

[原著]

ヒトの大白歯の頂窩の形態と組織構造および 元素組成からみた成因について

高橋正志*・後藤真一**

Cause of crestal pit forming in human molar, judging from their shape,
histological structure and elemental composition

TAKAHASHI, Masashi* and GOTO, Shin-ichi**

Abstract

We examined the shape, histological structure and elemental composition of the crestal pit in unworn human molars. We could distinguished the crestal pit from the pit on the enamel surface which forms the end of the enamel channelling by their histological structure. The shape of the crestal pit was various, such as dish-shaped concave, spiral groove and arch-shaped groove with central dome. The peculiar thick rodless laminal enamel was found at the bottom of the crestal pit in human molar. The contents of Ca and P were significantly higher, while those of C and Mg were significantly lower at this thick laminal enamel of the crestal pit. It was reverse tendency to the similar thick laminal enamel found in the enamel pearl.

It is thought that the ameloblasts at the processed part of the dento-enamel junction form slow growth laminal enamel, so that the concave crestal pit is formed. It is considered that this thick laminal enamel of the crestal pit is higher calcified, and includes less organic matter than the middle enamel of the cusp part, and differs in nature from the similar thick laminal enamel found in the enamel pearl.

Key words: shape, forming process, elemental composition, crestal pit, human molar

I. 緒言

所 (1937) は、ヒトおよび哺乳類の未咬耗の大白歯の“咬頭や結節の尖頂に存在する小窩”を最初に“頂窩 (歯結節頂小窩 Foveola apices tuberculi dentis の略称)”と命名して記載した。

一方、新井 (1938) は、ヒトの未咬耗の大白歯で、エナメル質表面に小窩を形成するが、エナメル質表面からエナメル象牙境に向かって伸びる、やや彎曲した乳白色の索状構造物を見出し、これを“異常管”と命名し、頂窩とは異なる構造物として記載した。これ

は、Hopewell-Smith (1918) が、“channelling”としてすでに記載していたものである。

所 (1937) の論文では、異常管の末端のエナメル質表面の小窩も頂窩に含めて記載した。“頂窩の研磨標本”として示されている Fig. II の写真 (所, 1937) は、頂窩中に存在する異常管の縦断面を含む研磨標本の写真であり、“頂窩の縦断面の組織構造”として異常管の縦断面の組織構造を記載している。

高橋 (1984) は、ヒトの永久歯の異常管の組織構造を、偏光顕微鏡および走査電顕で詳細に観察し、異常

2016年 8 月 4 日受付, 2016年10月21日受理

*元日本歯科大学新潟短期大学

〒950-2001 新潟県新潟市西区浦山 1-8-28-D7

retired from The Nippon Dental University College at Niigata

1-8-28-D7, Urayama, Nishi-ku, Niigata, Niigata, 950-2001, Japan

E-mail: masashi@ngt.ndu.ac.jp

**元日本歯科大学新潟生命歯学部

retired from The Nippon Dental University School of Life Dentistry at Niigata

管が，“未成熟な，内層エナメル質Ⅰ帯およびⅡ帯段階のエナメル質から成る索状構造物”であることを明らかにし，異常管の末端のエナメル質表面の小窩が，頂窩とは異なる構造物であることを示した。

しかし，ヒトの大白歯と小白歯では，頂窩と，異常管の末端のエナメル質表面の小窩とが肉眼的に類似しているために，混同して理解されているのが現状である。『歯の解剖学』（藤田・桐野，1977）で，頂窩として描かれている図は，存在部位が咬頭頂ではなく，辺縁隆線上であるという点から，頂窩ではなく，異常管の末端のエナメル質表面の小窩であると判断される。

そこで今回，ヒトの大白歯の頂窩の形態と組織構造および元素組成について詳細に検討し，そこから頂窩の成因について考察したので，その結果を報告する。

II. 材料と方法

材料としては，歯科矯正治療のために抜去されたヒトの未咬耗の上下顎第3大白歯を使用した。歯は，抜去後にただちに10%中性ホルマリンで固定した。研究方法としては，まず歯の咬頭頂の頂窩の形態を実体顕微鏡で観察した。つぎに頂窩の中央を通る頰舌側方向の研磨標本を作製し，偏光顕微鏡と位相差顕微鏡で観察した。同一標本の研磨面を10% NaOClで1時間処理後，0.05 N HClで45秒間腐蝕し，水洗，アルコール脱水し，臨界点乾燥したのち白金蒸着を施し，S-800型走査電顕（日立）で観察した。また，標本の一部は，頂窩底部のエナメル質表面に白金蒸着を施し，同様にして走査電顕で観察した。

さらに，頂窩の中央を通る同様な無処理の研磨標本で，主要7元素の含有率（重量比率 mass %）を，

JXA-8900型 EPMA（日本電子）で標準試料を用いて定量分析した。計測は，頂窩底部の表層エナメル質，咬頭部の表層および中層エナメル質において10ヶ所ずつ行った。

III. 観察結果

咬頭頂にみられる頂窩の形態には，皿状の陥凹をもつもの（Fig. 1）（高橋，1984），うず巻き状の溝をもつもの（Fig. 2），弧状の溝をもち中央に突出丘があるもの（Fig. 3）など，変異がみられた。頂窩の陥凹や溝は，大局的には固有咬合面の中央寄りが深くなる傾向を示した。頂窩の直径は約0.4～0.5 mmであった。走査電顕で観察すると，異常管ではその末端のエナメル質表面の小窩の輪郭にそって，周囲のエナメル質との間の境界に浅い溝がみられたが（Fig. 4）（高橋，1984），頂窩ではその陥凹や溝と，周囲のエナメル質との間の境界は移行的であった（Fig. 1）（高橋，1984）。

頂窩部位の縦断研磨標本を偏光顕微鏡で観察すると，咬頭頂に対応するエナメル象牙境の突出部から伸びるエナメル小柱が到達するエナメル質表面に到達していた（Fig. 5）。咬頭頂に対応するエナメル象牙境の突出部と頂窩の間のエナメル質のエナメル小柱は蛇行していた（Fig. 5）。

異常管の縦断研磨標本を偏光顕微鏡で観察すると，エナメル質表面の小窩からエナメル象牙境に向かって伸びる索状構造物が観察された，その異常管の内容物は，光の透過が悪く，黒色に観察されたが（Fig. 6）（高橋，1984），頂窩の陥凹や溝の底部には，酸抵抗性の，小柱構造が不明瞭で，層板状構造を示す，厚



Fig. 1. Scanning electron micrograph (SEM) of a crestal pit (Foveola apices tuberculi dentis) having the dish-shaped concave. Scale bar, 500 μ m. (after Takahashi, 1984)

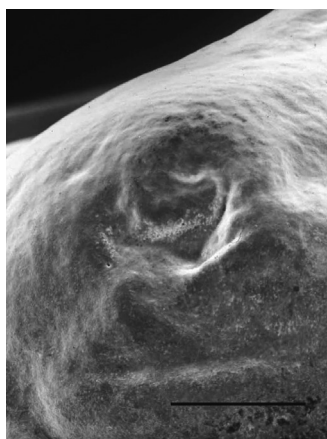


Fig. 2. SEM of a crestal pit having the spiral groove. Scale bar, 750 μ m.

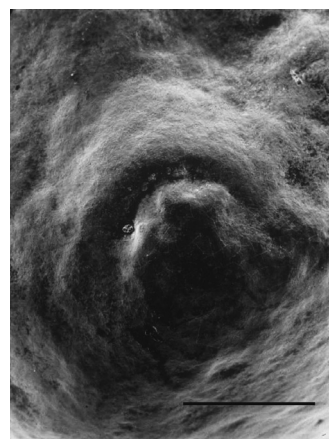


Fig. 3. SEM of a crestal pit having the arch-shaped groove with central dome. Scale bar, 750 μ m.

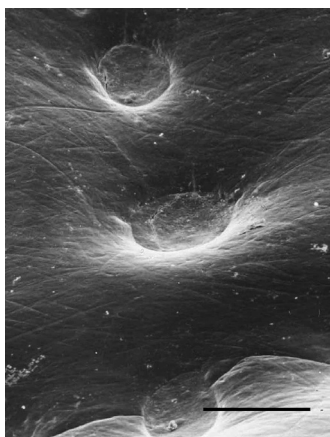


Fig. 4. SEM of a pit on the enamel surface which forms the end of an enamel channelling. Scale bar, 50 μm . (after Takahashi, 1984)

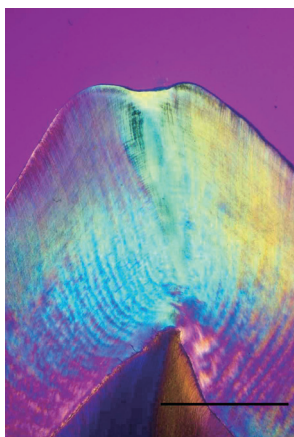


Fig. 5. Polarizing micrograph through a crestal pit of the bucco-lingual ground section in the unworn human lower third molar. Scale bar, 200 μm .

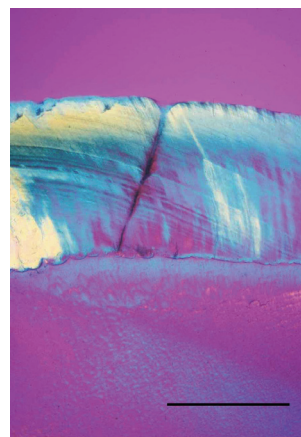


Fig. 6. Polarizing micrograph of a longitudinal ground section of an enamel channelling. Scale bar, 200 μm . (after Takahashi, 1984)

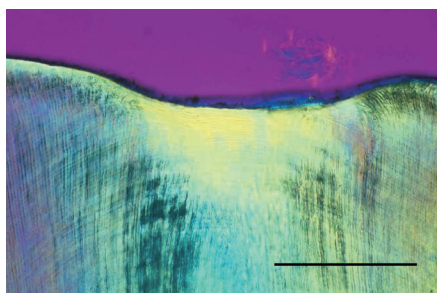


Fig. 7. High magnification at the crestal pit of the same section as shown in Fig. 5. Scale bar, 50 μm .

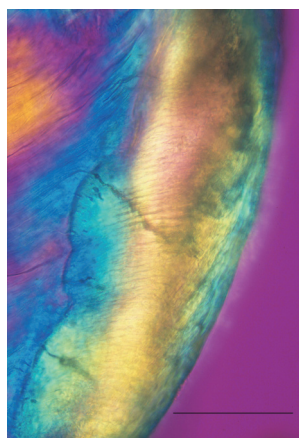


Fig. 8. Polarizing micrograph through an enamel pearl of the human upper third molar. Scale bar, 25 μm . (after Takahashi et al., 2007)



Fig. 9. SEM of the peculiar laminal enamel at the same crestal pit as shown in Fig. 7 etched with HCl. Scale bar, 6 μm .

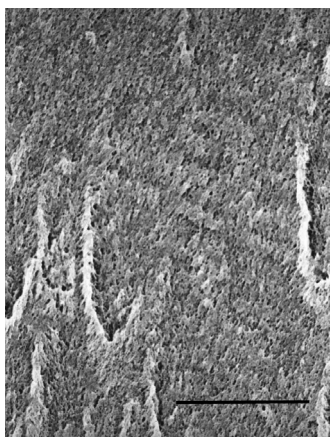


Fig. 10. SEM of the boundary of the peculiar laminal and outer enamels of the same section as shown in Fig. 7 etched with HCl. Scale bar, 10 μm .

い特殊なエナメル質が存在していた (Fig. 7). この特殊なエナメル質では、レッチウスの並行条 (成長線) の間の間隔が周囲のエナメル質よりも狭かった (Fig. 7). この特殊なエナメル質における、レッチウスの並行条の間隔は、エナメル質の表面に近くにつれて狭くなった (Fig. 9).

レッチウスの並行条と横紋により層板状構造を示す特殊なエナメル質と、外層エナメル質との境界は不明瞭であった (Fig. 7). 両者の境界付近の、層板状構造を示すエナメル質では、横紋 (成長線) が明瞭に観察された (Fig. 10).

頂窩底部の、層板状構造を示す特殊なエナメル質の

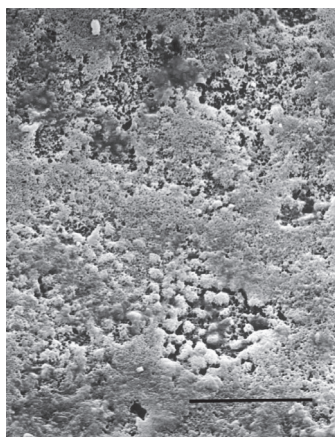


Fig. 11. SEM of the outer surface of the crestal pit of the similar section as shown in Fig. 7. Scale bar, 6 μ m.

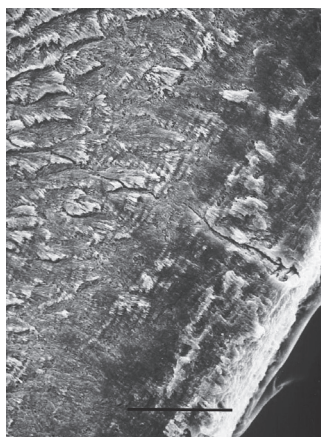


Fig. 12. SEM of the boundary of the peculiar laminal and outer enamels of the same section as shown in Fig. 8 etched with HCl. Scale bar, 20 μ m. (after Takahashi *et al.*, 2007)



Fig. 13. SEM of an occlusal rim which extends from the cusp point. Scale bar, 700 μ m.

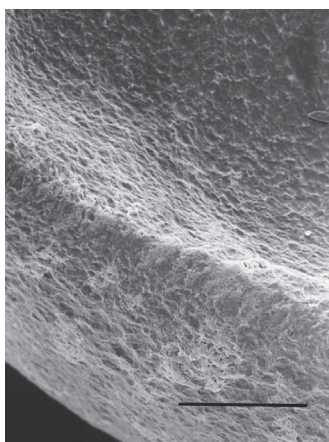


Fig. 14. SEM of the outer surface of the dentin at the similar occlusal rim as shown in Fig. 13. Scale bar, 320 μ m.

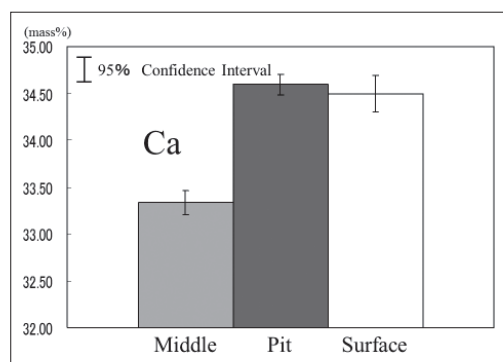


Fig. 15. Mean and the 95 % confidence interval of Ca content, analyzed with EPMA, at the laminal enamel of the surface layer at the crestal pit, surface and middle enamels of the cusp part in human lower third molar.

表面では、直径約 6～7 μ m の類円形の輪郭が認められた (Fig. 11)。エナメル質の表面を HCl で腐蝕すると、頂窩の陥凹や溝では無構造様に観察されたが、周囲のエナメル質ではエナメル小柱の横断面が認められた。

頂窩底部にみられた、層板状構造を示す特殊なエナメル質の組織構造は、ヒトの大白歯のエナメル真珠の表層にみられたものに類似していた (Figs. 8, 12) (Takahashi *et al.*, 2007)。

ヒトの大白歯の咬頭頂から伸びる咬合縁のエナメル質表面にも、数個の連珠状の陥凹が認められた (Fig. 13)。同一標本のエナメル質を HCl で完全に溶

かし去り、象牙質表面を走査電顕で観察すると、咬合縁のエナメル質表面で観察された数個の連珠状の陥凹に対応する位置の象牙質表面に、数個の連珠状の小突起が観察された (Fig. 14)。

未咬耗のヒトの上下顎第 1 小臼歯および犬歯の、咬頭頂および尖頭頂付近にも浅い陥凹が観察された。

つぎに元素の含有率についてみる。Fig. 15は、頂窩底部の表層の層板状構造を示すエナメル質 (Pit)、咬頭部の表層 (Surface) および中層 (Middle) エナメル質の、カルシウムの含有率の平均値と 95% 信頼区間を示す。

それぞれの部位のカルシウムの含有率は、咬頭部の

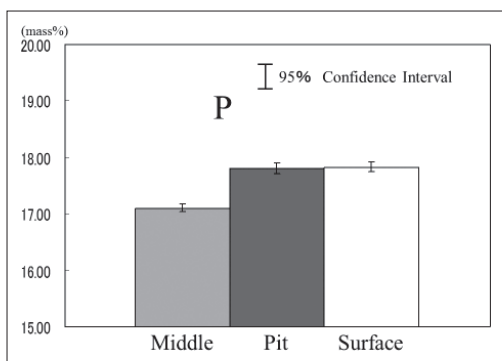


Fig. 16. Those of P content at the same locations as shown in Fig. 15.

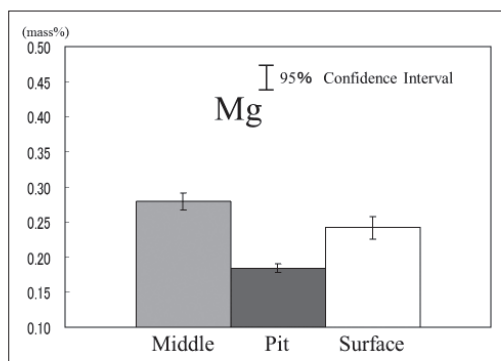


Fig. 19. Those of Mg content at the same locations as shown in Fig. 15.

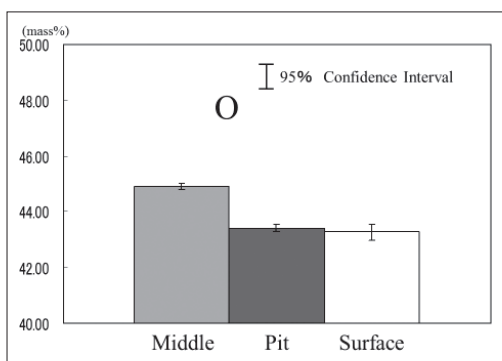


Fig. 17. Those of O content at the same locations as shown in Fig. 15.

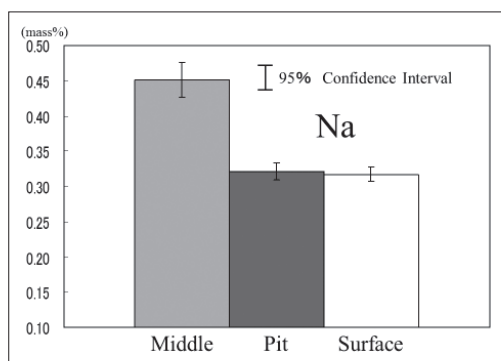


Fig. 20. Those of Na content at the same locations as shown in Fig. 15.

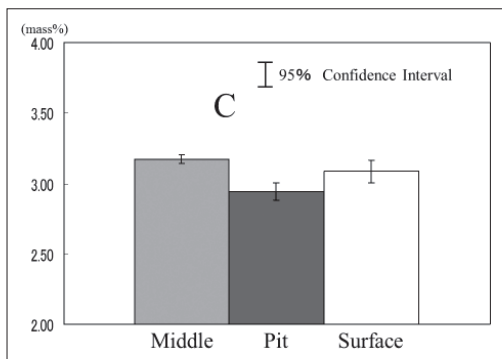


Fig. 18. Those of C content at the same locations as shown in Fig. 15.

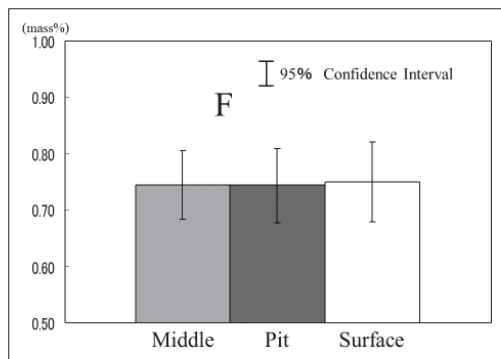


Fig. 21. Those of F content at the same locations as shown in Fig. 15.

表層エナメル質と同様に、頂窩底部の表層の層板状構造を示すエナメル質では、咬頭部の中層エナメル質よりも有意に高い。

同一部位のリンの含有率 (Fig. 16) は、カルシウムと同じ違いを示す。

同一部位の酸素の含有率 (Fig. 17) は、咬頭部の表層エナメル質と同様に、頂窩底部の層板状構造を示す

すエナメル質では、咬頭部の中層エナメル質よりも有意に低い。

同一部位の炭素の含有率 (Fig. 18) は、頂窩底部の層板状構造を示すエナメル質では有意に最も低く、一方咬頭部の中層エナメル質では有意に最も高い。

同一部位のマグネシウムの含有率 (Fig. 19) は、炭素と同じ違いを示す。

同一部位のナトリウムの含有率 (Fig. 20) は、酸素と同じ違いを示す。

同一部位のフッ素の含有率 (Fig. 21) は、頂窩底部の層板状構造を示すエナメル質、咬頭部の中層および表層エナメル質の間に、有意な違いは認められない。

以上の、フッ素以外の、頂窩底部の層板状構造を示すエナメル質の各元素の含有率は、エナメル真珠の同様な層板状構造を示すエナメル質 (Takahashi *et al.*, 2007) とは逆の傾向を示した。

IV. 考察

1. 頂窩と他の構造物との違いについて

ヒトの大白歯と小白歯では、頂窩と異常管の末端のエナメル質表面の小窩は肉眼的に類似しているが、高橋 (1984) は、異常管の特徴を次のように記載している。

“異常管は、エナメル質表面からエナメル象牙境に向かって伸びる、やや彎曲した乳白色の、低石灰化の、未成熟な、内層エナメル質Ⅰ帯 (無小柱エナメル質で構成される) およびⅡ帯 (類円形の細小柱断面をもつ) 段階のエナメル質から成る、索状構造物であり、異常管の末端のエナメル質表面に小窩を形成する。

異常管の末端のエナメル質表面の小窩は、直径が約 0.2~0.3mm で、すべての歯種に存在し、1 歯につき数個、時には 20~30 個 (最多で 40 個) みられ、1 歯平均の個数は犬歯および中切歯に多い。存在部位は限定されないが、前歯では舌側面の辺縁隆線と基底結節に多く、臼歯では咬合面の咬頭頂周辺、および頬・舌側面と隣接面の咬頭側に多く、頂窩の中に存在することもある。

走査電顕で観察すると、異常管の末端のエナメル質表面の小窩の輪郭に沿って、周囲のエナメル質との間に境界に浅い溝がみられる。”

これに対して、頂窩は、必ず、咬頭や結節の尖頂に 1 個だけ存在し、直径が約 0.4~0.5mm で、走査電顕で観察すると、頂窩の陥凹や溝と、周囲のエナメル質との間の境界は移行的で、異常管の末端のエナメル質表面の小窩の輪郭に沿ってみられたような浅い溝は存在しない。

頂窩の陥凹や溝の底部には、層板状構造を示す、特殊なエナメル質が存在し、頂窩とエナメル象牙境の突出部との間のエナメル質のエナメル小柱は蛇行し、小柱構造が乱れていたが、エナメル質表面からエナメル象牙境に向かって伸びる、乳白色の、低石灰化の、直径が約 0.015~0.1mm の、索状構造物である異常管とは、組織構造が明らかに異なる。

以上の両者の特徴の違いから、ヒトの臼歯でも、頂

窩と異常管の末端のエナメル質表面の小窩とは、肉眼的にも明らかに区別できる。

現生のニホンザルとアジアゾウ、および化石のデスマスチルスの臼歯でも、肉眼的にも頂窩と異常管の末端のエナメル質表面の小窩とを区別できた。

また、ヒトの臼歯における咬合面小窩や頬側面小窩は、歯の発育葉の境界部 (咬合面の裂溝や頬側面溝) にしか存在せず、小窩の底部に乳白色の索状構造物が存在しない点から、異常管の末端のエナメル質表面の小窩とは容易に区別できる。

2. 頂窩の形成過程について

頂窩底部にみられた、小柱構造が不明瞭で、層板状構造を示す、特殊なエナメル質と、これを取りまく外層エナメル質との境界は不明瞭である。両者の境界付近の、頂窩底部側の層板状構造を示すエナメル質では横紋が明瞭に観察された点から、外層エナメル質まで形成してきたエナメル芽細胞が、引き続いて、小柱構造が不明瞭になり、逆に成長線の構造が強調された。この特殊なエナメル質を形成したと考えられる。

この層板状構造を示す、頂窩底部の小柱構造が不明瞭な特殊なエナメル質では、レッチウスの並行条の間の間隔が、周囲のエナメル質よりも狭い点から、成長速度が、周囲のエナメル質よりも遅いと考えられる。

この特殊なエナメル質における、レッチウスの並行条の間の間隔が、エナメル質の表面に近づくにつれて狭くなった点から、成長速度が、徐々に、(漸近線的に、を削除しました) 遅くなったと考えられる。

頂窩底部の、層板状構造を示す特殊なエナメル質の表面で認められた、直径約 6~7 μm の類円形の輪郭は、これを形成したエナメル芽細胞の輪郭に対応していると考えられる。

頂窩底部の、層板状構造を示す特殊なエナメル質の分布の形状が、基本的には、変異に富む頂窩の形態を規定していると考えられる。

歯の形成過程でエナメル象牙境の突出部の個々のエナメル芽細胞は、歯の構造上、立体的には、他の部位よりもきわめて広い範囲のエナメル質を分担して形成しなければならないので、他の部位よりも早く正常エナメル質の形成能力を失い、小柱構造の不明瞭な、層板状構造を示す、成長速度の遅い、特殊なエナメル質を形成するものと考えられる。

以上の考察から、頂窩の形成過程をまとめると、次のようになる。

歯の形成過程で、咬頭頂に対応する、エナメル象牙境の突出部の個々のエナメル芽細胞は、他の部位よりも立体的に大きい体積のエナメル質を分担して形成しなければならないので、エナメル小柱が蛇行するエナ

メル質を形成する。このため、この部位の個々のエナメル芽細胞は、他の部位よりも早く正常エナメル質の形成能力を失い、層板状構造を示す、成長速度の遅い、特殊なエナメル質を形成し、その結果、すべての咬頭頂部に、周囲よりも陥凹した頂窩が形成されると考えられる。

咬頭部のエナメル質最表層には、小柱構造が不明瞭で、層板状構造を示す、薄い層がみられるが、頂窩底部では、この層がきわめて厚くなったものと考えられる。

咬頭頂部のエナメル質は、頂窩底部に酸抵抗性の、層板状構造を示すエナメル質が厚く形成されるために、齲蝕に罹患しにくいものと考えられる。

3. 頂窩の元素組成について

カルシウムとリンの含有率から判断して、頂窩底部にみられた、小柱構造が不明瞭で、層板状構造を示す、そして層の厚い、特殊なエナメル質は、咬頭部の中層エナメル質よりも、石灰化度が高い。また、炭素の含有率が低いことから有機物の含有量が少なく、エナメル真珠のエナメル質表層にみられる (Takahashi *et al.*, 2007)、同様な組織構造を示すエナメル質とは、質的に異なると考えられる。

エナメル真珠のエナメル質表層にみられた、小柱構造が不明瞭で、層板状構造を示すエナメル質は、各々の元素の含有率から、エナメル質の密度が小さくなっていると考えられる。

一方、頂窩底部の、同様な組織構造を示すエナメル質では、咬頭部の中層エナメル質との、各々の元素の含有率の違いが、咬頭部の表層エナメル質よりも顕著であるので、エナメル質の密度が大きくなっていると考えられる。

V. 結論

歯科矯正治療のために抜去された、ヒトの未咬耗の上下顎第3大臼歯を材料として、咬頭頂の頂窩の形態、頂窩底部の特殊なエナメル質の組織構造ならびに元素組成について検討した結果、次のような結論が得られた。

- 1) ヒトの大臼歯では、頂窩と、異常管の末端のエナメル質表面の小窩が肉眼的に類似しているが、異常管の末端のエナメル質表面の小窩では、エナメル質表面からエナメル象牙境に向かって伸びる、乳白色の、低石灰化の、索状構造物がみられる点で、頂窩とは区別できる。
- 2) ヒトの大臼歯の頂窩の形態には、皿状の陥凹をもつもの、うず巻き状の溝をもつもの、弧状の溝をもち中央に突出丘があるものなど、変異が

みられた。

- 3) 頂窩は、この部の縦断研磨標本を偏光顕微鏡で観察すると、咬頭頂に対応するエナメル象牙境の突出部から伸びるエナメル小柱が到達するエナメル質表面に到達していた。
- 4) 頂窩の陥凹や溝の底部には、酸抵抗性の、小柱構造が不明瞭で、層板状構造を示す、厚い特殊なエナメル質が存在した。
- 5) この特殊なエナメル質では、レッチウスの並行条（成長線）の間の間隔が周囲のエナメル質よりも狭かった。
- 6) この層板状構造を示す特殊なエナメル質と、これを取りまく外層エナメル質との境界は不明瞭で、両者の境界付近の、頂窩底部側の層板状構造を示すエナメル質では、横紋（成長線）が明瞭に観察された。
- 7) この層板状構造を示す特殊なエナメル質は、外層エナメル質まで形成してきたエナメル芽細胞によって、引き続いて、小柱構造が不明瞭になり、逆に成長線の構造が明瞭に形成されたと考えられる。
- 8) エナメル象牙境の突出部の個々のエナメル芽細胞は、歯の構造上、立体的には、他の部位よりもきわめて広い範囲のエナメル質を分担して形成しなければならないので、他の部位よりも早く正常エナメル質の形成能力を失い、小柱構造の不明瞭な、層板状構造を示す、成長速度の遅い、特殊なエナメル質を形成し、その結果、すべての咬頭頂部に、深さと形態は変異に富むが、周囲よりも陥凹した頂窩が形成されると考えられる。
- 9) 頂窩底部にみられた、層板状構造を示す特殊なエナメル質の組織構造は、ヒトの大臼歯のエナメル真珠の表層にみられたものに類似していた。
- 10) カルシウムとリンの含有率は、咬頭部の表層エナメル質と同様に、頂窩底部の表層の層板状構造を示すエナメル質では、咬頭部の中層エナメル質よりも有意に高く、一方炭素とマグネシウムの含有率は、有意に低かった。
- 11) フッ素以外の、頂窩底部の層板状構造を示すエナメル質の各元素の含有率は、エナメル真珠の同様な層板状構造を示すエナメル質とは逆の傾向を示した。
- 12) カルシウム、リンおよび炭素の含有率から判断して、頂窩底部の層板状構造を示すエナメル質は、咬頭部の中層エナメル質よりも、石灰化度が高く、有機物の含有量が少なく、エナメル

真珠の同様な層板状構造を示すエナメル質とは質的に異なると考えられる。

- 13) 頂窩底部の層板状構造を示すエナメル質の、咬頭部の中層エナメル質との、各々の元素の含有率の違いは、咬頭部の表層エナメル質での違いが、さらに大きいので、エナメル質の密度が大きくなっていると考えられる。

謝辞

故井尻正二元会員、および日本歯科大学新潟歯学部口腔解剖学講座の故吉岡敏雄元教授と小林 寛元教授には、頂窩に関する研究のきっかけを与えていただき、文献についてご教示をいただいた。日本歯科大学新潟歯学部口腔外科学講座の又賀 泉教授と森 和久準教授には抜去歯のご提供をいただいた。

引用文献

新井秀造 (1938) 人類歯牙琺瑯質内に見られる異常管

に就て。日歯学会誌, **31**, 371-375.

藤田恒太郎・桐野忠大 (1977) 歯の解剖学. 185p., 金原出版, 東京.

Hopewell-Smith, A. (1918) Pathological Condition of the Enamel. in The Normal and Pathological Histology of the Mouth, vol. 2, 40-41, P. Blakiston's Son & Co., Philadelphia.

高橋正志 (1984) エナメル質内異常管に関する解剖学的研究. 歯学, **72**, 859-870.

Takahashi, M., Goto, S. and Kobayashi, K. (2007) Histology and Elemental Composition of the Peculiar Enamel found in the Enamel Pearl of the Human Molar, Proceedings of the 9th International Symposium on Biomineralization, 93-98, Chile University Press, Santiago.

所 敏一 (1937) 人類の琺瑯質に於ける一新知見, 頂窩に就て。日歯学会誌, **30**, 333-335.