

楽しく語ろう
クリニカル&マテリアル
41

ゲスト 山田敏元 先生 *Toshimoto YAMADA*
1951年生まれ
虎の門病院 歯科部長

司会 中川孝男 先生 *Takao NAKAGAWA*
1958年生まれ
東京都港区開業「中川歯科クリニック」

ジーシー 赤羽正治 先生 *Shoji AKAHANE*
1954年生まれ
株式会社ジーシー 研究所担当取締役

イギリスから始まる
接着の歴史

中川 最近は審美的なニーズの高まりから、セラミックやジルコニアなどを用いた審美修復が日常的に行われます。一方、保険診療である従来の金銀パラジウム合金による修復も多く、修復処置で使用される接着・合着材の選択に迷うことも多々あります。これまでの合着材で一番実績があるのがリン酸亜鉛セメントであり、グラスアイオノマーセメントですが、審美的なことが要求されるケースではレジンセメントが使用されていると思います。ただ、それぞれに利点や問題点もあり、オールラウンドに使うと

ゲスト・山田敏元 先生



「G-ルーティング」を検証する

——歯科医療での接着・合着の変遷——

合着材といえばいわゆる“歯科用セメント”という時代から、修復物も多種多様に発展し審美的なことが要求されるようになった今日では、「接着性レジンセメント」が非常に有用な接着・合着材として認知されています。しかし、テクニックセンシティブな要素もあり、面倒だという意見があったのも事実です。そのような中で、これまでのレジンセメントの常識を覆す接着材「G-ルーティング」が登場しました。

そこで今回は、接着歯学の第一人者で臨床家でもある虎の門病院歯科部長の山田敏元先生をお迎えして、「G-ルーティング」の検証と接着・合着の変遷などを伺いました。

り簡便な材料ができないものかと、臨床家としては思っていました。そんな時期に、メタルから審美修復まで前処理不要のセルフアドヒーズタイプのレジンセメント「G-ルーティング」がジーシーから発売されました。私たち臨床家としては非常に嬉しい限りです。そこで、今回は「G-ルーティング」にスポットを当て、接着・合着を考えてゆきたいと思います。

ゲストにお招きしたのは接着・合着の研究で造詣の深い虎の門病院歯科部長の山田敏元先生です。山田先生は東京医科歯科大学保存学第一講座で講師・助教授をなされていたころからコンポジットレジン、ボンディング材や接着・合着材についてさまざまな角度からご研究をされ、日本の接着歯学をリードしてこられ、ジーシー製品の研究開発にも貴重なアドバイスをいただいています。また先生ご自身臨床家でもありますので、我々の日常臨床にとっても貴重なお話をいただけるとと思います。どうぞよろしくお願いたします。

ところで、山田先生は接着・合着材の変遷にも詳しいとお聞きしていますので、まずはその辺りから教えていただけますか。

山田 わかりました。まず、接着・合着材というのはリン酸亜鉛セメントなど多くのセメントの歴史から始まると思います。その長い歴史の中で1968年頃にイギリス・マン

チェスター大学歯学部のリダー(Reader)と書き補綴学教室の准教授に当たり歯科材料学を教えるポジションで、教科書を読む人という意味からきている。古いイギリスの歯科大学の制度で現在はない)だったデニス・C・スミス先生の研究からポリカルボキシレートセメントが作られました。同じ頃、ロンドン王立科学研究所のジョン・ウィルソン博士がケイ酸セメントの研究をされていて“British Dental Journal”に論文を發表されています。それがグラスアイオノマーセメントの前身でした。この辺りから接着の歴史は始まると考えてよいのだと思います(図1、2)。

中川 それらの研究がベースとなって、ジーシーもセメントの研究からスタートしているわけですね。そして後に、グラスアイオノマーセメントというとジーシーの代名詞にもなりましたね。

山田 そうですね。私もこれまで数多く欧米の歯科大学を回り講演してきましたが、どこの国に行ってもジーシーのセメントがある。学生実習室にも「Fuji」ブランドが必ずあります。明らかにグラスアイオノマーセメントでは世界シェアで第1位でしょう。

赤羽 ありがとうございます。1977年に「フジアイオノマー タイプI」を国内発売し、後に広く海外でも発売しました。海外では「Fuji Ionomer Type I」の普及からはじま

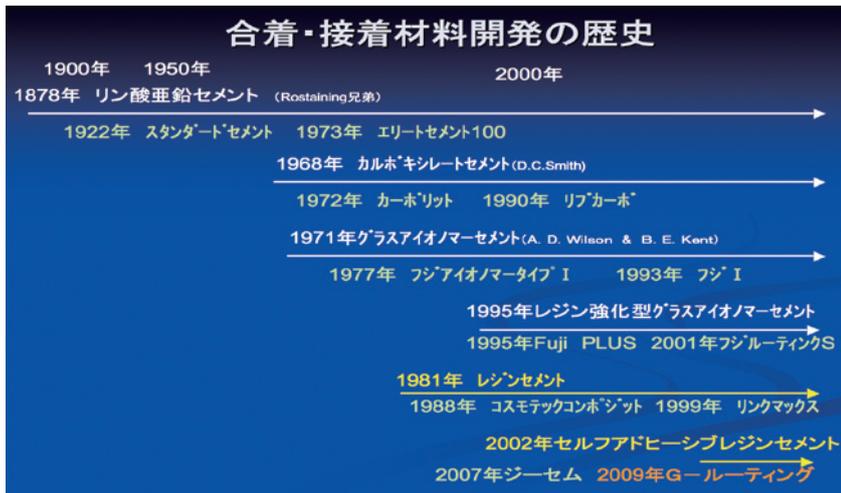


図1 合着・接着材の開発の歴史



司会・中川孝男 先生

り、ジーシーという名称ではなく「Fujii」ブランドで知られていきました。名前が良かったのかもしれませんがね。

コンポジットレジン誕生のエピソード

山田 ちょうどそのころ、アメリカのNational Institute Standard & Technology (NIST) で歯科医師であるBowen先生が1962年にBIS-GMAオリゴマーを開発され、それと希釈材にモノマーを加え、さらにフィラーを入れて世界で初めてのコンポジットレジンを開発されました。その後、世界中でコンポジットレジン製品の開発が進められてきましたが、当時のものはアンダーカットに詰めるだけのものでした。そのうちにコンポジットレジンの術式にリン酸エッチング法が導入されたのです。

中川 アメリカのBuonocore先生ですね。日本人が開発したという説もございますよね。

山田 はい。ほぼ同時期にアメリカと日本で開発されたときですが、Buonocore先生はリン酸エッチング法を論文に書かれていますので、世界的にはそれが広まり一般化しています。

ところで先生は、リン酸エッチング法が何から生まれたかご存知ですか。

中川 いいえ、知りません。

山田 実は欧米人特有の家庭仕事からヒントを得たのです。彼らは家の補修を自分で行います。トタン屋根も自分で塗り替えるのです。あるとき、塗り替え前にトタン屋根の表面をリン酸で洗うとペンキが塗りやすく落ちにくくなるということに気がついたのです。そこで、歯面もリン酸で処理したらレジンがしっかり着くのではと考えて実行してみたのです。

同じ頃、デンマークのコペンハーゲン大学歯学部歯科材料学教室のヨルゲンセン教授がMFR (Micro Filled Resin) というア

イデアをコンポジットレジンで指導されています。このマイクロフィラーを修復材料に使うというアイデアもペンキ塗りなのです。部屋の壁にペンキを塗っている時に垂れないで塗れる。どうしてかとペンキ成分を調べたらマイクロフィラーのようなものが入っていた。つまり、比表面積が増えて摩擦が起きる。これを歯科材料に応用すると適度な稠度になり詰めやすく、耐摩耗性のいい材料ができるのではないかと考えたのです。

中川 そんなエピソードがあったのですか。先生よくご存知ですね。

山田 リン酸処理の話は恩師である東京医科歯科大学歯学部保存学第一講座の故総山孝雄先生からお聞きしましたが、ヨルゲンセン先生の話は25年くらい前に直接ご本人からお聞きしました。当時のフィラー

ジーシー・赤羽正治



セメントの構成	粉末/Aベスト 成分			液/Bベスト 成分				コンディショナー/プライマー 成分		
	酸化亜鉛	フルオロアルミニウムリケートガラス	レジンモノマー	リン酸・水	ポリアクリル酸・水	フルオロアルミニウムシリケートガラス・シリカ	レジンモノマー	リン酸エステルモノマー	クエン酸・塩化第二鉄・水	4-MET・水
リン酸亜鉛セメント「エリートセメント100」	○			○						
カルボキシレートセメント「リブカーボ」	○				○					
ガラスアイオノマーセメント「フジI」		○			○					
レジン強化型ガラスアイオノマー「フジルーティングS」		○	○		○				○	
レジンセメント「リンクマックス」		○	○			○	○			○
セルフアドヒーシブルレジンセメント「G-ルーティング」		○	○			○ (シリカ)	○	○		

※青文字の「リン酸エステルモノマー」「4-MET」は、接着性モノマー。

図2 合着・接着材の種類と主な組成。「G-ルーティング」はレジンセメント「リンクマックス」と同様の組成から設計されている。



図3 グラスアイオノマー系仮着材「フジTEMP」を用い、仮着したテンポラークラウン。



図4 テンポラークラウンを外し、仮着材を除去する。仮着材は接着力を低下させる原因になるためブラシなどを用いて確実に行う。



図5 シルコニアコーピングを用いたオールセラミッククラウン内面に練和した「G-ルーティング」を塗布し、セットする。

は有機質複合フィラーとは違うものですが、その後、各メーカーは研究を重ねマトリックスレジンとフィラーを混ぜたものに圧力や熱を加えて重合させて、それを粉砕して有機質複合フィラーの形で混入させたのです。

赤羽 そんな流れの中で、国内のボンディング材についてはトータルエッチング法が登場してきたわけですね。

山田 そうですね。いわゆるレジンボンディングシステムです。最初はエナメル質の窩壁へのリン酸エッチングだったのが象牙質を含むトータルエッチングになり、トータルエッチングに象牙質プライマーをあわせた3ステップのシステムになり、その後、セルフエッチング技術が開発され、ステップ数を減らし2ステップの「ユニフィルボンド」が生まれ、それが改良された1ステップの「G-ボンド」、さらに性能をアップさせた「G-ボンド プラス」が生まれてきたのです。

リン酸エステルモノマーを 絶妙に配合した「G-ルーティング」

中川 その間、グラスアイオノマーセメントはジーシーを中心にどんどん改良されて今

日の姿に近づいてきた。

赤羽 そうですね。最初の頃は合着用として開発してきましたが、ガラスの粉碎技術が難しく苦労した記憶があります。

山田 ガラス粒子が大きいですので被膜が厚く測定してみると100 μm 以上もありました。通常、被膜厚さは25~30 μm に収まらないと臨床では使えない。感水性という課題もありました。そのようなこともあり、ジーシーでは独自にガラスを作る技術も開発されたのでしたね。実は、これは凄いことで日本のメーカーでもジーシーとあと1社くらいしかその技術はない。そんなご苦労をされた結果、今のグラスアイオノマーのガラスのサイズは相当細かくなっています。

赤羽 はい。今日では平均して2 μm 、最大でも4 μm くらいでカットしています。また、表面処理や液成分の改良で感水性の問題も改良してきました。

山田 それは本当にすごいことなのです。そして、液成分もポリアクリル酸の混合物に改良され、接着界面での状態も随分進化した。同時に、レジン強化型グラスアイオノマーもペースト化するなど改良され、グラスアイオノマーの技術、コンポジットレジン

の技術、光重合の技術などハイブリッド化してきたわけですね(図9、10、11)。まさに、接着・合着技術の分野ではジーシーは世界のリーディングカンパニーなのです。

中川 そのような技術の裏付けがあって、このたび新しい合着材として「G-ルーティング」が誕生してきた。

山田 そうですね。合着にも接着を有効に活かしたセメントを使うということで、前処理を必要としないセルフアドヒーシブタイプのレジンセメント「G-ルーティング」を開発した。もともと、グラスアイオノマーやポリカルボキシレートセメントなどもポリカルボン酸が配合されておりセルフアドヒーシブとも言えるのですが、これらの無機セメントの硬化は酸と塩基の反応によるものです。これをレジンの重合反応の硬化機構に変え、セメント成分のUDMAやフィラーの中に「G-ボンド プラス」で高い接着性を実現したリン酸エステルモノマーを配合して、高い接着性と理工学特性を実現したということですね。

赤羽 そうです。「G-ルーティング」は基本組成、硬化反応は他のレジンセメントと同様です。今までのレジンセメントでは、プ

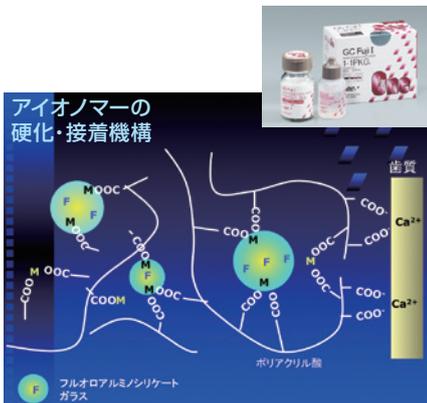


図9 ポリアクリル酸がフルオロアルミニウムシリケートガラスと酸塩基反応し硬化する。同時にポリアクリル酸のカルボキシル基(COO-)が歯質(Ca²⁺)とイオン結合する。

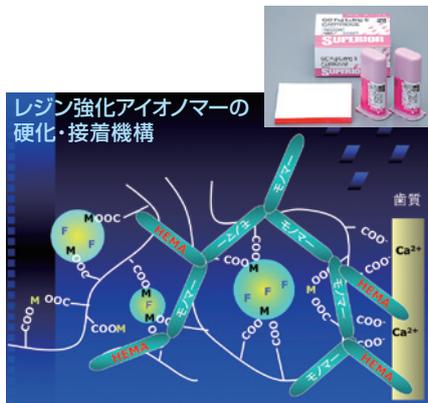


図10 グラスアイオノマーと同様な反応とレジン成分が重合反応を起こし硬化・接着する。コンディショナーで処理された象牙質にはHEMAが浸透・拡散し、樹脂含浸層を形成し接着する。

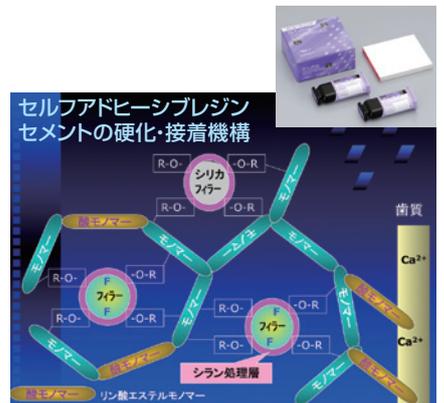


図11 リン酸エステルモノマーのリン酸基が歯質を脱灰し、歯質(Ca²⁺)とイオン結合する。



図6 「G-ライトプライマ」を用い、余剰セメントに1~2秒光照射し半硬化させる。



図7 半硬化した余剰セメントを探針で除去する。とても容易に除去できる。



図8 余剰セメント除去後、ワッテなどを噛ませて4分以上硬化を待つ。「G-ルーティング」は、ジルコニアに対し約40MPaと高い接着強さを示す。

ライマーに配合されているセルフエッチングとボンディング効果のあるリン酸エステルモノマーをセメントペーストに配合しています。レジンベースというのは、セメント自体の曲げ強さや圧縮強さなどが高くなります。そこにリン酸エステルモノマーの作用効果で歯質や補綴物に強固に接着させるのですが、その機能性モノマーの入れ方次第では重合性や物性の面でも問題が出てきますので、最適なバランスで配合したところがこの材料の開発のポイントでした(図14、15)。

山田 もともと歯科用セメントというのは歯質の表面をわずかに脱灰し、歯質に接着しながら硬化してゆきます。そこに機能性モノマーを入れればさらにその効果は上がるわけですが、入れ方次第でもろ刃の剣にもなってしまいます。このバランスというのが非常に微妙で、開発までは大変だったと思います。

オールラウンドに合着できて 使いやすい

中川 山田先生も臨床でお使いになって実感されていると思いますが、余剰セメントの除去がすごく良いですね。

山田 これまでも、各社いろいろな合着用セメントがあり、みんな余剰セメントが取りやすいというお題目で売られるわけですが、「G-ルーティング」が出てきたおかげで今までの材料の影が薄くなった感があります。それくらい除去しやすい(図5~8)。合着材で余剰セメントが取りにくいものは歯周管理を考えても好ましくありません。

中川 しかも、1、2秒の光照射でパキッと外せて、取れ方がきれいですね。ところで、パキッと外して折れた部分は粗造になっているということはないのでしょうか。

山田 それは少ないと思います。

赤羽 余剰セメントの除去が容易であることと、メタルからセラミック、ジルコニアまでの被着体へ前処理なしでオールラウンドに合着できる操作性が、この合着材の大きな特徴です。

中川 これまで金属だとメタルプライマー、ポーセレンならシランカップリング材を使っていたのが一切要らないということですね。

赤羽 はい。要りません。リン酸エステルモノマーのリン酸基は、金属へも接着します。

中川 どのくらいの力で接着しますか。

赤羽 引張り接着強さだと金属で30MPa、

セラミック20MPa、アルミナ50MPa、ジルコニア40MPa、「グラディア」などのハイブリッドレジンで15MPaくらいの強さを発揮します(図14)。

山田 ということは、いわゆるコンポジットレジンボンディング材の歯質に対する基本的な接着力と拮抗しているということですね。

赤羽 先生もご存知のように、リン酸エステルモノマーの優れた歯質接着性能によってスマー層に浸透・エッチングし、エナメル質、象牙質にもほぼ同等の力で優れた接着性を発揮します。

山田 私も「G-ルーティング」の歯質との接着界面を走査電子顕微鏡で観察してみま

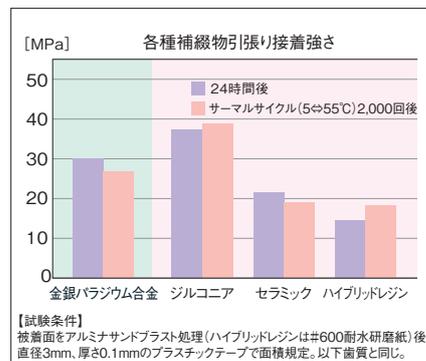


図14 各種修復物への接着強さ。「G-ルーティング」はリン酸エステルモノマーの優れた濡れ性と高い工学的性質により各種修復物に高い接着性を示す。

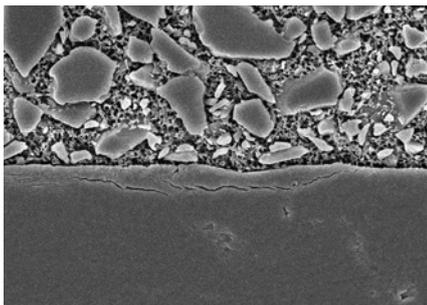


図12 「G-ルーティング」のエナメル質接着界面SEM写真(×10,000)。エナメル質表層のスマー層は脱灰され、接着界面には欠陥はなく良好な接合状態を示している。

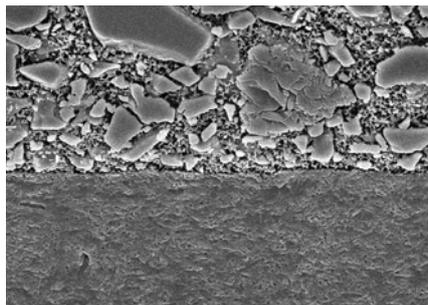


図13 「G-ルーティング」の象牙質接着界面(×10,000)。象牙質表層のスマー層は脱灰され、接着界面には欠陥はなく良好な接合状態を示している。

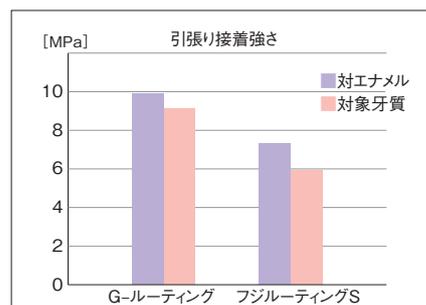


図15 「G-ルーティング」の歯質接着強さ。リン酸エステルモノマーの歯質(Ca²⁺)への相互作用により歯質に浸透し、リン酸エステルカルシウム塩を形成し、優れた歯質接着性を示す。



図16 「G-ルーティング」は歯質および金属への高い接着性により、コアの接着にも有効である。根管内にセメントを満たし、アルミナサンドプラスト処理した金属コアを、圧を掛けて装着する。

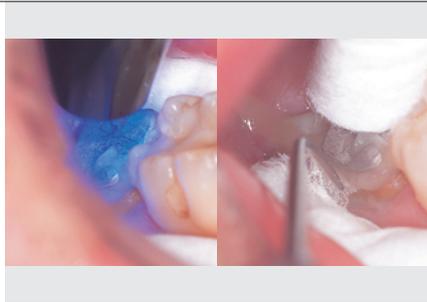


図17 余剰セメントに1~2秒光照射し、半硬化させ、探針などで余剰セメントを除去する。除去後は10分以上放置し、確実な硬化を待つ。



図18 セット終了後、確実な硬化、接着のために支台歯形成は次回にしている。即日形成・印象またはテックを製作する場合は、少なくとも10分以上は放置してから行うことが好ましい。

した。確かにスマー層は綺麗に脱灰されており、界面における接着欠陥もなく良好に接着していることが確認されました。また、2~4 μ mレベルのフルオロアルミノシリケートガラスと思われるフィラーと細かいナノシリカフィラーを緻密に配合しているのがわかりました。歯面へのプライマー処理を必要としないのは非常にリーズナブルで、理想的な接着性セメントと言えますね(図12、13)。ところで、セラミックにはどのように接着しているのですか?

赤羽 「G-ルーティング」はアルミナサンドプラスト処理を施したセラミック表面に対し濡れ性が良好で、しかも理工学的な性質が高いため、高い嵌合力で接着しています。

山田 それでは、セラミックプライマーの応用はさらに接着性を高める可能性があるわけですね。

赤羽 より安定させるには有効な手段だと思われる。ご存知のように欧米では数年ほど前からジーシーを含め各社でセルフアドヒーシブタイプのレジンセメントが発売され、そのほとんどの製品がセラミックプライマーを不要として発売されております。これらの臨床実績からその処理ステップを

省いてご紹介させていただいております。しかし、保持形態をとりにくい、言い換えれば本当に接着強さだけに頼るラミネートベニア修復の接着ではセラミックプライマーを併用した「リンクマックス」、「リンクマスター」による接着をお勧めしています。

山田 なるほど。実際、私の臨床でもセラミックやハイブリッドレジン修復物もセラミックプライマー処理を行わずに接着していますが、特に問題はありますか。

中川 色調はA2、AO3。トランスルーセントの3色ですが、どのように使い分けていますか?

山田 保険診療のメタルの症例では、AO3を使用しています。やはりオペーク性が強いので余剰セメントを除去する際に見やすいです。セラミック、ハイブリッドレジンの症例では、ほとんどA2を使用していますが、咬合面のインレーなどの場合はトランスルーセントが本当に綺麗に仕上がります(図19)。ただ、余剰セメントはルーペなどでしっかり見たほうが良いですね。

赤羽 「G-ルーティング」はレジンセメントですので、「フジルーティングS」などと比べると透明性が大きく異なり、審美的な接着には有効だと考えています。

硬化特性を理解して 使用することが大切

中川 山田先生は合着材の使い分けはされますか。例えば、このケースならレジン系だとかレジン強化型のガラスアイオノマーセメントとか。

山田 メタルインレー等は従来の「フジルーティングS」を使うことが多いと思いますが、審美修復的なものにはやはりレジン

セメントですね。虎の門病院の場合には、ドクターが製品名を言って材料を指示して使います。実は、接着材だけでも世界中の製品を試用しています。「G-ルーティング」が登場してからはこの使用頻度が高いのですが、医師が材料を指示するというのが原則です。

中川 そうですね。やはりケースに合わせて選ぶということが大切ですね。

ところで、「G-ルーティング」を初めて使用される先生方が多少戸惑われるケースもあるとお聞きしたのですが。

赤羽 はい。「G-ルーティング」の硬化特性は「フジルーティングS」に比べて若干ゆっくりしている面もあるので、セメントの初期硬化が始まる前に余剰セメントの除去を行った時に外れてしまったということも聞いております。

山田 一般的に開業医の先生方のセメント除去は歯科衛生士さんに任せることもあるでしょうし、新しい材料にするときには、正しい使い方を理解し、歯科衛生士さんにもしっかり伝えることも大切ですね。

中川 たしかに歯科衛生士さんというケースが多いでしょうね。でも、「G-ルーティング」の場合には、被着物を押さえた状態で光を当て1回固めるまでは自分が行います。硬化のタイミングがガラスアイオノマーセメントとは少し異なるような感じがあるので、セットの位置関係を狂わせないためにも自分で最後まで行ったほうがベストですね。

山田 私のところでも、この製品の余剰セメントの除去に関しては従来のセメントに比べて少し待つようにと指導しています。私のやり方としては、例えば臼歯部では指で押さえながらセットして良い位置にセット

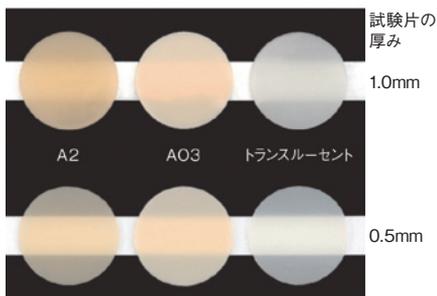


図19 「G-ルーティング」の色調はセラミックインレー等の「トランスルーセント」、セラミッククラウン等の「A2」、余剰セメントの視認性が良いメタル用の「AO3」がラインナップ。

できたなと思ったらロールワッテを載せて、その状態で、指で押さえながら光を当てます。そこで固まり始めたらそのままロールワッテを押さえながら余剰セメントを取る、という具合に指導しています。

中川 レジンコアなどでコアのセットを「G-ルーティング」で行われるときはどのようになさいますか。

山田 やはりポストを合着する時にも常に押さえ続けていることが必要だと思います。

赤羽 その後の形成や印象はどうでしょうか。

山田 コアをセットした時には新しいテックを入れるケースがほとんどです。そうすると噛み合わせが安定してくるのに1週間位はかかりますから、その場で形成、印象ということはほとんどありません。また、レジンセメントは重合が長時間にわたり進行しますので、セメント硬化の機序からみても次回の来院に回されるほうが好ましいと思います。

患者さんへの 合着後のアドバイス

中川 「G-ルーティング」を初めて練った時、固そうに感じて浮き上がらないか心配でした。先生の印象はいかがでしたか。

山田 通常のセメントは比重が小さいので練りが軽いのですが、「G-ルーティング」はレジンベースのセメントなのでコシがあり固い印象を受けたのでしょうか、非常に練りやすい。多くの歯科衛生士さんたちはセメントは練りにくいという意識を持っている人が多いのですが、このセメントに関してはみんな練りやすいと言いますね。それで、練ったものを入れる時には固い感じも受けるのですが、押し込むとスーッと入るので非常に安心感があります。

赤羽 実はセメントのフローは注意して設計しています。フィラーの平均粒径も小さいので被膜厚さは約10 μ mと薄くなっています。

ところで、セラミックのジャケット冠をセットした時に硬化促進のために光を当てると思いますが、セラミックの上から光を当



てることもされますか。

山田 ジルコニア系のものだとオペーキーな白さなので光がどれだけ伝わっているかは疑問ですが、一応は行います。基本的には余剰セメントを固めるためですね。ただ、「G-ルーティング」は光を当てなくても完全に化学的に固まるので神経質になることはありません。

中川 合着後の患者さんへの注意はありますか。

山田 まず一般的なことですが、治療後の食事にはセットした位置で硬いものを噛まないようにとは言います。すぐに食事をしたいという方には、食事まで少なくとも30分以上空けてくださいと。

中川 私は前歯部だと2時間は絶対にフランスパンは食べないでください、とよく言います。フランスパンで取れるケースが多いのです。

山田 日本人の咬合は欧米人と違って屋根型咬合ですから、パンの耳などを前歯で引きちぎろうとしますので注意したほうが良いと思います。

セット時さえ注意しておけば、このセメントの機械的性能は高いので問題ありません。ガラスイオノマーセメントの欠点は曲げ強さが低いことですが、「G-ルーティング」はレジンベースですから曲げも圧縮も強い。非常に理想的な材料だと思います。

中川 ところで、これからのセメントに求められるものには、どのようなことがあるのでしょうか。

山田 理工学的な性能は高くなってきましたから、操作性の面で練らなくていいオートミックスタイプの材料とかに進化していくのではないですか。

赤羽 アメリカではオートミックスタイプの製品は2年ほど前から出しています。若干コスト高になるので、国内の先生方のご要望をお聞きし、検討しているところです。

山田 保険か自費かという問題もあるでしょうが、医療は国民のためにあるのですから、良いものはどんどん出していただきたいですね。

最後になりますが、現在FDIもIADRもAADRも世界的にMIコンセプトを推進していますが、MIの治療技法とか臨床的なコンセプトは実は日本がつくったと言えます。そもそも総山孝雄先生がエナメル窩洞にアマalgam充填を提唱されたのがスタートだと思います。その後、ジーシーが中心になり接着材料を改良させていったことが今日の臨床につながっている。ですから、ジーシーの接着技術の高さは世界の歯科にもすごく大きく貢献しているわけです。

中川 山田先生ありがとうございます。本日は新しい合着材の「G-ルーティング」を中心に、接着の歴史や開発エピソードなど非常に興味深いお話をたくさんいただきました。私たち臨床家は目の前の製品、材料だけにとらわれて、その奥深さまでは目が届かないのですが開発されるメーカーの苦労も少しは感じられたと思います。本当にお忙しいところありがとうございます。