

各種光照射器の特性

—高出力LED照射器との比較—

釜田 朗¹ 森川公博² 板倉慧典¹ 齋藤高弘¹

Characteristics of Various Light Curing Units

—Comparison with High Intensity LED Curing Units—

Akira KAMADA¹, Kimihiro MORIKAWA², Keisuke ITAKURA¹ and Takahiro SAITO¹

The clinical application of composite resin as an esthetic repair is increasing and is also recommended by Minimal Intervention dentistry. High intensity light-curing units using super luminosity blue light-emitting diodes (LEDs) have become indispensable for light-cured composite resin fillings.

Comparison of the light-cured composite resin polymerization obtained through light-curing units using high intensity LEDs with those employing second generation LEDs, halogen and xenon demonstrated the following results.

- 1) Light intensity of the high intensity LED light-curing unit was twice that of the halogen light-curing unit (790-900 mw/cm² vs. 360-540 mw/cm²).
- 2) No difference in light intensity was observed between the second generation LED light-curing unit and the halogen light-curing unit.
- 3) Light intensity of the xenon light-curing unit was twice that of the high intensity LED and four times that of the halogen light-curing units.
- 4) The high intensity LED light-curing unit obtained a ≥ 5 mm depth of cure in half the time (20 secs) of the halogen and second generation LED light-curing units.
- 5) Xenon achieved a ≥ 5 mm depth of cure in a very short period (10 secs).

In summary, irradiation of the high intensity LED curing-unit is useful in cordress and gives a sufficient intensity additional camphorquinone to polymerization of light cure composite resin.

Key words : high intensity LED curing-units, light intensity, curing depth

緒 言

コンポジットレジン修復の臨床に占める役割、齶蝕処置に対して、MI (Minimal Intervention dentistry) の考え方が定着し、コンポジットレジン自体の性能の向上に伴ってその適応範囲が拡

大され、審美性修復法としての重要性が高まる一方である。

そのため治療を進めるうえで、コンポジットレジンの重合を効率的かつ確実に実施できるかが重要な事項である。光重合照射器は、コンポジットレジン充填に欠かせない機器であり、ハロゲンラ

受付：平成23年10月13日，受理：平成23年11月8日
奥羽大学歯学部診療科学講座¹
森川歯科クリニック²

Department of Therapeutic Science Ohu University
School of Dentistry¹
Morikawa Dental Clinic²

ンプを光源とした可視光線によって硬化させるタイプが登場した。

10年ほど前から高輝度青色発光ダイオード（以下LED）¹⁾を光源とした照射器が市販されるようになり、さらに高出力のLED照射器が開発され、その研究報告²⁻⁴⁾も散見されるとともに臨床応用の普及も進んできた⁵⁾。特にLEDは、ハロゲン照射器よりエネルギー効率がよく、小型化が可能なことから、コードレスの使い勝手の良い製品が市場に出されている。

しかしながら、LEDの特性が十分理解されて臨床で使用されているかに関しては、疑問が残るところであり、従来の照射器との相違の理解不足から思わぬトラブルが生じないとも限らない。高出力LED照射器は、臨床応用において有用性が高い製品ではあるが、トラブルを防ぐためにも、その特性を把握する必要があると思われる。

今回、光照射器の主流となっている高出力LED照射器のコンポジットレジン重合性能について、これまでの第2世代LED照射器、ハロゲンおよびキセノンの各種光照射器との光強度と重合したレジンの硬化深度を比較し、さらに高出力LED照射器の臨床応用上の留意点も含めて報告する。

材料および方法

1. 光照射器

実験に供した各種光照射器を表1に示し、以下AからGとした。

すなわち、ハロゲン照射器としてはA; Coltolux 50(Coltene/Whaledent AG, USA), B; JET ライト1000 (J. Morita USA, USA), C; JET ライト3000 (J. Morita USA, USA) の3種類とした。LED照射器としてはD; Curespot(システムテック, 日本), E; BlueLex (Monitex Industrial co., LTD, USA), F; Elipar™ Freelight2 (3M ESPE, USA) の3種類とした。これにキセノン照射器のG; DENTCRAFT® PLASMASTAR(Monitex Industrial co., LTD, USA)を加えて合計7機種とした。

2. 光強度の測定

各照射器の光強度測定は、照射器の性質上、同

表1 光照射器の種類

ハロゲン	A	Coltolux50	Coltene/Whaledent AG
	B	JET ライト1000	J. Morita USA
	C	JET ライト3000	J. Morita USA
LED	D	Curespot	システムテック
	E	BlueLex	Monitex Industrial co., LTD
	F	Elipar™ Freelight2	3M ESPE
キセノン	G	DENTCRAFT® PLASMASTAR	Monitex Industrial co., LTD

一の機器での測定は困難であるため、以下の方法によった。すなわち、ハロゲン照射器はModel 100 Curing radiometer (Demetron) で、LED照射器はLED用のL.E.D.Radiometer (Demetron)によった。キセノン照射器については、その本体に附属の測定器を用いた(測定方法が一樣でないために、参考値として比較した)。

3. 硬化深度の測定

光照射器の光重合型コンポジットレジンに対する硬化深度測定は、直径4mm、深さ9mmの円筒形の金型に光重合型コンポジットレジン(Filtek™ Supreme A3B, 3M ESPE)を適法に従って充填し、LUMI STRIPSを介して圧接した後、光照射を行った。次いで直ちに未重合部分を取り除き、温度37℃、湿度99%のインキュベーター内に24時間保存後、重合最深部までの試料長を測定した。この硬化深度測定には、Nikon DIGIMICRO MUE-501を使用した。

なお、照射時間はAからCのハロゲンとLEDのDからFは、10秒、20秒および40秒、キセノンは、10秒と20秒とし、試料数は各5個として、それぞれの平均値を求めた。

また、統計はKruskal Wallis H-testで行い、多重比較はMann-Whitney U-testを用いた。いずれも統計学的有意水準は $p < 0.05$ とした。

結果

1. 光照射強度について

光照射強度は、参考値ではあるが、図1に示したように、AからCのハロゲン照射器では360~540mw/cm²程度であった。高出力LED照射器では、Eは790mw/cm²、Fは900mw/cm²とハロゲン照射器の約2倍の光照射強度を示したが1000mw/cm²には達しなかった。

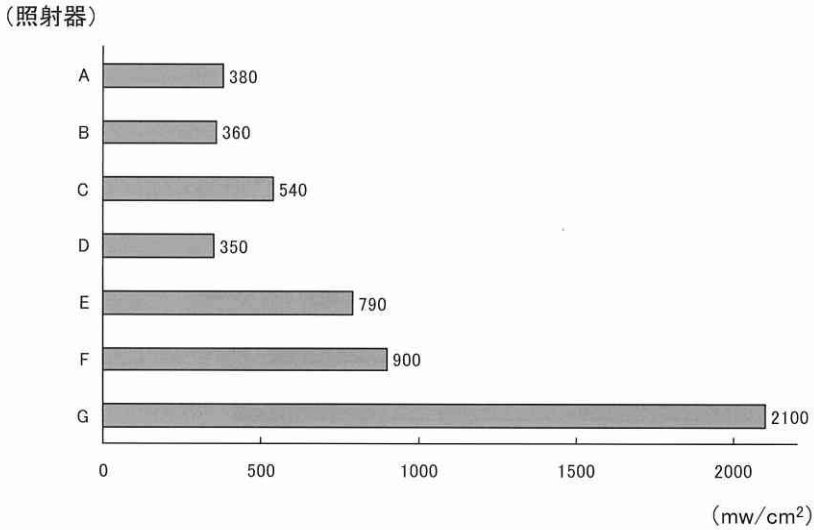


図1 光照射強度

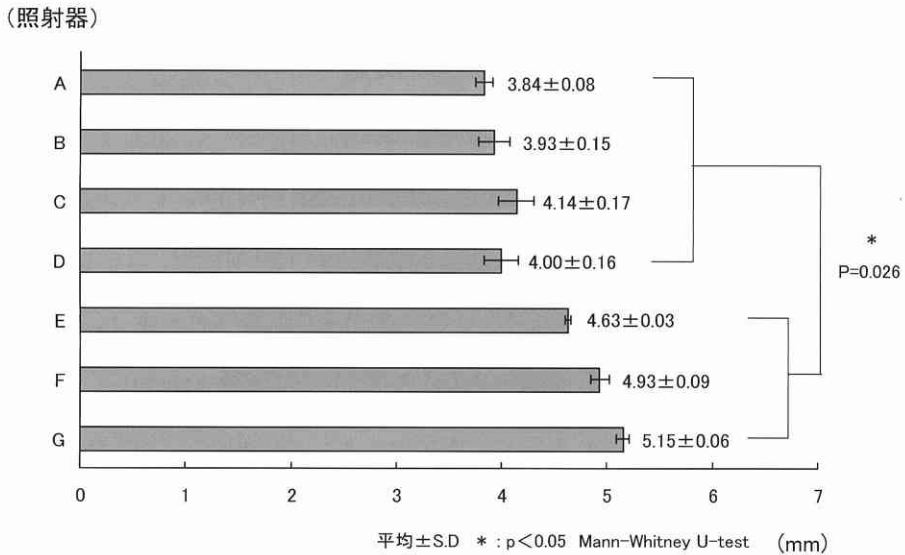


図2 光照射10秒後の硬化深度

また、LED照射器であってもDの第2世代のものは350 mw/cm²と、ハロゲンよりも光強度が劣っていた。キセノン照射器のGは、2100 mw/cm²と高出力LED照射器の約2倍、ハロゲン照射器の約4倍以上であった。したがって、高出力LED照射器の光照射強度は、キセノン照射器のそれには及ばなかった。

2. 硬化深度について

各照射器を応用したときの、臨床で日常使用している光重合型コンポジットレジンの硬化深度を測定することで光照射器の重合能力を検証した。図2に照射10秒後の硬化深度を、図3には20秒後、図4には40秒後における各々の硬化深度の実験結果を示した。AからDのハロゲンや第2

(照射器)

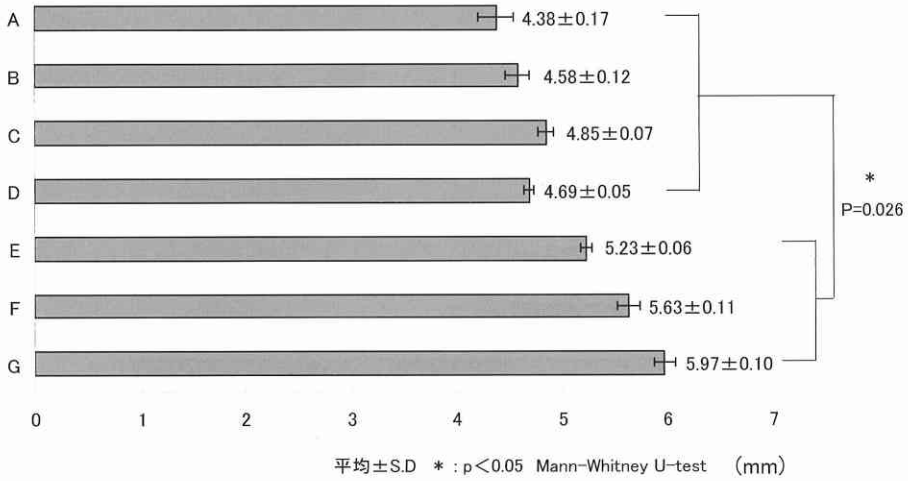


図3 光照射20秒後の硬化深度

(照射器)

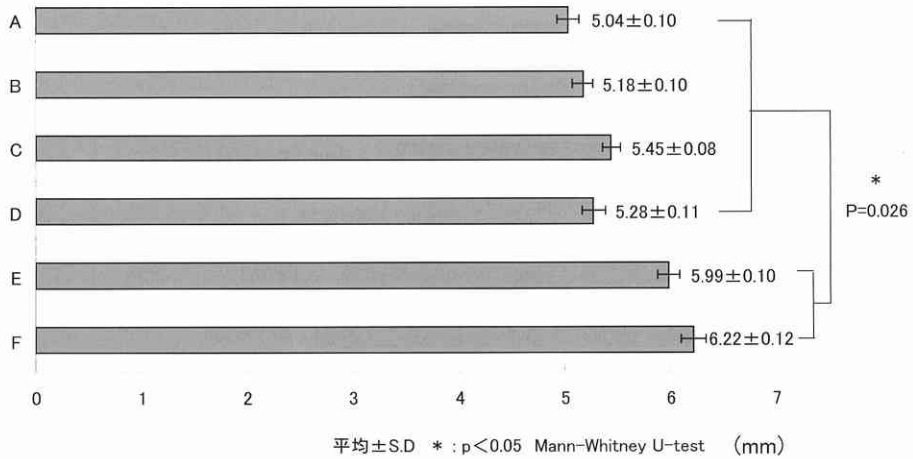


図4 光照射40秒後の硬化深度

世代 LED と比較すると E から G の高出力 LED やキセノンは有意に高い硬化深度が得られ、その傾向は光照射時間が延長しても同様であった。また図より明らかなように A から C のハロゲンと D の第 2 世代 LED では、20 秒照射で 4.38 ~ 4.85mm であったのに対し、高出力型 LED の E, F では 20 秒照射で 5.23 ~ 5.63mm であった。従って、ハロゲンや第 2 世代 LED では同程度の硬化深度を得るのには、さらに 20 秒追加照射して 40

秒の照射時間が必要であった。これに対し G のキセノンでは 10 秒でもこの深度に達した。

考 察

光照射器は、ハロゲンを光源としてから、その性能の向上とともに、急速に臨床応用が広がった。さらに光源に光強度の強いキセノン放電管を用いて短時間の光照射を可能としたものが登場し、重合時間の短縮と利便性を謳って市販され臨床で応

用されてきた。

しかし、キセノン照射器を用いたとき発生したラジカル量が適量を超えると、重合が停止するために構築されるポリマーは三次元架橋密度の低いものになってしまうとの考え^{6,7)}もあり、その重合性について問題があるとの報告^{8,9)}がなされている。

2000年になって青色発光ダイオードを用いた光照射器 (LED 照射器) が、この市場に加わった。この LED 照射器は、使用時間による出力の低下がないこと、低電力ですむことから、コードレスにも適しているなどの利点を備えている。

しかし、光強度が小さいことからレジンの硬化に対して深度が問題となり、長い操作時間とその物性に関する問題を残していた。第1世代とされる当初の LED 照射器の出力は100~200 mw/cm²であったが、その後改良された。第2世代と呼ばれる300~500 mw/cm²程度の出力のものが現れたが、850mw/cm²以上までの数値を示した高出力のハロゲン照射器にも及んでいなかった。

本実験による光強度の測定は、測定機器に違いはあるが、現在市販されている高出力 LED 照射器は、1000mw/cm²までの測定値は得られなかったものの、900mw/cm²と近い値が示された。この出力については、第2世代 LED 照射器がすでに、高出力ハロゲン照射器に匹敵した重合能力を持っているという報告¹⁰⁾がされている。これは重合能力について LED 照射器がハロゲンの1.8倍あるとされるものである。

したがって、1000mw/cm²の高出力の LED 照射器は、高出力ハロゲン照射器でいえば、1800mw/cm²以上となり、キセノン光源の光強度に遜色ないということになる。

光重合型コンポジットレジンの硬化深度では、従来のハロゲン照射器 A、B と高出力ハロゲン照射器 C、そして第2世代 LED 照射器 D それぞれの照射器の出力と硬化深度との間に有意な差はなく、照射時間が10秒から20秒、40秒と延長しても、この傾向が変わることはなかった。

しかし、高出力 LED 照射器 E、F では、照射10秒でこれらの20秒照射後の値と同程度の硬化深度を示しキセノンに迫るものであった。

したがって、今回の実験より明らかになったように、高出力 LED 照射器は、これまでの LED 照射器とは異なり、キセノン照射器と同等なまでの重合能力を持っていた。その使い勝手においても消費電力が少ないコードレスタイプの照射器と比較すると、ハロゲンランプのように照射の度毎に光強度が低下していくことなく、照射回数も多くとすることが可能である。しかも、消費電力が大きいキセノン照射器は、光源が大きいことから光照射部と光源が別になっているコンダクタータイプの形態を採らざるを得ないなど、高出力 LED 照射器は、他の照射器に比べ利点が多いように思われる。

波長と硬化性に関しては、現在市販されている照射器の光源にはそれぞれ波長特性¹¹⁾がある。コンポジットレジンををはじめ光重合型材料の重合開始剤として使用されているカンファーキノンは、437~482nm において励起される。この波長域であれば、照射器の種類を問わずレジンを硬化させることができる。各照射器の波長域は、ハロゲンが400~530nm、高出力ハロゲン375~530nm、キセノンでは400~525nm でいずれも適応はできる。

しかし、ハロゲン光やキセノン光は、紫外線や赤外線などの人体に有害な波長域を含んでいるため、フィルター除去が必要である。これに対し、LED 照射器の波長域は、450~470nm である。

したがって LED はカンファーキノンの励起波長域と重なるため、エネルギー効率も良い¹²⁾。

LED 照射器の使用にあたっては、この波長域で使用されている光触媒は感応するか、臨床でのトラブルを招かないために光照射器の重合特性を知ることは極めて重要である。

ライトガイドの先端が汚れてしまえば光強度の低下を来すため、照射口は常に付着物を除去し、清潔を保つようにすることは改めて言うまでもない。

現在市販されている各メーカーの光重合型コンポジットレジンのおよびそのフロアブルタイプやボンディング剤と光重合型のシーラント、ガラスアイオノマーセメント、裏層材、合着用レジンセメント、即時重合レジンの重合に関するの大きな差

異はない。しかし、一部ではあるが重合しない、あるいは重合が不完全であった製品も認められている⁹⁾。したがって、使用する材料が重合できるか否かは、事前に確認しておく必要があると思われる。

結 論

高出力LED照射器のコンポジットレジン重合特性について、これまでのハロゲン、第2世代LED照射器にキセノン照射器を加えた各種光照射器の比較検討を行い、以下の結論を得た。

1. 光強度は、ハロゲン照射器の360~540mw/cm²程度に対して高出力LED照射器は、790mw/cm²から900mw/cm²とハロゲン照射器の2倍の強度を示した。

2. 第2世代LED照射器は、ハロゲン照射器の光強度と変わらなかった。

3. キセノン照射器の光強度は、高出力LEDの2倍、ハロゲン照射器の4倍以上であった。

4. コンポジットレジンの硬化深度でみると、高出力LED照射器は、ハロゲンや第2世代LED照射器の半分の20秒で5mm以上の値が得られた。

5. キセノンでは、10秒という極めて短時間の光照射で5mm以上の硬化深度が得られた。

以上要するに、高出力LED照射器は、光重合型コンポジットレジンにおいて、特にカンファークシノンが重合開始剤として使用されている場合には、臨床上の使い勝手も含めて有用性の高い機器であった。

なお、本論文の要旨の一部は、第126回日本歯科保存学会(平成19年6月7日 大宮)において発表した。

文 献

- 1) 田中章人, 腰原正彦: LEDについて. DE 154; 27-29 2005.
- 2) 藤林久仁子, 石丸和俊, 河野 篤: 青色発光ダイ

オードを応用した照射器に関する研究 第1報 基礎的研究. 日歯保存誌 39; 180-188 1996.

- 3) 高橋紀彦, 石丸和俊, 河野 篤: 青色発光ダイオードを応用した照射器に関する研究 第2報 SQW-LEDの波長特性がレジンの重合に及ぼす影響. 日歯保存誌 41; 509-516 1998.
- 4) 色川敦士, 大岡悟史, 澁谷陽子, 利根川雅佳, 小池大輔, 島村 稔, 高見澤俊樹, 宮崎真至, 鈴木敏裕: LED照射器の照射特性に関する研究. 日歯保存誌 51; 543-549 2008.
- 5) 野本理恵: 光照射器の変遷. 日歯理工誌 30; 239-241 2011.
- 6) 手島 涉, 野村雄二, 田中伸征, 柴田暁輝, 新谷隆英, 白井憲一, 占部秀徳, 名原行徳, 新谷英章: 紫色発光ダイオードを用いて光硬化させた新規光重合開始剤添加歯科用レジンの反応速度論的解析. 日歯保存誌 47; 442-453 2004.
- 7) 手島 涉, 野村雄二, 名原行徳, 岡崎正之: LED照射器の現状と将来性—波長および出力からみた歯科材料の硬化性について. DE 154; 30-32 2005.
- 8) 長谷川篤司, 行谷 弥, 伊藤和雄, 和久本貞雄, 久光 久: キセノン光源によって重合されたコンポジットレジンの象牙質窩洞辺縁適合性について. 接着歯学 16; 196-197 1998.
- 9) 神谷直孝: キセノン光照射器により生じるコンポジットレジンの重合収縮応力に関する研究. 日歯保存誌 43; 371-382 2000.
- 10) Stahl, F., Ashworth, S. H., Jandt, K. D., Mills, R. W.: Light-emitting diodes polymerization of dental composites: flexural properties and polymerisation potential. Biomaterials 21; 1379-1385 2000.
- 11) 池島 巖, 桃井保子: 最近の光照射器の傾向—LED照射器の性能比較—. 日歯理工誌 30; 242-245 2011.
- 12) 松澤紀彦, 池島 巖, 藤林久仁子, 桃井保子: 光照射器の現況, 利点と欠点について. DE 157; 21-24 2006.

著者への連絡先: 釜田 朗, (〒963-8611) 郡山市富田町字三角堂31-1 奥羽大学歯学部診療科学講座

Reprint requests: Akira KAMADA, Department of Therapeutic Science, Ohu University School of Dentistry

31-1 Misumido, Tomita, Koriyama, 963-8611, Japan