

- 私が望んでいた光照射器 -

# レーザー光照射器 Monet が開く新たな扉

サダル アリレザ Alireza SADR 博士 (歯学)  
准教授, 講座副主任  
ワシントン大学修復学講座



和訳: 日本大学歯学部保存学教室修復学講座 准教授 高見澤 俊樹 先生

光重合型コンポジットレジンを用いた直接修復は、コンポジットレジンの機械的性質および接着システムの向上によって信頼のおける修復治療として、様々な症例に適応が可能である。コンポジットレジンおよび歯質接着システムを含むレジン材料の多くは、オンデマンドで重合が始まる光重合方式を採用している。その一方で、光照射に関わる問題が存在するのも事実である。とくに、深い窩洞の場合は照射光線の減衰が生じることで接着材およびコンポジットレジンの重合が不十分となることが指摘されている。そこで、この問題を解決するために、様々な臨床手法や材料の改良がこれまでなされてきた。例えば、積層充填法はレジンペーストを数回に分けて充填、光照射することでコンポジットレジンの重合を向上させる臨床手法として推奨されてきた。積層充填法は、重合収縮および収縮に伴って発生する応力を減ずる効果も有するとされている。一方、材料開発の観点からは一括充填で4 mmの深さまで重合を可能としたバルクフィルコンポジットレジンが登場し、現在では広く使用されている<sup>(1)</sup>。

また、コンポジットレジン修復に不可欠な光照射器においても技術的な改良が継続的に行われており、深い窩洞に対してもレジン材料の十分な重合を可能とする照射器の開発が行われている。臨床的には、深い窩洞の修復に際しては照射時間を延長することで光エネルギー量の減衰を補う方法が行われるが、照射強度と照射時間によって導き出される総エネルギー量の法則とレジン材料の重合度および重合挙動は、必ずしも一致しないとの報告も散見される。そのため、高出力の照射器 (2000 mW/cm<sup>2</sup>以上) の使用は、コンポジットレジンの硬化深度の向上に有効とされる<sup>(2)</sup>。

一方、どのようなLED照射器を使用しても、ターゲットとする部位から照射チップ先端の距離が増加するに伴って光強度は減衰する。この理由は、LED照射器から照射される光が拡散光であることに起因する。そのため、光学的に特別なレンズを装着するか、高出力の照射器を使用することで、ある程度の改善が期待できる。临床上、照射光が届きやすい部位

での処置に際しては標準的なLED照射器で十分であるが、窩洞が深く隣接面辺縁部へのアクセスが困難あるいは根管内に接着を求める場合は、光強度の減衰は避けられない。

レーザー技術を応用した照射器の開発は、非常に革新的である。レーザー光の特性にコリメーション (平行光線束) 性がある。すなわち、コリメーションとはレーザー光を構成している全ての光線が互いに平行であり、現在使用されている照射器と異なって照射チップ先端がターゲットとなる部位から離れても光の拡散が生じない。したがって、このレーザー光照射器の有する光学特性は、深い窩洞に対しても有用であることが期待される。

Optical coherence tomography (OCT, 光緩衝断層撮影) は、物質を非破壊かつリアルタイムで観察が可能な画像技術であり、コンポジットレジン重合時に発生する欠陥の観察などを可能としている<sup>(3)</sup>。過去10数年に渡って我々の研究機関では、光重合型コンポジットレジン重合時の挙動をOCTから観察してきた。その成果として、光重合型コンポジットレジン重合時には非常に大きな収縮ベクトルが窩洞最深部の接着界面に発生し、これが窩底部でのコンポジットレジン剥離の原因となることを示した<sup>(4)</sup>。また、コンポジットレジン重合挙動の変化が脱離や窩底部でのギャップ形成に影響を及ぼすことを明らかとした。例えば、デュアルキュア型コンポジットレジンに対して光照射を行わず、化学重合方式のみで重合させた場合は、重合時の収縮ベクトルは窩底部から表面に向かい、窩底部でのギャップ形成は観察されなかった。また、試作コンポジットレジンに対して高出力のLED照射器を用いた際の重合挙動を観察したところ、短い照射時間でも照射光は窩底部まで達していることを明らかとした。

一方、レーザー光照射器のMonetを使用した際の光重合型コンポジットレジン重合挙動をOCTから観察した結果では、この照射器は表層から8 mm離れた距離においても3秒間の照射で十分に4 mm深さのコンポジットレジン重合させる能力を示し、20秒間LED照射器で照射した条件と比較しても、窩底部で

のギャップ形成は少なかった (図1)。この研究はコンポジットレジン種類などのいくつかの因子が関与した可能性は否定できないものの、硬化深度に関しては他の照射器と比較してMonetは、照射距離の影響が少なかった。

レーザー光照射器は、非常に革新的であり、今後の照射器開発に変革をもたらす可能性を有している。また、私の臨床においてはバルクフィルコンポジットを使用する代わりに、従来の光重合型コンポジットレジンを使用することも多いため、優れた光線浸透性を有するこの照射器への期待は大きい。以下に、アマルガム修復歯をファイバー強化型コンポジットレジンにて再修復した症例を図2~5に提示する<sup>(5)</sup>。隣接面窩洞においては、マトリックス上部から歯肉側壁辺縁部までは6 mm以上の距離を有していた。Monetは、照射距離の違いにかかわらず光強度の減衰が少ないため、窩底部での接着性とともに隣接面壁および辺縁隆線部での接着材およびコンポジットレジンとの十分な重合が期待できる。また、複数のステップが必要な複雑な修復処置では、照射時間が数秒で済むことはチェアタイムの短縮にもつながる。

根管内に接着を求める修復処置は、デュアルキュア型のレジン材料を使用したとしても十分な重合が得られているか疑問が残るところである<sup>(6)</sup>。図6, 7に金属ボストの脱着した歯の再修復症例を提示する。十分なフェルール (帯環効果) が得られないため、些か歯の保存が困難と考えられる症例であるが、直接法のコア用レジン接着システムを用いて歯の保存に努めた。Monetの使用は、確実な根管への接着が期待でき、歯の延命に貢献できるものと考えられる。この様な特別な症例では、根管への接着操作後、ファーバーポストを用いて直接法でレジン築造を行い、セラミックス冠を装着した。また、セラミックス冠の装着に際しては、加熱した光重合型コンポジットレジン装着材料とし、Monetを用いて照射した。デュアルキュア型のレジンセメントの代わりに機械的性質に優れる光重合型コンポジットレジン装着材料として用いることで予知性の高い修復治療もMonetは実現可能とする。

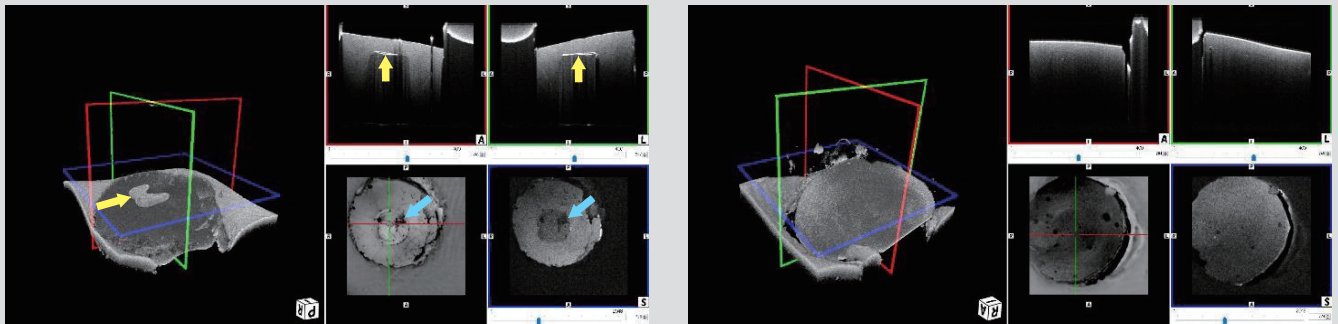


図1. OCT画像からLED照射器を用いた際は、窩洞深さ4 mmの窩底部にはギャップ形成が認められたものの（左図）、レーザー照射器のMonetではギャップ形成は認められなかった（右図）。ギャップ形成部を水色矢印で示す。また、同時に窩底部では輝度の上昇が認められた（黄色矢印）。



図2. 旧アマルガム充填物を除去した後、隣接面部の歯肉側壁辺縁に合わせてセクショナルマトリックスを固定した。



図3. 歯面処理を行い、隣接面と辺縁隆線を光重合型コンポジットレジンで築盛し、Monetで照射を行った。



図4. Monetのヘッドは、臼歯部に近接照射が可能な形にデザインされている。



図5. 隣接部および頬舌側壁の築盛後、照射を行い、次いで咬合面側に特殊ポリエチレン繊維を設置、Monetにて照射を行った。



図6. 金属ポストとともに脱離したクラウン。



図7. 残存歯質は少ないものの、歯の保存を行うのであれば根管象牙質への確実な接着が必要となるため、十分な重合が得られる方法を選択すべきである。

#### 参考文献

- [1] Hayashi J, Espigares J, Takagaki T, Shimada Y, Tagami J, Numata T, et al. Real-time in-depth imaging of gap formation in bulk-fill resin composites. *Dental Materials* 2019;35:585–96. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.01.020>.
- [2] Hayashi J, Tagami J, Chan D, Sadr A. New bulk-fill composite system with high irradiance light polymerization: Integrity and degree of conversion. *Dental Materials* 2020;36:1615–23. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.10.012>.
- [3] Hayashi J, Shimada Y, Tagami J, Sumi Y, Sadr A. Real-Time Imaging of Gap Progress during and after Composite Polymerization. *J Dent Res* 2017;96:992–8. <https://doi.org/10.1177/0022034517709005>.
- [4] Cho E, Sadr A, Inai N, Tagami J. Evaluation of resin composite polymerization by three dimensional micro-CT imaging and nanoindentation. *Dental Materials* 2011;27:1070–8. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.07.008>.
- [5] Sadr A, Bakhtiari B, Hayashi J, Luong MN, Chen Y-W, Chyz G, et al. Effects of fiber reinforcement on adaptation and bond strength of a bulk-fill composite in deep preparations. *Dental Materials* 2020;36:527–34. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.01.007>.
- [6] Wu H, Hayashi M, Okamura K, Koytchev EV, Imazato S, Tanaka S, et al. Effects of light penetration and smear layer removal on adhesion of post-cores to root canal dentin by self etching adhesives. *Dent Mater* 2009;25:1484–92. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.06>

本紙は、MRIボ新聞 に発行予定のもの再構成いたしましたものです。