切削荷重が歯髓へ及ぼす影響

九州歯科大学大学院歯学研究科歯科補綴学第2専攻(指導:内田康也教授)

九州歯科大学口腔解剖学第2講座(指導:嶋村昭辰教授)

駒 井 英 基

昭和58年12月12日受付

本論文の要旨の一部は,昭和57年11月6日第69回日本補綴歯科学会総会において発表した.

Alterations of the Pulp after Cavity Preparation by Clinical Cutting Load

Hideki Komai

Second Department of Prosthetic Dentistry (Director: Prof. Yasunari Uchida)

Second Department of Oral Anatomy (Director: Prof. Akitatsu Shimamura)

Kyushu Dental College, Kitakyushu, Japan

In order to investigate the effect of the difference in magnitude of cutting load, one of the cutting conditions, on the dental pulp immediately after cutting in cavity preparation by high-speed cutting on vital tooth, a cutting device capable of exerting a given cutting load was designed. With the use of this device, 80g or 120g cutting load was applied on the six lower anterior teeth of dogs in performing cutting preparation, and light and electron microscopic observations were made.

The results were as follows:

1. Scanning electron microscopic observation of the three dimensional structure of dentinal fibers of non-cut dogs' teeth with application of cryofracture and the HCl-collagen digestive method showed that most of the dentinal fibers, as in the human teeth, ran in the three dimensional curve from the odontoblasts arranged in a line and reached the enamel-dentin junction.
2. Light microscopic observation of cavity prepared teeth of dogs showed irregular arrangements, reticular atrophy, and appearance of aspirated bodies in the odontoblasts under the cavity in both 80g and 120g cutting load cases. At the same time, no significant changes were observed in the proper dental pulp under the odontoblasts.
3. Aspirated bodies appeared in 52% of cavity preparations with 80g cutting load and in 60% of 120g load.
4. The fact that the aspirated bodies which had appeared immediately after cavity preparation showed Feulgen positive nuclear reaction suggested that each was the nucleus of the odontoblast.
5. Transmission electron microscopic observation showed morphological changes in

odontoblasts in both 80g and 120g preparation cases. Namely, atrophy, pyknosis, and aspiration of some or most the nuclei of odontoblasts which penetrate into the dentinal tubules were observed.

However, alterations of the odontoblasts in 120g preparation were more conspicuous than those of 80g preparation. Almost all of the aspirated bodies observed in 120g preparation were located deeply in the dentinal tubules and their nuclei occasionally showed dissolutive appearance.

6. It was suggested that one of the pathogenesis for the appearance of aspirated bodies might result from dragging-in of the dentinal fibers by air-turbine revolution.

7. It was observed in this study that the less cutting load made the impairment to the odontoblast slighter. The necessity of less cutting load in clinical work was confirmed again.

Key words : *Cutting load/Cavity Preparation/Cryofracture/HCl-collagen digestive method/Aspirated body/Odontoblast*

結 言

歯科臨床において、歯冠に生じた硬組織欠損を修復する場合、支台歯形成による歯質の切削は、最も基本的で不可欠な処置である。

近年、歯科用高速切削器の性能向上と局所麻酔法の普及にともなって、生活歯の窩洞形成や支台歯形成が、短時間にきわめて容易に行えるようになってきた。しかしその反面、高速切削による刺激は、1.象牙細管および象牙線維の機械的損傷、2.切削時の発熱、3.振動、4.切削による象牙細管内および歯髓腔内の圧力変化、などの複合的な形で、形成象牙質表面の象牙細管や象牙線維を介して、種々の歯髓反応を引き起こすことが、数多く報告されてきた¹⁻⁸⁾。

そこで生活歯に窩洞形成や支台歯形成を行う場合、どのようにすれば歯髓への刺激を最も少なくできるかということが、重要な問題となってきた。このような臨床上の問題を解決するため、様々な切削条件すなわち、1.切削荷重、2.回転数、3.切削器具の種類、4.注水の条件、5.窩洞の深さ、などについて広範囲な検討がなされてきた^{6,7,9-15)}。

しかしこれらの研究は、理工学的な実験か、使用した切削器具の種類や注水の有無など、一般的な切削条件についてのみ考慮されており、切削時の実際の切削荷重や回転数などの具体的条件が生活歯髓に与える影響について観察されていない。また現在のところ、このような切削条件下で歯髓の変化を病理組織学的に詳しく観察した

研究は、ほとんどみられない。

今回著者は、切削荷重の大きさが歯髓におよぼす直接的影響を検索するため、一定の切削荷重で切削できる装置を考案し、これを用いてイヌの生活歯に種々な条件下での切削を試み、光学顕微鏡的ならびに電子顕微鏡的に観察した。その結果、興味深い若干の知見を得たので報告する。

研究材料と方法

本研究で用いた材料、切削装置と切削方法および観察方法は以下のとおりである。

I. 実験動物および被検歯

今回の実験には、体重 10~15kg の健康な雄雑種イヌ 40頭を用い、それぞれの下顎 6 前歯、合計 240歯を被検歯として使用した。40頭のイヌは次の 3 群に分けた。まず非切削歯群として 10頭を第 1 群とし、歯科医師の平均的切削荷重を与える窩洞形成歯群として 15頭を第 2 群として、タービン回転停止荷重付近の比較的大きな切削荷重による窩洞形成歯群として 15頭を第 3 群とした。なお、第 2 群と第 3 群で行った実験群では、それぞれ下顎 6 前歯中 4 歯に準 5 級窩洞を形成し、残り 2 歯は対照歯とした。

II. 切削装置

本実験のため今回考案した切削装置は、流体ポンプを使用した水圧式シリンダーピストン、およびピストン先端に装着したエアーベアリングタービンヘッド、磁気式回転計測器、さらにピストンシリンダーの 1 部にセット

Fig. 1 The cutting machine used at this examination.

した圧力検出器および記録装置から構成される (Fig. 1)。

本切削装置のエアータービンヘッドは、モリタ製作所製エアーベアリングハンドピースアストロンN型を小型軽量化し、さらにタービン回転数を磁気検出できるように改造したものである。このタービンの回転性能は市販のアストロンN型と同等で、圧搾空気の圧力 3.5kg/cm^2 、流量 34l/min の条件下で、無負荷時最大回転数 $48 \times 10^4\text{rpm}$ 、回転停止荷重 140g である。

回転数の検出は、タービンヘッド部に装着した磁気検出ヘッドで行い、これを日本電子社製回転計 TAC-200 型によって測定することができる。また切削荷重は、シリンダー頂部に装着された豊田工機社製圧力センサー PD-104 型、および同社製圧力計 AA-3004 型によって測定された切削圧と、切削装置のピストン部底面積 10cm^2 との積で求められる。

Ⅲ. 切削方法

実験に先だち、著者は使用するものと同条件のイヌ下顎前歯部の硬組織の厚さを測定したところ、下顎前歯唇側の最大豊隆部付近における象牙質の厚さは、平均 $1460\mu\text{m}$ であり、エナメル質の厚さは、平均 $380\mu\text{m}$ であった。

次に今回の実験で与える切削荷重を定めるため、当教室に在籍する歯科医師14名の切削荷重を測定したところ、 84.1g の平均切削荷重が得られた。これは従来より

歯科医師の切削荷重として報告されている $60 \sim 100\text{g}$ の範囲に含まれる^{9,14,15)}。そこでこのデータに基づいて、実験動物第2群15頭の窩洞形成歯群に与える切削荷重を 80g と定めた。さらに Fig. 2 に示すように、エアータービンアストロンN型にダイヤモンドポイント (Densco 社製 Type 1 XLC) を装着した場合、切削荷重が

Fig. 2 This line graph indicates the relation between cutting load and number of revolution for preparation by air-turbine.

Fig. 3 The cutting machine used at this examination.

Fig. 4 This diagram indicates the cavity.

120 g に達すると回転数が急に低下することから、実験動物第3群15頭の窩洞形成歯群に与える回転停止荷重付近の切削荷重を120 g と定めた。

このように切削荷重を設定した後、イヌの下顎を切削装置に固定し (Fig. 3), 臨床的注水下で被検歯に、直径1 mm のダイヤモンドポイントを用いて、その径を基準として深さ1 mm の窩洞形成を行った (Fig. 4)。なおダイヤモンドポイントは、実験歯毎に新しいものを使用した。

IV. 試料観察の方法

A. 光学顕微鏡的観察

被検体であるイヌを、ソムノペンチルによる全身麻酔の後、被検歯に窩洞形成を行い、2.5 %グルタルアルデヒドを含む0.1M リン酸緩衝液 (PH 7.4) を用いて左右の総頸動脈からの頭頸部灌流固定を行った。

その後直ちに被検歯を抜去し、同一固定液中に4°Cで1週間浸漬した。さらに一部の試料については、抜去後ブアン固定液に1週間浸漬固定を行った。次いで蟻酸-クエン酸ナトリウムによる脱灰、水洗、エタノール脱水、パラフィン包埋の後、厚さ8 μm の連続切片を作製し、ヘマトキシリン-エオジン染色を行い、光学顕微鏡にて観察した。

B. 透過型電子顕微鏡的観察

被検試料は、前述の頭頸部灌流固定を行った後、抜去した。また一部の試料については、術後直ちに被検歯を抜去し1 %オスミウム酸による前固定を30分間行った。その後両試料とも2.5 %グルタルアルデヒド固定液中に4°Cで1週間浸漬固定した。固定後、歯牙は2.5 %グルタルアルデヒドに溶解した5 % EDTA 溶液4°Cで約50日間脱灰、1 %オスミウム酸後固定、エタノール脱水、プロピレンオキシド置換の後、Luft (1961)¹⁷⁾の方法によってEpon 812に包埋した。超薄切片は、超

ミクロトーム (Porter-Blum MT-2 B) で作製した。切片標本は酢酸ウランとクエン酸鉛による2重染色を行った後、JEM-100C 透過型電子顕微鏡で観察した。また目的とする象牙芽細胞層の確認のため、1 μm の準超薄切片を作製し、トルイジンブルー染色¹⁸⁾を行って、光顕にて観察した。

C. Feulgen 反応による観察

前述の準超薄切片の中で象牙細管中に桿状体構造物がみられる部位を、水酸化カリウム溶液によって脱Epon樹脂¹⁹⁾を行った後、通法にしたがってFeulgen 反応を行い光顕にて観察した。

D. 走査型電子顕微鏡的観察

象牙細管内における三次元的構造を明らかにするために、抜歯直後の非切削歯牙を2.5 %グルタルアルデヒド中に4°Cで1週間固定した後、液体窒素を用いて凍結割断した。その後Evanら (1976)²⁰⁾の方法にしたがって8 N 塩酸60°Cで10分間加水分解し、水洗後0.1 %コラゲナーゼ (Sigma 社 type II) にて37°Cで15時間酵素処理後、1 %オスミウム酸で4時間、後固定した。その後エタノール脱水、酢酸イソアミル置換後Anderson (1951)²¹⁾の方法で臨界点乾燥を行い、金銀パラジウムコーティングをして、JSM-25 走査型電子顕微鏡で象牙線維の分布と形状を観察した。

実験成績

I. 対照群の正常歯髄像

光顕的所見として、歯髄最表層に紡錘形ないし角柱形を呈する象牙芽細胞が、2~3層観察される。象牙芽細胞は象牙前質に対してその長軸をやや歯冠頂側に傾け、たがいに密接して配列する。象牙芽細胞層の直下では、不定形の核を有する細胞質成分に乏しい扁平な細胞が数層存在し、ヒトに見られる細胞希薄層は、歯根部はもちろん歯冠部歯髄においても不明瞭である。また象牙芽細胞層下の組織は、全体にわたって血管に富み、一部の毛細血管が象牙芽細胞層に侵入している。

透過電顕的所見として、象牙芽細胞間には、細胞間隙がほとんど認められなく、ところどころにデスマーズム様構造物を認める。細胞の近心側に局在する象牙芽細胞の核は、クロマチンに富み、一般に楕円形を呈するが、不規則な外形を呈するものも観察される。また明瞭な核小体も認められる (Fig. 6)。

細胞質には、ゴルジ装置、粗面小胞体、ミトコンドリアなどの細胞内小器官が認められる。特にミトコンドリアは、細胞質全般にわたって分布する。ゴルジ装置は、

Fig. 5 Light micrograph of a longitudinal section of normal pulp of the dog. OD; Odontoblast, PD; Predentin, D; Dentin. $\times 400$

Fig. 6 Electron micrograph of dental pulp of the dog. OD; Odontoblast, PD; Predentin. $\times 2,000$

Fig. 7 Electron micrograph of a supranuclear region of odontoblast. Golgi complex (G), Rough Endoplasmic Reticulum (R-ER), Mitochondria (M), and Desmosome-like Junction (J). $\times 13,000$

核上部に存在し良く発達していて、3～4層のゴルジ層板、ゴルジ小胞、ならびにゴルジ空胞が認められる (Fig. 7).

象牙前質および象牙質中の象牙線維には、ミトコンドリアや象牙線維の長軸に平行して走向する微小管と細糸などが認められる (Figs. 8—a, b).

象牙線維の立体的構造を凍結切断、塩酸コラゲナーゼ法を応用して、走査電顕的に観察すると、象牙線維の長さは、歯髄最表層の象牙芽細胞体部より直線的長さとして平均 $1450\mu\text{m}$ である。これはイヌの下顎前歯における最大豊降部での象牙質の平均厚さ $1460\mu\text{m}$ にほぼ近似し、これによってほとんどの象牙線維が、エナメル象牙質境界付近まで伸長していると考えられる。象牙前質内の象牙線維は、直径 $2\mu\text{m}$ 前後の円柱形を呈し、隣接する象牙線維と平行して走向している (Figs. 10—a, b)。歯冠部象牙質中層付近の象牙線維は、三次元的な曲線を描いて走向するにつれて、直径約 $1.2\sim 1.5\mu\text{m}$ へ

と漸次その太さを減少している。また終末部付近における象牙線維は、直径約 $0.8\mu\text{m}$ となり、複雑に分岐している (Fig. 9)。

II. 80 g の切削荷重で窩洞形成した歯髄

光顕所見としては、形成された窩洞底下の象牙細管と連絡する象牙芽細胞層に、配列の乱れ、網様萎縮、空胞変性、桿状体の出現などの変化が認められる。しかし象牙芽細胞下組織である固有歯髄には、著明な変化は観察されない (Fig. 11)。これらの変化の中で桿状体については、象牙前質中の象牙細管内に存在するものや、その一部が原生象牙質中の象牙細管内へおよぶものなど種々観察され、それらの出現の割合は、被検歯の52%である (Fig. 12)。

桿状体の観察される部位の Epon 包埋切片を脱 Epon し、Feulgen 反応を試みると、象牙細管中へ侵入した桿状体は、Feulgen 反応陽性を呈することから、象牙芽細胞の核が中心であるとみなされる (Fig. 14—b)。

Fig. 8—a Electron micrograph of the odontoblasts along the primary dentin. The odontoblastic processes extending into the primary dentin are rich in mitochondria (M), rough endoplasmic reticulum (R-ER). $\times 8,300$

Fig. 8—b Electron micrograph of odontoblastic process in dentinal tubule. F; Micro-filaments. $\times 3,300$

Fig. 9 Scanning electron micrograph of odontoblast processes in intact crown dentin.
D ; Dentin, PD ; Predentin. $\times 300$

Fig. 10— a , b Scanning electron micrograph of odontoblastic body and odontoblastic processes.
OD ; Odontoblastic body, PD ; Predentin. $\times 1,500$

Fig. 11 Light micrograph of a longitudinal sectioned dental pulp of the dog prepared by 80g-cutting load.
×200

Fig. 12 Light micrograph of the aspirated odontoblasts.
AO ; Aspirated odontoblast ×600

Fig. 13 Electron micrograph of the odontoblasts in the affected area. The odontoblasts appear atrophy of the cytoplasm and variation of the cytoplasm. PD ; Predentin
×3,300

Fig. 14— a Electron micrograph of the odontoblast aspirated in dentinal tubule. The nucleus and cytoplasm of odontoblast are displaced into a dentinal tubule together. $\times 5,000$

Fig. 14— b Light micrograph of the aspirated odontoblasts stained by Feulgen nuclear reaction. $\times 1,000$

透過電顕所見としては、象牙芽細胞の細胞膜外形が複雑な凹凸を呈し、デスモゾーム様接着構造部分を除いて、象牙芽細胞間の細胞間隙が拡大している。核は象牙芽細胞の近心部に局在し、ミトコンドリアなどの細胞内小器官を含む細胞質のほとんどが、象牙前質中へ移動している。核外形もまた複雑な凹凸を呈し、核質の電子密度が上昇しているものも観察される (Fig. 13)。

桿状体は、Fig. 14— a に示すように象牙芽細胞の核が、長く伸びた桿状形に変形し、象牙前質の象牙細管内へ侵入している。この長桿状外形を呈する核は、2重構造の核膜を保持し、核形質内のクロマチンが核膜内葉にそって凝集している。

桿状核とともに細胞質の大部分が象牙細管内へ移動したものでは、ミトコンドリアなどの細胞内小器官は、核周囲および核の遠心側の細胞質中に観察される。

また出現した桿状体の一部に、Fig. 15 にみられるような核融解像を呈するものも認められる。このような桿状体は、窩洞下の象牙芽細胞の中で、最も強い細胞質の

萎縮や細胞外形の不規則化などのみられる部に、観察される。

Ⅲ. 120 g の切削荷重で窩洞形成した歯髓

光顕所見として、形成された窩洞の象牙細管に連係する象牙芽細胞層に、配列の不整、網様萎縮、空胞変性などの退行性変化が観察される。またこのような部位に、桿状体の出現もみられ、その出現の割合は、被検歯の60%であり、ほとんどの桿状体は、原生象牙質中の象牙細管まで侵入している。しかし象牙芽細胞下の固有歯髓組織に著明な変化は、認められない (Fig. 16)。

透過電顕所見としては、窩洞直下の象牙芽細胞の細胞外形が80 g 形成例に比べてさらに不規則となり、細胞間隙の著明な拡大がみられる。また核は不規則な凹凸のある長楕円形ないし類円形を呈し、80 g 形成例よりクロマチンがさらに核質中に集積、あるいは核膜内葉に凝集し、明らかな核濃縮像を呈している。さらに細胞質中の空胞化が認められる (Fig. 17)。

桿状体をみると、象牙芽細胞の核の大部分が象牙細管

Fig. 15 Electron micrograph of the odontoblast nucleus aspirated in dentinal tubule completely. The nuclei appears chromatolysis in distal direction (↑).
×5,000

Fig. 16 Light micrograph of a longitudinal sectioned dental pulp of the dog prepared by 120g-cutting load.
AO ; Aspirated odontoblast

×200

Fig. 17 Electron micrograph of the odontoblast appearing atrophy of the cytoplasm and pyknosis of the nuclei. $\times 3,300$

Fig. 18 Electron micrograph of the odontoblast nuclei aspirated in dentinal tubule. The nuclei appears chromatinolysis and the nuclear membrane is broken at proximal region ($\downarrow$). $\times 6,600$

Fig. 19 Electron micrograph of an odontoblast nuclei invading into two dentinal tubules at the same time. $\times 6,600$

内へ侵入して、長桿状を呈する。これらの核には、濃縮像や核融解像を呈するものが観察される (Fig.18)。

このような桿状体像の中に、1つの象牙芽細胞の核が、2本の象牙細管に同時に侵入しようとしている珍しい桿状体像も観察される (Fig.19)。

考 察

臨床においてエアースペアリングタイプのタービンを用いて窩洞形成や支台歯形成を行うことは、今日最も基本的術式の1つとなっている。このエアースペアリングタービンを用いて生活歯の象牙質を切削した場合、切削による刺激が、どのような歯髄反応を引き起こすかという問題については、数多くの研究報告がある^{1-8, 22-25)}。

しかしこれらの研究は、切削器としてエアースペアリングハンドピースを使用しているだけで、具体的な切削条件としては、注水の有無についてのみ考慮しているが、実際の切削荷重、回転数などについては、まだ考慮されていない。一方、タービンの回転性能に関しては、宮入ら¹⁰⁻¹³⁾によって回転数、切削荷重、トルクなどを中心とした研究が報告されている。この研究結果によると、エアースペアリングタービンは、回転停止荷重の約 $\frac{1}{2}$ の荷

重を加えた場合、最大の仕事能率を得るという。しかしながらこれらは、刃のついていないテストバーをガラス片に押しつけて得た結果である。

そこで著者は、より臨床に近づくために生活歯をシリンダー状のダイヤモンドポイントで切削した場合、切削荷重の差が、歯髄にどのような影響を与えるかについて実験を試みた。なお、今回の実験で使用したモリタ製作所製エアースペアリングハンドピースN型に、ダイヤモンドポイント (Densco 1 XLC) を装着して予備切削実験を行った時の荷重-回転数の関係は、Fig. 2 に表わすように、無負荷時 40×10^4 rpm で、最大停止荷重138 gであった。

臨床的に歯質の削除は、フェザータッチで切削するように指示されている。しかしそれがどのくらいの切削荷重であるかを知る必要があるために、著者は、本研究と同一条件で当大学歯科補綴学第2講座に在籍する歯科医師14人に、ヒトの抜去歯牙を切削させて切削荷重を測定した。その結果は、46~125 g の範囲に分布し、平均84.1 gであった。

以上のことを考慮し、本研究で使う2種類の切削荷重を選択する際に、まず教室で得た平均荷重に近い80 gを

選び、他の1つは、Fig. 2に示すアストロンN型にダイヤモンドポイント (Densco 1 XLC) を装着して切削した場合の荷重一回転数の関係から120gより大きな切削荷重を与えた場合、回転数が急に低下することから、タービン回転停止荷重付近の大きな切削荷重である120gを選んだ。このようにしてイヌの下顎6前歯に窩洞形成を行った。得られた知見などについての総括、および考察を以下に述べる。

I. 象牙線維の分布

象牙芽細胞は、歯髄最表層部に円柱状を呈する細胞体部と、象牙質内に長く突出している原形質突起、すなわち象牙線維とに区別される。

象牙線維の三次元的構造、特に象牙線維の象牙質中における分布に関しては、従来より種々な議論がなされてきた。Brännström ら (1972)²⁶⁾、Thomas (1979)²⁷⁾ は透過電顕を用いて観察し、象牙線維は、少なくとも象牙質の歯髄側 $\frac{1}{4}$ ～ $\frac{1}{3}$ の範囲にしか分布しないと報告した。しかし最近、Gunji ら (1983)²⁸⁾ や、山田ら (1982)²⁹⁾ は、ヒトの埋伏第3大臼歯を用い、Evan ら (1976)²⁰⁾ が開発した塩酸コラゲナーゼ法を応用して象牙線維の立体的構造を走査電顕にて明らかにした。その結果、象牙線維がエナメル象牙質境界まで、完全に連続して到達していると報告した。

今回著者は、イヌの下顎6前歯について、Evan らの塩酸コラゲナーゼ法²⁰⁾を用いて、象牙線維の立体的構築について走査電顕的に追試観察を試みたところ、象牙線維は、象牙芽細胞体部より終枝まで平均1450 μ mの長さを有していた。これは実験に先だって計測した下顎前歯同部の象牙質の厚さ1460 μ mにほぼ近似しており、ほとんどの象牙線維が象牙質全層に分布し、エナメル象牙質境界付近まで伸長しているものと思われる。

II. 窩洞形成直後における歯髄の変化

生活歯に対して、臨床的な切削条件で高速切削を行った場合、その直後に現れる歯髄反応としては、まず歯髄最表層部にある象牙芽細胞に形態的变化が生じる。本実験においても、80gあるいは120gの切削荷重を加えてイヌの生活歯に窩洞形成を行ったところ、どちらの切削荷重を与えた場合でも、形成直後の窩洞下象牙芽細胞に配列の乱れ、細胞外形の不規則化、細胞質の空胞変化や萎縮、核の濃縮、細胞体部の象牙細管内への侵入、いわゆる桿状体の出現などが観察された。一方象牙芽細胞下の固有歯髄組織には、切削直後に顕著な変化を認めなかった。

窩洞形成直後における歯髄の反応は、このような象牙

芽細胞の変化が中心となるが、これらの変化の中で、特に桿状体の形態像は、切削荷重の差に関連して、歯髄象牙前質境界から象牙質内にかけて種々観察され、特異的で興味深いものであった。

生活歯の象牙質を切削する場合に、象牙細管内に現れる桿状体の出現頻度については、次のように報告されている。イヌの場合、枝ら (1962)²³⁾ は74%、斉藤 (1976)⁸⁾ は72%であると報告し、ヒトの場合、浅井 (1972)⁵⁾ は57%、伊藤 (1974)²⁵⁾ は68%であると述べている。

今回著者は、イヌの下顎前歯にエアータービンを注水下に使用して、窩洞形成を行い、80gによって形成された試料の52%に、また120gによって形成された試料の60%に、桿状体の出現を認めた。この場合80g形成時に出現する桿状体に比べて、120g形成時に出現する桿状体は、原生象牙質の象牙細管中まで深く侵入し、その長桿状を呈する核は、融解像を呈したものがほとんどであった。

歯髄の刺激反応ないし炎症に際して象牙細管中に現れる桿状体の正体について、1) 象牙芽細胞の核を含む細胞体、2) 白血球などの炎症性細胞、3) 赤血球、など従来よりさまざまな議論がなされてきた。象牙芽細胞の象牙細管内移動に関して、小野 (1940)³⁰⁾ 以来、多数の研究者が、窩洞形成などによる象牙質の刺激の後に、核を含む象牙芽細胞体部の象牙細管内移動を観察している^{1), 2), 4), 5), 8), 22-25), 31-34)}。また、白血球などの炎症性細胞の象牙細管内移動について、Orban (1940)³⁵⁾ が最初に観察し、Swerdlow ら (1958)¹⁾、枝ら (1962)²³⁾、斉藤 (1976)⁸⁾ らも観察している。彼らの報告では、「炎症性細胞の象牙細管内移動は、象牙質刺激から最低6時間以後の症例に認められた。」と述べている。さらに、赤血球の象牙細管内移動について、小野 (1940)³⁰⁾ や Lang-eland ら (1970)³⁴⁾ らは、象牙質を刺激した直後の象牙前質象牙細管内に、浅在性に現れると報告している。

臨床的な切削条件に近い窩洞形成を行った今回の実験で、窩洞形成直後に出現した桿状体は、Feulgen 陽性反応を呈することや透過電顕による観察から、象牙芽細胞の変態核を中心とする構造体であることが確認された。

桿状体出現の原因についても、いくつかの議論がなされている。斉藤 (1976)⁸⁾ は、窩洞形成によって炎症性反応が生じ、歯髄内圧が亢進することが第1の原因と述べ、また Nyborg ら (1968)³⁶⁾ は、窩洞形成時の温度上昇が歯髄内圧の亢進をもたらすためであると主張し、さらに Stevenson (1967)³²⁾ は、窩洞形成による象牙

細管露出によって、歯髓内と口腔環境との圧力が不均一となるのが原因であると説明している。

桿状体出現の原因に対するこれら先人の意見に加えて、今回の実験にて得られた事実、つまり象牙線維がエナメル象牙質境界付近まで象牙質全体に分布すること、窩洞形成後その窩洞に連係した象牙芽細胞に速かな形態変化が生じ、同時に桿状体が観察されるなどのことから、桿状体出現の原因の1つに、回転切削による一部象牙線維の単純機械的まき込みが生じて、その部の象牙芽細胞が、象牙細管内へ移動する可能性も考えられる。

このようにして出現した桿状体の予後は、斉藤(1976)⁸⁾によると、生体の異物処理機転によって貪食処理されるか、象牙細管中に深在し貪食を受けにくいものは、自己融解すると説明されている。しかし変性の軽度な象牙芽細胞では、再び活生化して機能するとの報告もある^{6), 7), 37), 38)}。この点については今後さらに検討しなければならない課題であろう。

Ⅲ．形成時切削荷重の大きさと歯髓への影響

今回の実験では、イヌの下顎6前歯への窩洞形成を行うため、80g および120g の2種類の切削荷重を与え、注水下にて切削を行い、形成直後の歯髓表層の病理組織学的変化をそれぞれ観察した。

この結果対照群と比較して、80g 形成例および120g 形成例のどちらにも、窩洞に連係した象牙芽細胞に、配列の乱れ、網様萎縮、桿状体の出現などの変化を認めた。これらの部位を電顕的に詳細に観察すると、80g 形成例に比べて120g 形成例の方は、象牙芽細胞外形がさらに不規則な凹凸像を呈し、細胞間隙の拡大や核濃縮が顕著であった。また細胞質内に空胞状構造物の出現が認められた。

桿状体は、80g 形成例に52%、120g 形成例の60%に観察され、後者の例では、原生象牙質中にまで達し核濃縮および核融解像を呈したものが、ほとんどであった。また1つの象牙芽細胞の核が、2本の象牙細管に同時に吸引されようとする珍しい桿状体像も観察された。

このような窩洞形成直後の歯髓反応から、タービン回転停止荷重付近の切削荷重120g で形成を行う方が、歯科医師の平均的切削荷重80g にて形成を行う場合に比べて、歯髓への傷害が大きいことが、実証された。

一方、今回の実験では、80g 形成例および120g 形成例のどちらにも、象牙芽細胞下の固有歯髓に、著明な変化を認めなかった。このことからダイヤモンドポイントを用いて、120g 以下の切削荷重で注水下に行う窩洞形成では、歯髓修復過程に重要な働きをするといわれている

象牙芽細胞下の未分化間葉細胞に、傷害がほとんどおよんでいないと考える。したがって窩洞形成後における象牙芽細胞層の正常修復は、順調になされると思われる。

補綴臨床において、全部鑄造冠や前装冠などの支台歯形成は、今回行った窩洞形成よりさらに広範囲で、歯質削除量のはるかに多い。そこで今回の実験結果を踏まえて、生活歯の切削に関して今後次のような考慮を払う必要がある。

- 1) タービンが回転停止するような切削荷重は避けること。
- 2) 切削荷重の軽減や切削時間の短縮をはかるため、切削能率の高いタービンやポイントを選択すること。
- 3) 切削に際して形成面に十分な注水が行われるようにすること。
- 4) 切削量が必要最小限となる補綴物の設計を行うこと。
- 5) 象牙質形成面に露出した象牙線維を保護し、感染や新たな外部刺激を防ぐように、暫間的な被覆が不可欠であり、歯髓に対する間接的保護に注意すること。

結 論

高速切削によって生活歯に窩洞形成を行う場合、切削条件の1つである切削荷重の大きさが、切削直後の歯髓にどのような影響を与えるかを検索する目的で、一定した切削荷重を与えることの可能な切削装置を考案し、これを用いてイヌの下顎6前歯に80g および120g の切削荷重による窩洞形成を行い、歯髓表層と象牙質を光顕的および電顕的に観察した。その結果次のような結論を得た。

1. 非切削歯牙に凍結切断、塩酸コラゲナーゼ法を用いて、象牙線維の立体的構築を観察したところ、ほとんどの象牙線維は、1列に柵状配列する象牙芽細胞より、3次元の彎曲を描きながら約1450 μ m 走行し、エナメル象牙質境界付近まで到達するのを観察した。
2. 窩洞形成された歯牙の光顕的観察では、80g と120g のどちらの切削荷重を与えた場合でも、窩洞下象牙芽細胞に、配列不整、網様萎縮、桿状体の出現などを認めた。しかし象牙芽細胞下の固有歯髓組織には、著明な変化はみられなかった。
3. 桿状体は、80g 形成例の52%、120g 形成例の60%の歯牙に出現した。
4. 桿状体はその Feulgen 陽性反応から、象牙芽細胞の核を中心とする構造体であると考えられた。

5. 透過電顕的観察では、80 g 形成例および120 g 形成例のいずれにも、窩洞に連係した象牙芽細胞に形態変化、すなわち細胞質収縮や細胞間隙拡大、核膜への著明なクロマチン凝集や核濃縮像、さらに桿状体像などを認めた。しかし80 g 形成例に比べて120 g 形成例では、細胞外形がさらに不規則な凹凸像を呈し、細胞間隙の拡大や核濃縮が顕著であった。また80 g 形成例に対して120 g 形成例に観察される桿状体は、その象牙細管へ侵入した象牙芽細胞の核が、原生象牙質にまで達し、核濃縮および核融解像を呈したものが、ほとんどであった。また120 g 形成例に1つの象牙芽細胞の核が、2本の象牙細管に同時に吸入されつつある珍しい桿状体も観察された。

6. 桿状体出現要因の1つとして、切削による物理的刺激に加えて、象牙線維が切削中のダイヤモンドポイント

によって直接的に巻き込まれる可能性も推測された。

7. 80 g 形成例と120 g 形成例を比較したところ、象牙芽細胞に対する傷害は、切削荷重が少ない80 g 形成例の方に軽度であったことから、臨床における生活歯切削では、より軽い荷重で切削する必要がある。

稿を終わるに臨み、終始、御懇篤なる御指導と御校閲を賜った恩師九州歯科大学第2補綴学教室内田康也教授、ならびに九州歯科大学第2口腔解剖学教室嶋村昭辰教授、豊島邦昭助教授に深甚の謝意を捧げます。また試作ハンドピース製作に多大な御協力をいただいた株式会社モリタ製作所の菅井 博氏に深く感謝の意を表するとともに、本研究に種々の御協力下さった九州歯科大学第2補綴学教室の教室員諸兄に御礼申し上げます。

引用文献

- 1) Swerdlow, H. and Stanley, Jr. H.R. : Reaction of the human dental pulp to cavity preparation. 1. Effect of water spray at 20,000 rpm. *J. Amer. Dent. Ass.* **56** : 317—329, 1958.
- 2) Swerdlow, H. and Stanley, Jr. H.R. : Reaction of the human dental pulp to cavity preparation. 2. At 150,000 rpm. with an air-water spray. *J. Pros. Dent.* **9** : 121—131, 1959.
- 3) Searls, J.C. : Light and electron microscope evaluation of the rat incisor by the high speed drill. *J. Dent. Res.* **46** : 1344—1355, 1967.
- 4) Symons, N.B.B. : *Dentin and pulp*. Thomson D.C. Dundee, 1968, 231—267.
- 5) 浅井康宏 : 支台歯形成と組織被害、クラウンブリッジの臨床. 医歯薬出版, 東京, 1972, 34—45.
- 6) Seltzer, S. : *The dental pulp*. 2nd ed, Lippincott, J.B., Philadelphia and Tronto, 1975, 179—197.
- 7) Wine, F.S. : *Endodontic therapy*. Mosby, St. Louis, 1976, 74—119.
- 8) 齊藤利夫 : 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. 松本歯学 **2** : 92—121, 1976.
- 9) 齊藤季夫 : 高速切削と臨床. 歯科ジャーナル **9** : 303—334, 1979.
- 10) 宮入裕夫・村松篤良 : 歯科用エアータービンハンドピースの性能に関する研究 (I). 歯科理工誌 **20—51** : 194—198, 1979.
- 11) 宮入裕夫・永井正洋・村松篤良 : 歯科用エアータービンハンドピースの性能に関する研究 (II). 歯科理工誌 **21—53** : 35—40, 1980.
- 12) 宮入裕夫・永井正洋・福田秀昭・村松篤良 : 歯科用エアータービンハンドピースの性能に関する研究 (III). 歯科理工誌 **21—53** : 41—47, 1980.
- 13) 宮入裕夫・永井正洋・福田秀昭・村松篤良 : 歯科用エアータービンハンドピースの性能に関する研究 (IV). 歯科理工誌 **22—58** : 136—142, 1981.
- 14) 上田祥士 : 歯科用エアータービン使用時の研削荷重について—特に窩洞側壁形成について—. 歯科学報 **82** : 21—60, 1982.
- 15) 松井恭平 : 歯科用回転工具の種類が高速切削荷重及び工具回転数に及ぼす影響について. 歯科学報 **82** : 517—538, 1982.

- 16) 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 瞳・下野正基・枝重夫・山村武夫：電子顕微鏡のための犬の頭頸部局所灌流固定法—特に歯科および歯牙支持組織の固定について．歯科学報 74：419—426, 1974.
- 17) Luft, J.H. : Improvement in epoxy resin embedding methods. *J. Biophys. Biochem. Cytol.* 9 : 409—414, 1961.
- 18) 山元寅男：Toluidine blue による epoxy resin 包埋切片の光学顕微鏡用染色法について．解剖誌 38 : 124—128, 1963.
- 19) Imai, Y., Sue, A. and Yamaguchi, A. : A removing method of the resin from epoxy embedded sections for light microscopy. *J. Electron Microscopy.* 17 : 84—85, 1968.
- 20) Evan, A.P., Dail, W.G., Dammrose, D. and Palmer, C. : Scanning electron microscopy of cell surfaces following removal of extracellular material. *Anat. Res.* 185 : 433—446, 1976.
- 21) Anderson, T.F. : Techniques for preservation of three dimensional structure in preparing specimens for the electron microscope. *Trans. N.Y. Acad. Sci.* 13 : 130—134, 1951.
- 22) 鈴木鍾美・植村 桂・村上普三・黒岩 潔・熊本恵迪・丸山 弘・鈴木ツル：エアータービンエンジンによる窩洞形成の歯髓に及ぼす影響に関する実験的研究．歯科学報 60 : 523—533, 1960.
- 23) 枝 重夫・平田昌弘・伊藤正通：窩洞形成によって象牙細管内に出現する桿状体について．歯科学報 62 : 403—414, 1962.
- 24) 栗山純雄：エアータービンによる窩洞形成が歯髓に及ぼす影響に関する臨床病理学的研究並びに実験病理学的研究．歯科学報 63 : 93—140, 1963.
- 25) 伊藤彰人：支台歯形成に関する歯内療法学的検討—特に高速切削による支台歯形成が歯髓に及ぼす影響およびその後処置に関する臨床病理学的研究．日歯保誌 17 : 1—76, 1974.
- 26) Brännström, M. and Garberoglio, R. : The dental tubules and the odontoblast processes. *Acta. Odont. Scand.* 30 : 291—311, 1972.
- 27) Thomas, H.F. : The extent of odontoblast process in human dentin. *J. Dent. Res.* 58 : 2207—2218, 1979.
- 28) Gunji, T., Wakita, M. and Kobayashi, S. : Distribution and organization of odontoblast processes in human dentin by SEM. *Arch. Histol. Jap.* 46 : 213—219, 1983.
- 29) 山田敏元・中村勝文・堀江恭一・山下泰弘・岩久正明：正常ならびにウ蝕象牙質中の象牙芽細胞突起の到達度について．口病誌 49 : 325—332, 1982.
- 30) 小野 巖：種々ノ病変時，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．日歯口科誌 22 : 1—55, 1940.
- 31) 赤峰昭文：ラットにおける窩洞形成後の歯髓細胞の動態について．日歯保誌 24 : 494—519, 1981.
- 32) Stevenson, T.S. : Odontoblast aspiration and fluid movement in human dentin. *Archs. Oral. Biol.* 12 : 1149—1157, 1967.
- 33) Brännström, M., Linden, L. and Johnson, G. : Movement of dentinal and pulpal fluid caused by clinical procedures, *J. Dent. Res.* 47 : 679—682, 1968.
- 34) Langeland, K. and Langeland, L.K. : pulp reaction to cavity and crown preparation. *Austral. Dent. J.* 15 : 261—276, 1970.
- 35) Orban, B. : Migration of leukocytes into the dentinal tubules. *J. Amer. Dent. Ass.* 27 : 239—250, 1940.
- 36) Nyborg, H. and Brännström, M. : Pulp reaction to heat. *J. Pros. Dent.* 19 : 605—612, 1968.
- 37) 大野彰彦：象牙質細胞形成に関する実験的研究．九州歯会誌 27 : 720—753, 1974.
- 38) 清水洋一：窩洞形成，充填後の歯髓の変化に関する神経組織学的研究．九州歯会誌 32 : 305—317, 1978.
- 39) 相場 剛：修復象牙質の形成に関する微細構造学的ならびに細胞化学的研究．歯基礎誌 25 : 299—328, 1983.