

## 象牙質の体液流動に関する形態学的考察 (II)

—ラット切歯歯髓の毛細血管について—

仙波輝彦・田畑正志・和田薫・中間孝子

鹿児島大学歯学部 口腔解剖学講座 (I)

## Morphological aspects on the fluid flow in the dentine (II)

—On blood capillaries in the rat incisor pulp—

Teruhiko Semba, Shoji Tabata, Kaoru Wada & Takako Nakama

Department of 1st Oral Anatomy, Kagoshima University Dental School,  
8-35-1 Sakuragaoka, Kagoshima 890, Japan

### Abstract

(1) To study the three-dimensional structure of rat's incisors, we prepared resin casts and observed them through the scanning electron microscope. The findings concerning the arterial and venous distributions indicated that the body fluid pressure increases at the labial part and decreases at the lingual part. Judging from the distribution of arteries, each of the 1mm-long cylinders forming an incisor may be a biological unit with regard to the body fluid.

(2) We observed two types of blood capillaries by transmission electron microscope(TEM). One was a continuous capillary wall and the other was a fenestrated capillary wall. The former were found chiefly in the basal portion of the incisor and the latter were only in the incisal portion. It seems that this distribution of capillaries is related to their function, i.e., the mineralization of dentine.

(3) The blood capillaries were studied by TEM of thin sections and examination of freeze-fracture replicas. In this method, *en face* views were obtained of occluding junctions between adjacent endothelial cells of capillaries in the pulp. The tight junctions were macula occludens, not perfect zonula occludens. The fenestrated capillaries of the dental pulp differed from those of the intestine in their distribution pattern and density of fenestrae.

これまでに行ってきた研究の総括をするようにとの指示を紀要編集委員会からうけた。1980年頃までの仕事については既に本紀要2巻においてのべたから<sup>1)</sup>、今回はそれ以降の研究について主として紹介させていただく。

この研究の材料としてラットの切歯をどうして用いたのかというと、この歯は無根歯といわれ、終生成長を続けるという特徴をもっている。従って、この歯を基部から咬部にかけて観察すると、一本の歯でもって歯の形成過程の殆ど全てをうかがい知り得るという利点があること、また、無根歯という特殊な歯ではあるが、ヒトの歯も、その発生から成長の時間経過と形態変化の様子の違いはあるが、これを巨視的にみれば、無根歯にみられる歯の形成とほぼ同様な過程をとっていると考えられているからである。

ところで、この研究をどうして始めたのかについて書いておく。はじめは、トレーサーを使って物質が毛細血管壁をどのようにして透過しているのかを調べようとしたことから始まる。種々な分子量の過酸化酵素をトレーサーとして実験動物の静脈に注入してみると、ある物は血管の外に出してもらえないが、サイトクロムCとかホースラディッシュ・パーオキシダーゼ（以下HRPと略す）は毛細血管内皮を容易に通過し血管

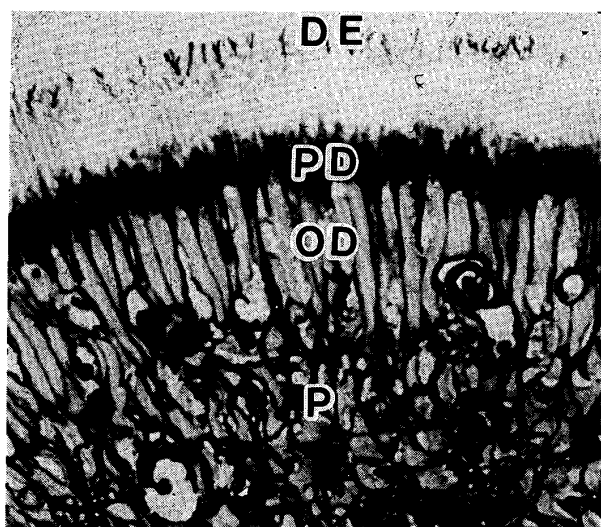


Fig.1 Light micrograph. Rats were infused with HRP via the V.jugular. The tracer reached not only the pulp (P), but the predentine (PD), dentinal tubules and the dentino-enamel junction (DE) via the intercellular space of the odontoblastic layer(OD) no more than one minute after the beginning of its infusion.

外に出る。これをラットの切歯歯髓についてみると、実験を重ねた結果、静脈注入後1分もするとHRPは歯髓全域は勿論、象牙細管を経由して、エナメル-象牙境にまで到達していることが判った<sup>2)</sup> (Fig.1)。このような結果から、どうして血管外をこのように速く物質が、別の表現をすると体液が流れることができるのかを考えてみようとして研究を始めた。

最初に行った仕事は、歯髓や象牙質の基質における酸性ムコ多糖タンパクが歯髓における体液流通に極めて都合のよい分布と構造をもっているということであった<sup>3)</sup>。このことは本紀要2巻の総説において述べたからここでは省略する。その後に行った仕事は、一つには歯髓の血管の立体構築について、二つには毛細血管の微細構造についての研究であった。これらの研究によって血管外体液の流通の問題がすべて解決したというには程遠いが、それにしても、この研究課題と取り組むうちに幾つもの新しい発見があり、歯髓の血管についての理解を深めたので、ここに紹介し批判を仰ぎたいと考える。

## 第一章 合成樹脂注入法による歯髓血管の立体構築について

使用した動物は成熟雄ウイスター系ラットで、エーテル麻酔下に処置を行った。この実験においては樹脂はメルコックス合成樹脂（大日本インキ化学製）を使ったが、メタクリル系樹脂を用いたほうが、粘性が低いために強い圧力を加えることなく毛細血管の隅々にまで入れやすいようである。注入の方法は種々試みたが、固定を行わないで食塩水による短時間の灌流放血に続き樹脂注入を行ったものが良好な結果をもたらした。注入量は40~50ml程度、時として注入の前半で青色、後半で赤色の樹脂を用いた。こうすると、うまくゆけば動脈には赤色、静脈には青色の樹脂が溜まり、血管鑄型標本を実体顕微鏡下において観察する際、動脈から毛細血管を経て静脈への移行を追跡するのが容易となるからである。注入樹脂が完全に重合後、下顎骨を摘出、20%カセイソーダ水溶液で軟組織を溶解し、脆くなった硬組織を除去して、歯髓の血管系鑄型標本を取り出した。こうしてできた標本を自然乾燥すると変形がおこるから、十分に水洗した標本を液体窒素に投入し、氷結させ、これも液体窒素温度に保った有り合わせの凍結切断装置の冷却ブロックに入れ、真空蒸着装置の中で一昼夜かけて乾燥した。こうして作られた良好な血管系標本はあらゆる方向から観察が可能であり、また、表層の観察が終われば、その部分を

除去し、さらに深層へと進み、同一標本により各部分の正確な観察が可能である。立体的構築は実体顕微鏡下においてその構造の大部分の観察が可能であるが、光顕の焦点深度の関係で三次元構造を写真で説明するには不向きなため、走査電子顕微鏡により写真撮影を行った。

次に研究結果について述べるが、既に仙波ら<sup>4)</sup>の論文で発表していることでもあるから、ここでは私達が得た新しい知見に重点をおいて説明する。動脈は歯の正中面に沿って15~20本ある (Fig.2)。これを幹動脈

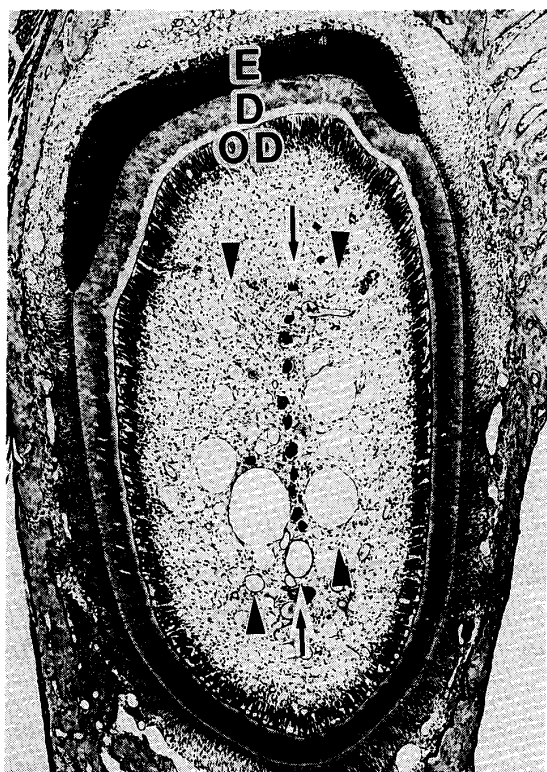


Fig.2 Rat' incisal tooth taken by light microscope. Arterial trunks are arranged in the median plane (arrows) of the dental pulp. Venous trunks (arrow heads) run along both sides of arterial trunks and line up in the sagittal plane. E:enamel, D:dentine, OD:odontoblasts

と呼んでおく。面白いことに、この動脈は唇側に向かって順次同方向に、すなわち、エナメル質の作られる方向に数本の細動脈を派出する (Figs.3, 4)。別の表現をすると、最も舌側に位置する幹動脈が最初にでき、歯の成長に伴って第二番目のものがその唇側にとりょうに順序よく発達し、個々の幹動脈の終末部においてのみ細動脈を派出する。例えると、椰子の木は先端部にだけ葉が繁り、幹の殆どの部分には枝葉が見

られないという姿を思ってもらいたい。さらに、次の特徴は、先端部から分枝した細動脈は唇側に向かってのみ枝を出すことである。ここから先は毛細血管となるから、このことは後述する。この章での記述は読者の頭の中に血管の立体構築が描かれるようであれば意味がないのであるが、それは大変難しいことであるし、



Fig.3 Resin cast. Arterioles(arrows) are distributed mostly where enamel is formed, and extend approximately 1.5mm in length in the direction of the long axis. 50×

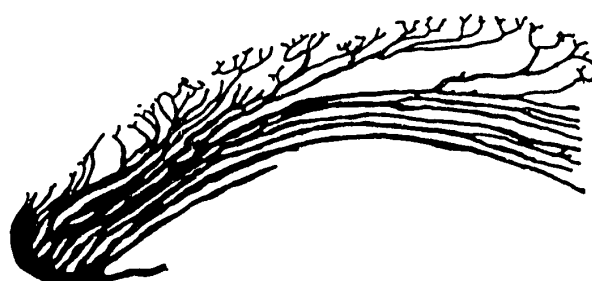


Fig.4 Scheme: Arterial trunks do not branch sideways until they completely cover their respective distribution spheres.

また記載が冗長になることをおそれるので、Fig.5の模式図によって理解を助けていただきたい。

さて、唇側に分枝した細動脈の分布域はその分布場所によって異なるが、象牙質の成熟した場所では長軸方向の長さで1.0mm~1.8mmの範囲に及んでいる。これもまた面白いことであるが、ラット下顎切歯は対向歯がないときには一日に1.5mm位成長するといわれているのに奇しくも似ている。ここまで説明したことから、切歯歯髓の側壁とか舌側への細動脈の分布はどう

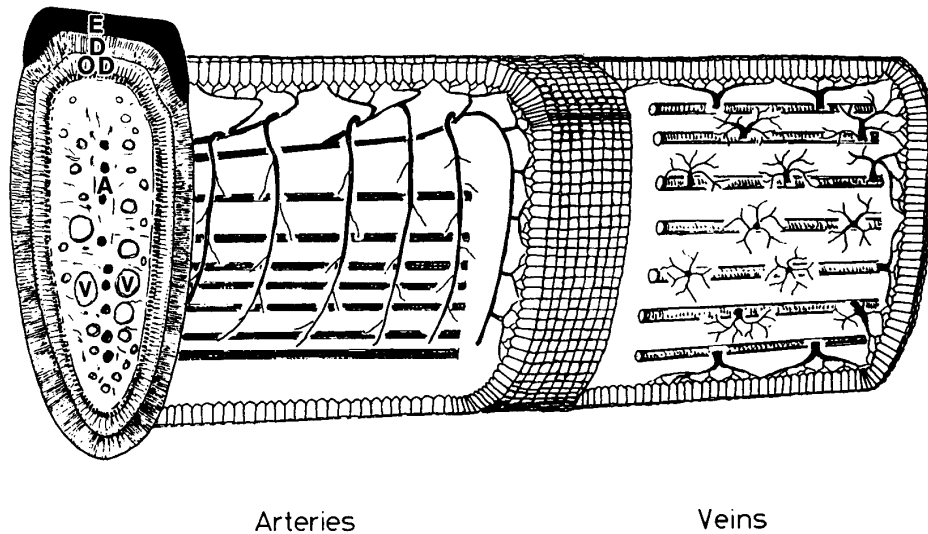


Fig.5 Scheme of the distribution of blood vessels in the incisal pulp.

なっているのかという疑問が生じているかもしれない。この点に関しても極めて興味ある発見を私達はした。どうして余人の気付かないことに注目したかという点、この章のはじめの方で二色の樹脂を注入したと書いたが、沢山の努力をした結果、極く少数の鋳型標本で静脈は青色、動脈は赤色と色分けすることに成功したからである。この標本を実体顕微鏡でみると、血管の鋳型が単一の色で作られているときには気付かなかったが、うまく色分けされたものでは、唇側に分枝した細動脈の途中から派出して、歯髄の湾曲に沿って舌側に向かう細動脈の存在を、歯髄外表面の毛細血管層のその直ぐ内側に発見することができた (Fig.6)。



Fig.6 Resin cast. Arterioles extend as far as the middle of both sides along the curving surface of the dental pulp (arrows). 60×

この細動脈を私達は「壁側動脈」と呼んでおり、先程、一本の幹動脈が唇側に派出する細動脈の分布域は長軸方向に約1.0mmと述べたが、その幅の中で数本の壁側動脈が決して交差することなく平行して舌側へと走り、これを例えれば胸郭における肋骨のような走行をとるのである。再び繰り返すが、一本の幹動脈は細動脈を唇側へ限られた範囲内に派出し、それから平行に走る壁側動脈を舌側に向かって送るから、細動脈に関してのみいえば、歯髄を横断する幅約1mm前後の厚板が基本構造になっているといえるし、また、別の表現をすると分節的になっているといえよう。

次に毛細血管について簡単に説明する。部位によって多少異なるが、多くの場合細動脈は象牙芽細胞層の内側に位置する細胞稠密層を通過する間に毛細血管となり、そこで花弁状に分枝し「毛細血管叢」を作った後、歯髄表面に向きを変え「直立毛細血管」となり象牙芽細胞の長軸と平行に走る。これは歯髄表面近くで直角に折れ「毛細血管網」を形成する (Figs.7, 8)。この血管について他の研究者も記載しているところであるが、私達は血管網と象牙芽細胞の象牙質形成能との間に密接な関連があると考えているところであるから、次章において新しい視点からこの毛細血管網について詳述する。ただ、鋳型標本の観察所見から一つだけ述べておきたいことは、毛細血管の網目には粗密の差があり、象牙芽細胞の活力と関係がありそうということである。網目が最も密な所は象牙質形成を最も活発におこなっている場所であり、さらに、細胞の機能が同じような所でも、唇側が密で、側壁と舌側はや

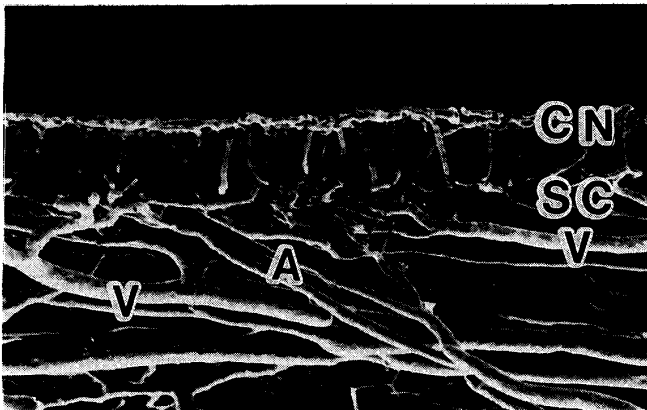


Fig.7 Resin cast. CN: blood capillary network, SC: subodontoblastic capillary, A: arterioli, V: venule 120×



Fig.8 Resin cast. Surface view of the blood capillary network. 90×

である。また、網目は切縁部に向かって次第に粗くなってゆくが、最も粗な所は象牙質形成の始まる前の部分である。

最後に静脈系について述べる。立体構築学の面から言って動脈系と静脈系がこのように異なっているのも

珍しい。静脈は切歯の正中面内に一列に並ぶ幹動脈を側面から挟むように片側10本程度配列している (Fig.1)。歯髄内の静脈系は周りを硬い象牙質によって保護されているから血管壁が極めて薄く、素直に静脈と呼ぶには抵抗を覚えるが、動脈と並走していることから私共は「幹静脈」と称している。毛細血管叢からの血液を集めた細静脈は短い経過の後数本が集まり、その径を増しながら緩やかな傾斜をもって基部の方へ走り幹静脈に注ぐ (Fig.9)。静脈系の構築についての



Fig.9 Resin cast. Venous trunks(V) have branches everywhere, receiving the blood running nearest to themselves. 50×

特徴を二つ述べておく。一つは、毛細血管叢の内側では細動・静脈が錯綜しているが動脈の歯髄表面に対して張る角度は静脈のそれよりも著しく大きい。両者間には傾斜角の違いがあるために鑄型標本においても容易に識別することができる。二つには、先程も細静脈は短い経過で幹静脈に入ると述べたように、幹動脈がその終末部においてのみ細動脈を分枝したのと異なり、個々の幹静脈は咬部から基部に至る経過中の随所において外側からの細静脈と結合するという点において相違する。

以上樹脂注入鑄型標本による切歯歯髄の血管系について私共の研究による新知見を中心に概観してきた。これらのことをもう一度要約して考えてみる。幹動脈から分岐した細動脈は唇側方向へ主として分布し、位置的偏向がみられる。これに反し、幹静脈は幹動脈を挟むようにその外側に対称的に位置し、随所において最寄りの毛細血管から血液を受容できる構築となっている。ここでは触れなかったが歯髄中心部で毛細血管網の乏しいことも考え合わせると、血管外液の圧力は唇側歯髄表層で高く、舌側で低いと解せられるから、



Fig.10 The odontoblasts are 50  $\mu$ m in height. Many fenestrated capillaries are shown near the terminal web (TW) of odontoblasts. 1,750 $\times$

体液はこの圧力差に従って表層を舌側へと流動する可能性を推測しても不自然ではないと考える。

## 第二章 超薄切片法による歯髓血管の構造について

切歯歯髓血管を超薄切片法により観察してきたが、そのうち、特に毛細血管の内皮の構造変化が象牙芽細胞の機能とか象牙質の石灰化と密接に関連しているらしいという様々な所見を私どもは得ているので、この

ことを紹介したい。

組織学の教科書にあることだが毛細血管は内皮細胞と基底板の形態により3型に分けられている。それを簡単に記すと

1) 連続型毛細血管 連続する内皮細胞と基底板からなり、筋組織のものはこれであるが、他の組織にもみられる。

2) 有窓型毛細血管 内皮は薄くなり、径60~80nmの円形の「窓」という構造をもち、窓は隔膜によって閉じられている。連続した基底板あり。内臓、内分泌腺のものはこれ。

3) 不連続型毛細血管 内皮は大きな間隙をもち、基底板は不連続。肝臓、骨髄など。

これらの形態の違いは血管壁の物質透過性を特徴づけている。有窓型では連続型より透過性が高い。歯髄内には有窓、連続の二型が報告されている。私どもは歯髄内における両型の毛細血管の分布状態が象牙芽細胞の成長および象牙質の石灰化と密接な関連があるということを示明かにしてきたのでこのことを述べる。

生後20~30日のラットをエーテル麻醉下に3.0%グルタルアルデヒドで灌流固定を行い、下顎切歯を摘出、一部はEDTA脱灰、大部の材料は実体顕微鏡下に象牙芽細胞が歯髄側に残るように丁寧に象牙質を剝離したものを使用した<sup>5-7)</sup>。以下オスミック酸後固定など常法に従った。

切歯基部(無根歯であるから根という語が使えない。歯根部に相当する側をこう表現しておく。これと反対側は切縁である)の象牙芽細胞は卵円形で、一列に並び、核は内側に偏在し、外側に向かって原形質突起が伸びる。細胞体部の丈は細胞の分化とともに高くなり30 $\mu\text{m}$ 位になる。これらの細胞は象牙質の基質としての酸性ムコ多糖類や膠原線維などを活発に分泌している。この基部の毛細血管象牙芽細胞層の直下に位置し、連続型で、核部以外での内皮細胞の厚さは比較的厚く0.2~0.3 $\mu\text{m}$ である。

つぎに切歯中部をみてみると、この辺りの象牙芽細胞の細胞体の丈は50 $\mu\text{m}$ 位にもなり、核上部にはよく発達したゴルジ装置と粗面小胞体が見られ、象牙質基質の合成を活発に行っていることをうかがわせる。一方、象牙質においては石灰化が急速に進んでいる時期である。ここの毛細血管では毛細血管叢、直立毛細血管、毛細血管網の三種を位置と走行により区別することができる。前二者は連続型毛細血管であるのに対し、毛細血管網は歯髄の最表層、すなわち象牙芽細胞が相互に作るターミナルウェブの位置に見られるようにな

る(Fig.10)。また、その内皮細胞には連続型と有窓型の両型が混在し、連続型では内皮は比較的厚みがあり、その中に100nm程度の形質膜小胞を多数もち、一

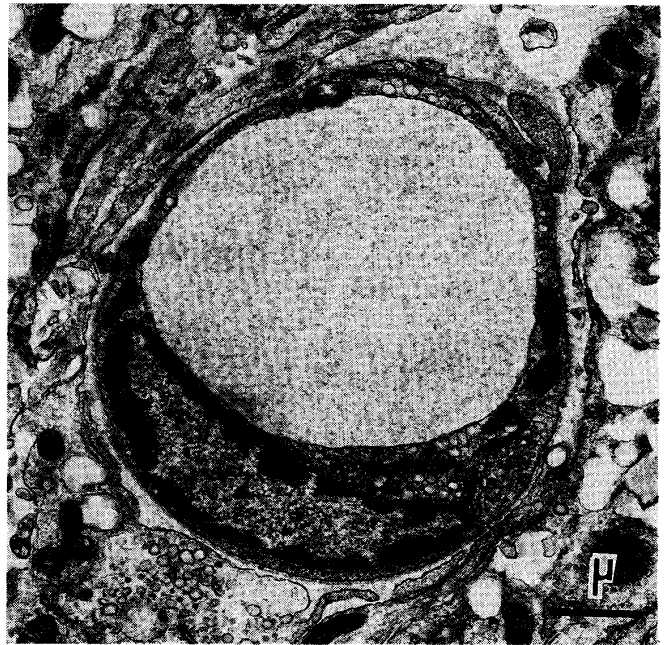


Fig.11 A continuous capillary in the odontoblastic layer. 10,000 $\times$

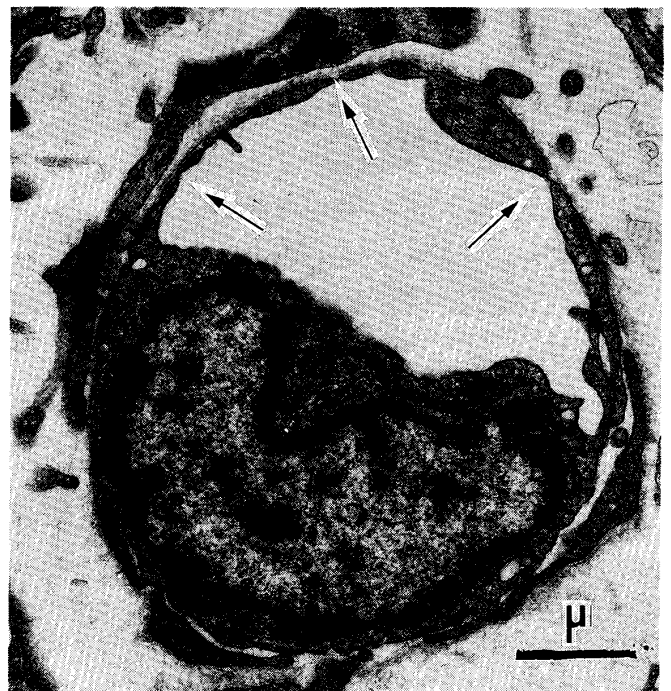


Fig.12 The capillary in the odontoblastic layer. The endothelial cell is very thin and a few fenestrations (arrows) are seen in it. 12,000 $\times$

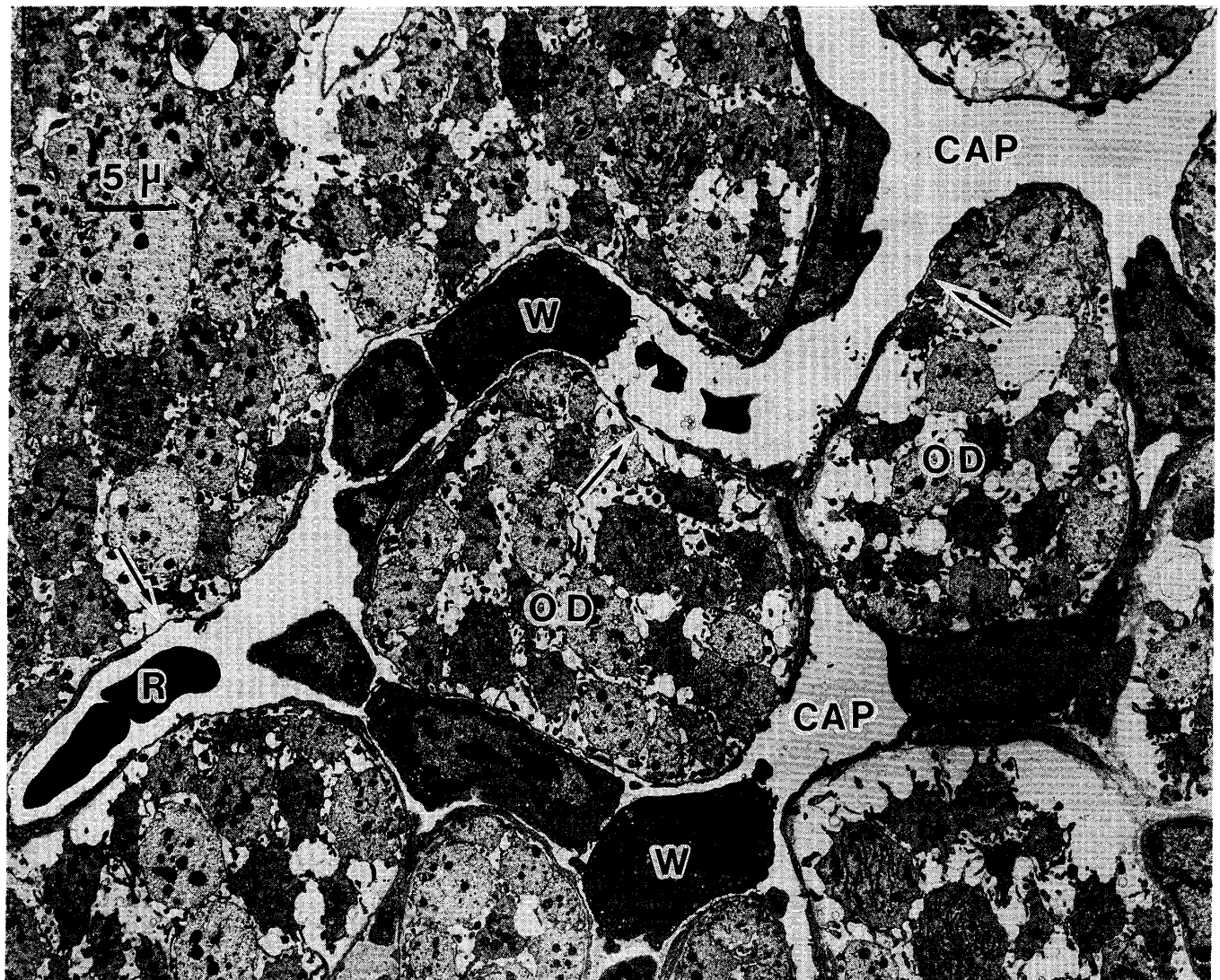


Fig.13 A network of capillaries (CAP) at near the terminal web of the odontoblasts. Continuous capillaries may change to the fenestrated type (arrows) in this portion. There are roughly twenty odontoblasts (OD) surrounded by capillaries. R:erythrocyte, W:leukocyte 2,000×

方、有窓型の窓の径は60～80nmで隔膜をもっている。ここで注意を引いておきたいことは「基部においては連続型毛細血管が象牙芽細胞層の直下にある」と述べたことから比べると、大変な変化である (Figs. 11, 12)。もちろん、これは突然に形態や位置が変化したのではなく、毛細血管叢、直立毛細血管、毛細血管網の三種が分化し、直立毛細血管が伸長しながら毛細血管網を外側に向かって押し上げ、この押し上げ過程を通じて血管網の内皮細胞の窓を増やしてきたということである。血管のこのような変化に並行して象牙芽細胞も象牙質形成細胞として最高の機能を示すようになってくる。極く簡単に前述したように、象牙芽細胞は基部のものから中部へかけて、細胞体の丈が著しく

伸び、細胞内小器官は物質の合成とその輸送が活発であることを示す像を見せるようになってくる。このように、毛細血管は象牙芽細胞の象牙質形成と関連するように変化してゆくことを私どもは注目し、明らかにしてきた<sup>5,7)</sup>。ここで毛細血管と象牙芽細胞との親密な関係がみられる写真 Fig.13 を見ていただきたい。この電顕像は唇側の象牙芽細胞層がターミナルウェブに極めて近い位置で横断されたもので、この位置から外側は象牙前質となるそのような所である。従って、ここに見られる象牙芽細胞はこの細胞のライフサイクルのうちで最も活発に象牙質の形成を行っている細胞である。毛細血管のつくる一つの網目に20個前後の細胞が囲まれ、血管の内皮細胞は極めて薄く、このよう



な弱拡大の写真では辛うじて判るくらいの細い線として認め得る所に内皮の窓が開いている。さらに血管周囲腔が豊かで、物質の移動には都合良いように判断される。この毛細血管が前章において毛細血管網と呼び、Fig.8において示したものである。こうみてくると、象牙芽細胞は象牙質形成能の高いものほど体液の流通に恵まれていると考えられようし、また、高い細胞機能を維持するためには高密度の体液流通を必要としているとも言えよう。

象牙質の厚みが次第に増して、やがて、ほぼ一定の厚さになってくる。この辺りをここでは切縁部と呼んでおく。象牙芽細胞は前述の中部のものよりさらに細胞体の丈を増し、80 $\mu$ m前後にもなる。この細胞では相変わらずゴルジ装置が見られ、蛋白質の合成が行われていることを示している。しかし、既に象牙質の新しい付加はないことから考え、この細胞は象牙質の維

持程度の機能を保っているといえよう。毛細血管はどうなっているかという点、毛細血管網の位置が中部のものより象牙芽細胞体に対して少し内側となる。さらに著しい変化は内皮細胞の大部分が有窓型となり、連続型もお少しみることできるが、内皮細胞は中部のものに比べてはるかに薄く0.05~0.1 $\mu$ m程度、それにともない、含まれる形質膜小胞の数は少ない。

以上本章においては透過電顕によって観察した歯髄中の毛細血管の部位による変化を中心に説明をしてきたが、ここで要約しておく (Fig.14を参照されたい)。象牙質の石灰化が始まるまでは毛細血管の内皮細胞は連続型で厚く、象牙芽細胞層の中には存在せず層の直下にあった。象牙質形成が活発な切歯中部では毛細血管をその所在と形態によって三種に分けられるようになる。象牙芽細胞層直下の毛細血管叢と象牙芽細胞の間を細胞と平行に短い距離走る直立毛細血管、

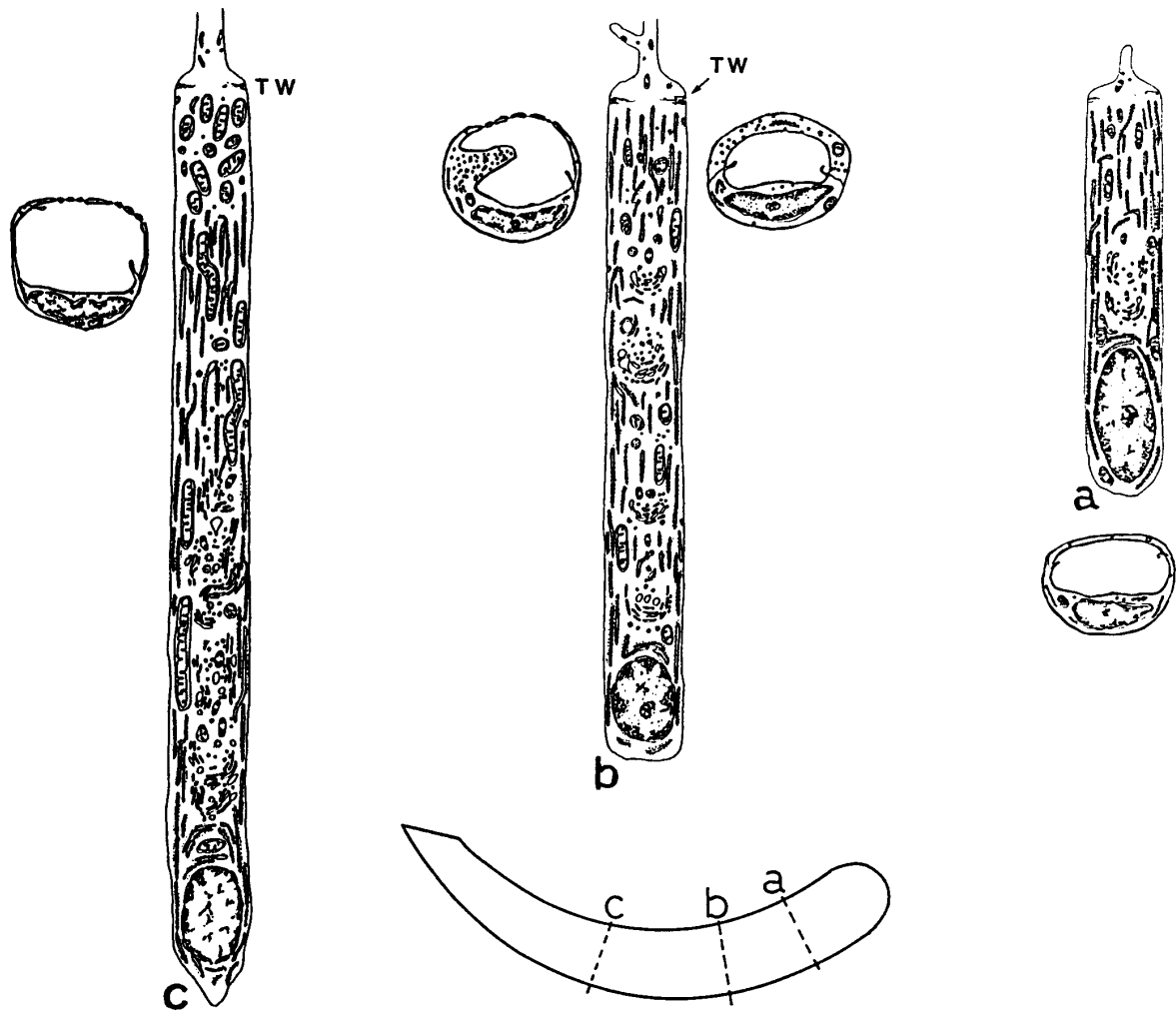


Fig.14 Diagram of the distributions of capillaries and odontoblasts in the incisal pulp of a rat.

これらの内皮細胞はいずれも連続型。さらに血管は象牙芽細胞層の中で表面に平行する毛細血管網となりターミナルウェブの高さに達し、内皮細胞は有窓型と連続型の両者を見るようになる。象牙質形成が完了した切縁部では毛細血管網の内皮細胞の殆どが有窓型となるが、血管の位置は象牙芽細胞に対して基底側に移動する。

ここで毛細血管における物質の透過性についてどのように考えられているか考察をしなければならないのであるが、紙面の制約もあるので、ここに関係のある二種のものについてのみ簡単にふれておく。有窓型毛細血管のほうが連続型に比べて物質の透過性が大きいということはその形態からみても想像に難くない。有窓型の窓の隔膜は内皮細胞中で最も強い陰イオン性部位でカルシウムイオンのような陽イオン性プローブに対して強い親和性を示す。窓のことについては次章で述べるが、透過する物質はそれのもつ電荷と粒子の大きさにより制約をうけている。連続型の内皮細胞には分化度の高いものほど多くの形質膜小胞が見られ、これらの内皮細胞の内面と外面を往復して、飲作用と放出作用により物質の運搬を行っている。一般には多くの血漿蛋白を含む陰イオン性物質の内皮透過を行っていると考えられている。また、より速やかに物を透過させるには、小胞が幾つか集まり、それらが互いに癒合することによって内外を直接貫くチャンネルを形成することもある。

以上のような有窓型と連続型の毛細血管の機能的特徴を交えて歯髓毛細血管の形態を考えてみると、基部のものは連続型で内皮細胞は厚く、形質膜小胞の数は少ない。従って、体液の透過性は極めて低いと考えられる。中部においては著しい形態変化を示し、内皮細胞は二型が混在し、連続型のものにおいては形質膜小胞が増加している。このことは、カルシウムイオンや磷酸イオンの透過量が増し、血管が象牙質の石灰化を強力に支持しているという形態学上の証拠であろう。切縁部においては有窓型が殆どを占めるのだが、これは象牙質形成のための無機塩の供給が一段落し、象牙質や歯髓、さらにはエナメル我的生活環境保全に必要な体液の供給に役目が移行したことを意味すると考えても暴論ではなからう。

### 第三章 凍結切断レプリカ法による毛細血管の観察

第一章では切歯歯髓の血管系の立体構築について、第二章では毛細血管について説明をし、象牙質形成機能に対応して三次元的にも、また、内皮細胞の形態に

おいても変化が起こるらしいということを述べた。本章ではもっと細かいところの観察に的を絞り、有窓型毛細血管の形態について表題のようなレプリカ法による私どもの研究結果を紹介する。

ここで用いた方法は田畑・仙波<sup>6)</sup>の論文を読んでいたことにより、概略を記すと、グルタルアルデヒドで固定し、硬組織部分を除去した歯髓標本を氷水温度でグリセリンに浸漬。スラッシュ状の液化窒素で急速凍結し、凍結切断装置により高真空、極低温で切断、白金の回転蒸着によりレプリカを作り、透過電顕で観察を行う。この方法は超薄切片法の研究が弱点とする平面や立体構造の観察に有利である。例えば、血管についていうと、隣接する内皮細胞間には体液の流通できる間隙が存在するかどうか。また、有窓型毛細血管の窓の分布密度とか形状といったことどもである。このような凍結切断レプリカ法の利点を利用して、もう一度歯髓の毛細血管網にみられる有窓型と連続型の内皮細胞を考えてみよう。

有窓型の窓は径が50~60nmとほぼ均一で、その形は正円に近い (Fig.15)。その中心部には超薄切片法

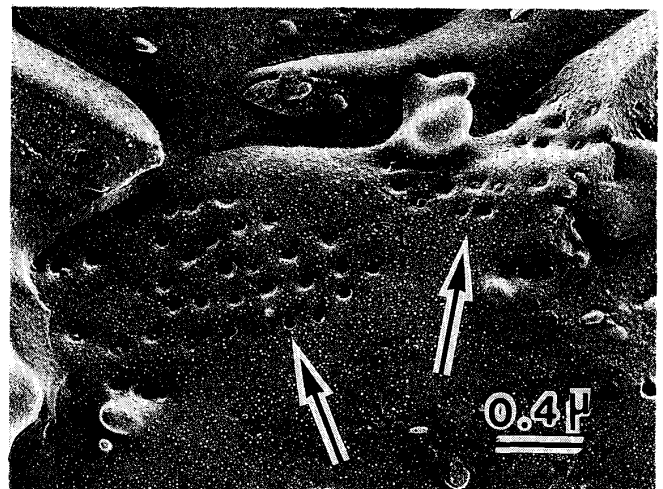


Fig.15 Freeze-fracture replica of a fenestrated capillary in the odontoblastic layer. The density of the fenestral population in the incisor pulp is not so high as that in rat intestine (Fig.16). 24,000×

での隔膜に見られる結節と同等構造物と考えられる肥厚部分が見られることもある。窓は形質膜小胞と比べると径が大きく、その底面が浅いので両者の識別は容易である。窓は30~40個がひとつの集団として有窓野を形成するが、その中における窓の配列については一定の規則性をみつけることができなかつた。また有窓野相互間には窓をもたない内皮部分が介在し、それら

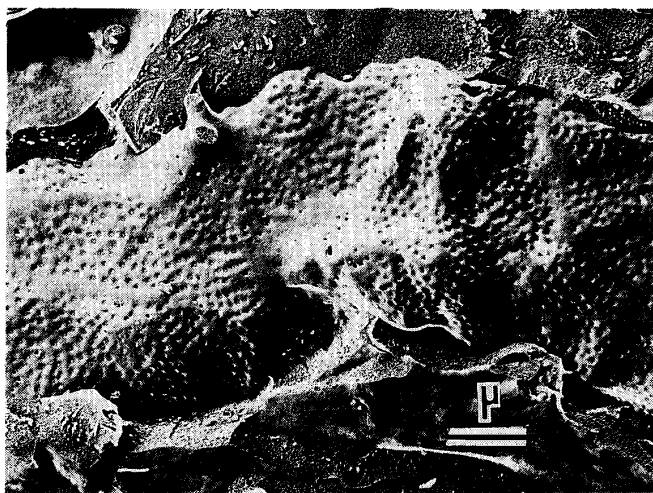


Fig.16 A fenestrated capillary of rat intestine. 8,000×

170nm, 小腸で120nmであった。この距離は一般には130nmといわれているから、歯髄の有窓型毛細血管にみられる窓の密集度はかなり低いのである。更に、窓のない内皮部分の小腸では狭いが、歯髄では非常に広い。これらのことから歯髄有窓型毛細血管における体液の透過性は小腸のそれに比べてみるとかなり低いのではないかと推測される。なおこの際、内皮細胞の窓の超微細構造に関して補足しておきたい。Fig.17は共同著者の一人である Tabata によって撮られたラット小腸粘膜固有層の有窓型毛細血管内皮細胞の窓の急速凍結ディープエッチ法による像である<sup>7)</sup>。窓の隔膜に花卉状に配列するほぼ6nmくらいの小孔が見える。これはスリット状なのかも知れない。以前からのトレーサーを用いた研究によると、HRP (4.5nm径)は有窓型毛細血管に対して非常に高い透過性を示すが、

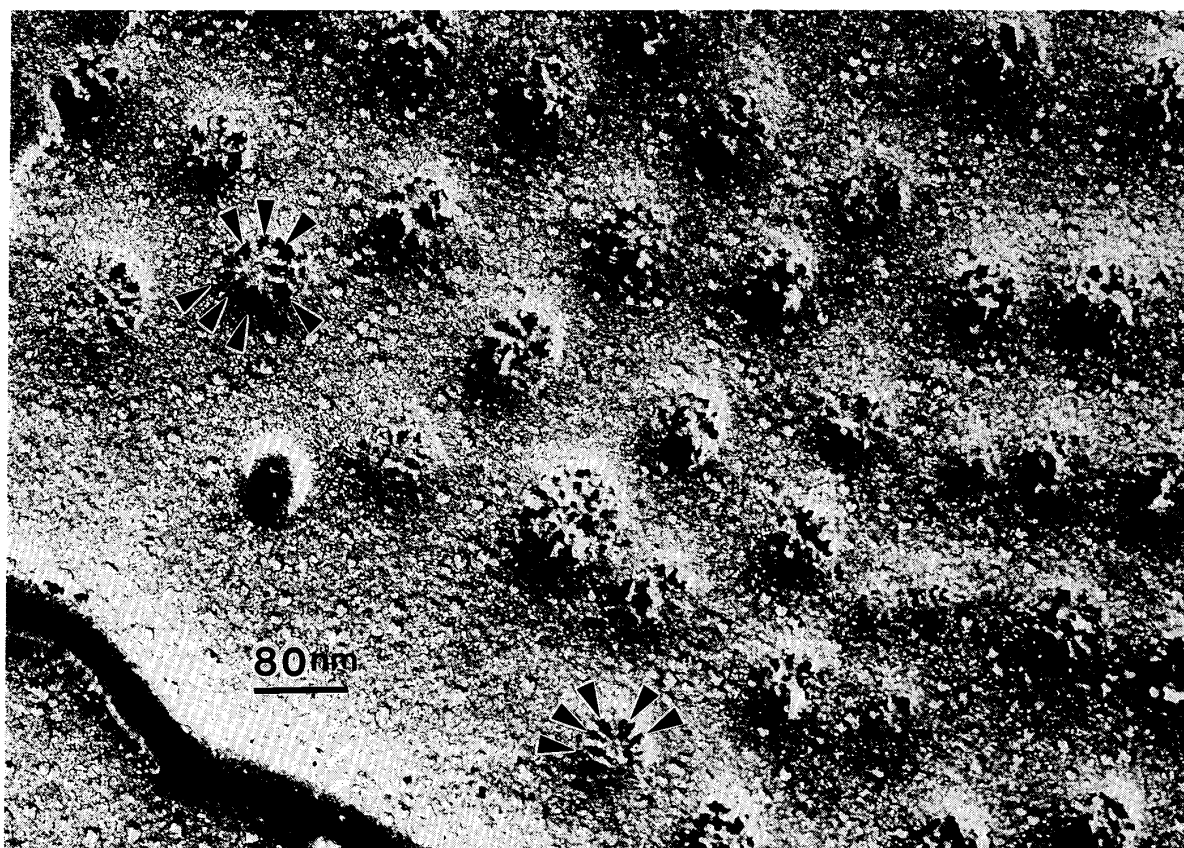


Fig.17 Higher magnification of Fig.16. There are at least 10 slits of about 5nm in this meshwork (arrowhead) in a fenestra. 125,000×

を互いに隔てている。参考までにラット小腸粘膜固有層の有窓型毛細血管の凍結切断レプリカ像を Fig.16 に示す。窓の形や径は歯髄中にみられるものと大差ないが、その分布状態には著しい違いが認められる。隣接する窓の中心間距離を測ってみると、歯髄のものは

フェリチン (11nm径)はこれに比べ低いと言われていた。窓の物質透過は前述したように膜の電荷に関係するほか、物質のサイズにも関係しているということが理解できると思う。これをさらに想像を膨らませると、この膜の孔、あるいはスリットはその組織の生理

状態によって開閉することもあるのではないかと思う。

次に連続型毛細血管の互いに隣接する内皮細胞相互の接面における接着装置について述べる。この接合面を物質が通れるかどうかについては、定説が今日までのところない。例えば、実験に基づきトレーサーが通過するという人は接合面は密着斑により不完全に閉じられているといい、一方、通過できないという人は密着帯で完全に血管の内外は閉じられていると主張する。ラット切歯歯髓の場合を凍結切断法で見ると Fig.18 に示すように細胞間に密着帯が認められる。

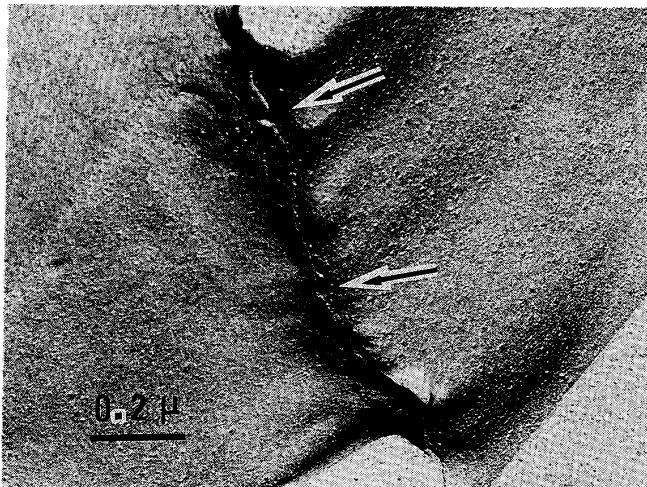


Fig.18 A tight junction between two endothelial cells of a continuous capillary. This junction is formed by 2 to 3 parallel strands, and has two gaps of about 10nm (arrows). 48,000×

しかし、この帯は数が少なく、写真において見えるように、二本のものが所々において合わさり、10nm程度の不連続部分が間隙を作っているようである。この密着帯が生理条件に因っても不変のものかどうか判らないが、実験結果に混乱が生じたとしても無理からぬことのように思えるが、この写真からは細胞間の物質通過を完全に遮断することはできないようである。

以上ラット切歯歯髓の血管、特に毛細血管を中心に方法を変えて私どもが研究してきたその結果を紹介させていただいた。故意に他の研究者の業績引用を省略した。それは後記する私どもの報告にあることだから、それを参照していただくことにして重複を避けた。

また、これを書きながら、血管も含めて電顕図譜のようなものにしたほうが良かったかな、と考えたこともあったが引き返す時間がなくなっていた。

稿を終えるにあたり、この機会をお与え下さいました鹿児島大学歯学部紀要編集委員長西川殷維教授はじ

め委員の諸先生に深甚なる謝意を表します。

本研究は奨励研究 A (02771255) および一般研究 C (01570991) により行われた。

#### 参考にさせていただきたい私どもの研究論文

- 1) 仙波輝彦：象牙質の体液流動に関する形態学的考察，鹿児島大学紀要 2,1-9, 1982
- 2) Semba, T. & Ishida, M.: On the fluid flow in the pulp of young rat incisor. Proceedings in 10th Int. Cong. Anat., Tokyo 409, 1975
- 3) 仙波輝彦：象牙質と歯髓間にみられる体液の細胞間連絡について，硬組織の形成と石灰化，Talmage, R. V., 小沢英浩編，83-101, 社会保険出版，東京，1978
- 4) 仙波輝彦，田畑正志，山本博崇：合成樹脂鑄型法によるラット下顎切歯血管の立体構築について，鹿児島大学医学雑誌 35, 141-152, 1983
- 5) 田畑正志，仙波輝彦：ラット切歯歯髓毛細血管の部位的变化，歯基礎誌 27, 1055-1064, 1985
- 6) 田畑正志，仙波輝彦：超薄切片法および凍結切断レプリカ法によるラット切歯歯髓の動脈と静脈，歯基礎誌 30, 786-793, 1988
- 7) Tabata, S. & Semba, T. : Examination of blood capillaries in rat incisor pulp by TEM of thin sections and freeze-fracture replicas. J. Electron Microsc. 36, 283-293, 1987