セメント質の線維性基質と層板構造

松 尾 朗 矢 嶋 俊 彦

東日本学園大学歯学部口腔解剖学第一講座

(主任：矢嶋俊彦教授)

(平成元年9月29日受付)

Fibrous Components and Lamellar Structures in Cementum

Akira MATSUO and Toshihiko YAJIMA

Department of Oral Anatomy, School of Dentistry, Higashi-Nippon-Gakuen University

Ishikari-Tobetsu, Hokkaido, 061-02 Japan

(Chief : Prof. Toshihiko YAJIMA)

The purpose of this study was to clarify the relationship between the lamellar structure and the fibrous components of cementum. Freeze-fracture specimens and ground sections of the human molar cementum were treated with acid- and/or alkaline-solutions, then examined by scanning electron microscopy. Both of the layers of Sharpey (extrinsic) fiber and matrix (intrinsic) fiber were distinguished in freeze-fracture specimens and ground sections, but no lamellar structures appeared. For the first time, the lamellae isolated with narrow grooves were clearly observed on the ground sections that were treated with 5% sodium hypochlorite for 60 min

followed by 0.5-1.0 M hydrochloric acid for 30-60 sec. In addition to the two fiber-layer types, the mixed fiber layer containing both components of matrix and Sharpey's fibers was classified, and the lamellar arrangement of matrix fibers was also revealed. When the hypochlorite treatment time was prolonged for 120 min, the lamellar structures were evident.

Our results show that those treatments may resolve the regions of physiological hypomineralization related to the incremental lines running parallel to the cemento dentinal junction and the lines of discontinuity of the fibrous components.

Key words : Cementum, Cement lamella, Sharpey's fiber, Matrix fiber, Scanning electron microscopy

要旨：セメント質の線維性基質と層板構造の関係を明らかにするため、ヒト臼歯の凍結割断面と研磨面を酸のみ、またはアルカリと酸で処理し走査型電子顕微鏡で観察した。割断面と研磨面では、シャーピー（非固有）線維層と基質（固有）線維層を区別できたが、明瞭な層構造は認められなかった。層板構造は、研磨面を5%次亜塩素酸ナトリウム溶液で60分間処理し、さらに0.5~1.0 M塩酸で30~60秒間処理すると初めて観察された。さらに、両線維層に加え、シャーピー線維と基質線維を含む混合線維層が認められ、基質線維の層状構造も明かとなった。また、次亜塩素酸の処理時間を120分間にすると、層構造がより明瞭となった。

これらの結果より、この処理がセメント-象牙境と平行している成長線であり、線維性基質の不連続である生理的な低石灰帯に作用していることが示唆された。

索引用語：セメント質，セメント層板，シャーピー線維，基質線維，走査型電子顕微鏡

結 言

セメント質の微細構造に関しては、透過型電子顕微鏡と走査型電子顕微鏡で多くの報告がすでになされている。透過型電子顕微鏡では、まずセメント質断面のレプリカ像が観察された^{1,2)}。さらに超薄切片により、歯頸側の無細胞セメント質では、セメント-象牙質に垂直で、歯周靱帯の主線維に連続するシャープ-線維（非固有線維）が主な線維性基質であることが報告されている³⁻⁵⁾。有細胞セメント質では、シャープ-線維の間に不規則に配列する基質線維（固有線維）が存在すること、基質線維にはセメント質表面と平行に走行する線維と、不規則に配列する線維が存在することが報告されている^{4,6)}。さらに、基質線維束が明瞭に認められる部分では、線維束の縦断面と横断面が交互に重なる層構造が認められている。そして、これらの基質線維束の間に、この基質線維束に交差し、連続する短い交差線維の存在が報告されている⁷⁾。走査型電子顕微鏡では、セメント質表面構造に関して詳細に記載され、シャープ-線維束の分布などが明らかにされている⁸⁻¹⁰⁾。また、セメント小腔の形態や、切断面のシャープ-線維の配列などについても報告されている¹¹⁻¹³⁾。しかし、これらの報告では、セメント質の光学顕微鏡で観察される構造とその微細構造、特に層板構造とそれを形成する線維性基質との関係は明らかにされていない。

そこで我々は、ヒトの歯のセメント質の構造と線維性基質の関係を明らかにするため、走査型電子顕微鏡を用いてセメント質断面を観察した。本実験では、セメント

質の切断面と研磨面を比較し、さらに研磨面を次亜塩素酸ナトリウムと塩酸で処理し、層板構造と線維性基質の関連をより明確にすることを試みた。

材料と方法

材料にはヒトの抜去臼歯を用いた。歯は、2% glutaraldehyde-2% paraformaldehyde (0.1M phosphate buffer, pH 7.2) で24時間固定した。固定後、歯は歯軸と平行にダイヤモンドディスクで切出し研磨するか、または凍結切断を行った。凍結切断は15%, 25%, 50% DMSO (dimethyl sulphoxide) で各1時間置換後、液体窒素で凍結し行った。研磨試料は一部を除いて、5% 次亜塩素酸ナトリウム溶液（次亜塩素酸）で60~120分間処理した。これらの処理後、試料はすべて0.5~1 M 塩酸で30~60秒間処理し線維性基質を露出させた。十分に洗浄後、1% OsO₄ (0.1 M phosphate buffer, pH 7.2) で2時間後固定し、エチルアルコールで脱水、酢酸イソアミルに置換し、液化二酸化炭素中で臨界点乾燥（日立製 HCP-2, 東京）を行った。さらに、金をスパッタコーティングし（エイコーエンジニアリング製 IB-3, 茨城）、走査型電子顕微鏡（日立製 X-650）で観察した。

結 果

1. 凍結切断面

歯頸側の薄いセメント質では、歯周靱帯からの主線維束はセメント質に埋め込まれ、シャープ-線維束となっていた（図1）。根尖側の厚いセメント質最深部において

図1 歯頸側の薄い無細胞セメント質。凍結切断、酸処理

歯周靱帯の主線維束（PF）はセメント質に埋め込まれシャープ-線維束（SF）となっている。
D：象牙質。×2,300

図 2 根尖側の厚いセメント質。凍結切断，酸処理

- a セメント質表層と深層のシャープピー線維層（S）に挟まれてシャープピー線維に直交する層構造（*）が認められる。×310
- b シャープピー線維に直交する層構造（aの*部分）の拡大像。セメント質表面に平行する縦断された細い基質線維束（LS）が層構造を形成している。この線維束に直交する交差線維（CF）と，横断もしくは斜断された線維束の突出（矢印）が認められる。切断面は平滑でなく，これらの線維相互の関係は不明瞭である。×3,100

も，セメント-象牙境に垂直なシャープピー線維を主体とした層（シャープピー線維層）が認められた。その外側では，セメント質表面に平行する構造が観察された（図 2 a）。この構造は，線維束の長軸がシャープピー線維に直交

する細い基質線維束の縦断面であった（図 2 b）。また，横断もしくは斜断された線維束の断面と，セメント質の深部から浅部方向に走行する短い線維が認められた。しかし，基質線維が多い部分（基質線維層）の切断面は平

図 3 根尖側の厚い有細胞セメント質。研磨，酸処理

- a セメント質最深部はシャーピー線維層 (S)，その外層はセメント質表面まで基質線維層 (M) が認められる。光学顕微鏡で観察されるような層構造は不明瞭。CL：セメント小腔，D：象牙質。×780
- b aの基質線維層の拡大像。凍結割断試料 (図 2b) と比較し基質線維が明瞭に観察される。基質線維には歯軸方向に走行する線維束の縦断面 (LS)，歯を輪状に取巻く線維束の横断面 (CS) と，セメント質深部から浅部へ向う短い交差線維の縦断面 (CF) が認められる。交差線維と歯軸方向の線維束は連絡している (矢印)。×2,600

図4 薄い無細胞セメント質 (AC) と厚い有細胞セメント質 (CC)。研磨，次亜塩素酸 (60分)－酸処理

厚い有細胞セメント質で溝に境された層構造が明瞭。CL：セメント小腔，D：象牙質。矢尻 a, bは図5での拡大部分を示している。×140

図5 シャーピー線維層，基質線維層，混合線維層

- a 図4の矢尻 a 部分の拡大像。シャーピー線維層 (S) と基質線維層 (M) の境界部では束のほぐれたシャーピー線維の間に基質線維が混入している。D：象牙質。×1,300
- b 図4の矢尻 b 部分の拡大像。セメント質表層と深層のシャーピー線維 (S) 層に挟まれた混合線維層 (MI)。シャーピー線維束がほぐれて走行が乱れ，その間に基質線維が混入し，線維配列が不規則である。×2,000

滑でなく，これらの線維の相互の関係は不明瞭であった。

2. 研磨面

歯頸側の薄いセメント質では凍結切断面と同様に，セメント質表面に垂直なシャーピー線維が密に配列してい

た。厚いセメント質でも，深側にシャーピー線維層が認められた (図3a)。その外側の基質線維層では，基質線維束が凍結切断面に比べ明瞭に観察された。線維束には，研磨面に垂直し歯を輪状に取り巻く線維束の横断面，歯軸方向に配列する線維束の縦断面が認められた

図 6 基質線維層。研磨，次亜塩素酸一酸処理

- a 各基質線維層 (M) は処理により生じた幅の狭い溝 (G) に境されている。×1,300
- b 基質線維層の拡大像。酸処理のみに比べ，線維の走行がより明瞭である。歯軸方向に走行する基質線維束の縦断面 (LS)，歯を輪状に取り巻く基質線維束の横断面 (CS) と，これらの線維束の間にセメント質の深淺方向に走る短い交差線維 (CF) が認められる。また，交差線維の一部が歯軸方向に走行する線維と連絡している (矢印)。×6,600

(図 3 b)。また，これらの線維束の間に，セメント質深部から浅部方向に走行する短い交差線維⁷⁾が観察された。交差線維の中にはその走行を変え，歯軸方向の線維束に移行する線維が認められた。

3. 次亜塩素酸処理面

凍結割断面と研磨面では，明瞭な層構造は観察されなかった。しかし，層構造を有するセメント質研磨面を 5% 次亜塩素酸ナトリウム溶液で 60 分間処理し，さらに 0.5~1 M 塩酸で 30~60 秒間処理 (次亜塩素酸一酸処

理) すると，層構造が観察された (図 4)。この層板は，歯頸側の薄いシャービー線維を主体とした無細胞セメント質では観察されず，根尖側の厚いセメント質で認められた。層構造の数は，セメント質が厚くなると共に増加した。層構造は，セメント質表面に平行して線維の溶出した幅の狭い溝と，溶出の少ない幅の広い板状構造で構成されていた。

これらの試料で層構造と線維性基質の関係を観察した。セメント質深部では凍結割断面・研磨面と同様に，

図 7 基質線維層を境する溝の拡大像。研磨，次亜塩素酸一酸処理

溝の上方のセメント質表面側の壁（UW）では，壁面から突出した短い線維束の断端が多数認められる。溝の下方の象牙質側の壁（LW）は，壁の表面に沿った線維束に被われ，少量の線維束が壁面から突き出している。×3,300

最深部のシャーピー線維層と基質線維層が区別された（図 5a）。シャーピー線維層は，断面や研磨面よりも明瞭に識別できた。基質線維層とシャーピー線維層の境界部では，シャーピー線維束はほぐれ，その間に基質線維が混入し，移行部を形成していた。また，両線維成分が混在する移行部が厚い層構造を示す部分（混合線維層）も認められた（図 5b）。混合線維層では，束がほぐれ走行の乱れたシャーピー線維の間に基質線維が不規則に混入するため，両線維成分の区別が困難な部分もあった。深部の基質線維層の外側では，溝で境される基質線維層が多数観察された（図 4, 6a）。溝で境される基質線維層では，各層を構成する線維の配列や線維の溶出の程度に差異が認められた。比較的溶出が少なく明瞭な線維束を有する部分では，凍結断面や研磨面と同様に，歯を輪状に取り巻く線維束の横断面，歯軸方向に配列する線維束の縦断面と，これらの線維束と交差する短い交差線維の縦断面が観察された（図 6b）。基質線維層の間で深い溝を観察すると，溝の深側（象牙質側）の壁面はその表面に沿った線維束に被われ，壁面からセメント質表面へ向い突き出した短い線維束の断端が一部に認められた。溝の表面側（セメント質表面側）では，壁面からセメント質深部へ向う線維束の断端が深側に比べ多数観察され

た（図 7）。

次亜塩素酸で 120 分間処理すると 60 分間処理に比べ線維の溶出量が増加した（図 8）。60 分間処理ではあまり溶出しない基質線維層もその大部分が溶出した。そのため，薄い板状構造と，それよりも幅の広い溶出部（溝）が交互に重なり，層構造を形成していた。この板状構造も，それぞれ溶出の程度が異なり，ほとんど溶出しない丈の高い構造や，わずかに溶出せずに残った構造が認められた。

考 察

セメント質は，一般にセメント細胞の有無により無細胞セメント質と有細胞セメント質に分けられる。さらにセメント質は基質の線維の種類によって，線維を含まない無線維セメント質（afibrillar cementum），非固有線維（シャーピー線維）のみを含む非固有線維セメント質（extrinsic fiber cementum），固有線維（基質線維）のみを含む固有線維セメント質（intrinsic fiber cementum）と，両線維成分を含む混合線維セメント質（mixed fiber cementum）に分類されている¹⁴⁾。本研究ではこの分類を基に，セメント質の層構造を形成する線維性基質によ

図 8 根尖側の厚い有細胞セメント質。研磨，次亜塩素酸（120 分）一酸処理
薄い板状構造（矢印）と幅の広い溝（G）が交互に重なる層構造が認められる。溝の深さや幅，
板状構造の厚さや高さは部位により異なる。D：象牙質。×260

り分類を試みた。

歯頸側の薄い無細胞セメント質と，根尖側の厚い有細胞セメント質の最深部の，シャーピー線維が主成分である層をシャーピー線維層とした。シャーピー線維層では，セメント-象牙境に垂直し互いに平行する線維束で形成されていた。

層構造を有する厚い有細胞セメント質で，基質線維が主成分である層を基質線維層とした。基質線維層では，シャーピー線維に垂直な線維が，複雑に交差して網状構造を作っていた。しかし，線維束が明瞭な部分では，歯軸方向に走行する基質線維束と，歯を輪状に取り巻く基質線維束が交互に重なっていた。また，これらの線維束を結ぶように走行する短い交差線維⁷⁾が認められた。歯の縦断・横断・接線方向の断面の透過型電子顕微鏡による観察で，交差線維は歯軸方向と輪状方向の基質線維束と連続し，移行していることが報告されている⁷⁾。走査型電子顕微鏡観察でも同様なことが認められた。これらのことから，交差線維の多くは歯軸方向と輪状方向の基質線維束を結ぶように配列した基質線維束であると思われる。

る。しかし，この交差線維については，さらに詳細に観察し，基質線維との関係とその配列の意義を明らかにする必要がある。

基質線維層中には層板を貫く明瞭なシャーピー線維束を認めなかった。シャーピー線維は歯を歯槽骨に固定する機能を有しており，基質線維層中にも存在していると思われる。また，セメント質表面の走査型電子顕微鏡による観察では，根尖部の極く一部を除き，基質線維が多量に存在する部分でも，15～40% がシャーピー線維であるとされている¹⁰⁾。基質線維層には，シャーピー線維が埋入されているが，少量であるために今回は観察されなかったと思われる。

シャーピー線維層と基質線維層の境の，両線維成分が入り乱れた層を混合線維層とした。混合線維層では，シャーピー線維束がほぐれ，その間に基質線維が不規則に混入するために，両線維成分の区別が困難な部分があった。この構造は，両線維層の境界で観察された，両線維層の移行部と考えられる。

光学顕微鏡で観察されるセメント質の層構造は，超微

細構造レベルで同定するのが困難であるとされている¹⁵⁾。本研究においても、酸処理のみを施した断面や研磨面では、光学顕微鏡で認められるような層構造は観察されなかった。しかし、セメント質研磨面を次亜塩素酸ナトリウム溶液（次亜塩素酸）で60分間処理し、さらに塩酸で処理（次亜塩素酸—酸処理）すると、線維が溶出して生じた溝に境される層構造が初めて認められた。

次亜塩素酸は強力な脱有機作用を有し、硬組織に付着している軟組織や、その中の未石灰化部分の除去に用いられる^{10,16)}。また、セメント質中のコラーゲン線維は、一本の線維でも石灰化の良い部分と悪い部分を有することが透過型電子顕微鏡で報告されている^{7,17)}。次亜塩素酸—酸処理により溶出する構造は、研磨面に露出した線維の未石灰化部分や低石灰化部分が次亜塩素酸により脱有機され、さらに線維性基質を失った石灰化セメント質が塩酸の脱灰作用により流れ出し生じると考えられる。

溝形成は、基質線維層間の境界面が溶出しやすい構造であったことによると考えられる。この部分には線維性基質の断層が有ったか、また石灰化が低いと思われる。深く溶出された溝の深側（象牙質側）の壁面は比較的平滑であるが、表面側（セメント質表面側）では壁面から多数の線維束が突出していた。深側の壁面が平滑で、線維束がそのまま抜け落ちたように見えるのは、この部分に線維の不連続性があったことを示している。この溝には、周囲の線維と交差・連続が少ない、互に平行する線維束が並んでいたと思われる。また、細胞セメント質中のシャーピー線維は、周囲の基質線維よりも石灰化が悪いとされている^{4,18)}。表面側の壁面から突出した線維束の存在と合せて考えると、この溝の部分には、石灰化の悪い短いシャーピー線維が多く存在していたとも考えられる。

次亜塩素酸を120分間処理すると、薄い板状構造を残してセメント質の大部分が溶出した。この板状構造は、石灰化の良い基質線維が網状構造を形成しているために残ったと考えられる。マイクロラジオグラムによる観察では、細胞セメント質中にセメント質表面と平行な、高度に石灰化した層構造が認められている。これは高石灰化層で、成長線に相当することが示されている¹⁸⁾。120分間処理で溶出せずに残る薄い板状構造は、この高度に石灰化した層で、光学顕微鏡で認められる成長線に相当すると思われる。溝構造の形成はすでに説明したように、基質線維の断層に成長線の外側で新たなセメント質の添加が急速に始った部位に形成されると考えられる。

そのため、溝構造は成長線（休止線）の外側の線維性基質の不連続部に出現すると思われる。

しかし、次亜塩素酸—酸処理により層構造の生じる理由は、層構造の石灰化度の差異だけで説明できず、溶出するセメント質の線維組成と線維配列も関係している。今後、処理により線維が溶出される過程を検討し、光学顕微鏡で認められる層構造との対比を行うことで、層構造と線維性基質の関係をさらに明らかにできると考えられる。また、根面処理や線維性付着を考える上でも、セメント質の線維性基質と層板構造を明らかにすることは有意義と思われる。

結 論

ヒトの歯のセメント質の層板構造と線維性基質の関係を明らかにするために、セメント質断面を酸などで処理し走査型電子顕微鏡で観察し、以下の結果を得た。

1. 酸処理のみを施した凍結断面と研磨面では、シャーピー線維を主体とした部分と基質線維を主体とした部分を区別できた。しかし、光学顕微鏡で認められるような層構造は観察されなかった。
2. 研磨面を次亜塩素酸ナトリウム溶液で60分間処理し、さらに塩酸で処理した。すると、セメント質表面と平行な、線維が溶出して生じた幅の狭い溝と、溶出されにくい幅の広い部分による層構造が初めて出現した。
3. 層構造はその線維性基質により、シャーピー線維が主成分のシャーピー線維層、基質線維が主成分の基質線維層、両線維成分が混在する混合線維層に分けることができた。
4. 次亜塩素酸で120分間処理すると、60分間処理では溶出せずに残った基質線維層の殆どが溶出し、薄い板状構造が残った。この構造は石灰化度の高い成長線（休止線）に相当し、その両側には線維性基質と石灰化度において不連続があることが示唆された。

文 献

- 1) Gerould, C.H. : Ultramicrostructures of the human tooth as revealed by the electron microscope. J. Dent. Res., 23 : 239-245, 1944.
- 2) Awazawa, Y. : Electron microscopy of human cementum. J. Nihon Univ. Sch. Dent., 5 : 127-137, 1963.
- 3) Stern, I.B. : An electron microscopic study of

- the cementum, Sharpey's fibers and periodontal ligament in the rat incisor. *Am. J. Anat.* 155 : 377-410, 1964.
- 4) Selvig, K.A. : The fine structure of human cementum. *Acta Odont. Scand.*, 23 : 423-441, 1965.
 - 5) Furseth, R. : The fine structure of acellular cementum in young human premolars. *Scand. J. Dent. Res.*, 82 : 437-441, 1974.
 - 6) Furseth, R. : The fine structure of the cellular cementum of young human teeth. *Archs. Oral Biol.*, 14 : 1147-1158, 1969.
 - 7) 陳 妙卿 : ヒトセメント質における基質線維の基本構造に関する観察. *口病誌*, 54 : 635-675, 1987.
 - 8) Boyde, A. and Jones, S.J. : Scanning electron microscopy of cementum and Sharpey fibre bone. *Z. Zellforsch. Mikrosk. Anat.*, 92 : 536-548, 1968.
 - 9) 徳永純一, 森 淑子 : 走査電子顕微鏡による人歯セメント質表面の微細構造. *歯基礎誌*, 11 : 13-23, 1969.
 - 10) Jones, S.J. and Boyde, A. : A study of human root cementum surfaces as prepared for and examined in the scanning electron microscope. *Z. Zellforsch. Mikrosk. Anat.*, 130 : 318-337, 1972.
 - 11) 鯨坂正彦 : 走査型電子鏡によるカイウサギのセメント質の観察. *日大歯学*, 47 : 382-388, 1973.
 - 12) 小林 譲 : 走査型電子鏡によるヒトの歯のセメント小腔の観察. *日大歯学*, 50 : 31-34, 1976.
 - 13) Ismail, O.S. and Weber, D.F. : Light and scanning electron microscopic observations of the canalicular system in human cellular cementum. *Anat. Rec.*, 222 : 121-127, 1988.
 - 14) Jones, S.J. : Cement, Osborn, J.W., *Dental anatomy and embryology*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1981, 193-205.
 - 15) Armitage, G.C. : Cementum, Bhaskar, S.N., *Orban's oral histology and embryology*, 9th edn., Mosby, St. Louis, 1980, 180-203.
 - 16) 水城晴美 : ヒト下顎歯槽骨内壁における線維骨の構造に関する組織学的観察. *口病誌*, 46 : 65-104, 1979.
 - 17) Matthiessen, M.E., Sögaard-Pedersen, B. and Römert, P. : Electron microscopic demonstration of non-mineralized and hypomineralized areas in dentin and cementum by silver methenamine staining of collagen. *Scand. J. Dent. Res.*, 93 : 385-395, 1985.
 - 18) 藤井仁毅 : セメント質の石灰化像. *歯学*, 57 : 206-228, 1969.

連絡先 :

東日本学園大学歯学部口腔解剖学第一講座

〒 061-02 北海道石狩郡当別町字金沢 1757