

原著

多目的 K 式歯科用内視鏡の臨床応用のための基礎的研究 - 透照的齲蝕検知法に回転切削器具と超音波切削器具を連動したシステム -

土井美麻子^{1,2)}、片桐武美³⁾、片桐正隆¹⁾

¹⁾日本歯科大学新潟生命歯学部 病理学講座 〒951-8580 新潟県 新潟市 中央区 浜浦町 1-8

²⁾吉海歯科診療所 〒132-0013 東京都 江戸川区 江戸川 3-31-31

³⁾オーラル歯科 〒302-0115 茨城県 守谷市 守谷甲 2559-3

(受理: 2007年9月18日)

抄録: 齲蝕は保存的修復の対象となり, その拡大・進展に伴い, 歯髄炎や歯周炎の原因ともなり, 相互に関連の深い危険因子を共有する多因子疾患であるともいえる。これらの疾患は乳歯列期と混合歯列期から始まり, 一部の急速に進行する場合を除いて, その多くは永久歯列期以後に慢性化し, 歯を喪失して無歯顎に至るまでの長期間に拡大・進展する。

狭い口腔内で一般的に用いられている回転切削器具は, 反射が遅れる老人や, 逆に不用意に活発に動く小児では舌, 口唇, 歯肉, 頬, 口底などの口腔粘膜を損傷するリスクが高い。

この問題を改善するために, 回転切削器具に超音波切削器具を加え, 多目的 K 式歯科用内視鏡のライトガイド部を応用して得られる透照効果による非破壊的齲蝕検知法を併用するシステムを考案し, *in vitro* のモデル実験を行った結果, 臨床に有用な知見が得られたので報告する。

Basic Study of Multipurpose K-Dental Fiberscope for Clinical Application - A Combined System Using Rotational and Ultrasonic Cutting Tool with a Transilluminating Caries Detector -

Mimako Doi^{1,2)}, Takemi Katagiri³⁾ and Masataka Katagiri¹⁾

¹⁾Department of Pathology, The Nippon Dental University School of Life Dentistry at Niigata, 1-8 Hamaura-cho, Chuo-ku, Niigata-city, Niigata 951-8580, Japan

²⁾Yoshiumi Dental Clinic, 3-31-31 Edogawa, Edogawa-ku, Tokyo 132-0013, Japan

³⁾Oral Dental Clinic, 2559-3 Moriyakou, Moriya-city, Ibaraki 302-0115, Japan

Abstract: Caries are treated by conservative restoration, but expansion and development of caries may cause pulpitis or periodontitis, and caries is considered a multi-factorial disease sharing many interrelating risk factors with the above dental diseases. These diseases usually start from the deciduous dentition to mixed dentition stage. Except some cases showing rapid progression, in most patients these diseases become chronic from the permanent dentition stage, and expand or progress over a prolonged period until the teeth are lost ending with an edentulous jaw.

The conventional rotational cutting tool commonly used in the narrow buccal cavity has a high risk of causing damage to the oral mucosa of the tongue, lips, gingival, cheek and mouth floor in elderly patients seeking dental care who have delayed reflex, or conversely in small children who tend to move without warning.

To solve this problem, we combined the conventional rotational cutting tool with an ultrasonic cutting system as well as a nondestructive caries detector using the transillumination effect provided by the guide portion of a multipurpose K-dental fiberscope. In this study, we validated this novel system using an *in vitro* simulation model and obtained useful clinical findings.

Key words: multipurpose K-dental fiberscope, minimal intervention, nondestructive caries detector, rotational cutting tool, ultrasonic cutting tool

緒言

咀嚼は脳の発達にも関与し, その機能維持には歯の存在

が不可欠である。歯の早期喪失を抑制・防御するには, まず齲蝕の早期発見とその病巣除去が必要となる。齲蝕検知

方法は古くから様々な方法¹⁻⁹⁾が考えられ、今日に至っている。一方、日本歯科大学新潟生命歯学部病理学講座では、片桐^{10,11)}が開発した多目的K式歯科用内視鏡・直視型試作1号機（オリンパス光学株式会社、東京、以下、K式歯科用内視鏡）のflexible light guide部（以下、ライトガイド部）を用いて得られる透照効果像（以下、透過光像）を応用する非破壊的透照的齲蝕検知法（以下、透照的齲蝕検知法）の臨床的有用性について、片桐^{10,12)}、片桐ら¹³⁾の一連の研究がある。

齲蝕は初期段階では保存修復の対象となり、その拡大・進展に伴い、歯髄炎や歯周炎の原因ともなり^{14,15)}、相互に関連の深い危険因子を共有する多因子性疾患である。これらの疾患は乳歯列期と混合歯列期から始まり、一部の急速に進行する場合を除いて、その多くは永久歯列期以後に慢性化して、次第に歯を喪失し、無歯顎に至るまでの長期間にわたって拡大・進展する。この間に個々の齲蝕罹患歯は、部分的な修復処置程度で済む場合の他に、保存不能となり、抜歯後に床義歯や架工義歯による他に外科的なインプラント術を応用した補綴装置などによる部分的欠損補綴や全部欠損補綴を選択肢とする場合もある。したがって、早期発見を逸し、放置されると口腔機能に様々な程度の障害をもたらす慢性的疾患に移行することにもなる。一方、齲蝕の修復に際して、狭い口腔内で一般に用いられる回転切削器具は、特に反射が遅れる老人や不意に動く小児の舌、口唇、歯肉、頬、口底などの口腔粘膜を損傷するリスクが高い。われわれは、咬合面、隣接面や歯肉縁下の齲蝕病巣除去に際して、露髄や口腔粘膜損傷のリスクの軽減と予防を目的に研究を行ってきている。

本研究は歯質の削除に際して、最小の侵襲で最大の効果を得るために、歯質の切削量を最小限にするMinimal Intervention（以下、MI）の理念^{16,17)}のもとに、齲蝕検知と齲蝕病巣除去の問題点を改善するシステムを考案し、有用と考えられる知見を得たので報告する。

材料および方法

本研究は齲蝕検知法に透照的齲蝕検知法を用い、これに連動させて使用する切削器械・器具（以下、便宜上切削器具と略す）の利点と欠点を整理・選択するための予備実験（実験）と、その結果から切削器具の利点を選択活用しこれらの操作に透照的齲蝕検知法を連動させ、その効果を段階的に記録する本実験（実験）からなっている。

被検材料は対合歯を欠如した第三大臼歯や歯髄症状を伴った齲蝕（C₃）に歯周炎（P₃~P₄）を合併し保存不能と診断された上・下顎の切歯と犬歯が含まれている。いずれもインフォームド・コンセントの下に患者の同意を得て挺子により注意深く無鉗子抜去された。歯は10~20%ホルマリン水溶液で固定保存された35本からなる（日本歯科大学新潟生命歯学部倫理委員会にて承認、2006年6月14日：受付番号86）。そのうち、25本を実験に10本を実験に用いた。

1. 実験

1) 齲蝕検知法とその効果像の記録方法

齲蝕検知法はK式歯科用内視鏡のライトガイド部を応用する透照的齲蝕検知法¹¹⁻¹³⁾を選択し、実験システムを単純化するために片桐、片桐らの提唱した一般的透照効果¹¹⁻¹³⁾と変則的透照効果¹³⁾のうちの一般的透照効果による透過光像を観察し記録した。その条件は無影灯点灯下の明視野域で、被検歯の前面で得られる一般的反射光像と比較しながら、暗視野域で被検歯の裏面からスポット光の主光軸を画像記録用カメラの主光軸に一致する入射角0°で行った。得られた透照効果像の観察と記録はデジタルカメラ（クールピクス995、株式会社ニコン、東京）とマルチプロジェクションカメラ（YC-400、カシオ計算機株式会社、東京）を用い、その方法の概略は図1-aに示した。

2) 段階的切削のための切削器具の選択

われわれの臨床経験と渉猟できた文献の検索^{18,19)}により、まず各種切削器具を回転式と非回転式に大別しそれらの特性の利点・欠点を検討し、その結果から様々な切削器具の操作性、駆動部や切削部から発生する不快な金属音の有無、切削器具の圧力と振動による不快感や疼痛などの有無を考慮して、以下のように整理した。

(1) 回転切削器具の選択と操作手順

高速回転型（350,000~500,000 rpm）は第一段階の齲窩辺縁部のエナメル質や変性硬化象牙質の硬い歯質の切削に有用で、エナメル質の切削用としてはコントラハンドピース型のエアタービンを駆動部とし、切削部に先端が丸味を帯びた円筒状のダイヤモンドポイントを選択し、変性硬化象牙質の切削用としては先端が球状のカーバイドバーを選択した。

中・低速回転型（100,000 rpm以下で、最低50 rpm）は軟化象牙質の切削・除去用に有用であったので、コントラハンドピース型の電気エンジンを駆動部とし、切削部に先端が球状のスチールバーを選択した。

(2) 非回転切削器具の選択

手用型は軟化象牙質切削用に複数の形状から、操作を単純化するためにスプーン状切削器具を選択した。振幅型は周波数28~32KHzの超音波による振幅運動を用いた切削器具で、超音波切削装置・マルチタスク超音波システム Varios[®]750（株式会社ナカニシ、栃木）を選択し、切削先端はダイヤモンドコーティングチップを用いた（図1-b-g）。

2. 実験

1) 齲蝕病巣の切削・除去操作天然歯の擬似的植立方法

被検歯の術前・術中・術後の観察と切削効果の記録に際して着脱が可能のように歯根の根尖端側の約1/2を繊維の配列方向が一定で、吸水後も繊維がばらけないキムワイブ[®]（株式会社クレシア、東京）で包み、ソケット状に軟化したモデリングに埋没した。ついで、表面を粗造に加工処理した支持用アクリル板上に固定し、擬似的に植立した実験モデルを作った。

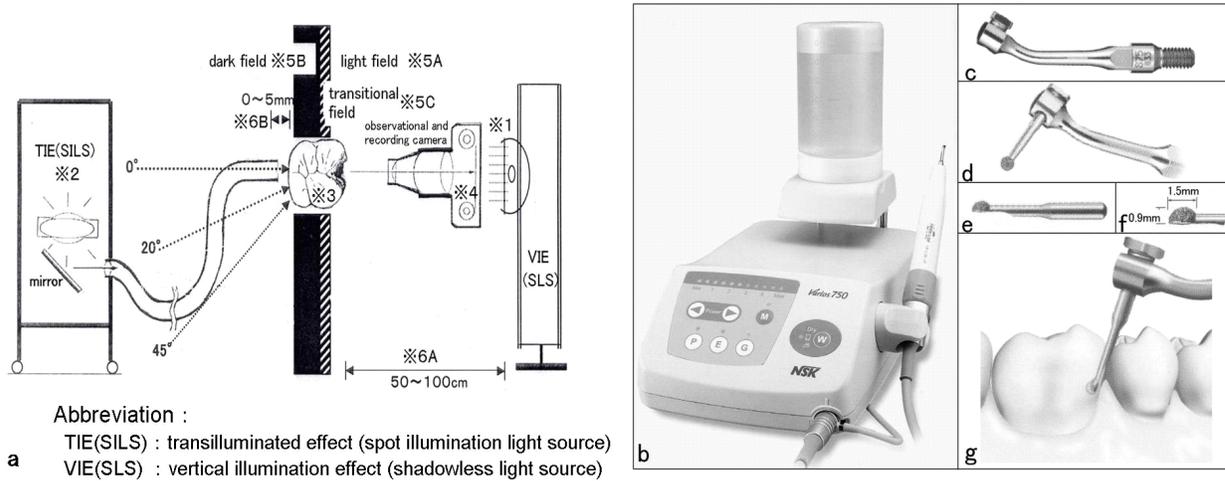


図1 *in vitro* における MI のための透照的齲蝕検知法下で，回転式と非回転式切削器具を併用する齲蝕病巣除去システム
 a : 模擬的システムにおける透過光像による齲蝕検知法とその観察記録法 .

[注] 1: 反射光効果の照明用光源 (通常可視光域の無影灯・10,000 lx を使用)
 2: 透照光効果の照明用光源 (高輝度光源・内視鏡用 300W キセノン・アークランプを使用)
 3: 被検齲蝕歯
 4: 画像の撮影・記録装置
 5: 観察・記録の視野条件 (照明条件の違いによって以下の A ~ C に, 3 区分される)
 A: 明視野域, B: 暗視野域 (被検歯の前面を除いた周囲に可及的に黒紙で区切る), C: 中間域
 6: 照射光と入射光の被検歯面との距離
 A: 無影灯による照射光源と被検歯の前面との距離 (50 ~ 100cm)
 B: スポット光による入射または照射光源と被検歯の裏面または前面との距離 (0 ~ 5mm)

b~g: 超音波システム (Varios[®] 750) を用いる非回転式の切削器具 .
 b: 操作装置部 .
 c: Varios[®] 750 システム用切削チップの支持部 .
 d: 切削チップをチップ支持部に結合した状態 .
 e: ダイヤモンドコーティングされた切削チップの先端部 .
 f: 切削チップ先端部の拡大と寸法 .
 g: 切削チップと支持部の使用状態 .

2) 齲蝕病巣の段階的切削・除去用器具の選択

実験の結果から, 切削器具には回転式では高速と中・低速回転型を, 非回転式では振幅型の超音波振動切削装置の Varios[®] 750 を選択した。切削手順は最初の第 1 段階では高速回転型を, 第 2 段階では中・低速回転型を用い, 最終の第 3 段階では非回転式を用いて切削を終了した。それぞれの切削効果を以下の方法で記録した。

3) 透照的齲蝕検知法による擬似的切削効果の観察と記録方法

実験と同様で, 透照的齲蝕検知法には図 2 に示す原理¹³⁾ に基づく K 式歯科用内視鏡のライトガイド部を用い, 図 1-a に示す方法で擬似的に植立した被検歯の切削前後の反射光像と透照 (効果) 像を比較し, 透照による陰影 (暗帯) が消失するまで前述の三段階の切削工程をデジタルカメラで撮影記録した。透過光像についてはカラー画像のほかに, カラー画像を Photoshop[®] CS2 (Adobe, USA) で白黒変換し, その変換効果の検証も行った。一方, 髓腔の外形を知るこ

とと, 切削操作過程で露髄を避けるために齲窩の深層が髓にどの程度近接しているかを確認するために, モデリング製擬似的歯槽から被検歯を一時的に抜去し, 術前・術中・術後の軟 X 線像 (SOFTX CSM-2, ソフトテックス株式会社, 東京) を記録した (図 3-a, 5-b, g)。使用した軟 X 線装置は 50KV, 8mA の条件で Super Soft X-ray Apparatus SOFTX[®] Type EM (SOFTX Co., LTD., 東京) を使用し, フィルムには Ultra-Speed Dental Film (コダック株式会社, 東京) を, 現像には現像液 RENDOL (富士写真フィルム株式会社, 東京) と定着液 RENFIX (富士写真フィルム株式会社, 東京) を使用した。

結果

まずヒトの齲蝕除去歯を擬似的に植立した *in vitro* の予備実験 (実験) を行い, その結果から, 透照的検知法の一般的透照効果を併用した効率の良い切削システムを考案した。その臨床的有用性について擬似的実験モデルによる検証を行い, 以下のような結果を得た。なお, その代表所見

を図4と5に示した。

1. 実験

一般に臨床で齲蝕病巣除去に使用されている切削器具は回転式（高速や中・低速回転型）と非回転式（手用型や振幅型）に大別でき、利点と欠点は以下のものであった（表1-aの左に示す - と , - と）。

予備実験ではまず、回転切削器具（ ）のうち、高速回転型器具（ - ）のダイヤモンドポイントは窩縁の硬いエナメル質の切削に有用で、カーバイドバーは比較的硬い象牙質の切削に有用であった。中・低速回転型器具（ - ）のラウンドバーは多量の軟化象牙質の切削に有用であった。非回転切削器具（ ）については、切削能率の高い回転切削器具にない機能を期待し、手用型器具（ - ）と振幅型の超音波振動切削器具（ - ）の2型を選択し、比較検討した。 - は最も一般的なスプーンエキスカベーターを選択し、これを - や - と比較した結果、切削効率は - が - より高いことが確認された。そこで、モデル実験の作業工程を単純化するため本実験では - （手用型）を除き、 - と の他に、 - よりも切削能率は劣るが - と機能的形状が類似し、切削片が微細粉末状で、切削の深さの微妙な調節も可能で、安定した操作性が得られた - を選択することにした。

2. 実験

実験の結果をもとに透照的齲蝕検知法と切削法を同調させ、各種切削器具を3段階で活用するシステムを考察し、その有用性について、*in vitro*の擬似的に植立したモデル実験により検証した。その際、回転切削器具の高速回転型を第1段階に、中・低速回転型を第2段階に用い、第3段階に超音波振動による振幅型の非回転切削器具を加えて検証した結果、以下のような利点と欠点が得られた（表1-b）。なお、その齲蝕検知に伴う3つの段階的切削工程については、反射光像と透過光像との比較のほか、術前と術後の軟X線像撮影の結果を得た。

1) 透照的齲蝕検知法による効果（図4と5）

(1)肉眼的反射光像と肉眼的透照光像の比較：切削直前の反射光像（図4-aと図5-a）はその表面観では齲窩を中心に窩縁周囲に存在する歯垢、歯石の沈着によって齲蝕病巣の全貌は不明確であったが、同一状態の病巣を透過光像（図4-bや図5-a'）で観察すると、光の透過性の違いによって陰影（暗帯）として明確に認識できた。この陰影は病巣が削除されるにつれて、段階的に消退していくことが確認できた。

(2)カラー画像と白黒変換像の比較：透照的齲蝕検知法による肉眼的カラー画像は切削操作と連動する際に有効であるが、コンピュータソフトのデジタル変換による白黒画像は瞬時に、かつ片桐ら¹³⁾と同様にカラー画像の余分な情報が除かれ、コントラストの明確な病巣認識が得られた（図4-bとcの比較、図5-a'とa",c'とc",d'とd",fとf"の比較）。

2) 各種切削器具の効果

(1)回転切削装置のうち、フィンガーグリップとフェザータッチで操作するエアタービンによる高速回転型と手指圧を加えて操作する電気エンジンやハンドモーターによる中・低速回転型はいずれも齲蝕病巣の比較的硬い象牙質やエナメル質の切削に適していた。特に前者は表層・窩縁の硬いエナメル質の削除に有効で、後者は多量の軟化象牙質の削除に有効であった（図5-aとcの比較とa'とc'の比較）。

(2)非回転切削法の超音波切削器具は従来の回転切削器具と比較して多量の軟化象牙質の切削除去や比較的硬いエナメル質の初期齲蝕病巣除去には操作時間を長く要し、他と比較して切削能率が低かった。しかし、齲蝕病巣の深層にある健全部との境界部に残存する少量の軟化象牙質や隣接面齲蝕のセメント質と象牙質の切削に際しては、短時間操作で微粉末状に切削され（図5-e）、過不足ない微調整が可能で、MIの調節に優れ、有効であった（図5-dとfの比較とd'とf'の比較）。

(3)回転切削器具は多量の齲蝕病巣を効率良く切削する目的に有効で、齲蝕病巣深層の健全部との境界部の硬化象牙質やセメント質には超音波による振幅式切削装置が有効であることが確認できた。すなわち、回転式（高速型や中・低速型）と非回転式（超音波型）の長所や短所を適宜選択することによって操作性と効率の良好な効果が得られた。

(4)拡大・進展した齲蝕深層の硬化象牙質や下掘れ齲蝕の窩縁部のエナメル質を切削する場合にはエアタービンによる高速回転型切削器具にカーバイドバーやダイヤモンドポイントを装着して使用すると短時間操作で処理ができ有効であったが、深層の硬化象牙質では露髄の危険を伴った。

(5)多量の軟化象牙質を切削する場合、電気エンジンやハンドモーターによる中・低速回転型切削器具にカーバイドバーやダイヤモンドポイントを装着して使用するとバーやポイントの切削部の微細な溝に切削片が軟泥状に詰まって滑りやすく、切削効果が著しく低下した。

(6)リアルタイムで透照効果による齲蝕検知下で行う切削システムにおいて、エアタービンによる高速回転型切削器具はエナメル質の削除に先端が円頭柱状のダイヤモンドポイントが有効で、象牙質削除には球状のカーバイドバーが効率良く、他に電気エンジンによる低速回転型切削器具にスチール・ラウンドバーを用いることも有効であった。

(7)歯髄に近接し、健全部との境界付近に残存する少量の病巣削除にはコントラアングル状ホルダーにダイヤモンドコーティングされた半球状チップを装着した非回転超音波切削器具を用いることにより主要小器具のスプーンエキスカベーターと同様の操作性が得られ、かつ過不足なく微細粉末状に調節して切削でき露髄の防止に有効であった。

3) 切削前・後の切削効果の軟X線像による確認

病巣除去前・中・後の過程で透過光像で認識できた異常な歯髄への近接や歯髄穿孔の無いことが軟X線像によっても確認できた（図5-bとg）。

表1 透照的齶蝕検知下でMIに基づく切削器具の特性を選択的に活用する臨床に有用な齶蝕病巣除去システム

器具名	特徴	適用	留意点	備考
1. Friction grip type of bur schunck	摩擦抵抗による高速回転用切削バーの柄部	二次齶蝕の充填物の切削除去	適宜にバーの形状・材質を選択	ナカニシ Varios 750® を使用
2. round end taper cylinder type	丸端テーパシリンダー型	各種形状の窩洞形成		
3. ナカニシ Varios 750®	ナカニシ Varios 750®			
4. ナカニシ Varios 750®	ナカニシ Varios 750®			
5. ナカニシ Varios 750®	ナカニシ Varios 750®			

【注】 1: Friction grip type of bur schunck (摩擦抵抗による高速回転用切削バーの柄部), 2: 二次齶蝕の充填物の切削除去には、適宜にバーの形状・材質を選択, 3: round end taper cylinder type, 4: 各種形状の窩洞形成用手器具, 5: (株)ナカニシ Varios 750® を使用.

考察

齶蝕治療で一般に使用されている切削システムは特に反射の鈍い高齢者や逆に突発的な動きをする小児などの口腔粘膜に損傷を与える危険性や、今日提唱されているMI^{16,17)}に基づく治療に際して、不完全な病巣の除去や歯質の過剰な切削を伴うこともある。これらのリスクの改善を目的に

in vitro でのK式歯科用内視鏡を応用する透照的齶蝕検知法(一般的透照効果)^{12,13)}と連動して行う齶蝕病巣除去システムを考案し、その有用性について検証し、以下のようないくつかの問題点について考察した。

1. 齶蝕病巣除去システムに用いた被検歯の擬似的植立方

法について

予備実験ならびに本実験での齲蝕検知と切削作業工程の段階的效果や変化の観察は各段階ごとに肉眼所見や軟X線像で記録する必要があった。特に軟X線像の撮影記録時にはモデリングで擬似的に植立した被検歯を一時的に抜き取る必要があった。その際、被検歯をモデリングに直接植立せず、被検歯をモデリングに直接植立せず、モデリング塊との間に布状の紙（キムワイプ®）を介在したことにより、モデリングが被検歯に付着すること

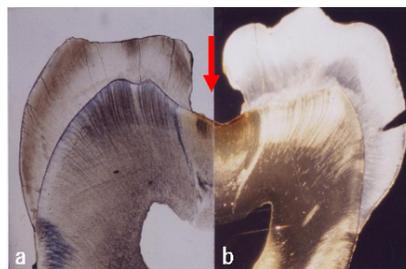


図 2

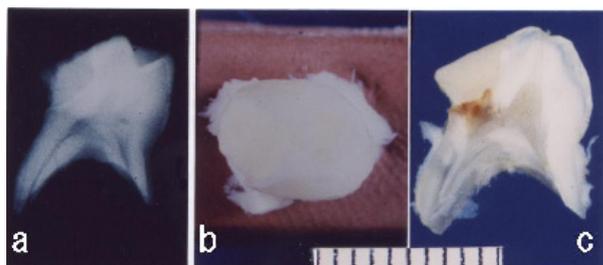


図 3

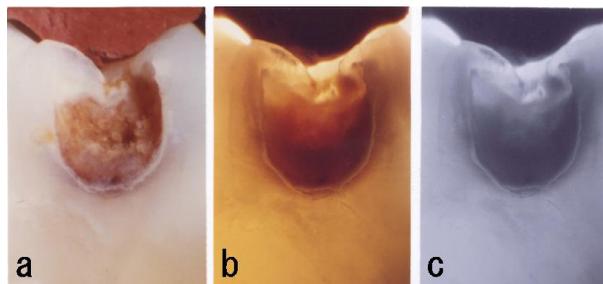


図 4

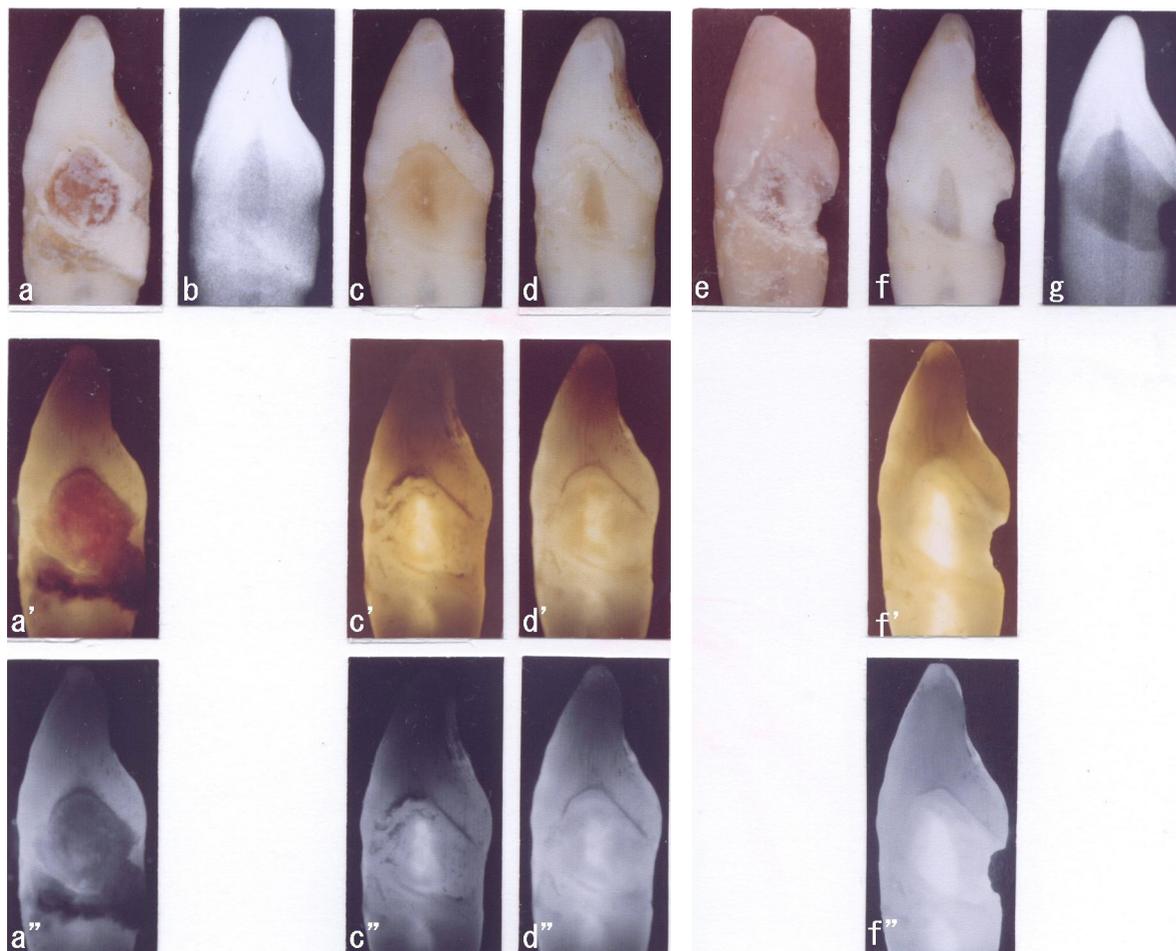


図 5

もなく、抜き取りとその後の擬似的植立状態の再現性にも優れ、記録に際して洗浄が不要で、観察面を損傷することなく次のステップに進めることができた。

2. 齲蝕病巣除去システムの透照的齲蝕検知法の有用性について

一般に齲蝕病巣の除去範囲と深さの検知はデンタルミラーとカリエス探針に適宜必要に応じて歯間分離器や齲蝕

図2 透照効果の原理についての反射光像と透過光像の比較合成効果 (25歳, 男性, 18, 厚さ 50 μm の非脱灰研磨片)¹³⁾

- a: 反射光像 (落射光と暗視野効果の併用法) で, 光の反射率の良い部分は明るく (明帯), 逆に悪い部分は暗く (暗帯) 観察される.
- b: 透過光像 (透過光と暗視野効果の併用法) で, a と比較して b では基本的に明帯と暗帯が逆転している. また, 矢印部の齲蝕凹錐相当部では最表層の着色軟化巣 (脱灰層) より深層に明帯として発現した複数の再石灰化部を認める.

図3 永久歯との交換期に二次齲蝕と歯根吸収不全を伴った晩期残存歯の症例 (12歳, 女子, E1, C₃)

- a: 歯の軟X線像の頬舌面観.
- b: 咬合面から遠心隣接面にコンポジットレジン充填された乳臼歯の歯根部を, アクリル板上に擬似的に植立した状態の咬合面観.
- c: bの近遠心的断面像, 咬合面観で見逃された残留性齲蝕病巣の活動による髓腔に近接した二次齲蝕を認める.

図4 予備実験で透照的齲蝕検知法によって得られた効果 (遠心隣接面齲蝕, 34歳, 女性, 18, C₃)

- a: 擬似的に植立した被検歯の遠心隣接面隅角の齲窩の病巣除去前の反射光像.
- b: aの透過光像によるカラー画像.
- c: bと同一画像をコンピュータソフト (Photoshop[®] CS2) で白黒変換した画像.

図5 遠心隣接面齲蝕病巣の除去開始から終了までの段階的な齲蝕除去効果 (55歳, 男性, 11, C₃+P₄)

- a: 齲蝕病巣の除去前の反射光像, a': aの透過光像, a'': a'の白黒変換像.
- b: aの軟X線像.
- c: aの反射光像を透過光像 (a') で検知した後に, 病巣の切削除去後の反射光像 (一段階目), c': cの透過光像, c'': c'の白黒変換像.
- d: cの反射光像を透過光像 (c') で検知した後に, 残存病巣の切削除去後の反射光像 (二段階目), d': dの透過光像, d'': d'の白黒変換像.
- e: dの反射光像を透過光像 (d') で検知した後に, 残存病巣の切削除去 (超音波切削器具による) 直後の反射光像 (三段階目) で, 窩内に乾燥した白色微粉末状の切削片を認める.
- f: eの残存病巣の除去直後の反射光像で, 窩洞内に残留されていた細粉末状の切削片をブローバーで除去して病巣除去終了を確認した状態の反射光像, f': fの透過光像, f'': f'の白黒変換像.
- g: fの軟X線像.

検知液を併用し, 健常部と病変部の判定は無影灯やスポット照明などの反射光照明下で得られる反射光像を主体に肉眼的に鑑別している。これらの方法による齲蝕病巣除去の判断は主観的要素に大きく左右され, その結果, 不確実な部分を残すことにもなる。例えば図3に例示するようにコンポジットレジン充填後の晩期残存乳歯に残存病巣により発現した二次齲蝕が臨床的に見逃され深部へ拡大進展し続発性歯髄炎などを伴って齲蝕治療後の予後に影響を残す場合もある。

一般的に齲蝕検知には主訴を含む臨床症状に古典的な探針を併用する視診・触診による主観的方法のほか, X線診査法⁶⁾, 齲蝕検知液法^{1-3,6)}, 齲蝕診査装置のDIAGNOdent™ (KaVo社, ドイツ) 法^{4,6,7)} や定量蛍光法 Quantitative Light-induced Fluorescence (以下, QLF)^{5,8)} などが併用されている。これらの齲蝕検知法についてはそれぞれ, 以下のような一長一短が報告されている。齲蝕検知の感度について, Lussi⁴⁾ は肉眼的視診では30%以下, X線像ではX線被曝に対する制約があり咬合面齲蝕の診断は不向きで, 電気的齲蝕検知法では感受性が90%だが, 特異度が80%以下で低いと報告している。DIAGNOdent™ による齲蝕検知法について, Lussi⁴⁾ は *in vitro* では再現性が高く, 齲蝕検知以外に, 齲蝕の長期のモニタリングや予防治療の評価に有用であるが, 小窩内のプラークや歯石を誤って齲蝕陽性に判断する可能性があると述べている。須崎⁷⁾ は齲蝕象牙質除去後の窩底にわずかでも齲蝕検知液 (0.5%塩基性フクシン・プロピレングリコール液) に濃染する部分があると測定値が高くなることもあり 齲蝕除去に際しては参考程度にすべきで,

判定結果が他の臨床所見と必ずしも相関しないこともあり, さらに感度が敏感なことから測定値にばらつきを生ずるので本器単独での診断の信頼性を疑問視している。また, レーザーの直進性と齲蝕の拡がり性を考慮すると, 一方向のみの測定では値がばらつくので, 診査時はできるだけ多くの方向を測定し, ピーク値を測定値とすることが必要と述べている。神崎⁵⁾ や坂本⁸⁾ は齲蝕の早期診断にQLFが有効であると述べているが, flare (ゆらぎ: 光が不規則に変化する不安定な現象) を伴う光によって得られる画像を数値化することによる欠点があると考えている。これに対して, 片桐¹³⁾ の分類した一般的透照効果像と変則的透照効果像のうち前者の明視野域で得られる一般的反射光像と, 暗視野域で得られる一般的透照像 (完全透照像) を用いる方法は, 上述の種々な方法のような複雑な操作は必要なく, 患者に侵襲も与えず, 安定した可視光で情報が得られる利点がある。またデジタル化の可能性もあるが, むしろ臨床のチェアサイドでは直接アナログ情報として切削操作と連動, 連携することが可能である点が他のいずれの方法よりも優れていると考えられる。

ここで応用する透照効果の基本的原理は片桐¹³⁾ が示すように, 歯の非脱灰研磨片を光学顕微鏡で観察する際に古くから知られ, 以下のように応用されていて, 透過光の直進性の良否 (複屈折性の程度) によって得られる透過光像と同様な効果によるものである。すなわち, 暗視野効果を併用し, 光源をプレパラートの上面から照射する落射光で得られる反射光像と, これとは逆に光源をプレパラートの下面から照射する透過光で得られる透過光像を比較した場

合、前者の反射光像(図2-a)では光の反射性の良好な部分は明帯として明るく観察され、光の透過性の良好な部分は暗帯として暗く観察される。一方、後者の透過光像(すなわち、透照効果像,図2-b)では明帯と暗帯が基本的に逆転して観察され、この透照効果はエナメル質の正常な結晶配列が齲蝕の脱灰により破壊され、その部分が光の直進性を失い、光の複屈折性の亢進により暗帯として認識されるものと考えられる。

歯の保存処置で、軟化象牙質の除去をどこまで行うかは判断が難しく、多くの解釈がなされている²⁰⁾。象牙質齲蝕が慢性的経過をとると、象牙質齲蝕円錐は表面から順に、多菌層、寡菌層、先駆菌層、混濁層、透明層、生活反応層に病理組織学的には分けられる^{6,14,20,21)}が、臨床的にこれらの層を区別するのは不可能である。これらのことから、一般に臨床的にこれらの層を区別するのは不可能である。これらのことから、一般に「軟化象牙質の除去」は齲蝕象牙質第1層を徹底的に除去することであると考られている。しかし、齲蝕検知液では1回の染色で齲蝕病巣の表層から深層を含む全層を染め出せない。さらに、MIの視点から残留性齲蝕病巣が仮に検査時、無菌状態であってもその後の時間的経過における口腔環境の変化によって必ずしも細菌の侵入やその増殖による残留性再発を発現しない保証は得られない。その一例として、軟化象牙質を残したために、充填後の長い時間的経過中に二次齲蝕を発現する場合もある(図3)。われわれの透照効果による検知法は、特に象牙質齲蝕については咬合面、隣接面いずれにも検知能は高く、病巣を過不足なく切削・除去可能であった。

3. 齲蝕病巣除去システムに用いた切削器具の利点と欠点について

歯科医療の現場では一般的に齲蝕病巣の切削・除去に際して、エナメル質についてはエアタービンや電気エンジンにより、エナメルカッチングバーやラウンドバーなどを装着したコントラアングル型ハンドピースを駆動して使用され、象牙質やセメント質については先の電動切削器具の他に、手用切削器具の主にスプーンエキスカベーターが使用されている。

回転切削器具は交流または直流モーター駆動により回転速度を低速(300~15,000 rpm)や中速(20,000~40,000 rpm)に調節可能なハンドエンジン(電気エンジン)式と、エアタービンによる高速回転(約350,000~500,000 rpm)に大別される。その操作部のハンドピースはいずれもバーやポイント状の切削部を結合したコントラアングル型が使用されている。これらの回転切削器具のうち、低速の場合は口腔軟組織の各種粘膜に巻き込みによる損傷事故を、中・高速では粘膜部の刺創や切創と硬組織の歯槽骨部の損傷を伴う事故発現のリスクが高い。

歯質切削器具の改善状態を足踏みエンジン時代と比較するとスピードと切削効率はめざましいが、患者側に視点を置くと、未だに高速回転による異常音と摩擦抵抗などに対する恐怖感を与えている。その経験が歯科医療の受診に不

要な潜在的不安を与え、患者に再受診の足を遠のかせ、その結果、早期治療を阻み齲蝕治療の予後に大きな影響を与えることにもなりかねない。

これらのリスクを改善することを目的に選択した切削器具のマルチタスク超音波システム Varios[®]750には、リングライト付き(Varios[®]750 LUX・40VA)とリングライト無し(Varios[®]750・33VA)がある。前者は無影灯による反射光以外にリングライトのスポット照明の反射光により、エナメル質初期齲蝕の白濁部と健康部との境界が不明瞭になる理由から、本実験には後者のリングライト無しを選択した^{22,23)}。

超音波による振幅運動を応用する非回転切削器具は、一般に歯の表面の付着沈着物(歯垢や歯石など)を除去するスクレーパーとして用いられている。しかし、今回選択した超音波切削器具はその切削部にダイヤモンドの微粒子をコーティングした種々な機能的形状の切削用チップをコントラアングル型のアタッチメントホルダー部に装着して切削するものであった。この超音波切削器具も加え、これと従来から一般に使用されている電気エンジン式や高速エアタービン式のものとの比較し、それぞれの切削能力と効果を知るために予備実験を行って総合的に比較検討し、それぞれの特性を選択活用して病巣除去を行う手順を決め、以下のような効果が得られた。

齲蝕病巣除去に用いる切削器具の選択に際して、各種切削器具の利点・欠点について予備実験の結果から、以下のように使い分けた。回転切削器具の高速回転ではエナメル質の切削にはエアタービンコントラアングル型に先端が円頭柱状のダイヤモンドポイントを、象牙質の切削には球状のカーバイドバーを、低速回転では電気エンジンコントラアングル型に球状のスチールバーを選択使用した。一方、非回転切削器具のスプーン状の手用型を除き、これに代わって振幅型切削器具の超音波切削装置を選択し、そのチップホルダーに半球状のダイヤモンドコーティングチップを結合し、振幅運動によって齲蝕深層の硬化部との境界の病巣除去に使用したことは有効であった(表1-b参照)。

これらの切削操作はK式歯科用内視鏡のライトガイドによる齲蝕検知法を併用しながら手用切削器具のスプーンと同様の機能的形状をなす切削用チップを選択使用したことにより、歯質を少量ずつスプーン状に掻き取っていくことが可能であった。その結果、軟化象牙質の切削除去中に健康部や軟組織を過度に損傷することなく、かつ不快や不安なく歯髄に近接している軟化象牙質を過不足なく除去できるものと考えられた。また、超音波切削器具のVチップは超音波振動を利用した切削により、健康歯質を守り、最小限の切削処置が可能で、齲蝕象牙質の除去は歯質を最大限に残すことが可能となった。歯頸部齲蝕の処置でも歯肉・歯周組織などの軟組織に出血を伴うような損傷を与えることなく切削でき、病巣の残留による二次齲蝕を防止し、過不足ない修復処置に有効と考えている。

以上の効果から、われわれが考案した齲蝕病巣の切削・除去システムに、超音波切削器具を齲蝕窩の深層部の健康部と

の境界相当部の削除用に選択使用し、これらの特性を活用したことにより、齲蝕象牙質の除去に際して罹患歯質を過不足なく選択的に切削でき、健全歯質を最大限に残すことが可能と考えられた。

4.従来法と比較した齲蝕検知・病巣除去システムの臨床的有用性について

齲蝕検知液による方法の大きな欠点は、最初の色素検知液の添付作用で、検知液が深層の齲蝕病巣までは浸透・到達できないことにある。この改善策として、われわれの推奨する透照的齲蝕検知法の透照効果の応用によって、健全部と比較して齲蝕による初期脱灰に始まる変質軟化部の光の直進性の障害に伴う透過性の変化(陰影)に注目した。その結果、初期変質脱灰層を含む病巣が暗帯として認識でき、明確に健全部と区別可能となった。また、前述の齲蝕検知液による検知法やDIAGNOdent™などいずれの方法も操作が複雑で、われわれの用いた暗視野域での透照効果像による検知法のように切削操作との連動は不可能である。

以上のように、病巣を染め出し法でなしに、片桐^{10,11)}の考案による多目的K式歯科用内視鏡のライトガイド部を応用し、暗視野条件下で得られる透照効果像によって齲蝕病巣中の脱灰変質層相当部を暗帯(陰影)として検出可能な齲蝕検知法を併用した。また、特に深層部の病巣除去に際して超音波振動装置との連動操作で不快な騒音を伴わずに舌・頬・口唇・口蓋・咽頭・喉頭部・軟組織に損傷を与えることなくできるものと考えられた。その結果、従来の回転切削装置よりもはるかに安心・安全な操作が可能になることを検証し、本切削装置と透照効果を併用することにより各種切削用先端チップを活用して主に象牙質病巣の除去は過不足なく患者に不要な不快感を与えることなく行えることが示唆された。

なお、本実験でデジタルカラー画像の白黒変換をコンピュータソフトにより行うことにより瞬時に処理できた。さらに、片桐ら¹³⁾がコピー機を媒体としたカラープリント画像の白黒変換によって得られた画像と違い、パラツキが少なく、その情報を直ちに患者にフィードバックでき、インフォームドコンセントにも有用と考えられた。

結論

透照的齲蝕検知法に回転切削器具と超音波切削器具を連動した齲蝕病巣除去システムの有用性について*in vitro*での比較検討を行い、以下の結論を得た。

深側の健全部に隣接する歯髄側の反応性硬化歯質と、それに接して残存する薄層の病的軟化象牙質を透照的検知法により暗帯として認識し、その部分の切除には非回転式超音波切削器具の使用が有用であった。

透照的齲蝕検知法を併用する齲蝕切削・除去システムでは、透過光照明の暗視野条件下で得られる一般的透照効果像により、齲蝕病巣の局在と範囲をリアルタイムで確認しながら、除去することができた。

透照的齲蝕検知法による透照効果のカラー画像をコンピュータソフトによって白黒変換した画像は、齲蝕性脱灰による病巣部の歯質が光の複屈折により暗帯として健全部と鮮明に区別でき、その有用性が示唆された。

以上から、K式歯科用内視鏡を応用した透照的齲蝕検知法に回転切削器具(高速と中・低速回転)と超音波切削器具とを併用する本切削・除去システムは、患者の受け取りやすさ(負担)やストレスを軽減し、より確実な齲蝕病巣の除去を可能にすると考えられるが、在来の齲蝕切削法や齲蝕象牙質の除去法、さらに実際の齲蝕の病態・病理との関連を今後検討する必要があると考えている。

謝辞

抜去歯を提供して下さった本学同窓・校友の先生方をはじめとして試料作製に協力下さった病理学講座の方々にご心よりお礼申し上げます。

参考文献

1. Fusayama T., Okuse K. and Hosoda H.: Relationship between Hardness, Discoloration, and Microbial Invasion in Carious Dentin. J dent Res 45(4): 1033-1046, 1966
2. 総山孝雄, 高津寿夫, 伊藤和雄, 山内淳一, 柴谷享一郎: ウ蝕検知液の新組成について. 日歯保誌 22(2): 261-264, 1979
3. 総山孝雄, 細田裕康, 和久本貞雄, 岩久正明: 第 4 章 ウ蝕削除(ウ蝕の新病理学と臨床); 新保存修復術 ウ蝕治療革命の補遺整備, 1版: pp 15-47, クインテッセンス出版株式会社, 東京, 1985
4. Lussi A., Imwinkelried S., Pitts N.B., Longbottom C. and Reich E.: Performance and reproducibility of a laser fluorescence system for detection of occlusal caries *in vitro*. Caries Res 33(4): 261-266, 1999
5. 神原正樹: 予防歯科へのテクノロジー - 齲蝕予防における早期齲蝕診断 -. 日歯医師会誌 56(7): 611-618, 2003
6. 廣瀬泰明, 吉川一志, 井上正義: 第 2 章 診査・診断・治療方針; カラーアトラス ハンドブック 保存修復臨床ヒント集(寺中敏夫, 井上正義, 寺下正道編), 1版: pp 9-18, クインテッセンス出版株式会社, 東京, 2004
7. 須崎 明, 千田 彰: DIAGNOdent™ によるう蝕診断; 別冊 the Quintessence 歯科用レーザー・21世紀の展望パート 2(森岡俊夫編), 1版: pp 26-29, クインテッセンス出版, 東京, 2004
8. 坂本吉史, 上村参生, 神原正樹: *In vivo* における QLF による早期う蝕診断に関する研究 - 初期う蝕病巣の定量評価について -. 歯科医学 67(3/4 合併号): 257-265, 2004
9. 伊藤和雄: 新しい齲蝕検知法と確実なデンティンボンディング理論. 東京都歯科医師会雑誌 53(3): 119-125, 2005
10. 片桐正隆: 臨床と基礎研究における観察記録装置の考

土井美麻子 ほか：K式歯科用内視鏡による齲蝕検知法と切削器具の連動システム

- 案と試作装置の紹介．日本歯科大学歯学会会報 1(3): 14-17, 1975
11. 片桐正隆：独自に開発した歯科用ファイバースコープによる研究 - その装置の紹介と臨床病理の立場からの基礎的研究．歯学 68(4): 642-665, 1980
 12. 片桐正隆：歯科用ファイバースコープの紹介と歯科領域への応用 - 臨床病理の立場から - ．歯界展望 57(4): 741-755, 1981
 13. 片桐武美, 片桐正隆：歯科医療のための多目的 (K式) 歯科用内視鏡の基礎的研究 - 透視的画像診断についての実験的ならびに臨床的研究 - 歯学82(2):279-298, 1994
 14. 須賀昭一, 中田 稔： ．齲蝕の病変；図説 齲蝕学 (須賀昭一編), 1版: pp 139-184, 医歯薬出版株式会社, 東京, 1990
 15. 小林茂夫, 片桐正隆： ．齲蝕に続く変化； 図説齲蝕学 (須賀昭一編), 1版: pp 209-230, 医歯薬出版株式会社, 東京, 1990
 16. Ericson D.: What is Minimally Invasive Dentistry? Oral Health Prev Dent 2 (Suppl 1): 287-292, 2004
 17. 南 昌宏：MI (ミニマルインターベンション) に基づく修復治療の最先端 - 白歯審美修復の選択基準 - ．日歯医師会誌 59(2): 117-125, 2006
 18. 原 学郎, 藤井弁次, 岩本次男, 河野 篤, 加藤喜郎, 石川達也, 高橋一祐, 勝山 茂, 亀田寧久, 片山伊九右衛門, 木村健一：保存修復の基本マニュアル, 1版: pp 73-86, 医歯薬出版株式会社, 東京, 1980
 19. 安田英一監訳 (Gerald T. Charbeneau 他著): 保存修復の実際, 1版: pp 143-187, 医歯薬出版株式会社, 東京, 1979
 20. 飯島国好, 山本共夫, 今井文彰：第1章 歯髓の診断と保存処置；治癒の病理 臨床編 第1巻 歯内療法 - 歯髓保存の限界を求めて - (下野正基, 飯島国好編), 1版: pp 1-34, 医歯薬出版株式会社, 東京, 1993
 21. 須賀昭一：第6章 齲蝕；図解 口腔病理学 (久田太郎, 須賀昭一編), 1版: pp 55-84, 株式会社学建書院, 東京, 1987
 22. 明石俊和：多目的・多用途, マルチタスク超音波システム「バリオス」シリーズについて．日本歯科評論 63 (3): 115-120, 2003
 23. 明石俊和：超音波スケーラーの多目的使用法 - 交換式チップとチップホルダーの開発 - ．日本歯科評論 63 (10): 123-127, 2003