

[原著] 松本歯学 2 : 92~121, 1976

窩洞形成直後の歯髄反応に関する電子顕微鏡的研究 特に象牙細管内への各種細胞の移動について

斉 藤 利 夫

東京歯科大学 病理学教室第2講座 (主任 山村武夫 教授)

Electron-microscopy on the Immediate Pulpal Response to
Cavity Preparation, Especially on the Movement of
Cells into the Dentinal Tubules

TOSHIO SAITO

*Department of Pathology, Tokyo Dental College
(Chief: Prof. T. Yamamura)*

Summary

The purpose of this communication is to observe the cells moved into the dentinal tubules due to cavity preparation under electron-microscopy. Using 18 dog's teeth, the Class V cavities were prepared by means of air turbine with a diamond point or a tungsten carbide bur without water cooling, and the pulp reactions, especially the cells in the dentinal tubules, were observed electron-microscopically just after the procedures. In order to get good fixation, the new local-perfusion method from *arteria carotis communis*, invented by Yoshida, et al. (1974), was applied in this experiment. After the fixation newly preparations of 6 cavities were carried out by the same procedures for the control.

The results were as follows;

1. The rod-shaped bodies in the dentinal tubules were found in 13 out of 18 teeth (72%) under ordinary microscopy in the 1μ sections stained with toluidine blue or Paragon stain.
2. Electron-microscopy revealed that the rod-shaped bodies could be divided into three types of cells; odontoblast nuclei, neutrophilic leukocytes and erythrocytes, according to their origins.
3. The main bulk of the rod-shaped bodies in this experiment, meaning appeared just after the cavity preparation, had resulted chiefly (12 out of 13 cases) from odontoblast nuclei, and partly from neutrophilic leukocytes and erythrocytes (1 out of 13 cases).
4. It should be noticed that the movement of neutrophilic leukocytes into the dentinal tubules had occurred even in this experiment. This fact may suggest that neutrophilic

leukocytes can respond immediately to the irritation.

5. Not only odontoblast nuclei but also the cytoplasmic organelles, such as mitochondria, rough endoplasmic reticulum and free ribosomes, were also displaced into the dentinal tubules.

6. The weaving of dentinal fibers in the tubules may not come from the shrinking of dentinal fibers, meaning direct-biological phenomenon, but from the result of movement of odontoblast nuclei, meaning indirect-mechanical phenomenon.

7. The nerve fibers moved into a dentinal tubule were observed in a case.

8. In the control, the odontoblast nuclei also moved into the dentinal tubules. Regarding the fact it was considered that the fixation did not yet complete and the outward movement of the tubule contents was occurred due to cavity preparation.

9. Based upon the above mentioned findings the mechanism of the cellular movement was supposed that chiefly rising of intrapulpal pressure by an inflammatory response and partly the outward movement of the tubule contents due to heat or reduced pressure might be causes. Only the leukocytes could migrate themselves for the defence to irritation.

10. In the reviewing the Japanese literatures, it was found that the displacements of odontoblasts and erythrocytes into the dentinal tubules in the pulpitis specimens were first described by I. Ono in 1940, and that the migration of wandering cells into the dentinal tubules was observed in the pulpitis by T. Ono in 1917. In addition these, rod-shaped bodies came from fragments of dentinal fibers in the caries dentin were documented by Hana-zawa in 1919.

緒 言

窩洞形成により歯質とくに象牙質を刺戟すると、歯髓組織は種々なる反応を示す。この種の研究は歯科保存学あるいは口腔病理学の分野において広く行なわれており、その数は枚挙にいとまがないくらいである。そして、組織反応はエンジンの種類、回転数、切削器の種類、切れあじ、窩洞形成時の圧力、切削時間、切削量、注水の有無、窩洞の深さ（窩底象牙質の厚さ）などにより異なることがわかっている²⁾ 4) ~ 8) 18) ~ 20) 26) 28) 30) 33) 36) ~ 42) 45) 50) 66) ~ 71) 76) 79) 81) 84) ~ 88)。

歯髓組織の変化は、これを時期的に窩洞形成直後ないし初期と後期とに分けて考える必要があり、さらに場所的に象牙質内と歯髓腔内とに分けて観察しなければならない。本論文は直後の変化に限っているので、直後の象牙質内に現われる変化をみてみると、それは象牙細管内の桿状体 (rod-shaped body) の出現で代表される。一方、歯髓腔内における直後の変化には象牙芽細胞の短縮、伸長、変性、萎縮または消失、さらに象牙芽

細胞層の排列混乱、空胞形成、水腫、充血、出血などが挙げられる。

さて、象牙細管内の桿状体は、窩洞形成によってかならず出現するものではなく、また各種練成充填物による刺戟、抜歯鉗子による圧迫、さらには歯髓炎などの際にも現われる。この本態については、考察の各項で詳述するが、光学顕微鏡の所見から、象牙芽細胞、白血球、あるいは赤血球といわれている²⁰⁾。しかし微細な象牙細管内のしかも細長く変形した構造物であるため、光学顕微鏡レベルにおいては、その確認はかなり困難であるといわざるを得ない。それでは電子顕微鏡で観察したらどうかと思うところであるが、意外なことに内外を問わず、従来、この構造物を電子顕微鏡的に検索したものは、ほとんどこれを知らないのである。そこで著者は、窩洞形成直後に出現するこの桿状体を電子顕微鏡的に観察したところきわめて興味ある所見を得たのでここに発表する次第である。

実験方法

本研究の目的は、桿状体の本態を電子顕微鏡的に検索することにあるから、桿状体を可及的多数出現させる必要がある。従って光学顕微鏡的研究によりその出現率が高いことがわかっている非注水下エアータービンエンジンを使用し、深い窩洞を形成することにした。詳細は次の通りである。

生後約1年半の雑種成犬2頭をラボナール（チオベンタール・ナトリウム）静脈内注射による全身麻酔の後、1頭は上下顎の切歯計12本、他の1頭は上顎切歯6本にエアータービンエンジン（ヨシダ・エアロマット）にダイヤモンドポイントを装着して非注水下でエナメル質を削去して5級窩洞を形成し、その後タングステンカーバイドバー（インバーテド・コーン型）にて象牙質を削去し窩洞を完成した。窩洞は可及的深く大きなものとした。その直後、2%グルタルアルデハイド固定液を用いて、総頸動脈からの頭頸部灌流固定法（吉田他、1974）⁹¹⁾を2時間施行した。その後、後の犬の下顎切歯6本に対し、先と同じ方法で5級窩洞を形成した。これらはダイヤモンドディスクで細分し、同じグルタルアルデハイド固定液に浸漬し、冷蔵庫に2～3時間入れて固定の完全を計った。続いて2.5% EDTAを用い冷蔵庫内で脱灰し、1%オスミウム酸で後固定、通法に従って脱水、エポン包埋の後、LKB ウルトラトーム・ガラスナイフにて1～2 μ の切片を作製した。これにトルイジン・ブルー加温染色またはパラゴン（Paragon: Paragon C. & C. Co. U. S. A.）加温染色を施して、病変部とくに桿状体の出現部を探し、トリミングを行ない、ガラスナイフまたはダイヤモンドナイフ（Diatome, Switzerland）にて超薄切片とした。これに酢酸ウラニール・クエン酸鉛二重染色を施し、日本電子 JEM 100-B あるいは日立 HS-8 電子顕微鏡で観察した。

成 績

1. 生活歯の窩洞形成例

まず1～2 μ 切片のトルイジンブルーまたはパラゴン加温染色標本の光学顕微鏡の所見について述べる。実験例18歯のうち桿状体の出現したもの13例で、これは約72%である。そして桿状体の出現をみなかったものは、窩底象牙質の厚さが1

mm 以上のいわゆる浅い窩洞であった。しかしこのような例においても象牙芽細胞層には若干の排列の乱れ、小空胞の形成などの変化がみられた（図1-A, B）。出現した桿状体は、象牙前質の象牙細管にとどまるもの（図1-C矢印）やわずかに象牙質に入るもの（図1-C三角印）など移動距離の少ないものから、象牙質の深層に達するもの（図1-D）まで種々であった。その染色性はトルイジン染色、パラゴン染色のいずれにも濃青色に染まり、象牙芽細胞の核を思わせた。一方、出血が起り血管外に脱出した赤血球が象牙前質と象牙芽細胞層の間に集積した例（図1-C）、さらに深い窩洞のため象牙前質直下に大きな空隙（vesicle）が形成され（図1-E）、その部の象牙前質細管内に多くの赤血球ないし象牙芽細胞の移動をみたものもあった（図1-F）。

電子顕微鏡所見は以下の通りである。

図2はほぼ正常な象牙芽細胞層で、数層の象牙芽細胞より成っていることが明瞭である。象牙前質に近い細胞は紡錘形であるが（図2左側）、中間層や固有歯髄側のものは高円柱状である。いずれの細胞も核は固有歯髄側に偏在していて、細胞小器官は核に連続して象牙前質側に認められた。そしてそれより遠心側では mitochondria が散在するくらいで小器官に乏しくなる。しかし稀にかなり広範囲に小器官が分布する象牙芽細胞も観察された（図2、中心左寄りのもの）。核は楕円形で切痕をもつものもあり、その電子密度は一般に低く、核小体も少ないようであった。mitochondria は長桿状を呈するが、遠心側では長楕円形になる傾向が強い。Golgi area, rough endoplasmic reticulum, free ribosome も核寄りに多数分布していたが、filament は逆に細胞遠心側に多く存在した。象牙芽細胞間には若干の間隙があり、細胞は突起によりあるいはかなり広い部分によりたがいに接していた。象牙前質に接する部では、各象牙芽細胞が側突起を出し、たがいに密着していたが、さらに terminal web を形成していた。図2で注目したいのは毛細血管(C)が拡張し、しかも赤血球が全く認められないことで、これは灌流固定が完全に行なわれたことを示している。

図3は象牙芽細胞が象牙前質の細管側に移動している像で、Aでは移動距離が小さいがBでは大きく核が細長くなってその大部分が象牙細管中に

ある。Aにおいて、原形質内に空胞変性が出現しており、また核の周囲に小器官がほとんど認められずわずかに少数の mitochondria が散在しているに過ぎない。この象牙芽細胞の周囲には細胞が消失して空虚となっている。Bにおいては、核の周囲にほとんど原形質が存在せず、したがって細胞小器官は全く観察することができない。核の電子密度はきわめて高くなっており、その近心端では核膜が壊れ、核染色質が原形質内に流出していた。また側突起の残存を思わせる細胞突起が認められた(図3-B矢印)。

図4-Aでは、象牙芽細胞の核が象牙前質から象牙質にまたがって細管内に存在している。核は長桿状の外形を呈し、核構造は全く失われていた。しかも核膜は破壊し、周囲との境界は不明瞭であった。細胞小器官は、象牙細管壁とのせまい間隙に1個の mitochondria が認められ、細管内の歯髄側に変性した残片がわずかに存在しただけであった。また隣在する象牙細管は完全に空虚で、象牙質部の細管内に dense body が観察された。

図4-Bは象牙芽細胞の核が象牙前質の膠原線維をまき込みながら、象牙細管内に移動している状態を示す。核膜はほぼ認められるが、一部が破壊されたため、核の近心側に、核染色質の不規則な集塊が存在している。このように核が象牙細管内に完全に移動する以前に核膜が破壊したものも若干認められた。図5-Aは象牙前質と象牙質にわたって存在している象牙芽細胞の核である。本例においても、核の大部分に核膜が付着しているが、下面中央部付近に断裂像がみられ(矢印)、近心端(歯髄側)には流出した核染色質が観察される。

図5-Bには2つの象牙細管の斜断像がある。上方のものには核膜の消失した染色質の集塊, free ribosome, dense body などが存在し、下方では mitochondria を内蔵する2個の球状物, 核染色質の残骸などが散在している。

図6は完全に原成象牙質内に移動した象牙芽細胞の核で、しかもその縦断像を示す。長桿状に変形しているが核膜の破壊はなくまた染色質の分布に混乱は認められない。核の遠心端には mitochondria や free ribosome などの小器官がみられる。隣在する象牙細管には、ほとんど全ての構造物が消失したもの, mitochondria などの小器官や核染色質の残骸を内蔵するものなどが観察され

た。図7-A, Bはともに象牙細管内に移動した細胞小器官の拡大像である。mitochondria, rough endoplasmic reticulum, free ribosome, dense body などが明瞭で、rough endoplasmic reticulum は内腔が膨化したものが認められた(図7-A)。なお mitochondria が正常の細長い形態(図2)と異り、全てが円形であるのが注目された(図7-A, B)。

次に象牙線維の変化をみてみたい。図8-Aは象牙質の象牙細管内で、象牙線維が屈曲蛇行しているところを示す。象牙線維は萎縮し、かなり細くなっている部位もあり、あるいは断裂を思わせる像もあるが、後者については確認不能である。細管内には線維以外に細胞小器官などの移動はこれを全く認めなかった。図8-Bに示されたものは象牙前質の細管内にみられた象牙線維の屈曲蛇行である。細管内に象牙線維が密につまっており、間隙は全然観察されない。詳細にみると、象牙線維は若干その直径を減じてはいるが filament 様構造物はよく保存されていることがわかる。

続いて、象牙芽細胞以外の細胞の細管内移動について記載するが、図9~11は図1-E, Fに示した大きな空隙(vesicle)形成のみられた材料より得たものである。

図9-Aをみると象牙前質に接して多種多様の細胞が蟬集しており、左端の象牙細管には1個の中性多形核白血球が移動しつつあり、さらに次の2本の象牙細管内には1個の中性多形核白血球が2本の擬足を伸ばしている。擬足の先端はともに象牙前質を越えて象牙質に達している。さらにその核までが2本の細管にまたがって伸びているのが注目される。右側の細管内には電子密度の高い赤血球が認められる。

図9-Bにおいても各種の細胞が象牙前質に密着しており、2個の赤血球がそれぞれ2本の象牙細管内に移動している。左側の赤血球は象牙前質にのみとどまっているが、右側のそれは象牙前質から象牙質にまたがって存在している。

図10は図9-Aの一部拡大像である。中性多形核白血球の左側の擬足は象牙細管が弯曲しているための途中で断裂しているかの像を呈しているが、右側の擬足は全形が明瞭である。そしてその先端に赤血球の破片を思わせる dense body がある。中性多形核白血球に特異な顆粒はこれら擬足

にはほとんど認められない。

図 11-A, B はともに赤血球の象牙細管内移動を示す。A では 3 本の象牙細管内にそれぞれ 3 個の赤血球が移動しており、最上の細管ではさらにもう 1 つが続いているように見える。また真中の象牙細管では赤血球の先（象牙質側）に細胞体の 1 部が認められるが、その種類は判然としない。B でも象牙前質の細管内に 1 個の赤血球が移動している。注目したいことはこの赤血球と象牙細管壁とのわずかの間に filament 様構造を持つ象牙線維が観察されることである。

図 12 は原成象牙質の細管内に移動した末梢神経線維である。蛇行している状態は図 8 に示した象牙線維と類似するが、filament 様構造物は不明瞭であるのに微細な顆粒を含有することで、それとは明らかに区別できる。なお左側の象牙細管には細胞成分はなくわずかに膠原線維（矢印）が認められる。一方、右下の象牙細管には萎縮した象牙線維が残存している。

II. 失活歯の窩洞形成例

次いで局所灌流固定後に窩洞を形成した 1 例にみられた象牙芽細胞の核の細管内移動像について記載する。図 13 は象牙細管内の 2 個の象牙芽細胞の核で、両者とも電子密度が高く内部構造は不明瞭であるが赤血球の如く均一ではない。そして生活歯窩洞形成例ではみられなかった空隙が所々に観察される。隣在する象牙細管内には mitochondria, free ribosome, 脂肪滴などを内蔵するものや（上側）、完全に空虚なもの（下側）などがある。図 14 も象牙細管内の象牙芽細胞の核を示し（下側）、拡大をあげてある。電子密度は高いが均一ではなく、各所に針状の空隙が散在している。しかしこれは、Furseth and Mjör (1969)²⁵⁾ のいう核膜の陥入による小管 (canal) 形成とは見えない。図 14 上方の象牙細管内には変性した細胞小器官がみえるが不明瞭で同定は困難である。

以上電子顕微鏡的所見を総括すると、光学顕微鏡的に観察された桿状体 13 例のうち 12 例が象牙細胞に由来するものであり、残りの 1 例において赤血球および中性多形核白血球に由来するものが認められたことになる。さらに固定後窩洞形成例でも 1 例のみであるが象牙芽細胞の移動がみられたことは興味深い。

考 察

1. 桿状体という言葉について

本論文の冒頭に、象牙細管内の桿状体という言葉を用いているが、これは象牙細管内にみられる細長い桿状の構造物という意味である。いわゆる象牙細管内桿状体には従来 2 つの解釈がある。1 つは齶蝕象牙質中に現われるもので、他の 1 つは歯髄の炎症ないし刺激反応に際して出現するものである。前者は本論文に関係が薄いので、花沢 (1919)²⁷⁾ から引用し、その概略を述べるにとどめたい。すなわち次の如くである。

"齶蝕象牙質中に桿状をした小体が出現する事実は Tomes が最初に発見したもので、彼はこれを石灰化した象牙線維と想像した。また Wedl はこれを立証することはできないとし、Miller は石灰化した象牙線維というよりも象牙線維に類似したもので桿状体の内部には象牙線維の残遺物らしいものが認められたという。さらに Wellauer は桿状体は酸によって溶解された歯牙硬組織中の石灰塩が、再び象牙細管内に沈着したものであらうと考え、Yung もこの説に賛成している。" (要旨) しかし花沢 (1919)²⁷⁾ はこれら齶蝕象牙質の桿状体に 2 種あることを以下の如く記載した。"余ノ見ル所ヲ以テセバ、末ダ軟化セザル象牙質ノ研磨標本上に認メラル、所謂桿状体乃至顆粒列ハ気泡ノ進入ニ基ク技術的産物ニシテ、軟化象牙質中ニ発見セラル、桿状体乃至顆粒列ハ節状又ハ顆粒状ニ離断セル変性歯線維ニ過ギズ、而シテ従来多クノ学者の観察ハ全ク此両者ヲ混同シタル疑アリ。為ニ種々ナル異説ヲ生ズルニ至リタルナランカ。" (原文のまま) 以上を要するに、齶蝕象牙質の細管内に現われる桿状体には、研磨標本における気泡と脱灰切片における断裂象牙線維の 2 種があるというのである。

他の桿状体すなわち歯髄の反応性変化として現われる桿状体は、本論文で用いたものと全く同じものなので、次にそれについて説明する。

小野 敏 (1936)⁵⁵⁾ は "種々ナル全身性並ニ局所性疾患に於ケル人体歯牙歯細管ニ出現スル余ノ所謂「象牙質桿状体」ニ就テ、予報" と題して、炎症を起した歯牙あるいは腫瘍患者の歯牙に認められた象牙細管内の桿状物に対して "象牙質桿状体" と命名してその概略を報告し、その 4 年後にその

詳細を発表した(小野, 1940 a, 1940 b)^{56) 57)}. すなわち彼は, 従来いわれて来た象牙線維の変性物質ではなく, 歯髓病変により出現する細胞の変形体であるとし, i)炎症性象牙質桿状体(主として多形核白血球, 組織球), ii)退行性象牙質桿状体(主として象牙芽細胞), iii)再生性象牙質桿状体(主として新生した象牙芽細胞様大単核細胞と幼若歯髓細胞)の3種に分類した. これらについては次の各項において再びとりあげ詳しく考察する予定である.

2. 象牙芽細胞の移動について

象牙細管内に象牙芽細胞を最初に観察したのは前述の小野巖(1940 a, 1940 b)^{56) 57)}と考えられる. 彼はカイウサギとイスを用いて種々の実験を行ない, 歯髓に炎症性病変を認めない例において萎縮した象牙質芽細胞が細管内に変形移行した象牙質桿状体を認めている. 続いて Orban(1941)⁶⁰⁾は抜去した人歯において, 抜歯鉗子のあたる象牙質の細管内に象牙芽細胞の移動を観察し, これを“elongated body”と呼んだ. その後 Siegrist(1944), Müller(1948)も象牙芽細胞の象牙細管内移動を報告したという(Langeland, 1957)³⁶⁾. Kramer and McLean(1952)³⁵⁾は即時重合レジンを入り込めて象牙細管内に吸引された象牙芽細胞を認め, この現象に対し“aspiration of odontoblast”という言葉を用いた. その後に発表された象牙芽細胞の移動の報文は枚挙にいとまがないくらいであるが, 以下に主なものについて著者名と発表年を列記することにする.

Maeglin (1952)⁵³⁾より引用

Müler and Maeglin (1953)^{52) 53)}

Fischer (1953)²³⁾

Kramer (1955)³²⁾

Kreudenstein (1956)³⁶⁾より引用

Marsland and Shovelton (1957)⁴⁵⁾

関谷 (1957)⁶⁸⁾

Langeland (1957, 1959, 1961a, 1961b, 1968)^{36) ~ 40)}

Bernier and Knapp (1958)²⁾

Lefkowitz, Robinson and Postle (1958)⁴²⁾

長田 (1958)⁶¹⁾

Shovelton and Marsland (1958)⁷¹⁾

Stanley and Swerdlow (1958, 1960)^{75) 76)}

Swerdlow and Stanley (1958, 1959)^{84) 85)}

Marsland and Shovelton (1959, 1970)^{46) 47)}

小林 (1960)³¹⁾

鈴木, 植村, 村上, 黒岩, 熊本, 丸山, 鈴木(ツ) (1960)⁸¹⁾

Brännström (1960a, 1960b, 1960c, 1961, 1962, 1963, 1966, 1968a, 1968b)^{4) ~ 12)}

Seltzer, Bender and Kaufman (1961a, 1961b)^{69) 70)}

枝, 平田, 伊藤, 住井 (1961)²¹⁾

枝, 平田, 伊藤 (1962)²⁰⁾

Stewart (1965a, 1965b)^{79) 80)}

Zach and Cohen (1965)⁹²⁾

Stevenson (1965, 1967)^{77) 78)}

Cotton (1967)¹⁸⁾

Mjör (1967a)⁵⁰⁾

Nyborg and Brännström (1968)⁵⁴⁾

Stanley (1968, 1970)^{73) 74)}

Furseth and Mjör (1969)²⁵⁾

Langeland and Langeland (1970)⁴¹⁾

以上を通覧すると象牙芽細胞の細管内への移動は窩洞形成などの歯質刺戟直後から数日経過例に多く観察されることで, これはすでに枝ら(1962)²⁰⁾が指摘した通りである. Brännström (1960 c)⁶⁾も細管内の象牙芽細胞は実験後1週間以内に消失すると述べているが, 最長期間例として窩洞形成実験28日後に認められたという報告がある(Shovelton and Marsland, 1958)⁷¹⁾. 本論文では全て窩洞形成直後例であるため, 成績の章ですでに述べた如く, 象牙芽細胞の細管内移動が数多く観察された.

3. 白血球の移動について

象牙細管内に移動した細胞の中で, 最初に観察されたのは白血球であり, Römer (1909) や Frdheim(1911)にさかのぼることができるという(Orban, 1940)⁵⁹⁾. 本邦においては小野寅(1917)⁵⁸⁾の記載を嚆矢とすべきであろう. すなわち彼は, 歯髓炎に際し硬組織欠損部直下に相当する象牙質壁の象牙前質ばかりでなく原成象牙質の1部にまで多数の遊走細胞の侵入を認め, これを硬組織を介して加わる刺戟ことに細菌を撃退しようとして自己のアメーバ様運動により象牙細管内まで進入したものであると解釈した. 次に Fisher(1939)²²⁾は炎症で象牙芽細胞が破壊された後に象牙細管内に白血球が移動したのを観察した. 小野巖(1936)⁵⁵⁾は本章第1項で既述の如く, “象牙質桿状

体”について予報を行ない、その後 1940 年に本報を発売した(小野, 1940 a, 1940 b)^{56) 57)}。そして、歯髄の炎症性病変時に多形核白血球(酸性を含む)、リンパ球、形質細胞ないし組織球に由来する桿状体を認め、これに対し“炎症性象牙質桿状体”と呼んだ。しかし象牙質内の白血球について、より詳細に観察したより明瞭な顕微鏡写真を示したのは Orban (1940)⁵⁹⁾である。Stanley and Swerdlow (1958)⁷⁵⁾も“白血球の象牙細管侵入について Römer や Fisher が記載しているというのが Orban をもって最初とすべきであろう”と述べているくらいである。すなわち Orban (1940)⁵⁹⁾は窩洞形成後、ユージノールで稀釈した硝酸銀で処置し、2 週間経過後に窩底象牙質の細管内に中性多形核白血球あるいは酸性多形核白血球を認め、その付近の歯髄組織内には常に急性の炎症が存在していることを指摘した。関根ら (1951)⁶⁷⁾は窩洞形成 1 日経過例で象牙前質の細管内に白血球の遊走を観察し、3 日後よりは原成象牙質の細管内にまで遊走したのをみている。Langeland (1957)³⁶⁾はスポンゴスタンとアマルガム充填 2 日経過例で象牙質の細管内に中性多形核白血球と酸性多形核白血球とを認め、さらにレジンセメント充填 26 日経過例で酸性多形核白血球の象牙細管内侵入を観察した。Stanley and Swerdlow (1958)⁷⁵⁾は歯髄炎や吸収しつつある乳歯の象牙質内に白血球が侵入していることを報告した。長田 (1958)⁶¹⁾はフレッチャーセメント充填後 2 日例より象牙細管内に遊走細胞が現われることを認めた。武石 (1959)⁸⁶⁾は支台歯形成後最短 6 時間から最長 30 日の各経過例において、象牙質内への白血球遊走を観察している。さらに堀江 (1961)³⁰⁾は各種切削器ならびに方法で窩洞を形成し、直後から 20 日経過後の変化を検索し、桿状体の出現をみているが、彼はこれを主に白血球によるものと考えた。枝ら (1961, 1962)^{20) 21)}も窩洞形成およびシアノアクリレート接着剤による変化として、1 日以上経過したものに多形核白血球由来の象牙質桿状体が現われることを観察した。Seltzer, et al. (1961 a)⁷⁰⁾は窩洞形成の後各種接着剤を応用し歯髄の反応を調べた際に、1 日経過例で歯髄と象牙前質との間に多形核白血球の浸潤を認め、1 週間例では象牙前質の細管内にまで“割り込む”(squeeze)のを観ている。さらに Cotton (1967)¹⁸⁾は窩洞形成をして室

温風乾燥または綿球乾燥の後、アマルガムを充填して両者を比較したところ、どちらも 7 日例では白血球の象牙細管侵入はなかったが 19 日例において双方に多形核白血球ことに酸性多形核白血球の侵入が認められ、60 日例では綿球乾燥の方に酸性多形核白血球の侵入像をみたと報告した。Stanley (1968)⁷³⁾もその総説において歯髄の反応としての白血球の象牙細管内移動を述べている。

これら白血球の象牙細管内の移動は、齶蝕により起った歯髄炎のように発生時期の不明なものを別にすれば、窩洞形成あるいは各種充填物を施した後、最短 6 時間以上経過例に観察されることに注目しなければならない。例えば、Swerdlow and Stanley (1958)⁸⁴⁾は実験後 1 時間例では歯髄内に円形細胞浸潤は認められなかったと明記している。つまり、外部刺激に対する歯髄組織の反応にはある程度の時間が必要であるということである。しかしながら今回の電子顕微鏡的検索によると、1 例のみであったが窩洞形成直後に中性多形核白血球の象牙細管内侵入が認められたのである。これは、直後例とはいっても、1 回の実験にあたり数本の歯牙に対し窩洞形成を行なうものであるし、また頭頸部局所灌流固定法をするにも、その手術時間を初め固定液が流れて完全に固定が完了するまでには窩洞形成後最低 30 分は経過していると考えられ、従ってその間に生活反応が現われたものと考えされる。それにしても白血球の浸潤はかなり急速に行なわれるものであることが今回の実験で明白となったわけである。

4. 赤血球の移動について

まれに血管外に脱出した赤血球が象牙細管内に移動して桿状体となることがある。この最初の記載は、小野巖 (1940 a)³⁶⁾であろうと思う。すなわち“歯髄ニ出血ヲ認メタル場合屢々象牙質細管内ニ赤血球ノ侵入シ桿状体ヲ形成セルモノアリキ、其分布ハ主トシテ、幼若象牙質ニ於テ認メタリ。”と述べている。その後、Rushton (1949)⁸⁴⁾は顎骨骨折における歯牙を検索して、歯髄出血のみられたもので象牙前質の細管内に赤血球の侵入を観察した。Langeland (1957, 1959, 1961 a)^{36) ~ 38)}も、窩洞形成例あるいはレジンセメントなどの充填例または抜歯鉗子の圧迫例において、窩底の象牙前質の象牙細管内に移動した赤血球を記載報告している。続いて長田 (1958)⁶¹⁾は窩洞形成後フ

レッチャーセメントを充填し、その2日後にやはり象牙前質内に赤血球由来の桿状体を認めた。さらに Brännström(1960)^{41)~61)}は窩洞形成後、その窩洞を2~3 mmHgの真空下におき、2分間例と5分間例において象牙前質の細管内に赤血球が移動するのを見ている。枝ら(1962)²⁰⁾は窩洞形成直後例において赤血球が象牙前質の細管内に侵入しているのを2例観察し、いずれも隣在歯髄組織に出血巣があることを指摘した。Langeland and Langeland(1970)⁴¹⁾は不十分な注水下の窩洞形成の直後例において、赤血球が象牙前質に接近してはいるがあきらかに原成象牙質の細管内にまで移動し、それが桿状体(elongated body)を形成するのを認めた。

以上を要するに赤血球の象牙細管内移動は実験直後から2日経過後程度の短期間例にみられ、しかも象牙前質の細管内移動という浅在性のものが大部分であるといえることができる。今回の実験においてもこの要約と全く同様で、直後例にみられ象牙前質の細管内のものが大部分(図9-B左, 図11-A, B)でわずかに象牙前質から原成象牙質にまたがって侵入している1例を認めたにすぎない(図9-B右)。

5. 象牙線維の変化について

光学顕微鏡的レベルにおいて象牙線維の断裂により桿状体が出現することは本章第1項においてすでに述べた如く、花沢(1919)²⁷⁾が齶蝕象牙質で観察し記載しており、これが最初と考えられる。しかし小野巖(1940 a)⁵⁶⁾は「……トームス氏繊維ノ退行性変化ニヨリ断裂、崩壊、脂肪変性等が起り、殊ニ断裂セルモノハ一見「象牙質桿状体」ト少々類似セル形態ヲ呈スルモノアルヲ認ムト雖モ、「ヘマトキシリン」ニ対スル着染度が淡ク且不鮮明、桿状体ノ両端ニ於ケル切面即チ前者ニ於テハツノ長キ繊維状物が断裂セルタメ、其切断面ハ相互ニ相接続シ得ル関係ヲ呈スレドモ、後者に於テハ常ニ其両端ハ半球状ノ盲端ニ終レルヲ特徴トスルモノナリ。」(原文のまま)と記し、本論文で意味する桿状体、すなわち歯髄の反応性変化ないし細胞の侵入・移動による桿状体と象牙線維の断裂による桿状体が光学顕微鏡的に区別できることを示した。その後、この種の報文は絶えてなかったが近年に至り堀江(1961)³⁰⁾は窩洞形成実験において桿状体を窩底近くの象牙細管内にまで認め、

白血球や象牙芽細胞がこのような深部にまで移動することは考えられないから、これは象牙線維が断裂したためにできたものと考察した。

本実験において、窩洞形成により象牙線維が蛇行するのを電子顕微鏡的に観察することができたが(図8-A, B)、この様な例を光学顕微鏡的にみればあるいはヘマトキシリンにやや濃染して桿状の構造物に見えるのかもしれない。しかし今回はパラフィンないしセロジン切片のヘマトキシリン・エオジン染色標本を全く作っていないので比較し確認することができなかった。

6. 電子顕微鏡的研究

前項までに引用した多数の研究は全て光学顕微鏡によって検索されたものである。窩洞形成による歯髄ないし象牙質の変化を電子顕微鏡的に観察した研究は、著者の渉猟した範囲では次の2論文を知るのみである。すなわち Searls(1967)⁶⁶⁾はラット下顎切歯に窩洞形成を行ない酸化亜鉛ユージノールで仮封し一定期間経過後、灌流固定を施行して電子顕微鏡で歯髄の変化を検索している。そして30分例で象牙芽細胞の排列の乱れはないが細胞小器官の位置異常や胞体内浮腫, endoplasmic reticulumの崩壊, mitochondriaの変性などを観察した。しかし「いかなる時期においても Stanley and Swerdlowによって記載されたいわゆる象牙細管内への核の移動(nuclear displacement)は認められなかった」と述べている。続いて Furseth and Mjör(1969)²⁵⁾は歯牙矯正のため抜去された53本の人小白歯を使用し、灌流固定法以外で固定を良好にする方法を研究した際、付随的に象牙芽細胞の核の移動を観察した。すなわち彼らは次のように4種の固定を行なっている。1) 抜歯後直ちに注水下ダイヤモンドディスクを用いて歯頸部で切断しさらに歯冠を頬舌的に半分にしたもの、2) 咬合面に孔をあけ根端孔(それがあまり小さいときには根端を一部切断)から注射器で固定液を10分間注入して「局所灌流」をしたもの、3) 固定前に歯牙を注水下ダイヤモンドディスクで細断したもの、4) 歯根と歯冠をニッパーで分離し、歯冠をナイフとハンマーで細分して固定したもの。そして3)と4)において良好の結果を得て、しかも象牙芽細胞の核が象牙前質ないし象牙質内に移動(displace)あるいは吸引(aspirate)しているのを観察し、「吸引された象牙芽細胞の核の大

部分は均一な電子密度が高く見えるが、一部は電子線透過性である。また核の中には核膜が陥入してできたと考えられる細管 (canal) が認められた。”と記載した。この写真をみると、それらしい像が部分的に示されており、これは象牙細管内の象牙芽細胞の核を電子顕微鏡的にとらえた最初のものであろう。

なお本邦においては山田(1973, 1974)^{89), 50)}が“窩洞形成におけるヒト歯髄の微細構造の変化について”と題して2回にわたって学会発表を行なっている。その抄録によると、人歯牙に窩洞形成し一定期間後に抜去し、グルタルアルデハイドで前固定の後これを破折、歯髄を採取して、これのみを電子顕微鏡的に検索しているの、当然のことながら象牙質の変化つまり象牙細管内への細胞の移動については全く観察していない。

さて今回の実験において著者も固定については十分に配慮したつもりである。なぜなら歯髄組織は歯牙硬組織により囲繞されているため電子顕微鏡レベルでの良好な固定がきわめて困難であるうえ、検索の対象物が象牙細管内に存在するからである。そこで最近開発された頭頸部局所灌流固定法(吉田他, 1974)⁹¹⁾を応用したわけである。その結果として、前項までに述べた如く象牙細管内の象牙芽細胞の核、白血球および赤血球を明瞭に観察することができた。さらにそれらに加えて以下の如き構造物をとらえ得たが、これらは全て新知見であると思われる。すなわち、象牙細管内には、光学顕微鏡的に観察されていた象牙芽細胞の核だけでなく、象牙芽細胞の mitochondria, rough endoplasmic reticulum, free ribosome などの細胞小器官が移動・侵入すること(図5-B, 6~7-A, B)である。さらにまた末梢神経線維までが象牙細管内に移動していた(図12)ことも注目しなければならない。なお細胞の移動ではないが、象牙線維の屈曲蛇行(図8-A, B)も光学顕微鏡では観察不可能であった新所見といえることができる。

7. 各種細胞の象牙細管内移動の機転

すでに緒言の章で述べた如く、象牙細管内への細胞移動の原因として、窩洞形成という象牙質に対する刺戟の他に各種充填物による刺戟、抜歯鉗子による圧迫、歯髄炎における何らかの圧力などが挙げられている。しかし如何なる機転によって

歯髄内の各細胞が象牙細管内に移動するのかという点については明確な説明を欠き、以下のような諸説がある。すなわち枝ら(1962)²⁰⁾によってまとめられたものを基本にしこれに追補すると次の如くである。

1) 象牙芽細胞の場合

- a. 象牙線維の収縮：小野巖 (1940 b)⁵⁷⁾, Orban (1941)⁶⁰⁾, Maeglin (1952)⁵³⁾, Kreudenstein (1956)³⁶⁾より引用, 関谷 (1957)⁶⁸⁾, 小林 (1960)³¹⁾
- b. Sucking or pumping: Orban (1941)⁶⁰⁾
- c. 歯髄内圧：小野巖 (1940 b)⁵⁷⁾, Orban (1941)⁶⁰⁾, Siegrist (1944)³⁶⁾より引用, Fischer (1953)²³⁾, Stanley and Swerdlow (1958)⁷⁵⁾, Swerdlow and Stanley (1958)⁸⁴⁾, Langeland (1957, 1959, 1961)^{36)~38)}, Seltzer, et al. (1961 a, 1961 b)³⁹⁾, 70), 枝ら (1962)²⁰⁾.
- d. 歯髄外圧：Kramer and McLean (1952)³⁵⁾, Brännström (1960 a, 1960 b, 1960 c, 1961, 1962)^{4)~8)}, Seltzer, et al. (1961 a)⁶⁹⁾, Stevenson (1965, 1967)^{77)~78)}, Cotton (1967)¹⁸⁾.

2) 白血球の場合

- a. 内圧：小野巖 (1940 b)⁵⁷⁾
- b. Chemotaxis: Orban (1940)⁵⁹⁾
- c. 防禦反応：小野寅 (1917)⁵⁸⁾, 関根ら (1951)⁶⁷⁾, 堀江 (1961)³⁰⁾, 枝ら (1962)²⁰⁾.

3) 赤血球の場合

- a. 歯髄内圧：小野巖 (1940 b)⁵⁷⁾, Stanley and Swerdlow (1958)⁷⁵⁾, Langeland (1957, 1959, 1961 a, 1961 b)^{36)~39)}.

以上のうちから代表的なものをとりあげ若干の解説を加えることにする。

小野巖 (1940 b)⁵⁷⁾は“「象牙質桿状体」ノ成立ハ主トシテ歯髄病変時ニ出現スル諸種細胞が歯髄腔ニ於ケル内圧亢進ニ依リ歯牙形成細胞ノ消失ニヨリテ管腔トナレル象牙質細管内ニ侵入シ、其核成分ノ変形ニヨリテ形成セラルルモノノ如クナリ。又一部ノモノハ急激ナル外襲刺戟ニヨリテトームス氏繊維並ニ歯牙形成細胞ノ萎縮ニヨリテ成立スルモノモ挙ゲ得ベシ。”(原文のまま)と記している。ここで諸種細胞というのは象牙芽細胞、

白血球, 赤血球を示しており, 一部のものというのは象牙芽細胞に由来する桿状体の一部ということである。白血球の場合, 小野寅 (1917)⁵⁸⁾ が細菌に対する防禦反応として自らが移動すると考えたことはすでに本章第3項で記した通りである。それに類似した考えとして Orban (1940)⁵⁹⁾ は白血球が象牙線維の変性物または細菌毒素に対する Chemotaxis (走化性) によって象牙細管内に遊走するのであろうとした。彼はその翌年 (Orban, 1941)⁶⁰⁾ , 象牙細管内に象牙芽細胞に移動するのを観察し, 象牙線維が抜歯鉗子の刺戟によって収縮しそのため核が牽引されるか, または鉗子によって象牙質と歯髄に加わる圧縮力が, 象牙芽細胞に対し圧迫と吸引とをもたらしために起ると想像した。Kramer and McLean (1952)³⁵⁾ は即時重合レジンを充填することによって出現した象牙芽細胞の細管内吸引を, “最初モノマーガスが象牙細管内の液体を介して象牙芽細胞を歯髄側に圧迫するが, 重合の後モノマーガスがなくなると組織液が象牙細管内に逆流しその結果として起る” と考察している。Swerdlow and Stanley (1958)⁸⁴⁾ は窩洞に酸化亜鉛ユーージノールを充填した1時間経過例で象牙芽細胞が象牙前質中にわずかに侵入しており, その部の歯髄組織に浮腫があるのを認め, 24時間後には象牙細管内に象牙芽細胞や血球が侵入しているのを観察した。その原因として歯髄の内圧が浮腫, 充血, 浸出物などによって高まることを挙げた。

Brännström (1960 a, 1960 b, 1960 c, 1961, 1962, 1963)^{4)~9)} の一連の研究によると, 窩洞を陰圧あるいは陽圧 (空気や水) にするといずれの場合にも象牙芽細胞の核が象牙細管内に移動するということである。陽圧を加えた場合に水圧よりも空気圧の方が象牙細胞の移動が多くみられたとし, これについて, 空気は象牙細管内容液に溶け, 圧がなくなるとこれが気泡となって外方に向う, そのため内容液も外側に移動するが, これに伴って象牙芽細胞が細管内に動くのであろうと想像している。彼はまた空気圧を作用させた例において象牙芽細胞層の近くに vesicle formation (空隙形成) が起り, それに多くの象牙芽細胞の移動を観察しているが, 今回の実験においてもやや大きな vesicle 形成がみられた例 (図1-E) で多くの桿状体が出現していた (図1-F)。この所見から

vesicle 形成による内圧亢進がその出現の原因となっていることが考えられる。Stevenson (1965, 1967)⁷⁷⁾⁷⁸⁾ は窩洞の陰圧を移動の原因としてあげており実験的に象牙細管内容液およびそれに伴う象牙芽細胞の細管内移動を証明した。Cotton (1967)¹⁸⁾ は窩洞に乾燥した空気を30秒間作用させ, それによって歯髄炎が起り, 象牙芽細胞や白血球が象牙細管内に侵入するのを認めた。

一方, 窩洞形成による温度の上昇を刺戟と考えているものも多い (Vaughn and Peyton, 1951¹⁸⁾; Lisanti and Zander, 1952⁴⁴⁾; Peyton, 1955⁶²⁾; Langeland, 1957³⁶⁾; Nyborg and Brännström, 1968⁵⁴⁾ など)。また Zach and Cohen (1965)⁹²⁾ は窩洞形成を行わずにエナメル質の一部を加熱するとその直下の象牙細管内に象牙芽細胞が吸引されることを観察し, Brännström, et al. (1967)¹⁶⁾ も抜去直後の歯牙の歯冠部に 70°C の温水を滴下することにより, 歯髄内圧が亢進することを証明している。たしかに注水下と非注水下における高速切削による歯髄変化は非注水の方がはるかに大きいことは周知の実事である (Langeland, 1957³⁶⁾; Shovelton and Marsland, 1958⁷¹⁾; 鈴木鍾他, 1960⁸¹⁾; その他多数)。従って今回の実験においても, 電子顕微鏡的検索のためには変化が大きい方が追究しやすいので, 作意的に非注水下で窩洞を形成したわけである。

以上を要約すると各種細胞の象牙細管内移動の機構は, それら細胞の移動の原動力が, 自動的・能動的なものかあるいは他動的・受動的なものかの2つに大別することができよう。前者には白血球および象牙線維に収縮能を認めた場合の象牙芽細胞が属し, 後者には赤血球と象牙芽細胞が属している。

象牙線維の収縮能の存在について確かな証左はない。本項の冒頭に記した数名の研究者も単に収縮するのではないかと推測しているにすぎず, Bradford (1960)³⁾ も象牙芽細胞がアメーバのように収縮その他の自動的運動を営み得ると述べているが, その根拠に乏しいといわざるを得ない。本実験において, 象牙線維の蛇行像が観察されたが (図8-A, B), これは歯髄内圧により象牙芽細胞の核が細管内に押し込められたためその内部のすでに萎縮を起している線維がだぶついてできた受動的なものと考えたい。もし象牙線維が収縮

するものであれば、線維の電子密度があがり細管内に緊密に分布するようになることはあっても蛇行状にはなり得ないと思われる。これと関連して、固定後に窩洞形成したものにも象牙芽細胞の移動がみられたこと（図 13, 14）について考察を加えると、固定がいまだ不十分であったことも考えられるが、窩洞形成という刺激に熱により象牙細管内容液が外側に移動しその結果として受動的に吸引されたものと思われ。何となれば、歯髄組織は固定されているのであるから、刺激に対する炎症性の反応は起り得ず、従って歯髄内圧の亢進は考えられないからである。本例において象牙線維の蛇行像が認められなかったのも、先に述べた「象牙線維は収縮能を持たないから歯髄内圧亢進によって象牙芽細胞の核が細管内に封じ込められ、そのためだぶつくのである」という仮説を消極的ながら証明している。すなわち、生活歯窩洞形成例において象牙芽細胞が主として歯髄内圧により押し込められるのに対し、固定後窩洞形成例では象牙芽細胞が窩洞側から引っ張り込まれるものと考えたいのである。なお抜去後の歯牙に窩洞形成を施し象牙芽細胞の細管内移動を光学顕微鏡的に観察しているものには Marsland and Shovelton (1957)⁴⁵⁾、小林 (1960)³¹⁾、Brännström (1962)⁸⁾、Stevensen (1965, 1967)^{77) 78)} などがあるが、これらいずれの場合も生活反応としての白血球の細管内移動をみていないのは当然のことといえる。

以上を総括し、各種細胞の象牙細管内移動の機構について著者の考えを述べると、その主役は歯髄内圧の亢進であり、補助的に窩洞形成中の熱および陰圧による象牙細管内容液の外側移動があると思われる。そして自動能をもつ白血球さえも歯髄内圧亢進の影響を受けることがあると考えている。

8. 象牙細管内各種細胞の運命について

充填物などで持続的刺戟を受けることがなければ、窩洞形成によって象牙細管内に移動した各種細胞は実験後 2 週間ぐらいのうちにそこに認められなくなるのが普通である。例えば枝ら (1962)²⁰⁾ の犬の実験によると、象牙芽細胞は窩洞形成直後例に 14 例と最も多くみられるが、1 日経過すると 1 例しかなく、2 日目に 1 例認められたのを最後にそれ以降には全く存在していないし、白血球は

直後例にはなく、1 日経過すると 4 例にみられ、2 日目 3 例、4 日目 1 例、8 日目 1 例、15 日目 1 例と観察されたが 30 日目や 40 日目には全くこれを認めていないのである。ではそれらの細胞はどうなるのであろうか、象牙細管内の細胞を継続して観察することは不可能に近いので、今回の電子顕微鏡所見と文献上の知見とにより考察してみると次の如くである。

象牙芽細胞の場合には、関谷 (1957)⁶⁸⁾ のいう如く大部分のものが刺戟が消退すればもとに復帰するものと考えられる。しかし、復帰して正常な機能が営めるためには、図 3 に示した如き浅在性で核膜の健在のものや図 6 にみられる少し深部に侵入していても核膜が明瞭に存在することが必要であろうと思われる。そして浅在性でも図 4, 5-A の如く核膜が破壊され核染色質が溶出したものや、深在性で核膜が破壊されたもの（図 5-B）、あるいは直後は核膜が明瞭でも移動距離が長すぎる場合などは、融解消失してしまうのであろう。このような例のそれ以後の象牙質形成は隣在する象牙芽細胞によるものと考えられ、象牙細管の数が少ないいわゆる第 2 象牙質が形成されるものと想像される。また Marsland and Shovelton (1970)⁴⁷⁾ の考えた歯髄固有細胞が象牙芽細胞に分化することによって修復されるということもあるかもしれない。さらに Stanley (1962)⁷²⁾ の観察した如く象牙芽細胞が分裂をするならばそれによっても修復は可能である。

白血球の場合には主としてその自動能により象牙細管内に侵入するのであるし、また、それほど深部には移動しないのであるから、刺戟がなくなれば全てが象牙細管より歯髄内にもどりやがては消失するのであろう。

赤血球の場合も浅在性のものが大部分であるので象牙細管から歯髄内にもどることが出来ると考えられる。そして、すでに血管外に脱出したこれらの赤血球は生体にとり異物となったので、赤食細胞などにより処理されると思える。

今回の観察では、白血球および赤血球の移動例でいずれの場合も、それに優先する象牙芽細胞の核を確認できなかったが、白血球や赤血球が侵入していた象牙細管に隣在する細管が空虚になったものが多かったことから、まず象牙芽細胞の核が侵入した後に白血球や赤血球が移動するのではな

だろうか。図 11-B に示されたような象牙線維を細管壁に押しつけて赤血球が侵入するということはきわめて稀なことと思われるのである。以上のような場合も、白血球ないし赤血球が象牙細管内より消失すれば、象牙芽細胞もあるものは復帰し多くのものは融解・消失するのであろう。

最後に本実験と直接関係をもっていないが臨床上興味深いと思われる桿状体と疼痛との関係についてふれておきたい。窩洞形成により多少の差はあっても必ず疼痛が生ずるが、その機構については、象牙細管内には神経線維はないという現在の常識では、象牙線維が間接伝導を営むという仮説や流体力学説 (hydrodynamic theory) によって説明される (Kramer, 1955³²⁾; Brännström, 1963³⁰; 1966¹⁰; Brännström, et al., 1967¹⁶)。後者は半流動体 (semi-fluid material) が象牙細管内を移動することにより歯髄内の神経を圧迫したり象牙芽細胞を破壊するため痛みが生ずるというもので、この考え方からすれば桿状体が出現した場合疼痛がどうなるのかという疑問が持たれてくる。Kramer (1955)³² はレジン充填をした場合に疼痛のあった歯牙となかった歯牙についてそれぞれ標本を作って象牙芽細胞の細管内移動の有無を検索し、疼痛群では移動有り 9 例、移動無し 21 例、無痛群では移動有り 32 例、移動無し 90 例という結果から、象牙芽細胞の細管内移動と疼痛との関係はないと述べている。しかし、鈴木と石川 (1975)⁸² は象牙質知覚過敏症について調査したところ、露出象牙質面の知覚過敏点では象牙細管が空虚で象牙芽細胞も消失しており、細管内には電解質溶液が満ちていたことを観察し、この電解質溶液がすみやかに外からの刺戟を歯髄内の知覚神経に伝えるのであると考えた。そしてさらに“象牙芽細胞およびその突起であるトームスの線維は、外来刺激伝達の役割をしている (Ambrose らの説) というのではなく、逆に外来刺戟を伝えるにくくしている、外来刺戟の防御的役割をしていることになる。…… (略) ……窩洞形成後の窩底と歯髄を結ぶ象牙細管には象牙質内に桿状体がみられ、完全に象牙芽細胞が消滅した知覚過敏症の細管と比べて、外からの刺戟を歯髄に伝えるにいと考えられる。”と記している。つまりこれは先の Kramer とはむしろ逆の考えである。著者は象牙線維が刺戟の間接伝導をする仮説をとっても、象

牙芽細胞が細管内に移動すれば歯髄内の神経線維と離れるから、歯髄内圧の亢進による疼痛を別にすれば、外からの刺戟による直接の痛みは和らぐのではないかと想像し、流動力学説あるいは電解質溶液説をとってみても、象牙芽細胞の移動は疼痛に無関係のことはあれ、それにより疼痛が増加することはあり得ないと思考するのである。

結 論

窩洞形成などの刺戟により現われる象牙細管内の桿状体を電子顕微鏡的に観察するため本研究を行なった。すなわち雑種成犬の切歯 18 本にエアータービンエンジンで無注水下に窩洞を形成し、直ちに頭頸部局所灌流固定法を施行し、通法に従って電子顕微鏡的に観察した。さらに灌流固定後、6 本の切歯に窩洞を形成し、同様に検索した。その結果、次の如き結論を得た。

1. 厚切り切片にトルイジン・ブルー加温染色あるいはパラゴン加温染色を施した場合、実験群 18 例のうち 13 例 (72%) に象牙質内桿状体が認められた。

2. 電子顕微鏡によると前記桿状体は、象牙芽細胞の核、中性多形核白血球、赤血球の 3 種に分けることができた。象牙細管内の象牙芽細胞核の全形を電子顕微鏡的にとらえることができたのは国の内外を通じて最初であり、また中性多形核白血球および赤血球の象牙細管内移動を電子顕微鏡的に観察したのも最初であると考えられる。

3. 本実験は窩洞形成直後の反応を検索するために行なったものであるが、桿状体 13 例中 12 例が象牙芽細胞に由来するもので、中性多形核白血球と赤血球に由来するものは同一歯牙の 1 例であった。

4. 窩洞形成直後例で白血球の象牙細管内侵入が認められたのは今回が初めて、従来の光学顕微鏡的検索ではその出現に最短 6 時間経過を要している。これは電子顕微鏡による観察のため発見できたものと考えたいが、この所見は中性多形核白血球の刺戟に対する活動がきわめて早急に開始されることを示している。

5. 象牙細管内には象牙芽細胞の核ばかりでなく、mitochondria, rough endoplasmic reticulum, free ribosome などの細胞小器官も移動していた。これも新所見ということができる。

6. 象牙線維が象牙細管内で屈曲・蛇行する像が得られたが、これは象牙線維が自動的に収縮したためでなく核が象牙細管内に押し込められたためだぶついてできた他動的なものと解釈したい。

7. 神経線維の象牙細管内移動も認められた。

8. 固定後窩洞形成を行なった例でも象牙芽細胞核の細管内移動が起った。これは固定が不充分であったことと窩洞形成により細管内容物が外側に移動したためと考えられる。

9. 以上の結果から、各種細胞の象牙細管内移動の機構を次の如く考察した。すなわち、主たる原因は窩洞形成という刺激による炎症性反応のため歯髄の内圧が高まることにあり、従属的には窩洞形成時の熱あるいは陰圧により象牙細管内容物が外側に移動することも原因になり得る。白血球のみが炎症性反応として自動能をもって移動できると考える。

10. 本邦の文献では象牙細管内に象牙芽細胞と赤血球を最初に観察したのは小野巖 (1940)⁵⁷⁾で、これは歯髄炎の標本においてである。また遊走細胞の象牙細管侵入は、これも歯髄炎の標本で認めた小野寅 (1917)⁵⁸⁾が最初である。さらに花沢 (1919)²⁷⁾は齶蝕象牙質の細管内に象牙線維の断裂による桿状体を発見している。

稿を終るにあたり御指導と御校閲とを賜った東京歯科大学病理学教室第2講座主任教授 山村武夫博士に対し深甚なる感謝の意を表わし、終始御指導と御鞭撻とを得た松本歯科大学口腔病理学教室主任教授 枝重夫博士に感謝を捧げ、さらに本研究達成に御助力を賜った東京歯科大学歯科保存学教室第1講座主任教授 浅井康宏博士および同病理学教室第2講座教室員一同に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) Avery, J. K. (1975) Response of the pulp and dentin to contact with filling materials. *J. dent. Res.* 54: B188—B197.
- 2) Bernier, J. L. and Knapp, M. J. (1958) A new pulpal response to high-speed dental instruments. *Oral Surg.* 11: 167—183.
- 3) Bradford, E. W. (1960) The dentine, a barrier to caries. *Brit. dent. J.* 109: 387—389.
- 4) Brännström, M. (1960 a) Dentinal and pulpal response. I. Application of reduced pressure to exposed dentine. *Acta odont. Scand.* 18: 1—15.
- 5) Brännström, M. (1960 b) Dentinal and pulpal response. II. Application of an air stream to exposed dentine. *Acta odont. Scand.* 18: 17—28.
- 6) Brännström, M. (1960 c) Dentinal and pulpal response. III. Application of an air stream to exposed dentine. Long observation periods. *Acta odont. Scand.* 18: 235—252.
- 7) Brännström, M. (1961) Dentinal and pulpal response. V. Application of pressure to exposed dentine. *J. dent. Res.* 40: 960—970.
- 8) Brännström, M. (1962) Dentinal and pulpal response. VI. Some experiments with heat and pressure illustrating the movement of odontoblasts into the dentinal tubules. *Oral Surg.* 15: 203—212.
- 9) Brännström, M. (1963) Dentin sensitivity and aspiration of odontoblasts. *J. Amer. dent. Ass.* 66: 366—370.
- 10) Brännström, M. (1966) Sensitivity of dentine. *Oral Surg.* 21: 517—526.
- 11) Brännström, M. (1968 a) The effect of dentin desiccation and aspirated odontoblasts on the pulp. *J. Pros. Dent.* 20: 165—171.
- 12) Brännström, M. (1968 b) Physio-pathological aspects of dentinal and pulpal response to irritants. Symons ed., *Dentine and Pulp, Their Structure and Reactions*, 231—246. Livingstone.
- 13) Brännström, M. and Billberg, B. (1967) Pulp changes beneath temporary fillings with phar-matec and zinc oxide-eugenol. A comparative histologic study. *Odont. Revy*, 18: 17—26.
- 14) Brännström, M. and Lind, P. O. (1965) Pulpal response to early dental caries. *J. dent. Res.* 44: 1045—1050.
- 15) Brännström, M. and Nyborg, H. (1960) Dentinal and pulpal response. IV. Pulp reaction to zinc oxyphosphate cement. A morphologic study on dog and man. *Odont. Revy*, 11: 37—50.
- 16) Brännström, M., Lindén, L. Å. and Åström, A. (1967) The hydrodynamics of the dental tubule and of pulp fluid. A discussion of its significance in relation to dentinal sensitivity. *Caries Res.* 1: 310—317.
- 17) Brännström, M., Lindén, L. and Johnson, G. (1968) Movement of dentinal and pulpal fluid caused by clinical procedures. *J. dent. Res.* 47: 679—682.

- 18) Cotton, W. R. (1967) Pulp response to an air-stream directed into human cavity preparations. *Oral Surg.* 24: 78—88.
- 19) Cotton, W. R., Gorman, W. J. and Lamb, J. R. (1965) Pulp response to cavity drying in rat teeth. *J. dent. Res.* 44: 801—814.
- 20) 枝 重夫, 平田昌弘, 伊藤正通 (1962) 窩洞形成によって象牙質細管内に出現する桿状体について. *歯科学報*, 62: 403—414.
- 21) 枝 重夫, 平田昌弘, 伊藤正通, 住井泰之 (1961) Cyano-acrylate 接着剤 (Eastman 910) の歯髄に及ぼす影響に関する病理組織的研究. *歯科学報*, 61: 586—597.
- 22) Fischer, C. H. (1939) Ein Beitrag zu der Frage des Schicksals der angeborenen Zähne. *Dtsch. Zahn-, Mund-, Kieferhk.* 6: 501—510.
- 23) Fischer, C. H. (1953) Odontoblastenkerne im Dentinkanal. *Dtsch. Zahn-, Mund-, Kieferhk.* 18: 39—47.
- 24) Frank, R. M. (1968) Attachment sites between the odontoblast process and the intradentinal nerve fibre. *Archs oral Biol.* 13: 833—834.
- 25) Furseth, R. and Mjör, I. A. (1969) Electron microscopy of human coronal dentine. A methodological study with emphasis on the "Aspiration" of odontoblast nuclei. *Acta odont. Scand.* 27: 577—593.
- 26) Gurley, W. B. and Van Huysen, G. (1940) Histologic response of the teeth of dogs to operative procedures. *J. dent. Res.* 19: 179—192.
- 27) 花沢 鼎 (1919) 象牙質ノ蝕蝕ニ関スル研究補遺 (二). *歯科学報*, 24(3): 1—48.
- 28) Hansen, L. S. and Nielsen, A. G. (1956) Comparison of tissue response to rotary and ultrasonic dental cutting procedures. *J. Amer. dent. Ass.* 52: 131—137.
- 29) Harris, R. (1968) Fine structure of nerve endings in the human dental pulp. *Archs oral Biol.* 13: 773—778.
- 30) 堀江英二 (1961) 窩洞形成が歯髄に及ぼす影響に関する臨床病理学的研究. *日保歯誌*, 4: 1—55.
- 31) 小林喜久丸 (1960) 歯髄の組織反応とその抜去後時間経過に伴う変動についての実験的研究. *歯科学報*, 60: 493—511.
- 32) Kramer, I. R. H. (1955) The relationship between dentine sensitivity and movements in the contents of the dentinal tubules. *Brit. dent. J.* 98: 391—392.
- 33) Kramer, I. R. H. (1960) Changes in dentine during cavity preparation using turbine hand-pieces. *Brit. dent. J.* 109: 59—64.
- 34) Kramer, I. R. H. (1967) The isolation and examination of odontoblasts in the fresh unfixed state. *Proc. Roy. Soc. Med.* 49: 545—546.
- 35) Kramer, I. R. H. and McLean, J. W. (1952) The response of the human pulp to self-polymerising acrylic restorations. *Brit. dent. J.* 92: 255—261, 281—287, 311—315.
- 36) Langeland, K. (1957) Tissue changes in the dental pulp. 1—146 (Figs. 1—62). Oslo Univ. Press, Oslo.
- 37) Langeland, K. (1959) Histologic evaluation of pulp reaction to operative procedure. *Oral Surg.* 12: 1235—1248, 1357—1371.
- 38) Langeland, K. (1961 a) Effect of various procedures on the human dental pulp. *Oral Surg.* 4: 210—233.
- 39) Langeland, K. (1961 b) Das Verhalten der Pulpa gegenüber Cadurit. Eine Beurteilung der histologischen Kriterien. *Dtsch. zahnärztl. Z.* 16: 1577—1586.
- 40) Langeland, K. (1968) Response of the adult tooth to injury. Finn, S. B. ed., *Biology of the Dental Pulp Organ*, 169—193. Univ. of Alabama Press., Alabama.
- 41) Langeland, K. and Langeland, L. K. (1970) Pulp reactions to cavity and crown preparation. *Austral. dent. J.* 15: 261—276.
- 42) Lefkowitz, W., Robinson, H. B. G. and Postle, H. H. (1958) Pulp response to cavity preparation. *J. Pros. Dent.* 8: 315—324.
- 43) Lindén, L. Å. and Brännström, M. (1967) Fluid movements in dentine and pulp. An in vitro study of flow produced by chemical solutions on exposed dentine. *Odont. Revy.* 18: 227—236.
- 44) Lisanti, V. F. and Zander, H. A. (1952) Thermal injury to normal dog teeth. In vivo measurements of pulp temperature increases and their effect on the pulp tissue. *J. dent. Res.* 31: 548—558.
- 45) Marsland, E. A. and Shovelton, D. S. (1957) The effect of cavity preparation on the human dental pulp. *Brit. dent. J.* 102: 213—222.
- 46) Marsland, E. A. and Shovelton, D. S. (1959) Displacement of odontoblasts associated with cavity preparation. *J. Amer. dent. Ass.* 59: 1257—1258.
- 47) Marsland, E. A. and Shovelton, D. S. (1970) Repair in the human dental pulp following cavity preparation. *Archs oral Biol.* 15: 411—423.
- 48) Massler, M. (1967) Pulpal reactions to dental caries. *Int. dent. J.* 17: 441—460.

- 49) Matthews, J. L., Dorman, H. L. and Bishop, J. G. (1959) Fine structures of the dental pulp. *J. dent. Res.* 38: 940—946.
- 50) Mjör, I. A. (1967 a) Histologic studies of human coronal dentine following cavity preparations and exposure of ground facets in vivo. *Archs oral Biol.* 12: 247—263.
- 51) Mjör, I. A. (1967 b) Histologic studies of human coronal dentine following the insertion of various materials in experimentally prepared cavities. *Archs oral Biol.* 12: 441—452.
- 52) Mjör, I. A. and Lervik, T. (1975) Pulp healing subjacent to corticosteroid-covered and amalgam-covered dentin. *Oral Surg.* 40: 789—795.
- 53) Müller, O. and Maeglin, B. (1953) The histological changes in the pulp of teeth filled with self-polymerizing resins. *Int. dent. J.* 4: 167—179.
- 54) Nyborg, H. and Brännström, M. (1968) Pulp reaction to heat. *J. Pros. Dent.* 19: 605—612.
- 55) 小野 巖 (1936) 種々ナル全身性並ニ局所性疾患ニ於ケル人体歯牙歯細管ニ出現スル余ノ所謂「象牙質桿状体」ニ就テ、予報。日歯口科誌, 18(1): 43—48.
- 56) 小野 巖 (1940 a) 種々ノ病変時ニ歯牙象牙細管ニ出現スル余ノ所謂「象牙質桿状体」ニ関スル研究〔前編〕人体歯牙象牙質細管ニ出現スル余ノ所謂「象牙質桿状体」ニ関スル形態学的研究。日歯口科誌, 22(1): 1—55.
- 57) 小野 巖 (1940 b) 種々ノ病変時ニ歯牙象牙質細管ニ出現スル余ノ所謂「象牙質桿状体」ニ関スル研究〔後編〕余ノ所謂「象牙質桿状体」ノ成立機転、本態並ニ由来ニ関スル実験的研究。日歯口科誌, 22(2): 1—69.
- 58) 小野寅之助 (1917) 歯髄疾患、病理的方面。日歯医会誌, 23: 1—60.
- 59) Orban, B. (1940) Migration of leukocytes into the dentinal tubules. *J. Amer. dent. Ass.* 27: 239—250.
- 60) Orban, B. (1941) Odontoblasts in the dentinal tubuli. *J. dent. Res.* 20: 553—557.
- 61) 長田 保 (1958) 電気麻酔法による象牙質除痛法の歯髄に及ぼす影響に就て。口病誌, 25: 40—54.
- 62) Peyton, F. A. (1955) Temperature rise in teeth developed by rotating instruments. *J. Amer. dent. Ass.* 50: 629—632.
- 63) Pohto, M. and Scheinin, A. (1958) Microscopic observations on living dental pulp. II. The effect of thermal irritants on the circulation of the pulp in the lower rat incisor. *Acta odont. Scand.* 16: 315—327.
- 64) Rushton, M. A. (1949) Two histological abnormalities. *Brit. dent. J.* 87: 142—143.
- 65) Russell, J. R., Grove, D. M. and Cotton, W. (1967) Pulp response in rat molars to a new restorative material. *Oral Surg.* 24: 253—262.
- 66) Searls, J. C. (1967) Light and electron microscope evaluation of changes induced in odontoblasts of the rat incisor by the high-speed drill. *J. dent. Res.* 46: 1344—1355.
- 67) 関根永滋, 西条征男, 森本 優, 武石義弘 (1951) 窩洞形成の歯髄に及ぼす影響に関する研究。歯科学報, 51: 309—315.
- 68) 関谷三郎 (1957) 各種歯科用切削器具による窩洞形成状態と歯髄所見に関する病理組織的研究。歯科学報, 57: 1—29.
- 69) Seltzer, S., Bender, I. B. and Kaufman, I. J. (1961 a) Histologic changes in dental pulps of dogs and monkeys following application of pressure, drugs, and microorganisms on prepared cavities. *Oral Surg.* 14: 327—346.
- 70) Seltzer, S., Bender, I. B. and Kaufman, I. J. (1961 b) Histologic changes in dental pulps of dogs and monkeys following application of pressure, drugs, and microorganisms on prepared cavities. Part II. Changes observable more than one month after application of traumatic agents. *Oral Surg.* 14: 856—867.
- 71) Shovelton, D. S. and Marsland, E. A. (1958) A further investigation of the effect of cavity preparation on the human dental pulp. *Brit. dent. J.* 105: 16—27.
- 72) Stanley, H. R. (1962) The cells of the dental pulp. *Oral Surg.* 15: 849—858.
- 73) Stanley, H. R. (1968) Design for a human pulp study. Parts 1, 2. *Oral Surg.* 25: 633—647, 756—764.
- 74) Stanley, H. R. (1970) Methods and criteria in evaluation of dentin and pulp response. *Int. dent. J.* 20: 507—527.
- 75) Stanley, H. R. Jr., and Swerdlow, H. (1958) Aspiration of cells into dentinal tubules? *Oral Surg.* 11: 1007—1017.
- 76) Stanley, H. R. and Swerdlow, H. (1960) Biological effects of various cutting methods in cavity preparation: the part pressure plays in pulpal response. *J. Amer. dent. Ass.* 61: 450—456.
- 77) Stevenson, T. S. (1965) Fluid movement in human dentine. *Archs oral Biol.* 10: 935—944.
- 78) Stevenson, T. S. (1967) Odontoblast aspiration and fluid movement in human dentine. *Archs oral Biol.* 12: 1149—1157.
- 79) Stewart, J. M. (1965 a) The immediate response

- of odontoblasts to injury. *Särtryck ur Odontologisk Tidskrift*, 73: 417—423.
- 80) Stewart, J. M. (1965 b) Replacement of odontoblasts. *Särtryck ur Odontologisk Tidskrift*, 73: 424—429.
 - 81) 鈴木鍾美, 植村 桂, 村上晋三, 黒岩 潔, 熊本恵迪, 丸山 弘, 鈴木ツル (1960) エアータービンエンジンによる窩洞形成の歯髄に及ぼす影響に関する実験的研究. *歯科学報*, 60: 523—533.
 - 82) 鈴木賢策, 石川修二 (1975) 象牙質知覚過敏症, *歯界展望*, 46: 243—249.
 - 83) Sveen, O. B. and Hawes, R. R. (1968) Differentiation of new odontoblasts and dentine bridge formation in rat molar teeth after tooth grinding. *Archs oral Biol.* 13: 1399—1412.
 - 84) Swerdlow, H. and Stanley, Jr. H. R. (1958) Reaction of the human dental pulp to cavity preparation. I. Effect of water spray at 20,000 rpm. *J. Amer. dent. Ass.* 56: 317—329.
 - 85) Swerdlow, H. and Stanley, Jr. H. R. (1959) Reaction of the human dental pulp to cavity preparation. Part II. At 150,000 r. p. m. with an air-water spray. *J. Pros. Dent.* 9: 121—131.
 - 86) 武石義弘 (1959) 支台形成が歯髄に及ぼす影響並びにその処置に関する臨床病理学的研究. *日保歯誌*, 2: 197—270.
 - 87) Van Huysen, G. and Gurley, W. B. (1939) Histologic changes in the teeth of dogs following preparation of cavities of various depths and their exposure to oral fluids. *J. Amer. dent. Ass.* 26: 87—100.
 - 88) Vaughn, R. C. and Peyton, F. A. (1951) The influence of rotational speed on temperature rise during cavity preparation. *J. dent. Res.* 30: 737—744.
 - 89) 山田繁治 (1973) 窩洞形成におけるヒト歯髄の微細構造の変化について (会). *歯科医学*, 33: 690—691.
 - 90) 山田繁治 (1974) 窩洞形成におけるヒト歯髄の微細構造の変化について (会). *日歯保誌* 17: 232.
 - 91) 吉田導子, 堀田祐二, 宮崎恒雄, 渡辺 治, 市川徹, 小池平一郎, 立川哲彦, 山根 睦, 下野正基, 枝 重夫, 山村武夫 (1974) 電子顕微鏡のための犬の頭頸部局所灌流固定法. 特に歯牙および歯牙支持組織の固定について. *歯科学報*, 74: 419—426.
 - 92) Zach, L. and Cohen, G. (1965) Pulp response to externally applied heat. *Oral Surg.* 19: 515—530.

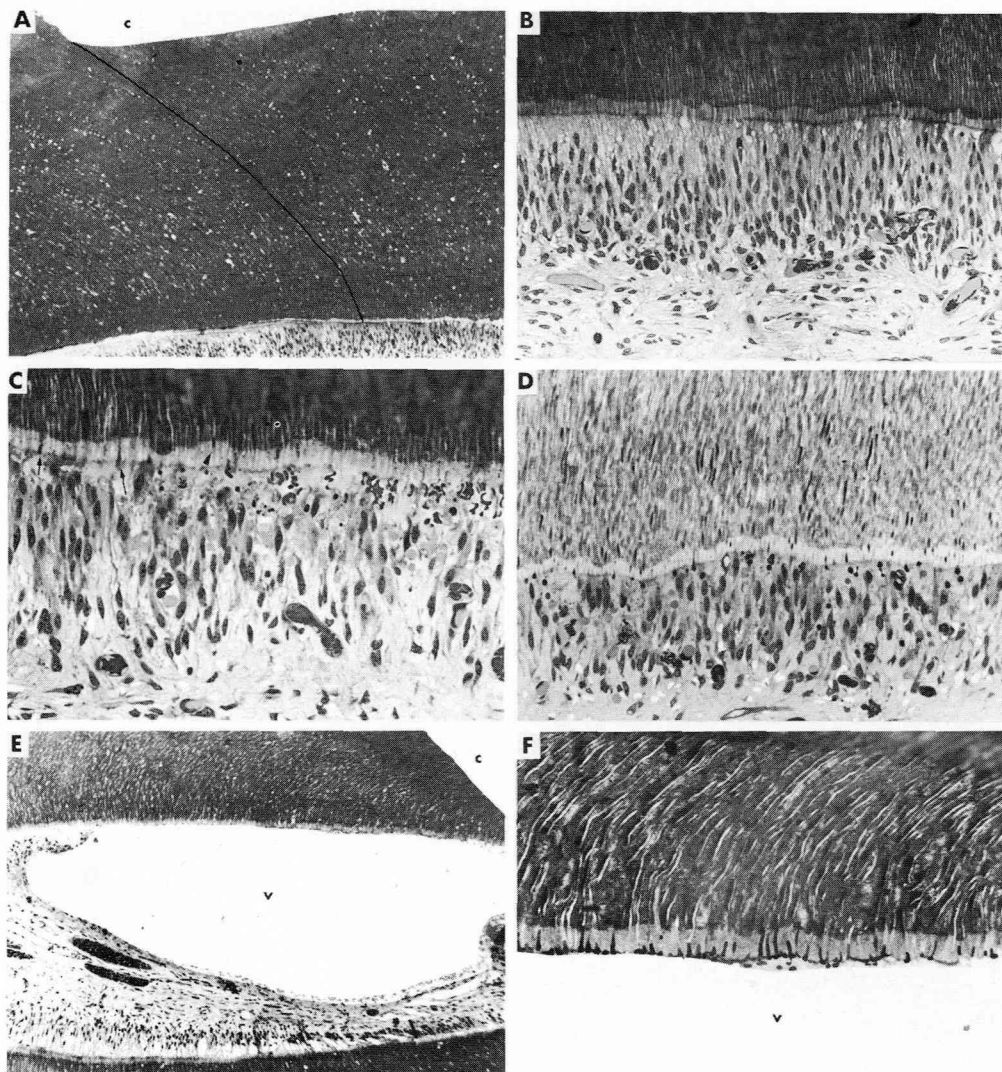


図1. 1μ 切片 Paragon 加温染色標本の光学顕微鏡写真

- A：窩洞(c)，窩底象牙質（黒線は象牙細管の走行を表わす），歯髄との関係を示す。（43×）
- B：Aの一部拡大像，左側の象牙芽細胞層にわずかに排列の混乱と空胞形成とがみられる。（170×）
- C：象牙前質に接して脱出した赤血球があり（右側），左側には象牙前質内の桿状体（矢印），さらに深部の桿状体（三角印）が認められる。（200×）
- D：原成象牙質の象牙細管内に深く観察される多数の桿状体。（170×）
- E：深い窩洞(c)のためにできた空隙（v）。（54×）
- F：Eの上部（窩底象牙質）の一部拡大像，象牙前質の象牙細管内に多数の桿状体が出現している．下方は空隙(v）。（210×）

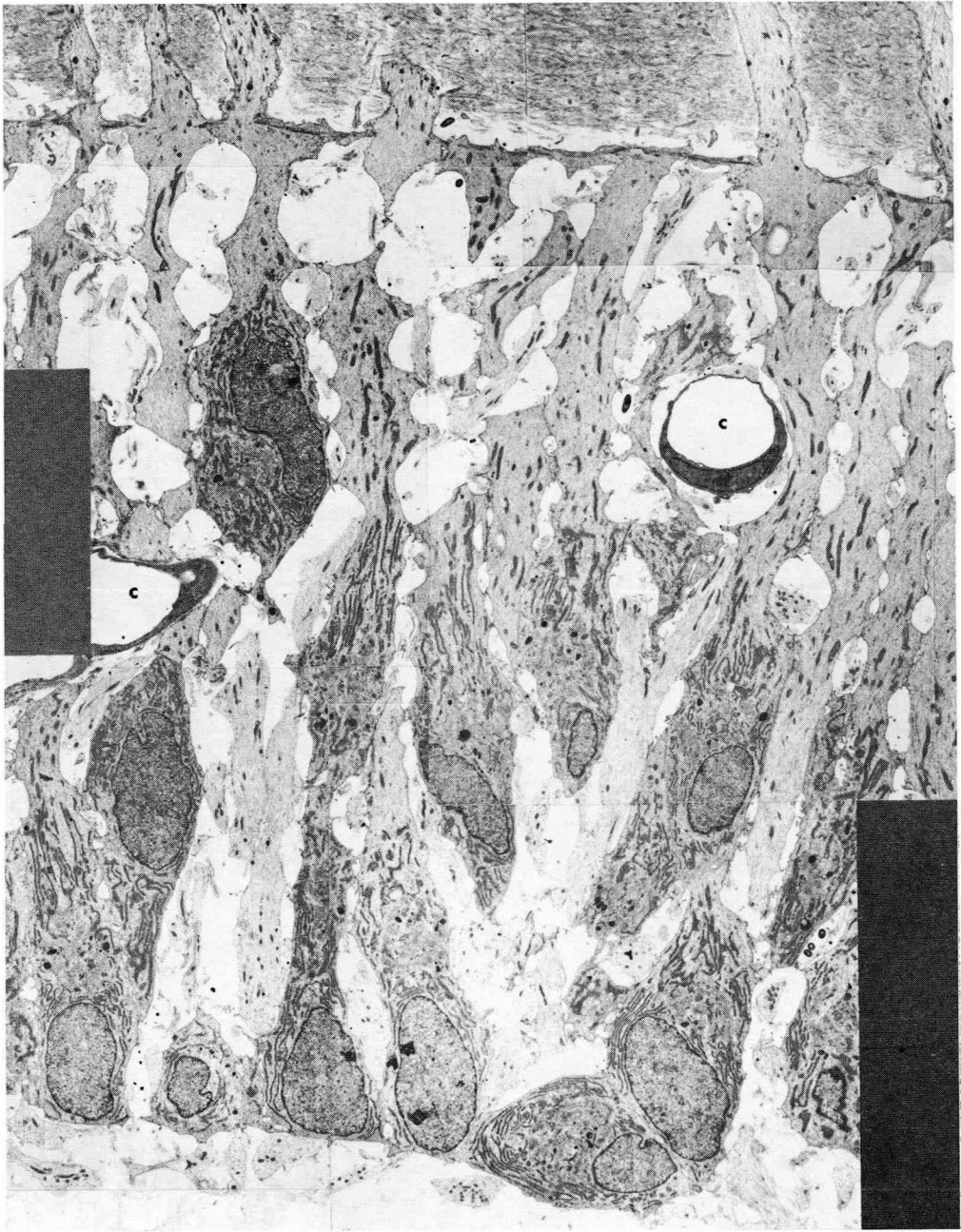


図2より最後の図14までは全て電子顕微鏡写真である。

図2. ほぼ正常な象牙芽細胞層である。数層の象牙芽細胞から成り、各細胞核は近心側（固有歯髄側）に偏在している。細胞小器官は核に連続して遠心側（象牙前質側）に分布している。なお毛細血管(c)が拡張している。(2,100×)

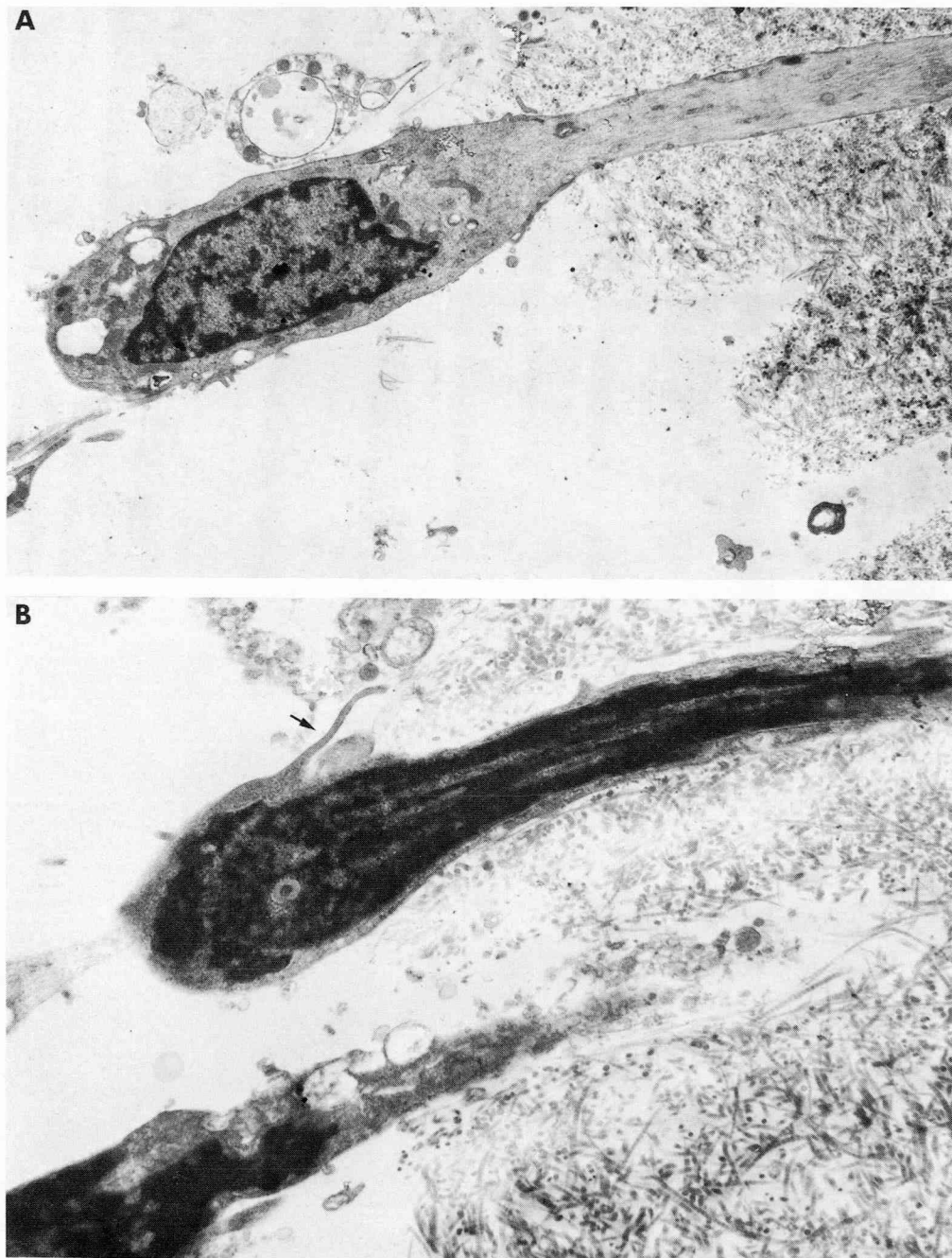


図3. 象牙芽細胞が象牙前質の細管内に移動している像である。

A：移動距離が小さい，原形質内に空胞形成が起きている。(6,000×)

B：核の大部分が象牙前質の細管内に移動しており，側突起の残存（矢印）と思われる像が認められる。(12,000×)

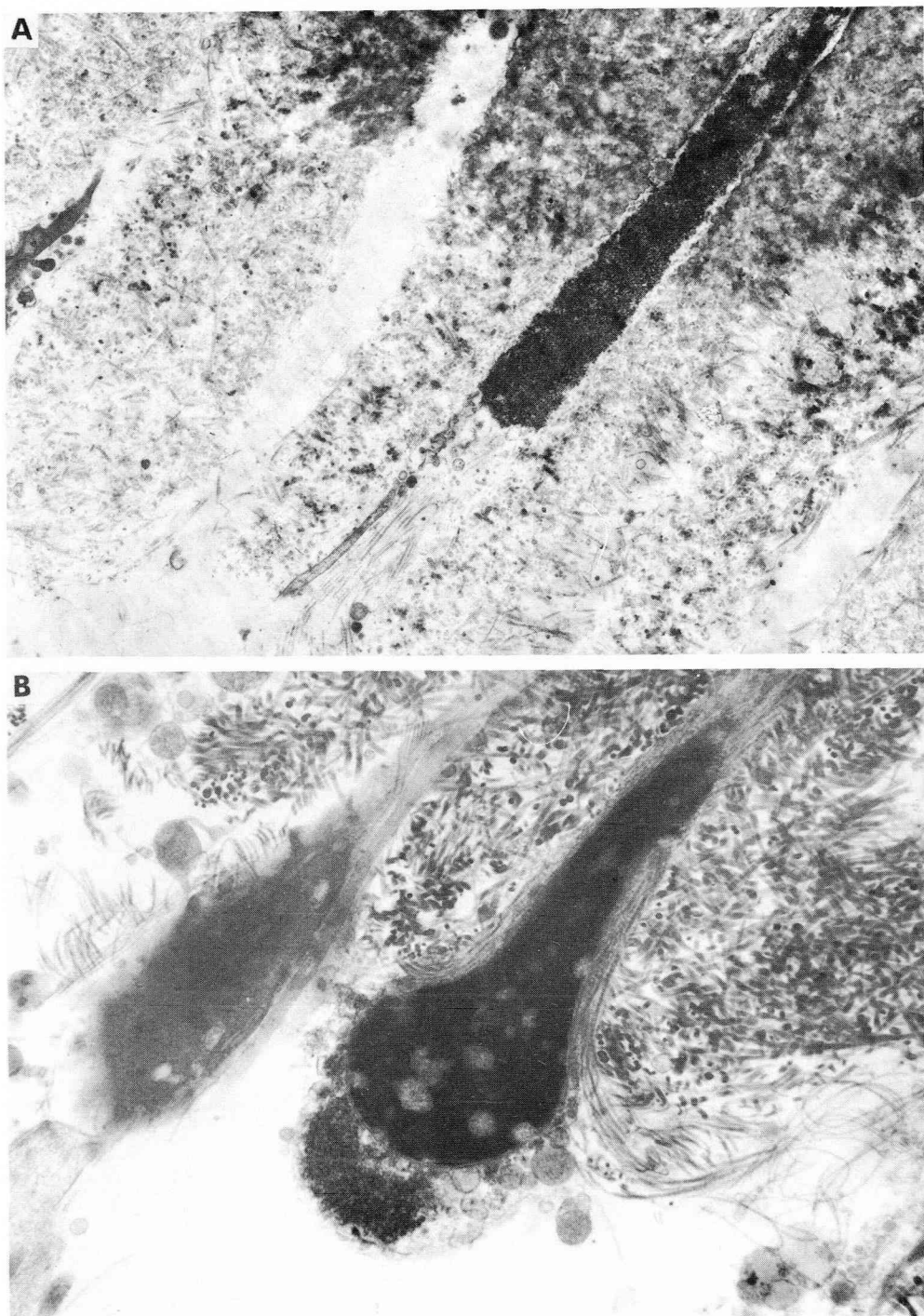


図4. A: 象牙芽細胞の核が象牙前質から象牙質にまたがって細管内に存在している。核膜は消失し周囲との境界は不明瞭である。(8,500×)

B: 象牙芽細胞の核が象牙前質の膠原線維をまき込みながら象牙細管内に移動しつつある。(13,000×)

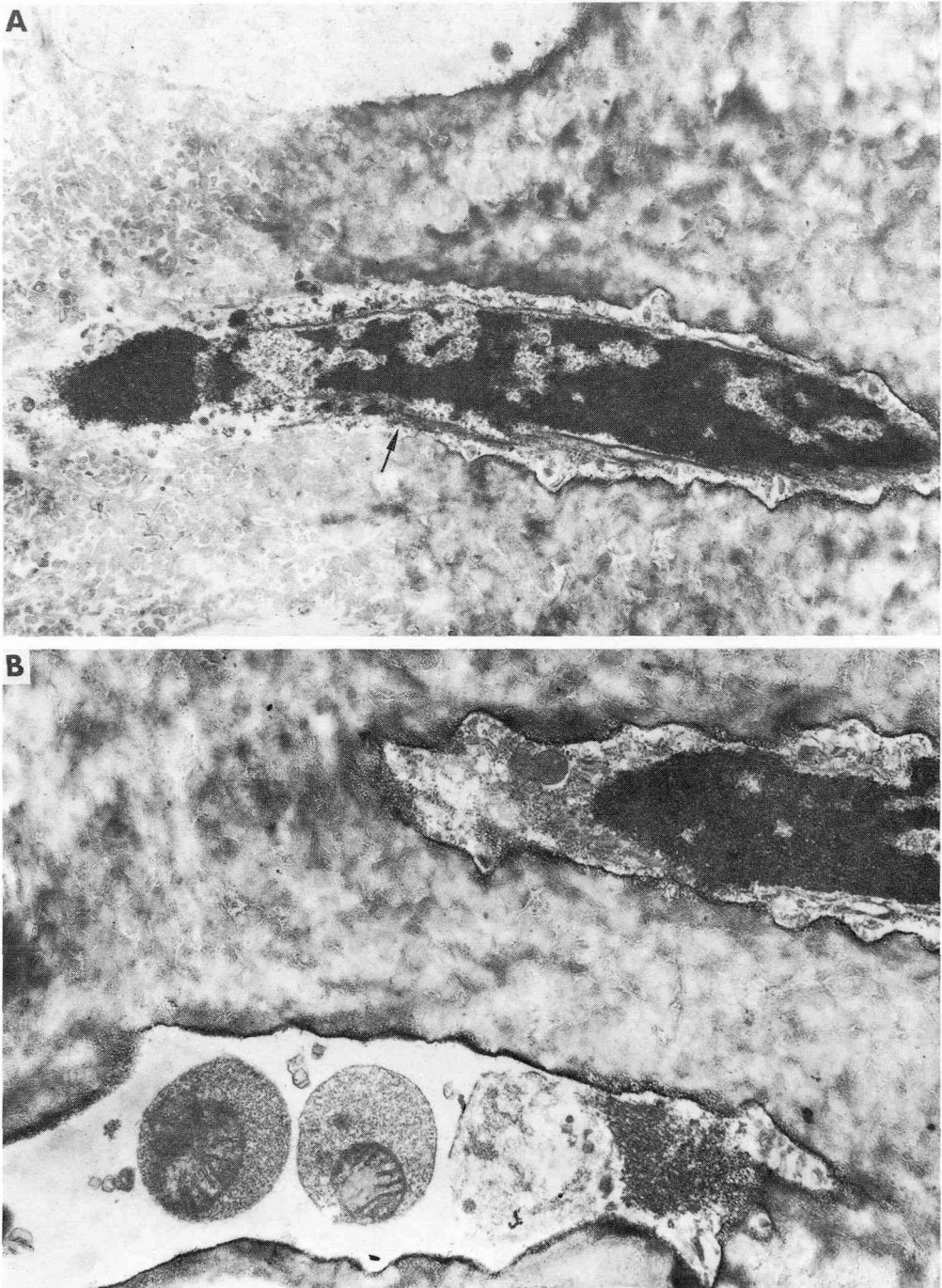


図5. A:象牙前質(左側)と象牙質(右側)とにまたがり存在する象牙芽細胞の核。核膜はほぼ全周囲に認められるが下面中央(矢印)から左側にかけて断裂しており、左端には流出した核染色質の集塊がある。(14,600×)

B:原成象牙質の細管内にまで移動した象牙芽細胞の核(上方)には核膜が認められない。下方の細管内には mitochondria を内蔵する2個の球状物と核染色質の残骸がある(右側)。(17,400×)

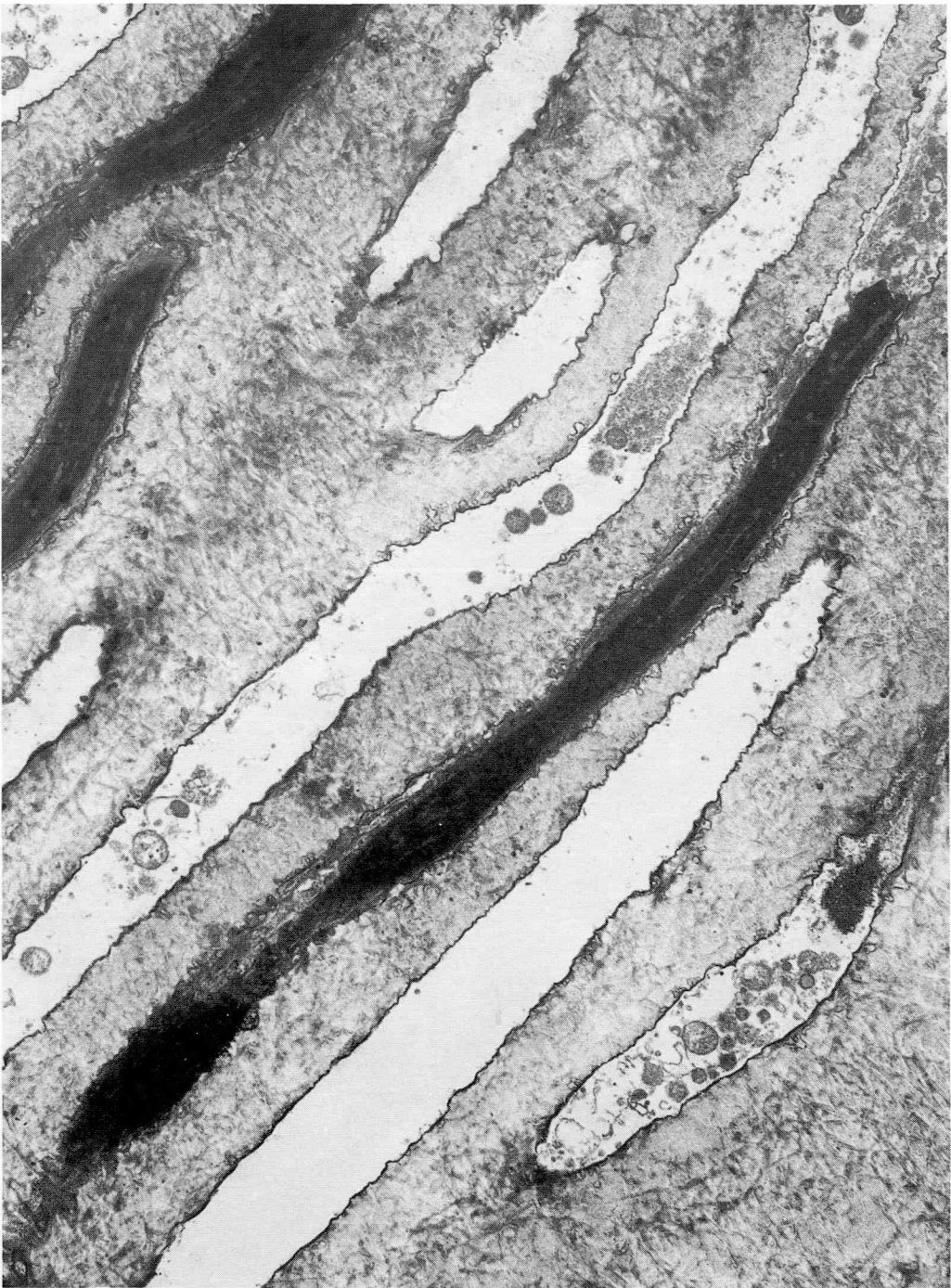


図6. 原成象牙質内に移動した象牙芽細胞の核の縦断像である。長桿状に変形しているが、核膜の消失は認められない。隣在する象牙細管には全く空虚なもの(下隣など)、小器官や核染色質の残骸を内蔵するもの(下方や上隣)が観察できる。(9,000×)

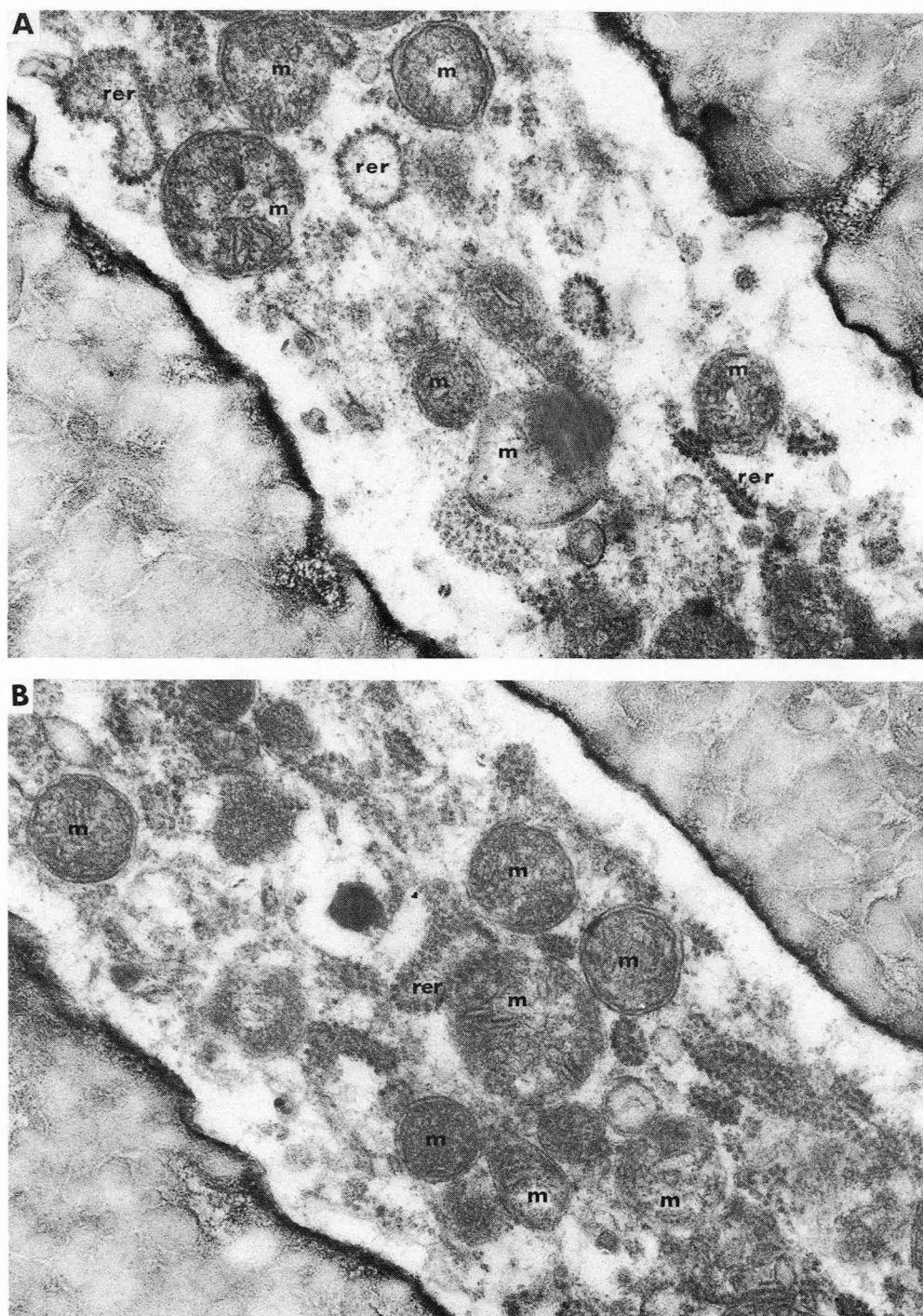


図7. 象牙細管内に移動した細胞小器官

A : mitochondria (m), rough endoplasmic reticulum (rer), free ribosome などがあり, 上方2つの rer の内腔は膨化している. (45,000×)

B : 多数の mitochondria (m), 少数の rough endoplasmic reticulum (rer), free ribosome が認められる. (43,000×)

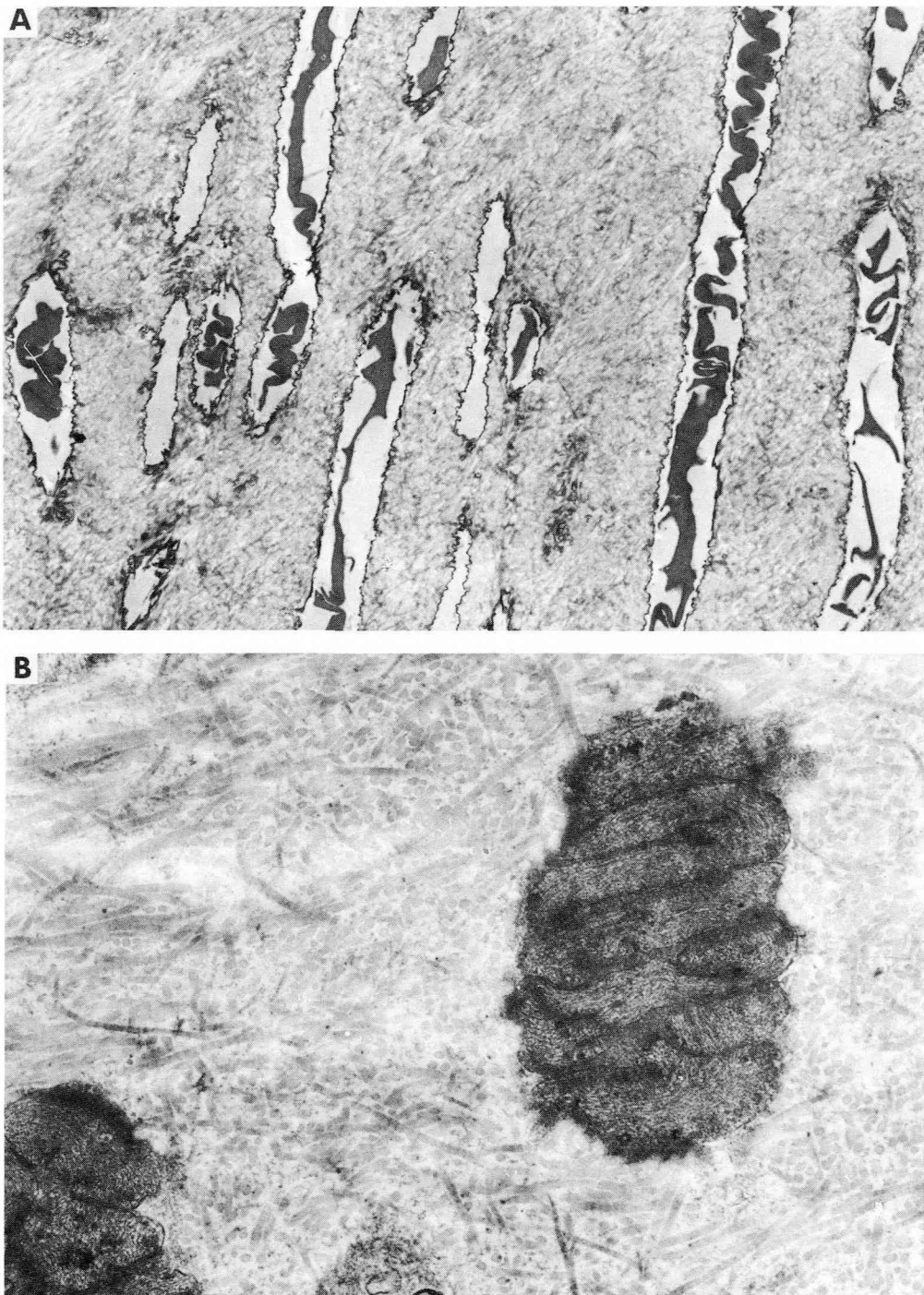


図8. 象牙線維の屈曲・蛇行像

A: 原成象牙質の細管では, 象牙線維が萎縮して空隙ができ, 線維が蛇行している。(4,400×)

B: 象牙前質では, 象牙線維が屈曲して細管内に緊密につまっている。(22,000×)

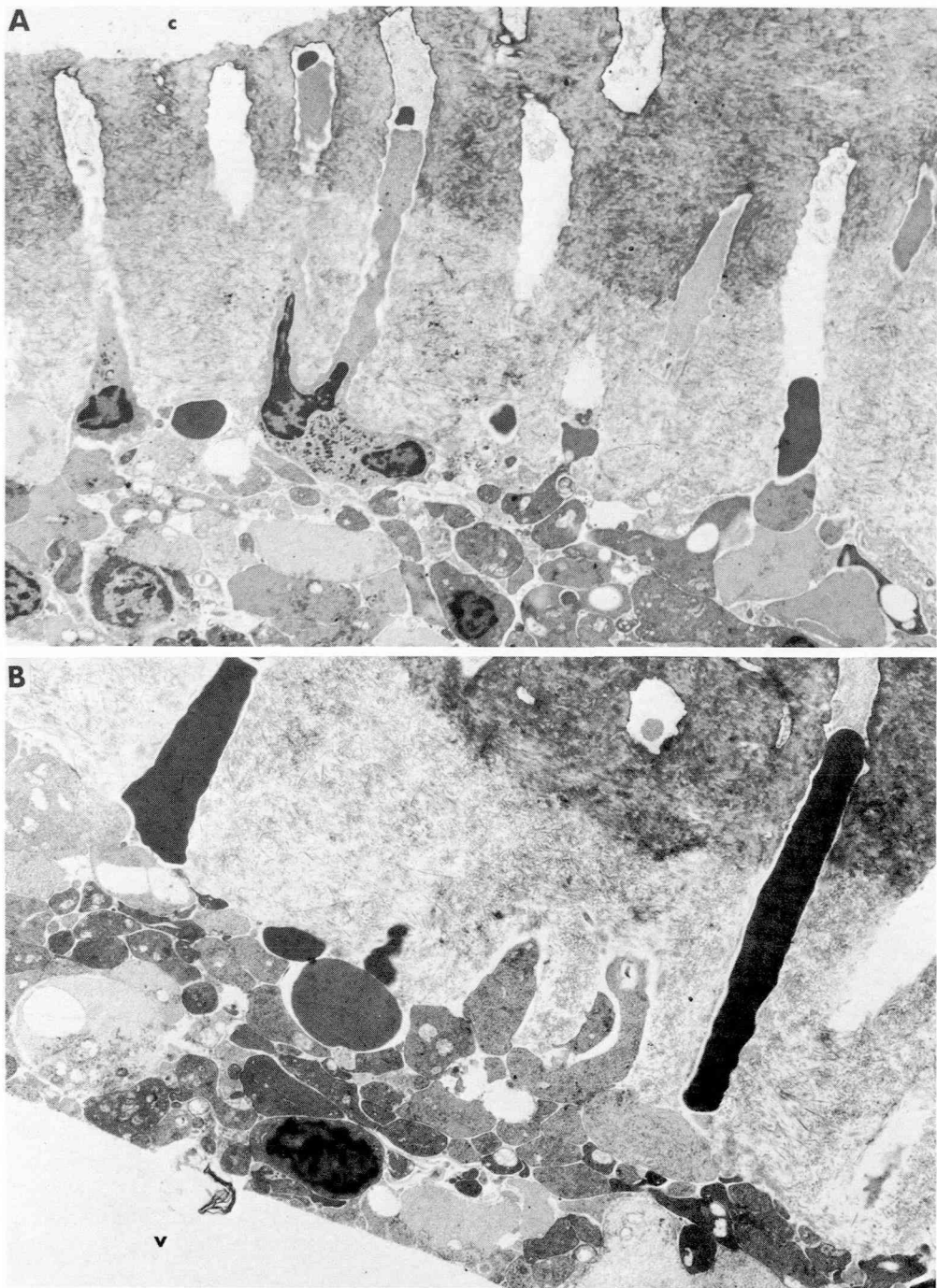


図9. 白血球および赤血球の象牙細管内移動

- A: きわめて深い窩洞(c)にみられたもので、象牙前質に接して、多くの細胞が蟻集している。左端の細管内に中性多形核白血球が侵入しつつあり、次の2本の細管内には別の中性多形核白血球が2本の偽足を伸ばしている。右端の細管内には赤血球が認められる。(3,400×)
- B: Aと同じ材料から得たもので、大きな空隙(v)形成のため各種細胞が象牙前質側に押しつけられたように見える。2個の赤血球が細管内に移動しているが、右側のそれは象牙前質から象牙質にまたがっている。(4,300×)



図10. 図9-Aの一部拡大像で、中性多形核白血球を示す。左側の擬足は象牙細管の弯曲のため途中で断裂しているように見えるが、右側のそれは明瞭である。そしてその先端に赤血球の破片を思わせる dense body がある。(11,400×)

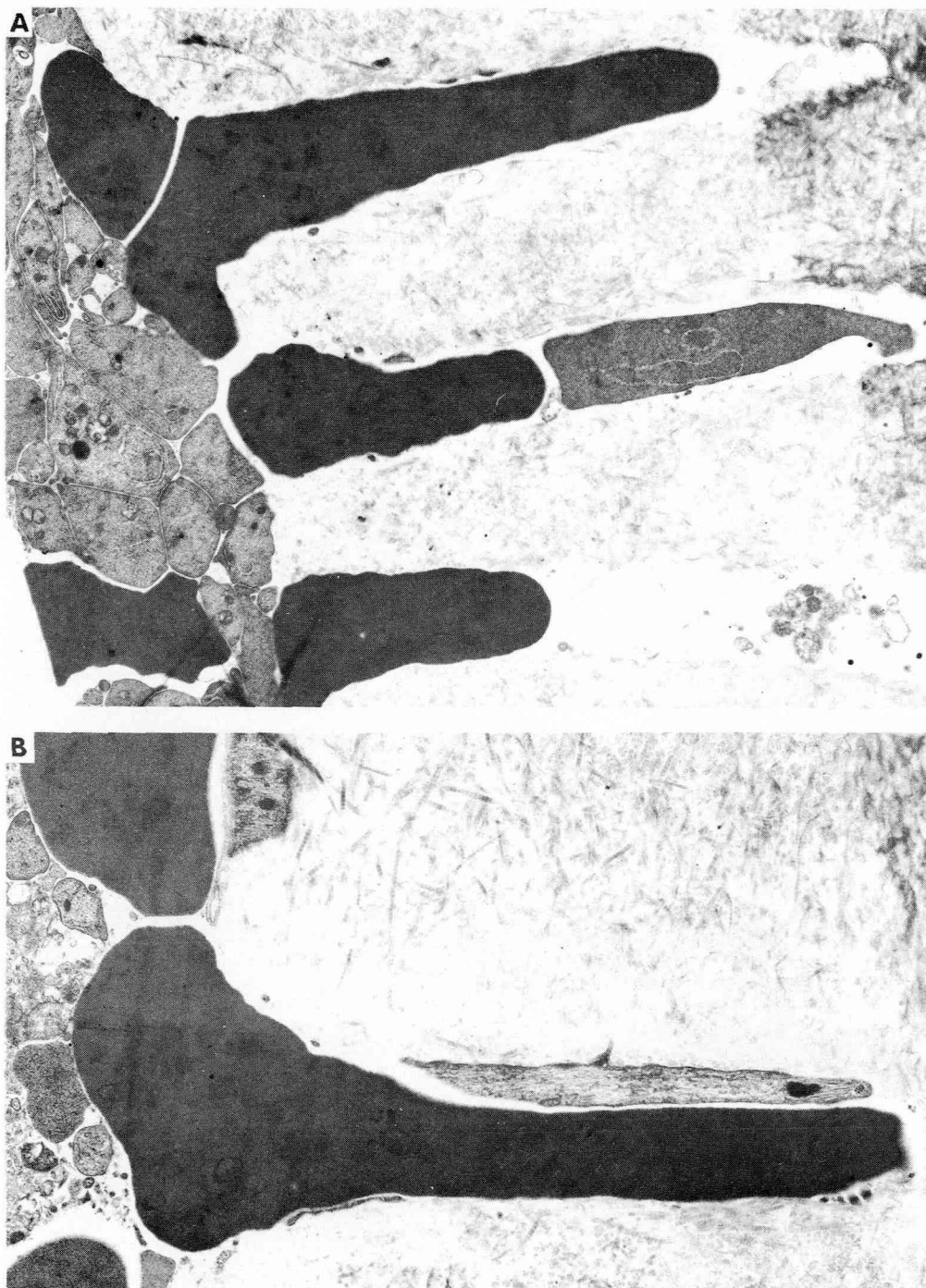


図11. 赤血球の象牙前質の象牙細管内移動

- A : 3本の象牙細管内にそれぞれ3個の赤血球が移動しているが、上方の細管ではさらに1個の赤血球が続いているように見える。真中の細管の赤血球の先には種不明の細胞体の一部がある。(8,500×)
- B : 象牙細管内に赤血球が移動している。左側はいまだ細管外であるため太くなっている。右側の上方には象牙線維が認められる。(11,500×)



図12. 象牙細管内に移動した末梢神経線維を示す. 象牙線維の蛇行像と類似しているが, filament様構造は不明瞭で, 微細な顆粒が認められることで区別できる. 左隣の細管には細胞成分はなく, わずかに膠原線維(矢印)を含む. 右隣の細管には萎縮した象牙線維がある. (19,000×)

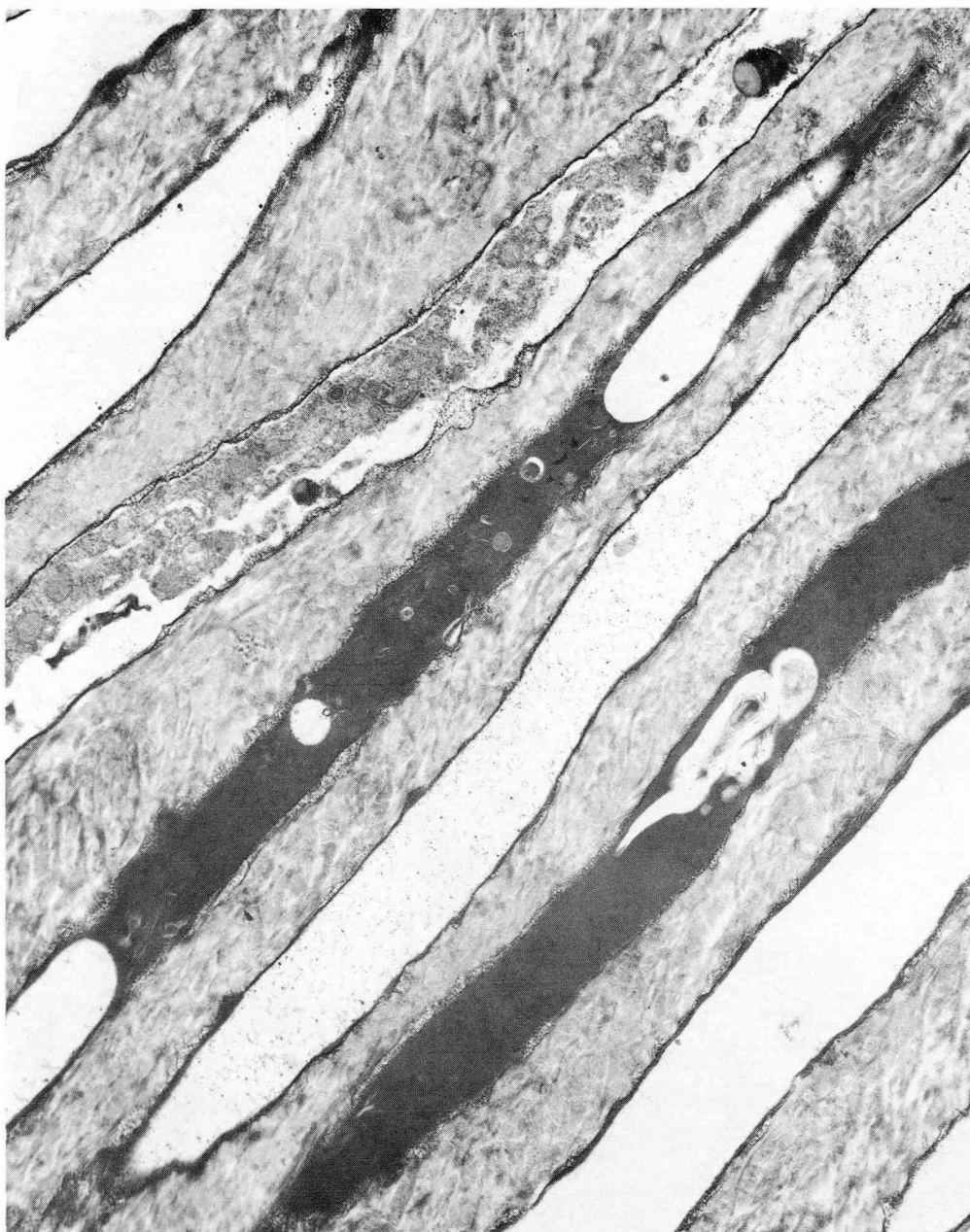


図13. 固定後に窩洞形成をした象牙細管内に移動した象牙芽細胞の核. 2本の象牙細管内に1個あて象牙芽細胞の核が存在している. 電子密度が高く内部構造は不明瞭であるが赤血球のように均一ではない. 隣在の細管には, 空虚なものや mitochondria, free bibosome, 脂肪滴などを内蔵するものがある. (10,000×)

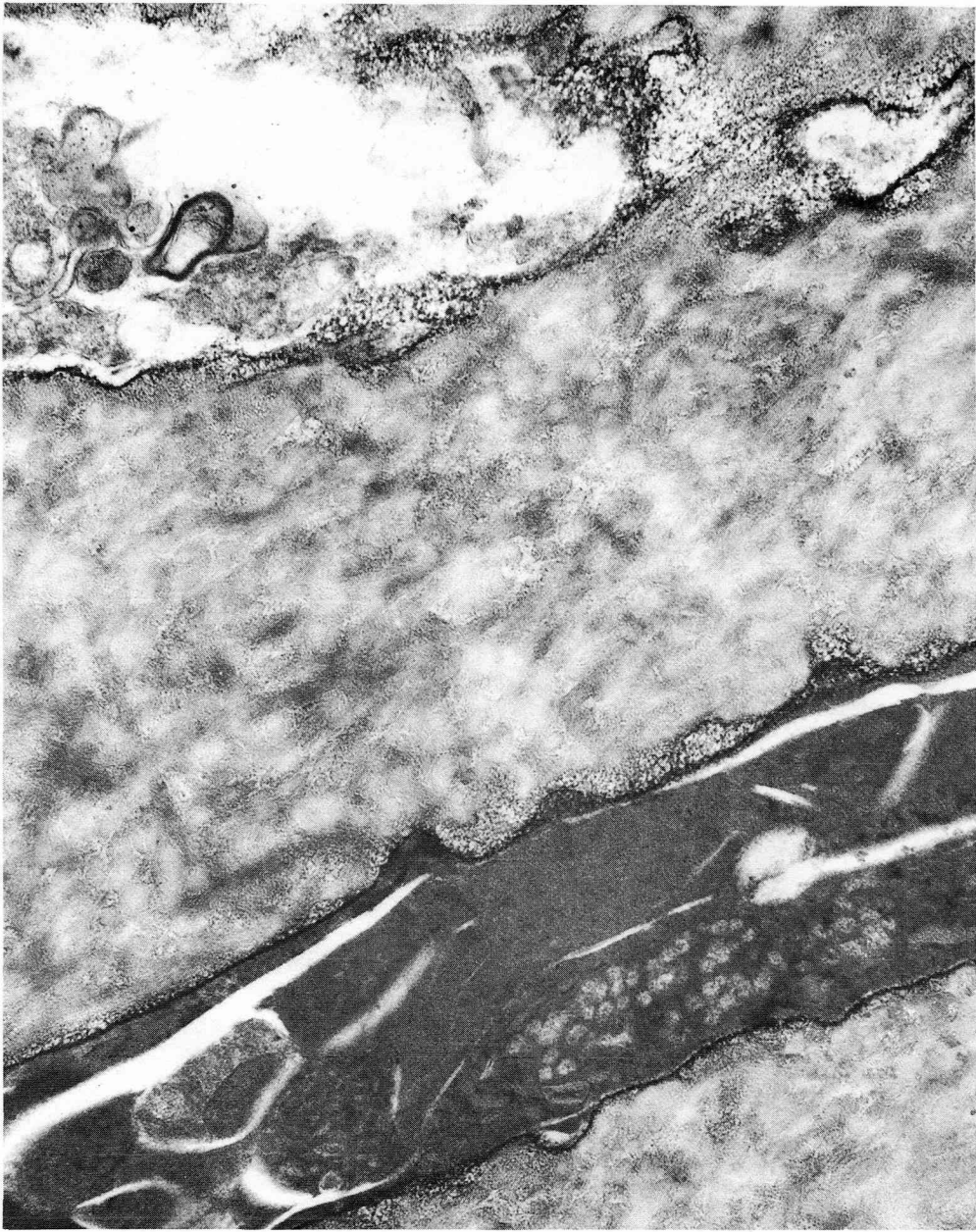


図14. 図13と同じ材料から得た切片で象牙細管内の象牙芽細胞の核を示す。電子密度が高いが、均一ではなく、また所々に針状の空隙が認められる。上方の象牙細管内には変性を起した細胞小器官がみえる。(31,000×)