



新たな接着のキーワードの提唱

G-ボンドの有効性と ナノインタラクションゾーン (Nano Interaction Zone: NIZ)

小城 賢一 (北海道大学大学院歯学研究科 大学院生)
 宇野 滋 (虎ノ門病院 勤務)
 井上 哲 (北海道大学医学部・歯学部附属病院 講師)
 野田 守 (北海道大学医学部・歯学部附属病院 講師)
 橋本 正則 (北海道大学医学部・歯学部附属病院 助手)
 小阿瀬 香織 (北海道医療大学歯学部 助手)
 新美 完 (北海道大学歯学部 学部学生)
 佐野 英彦 (北海道大学大学院歯学研究科 教授)

オールインワンシステムとは? 接着性能は?

かつてのボンディング材がエッチング、プライミング、ボンディングの3つのステップを必要としていたのに対し、オールインワンシステムはこれらの3ステップを1つのステップに集約したもので、別の呼び方として1ステップシステムとも言われています。このたびGC社からリリースされたG-ボンドは、1ボトルシステムを採用しているため、混和の必要が無く、手軽に臨床で利用できます。

ところで、オールインワンシステムは2ステップシステムと比べて接着強さが低いといわれてきました。そこで、G-ボンドの気になる接着性能ですが、当教室での象牙質接着のデータを図1に示します(未発表)。これをみるとG-ボンドは40MPa以上の接着強さを示し、この値は2ステップシステムの象牙質接着強さに匹敵しま

す。そのため、G-ボンドは初期の接着強さとしては十分なポテンシャルを持っていることが分かります。

象牙質接着界面の臨床での重要性・ 長期耐久性への注目

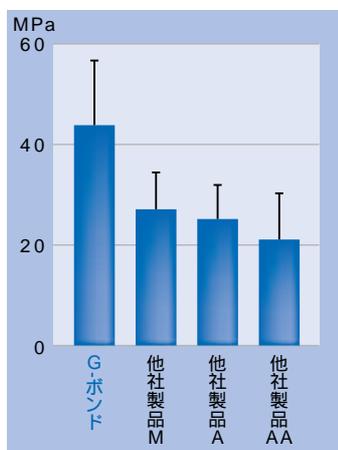
エナメル質への接着は1970年代から十分な接着強さが得られていましたが、象牙質接着はコラーゲン線維やハイドロキシアパタイトの結晶、さらに多量の水分が存在するためになかなか困難なものがありません。

象牙質と修復物が強固に接着するためには、接着界面に樹脂含浸層が作られることが重要であるといわれています¹。図2に典型的なモイストボンディング(ウェットボンディング)で作られた接着1日後の樹脂含浸層のSEM像とTEM像を示します。硬化した接着材と象牙質の間に樹脂含浸層が作られています。ここでみられ

る樹脂含浸層はレジン成分とコラーゲン線維が主成分であることが知られていて、初期での高い接着強さを発揮するためにはなくてはならないものといえるでしょう。

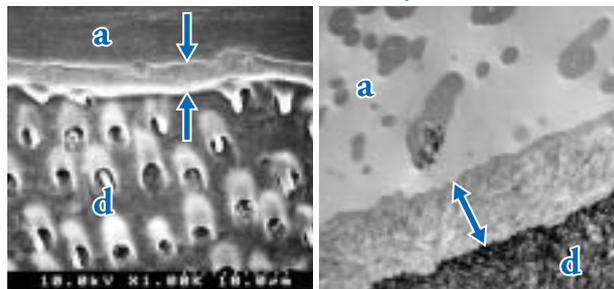
ところが、最近の研究ではこのタイプの接着界面は長期耐久性に疑問があるという研究が数多く発表されるようになってきました^{2,3}。図3にモイストボンディングを行い、口腔内で1年間機能した修復物と象牙質の接着界面を示します。この像を見ると、1年という短期間に樹脂含浸層の中のレジンが溶出したり、コラーゲン線維が溶解したり⁴ということが起こっていることが分かります。このように、モイストボンディングで作られる接着界面はミクロの世界では、長期耐久性に大きな問題があることが、ようやく最近理解されるようになってきました。

図1. 各種オールインワンアドヒーズブの接着強さ(1日後)



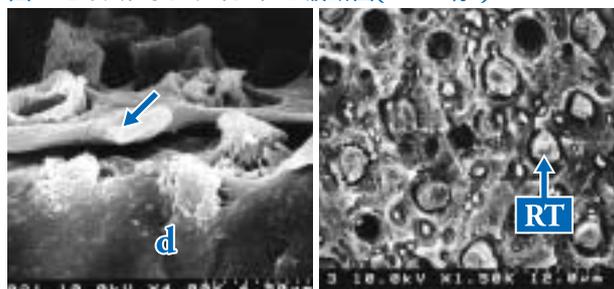
ヒト歯冠部象牙質平坦面への各種オールインワンシステムの接着強さ。未発表データ。(micro-tensile bond strength)

図2. モイストボンディングの接着界面(左:SEM像、右:TEM像)



モイストボンディングで作られた樹脂含浸層のSEM像(左)と未脱灰未染色のTEM像(右)を示す。硬化した接着材層(a)と象牙質(d)の間で矢印で示された部分が樹脂含浸層。TEM像(右)をみると含浸層中にはハイドロキシアパタイトは認められない。

図3. モイストボンディングの破断面(SEM像)



モイストボンディングを行い、口腔内で1年間機能した修復物と象牙質の接着界面。写真左はレジンが抽出され顕微鏡内の高真空により収縮した樹脂含浸層(矢印)が観察される。写真右は接着界面の破断面を示す。破断面では樹脂含浸層中のレジンとコラーゲンが完全に消失し、レジン成分としてはレジンタグ(RT)が観察されるのみである。

各種オールインワンシステムの接着界面

図4、5はそれぞれ市販のオールインワンシステムAAおよびAの接着界面を示します。これらの接着界面は典型的な樹脂含浸層を作っていますが、樹脂含浸層中にはハイドロキシアパタイトがほとんど無く、主としてレジンとコラーゲン線維で構成されており、図3のモイストボンディングの接着界面と良く似ています。これらのシステムは象牙質の表面を強力に脱灰していることが分かります。そのためモイストボンディングと同様に、接着界面の長期耐久性に若干の懸念を感じます。

図6は市販のオールインワンシステムMの接着界面を示します。この接着界面では、ハイドロキシアパタイトが表層では少なく深層に向かってその量が増加しています。そのため、この製品が作る接着界面は、傾斜機能材料的な性質を示し、強度と耐久性の向上が期待できます。ただし、接着界面の表層部の脱灰が強いためこの部分では、モイストボンディングの

ような長期耐久性の問題を内在している可能性があります。

G-ボンドの接着界面:NIZの形成

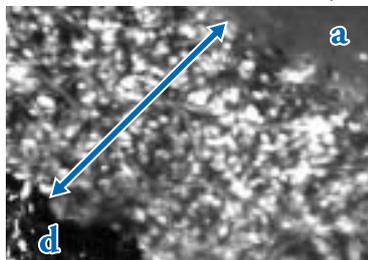
G-ボンドの接着界面は今までの接着材が作ってきた接着界面と全く異なる像を示しています(図7)。象牙質表面の脱灰はごくわずかで、コラーゲン線維の露出はほとんど見られません。そのため、極めて薄い(300ナノメートル以下)接着界面が形成され、この部分ではボンディング材に含まれている機能性モノマーがナノメートルレベルでアパタイトと反応して不溶性のカルシウム塩を形成していることが考えられます⁵。このような、ナノメートルレベルでの反応層を有する接着界面は、強力な脱灰を前提とした樹脂含浸層とは異なり、コラーゲン線維の完全な露出が無い場合、口腔内や歯に存在する酵素によってコラーゲン線維が劣化する⁴危険性が極めて少ないと考えられます。そのため、G-ボンドで作られた接着界面は、今までの接着材で作られたものより強力に耐久性が期待できるといっていいでしょう。

う。このような性質を持つ接着界面を、今後は旧来の樹脂含浸層ではなく、ナノメートルレベルの反応層すなわちナノインタラクションゾーン(Nano Interaction Zone: NIZ)と呼ぶほうが適切であろうと思われます。

オールインワンシステムの進化

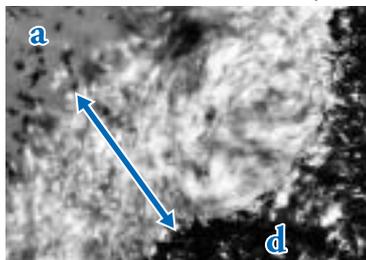
現在、さまざまなオールインワンシステムが発売されています。オールインワンシステムは図8のような進化の過程をたどってきたといえるでしょう。初期に発売されたオールインワンシステムは脱灰力が強く、典型的な樹脂含浸層を作っている旧来型の接着界面。引き続き開発された脱灰力がマイルドなシステムでは、接着界面がレジンとハイドロキシアパタイトによる傾斜機能材料のような形態を示します。これがさらに進化したものと世にリリースされるのが、接着界面にNIZを持つG-ボンドであるといえ、臨床で良好なパフォーマンスを示すことが期待されます。

図4.オールインワンシステムAAの接着界面(TEM像)



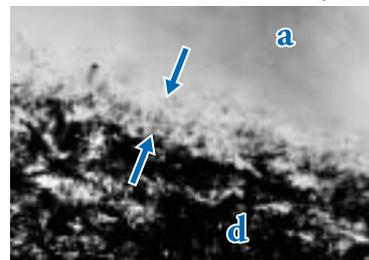
硬化した接着材層(a)と象牙質(d)の間で矢印で示された部分が樹脂含浸層。モイストボンディングの接着と良く似ている。

図5.オールインワンシステムAの接着界面(TEM像)



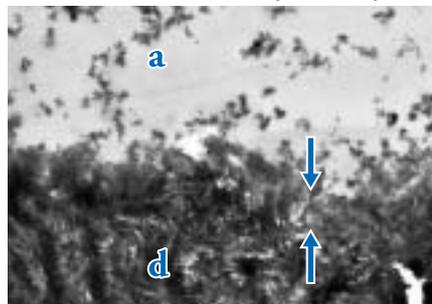
硬化した接着材層(a)と象牙質(d)の間で矢印で示された部分が樹脂含浸層。強力な脱灰がおこなわれていることが分かる。

図6.オールインワンシステムMの接着界面(TEM像)



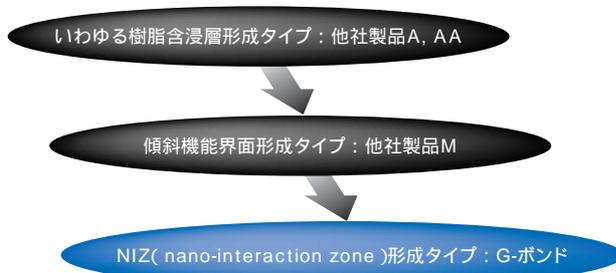
硬化した接着材層(a)と象牙質(d)の間で矢印で示された部分が樹脂含浸層。表層から深層に向かってハイドロキシアパタイトの量が漸次増加している傾斜機能材料(FGM: Functionally Graded Material)的な構造を見ている。

図7.G-ボンドの接着界面(TEM像)



矢印で示された部分にG-ボンド特有の接着界面が観察される。この部分は他の接着システムと比べて電子密度が高いため、極めてマイルドな処理が行われていることが分かる。

図8.オールインワンアドヒーズの進化



文献 1 中林宣男:接着界面の象牙質側に生成した樹脂含浸層について、歯材器1:78-81、1982。

2 Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo K, Sano H, Oguchi H: In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1-3 years. J Dent Res 79(6): 1385-1391, 2000.

3 Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo K, Sano H, Oguchi H: Resin-tooth adhesive interfaces after long-term function. Am J Dent, 14(4): 211-215, 2001.

4 Pashley DH, Tay FR, Yiu C, Hashimoto M, Breschi L, Carvalho RM, Ito S: Collagen degradation by host-derived enzymes during aging. J Dent Res 83(3): 216-221, 2004.

5 Yoshida Y, Van MeerBeek B, Okazaki M, Shintani H, Suzuki K: Comparative study on adhesive performance of functional monomers. J Dent Res 82 (Spec Iss B): B-19, 2003.

株式会社 ジーシー

DIC(デンタルインフォメーションセンター)/フリーダイヤル ☎0120-416480 受付時間 9:00a.m.~5:00p.m.(土曜日、日曜日、祭日を除く) <http://www.gcdental.co.jp/>

支店 東京(03)3813-5751 大阪(06)4790-7333 営業所 北海道(011)729-2130 東北(022)283-1751 名古屋(052)703-3231 九州(092)441-1286