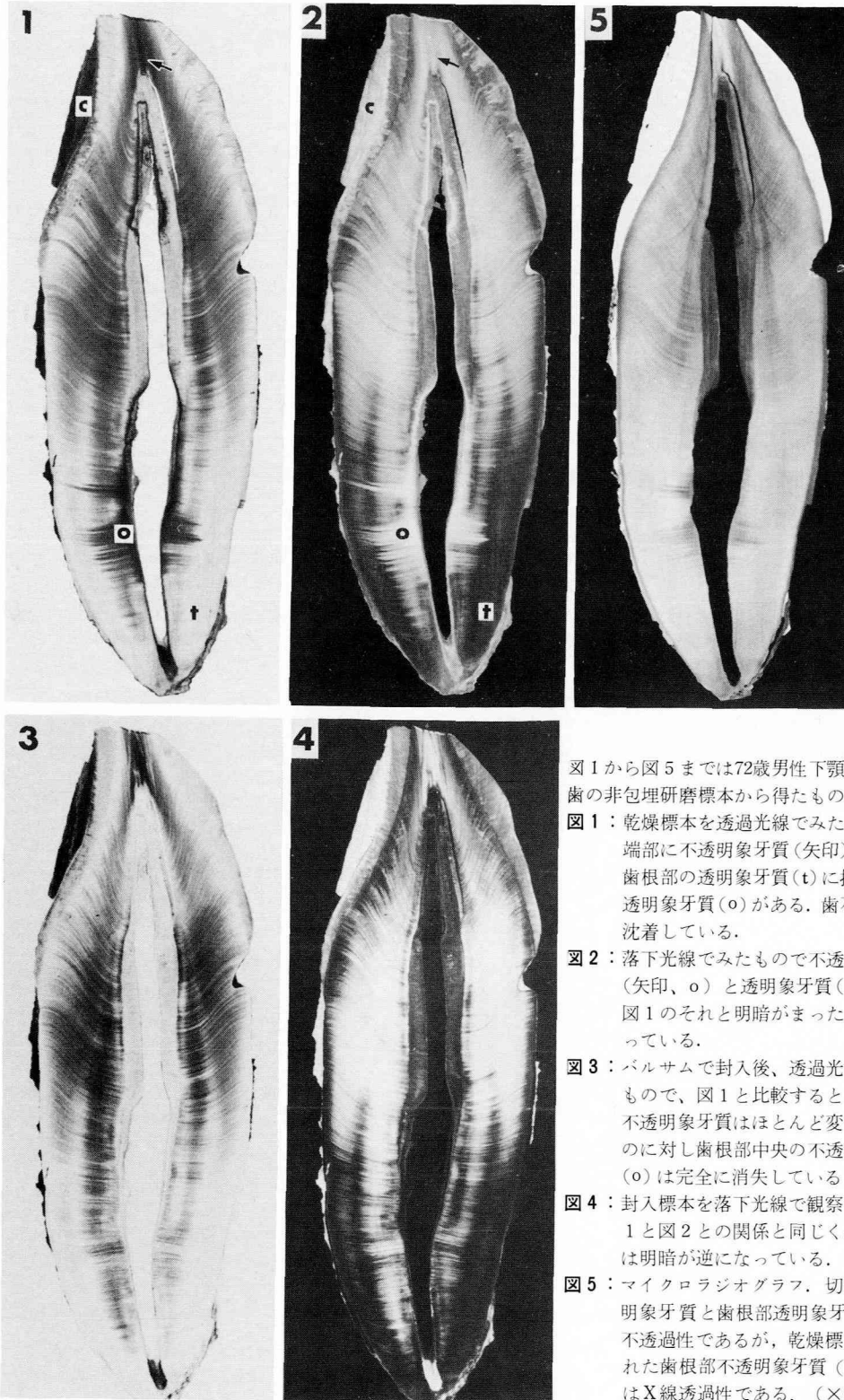


図1から図5までは72歳男性下顎左側側切歯の非包埋研磨標本から得たものである。

図1：乾燥標本を透過光線で見たもの。切端部に不透明象牙質(矢印)があり、歯根部の透明象牙質(t)に接して不透明象牙質(o)がある。歯石(c)が沈着している。

図2：落下光線で見たもので不透明象牙質(矢印、o)と透明象牙質(t)とは、図1のそれと明暗がまったく逆になっている。

図3：バルサムで封入後、透過光線で見たもので、図1と比較すると、切端部不透明象牙質はほとんど変化がないのに対し歯根部中央の不透明象牙質(o)は完全に消失している。

図4：封入標本を落下光線で観察すると図1と図2との関係と同じく、図3とは明暗が逆になっている。

図5：マイクロラジオグラフ。切端部不透明象牙質と歯根部透明象牙質はX線不透過性であるが、乾燥標本でみられた歯根部不透明象牙質(図1.2o)はX線透過性である。(×8.0)

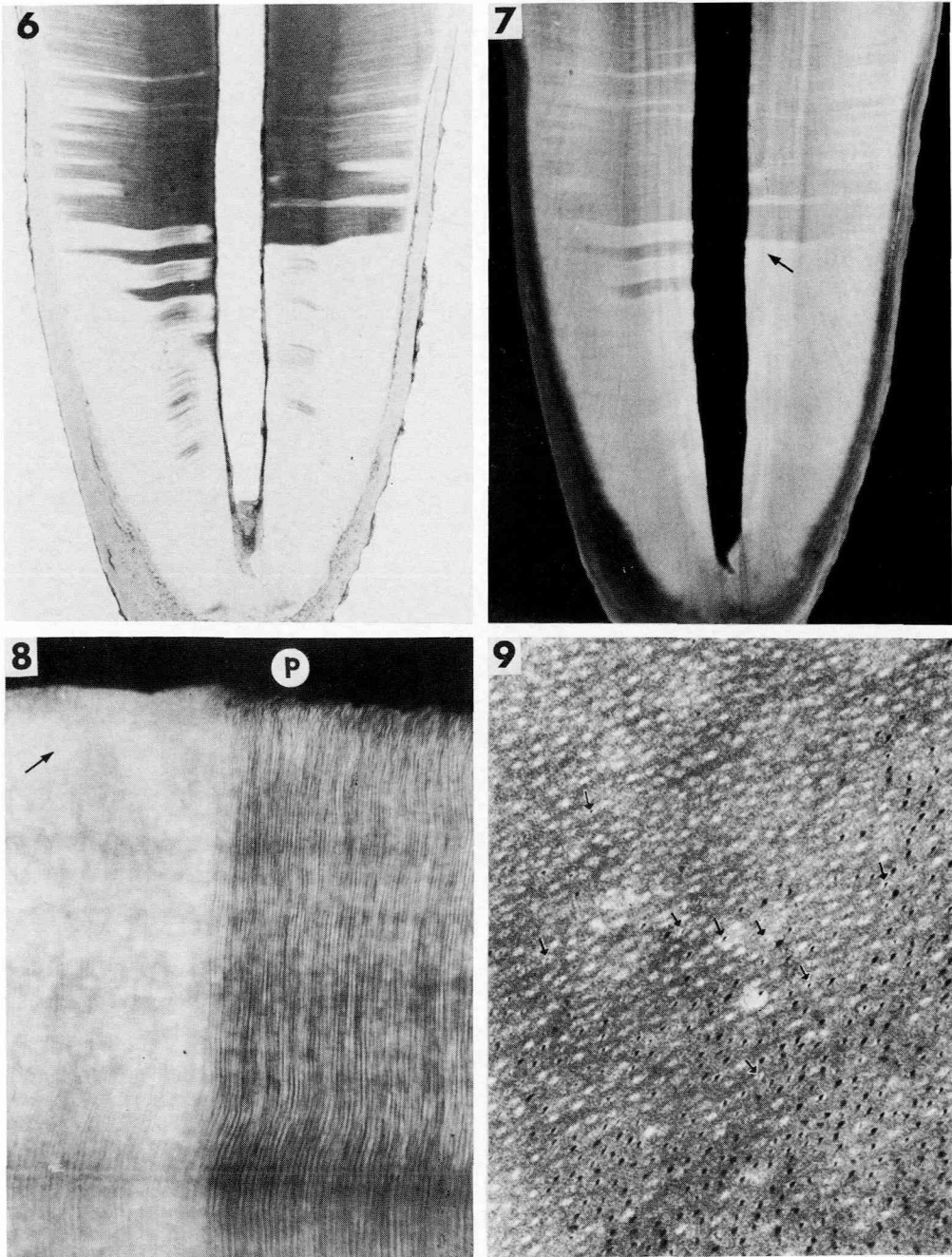


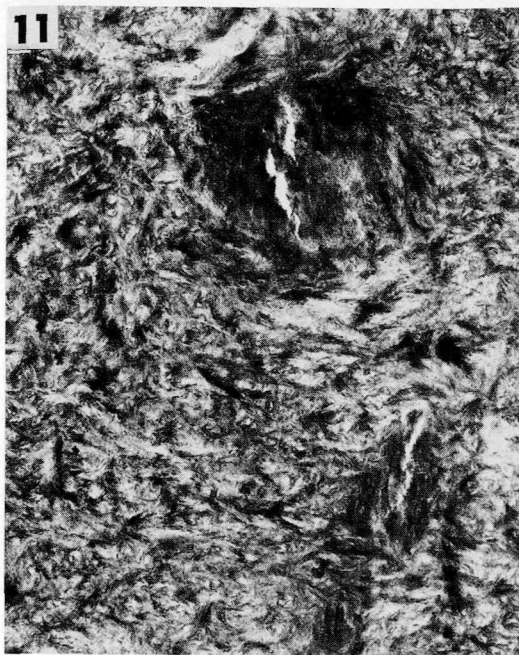
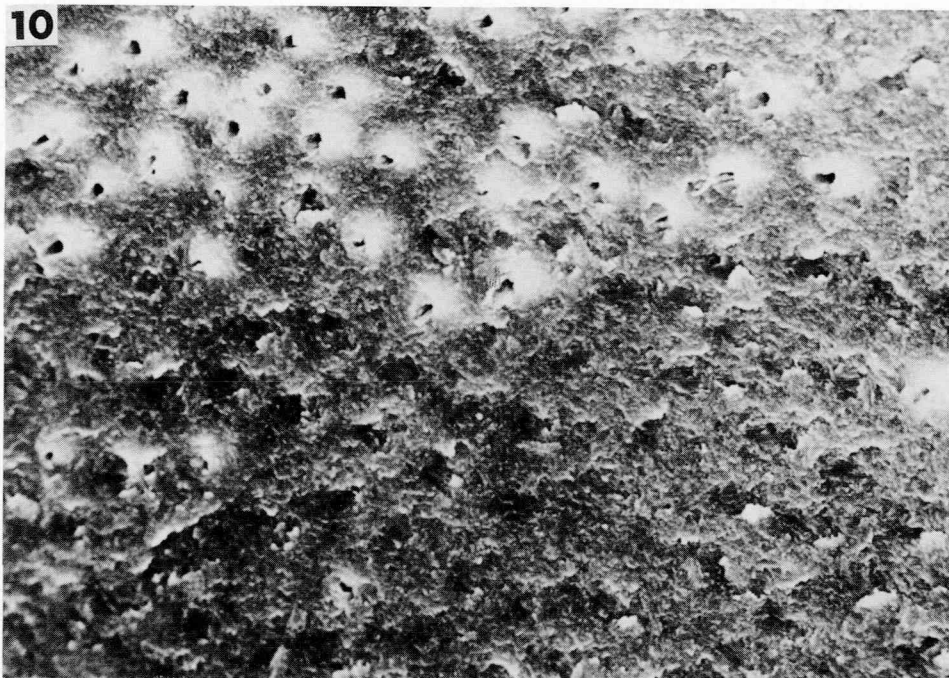
図6から図8までは84歳男性上顎左側中切歯の非包埋研磨標本より得たものである。

図6：乾燥標本の歯根部を透過光線でみたものである。上部の暗い正常象牙質と下部の明るい透明象牙質とが比較的境界明瞭に分布している。(×12.8)

図7：図6と同じ部位のマイクロラジオグラフである。下部の透明象牙質はX線不透過性である。さらに歯髄腔側が層状に不透過性になっているのが注目される(矢印)。(×12.8)

図8：図7の矢印の部分拡大したもので90°回転してある。上は歯髄腔(P)で、左側が透明象牙質である。象牙細管の走行が不明瞭でまったく認められないところ(矢印)もある。

図9：61歳男性下顎第二大臼歯の非包埋研磨標本のマイクロラジオグラフ。左上部が歯根透明象牙質で、横断された象牙細管は管間基質よりもX線不透過性となっている。右下部の正常象牙質との移行部には、象牙細管がX線不透過性で中心部のみが透過性の移行像も観察される(矢印)。(×270)



- 図10：74歳女性下顎右側犬歯の歯根透明象牙質の破折面を走査型電子顕微鏡でみたものである。上方は正常象牙質，下方は透明象牙質である。後者ではほぼ均一にみられるが，わずかに閉鎖した象牙細管が識別できる。（ $\times 1,500$ ）
- 図11：79歳女性上顎左側側切歯の歯根透明象牙質の非脱灰切片を無染色にて透過型電子顕微鏡で観察したものである。横断された2本の象牙細管には電子密度の高い石灰塩が沈着している。その中心部には人工的亀裂がある。（ $\times 14,000$ ）
- 図12：図11の上部の拡大像である。象牙細管内の石灰塩の結晶は微小で方向性をもっていない。管間基質（左方）はコラーゲン線維の走行に関連して，針状の大きい結晶が排列している。管間基質は判然としていない。（ $\times 41,000$ ）