原 著

小窩裂溝部におけるエナメル質初期齲蝕に関する研究

—画像解析による脱灰部のミネラルの定量的観察と初発部位について—*

Early Carious Lesions of the Enamel in Pits and Fissures

— Quantitative Observation of the Decalcified Portion
Using Image Analysis at the Site of
Initial Decalcification —

寺 嶋 浩 義**

Hiroyoshi TERAJIMA**

Received January 15, 1992; accepted February 3, 1992

Abstract: Thirty-four molar teeth with decalcification of 37 pits and fissures were utilized to evaluate and clarify the initial changes in the enamel surrounding these sites. Image analyses of photomicrograms, microradiograms, and iso-concentration curves were utilized to evaluate the shape and width of the sites, as well as the frequency of initial decalcification at various locations for each of four pit and fissure shapes.

The results were as follows.

- 1) Initial decalcification occurred 81.1 % of the time in pit regions compared to 18.9 % of the time in fissure regions.
- 2) The frequency of initial decalcification by location was 51.4 % in the wall region, 35.1 % in the entrance region, and 13.5 % in the bottom region.
- 3) The frequency of initial decalcification by shape of the pits and fissures was 64.9 % in type I-2, 13.5 % in type I-1, 10.8 % in type T, and 10.8 % in type I-3.
- 4) The frequency of initial decalcification by location and shape of pits and fissures was higher on the wall region of type I-2, followed by the entrance region of types I-1, T, and I-2. The frequency was lower in the bottom region of types I-3 and I-2, and the wall region of type I-3.
- 5) No initial decalcification was noted in the wall region or the bottom region of types T and I-1, or in the entrance region of type I-3.
- 6) The mean width of the pits and fissures at the site of initial decalcification was approximately 150 μm , with most sites wider than 100 μm .

索引用語: 初期エナメル質齲蝕, 小窩裂溝, 画像解析図

Key words: Early enamel caries, Pit and fissure, Computer analyzed image

* 本論文の要旨の一部は第39回日本口腔衛生学会総会および第43回日本大学歯学会総会において発表した。

** 日本大学歯学部衛生学教室 (指導: 吉田 茂教授)

** *Department of Oral Health, Nihon University School of Dentistry (Director: Prof. Shigeru YOSHIDA)*

緒 言

齲蝕に関する疫学的調査では我が国の罹患率は94%¹⁾に達している。このように高い罹患率を示す齲蝕の罹患部位や初発部位は咬合面、隣接面部など比較的限られていることが多い。このうち、とくに齲蝕の初発する頻度の高い部位として挙げられているのが咬合面の小窩裂溝部である²⁻²²⁾。

この小窩裂溝齲蝕について、その初発の部位的関係を観察した報告では、主に開口部を初発部位と指摘するもの^{2,3)}や側壁部を指摘する報告⁴⁻⁶⁾、さらには底部⁷⁻⁹⁾から初発するなどさまざまな部位が挙げられている。

このように初発部位が報告によって異なる理由には、これらの報告の多くが一歯一切片の試料に基づいたものであり、必ずしも齲蝕の初発する部位を正確に指摘したものとは考え難い。

そのためにこれらの報告からは窩溝部における初発部位はさまざまな所見として示されたものとも考えられる。

また、窩溝部の齲蝕の初発部位を窩溝形態との関連で考察している報告も多いが²⁻¹¹⁾、窩溝形態以外に窩溝の幅径なども関係するものと考えられたが、これに関する報告はあまり見られない。

そこで著者は、窩溝部の齲蝕の初発する部位を知るため、肉眼的にごく軽度の齲蝕と判定した歯を用い、連続的の切片を作成し、顕微鏡写真による病変部の組織・形態学的観察と、microradiogram および画像解析像などから脱灰部のミネラル量とその形状について解析するとともに、その部の窩溝形態や窩溝の幅径などをもとに、窩溝部における齲蝕の初発についての部位的関係を検討した。

材料および方法

試料として用いた歯は、年齢、性別、歯種の明らかなヒト臼歯約1500歯のうち、齲窩が認められないと思われる程度のごく軽度の齲蝕と診断された228歯である。

試料の作成はISOMET Low Speed Saw (BUEHLER 社製)を用いて行い、吉田らの方法²³⁾を用いて一歯につき7から13枚の連続的の切片を採取した。切裁方向は齲蝕と診断された咬合面裂溝に対してほぼ直角方向とし、歯軸に対して平行とした。さらに、切片は天然砥石を用い、約100 μ m 厚の平行薄切片としたものを用いた。この際、小窩裂溝の下層に出現する陥凹部を窩溝と称する。以上の試料のうち、顕微鏡観察により表層下脱灰の認められた34歯、37窩溝を対象とした。

なお、切片の厚さは、GS551型ゲージセンサー（小野測器社製）を用いて測定した。

microradiogram の作成は、軟X線発生装置 CMR-2 型（ソフテックス社製）を用い、照射条件をフィルム焦点間距離6 cm, 15kV, 4 mA, 10分間にて行なった。フィルムは Kodak #649-0 (Kodak 社製)を用い、通法²⁴⁾にしたがって現像処理した。

画像解析図²⁵⁾は、microradiogram を実体顕微鏡SMZ-10（日本光学工業社製）から CCD VIDEO CAMERA MODULE (SONY 社製)により取り入れ、EXCEL II システム（日本アビオニクス社製）に入力し作成した。すなわち、それぞれの microradiogram 上に参照系として撮影した11 μ m 厚のアルミニウム29枚積層のステップウェッジ (A1 SW) を Angmar らの方法²⁶⁾によりミネラル量に対応させ、この A1 SW の段階的濃淡を画像解析システムに取り込み、256階調の色調に適應させることにより、各階調に相当するミネラル量をパーセントとして色調決定する。これをもとに、任意のミネラル量の5段階の等濃度曲線を得た。本実験では健全部エナメル質のミネラル量が85~90%の範囲であった。また、脱灰部のミネラル量の範囲の決定は、エナメル質における表層下脱灰像の最も強い部位のミネラル量がおよそ30%^{25,27,28)}を示していること、また脱灰最深部における健全部エナメル質との境では画像解析法から得られたミネラル量は60~70%であり、birefringence の正と負の境界域である²⁵⁾ことから、ミネラル量の等濃度を5段階に区分した。以下、30%ミネラル量の範囲を緑線で示し、40%を青線、50%を紫線、60%を赤線、70%を黄線でそれぞれ示し、これらを一画面上に構成して、ミネラル量の各濃度分布を現わした。

窩溝部の部位的名称は Fig. 1 に示すごとく、咬合面の移行部から窩溝底までを開口部、側壁部、底部の3区分とした。

窩溝形態の分類²⁹⁾は主に窩溝幅径をもって行なった。すなわち、切片上の窩溝幅径の測定は顕微鏡用測微接眼レンズ($\times 100$) (Nikon 社製)を用いて、切片前面と後面の中間を測定し、その幅径から Fig. 2 に示した4型に分類した。すなわち、①窩溝底に向かって急激に狭窄したのち、窩溝底付近で広がっているものを T Type、②開口部より急激に狭窄し、両側壁がほぼ平行に窩溝底へ向かい、側壁部の中央で窩溝幅径が50 μ m 未満のものを I-1 Type、③開口部より徐々に狭窄しながら窩溝底に向かうものを I-2 Type、④両側壁がほぼ平行に窩溝底へ向かい側壁部の中央で窩溝幅径が50 μ m 以上のものを

Fig. 1 Pit and fissure decalcification locations

I-3 Type とした。

また、脱灰の初発部の判定は、画像解析により連続的切片上で最もミネラル量の少ない部位とし、その部の窩溝幅径はエナメル小柱走行の最表層部に達する部位において測定した。

結 果

切片上で齲窩の認められない表層下脱灰像の37窩溝から、脱灰の程度の異なる代表的な7例を Fig. 3~9 に示した。

各例には、いずれも咬合面写真、窩溝の顕微鏡写真、microradiogram、および画像解析図を示した。また、画像解析図中の矢印は、各例において最もミネラル量の少ない部位を示した。

Fig. 3-1~4 は61歳、男性、右上第1大臼歯の近心頬側溝である。脱灰はごく軽度の症例であり、ミネラル量70%の脱灰部は切片bの両側壁部に認められ、他の部位には認められなかった。この脱灰部は咬合面観から小窩部に相当し、窩溝幅径は95 μ m であり、窩溝形態はI-2 Type であった。

Fig. 4-1~4 は27歳、男性、右上第2大臼歯の遠心口蓋溝である。脱灰はごく軽度の症例であるが、切片a~cのいずれにも存在し、ミネラル量はいずれも70%であった。とくに切片bの側壁部の脱灰の範囲が最も大きく、この部位は咬合面観から小窩部に相当し、窩溝幅径は136 μ m であり、窩溝形態はI-3 Type であった。

Fig. 5-1~4 は56歳、女性、左上第2大臼歯の遠心口蓋溝である。脱灰はいずれの窩溝周囲 (a, b, c) にも認められたが、とくに顕著な脱灰像を示したのは切片bであり、表層全域に脱灰が認められた。脱灰が顕著なミネラル量60%の部位は開口部に点在して認められ、窩溝幅径の狭い側壁部や底部のミネラル量は70%であった。初発部位 (矢印) の窩溝幅径は308 μ m であり、窩溝形態はI-1 Type であった。

Fig. 6-1~4 は62歳、男性、左上第2小臼歯の中心溝

Fig. 2 Pit and fissure shapes

である。脱灰は切片 a, b, c のいずれにも認められ、とくに切片 a, および b の脱灰は顕著であり、この開口部よりエナメル小柱の走行に沿った深部 (切片 b, 矢印) のミネラル量は50%であった。この部の窩溝幅径は217 μ m であり、窩溝形態はI-2 Type であった。

Fig. 7-1~4 は53歳、女性、右上第2大臼歯の近心頬側溝である。とくに脱灰は切片 a の側壁部よりエナメル小柱の走行に沿った深部 (矢印) で顕著であり、ミネラル量は50%であった。この部位は咬合面観から小窩部に相当し、窩溝幅径は154 μ m であり、窩溝形態はI-2 Type であった。

Fig. 8-1~4 は42歳、男性、右上第2大臼歯の中心溝である。脱灰はかなり進んだ例であり、とくに切片c (矢印) において顕著でミネラル量は40%となり、その範囲も広くエナメル象牙境にまで達していた。また、切片bも顕著な脱灰像を認めたがミネラル量は50%であった。これらは咬合面観から裂溝部に相当している。切片cの窩溝幅径は63 μ m であり、窩溝形態はI-2 Type であった。

Fig. 9-1~4 は25歳、女性、左上第3大臼歯の近心頬側溝である。肉眼的観察から近心頬側溝部に着色程度の齲蝕様変化が認められた。脱灰はいずれの切片にも強く認められたが、とくに切片b (矢印) の側壁部で顕著であり、窩溝を挟んで八の字状に認められ、ミネラル量は30%であった。咬合面観から小窩部に相当し、この部の窩溝幅径は170 μ m であり、窩溝形態はI-2 Type であった。

以上7例を含めた37例において、初発部位が確認されたのは小窩部で30例 (81.1%)、裂溝部で7例 (18.9%) であった。

Table 1 Frequency of initial decalcification by location for each shape of pit and fissure

Type	Entrance	Wall	Bottom	Total
T	4 (10.8)	0	0	4 (10.8)
I-1	5 (13.5)	0	0	5 (13.5)
I-2	4 (10.8)	18 (48.6)	2 (5.4)	24 (64.9)
I-3	0	1 (2.7)	3 (8.1)	4 (10.8)
Total	13 (35.1)	19 (51.4)	5 (13.5)	37 (100.0)

(): %

窩溝形態、および部位別による初発部の所見が観察された例数とその頻度を Table 1 に示した。この結果、窩溝部位別にみると側壁部における初発頻度は51.4%であり、ついで開口部35.1%、底部13.5%の順であった。

また、窩溝形態別にみると I-2 Type の初発頻度が最も多く64.9%であった。ついで I-1 (13.5%)、T(10.8%) および I-3 Type (10.8%) の順であった。

さらに、これを各窩溝形態の部位別頻度でみると、T (10.8%) および I-1 Type では開口部 (13.5%) のみに認められ、I-2 Type では開口部 (10.8%)、側壁部 (48.6%)、および底部 (5.4%) にも認められたが、側壁部では24例中18例で最も高かった。また、I-3 Type では側壁部 (2.7%)、および底部 (8.1%) に認められたが、底部の頻度が高かった。

窩溝形態、および部位別の初発部の窩溝幅径を Table 2 に示した。この結果、部位別では開口部にみられた窩溝幅径の平均は182.6 μ m、側壁部では153.0 μ m、底部では108.1 μ m であった。また、窩溝形態別の窩溝幅径の平均は T Type では132.3 μ m、I-1 Type では199.5 μ m、I-2 Type では157.8 μ m、I-3 Type では126.9 μ m であった。

考 察

従来から、齲蝕の好発部として臼歯部小窩裂溝部が挙げられている²⁻²²⁾。Ripa ら¹²⁾によると、第一大臼歯の咬合面部における齲蝕経験は全体の半分以上を占める52.6%であることを指摘している。

このように、咬合面齲蝕、とくに小窩裂溝部の罹患率は高いことから、咬合面齲蝕の予防を考えるうえでその初発部位の究明が重要と考えられる。しかし、小窩裂溝部の齲蝕初発の部位を肉眼的に判定することはほとんど

Table 2 Mean width at the initial decalcification site

Type	Entrance	Wall	Bottom	Mean
T	132.3	—	—	132.3
I-1	199.5	—	—	199.5
I-2	211.8	153.9	84.6	157.8
I-3	—	136.0	123.8	126.9
Mean	182.6	153.0	108.1	157.3

(μm)

不可能である。

そこで著者は、齲蝕の初発部を究明するために、初期症状である表層下脱灰像³⁰⁻³⁶⁾を呈する歯を対象に連続的の切片を作製し、各切片の脱灰部を画像解析によりミネラル量の定量的な面分析を行ない、齲蝕の初発部と思われる最も脱灰の程度が進行している部位の窩溝形態、部位、および窩溝幅径などについて検討した。

観察例数228歯のうち、表層下脱灰をもつものは34歯であり、窩溝は37例であった。観察例を通覧すると表層下脱灰像を呈する部位の形態的様相はさまざまなものがあつた。

まず、脱灰がごく軽度の場合、連続的の切片上では比較的限局した部位からの初発が多く、その範囲も限られた部位に観察された (Fig. 3, 4)。こうした例では脱灰の程度もそれほど顕著なものではなく、健全エナメル質のミネラル量85~90%に対し、おおむね70%程度のミネラル量であった。しかも、ごく限局した脱灰例では初発したと考えられる部位を特定することは比較的容易であつた。

脱灰が進行している場合、隣接する切片にも脱灰がおよび、各切片の脱灰像の範囲も広く認められた (Fig. 5, 6, 7)。このように脱灰の顕著な部位はミネラルの減少も顕著であり、これらの脱灰部位は点在していることが多い。こうした例では、窩溝が狭窄した部位にも軽度な脱灰が全体的に形成されることが多かった。

さらに脱灰が進行した例 (Fig. 8, 9) では連続的の切片上のいずれの窩溝にも顕著な脱灰像が認められる。こうした例では初発部の特定は比較的難しいが、脱灰部のミネラル量を詳しく測定することにより、初発部の判定は比較的容易であつた。すなわち、Fig. 8 にみられる窩底部に最も顕著な脱灰部を示す部位ではミネラル量は40%を示している。同様に Fig. 9 では30%にも達している。このように極度にミネラル量が減少している部位は寺嶋ら²⁵⁾、Bergman ら²⁷⁾、Mortimer²⁸⁾ の報告している

Fig. 3-1 Photograph of occlusal surface
(61years old, male, 61)
a~c : Extent of serial sections

Fig. 3-2 Microscopy

Fig. 3-3 Microradiography

Fig. 3-4 Computer analyzed images
yellow : 70% mineral volume

Fig. 4-1 Photograph of occlusal surface
(27 years old, male, T1)
a~c : Extent of serial sections

Fig. 4-2 Microscopy

Fig. 4-3 Microradiography

Fig. 4-4 Computer analyzed images
yellow : 70% mineral volume

Fig. 5-1 Photograph of occlusal surface
(56 years old, female, [7])
a~c : Extent of serial sections

Fig. 5-2 Microscopy

Fig. 5-3 Microradiography

Fig. 5-4 Computer analyzed images
yellow : 70% mineral volume
red : 60% mineral volume

Fig. 6-1 Photograph of occlusal surface
(62 years old, male, 5)
a~d : Extent of serial sections

Fig. 6-2 Microscopy

Fig. 6-3 Microradiography

Fig. 6-4 Computer analyzed images
yellow : 70% mineral volume, violet : 50% mineral volume
red : 60% mineral volume

Fig. 7-1 Photograph of occlusal surface
(53 years old, female, 7)
a~d : Extent of serial sections

Fig. 7-2 Microscopy

Fig. 7-3 Microradiography

Fig. 7-4 Computer analyzed images
yellow : 70% mineral volume, violet : 50% mineral volume
red : 60% mineral volume

Fig. 8-1 Photograph of occlusal surface
(42 years old, male, 71)
a~d : Extent of serial sections

Fig. 8-2 Microscopy

Fig. 8-3 Microradiography

Fig. 8-4 Computer analyzed images
yellow : 70% mineral volume, violet : 50% mineral volume
red : 60% mineral volume, blue : 40% mineral volume

Fig. 9-1 Photograph of occlusal surface
(25 years old, female, [8])
a~c : Extent of serial sections

Fig. 9-2 Microscopy

Fig. 9-3 Microradiography

Fig. 9-4 Computer analyzed images
yellow : 70% mineral volume, blue : 40% mineral volume
red : 60% mineral volume, green : 30% mineral volume
violet : 50% mineral volume

最大脱灰量にほぼ相当している。このことからおそらく、表層下脱灰像としては末期的な脱灰量と考えられた。また、Fig. 8-c にみられる狭窄した窩溝底付近を起点とした円錐状に強度の脱灰が認められた例では、側壁部に相当する部位の幅径がかなり広く、おそらく底部の狭窄部の脱灰は外的因子の影響を受けやすくなるため、このような像を示したものと考えられた。表層下脱灰としては末期的な像とみられる Fig. 9 について窩溝形態と幅径から他の症例とを比較してみると Fig. 3、および Fig. 7 と比較的類似した形態を示しているが、これらの脱灰形態と脱灰の進行を重ね合わせてみると、おそらく Fig. 3 のような軽度の脱灰から Fig. 7 にみられる脱灰像へと進行し、やがて Fig. 9 の強度な表層下脱灰に至るような進行過程も考えられる。

以上のように、小窩裂溝部の脱灰像はさまざまな形状を呈するが、最も顕著な脱灰部位を初発部として規定すると、初発部はこの小窩部で81.1%であり、裂溝部では18.9%と少なく、その多くは小窩部に初発部が認められることが判明した。

窩溝部のどこを初発部位とするかについては開口部、側壁部、底部の3つに大きく分類されている²⁻¹¹⁾。そこで、開口部、側壁部、底部のいずれに初発部が相当するかを検討した結果、側壁部で51.4%と最も多く、ついで開口部で35.1%であり、底部では13.5%であった。

この窩溝部における初発部位に関しての報告では、Gustafson²⁾、König³⁾ は開口部に多く認め、白戸⁵⁾や他のいくつかの報告^{6,10,11)}では開口部から側壁部にかけて多く初発すると報告している。また、Mortimer⁴⁾ は側壁部に多いことを報告し、Thoma^ら⁷⁾、Bödecker⁸⁾、Boyle⁹⁾ はいずれも底部に多発することを挙げている。この様に初発部位に関する報告は多くなされているが、観察方法の違いもあるがほとんどが一切片上での判定である。

本研究の結果、初発部位に相当する開口部、側壁部、底部の窩溝幅径を窩溝形態との関連のもとにみると、窩溝の狭窄が顕著なT、およびI-1 Type では側壁部や底部には初発部は認められず、ほとんどが開口部に認められた。また比較的窩溝の幅径が広いI-2 Type では開口部、側壁部、底部のいずれの部位にも認められたがとくに幅径の広い開口部、側壁部に多くみられたのが特徴的であった。また、底部の幅径の広いI-3 Type では底部の初発が多く認められた。このように初発部位ではおおむね100 μ m以上の幅径を持った個所からの例が多く、歯質の脱灰には窩溝幅径がかなり影響をもつもので

あろうことが考えられた。これは窩溝の幅径を含めた形状がエナメル質の脱灰に働く酸などの侵襲因子の停滞性と唾液などの再石灰化要因との関係に影響をおよぼしているものと考えられた。

結 論

臼歯窩溝部の初期脱灰の認められた34歯37窩溝を対象に窩溝周囲エナメル質における齲蝕の初発部位を究明するため、顕微鏡写真、microradiogram、および等濃度曲線を応用した画像解析から、窩溝形態、部位、および窩溝幅径などについて検討を加え、以下の結論を得た。

- 1) 小窩、裂溝別の初発頻度は小窩部で81.1%であり、裂溝部では18.9%であった。
- 2) 部位別の初発頻度は側壁部51.4%、ついで開口部35.1%、底部では13.5%であった。
- 3) 窩溝形態別の初発頻度はI-2 Type では64.9%に認め、ついでI-1 Type (13.5%)、T Type (10.8%)、I-3 Type (10.8%)であった。
- 4) 窩溝形態および部位別の初発頻度はI-2 Typeの側壁部に最も多く、ついでI-1、T、およびI-2 Typeの開口部であり、I-3、I-2 Typeの底部、およびI-3 Typeの側壁部が少なかった。
- 5) T、およびI-1 Typeの側壁部と底部、I-3 Typeの開口部には初発部は認められなかった。
- 6) 初発部の窩溝幅径の平均は約150 μ mであり、おおむね100 μ m以上の幅径部位に多く認められた。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始懇切丁寧な御指導と御校閲を賜りました日本大学歯学部衛生学教室吉田 茂教授に深甚なる謝意を表します。さらに、御協力頂きました衛生学教室員各位に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 厚生省健康政策局歯科衛生課：昭和62年歯科疾患実態調査報告，口腔保健協会，東京，1989年，63頁。
- 2) Gustafson, G. : The histopathology of caries of human dental enamel. With special reference to the division of the carious lesion into zones, Acta Odontol. Scand., 15 ; 13-55, 1957.
- 3) König, K. G. : Dental morphology in relation to caries resistance with special reference to fissures as susceptible areas, J. Dent. Res., 42 ; 461-476, 1963.

- 4) Mortimer, K. V.: Some histological features of fissure caries in enamel, *Arch. Oral Biol.*, **2**; 85-94, 1964.
- 5) 白戸勝芳: 若年者からの抜去小白歯における小窩裂溝の初期蝕蝕について, *口腔衛生会誌*, **29**; 378-387, 1980.
- 6) 福田秀人, 須賀昭一: 裂溝蝕蝕初期像の組織学的研究, *歯学*, **73**; 1780-1814, 1986.
- 7) Thoma, K. H. and Goldman, H. M.: *Oral pathology*, The C.V. Mosby Co., St. Louis, 1960, p.334.
- 8) Bödecker, C. F.: Differences in the penetration of dental caries on smooth and on grooved or pitted surfaces, *Dent. Items Interest*, **50**; 7-11, 1928.
- 9) Boyle, P. E.: Kronfeld's histopathology of the teeth and their surrounding structures, Lea and Febiger, Philadelphia, 1955, p.132.
- 10) 永野敏郎: 臼歯咬合面の小窩裂溝の形態と蝕蝕の初発部位との関係, *歯科学報*, **60**; 1178-1188, 1960.
- 11) 倉橋和啓, 本田正宏, 佐藤 守, 高木圭二郎, 福永欣治, 中西次生: 窩溝蝕蝕初発部位に関する一考察, *歯科学報*, **59**; 51-55, 1959.
- 12) Ripa, L. W., Leske, G. S. and Varma, A. O.: Longitudinal study of the caries susceptibility of occlusal and proximal surfaces of first permanent molars, *J. Public Health Dent.*, **48**; 8-13, 1988.
- 13) Parfitt, G. J.: The distribution of caries on different sites of the teeth in English children from the age of 2-15 years, *Br. Dent. J.*, **99**; 423-427, 1955.
- 14) Reid, D. B. W. and Grainger, R. M.: Variations in the caries susceptibility of children's teeth, *Hum. Biol.*, **27**; 1-11, 1955.
- 15) Dirks, O. B.: Longitudinal dental caries study in children 9-15 Years of age, *Arch. Oral Biol.*, **6**; 94-108, 1961.
- 16) Hargreaves, J. A.: The problem of caries in child dental health, *Br. Dent. J.*, **116**; 386-390, 1964.
- 17) Berman, D. S. and Slack, G. L.: Susceptibility of tooth surfaces to carious attack, *Br. Dent. J.*, **134**; 135-139, 1973.
- 18) Lewis, D. W. and Hargreaves, J. A.: Epidemiology of dental caries in relation to pits and fissures, *Br. Dent. J.*, **138**; 345-348, 1975.
- 19) Akpata, E. S.: Pit, fissure and smooth surface caries of first and second permanent molars in urban Nigerians, *Caries Res.*, **15**; 318-323, 1981.
- 20) Bimstein, E., Eidelman, E., Klein, H. and Chosack, A.: Distribution of caries in different tooth surfaces in 7-year-old children, *Caries Res.*, **15**; 324-330, 1981.
- 21) Petersen, P. E. and Steengaard, M.: Dental caries among urban schoolchildren in Madagascar, *Community Dent. Oral Epidemiol.*, **16**; 163-166, 1988.
- 22) Mann, J., Revach, A., Call, R., Arwas, J. and Sgan-Cohen, H.: Prevalence and distribution of caries in a Jerusalem adolescent population by age, sex, and family income, *J. Public Health Dent.*, **49**; 158-162, 1989.
- 23) 吉田 茂, 石井俊文: 歯牙内部の立体的観察—裂溝, 小窩の内部形態と, う蝕診断の実際, *歯界展望*, **31**; 601-605, 1968.
- 24) 須賀昭一, 田熊庄三郎, 佐々木哲: 歯の研究法, 構造と組成, 医歯薬出版, 東京, 1973, 146頁.
- 25) 寺嶋浩義, 唐鎌史行, 長野高志, 殿岡 泰, 小口久雄, 尾崎哲則, 吉田 茂: エナメル質初期蝕蝕における脱灰の定量化に関する研究—画像解析, microradiograph, および偏光顕微鏡観察による比較—, *日大歯学*, **66**; 280-284, 1992.
- 26) Angmar, B., Carlström, D. and Glas, J. E.: Studies on the ultrastructure of dental enamel IV. The mineralization of normal human enamel, *J. Ultrastructure Res.*, **8**; 12-23, 1963.
- 27) Bergman, G. and Lind, P. O.: A quantitative microradiographic study of incipient enamel caries, *J. Dent. Res.*, **45**; 1477-1484, 1966.
- 28) Mortimer, K. V.: The relationship of deciduous enamel structure to dental disease, *Caries Res.*, **4**; 206-223, 1970.
- 29) 寺嶋浩義, 尾崎哲則, 唐鎌史行, 長野高志, 安藤雅子, 岩崎光孝, 梶 純也, 福原輝邦, 林正浩, 三井男也, 大岩利子, 小沢博道: フィッシャーシーラントの窩溝への適応に関する研究, *日大歯学*, **63**; 844-850, 1989.
- 30) Darling, A. I.: Studies of the early lesion of enamel caries with transmitted light, polarised light and radiography Part I, *Br. Dent. J.*, **101**; 289-297, 1956.
- 31) Darling, A. I.: Studies of the early lesion of enamel caries with transmitted light, polarised light and radiography Part II, *Br. Dent. J.*, **101**; 329-341, 1956.
- 32) Darling, A. I.: Studies of the early lesion of enamel caries, *Br. Dent. J.*, **105**; 119-135, 1958.
- 33) Gustafson, G. and Gustafson, A. G.: Human dental enamel in polarized light and contact micro-radiography, *Acta Odontol. Scand.*, **19**; 259-287, 1961.
- 34) Crabb, H. S. M.: Enamel caries, *Br. Dent.*

- J., **121** ; 115-129, 1966.
- 35) Crabb, H. S. M. : Enamel caries, Br. Dent. J., **121** ; 167-174, 1966.
- 36) Wallace, B. J. : The pathways of the early carious process II. Radiologic study, J. Dent. Res., **40** ; 321-326, 1961.