

光照射器と照射条件がコンポジットレジン 硬化体の諸性質に及ぼす影響

岡田英俊 石田喜紀 野口博志 長山克也

Influence of Curing-light Unit and Exposure Conditions on the Properties of Lightcured Resin Composite on Curing-light Units

Hidetoshi OKADA, Yoshiki ISHIDA, Hiroshi NOGUCHI and Katsuya NAGAYAMA

The purpose of this study was to examine the influence of curing light units and exposure conditions on the properties of the polymerization of a lightcured resin composite. Lightfil was used as a resin composite. The curing light units used were a JETLITE, as a halogen lamp curing light source (HAL), a MICROWAVE, as a xenon lamp curing light source (XEN), and a AQUABLUE, as a light-emitting diode curing light source (LED). Each curing light unit was used to cure the resin composite with the irradiation periods according to the manufacture's instructions. The rise in temperature of guide tip with curing light units during irradiation, and the depth of polymerization, diametral tensile strength, vickers hardness (HV) and polymerization shrinkage of resin composite light-cured were determined.

The results obtained were as follows.

1. Greatest rise in temperature of guide tip and shallow polymerization depth of resin composite was observed when XEN curing light unit was used to cure the resin composite as compared with those using HAL and LED.
2. A small HV and diametral tensile strength value were obtained when XEN was used to cure the resin composite as compared with those using HAL and LED.
3. The kind of light source curing unit had no significant influence on the polymerization shrinkage of resin composite.

Key words : curing light unit, light-cured resin composite, rise in temperature, mechanical properties

緒 言

歯科臨床における歯の実質欠損に対する保存修復用材料として光重合型コンポジットレジンを用いる頻度は非常に高く、また、この材料を重合させるには可視光線の光照射器が必要不可欠である。

そして光重合後の硬化体の機械的性質は材料自体の性能もさることながら、照射される光強度、有効波長域やピーク波長に影響を及ぼされる^{1,2)}。発光ダイオード (Light Emitting Diodes) は消費電力が小さく、耐用年数が高いことから次世代の信号機や照明器具として注目を集めており、近年の青

表1 実験で用いた光照射器および材料

照射器	コード
LED型	
アクアブルー(ヨシダ) ハロゲン型	LED
JETLITE(モリタ) キセノン型	HAL
マイクロウエーブ(ヨシダ)	XEN
コンポジットレジン	
ライトフィル(松風)	LF

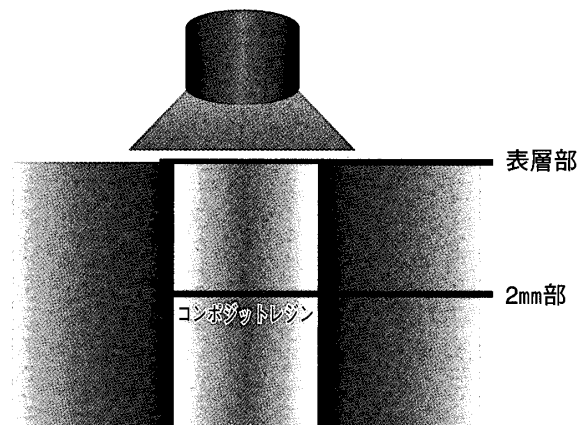


図1 硬さの測定部位

色発光ダイオードの開発により歯科でもコンポジットレジン重合用照射器として応用され、LED型光照射器(以後LEDと略記する)が製品化された。また、キセノンランプを光源に用いたキセノン型(以後XENと略記する)は高出力で短時間にコンポジットレジン重合できるとされることから、臨床での使用頻度も高くなってきている。そこで今回著者らは、従来から使用されているハロゲンランプ光源の可視光線照射器(以後HALと略記する)、LEDおよびXEN光照射器の照射時温度およびこれらの光照射器を用いて重合させたコンポジットレジン硬化体の諸性質について比較検討した。

材料と器械および方法

1. 実験材料と器械

今回、実験に用いた光照射器の種類、メーカー、コードおよび光重合型コンポジットレジンとは表1へ示す。

2. 方法

実験は以下に挙げる5項目について行った。なお、各実験項目における光照射時間についてLED、HALはLFのマニュアルにあわせ20秒間としたが、XENは最大5秒までしか照射時間が設定できないこと、さらにメーカー指示の照射時間を踏まえ5秒間で行った。また、全ての実験条件で試料は1条件10個とし、得られた値はone way ANOVAおよびTukey's HSD test ($p < 0.05$)によ

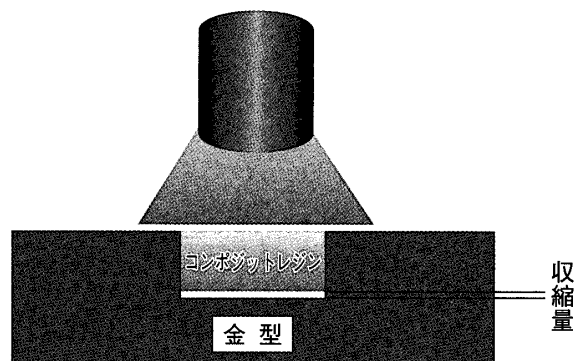


図2 重合収縮率の測定

り検定した。

1) 温度測定

光照射中の照射口の温度は 23 ± 2 °C、湿度 50 ± 5 %の恒温恒湿室中でデジタル温度計(おんどとり、Omron)により光照射開始から終了までの温度について測定した。

2) 重合深度測定

重合深度の測定は直径4 mm、深さ8 mmの金型にLFを充填し、ストリップスにて平面に圧接した後、上面より光を照射した。試料は未重合部を取り除いた重合最深部までの試料長についてデジタルマイクロメーター(DIGIMICRO, Nikon)を用いて測定した。

3) 間接引張強さ試験

間接引張強さの実験試料は直径2 mm、長さ4 mmのテフロン型にLFを充填し、ストリップスを用

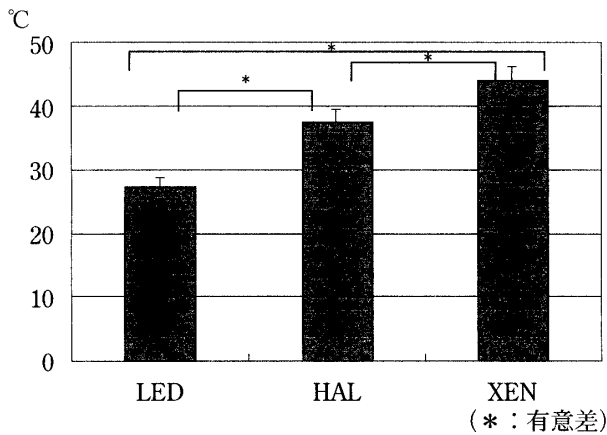


図3 照射口の温度

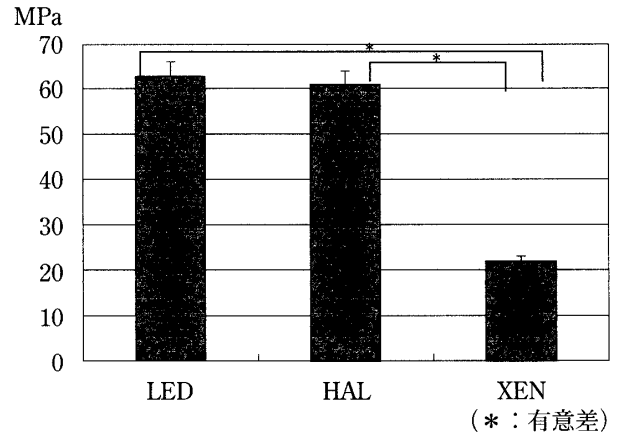


図5 間接引張強さ

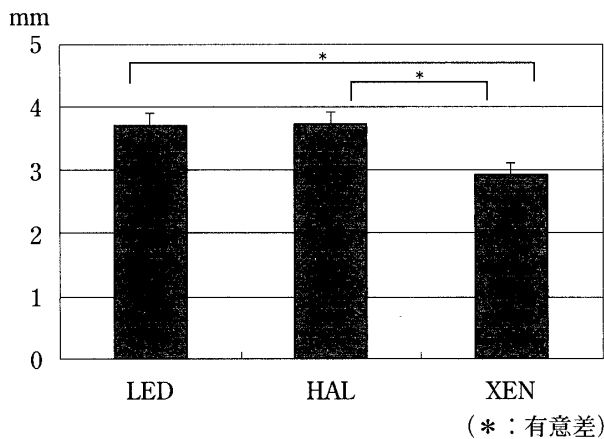


図4 重合深度

いて平面に圧接した後、上面より光照射して重合させた。その後試料は蒸留水中に1週間浸漬し、小型万能試験機(1310DW, アイコーエンジニアリング)に装着して、クロスヘッドスピード0.5mm/minで圧縮応力を負荷し、間接引張強さについて測定した。

4) 硬さ測定

ビッカース硬さ試験の試料は直径4mm、深さ8mmの金型にLFを充填し、ストリップスを用いて平面に圧接した後、光照射して重合させた試料により、最表層部および照射面表層から深さ2mm部(図1)について測定した。なお、2mm部については低速カッター(ISOMET, BUEHLER)にて試料を切断した後、回転研磨機(PHOENIX 4000 BUEHLER)にてSICペーパー#1000で面出しを行ってから実験を行った。

5) 重合収縮率

重合収縮率は直径6mm、深さ2mmの金型にLFを充填し、ストリップスを用いて平面に圧接した後、光照射して重合させたものを試料とした(図2)。試料は低速カッター(ISOMET, BUEHLER)にて中央部を縦断し、読みとり顕微鏡(MEASURESCOPE, Nikon)を用いて収縮量を計測し、金型の深さと計測値から重合収縮率を算出した。

結 果

1. 照射口の温度

図3へ照射時における照射口の温度を示す。平均値でLEDは27.5°C、HALは37.8°C、XENは44.1°Cとなり、HALはLEDよりも有意に高温となり、XENはLED、HALよりも有意に高温となっていた。

2. 重合深度

図4へ重合深度の結果を示す。平均値でLEDが3.72mm、HALが3.74mm、XENが2.95mmとなり、XENはLED、HALよりも有意に硬化深度が小さくなっていた。

3. 間接引張強さ

図5へ間接引張強さの結果を示す。平均値でLEDは62.7MPa、HALは60.9MPa、XENは22.1MPaとなり、XENはLED、HALに比較し有意に小さくなり、約1/3倍の値を示した。

4. 硬 さ

図6へビッカース硬さの結果を示す。平均値で

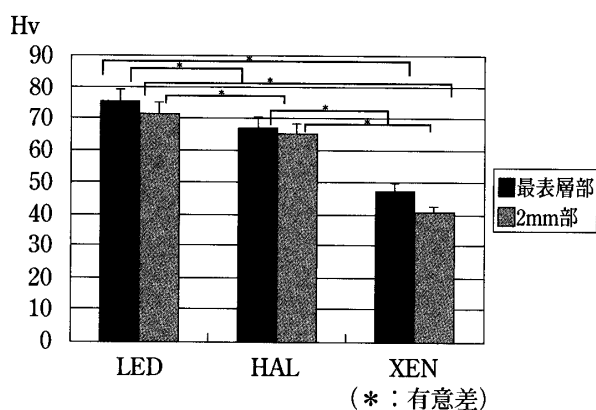


図6 ビッカース硬さ

LEDの最表層部は75.6，2mm部は71.5となり，表層部より2mm部の硬さが約5.4%減少していた。HALの最表層部は67.1，2mm部は65となり，表層部より2mm部の硬さが約3.2%減少していた。XENの最表層部は47.4，2mm部は40.6となり，表層部より2mm部の硬さが約14%減少しており，LED，HAL，XENともに表層部よりも2mm部で硬さが減少していた。また，表層部，2mm部ともにHALはLEDよりも有意に小さくなり，XENはLED，HALよりも有意に小さい値となっていた。

5. 重合収縮率

図7へ重合収縮率を示す。平均でLEDは2.21%，HALは2.23%，XENは2.44%となり，LF硬化体の重合収縮率は照射器の違いによって有意差がみられなかった。

考 察

光重合型コンポジットレジンに光照射器の性能が硬化体の機械的性質に影響を及ぼすとされており^{1,2)}，有効波長域や出力および照射時間が重要³⁾とされている。また，歯科臨床においては器械の性能だけでなく，操作性，コストパフォーマンスなどにも優れていなければならない。さらにコンポジットレジンの重合度は未反応モノマーの溶出の原因となり，歯髄にも影響を及ぼすとされる^{4,5)}。これらのことから現在用いられている各タイプの照射器の特性を明確にすることは臨床的にも有用と考え今回の実験を行った。

LEDの光源である青色発光ダイオードは有効

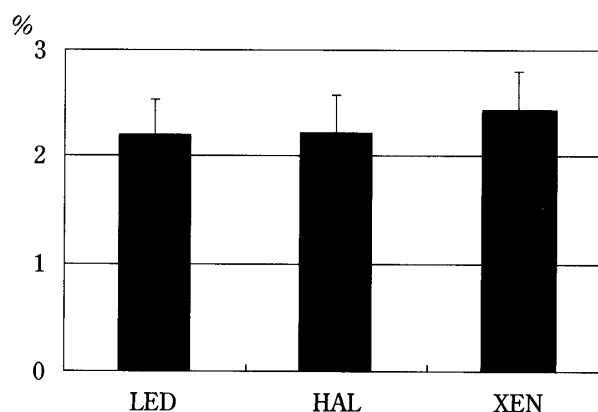


図7 重合収縮率

波長域が450-480nmと狭く，フィルターを必要としないこと，さらに省電力で耐久性，メンテナンス性に優れ，連続使用による照射出力の低下が少ない⁶⁾などの特性がある。大きな光強度で重合時間を短縮できるXEN照射器はチェアタイムも短縮できるとされることから，近年，使用頻度が高くなってきており，また，従来型のHAL照射器は現在においても主流であるといえる。そこで，これら違うタイプの照射器による光照射がコンポジットレジンの諸性質に及ぼす影響を比較検討した。

1. 光照射時の照射口の温度について

コンポジットレジン修復の適応となる患歯は有髄である症例が多く，また，歯髄は外来刺激に対して抵抗力が小さく，切削熱などの温度上昇の影響を受けやすいとされている⁷⁾ことから，光照射時における照射口の温度を測定した。その結果，LEDよりHALで温度が高く，さらにXENではLEDの約1.6倍高くなっていた。これらの温度差は光源の機構によるものと考えられる。LEDは電子の多いn型半導体と電子の少ないp型半導体を接合し，両端に電圧をかけるとn型半導体の電子はエネルギーを持ってp型半導体の方に移動し，正孔と結合するが，この時，電子は余分なエネルギーを持っており，これを熱ではなく光として放出するため発光する。したがって，発光が熱による関与を受けないため発熱がほとんど生じない⁸⁾。今回の結果からもLEDは20秒の照射時間で実験環境温度から3～5℃程度の上昇であり，口腔内

温度よりも低い値であった。また、HALに用いているハロゲン球は基本的な構造が白熱電球と同様で、より熱と輝度を向上させたものであり、従って多分に熱を生じる⁸⁾。しかしながら、今回の実験結果からは20秒間の照射で37.8℃となり、口腔内温度と大きな差異がみられないことから、歯髄や口腔内組織に及ぼす影響は少ないと考えられる。一方、XENは管球中にキセノンガスを高圧にて封入し、その中へアーク放電することで発光し、大きな輝度を得るが、この時電子やイオンなどは数千℃から数万℃に達しているとされ⁸⁾、光ファイバーケーブルとフィルターチップを介在したとしても、照射口付近に熱が伝導するものと考察される。実験結果からは5秒間の光照射で44.1℃となった。平常時の口腔内温度を37℃と仮定した場合、7.1℃の温度上昇となる。歯髄組織の変性は5.5℃の温度上昇で生じるという報告⁹⁾からすると、光照射によって生じる熱の影響はLED、HALよりもXENで大きいことが示唆される。しかしながら、照射時間が5秒間という短時間であること、また、パルス照射であれば温度の上昇は抑制できること¹⁰⁾、さらには修復物と歯質が介在することで歯髄への影響が少ないとの報告¹¹⁾もあることから、このことについては今後も検討が必要と考えられる。

2. コンポジットレジン硬化体の諸性質について

光重合型コンポジットレジンの重合深度や機械的性質はマトリックスレジン自体の色調あるいはフィラーの配合率やベースモノマーの種類にも影響を受けるが¹²⁾、照射される光強度、ピーク波長、有効波長域、照射時間が及ぼす影響も大きい^{1,13)}。今回の実験では各照射器による重合がコンポジットレジンの硬化体に及ぼす影響を明確にするため、全ての実験項目で一種類のコンポジットレジンのみを用いた。コンポジットレジンの重合収縮は歯質との接着強さや2次カリエスなどに大きく影響を及ぼす因子とされる。今回の実験では照射器の違いによる重合収縮率には差異がみられなかった。したがって、コンポジットレジンの重合収縮に影響を及ぼす因子としては、照射器の違いよりもベースモノマーの違いやフィラーの含有量など¹²⁾

材料の基質によるものの方が大きいのではないかと推察される。重合収縮以外の項目において、LED、HALに比較しXENによる重合は、コンポジットレジン硬化体へ大きな影響を及ぼしていた。XENの特徴として光強度が大きいこと¹⁴⁾、光の波長領域が広いことなどが挙げられるが、光強度が大きいことはコンポジットレジン硬化体の重合度を低下させる要因とはならない。また、波長に関して、LEDは光源自体の波長曲線がカンファークシノンの有効波長域に合致している¹⁵⁾ためフィルターが付加されていないが、HALおよびXENはフィルターによりカンファークシノンの有効波長域410~500nmを選択している^{15,16)}。これを考慮すると、XENの光強度と波長域が硬化体の諸性質へ及ぼす影響は小さいと考察される。今回の実験において光照射時間はLED、HALが20秒、XENについてはメーカーのマニュアルに準じて、照射時間を5秒間とした。したがって各照射器の照射条件により照射エネルギー量には差異が生じる。XENによる硬化体の性質に最も大きな影響を及ぼしている要因は照射時間と関連する照射エネルギー量の大きさに起因するものと考えられる¹³⁾。XENによる重合深度は2mm以上の測定値を示していた。光重合型コンポジットレジン充填操作の基本からすれば2mm以上の窩洞には積層充填が必要とされており、今回のXENの重合条件でも問題はないと考えられる。しかしながら、硬化体の間接引張強さはLED、HALの約1/3程度の値を示し、また、ビッカース硬さにおいてもLED、HALよりも小さな値を示し、さらに最表層部よりも表層から2mm部の硬さの減少率が他の照射条件の値よりも大きいことから、LED、HALによる硬化体よりも表層部、深部とも明らかに重合度が低下している。重合度の低下は咬合による硬化体の破断や歯質との接着強さなどに大きく影響を及ぼすことは容易に推察できる。また、重合度の低下は未重合モノマーの溶出も増加させ、歯髄に影響を及ぼす可能性が大きくなる^{4,5)}。これらのことから光重合型コンポジットレジンの重合をXENを用いて行う場合には照射時間を5秒間以上長くすることが必要と考えられる。しかし一方、照射時間が増加することで照射口の温度も上昇す

ることが推察される。温度上昇はパルス照射であれば持続的に照射する場合よりも抑制できる¹⁷⁾が、間欠的に照射した分、総体的な照射時間の大きな増加にはならず、したがって、パルス照射で温度上昇を抑制した場合、コンポジットレジンの重合度が大きく向上するかという点に関しては疑問が残る¹³⁾。これらのことを考慮するとXENをコンポジットレジンの重合に用いる場合はその適性な照射条件、照射方法を考慮する必要がある。また、XENの他の有用性としては加熱が必要とされるoffice bleachingなど歯質の漂白¹⁸⁾、とくに失活菌での使用適性などが高いのではないかと考えられる。一方、HALはLEDに比較し、ビッカース硬度において低い値を示した。これは有効波長域とカンファーキノンのピーク波長曲線との合致による影響²⁰⁾やランプの劣化^{20, 21)}などが報告されている。ハロゲンランプの劣化はその構造から他の照射器よりも大きな問題点となっており、LEDの発光ダイオードの耐用時間が5000時間であるのに対し、ハロゲン球は50時間²⁰⁾といわれている。今回の実験では新しいハロゲンランプを用いたが、実験の進行により劣化し、少なからず性能が低下してコンポジットレジン硬化体の機械的性質に影響を及ぼした可能性も考えられるが、他の実験項目では差異がみられなかったことや、有効波長域をカバーしていれば硬化体に及ぼす影響は少ないという報告²⁰⁾もあることから、HALを用いる場合にはハロゲン球の交換頻度を定期的に行うことや、とくにコードレスタイプの場合には照射間隔²⁾なども考慮して使用する必要があると考えられる。LEDの場合は波長曲線とカンファーキノンの有効波長域が合致しており効率的である一方、波長域が狭いためコンポジットレジン以外の光硬化型材料が硬化しづらい¹⁹⁾可能性があることの認識も必要である。また、高出力型のハロゲン重合器²¹⁾も現在市販されていることから、これらのことを含め基礎、臨床の両面から今後もさらに比較検討が必要であると考えられる。

以上のことから、光照射器の光源の違いによりコンポジットレジン硬化体へ及ぼす影響には相違がみられ、使用する際には各々照射器の特性を把握し、使用する条件や方法も症例により変える必

要性のあることが示唆された。

結 論

1. 光照射時の照射口の温度はLED, HALに比較しXENで有意に大きくなっていた。
2. 各光照射器によるLFの重合において、重合深度ではLED, HALに比較しXENで有意に小さくなっていた。
3. 各照射器によるLF硬化体の機械的性質はLED, HALに比較しXENで有意に小さくなっていた。
4. 今回の実験条件においてはLFの重合収縮率は各照射器間で有意差はみられなかった。

本論文の要旨は、第32回奥羽大学歯学会(2001年11月郡山)において発表した。

文 献

- 1) 久光 久, 下村和博, 久本貞雄: 最近の可視光線重合型レジンと照射器の特性について. *DE* **72**; 16-29 1985.
- 2) 藤林久仁子: コードレス照射器の光強度に関する研究. *日歯保誌* **39**; 964-976 1996.
- 3) 岡本 明, 石川和之, 鮎川幸雄, 福島正義ほか: 各種光重合型白歯修復用コンポジットレジンの材料学的性質に関する研究. *日歯保誌* **29**; 265-271 1986.
- 4) Block, W. W., Austin, J.C., Cleatonjones, P. E. and Fatti, L. P.: Pulpal response to a new visible light-cured composite restorative materials. *J Oral Pathol* **6**; 278-287 1977.
- 5) 苦瓜明彦: 光重合型リライニング用レジンの性質改善のための重合条件. *補綴誌* **43**; 559-567 1999.
- 6) 河野 篤, 藤林久仁子: 発光ダイオードを応用した照射器. *DE* **130**; 10-13 1999.
- 7) 齊藤季夫: 高速切削と臨床. *歯科ジャーナル* **9**; 303-334 1979.
- 8) 久保亮五, 長倉三郎, 井口洋夫, 江沢 洋: 理化学辞典 第4版; 284-1004 岩波書店 東京 1994.
- 9) Zach. L. and Cohen. G.: Pulp response to externally applied heat. *Oral Surgery, Oral Medicine Oral Pathology* **19**; 515-530 1965.
- 10) 松澤紀彦: LEDおよびハロゲン光源のパルス照射によるコンポジットレジンの硬化深さと反応率への影響. *日歯保誌* **41**; 1032-1049 1998.
- 11) Loney. R. W, Price. R. B. T.: Temperature transmission of high-output light-curing units through dentin. *Operative Dentistry* **26**; 516-

- 520 2001.
- 12) 初岡昌憲, 山本一世, 井上正義: コンポジットレジン[®]の重合収縮について—重合収縮の測定法の検討—. 日歯保誌 **45**; 1060-1066 2002.
- 13) 池島 巖, 松澤紀彦, 藤林久仁子, 河野 篤: 青色レーザーダイオードの歯科用光照射器への応用. 日歯保誌 **45**; 322-329 2002.
- 14) 石崎裕子: 高エネルギー迅速照射が光重合型コンポジットレジン[®]の硬化特性と修復物窩縁部エナメル質の亀裂発生に及ぼす影響. 日歯保誌 **44**; 64-78 2001.
- 15) 高橋紀彦, 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. 日歯保誌 **41**; 509-516 1998.
- 16) 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. 日歯保誌 **43**; 371-382 2000.
- 17) 色川敦士: 可視光線照射器に関する研究—とくにハロゲンランプを用いたパルス照射モードが光重合型レジン[®]の硬化深さ, 重合収縮および象牙質接着強さに及ぼす影響について—. 日歯保誌 **44**; 881-889 2001.
- 18) 岩久正明, 河野 篤, 千田 彰, 田上順次: 保存修復学 **21** 第1版; 299-305 1998.
- 19) 高橋利幸, 小森しのぶ, 松澤紀彦, 藤林久仁子ほか: 青色発光ダイオードを応用した照射器に関する研究 第4報 コードレスLED照射器オサダラディウスのハロゲン照射器との互換性について. 日歯保誌 **45**; 1067-1074 2002.
- 20) 小野瀬英雄: 光重合型レジン[®]の照射器の性能低下について. DE **87**; 27-33 1988.
- 21) 平澤 忠: 治療用照射器の特性. DE **130**; 1-5 1999.
- 22) 長谷川篤司, 行谷 弥, 伊藤和雄, 久光 久ほか: 新しいタイプの市販照射器とその特徴. DE **130**; 6-9 1999.

著者への連絡先: 岡田英俊, (〒963-8611) 郡山市富田町字三角堂31-1 奥羽大学歯学部歯科理工学講座
 Reprint requests: Hidetoshi OKADA, Department of Dental Materials Science, Ohu University School of Dentistry
 31-1 Misumido, Tomita, Koriyama, 963-8611, Japan