原著論文

鑄造歯冠修復歯の二次齲蝕に関する研究

山口 泰彦

A Study of Secondary Caries in Cast Restored Teeth

Taihiko Yamaguchi

Abstract : The purpose of this study was to investigate the state of the natural secondary caries and in vitro artificial secondary caries, associated with cast restorations cemented with zinc phosphate cement, histopathologically.

For this study, the method of making and staining ground serial sections of teeth with cemented cast restorations was established.

The material consisted of 50 extracted human permanent teeth with cemented cast restorations, and 12 human premolar teeth with in vitro secondary caries produced by the acid-gelatin system (pH 4.0). These specimens were embedded in MMA resin and then they were sliced to serial thin sections. Each section was etched by 0.1N HCl, and stained with methylene blue fuchsin, and then observed with optical microscope, microradiography, and SEM.

The result were as follows :

1. When the margin of restoration was set on dentine (cementum), the typical shape of natural secondary caries was found out.
2. The rate of natural secondary caries in case of margin set on dentine was about four times as many as the rate in case of margin set on enamel.
3. The shape of artificial secondary caries was very similar to the shape of natural secondary caries.
4. The resistance to secondary caries in case of the margin set on enamel was higher than the resistance in case of the margin set on dentine.

Key words : secondary caries, cast restoration, margin, cement, artificial caries

I. 緒 言

近年、歯冠補綴物が鑄造金属によって作られるように

北海道大学歯学部歯科補綴学第2講座(指導:内山洋一教授)

The 2nd Department of Prosthetic Dentistry, Hokkaido University School of Dentistry (Chief Director : Prof. Yoichi Uchiyama)

平成元年4月17日受付

なったことに伴い、適合性や機能性は著しく向上してきたにもかかわらず、歯頸部辺縁から発生する二次齲蝕が臨床上の大きな問題となっている。この歯頸部辺縁から発生する二次齲蝕の原因について追求するためには、修復物に覆われた部分での変化を解明する必要がある、そのためには、実際に二次齲蝕に罹患した支台歯の病理組織学的検索が必要である。ところが、現在まで行われている二次齲蝕に関しての病理組織学的研究は、きわめて少なく、Hals らのアマルガム修復の辺縁ならびに窩壁に

みられる二次齲蝕に関する報告¹⁾、込宮のアマルガム修復窩洞の脱灰形態に関する報告²⁾、田中がバンドクラウンに関し、齲蝕の存在率を調べた研究³⁾、および、村上らが鑄造冠およびバンドクラウンの歯牙頰舌面中央の歯頸部齲蝕の発現率について調べた報告⁴⁾などがあるものの、発生部位と修復物辺縁や合着用セメントの溶解部分との位置的関係および辺縁漏洩と脱灰の関係について精査したものはほとんどない。

また、辺縁が象牙質やセメント質に設定された場合は、エナメル質の場合に比べて早期に、重篤な二次齲蝕が起こっているように思われ、そのことについて、内山、Lang らにより、いくつかの臨床例が報告されているが⁵⁻⁷⁾、これらの判断はあくまで臨床の場合における口腔内診査やX線診査からの推定でしかなく、辺縁部歯質別の二次齲蝕の発現様式や発現率に関して病理組織学的に精査した研究は報告されていない。

以上のように、現在のところ、鑄造歯冠修復歯の二次齲蝕の詳細な動態については依然として、ほとんど明らかにされていない。

そこで、著者は、これらの実態を解明し、二次齲蝕の原因を究明することを目的として、過去において口腔内で鑄造金属によって歯冠修復された後、抜去された歯を対象とし、修復物の装着されたままの状態の連続薄切標本作製して、辺縁部からの齲蝕の発生状況について精査した。

さらに、口腔内での二次齲蝕の発生状況を客観的に判断する手段として、人工的に二次齲蝕を発生させ、その発生状況と口腔内で発生した二次齲蝕の状況とを比較検討した。

これまで、人工二次齲蝕の研究は、保存修復領域のアマルガムやレジン充填について数多く行われており⁸⁻¹²⁾、インレー修復についてもいくつか報告されている¹³⁻¹⁵⁾。しかし、クラウンの歯頸部辺縁に関するものはほとんど報告されていない。そこで、抜去歯に通法に従って鑄造冠を装着した後、Kidd らの用いた乳酸ゲラチン法¹³⁾を応用して人工二次齲蝕を発生させ、樹脂包埋し、鑄造冠が装着されたままの状態の連続薄切標本作製して、検索を行った。

II. 薄切標本の作製法に関して

現在まで鑄造歯冠修復歯の二次齲蝕に関する病理組織学的研究が少なかった理由としては、修復物が装着されたままの状態で連続薄切標本作製することが困難であ

ることがあげられる。しかし、従来、骨などの硬組織の未脱灰標本作製に用いられてきた樹脂包埋薄切法¹⁶⁻¹⁹⁾を応用すれば、金属と合着用セメントを含んだまま歯の薄切標本作製することは可能であり、これまで歯科領域でも応用されている。そのような方法を用い、村上ら⁴⁾や井上²⁰⁾、松井²¹⁾らは歯冠修復物が装着されたままの状態歯周組織を含んだ歯牙の薄切標本作製し、歯冠修復物辺縁が、歯周組織に及ぼす影響について検索している。また、樹脂包埋した歯牙の染色性に関して、島村らは正常歯牙の染色性をメチレンブルー・フクシン染色の場合について報告しており²²⁾、大串はフクシン染色やマロリー・アザン染色によって齲蝕部分の判別を行っている²³⁾。しかし、樹脂包埋時に樹脂が象牙細管などの歯牙内部へ完全に浸透しているとすれば、その部分の染色性は変化する可能性があり、特に、齲蝕部分のように無機成分が少なくなっている部位では樹脂の浸透は起こり易く、それに伴い染色性が低下する可能性は大きいと思われる。このことを確認するためには、浸透した樹脂を標本より除去し、再度染色して比較する必要がある。しかし、従来の研究では包埋にポリエステル系樹脂を用いているものが主であり、薄切後、脱樹脂を行うことはできず、同じ切片の脱樹脂前後での染色性の変化に関して調べていない。そのため、齲蝕部分も含めて、歯牙の染色性に対する樹脂包埋の影響は考慮されておらず、樹脂包埋標本を用いて齲蝕の判別を行って良いかどうかは厳密に言えば明らかではなかったといえる。

著者は二次齲蝕の精査を樹脂包埋薄切法を応用して行ったが、その際、樹脂包埋の影響により、齲蝕部分の染色性が変化して齲蝕領域の判別を誤るという危険性をなくすため、樹脂包埋の有無による標本の染色性の変化を確認できるように、薄切後有機溶媒で溶解可能なメタクリル酸メチル樹脂（以下、MMA と略す）²⁴⁾を用いて以下のように標本の作製を行った。

試料は10%ホルマリンにて固定後、漸強アセトン列にて脱水した後、アセトンを過酸化ベンゾイルを1%の割合で加えたMMAに置換し、作製しておいたMMA半重合体を半量の割合で加え、45°C 2日、60°C 1日で重合を完了させた。

樹脂包埋ブロックの薄切に際し、連続薄切を行えば、今まで知られていなかった修復物に覆われた支台歯内部での齲蝕の三次元的拡がりの把握や、同一歯面内の各部位での齲蝕に対する抵抗性の違いの確認などの、単に歯を二分割してその断面を見るのとは異なった多くの情報を得ることが可能になると考え、硬組織薄切機（マルト

図1 薄切後の連続標本の1例

歯牙の各部位での断面を同時に観察することが可能であり、このような標本の使用により支台歯内部に発生する齲蝕の状態を立体的に把握することが容易となる

ースライサー MC 501 D) を用い、直径 100 mm、厚さ 300 μm のダイヤモンドディスクを装着して、回転数 1,800~2,000 rpm、切り込み速度 2~2.5 mm/min の条件で、注水下にて薄片の厚さ約 250 μm で連続薄切を行った。

図1に以上のような薄切方法で作製した連続薄片の1例を示す。

III. 観察法決定のための予備実験

樹脂包埋により、染色性に变化が出る可能性があるため、樹脂包埋標本上での齲蝕の判別法については、以下のような予備実験を行い、決定した。

1. 方法

1) 象牙質齲蝕の存在する同一切片に対し、以下の4操作を行い、それぞれを比較し、染色域と脱灰域の関係を調べた。

① メチレンブルー・フクシン染色(エッチングなし): 耐水研磨紙(最終粗さ: 3 μm)にて研磨後、標本の片面のみを0.1% 塩基性フクシン 20秒間、1% メチレンブルー 30秒間の重染色を行った。

② エッチング後メチレンブルー・フクシン染色: ①と同一面を0.1N 塩酸にて15秒間エッチングした後、①と同様のメチレンブルー・フクシン重染色を行った、また、染色面には2本の金属針を固定し、③のマイクロラジオグラムと比較する際の指標とした。

③ マイクロラジオグラム: 厚さ約 90 μm になるまで染色面の反対面を研磨後、Softex 社製 contact mi-

図4 図2, 3と同一切片のマイクロラジオグラム

X線透過性により、約2層の脱灰領域が存在し、図3のa層、b層と類似した領域を示している

M: 修復物(金属) m: 金属針の指標

cro-radiography CMR 型を用いてマイクロラジオグラムの撮影を行った。

④ 脱樹脂後メチレンブルー・フクシン染色: 同標本の染色面を染色部がなくなるまで研磨後、MMA モノマーに6日、アセトンに1日浸漬して脱樹脂を行った後、②と同様にエッチング後のメチレンブルー・フクシン重染色を行った。

2) 脱樹脂前後で染色性が特に変化した部位については、別の試料の同様の部分を SEM で観察した。すなわち、隣り合わせた3枚の標本に、i) 包埋のまま、ii) 0.1N 塩酸にて15秒間エッチング、iii) MMA モノマーで脱樹脂、の3条件を付与し、日立社製走査型電子顕微鏡 X-650 を用いて観察を行った。

2. 結果、考察

エッチングなしの場合、齲蝕による着色は一部にみられるものの、全体的に染色はほとんどされず、齲蝕領域が不明瞭なのに対し(図2)、エッチング後のものは表層の無染色層(以下a層と略す)、そのまわりの濃染色層(以下b層と略す)、そのまわりの正常領域と思われる淡染色層(以下c層と略す)に判別可能であった(図3)。同標本のマイクロラジオグラムでは、X線透過性により約2層の脱灰領域が存在し、a層、b層と類似した領域を示していた(図4)。そこで図の下方の2つの金属針の指標により重ね合わせを行った(図5)。この図より、b層まで脱灰が起きており、a層付近では脱灰が特に強いことが判明した。また、脱樹脂後、染色を行った場合(図6)では、a層が逆に濃染しており、a層のような強度の脱灰部分に特に強く樹脂包埋の影響が及び染色性に变化の出

(1) (2) (3)

図 7 エッチング後メチレンブルーフクシン染色した場合に見られる無染色層 (a 層) の SEM 像

- (1) 樹脂包埋標本：象牙細管は封鎖されている
 (2) 0.1 N HCl にて 15 秒間エッチング後の樹脂包埋標本：象牙細管内の物質は酸によっても溶出していない
 (3) 脱樹脂後の標本：象牙細管を封鎖していた物質は MMA モノマーにより溶出し細管は開いている

ることが判明した。さらに、そのような部分の SEM 像から、包埋時には象牙細管が酸により溶解しない物質により封鎖されているのがわかり (図 7-(1), (2)), しかし、脱樹脂後では細管が完全に開いていることから (図 7-(3)), 包埋時の細管内の物質が MMA と推察された。以上から、包埋時にこの部分まで MMA が強度に浸透し、そのために染色性が低下したものと推察された。

以上の予備実験から、強度の脱灰部分での樹脂浸透による、無染色層の存在を考慮に入れ、淡染色部は正常域であり、強染色部および、逆の無染色部が脱灰域であることを理解しておけば、樹脂包埋のままで 0.1 N 塩酸による 15 秒間エッチング後のメチレンブルーフクシン染色により、齲蝕の判別を十分に行えることがわかり、以下の判別は主にこの染色法を用いて光顕にて行った。また、エナメル質に関しては、基本的には同様の染色後、光顕にて観察を行ったが、必要に応じてマイクロラジオグラムも用いた。

IV. 実験 1：鑄造歯冠修復された抜去歯の観察

1. 試料

被験歯としては、着合材としてリン酸亜鉛セメントを用いたとみなされる鑄造歯冠修復された抜去歯 50 本を用いた (表 1, 2)。

表 1 被験歯の種類

	前歯	小臼歯	大臼歯
上顎	5	8	9
下顎	2	15	11

(有髄歯 15, 無髄歯 35)

表 2 修復物の種類

	被験歯数
鑄造冠	36
前装冠	3
3/4冠	2
アンレー	3
インレー	6
計	50

2. 方法

前述の樹脂包埋薄切法にて、これらの 50 歯のうち 27 歯を近遠心方向、23 歯を頬舌方向に薄切し、連続薄切標本作製し、その結果得られた 602 辺縁部に関して、前述の観察法を用いて、精査した。

なお、長さの測定に関しては光顕の接眼マイクロメーターにて 10 μm 単位で行った。

3. 二次齲蝕の判定基準

二次齲蝕には修復物辺縁から新たに齲蝕が発生するも

図 8 辺縁部歯質と合着用セメントの位置による分類

のと、支台歯に罹患歯質が取り残され、その部分から齲蝕が再発するものがあると考えられる。今回はこのうち辺縁部にみられる二次齲蝕を観察対象とした。すなわち、修復物の辺縁付近歯質で、以下に示すいずれかの部分に観察される齲蝕を本研究では二次齲蝕として扱うこととした。

- ① 支台歯形成面の辺縁部
- ② 合着用セメントにより被覆された歯面の辺縁部
- ③ 修復物（金属）に覆われた歯面の境界部

4. 辺縁部歯質別の分類に関して

同一歯面内でも辺縁部歯質の違いにより、二次齲蝕に対する抵抗性に差がみられるものがあつたため、薄切標本上の1辺縁を1単位とする、合計602辺縁について以下のようにタイプ別に分類した（図8に形態の模式図を示す）。

- A. エナメル質 under-type：形成面辺縁部歯質はエナメル質で、支台歯形成面の一部が露出しているタイプ
- B. エナメル質 over-type：辺縁部歯質はエナメル質で、支台歯形成面はすべて合着用セメントで覆われているタイプ
- C. エナメル質+象牙質 under-type：形成面の辺縁はエナメル質だが、支台歯形成面の象牙質の部分まで露出しているタイプ
- D. 象牙質 under-type：辺縁部歯質は象牙質またはセメント質で、支台歯形成面の一部が露出しているタイプ
- E. 象牙質 over-type：辺縁部歯質は象牙質またはセメント質だが、支台歯形成面はすべて合着用セメントで覆われているタイプ

5. 結 果

1) 辺縁部二次齲蝕の例

① 象牙質に辺縁が設定された場合：図9は辺縁が象牙質の場合にみられた齲蝕形態の代表例である。合着用セメントが溶出、または半溶解し着色している部分と一致して、その部分の露出した支台歯形成面では深層にまで及ぶ重篤な齲蝕がみられ、また、それに隣接する合着用セメントが残存し、それにより被覆された部分の象牙質では、辺縁漏洩によると思われる表層病変がみられる。このような様式が多くみられた（発現率は後述）。

② エナメル質に辺縁が設定された場合：合着用セメントの溶出部と一致して、齲蝕がみられるが、合着用セメント被覆部では特に変化はみられない（図10）。辺縁部がエナメル質の場合は、このほか、露出した形成面の一部にしか齲蝕がみられない場合など、様々な型があり、全体的に辺縁部の齲蝕が少ないこともあつたため代表例の特定は不可能であつた。

2) 適合性について

辺縁部を設定した歯質の種類別による修復物の適合性の評価は、合着用セメントの幅、および、形成面の露出量（A, C, D の under-type の場合）または、形成面を超えたセメントで覆われている範囲（以下セメント over 量と略す）（B, E の over-type の場合）を比較することにより行った（図11）。その結果、合着用セメントの幅に関してはAのエナメル質 under-type が最も小さい値を示し、Eの象牙質 over-type が最も大きな値を示した（表3）。また、形成面からの合着用セメントの under 量、over 量に関しては、under-type でも over-type でも辺縁がエナメル質の場合の方が辺縁が象牙質の場合や、C-type の辺縁がエナメル質でも象牙質まで露出してい

図 11 適合性測定部位の説明図

表 3 辺縁部歯質別適合度

辺縁部歯質 Type	辺縁数	セメント幅径 (μm)	形成面露出量 (-) セメント over 量 (+) (μm)
A. エナメル質 under-type	136	116	-241
B. エナメル質 over-type	113	177	+351
C. エナメル質+象牙質 under-type	18	189	-638
D. 象牙質 under-type	190	167	-549
E. 象牙質 over-type	145	241	+433
計	602		

表 4 辺縁部二次蝕蝕発現率および二次蝕蝕深度

辺縁部歯質 Type	辺縁数	二次蝕蝕 (+) の辺縁数	二次蝕蝕発現率 (%)	二次蝕蝕深度 (平均) (μm)
A. エナメル質 under-Type	136	27	19.9	229
B. エナメル質 over-Type	113	7	6.2	231
C. エナメル質+象牙質 under-Type	18	14	77.8	630
D. 象牙質 under-Type	190	125	65.8	544
E. 象牙質 over-Type	145	55	37.9	165
計	602			

表 5 二次齲蝕発現率 (セメント幅径別)

セメント幅径 (μm)	二次齲蝕発現率 (%)				
	A. エナメル質 under-type	B. エナメル質 over-type	C. エナメル質+象牙質 under-type	D. 象牙質 under-type	E. 象牙質 over-type
0~ 50	26.1	4.2	—	63.6	25.0
60~100	23.7	4.2	66.7	63.8	50.0
110~150	16.7	0	100.0	64.7	47.1
160~200	18.8	0	100.0	50.0	38.9
210~250	0	33.2	66.7	79.3	25.0
260~300	0	8.3	0	78.9	64.3
310~350	0	0	100.0	44.4	30.0
360~400	0	16.7	—	100.0	50.0
410~	0	0	—	66.7	26.9
平均	19.9	6.2	77.8	65.8	37.9

表 6 二次齲蝕発現率 (形成面露出量, セメント over 量別)

形成面露出量* セメント over 量** (μm)	二次齲蝕発現率 (%)				
	A. エナメル質 under-type	B. エナメル質 over-type	C. エナメル質+象牙質 under-type	D. 象牙質 under-type	E. 象牙質 over-type
0~ 100	8.3	11.8	—	59.0	28.6
110~ 200	23.3	0	100.0	64.3	36.8
210~ 300	26.1	9.1	0	73.3	80.0
310~ 400	23.1	0	66.7	73.7	36.4
410~ 500	44.4	0	66.7	80.0	50.0
510~ 600	20.0	0	100.0	63.6	44.4
610~ 700	50.0	0	100.0	60.0	20.0
710~ 800	50.0	0	100.0	69.2	0
810~ 900	0	0	100.0	83.3	33.3
910~1,000	0	0	—	77.8	0
1,010~	0	0	100.0	52.0	45.5
平均	19.9	6.2	77.8	65.8	37.9

* 形成面露出量: A, C, D-type の場合

** セメント over 量: B, E-type の場合

る場合より小さい値を示した (表 3). 以上のように, 適合性に関しては, 辺縁がエナメル質の場合の方が良い結果が示された.

3) 二次齲蝕発現率

二次齲蝕の発現率 (表 4) は A のエナメル質 under-type で 19.9%, B のエナメル質 over-type が 6.2%, C のエナメル質+象牙質 under-type が 77.8%, D の象牙質 under-type が 65.8%, E の象牙質 over-type が 37.9% となっており, 辺縁が象牙質に設定された場合や辺縁がエナメル質でも一部象牙質が露出した場合に比べ, エナメル質に辺縁が設定された場合の方が二次齲蝕の発現率は著明に低かった. また, C, D, E-type の二次齲蝕のうち図 9 の例と同様の象牙質二次齲蝕形態を示し

たものは 61.3% であった.

4) 適合度別二次齲蝕発現率

また, 以上の二次齲蝕発現率を適合度別に分類し, 同程度の適合度間で A~E type の二次齲蝕発現率を比較した結果, 上記の 3) の結果と同様の傾向を示した (表 5, 6).

5) 二次齲蝕の深さ

二次齲蝕の深さもやはり, C-type や D-type の象牙質形成面が露出した場合に大きな値を示したが, 辺縁が象牙質の場合でも E の象牙質 over-type では辺縁がエナメル質の場合より小さい値を示した (表 4).

図 12 人工二次齲蝕（辺縁が象牙質に設定されている場合）のマイクロラジオグラム

クラウン外部からクラウン内部の合着用セメント溶出部まで全域にわたって大きな脱灰像がみられる
M: 修復物（金属） D: 象牙質

V. 実験 2: 人工二次齲蝕に関する検索

1. 試 料

試料としてヒト下顎小白歯の健全抜去歯を用いた。

2. 方 法

1) 乳酸ゲラチン (pH 4) による人工二次齲蝕作製法
辺縁形態をシャンファー type でクラウンの支台歯形成を行った後、通法にしたがい、間接法にて銀合金 (GC 社製, ミロ 3) を用いてクラウンを作製しリン酸亜鉛セメント (GC 社製, エリートセメント 100) にて合着した。セメント硬化後, 37°C 蒸留水中に保存し, 24 時間後に 4°C 1 分, 60°C 1 分のサーマルサイクルを 200 回負荷した。その後, 歯頸部歯質をクラウン辺縁から約 1 mm の部分を除いてネイルエナメルで封鎖し, 37°C 10% ゲラチン含有の pH 4, 0.1 M 乳酸ゲラチンに 2 週間浸漬し, 辺縁がエナメル質の場合の 6 歯 10 歯面と辺縁が象牙質 (セメント質) の場合の 6 歯 10 歯面の実験群を作製した。

2) コントロール群

辺縁が象牙質の場合の 7 歯, 辺縁がエナメル質の場合の 2 歯について, 実験群と同様にクラウンをセメント合着した後, 同様のサーマルサイクルを負荷し, 2 週間,

図 14 図 13 の矢印の直線に沿った部分の X 線マイクロアナライザーによる Ca 濃度の線分析結果

表層約 20 μm の幅で Ca 濃度の低下がみられる
(図 12 の矢印の直線と中央の直線が一致する)
D: 象牙質 ZPC: リン酸亜鉛セメント

蒸留水中に保存し, コントロール群とした。

3) 観察方法

以上のようにして作製した人工二次齲蝕の試料から実験 1 と同様, 樹脂包埋薄切標本を作製し, 以下のように観察した。

① メチレンブルーフクシン染色: 実験 1 と同様のエッチング後染色を行い光顕にて観察した。

② マイクロラジオグラム: 厚さ約 90 μm まで研磨後, 実験 1 と同様に行った。

③ X 線マイクロアナライザー: 脱灰の有無はマイクロラジオグラムのほか, X 線マイクロアナライザー (日立社製, RS 200) を用い, CaKα 線による Ca 濃度線分析によっても確認した。

3. 結 果

1) 辺縁が象牙質の場合について

象牙質に辺縁を設定した場合のマイクロラジオグラムでは, ネイルエナメルで覆われていないクラウン外部からクラウン内部の合着用セメント溶出部分まで全域にわたって深部にまで及ぶ大きな脱灰像がみられた (図 12)。また, 同部の染色光顕拡大像 (図 13) では, 合着用セメント溶出部に一致する大きな脱灰像に続いて, 合着用セメントが残存している部分でも表層染色層がみられた。さらに, 図 13 の矢印の直線に沿った X 線マイクロアナ

図 16 図 15 と同一標本のマイクロラジオグラム

クラウン外部に比較的浅い脱灰像がみられる
M: 修復物(金属) E: エナメル質 D: 象牙質

イザーによる Ca 濃度の線分析では(図 14), 合着用セメントに接する部分から染色層の幅とほぼ一致する約 20 μm の幅で Ca 濃度の低下がみられ, この部分でも染色域と脱灰域がほぼ一致していることが判明し, このことから, 辺縁付近の合着用セメント被覆部分でも辺縁漏洩による脱灰がおきていることが示唆された。

2) 辺縁がエナメル質の場合について

辺縁がエナメル質の場合, クラウン外部に象牙質の場合より比較的浅い脱灰像がみられたが, クラウン内部領域では合着用セメント被覆部は, もちろん合着用セメントが溶出して, 形成面が露出した部位においても辺縁付近の一部を除いて特に変化はみられなかった(図 15, 16). さらに図 15 の矢印の直線に沿った部分についての X 線マイクロアナライザーによる Ca 濃度線分析でも Ca 濃度に変化はみられず(図 17), 露出形成面においても辺縁付近の一部を除いて特に脱灰は確認できなかった。

3) 以上のように人工二次齲蝕の脱灰形態については, 辺縁がエナメル質の場合と象牙質の場合とは, クラウン内部の合着用セメント溶出域と辺縁漏洩部において特に著明な差がみられた。

VI. 考 察

1. 標本作製法および観察法について

今回は樹脂包埋が染色性に及ぼす影響をみるために,

図 17 図 15 の矢印の直線に沿った部分の X 線マイクロアナライザーによる Ca 濃度線分析の結果(中央の直線と図 15 の矢印の直線が一致する)

合着用セメントが溶出して露出した形成面においても Ca 濃度の低下はみられない
ZPC: リン酸亜鉛セメント

包埋樹脂として, 脱樹脂が可能な MMA を用いた。

その結果, この MMA を用いた包埋標本の象牙質の強度の脱灰部分では, エッチングの有無に拘わらずほとんど染色性を示さなかった。しかし, 過去の, 包埋樹脂にポリエステル系樹脂を用いた研究^{22, 23)}では, 脱樹脂を行っていないため無包埋の場合の染色性とは比較していないものの, 脱灰域でも樹脂包埋のままで, 染色性が存在すると報告されている。この差はおそらく, 使用した樹脂の浸透性の違いによるものと考えられる。MMA の場合, 今回の SEM 像で脱灰部分では象牙細管を完全にふさぐほど, 著明に樹脂が浸透していたことからわかるように標本への浸透性はかなり高いと考えられるのに対し, ポリエステル系樹脂は, 包埋時にスチレンモノマーを伸介剤として用いなければならないことからわかるように, 歯牙への浸透性は悪い。そのため, ポリエステル系樹脂を用いた場合, 樹脂包埋のままだでも齲蝕部分で染色性が存在したと考えられる。

2. 二次齲蝕の典型的形態について

象牙質に辺縁が設定された場合, 実験 1 において示したように, 深層にまで及ぶ大きな病変とそれに続く表層病変からなる齲蝕形態が非常に多くみられ, 象牙質二次齲蝕中の 61.3% を占めたこと, および実験 2 の人工二次齲蝕においても, ほぼ同様の形態がみられたことから,

このような齲蝕形態を辺縁が象牙質の場合の二次齲蝕の典型的形態とみなしてよいと思われる。

また、このことから特に辺縁が象牙質の場合は、合着用セメントの溶解や辺縁漏洩が二次齲蝕の発生に影響を及ぼすことが判明した。

辺縁がエナメル質の場合には、様々な要因により齲蝕形態は変化するらしく、実験1からは典型的形態は推察できなかったが、人工二次齲蝕の結果から、クラウン内部と外部では齲蝕抵抗性に大きな差のあることが判明した。

3. 適合性について

適合性に関しては辺縁がエナメル質に設定された場合の方が優れていたのは、臨床の見地から、辺縁が象牙質の場合は、印象採得や試適時に適合性の確認の困難な歯肉縁下に辺縁が設定される場合が多いためと思われる。

4. 二次齲蝕の発現率について

二次齲蝕の発生に関しては、実験1の二次齲蝕の標本例や統計結果および人工二次齲蝕の結果から、エナメル質に辺縁が設定された場合の方が二次齲蝕に対する抵抗性が高いことが判明した。その理由としては、適合性に関する統計結果が示すように、辺縁がエナメル質の場合のほうが適合性が良かった点も、一要因かもしれないが、適合性がある程度等しいグループ間での比較でも(表5, 6)、辺縁がエナメル質の場合の方が二次齲蝕の発現率は小さく、単に適合性の問題ではなく、歯質の齲蝕抵抗性の差による影響の方が大であると思われる。

二次齲蝕の大きさに関しては、under-type の場合は辺縁が象牙質の場合の方が著明に大きく、この理由は、二次齲蝕発現率の差の理由と同様のことが考えられる。また、over-type の場合は、二次齲蝕発現率は辺縁が象牙質の場合の方が著明に高いのに対し、大きさは逆に小さい値を示しており、over-type で辺縁が象牙質の場合は比較的小さい齲蝕が多数みられるという形となっているが、このことは、以下の理由によると思われる。すなわち、前述のように、象牙質齲蝕の場合、合着用セメントで被覆されている部分でも表層の齲蝕がみられる場合が多い。象牙質 over-type の場合は合着用セメントまたは歯肉により歯質が覆われている場合が多いと思われるため、深部までの齲蝕が少なく、大きさの平均値も小さい値を示したと推察される。しかし、たとえ、歯質が被覆されていても、象牙質の場合は辺縁漏洩による病変は存在しやすいため、二次齲蝕の発現率は著明に大きな値を示したと思われる。

今回の二次齲蝕の発現率を、今まで報告されたものと比較すると①総山²⁵⁾、Valderhaug²⁶⁾などの臨床上の口腔内診査による統計では今回の結果より小さい値のものが多く、その理由としては、インレーなどの辺縁がエナメル質の場合が多い修復物に関して観察したものが多い点、および口腔内診査のため支台歯内部の潜在性の二次齲蝕は発見し難い点などが考えられる。②病理組織学的に観察した統計^{3,4)}では、今回の値に近いものがみられるが、その場合でも、辺縁部歯質別の二次齲蝕発現率は調べていないため、今回の結果との正確な比較はできなかった。

5. 人工二次齲蝕について

鑄造歯冠修復歯の人工二次齲蝕の研究は Kidd and Mclean¹³⁾、Grieve ら¹⁴⁾、紫谷ら¹⁵⁾などのインレーに関するものがいくつか報告されているが、やはり、樹脂包埋薄切法を用いていないため標本作製中に金属や合着用セメントが脱離してしまい、合着用セメント溶出域と脱灰域との関連や、辺縁漏洩による脱灰については、不明であった。今回の実験では、鑄造歯冠修復物や合着用セメントがそのままの状態を観察できたため人工二次齲蝕においても今まで不明だったこれらの点が解明できた。また、実験1のような実際の口腔内での二次齲蝕の典型形態と比較した結果、特に象牙質において類似した形態が示され、この方法は実際の口腔内の状態に近似した状況を設定するのに今後も有効な方法と思われる。

また、同時に辺縁部歯質別の二次齲蝕に対する抵抗性を比較することもできた。クラウン外部の脱灰像に関してはエナメル質、象牙質いずれの場合にもみられたが、エナメル質の方が耐酸性が強いため、比較的浅層までの脱灰で済んだものと思われる。クラウン内部の合着用セメント溶出域で、辺縁がエナメル質の場合はほとんど変化がなく、象牙質の場合だけにクラウン外部とほぼ同程度の脱灰がみられたのは興味深いことであるが、この原因は以下のようなものと思われる。つまり、合着用セメント溶出後の幅30~80 μ mの微小空隙では合着用セメント(リン酸亜鉛セメント)の溶解²⁷⁾、および一部の歯質表層の微小脱灰によりグラチン中の酸の中和反応が起こり、しかもこのような微小空隙ではクラウン外部からの酸の供給が十分に行われないうため、pHが上昇していると考えられる。今回はこの部分でのpHは測定していないが、象牙質の場合、このような上昇したpHの場合でも、pH4の場合でも脱灰程度は変わらないのに対し、エナメル質ではこのようなpHの変化で著明に脱灰程度に差が出

るためと思われる。このことは、辺縁漏洩部の表層脱灰の有無に関してもあてはまると思われる。また、今回は同一の乳酸グラチンに浸漬し続ける方法をとったが、リン酸亜鉛セメントの溶解は、循環する新鮮な酸溶液に接し続けるほうが速やかに進行するとされており²⁸⁾、本実験にそのような条件を付与したとすれば、クラウン内部の象牙質の脱灰はさらに進行したと思われる。臨床において鑄造冠などの辺縁が歯肉に覆われている場合に比較して、歯肉縁上に露出した場合に二次齲蝕が発生し易い傾向がみられるのもこのような点が原因かと推測される。

以上のように、合着材としてリン酸亜鉛セメントを用いた場合、人工二次齲蝕においても、辺縁部がエナメル質の場合の方が人工二次齲蝕に対する抵抗性は高く、実験 1 の抜去歯の場合と同様の結果が出て、実験 1 の推察の証明にもなったと思われる。

また、クラウンに覆われている内面の歯質は、いったん修復物が装着されると、もはや、患者自身では管理できない部分であり、しかも、齲蝕が発生しても発見が困難な部分であるため、二次齲蝕の本質的な部分といって良いと思われるが、特に、このクラウンの内面の部分においてエナメル質と象牙質の二次齲蝕に対する抵抗性の差が著明だったことが、辺縁が象牙質の場合において重篤な二次齲蝕が多くみられることの原因の 1 つと考えられる。

辺縁漏洩に関しては従来、色素浸入度試験などで調べられてきたが²⁹⁾、そのほとんどが、あくまでも漏洩の有無を調べるためのものであり、辺縁漏洩が歯牙に実際にはどのように影響するのかについては、ほとんど解明されていないといって良い。リン酸亜鉛セメントを合着材として用いた場合には、斎藤らの研究³⁰⁾からも明らかにエナメル質でも象牙質でも辺縁漏洩は存在するはずであるが、今回の実験では、象牙質の場合にだけその影響が表層約 20 μm の脱灰となって現れ、エナメル質では特に、確認できなかった。このことから辺縁漏洩が歯質の脱灰に及ぼす影響を調べるためには、単なる色素浸入試験よりも今回のような実験の方が有効であると思われる。

6. 鑄造歯冠修復歯の二次齲蝕の発生要因とその防止法

今回の研究から、合着用セメントの溶解、辺縁漏洩はもちろん、辺縁部が設定された歯質の種類も二次齲蝕の有無に大きな影響を及ぼすことがわかり、支台歯形成の上でエナメル質は可及的に保存し、辺縁をエナメル質部分に設定することは二次齲蝕の発生を防止するために重

要なことと思われた。また、辺縁が象牙質の場合の二次齲蝕をなくすためには、合着材の溶解や辺縁漏洩を防ぐことが重要であることが再認識され、あらためて適応範囲が広い不溶性の合着材の開発や、象牙質と合着材との接着性の向上や一体化が必要であることが確認できた。また、同時に象牙質にエナメル質のような齲蝕抵抗性を持たせるための、象牙質表層歯質の強化法の検討も重要であることが示唆された。

VII. 結 論

臨床上前問題になっている合着材として、リン酸亜鉛セメントを用いた鑄造歯冠修復歯の二次齲蝕を病理組織学的に検索し解明する目的で、鑄造歯冠修復された抜去歯を MMA 樹脂包埋し、修復物が装着されたままの状態です連続薄切標本を作製した。その際、MMA 樹脂包埋により齲蝕部分の染色性に変化がみられたが、0.1 N HCl によるエッチング後のメチレンブルー・フクシン染色により齲蝕による脱灰部分の判別は可能となった。この樹脂包埋のまま齲蝕を染色判別する方法の確立により、支台歯内部での齲蝕の三次元的把握、齲蝕発生部位の精査を可能とした。

さらに、この薄切法および染色法を用いて、合着材としてリン酸亜鉛セメントが用いられた鑄造歯冠修復歯について口腔内で発生した二次齲蝕および *in vitro* での人工二次齲蝕に関し精査した結果、以下の結論を得た。

1. 口腔内で発生した二次齲蝕および人工二次齲蝕より、辺縁が象牙質の場合、象牙質が露出している部分の深部にまで及ぶ大きな病変とそれに続く合着用セメント被覆部分での辺縁漏洩により起きたと思われる表層病変とからなる形態が二次齲蝕の典型的形態と判明した。また、辺縁がエナメル質の場合は主にクラウン外部と内部での齲蝕抵抗性の差がみられた。

2. 鑄造金属により歯冠修復された抜去歯における二次齲蝕発現率は辺縁が象牙質に設定された場合が、エナメル質に設定された場合の約 4 倍、二次齲蝕の大きさ(深さ)は象牙質の場合がエナメル質の場合の約 2 倍であった。

3. 人工二次齲蝕の場合でも辺縁が象牙質の場合より、辺縁がエナメル質の場合の方が脱灰に対する抵抗性は高く、特にクラウン内部においてその差は著明であった。

4. また、今回の人工二次齲蝕形態は口腔内で発生した二次齲蝕の典型的形態と非常に類似しており、今回の

方法は実際の口腔内における二次齲蝕の発生状況に近似した状態を設定するのに有効な方法と思われた。

5. 以上のことから、鑄造歯冠修復物は辺縁をエナメル質に設定した方が二次齲蝕に対する抵抗性が高いことおよび辺縁が象牙質の場合には特に合着用セメントの溶解や辺縁漏洩が二次齲蝕の発生に大きな影響を及ぼすことが判明した。

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導ご校閲を賜りました内山洋一教授に深く感謝の意を捧げますとともに、本研究の遂行にひとかたならぬご教示とご助言を頂きました本学口腔解剖学第2講座臨田 稔教授に深謝致します。また元素分析に関し協力頂いた東日本学園大学電子顕微鏡室伊藤亜男技官に厚くお礼申し上げます。さらに種々ご援助下さいました歯科補綴学第2講座ならびに口腔解剖学第2講座の教室員諸兄にお礼申し上げます。

文 献

- 1) Hals, E., Hoyer, B. and Bie, T.: Histopathology of Natural Caries around Silver Amalgam Fillings, *Caries Res*, 8: 343~358, 1974.
- 2) 込宮 恒: 二次齲蝕の病態に関する基礎的研究, *日 歯 保 誌*, 29: 1~25, 1986.
- 3) 田中英夫: 金属冠, 主にサンブラ冠装着歯の病理学的研究—とくにその適合度, 歯石沈着および第2次齲蝕について—, *歯科医学*, 25: 513~546, 1962.
- 4) 村上繁樹, 内田康也, 浦郷篤史: 歯冠補綴物が歯牙・歯周組織に及ぼす影響について, *補綴誌*, 22: 650~663, 1978.
- 5) 内山洋一: クラウン・ブリッジにおける二次齲蝕, *歯科ジャーナル*, 14: 59~65, 1981.
- 6) 内山洋一: 支台歯の予後考えた時, エナメル・マージンと歯質削除の少ない支台歯形成は有効である, *the Quintessence*, 3: 1439~1448, 1984.
- 7) Lang, N.P.: ウ蝕および歯周疾患の予防を考慮した修復物辺縁の位置について (I), *Quintessence International*, 9: 59~69, 1979.
- 8) Hals, E. and Nernaes, A.: Histopathology of in vitro Caries Developing around Silver Amalgam, *Caries Res*, 5: 58~77, 1971.
- 9) Hals, E. and Leth Simonsen, T.: Histopathology of Experimental in vivo Caries Around Silver Amalgam Fillings, *Caries Res*, 6: 16~33, 1972.
- 10) 谷崎幸司: タンニン・フッ化化合物合剤による二次齲蝕の抑制に関する基礎的研究, *日 歯 保 誌*, 21: 279~296, 1978.
- 11) 井上 清, 竹村金造, 土谷裕彦: 二次ウ蝕に関する実験的研究Ⅱ. 二次ウ蝕研究のための人工ウ蝕作成法について, *日 歯 保 誌*, 12: 19~25, 1969.
- 12) Grieve, A.R. and Glyn Jones, J.C.: An in vitro study of marginal leakage associated with composite restoration using an acidified agar technique, *J Oral Rehabil*, 7: 215~223, 1980.
- 13) Kidd, E.A.M. and Mclean, J.W.: The Cavity Sealing Ability of Cemented Cast Gold Restorations, *Br Dent J*, 147: 39~41, 1979.
- 14) Grieve, A.R. and Glyn Jones, J.C.: Marginal leakage associated with four inlay cementing materials, *Br Dent J*, 151: 331~334, 1981.
- 15) 紫谷貴子, 前田まほ, 菅原恭子ほか: 接着性レジンセメントの辺縁封鎖性, *日 歯 保 誌*, 27: 924~930, 1984.
- 16) 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, *解剖学雑誌*, 38: 124~128, 1963.
- 17) Huber, J.D., Frank, P. and Odland, G.F.: A basic fuchsin and alkalized methylene blue rapid stain for epoxy-embedded tissue, *Stain Techn*, 43: 83~87, 1968.
- 18) Trump, B.F., Smuckler, E.A. and Benditt, E.P.: A method for staining epoxy sections for light microscopy, *J Ultrastruct Res*, 5: 343~348, 1961.
- 19) 片桐正隆: 研磨片の作製法, 須賀昭一ほか編, 歯の研究法—構造と組成—, 第1版, 42~54, 医歯薬出版, 東京, 1973.
- 20) 井上昌幸, 小木曾誠, 川島泰三ほか: 辺縁歯周疾患における歯冠補綴物の原因性に関する研究 第1報 歯冠補綴物ならびに歯牙, 周囲組織を含めた組織標本作成に関する検討, *補綴誌*, 20: 689~693, 1977.
- 21) 松井裕子: 鑄造冠辺縁が歯周組織に及ぼす影響, *補綴誌*, 21: 207~217, 1981.
- 22) 島村昭辰, 藤 英俊, 内田康也: 硬物質薄切装置による歯とその周囲組織の非脱灰的切片調整法, *歯 基 礎 誌*, 13: 62~69, 1971.
- 23) 大串貢太郎: ウ蝕象牙質2層のコラーゲン線維の性状, 第1報 組織化学的観察, *口病誌*, 40: 65~74, 1973.
- 24) 串田 弘: 超薄切片法, 第1版, 63~86, 文光堂, 東京, 1971.
- 25) 総山孝雄: 鑄造修復, 第5版, 8~15, 永末書店, 京都, 1979.
- 26) Valderhaug, J.: Periodontal conditions and carious lesions following insertion of fixed prostheses: a 10-years follow-up study, *Int Dent J*, 30: 296~304, 1980.
- 27) Phillips, R.W.: スキンナー 歯科材料科学, 下巻, 7th ed., 439~467, 医歯薬出版, 東京, 1978.
- 28) 安藤正明: 合着用セメントの有機酸による溶解性について, *補綴誌*, 32: 203~217, 1988.
- 29) Kidd, E.A.M.: Microleakage; a review, *J Dent*, 4: 199~206, 1976.
- 30) 斎藤 望, 鎌田 誠, 小林國彦ほか: 接着性レジンの保持力に関する検討—クラウン形態について—, *北海道歯科医師会誌*, 40: 176~182, 1985.

図2 メチレンブルーフクシン染色（エッチングなし）を行った象牙質齲蝕の光顕像

齲蝕による着色はみられるが全体的に染色はほとんどされず、齲蝕領域は不明瞭である

M: 修復物（金属） D: 象牙質

図5 エッチング後のメチレンブルーフクシン染色域とマイクロラジオグラムでの脱灰域の比較

赤線: エッチング後メチレンブルーフクシン染色像（図3）のトレース

緑線: マイクロラジオグラム（図4）のトレース

b層まで脱灰が起きておりa層付近では脱灰が特に強いことがわかる

M: 修復物（金属） m: 金属針の指標

図3 図2と同一切片のエッチング後のメチレンブルーフクシン染色像

無染色層（a）、濃染色層（b）、正常領域の淡染色層（c）に判別できる

M: 修復物（金属） m: 金属針の指標

図6 図2～5と同一切片を脱樹脂後、エッチングを行い、メチレンブルーフクシンで染色した光顕像

図3とは逆にa層が最も濃染している（脱樹脂を行ったため、修復物は脱離している）

図 9 二次蝕蝕例（辺縁が象牙質に設定されている場合）

深層まで及ぶ重篤な蝕蝕と表層病変から構成される二次蝕蝕がみられる

M：修復物（金属） ZPC：リン酸亜鉛セメント
D：象牙質

図 13 図 12 と同一標本のメチレンブルーフクシン染色像

合着用セメント溶出部に一致する大きな脱灰像に続いて合着用セメントが残存している部分でも表層部に染色層がみられる（矢印の直線は図 14 の中央の直線と一致する）

M：修復物（金属） D：象牙質 ZPC：リン酸亜鉛セメント

図 10 二次蝕蝕例（辺縁がエナメル質に設定されている場合）

合着用セメントの溶出部と一致して二次蝕蝕がみられる

M：修復物（金属） ZPC：リン酸亜鉛セメント
E：エナメル質

図 15 人工二次蝕蝕（辺縁がエナメル質に設定されている場合）のメチレンブルーフクシン染色光顕像

クラウン内部の合着用セメントが溶出し形成面が露出した部分においても特に脱灰は認められない（矢印の直線は図 17 の中央の直線部分と一致する）

M：修復物（金属） E：エナメル質 D：象牙質
ZPC：リン酸亜鉛セメント