

Rezin Kompozitlerin Polimerizasyonunda LED Işık Kaynaklarının Etkinliğinin İncelenmesi

An Assesment of Effectiveness of LED Light Sources on Polymerization of Composite Resins

Cemal YESİLYURT¹
Tamer TAŞDEMİR³

Haluk Haktan SEVİLMİŞ²

Nihan KULACAOĞLU²

Bilinç BULUCU²

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Dişhekimliği Fakültesi, Diş Hastalıkları ve Tedavisi, Trabzon, ²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Dişhekimliği Fakültesi, Diş Hastalıkları ve Tedavisi AD, SAMSUN, ³Karadeniz Teknik Üniversitesi, Dişhekimliği Fakültesi, Endodonti AD, TRABZON

Özet

Amaç: Bir konvansiyonel kuartz tungsten halojen (KTH) lamba ve iki ışık saçan diyodun (LED), rezin kompozitlerin polimerizasyonundaki etkinliğinin değerlendirilmesi amaçlandı.

Yöntem: Resin kompozitler (Filtek Z250, Filtek P60 ve Grandio) KTH veya LED ışık kaynaklarından biri kullanılarak 40 sn süre ile polimerize edildi. Polimerizasyonun derinliği 4 mm çapında ve 10 mm derinliğinde hazırlanan 5 örnek için, ISO 4049:2000 yöntemi ile ölçüldü. 2 mm kalınlığındaki resin kompozit örneklerin üst kısmından yüzey mikrosertliği (Knoop) 1 mm aralıklarla ölçüldü. Polimerizasyon derecesi Fourier transform kızılötesi (FTIR) spektroskopisi kullanılarak hesaplandı. Sonuçlar iki yönlü ANOVA testi kullanılarak yapıldı. İkili karşılaştırmalarda LSD testi kullanıldı ($p=0,05$).

Bulgular: KTH ışık kaynağı ile her iki LED ışık kaynağına göre daha derin polimerizasyon sağlandı, ancak KTH ve LED'ler arasında polimerizasyon derinliği açısından anlamlı bir farklılık bulunmadı ($p>0,05$). LED'lerin polimerizasyon derecesindeki etkinlikleri ve mikrosertlik değerleri KTH'den istatistiksel olarak anlamlı oranda daha yüksek bulundu ($p<0,05$).

Sonuç: Üç ışık kaynağının performansı ISO standartlarını karşılamasından dolayı, resin kompozitin polimerizasyonunda bu sistemlerin kullanımının uygun olduğu doğrulandı.

Anahtar sözcükler: LED, polimerizasyon derinliği, mikrosertlik, polimerizasyon derecesi

Abstract

Objective: The aim of this study was to evaluate the effectiveness of one conventional quartz-tungsten halogen (QTH) lamp and two light emitting diodes (LED) on polymerization of resin composites.

Methods: Resin composites (Filtek Z250, Filtek P60 and Grandio) were cured for 40 s with either a halogen or LEDs, respectively. Depth of cure was measured for 5 samples of 4 mm diameter and 8 mm depth using the ISO 4049:2000 method. Surface hardness (Knoop) was measured at the top of 2 mm thick composite resin specimens and measured at 1 mm intervals. The degree of conversion was determined using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. Groups were compared using a two-way ANOVA. LSD test was used for double comparison ($p=0,05$).

Results: QTH light source cured composites deeper than did LEDs. However, there were no statistically significant differences in depth of cure between QTH and LEDs ($p>0,05$). Both conversion of degree and micro-hardness of cured resin composite with LEDs statistically significant higher than did QTH light source ($p<0,05$).

Conclusion: Since the performance of the three light sources meets the ISO standard, these systems is confirmed appear suitable for routine clinical application for resin curing.

Keywords: Light emitting diode, depth of cure, microhardness, degree of conversion

Giriş

Mavi ışık ile dental kompozitlerin polimerizasyonu ilk olarak 1970'lerde tanıtılmıştır.¹ Mavi ışık kaynağı bir filtre ile birleştirilmiş halojen lambadır. Görülebilir spektrum bölgesinde 410–500 nm dalga boyunda mavi ışık üretilmektedir. Bu dalga boyu aralığındaki yayılan ışık, rezin kompozitlerin içerisinde bulunan kamforokinon fotoinisiyatorlar aracılığı ile en etkili biçimde absorbe edilebilmektedir.²

Rezin kompozitlerin polimerizasyonunda, Kuartz-Tungsten-Halojen (KTH) lambalar tercih edildiğinde polimerizasyonun etkinliği bakımından bazı endişeler vardır. Zamanla ve mesafenin artmasıyla ışığın verimindeki azalma; polimerizasyonun yüzeysel derinlikte olmasına ve polimerizasyon derecesinin düşük olmasına neden olmaktadır.³

Sıklıkla kullanılan KTH lambalara alternatif olarak son yıllarda "Işık Saçan Diyot"lar (LED) rezin kompozitlerin polimerizasyonunda kullanılmaya başlandı. LED ışık kaynağı kamforokinon fotoinisiyator aktivasyonu için ideal dalga boyu olan 470 nm'ye yakın dar bir spektrumda çalışır.³ Halojen lambaların 50 saat, LED'lerin ise 10.000 saatin üstünde kullanım ömürleri vardır. Filtre gerektirmezler, genelde kablosuz, küçük ve hafiftirler.^{5,6} Bu avantajlarına rağmen, kullanıma sunulan nispeten düşük ışık yoğunluğuna sahip LED'ler ile etkili bir polimerizasyonun sağlanamadığı ve bu yüzden restorasyonun mekanik özelliklerinin düşük olduğu bildirilmiştir.^{7,8}

Son yıllarda, ilk üretilenlere göre daha nitelikli "ikinci nesil LED"ler olarak adlandırılan yeni LED ışık kaynakları kullanıma sunulmuştur. Bunlar birden fazla kristal içermektedir. Çok sayıda kristal ile ışık yoğunluğu ve buna bağlı olarak polimerizasyon etkinlikleri artırılmaya çalışılmıştır.⁹ Işık kaynağının rezin kompozitlerin polimerizasyonundaki etkinliğinin tespiti,

sıklıkla rezin kompozitin mikrosertliği, polimerizasyonun derinliği ve polimerizasyonun derecesinin karşılaştırılması ile belirlenmektedir.^{5,10,12}

Bu çalışmanın amacı; güncel LED ışık kaynaklarının polimerizasyon etkinliklerini geleneksel KTH ışık kaynağı ile *in vitro* ortamda karşılaştırarak incelemektir.

Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada farklı hacim ve boyutlarda inorganik doldurucu içeren üç farklı rezin kompozit, üç ışık kaynağı ile birlikte kullanıldı. Kompozitler klinikte hem anterior, hem de posterior restorasyonlarda kullanılan materyalleri temsil edecek şekilde seçildi. Tüm kompozitler için tek lip renk tonu (A3) kullanıldı. Kullanılan kompozitlerin tipleri ve üretici firmaları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Kompozit örneklerin polimerizasyonunda 1 adet KTH ve 2 adet LED ışık kaynağı kullanıldı. Işık yoğunlukları bir *curing radiometer* (Demetron/Kerr Corp., ABD) kullanılarak tespit edildi. Cihazların yaydıkları ışık yoğunlukları, uç çapları ve üretici firmaları Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan ışık cihazlarının ışık yoğunlukları, uç çapları ve üretici firmaları.

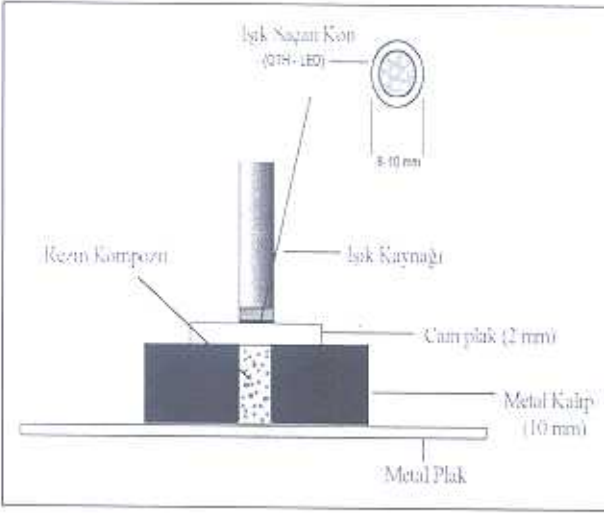
Işık Cihazı	Işık Yoğunluğu	Uç Çapı	Üretici Firma
KTH	500 mW/cm ²	10 mm	Smart Lite, Benlioğlu, Türkiye
LED I	400 mW/cm ²	10 mm	HILUX Ledmax 550, Benlioğlu, Türkiye
LED II	700 mW/cm ²	8 mm	SmartLite, Dentsply, Almanya

Tablo 1. Çalışmada kullanılan kompozit materyaller ve tipleri.

Materyaller	Tipi	Organik matris	İnorganik Doldurucu İçeriği		
				Hacimsel	Boyut (µm)
Filtek P60 (3M ESPE, St. Paul, ABD)	Tepitebilir kompozit	BIS-GMA, UEDMA, Bis-EMA	Zirkonya/Silika	%60	0,01–3,5
Filtek Z-250 (3M ESPE)	Hibrit kompozit	BIS-GMA, UEDMA, Bis-EMA	Zirkonya/Silika	%61	0,01–3,5
Grandio (VOCO, Cuxhaven, Almanya)	Nano-hibrit kompozit	BIS-GMA, TEGDMA	Silikon dioksit	%71,4	0,5

Polimerizasyon Derinliği

Polimerizasyon derinliğini saptamak amacı ile 4 mm çapında ve 10 mm derinliğinde iki yarıya ayrılabilir bir paslanmaz çelik kalıp hazırlandı. Her kompozit ve ışık kaynağı için sekiz örnek olacak şekilde model, resin kompozit ile dolduruldu ve düz bir yüzey elde edilecek şekilde sıkıştırıldı. Resinin yüzeyinden standart bir uzaklıktan ışık verilmesi amacı ile 2 mm yüksekliğinde bir halka şeklinde tutucu kullanıldı (Şekil 1). Her örnek 40 sn süre ile polimerize edildi.



Şekil 1. Örneklerin hazırlanmasında kullanılan deney düzeneği

Daha sonra resinin polimerizasyon derinliği standart bir teknik kullanılarak hesaplandı (ISO 4049:2000). Işık kaynağı kullanıldıktan hemen sonra polimerize olmayan materyal bir spatül yardımı ile kazındı. Geride kalan resin silindirik yüksekliği $\pm 0,01$ mm güven aralığında bir elektronik mikrometre (Mitutoyo, Çin) ile ölçüldü. Her örnek üç kez ölçüldü ve ortalama değer polimerizasyon derinliği olarak kaydedildi.

Mikrosertlik (Knoop)

Örnekler 2 mm kalınlığında ve 5 mm çapında hazırlanan teflon kalıp içine yerleştirildi. Her örnek 40 sn süre ile polimerize edildi. Her ışık cihazı ve kompozit kombinasyonundan 5'er örnek olmak üzere toplam 45 örnek elde edildi. Örnekler karanlıkta 37°C'de 24 saat boyunca saklandı. Daha sonra Knoop sertlik değerleri bir Shimadzu mikrosertlik test cihazı (Shimadzu, Kyoto, Japonya) kullanılarak her örneğin

üst yüzey alanından 1 mm aralıklarla üçer kez ölçüldü.

Polimerizasyon Derecesi

Knoop sertlik değerinin tespitindeki gibi örnekler 2 mm kalınlığında ve 5 mm çapında hazırlanan teflon kalıp içine yerleştirilerek 40 sn süre ile polimerize edildi. Yine her ışık cihazı ve kompozit kombinasyonundan 5'er örnek olmak üzere toplam 45 örnek elde edildi. Elde edilen örnekler gün ışığında ek polimerizasyona uğramamaları için ışığı geçirmeyen bir kap içine yerleştirildiler. Polimerizasyon derecesinin ölçümü için her örnek havan içinde dövülerek çok ince toz haline getirildi. Elde edilen tozun 50 mg'si 5 mg potasyum bromür (Carlo-Erba Reagenti, Milan, İtalya) tozu ile karıştırıldı ve polimerizasyon derecesi Fourier Transformation Infrared Spectroscopy (FTIR) (Mattson 1000^h) kullanılarak değerlendirildi.

İstatistiksel analiz iki yönlü ANOVA testi kullanılarak yapıldı ve LSD testi ile ikili karşılaştırma yapıldı.

Bulgular

Üç farklı resin materyalin, üç farklı ışık kaynağı ile polimerizasyonlarından sonraki mikrosertlik, polimerizasyon derinliği ve polimerizasyon derecelerinin ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 3'de verilmektedir.

Farklı ışık kaynaklarına göre değerlendirme

- Polimerizasyon derinliğine bakıldığında, KTH ışık kaynağı ile her iki LED ışık kaynağına göre daha derin polimerizasyon sağlandı, ancak tüm ışık kaynakları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunamadı ($p > 0,05$). Polimerizasyon derinlikleri 4,9-5,9 mm arasındaydı.
- Mikrosertlik değerleri incelendiğinde, LED'lerin kullanıldığı örneklerde mikrosertlik değerleri KTH'den anlamlı olarak daha yüksek bulundu ($p < 0,05$). Bununla beraber, iki LED için kompozitlerin mikrosertlik değerleri arasında anlamlı bir farklılık bulunamadı ($p > 0,05$). En yüksek değer LED II + Grandio için (76,5) bulunurken, en düşük değer KTH + Filtek Z250 için (63,8) saptandı.
- Polimerizasyon derecelerine bakıldığında, LED'lerin polimerizasyon derecesindeki etkinlikleri KTH'den

Tablo 3. Farklı ışık kaynakları ile polimerize edilen kompozit materyallerin, Knoop Sertlik değerleri, polimerizasyon derinliği ve polimerizasyon derecesi değerlerinin ortalama (Ort.) ve standart sapma (SS) değerleri.

	Işık Kaynağı	Rezın Kompozit Materyal			
		Filtek P60	Filtek Z250	Grandio	
		Ort ± SS	Ort ± SS	Ort ± SS	Ort ± SS
Knoop Sertlik Değerleri (Mikrosertlik)	KTH	62,6 ± 3,7	63,8 ± 1,2	66,4 ± 0,8	64,3 ± 2,7
	LED I	66,2 ± 1,9	65,6 ± 1,2	71,0 ± 3,1	67,6 ± 3,2
	LED II	66,8 ± 1,5	65,0 ± 1,2	76,5 ± 2,8	69,4 ± 5,5
	Ort ± SS	65,2 ± 3,1	64,8 ± 1,4	71,3 ± 4,8	
Polimerizasyon Derinliği (mm)	KTH	5,8 ± 0,1	5,8 ± 0,2	5,4 ± 0,2	5,7 ± 0,2
	LED I	5,5 ± 0,1	5,6 ± 0,2	5,1 ± 0,1	5,4 ± 0,3
	LED II	5,9 ± 0,3	5,5 ± 0,2	4,9 ± 0,3	5,4 ± 0,5
	Ort ± SS	5,7 ± 0,3	5,6 ± 0,2	5,1 ± 0,3	
Polimerizasyon Derecesi	KTH	%52,4 ± 1,2	%54,4 ± 0,2	%50,0 ± 3,0	52,3 ± 2,6
	LED I	%60,2 ± 0,8	%53,8 ± 4,9	%56,2 ± 1,0	56,7 ± 3,9
	LED II	%55,3 ± 0,9	%53,9 ± 0,9	%54,2 ± 0,6	54,4 ± 1,0
	Ort ± SS	%55,9 ± 3,5	%54,0 ± 2,7	%53,5 ± 3,2	

daha yüksek bulundu ($p < 0,05$). LED'ler birbirine göre anlamlı derecede farklılık gösterdi ($p < 0,05$). En yüksek polimerizasyon derecesi LED I + Filtek Z250 (%60,2) kombinasyonunda görülürken, en düşük KTH + Grandio (%50) için bulundu.

Farklı kompozit materyallerine göre değerlendirme

- Polimerizasyon derinliğine bakıldığında, Filtek P60 ve Filtek Z250 arasında anlamlı farklılık yoktu, fakat her ikisi de Grandio'dan farklıydı ($p < 0,05$). En düşük polimerizasyon derinliği Grandio + LED I kombinasyonu için (5,1 mm), en yüksek ise Filtek P60 + LED II kombinasyonu için (5,9 mm) bulundu.
- Mikrosertlik değerleri incelendiğinde, Grandio, hem Filtek P60, hem de Filtek Z250'den anlamlı oranda farklıydı ($p < 0,05$). Filtek P60 ile Filtek Z250 arasında anlamlı farklılık yoktu ($p > 0,05$).
- Polimerizasyon derecelerine bakıldığında, LED'ler arasında anlamlı farklılık yoktu ($p > 0,05$), ancak Filtek P60, Grandio ve Filtek Z250'den anlamlı oranda daha yüksek polimerizasyon derecesi gösterdi ($p < 0,05$).

Tartışma

Bu çalışmanın amacı ışık yoğunlukları ve uç çapları birbirinden farklı LED'lerin kompozit polimerizasyo-

nundaki etkinliğini birbirleriyle ve konvansiyonel KTH ışık kaynağı ile karşılaştırmaktır. Her iki sistem için ışık üretimi birkaç açıdan farklıdır. Kompozitlerin polimerizasyon süreci için absorbe edilen ışığın bütün dalga boyları yararlı değildir. 410-500 nm dalga boyunda ışık polimerizasyon için en etkilidir.² LED'ler çok dar bir dalga boyunda yoğunlaşabilmektedir (460-470 nm).⁴

Piyasada çok sayıda LED ışık cihazı bulunmaktadır. Üreticiler sürekli daha üstün olduğunu ileri sürdükleri yeni ürünleri satışa sunmaktadırlar. Fakat polimerizasyondaki etkinlikleri birbirlerine oldukça benzerdir.¹⁰ Çalışmamızda farklı ışık yoğunluğuna ve farklı uç çaplarına sahip LED'lerin kullanılması tercih edildi. Polimerizasyon etkinliği; ışık yoğunluğu, ışık uygulama süresi, ışığın spektrum dağılımı gibi ışık kaynağı ile ilgili faktörlere bağlıdır.¹³ Bununla beraber, etkili bir polimerizasyonda rezin kompozitin fiziksel özellikleri ve kompozitin yerleştirilme tekniği de önemlidir.¹⁰ Ayrıca, rezin kompozitin renk tonu ve doldurucu partiküllerin büyüklüğü ve doldurucu oranı polimerizasyon derinliğini etkileyebilen diğer faktörlerdir.^{4,10} Küçük partiküllü kompozitlerde ışığın daha derinlere penetrasyonu büyük partikül içeren kompozitlere göre daha zordur. Çünkü küçük doldurucu partiküller ışığın daha çok saçılmasına neden olur.¹⁴ Doldurucu oranı yüksek, partikül boyutu küçük kompozitlerde ışığın daha derinlere penetrasyonunu sağla-

mak için ışık yoğunluğu veya ışık uygulama süresini artırmak gereklidir.⁴ Bu çalışmada standart olarak aynı renk tonunda (A3) fakat doldurucu oranı ve partikül boyutları farklı rezin kompozitler kullanıldı (Tablo 1).

Kullanılan rezin kompozite bakılmaksızın polimerizasyon derinliği incelendiğinde, KTH ışık kaynağı her iki LED'e göre daha derin polimerizasyon sağladı. LED'ler polimerizasyon derinliği bakımından birbirlerine göre anlamlı farklılık göstermedi. Tüm örneklerde polimerizasyon derinlikleri 4,9-5,9 mm arasında yer aldı (Tablo 3). Jandt ve ark.¹⁵ farklı iki renk tonu için KTH ışık kaynağı kullanılarak elde edilen polimerizasyon derinliğinin ortalamasının LED ışık kaynağı ile elde edilenden %20 daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Aynı çalışmada, KTH ışık kaynağı ile elde edilen polimerizasyon derinliğinin fazla olması, bu sistemlerde üretilen ışık yoğunluğunun daha fazla olması ile açıklanmıştır. Shortall ve ark.¹⁶ polimerizasyon derinliği ve ışık yoğunluğunun logaritması arasında doğrusal bir ilişki bulmuşlardır. Araştırmacıların bulgularına göre KTH ve LED'ler ile polimerize edilen rezin kompozitin polimerizasyon derinliği arasında hesaplanan farklılığın yalnızca %13 olduğunu bulmuşlardır.¹⁶ Çalışmamızın sonuçları bu çalışmalarla paralellik göstermektedir.

Başka bir çalışmada polimerizasyon derinliğinin verileri göstermektedir ki bütün kompozitlerde ve renk tonlarında LED'ler istatistiksel olarak belirgin şekilde KTH ışık kaynaklarından daha fazla polimerizasyon derinliği sağlamıştır.¹¹ Bize göre sonuçlardaki bu farklılık, LED'lerin gücünü belirleyen, ışık yoğunluğu, kristal sayısı, uç çaplarındaki farklılıklar ile açıklanabilir.

Materyaller dikkate alındığında ise her üç ışık kaynağı için de Grandio'da düşük polimerizasyon derinliği elde edildi. Bunun, Grandio kompozitin inorganik doldurucu oranının yüksek olması ile ilişkili olduğunu düşünmekteyiz. Klinik kullanımda restorasyon tabakasının en fazla 2 mm kalınlıkta olması gereklidir.¹⁷ Bu durum dikkate alındığında her üç ışık kaynağı da yeterli polimerizasyon derinliği sağlayabilmektedir.

Kompozitin doldurucu içeriği arttıkça mikrosertlik değerlerinin de arttığı bilinmektedir.¹¹ Ayrıca rezinin

mikrosertliği monomer dönüşüm derecesi ile doğru orantılıdır.¹⁸

Çalışmamızda Knoop mikrosertlik değerleri incelendiğinde inorganik doldurucu içeriği yüksek olan Grandio'da, Filtek P60 ve Filtek Z250'den istatistiksel olarak anlamlı derecede yüksek bulundu. Işık kaynakları dikkate alındığında her iki LED ile sağlanan polimerizasyonda mikrosertlik değerleri KTH'den yüksektir.

Polimerizasyon esnasında rezin kompozitlerin tüm monomerlerinin polimerize olması istenir. Çünkü düşük polimerizasyon derecesi resin kompozitlerin biyolojik uyumluluğunu, mekanik özelliklerini, çözünürlüğünü, boyutsal stabilitesini ve renk değişimini önemli oranda etkiler.¹⁹ Çalışmamızda LED'lerin polimerizasyon derecesindeki etkinlikleri, KTH'den daha yüksek bulundu. Tarle ve ark.¹² benzer bir çalışmada kullandıkları kompozitlerin polimerizasyon derecesinin %53,8-%73,5 arasında değiştiğini ve KTH'nin, LED ve PAC'den daha yüksek polimerizasyon derecesi sağladığını rapor etmiştir. Yoon ve ark.²⁰ ise KTH, LED, PAC kullanarak yaptıkları çalışmada üç farklı rezin kompozitin polimerizasyon derecesinin %40-%65 arasında değiştiğini ve ışık cihazları arasında fark olmadığını bulmuşlardır.

Bu çalışmada üç farklı rezin kompozitin polimerizasyon derecesi %50-%60,2 arasında değişmektedir. En yüksek polimerizasyon derecesi LED 1 + Filtek Z250 (%60,2) kombinasyonunda görülürken, en düşük KTH + Grandio (%50) için bulundu.

Günümüzde henüz bütün kompozit sistemleri LED ile polimerizasyon teknolojisine adapte edilememiştir. LED'lerin ışık saçma spektrumu KTH'dan farklıdır. Dolayısı ile bazı kompozitlerin fotoinisiyator sistemleri bu yeni ışık kaynağının spektrumuna dönüştürülme gereksinimi vardır.^{21, 22} Bu nedenle halojen ışık kaynakları yerine LED'ler kullanılacağı zaman seçilen rezin kompozitin fotoinisiyatorüne dikkat edilmelidir.^{2, 22}

Sonuç

Klinik uygulamada, kavite şekli, derinliği, rezin kompozitin içeriği kullanılan ışık kaynağı kadar önemli diğer unsurlardır. Bu çalışmada da görülmektedir ki,

rezin kompozitlerin polimerizasyonun da LED'lerin kullanılması ile KTH ışık kaynakları ile sağlanan polimerizasyon etkinliğine benzer veya artmış mekanik özellikler elde etmek mümkündür. Her üç ışık kaynağının da resin kompozitin polimerizasyonunda yeterli performans gösterdiği tespit edilmiştir.

LED teknolojisi hızla gelişmeye devam etmektedir ve zaman ile halojen lambalarını yerini alacağı kaçınılmazdır. Bununla beraber polimerizasyon etkinliğinin belirlenmesinde, mekanik ve klinik çalışmaların birlikte yürütüldüğü ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

1. Bassiouny MA, Grant AA. A visible light-cured composite restorative. *Br Dent J* 1978; 145: 327-330.
2. Cook WD. Spectral distribution of dental photopolymerization sources. *J Dent Res* 1982; 61: 1436-1438.
3. Meniga A, Tarle Z, Ristic M, Sutalo J, Pichler G. Pulsed blue laser curing of hybrid composite resins. *Biomaterials* 1997; 18: 1349-1354.
4. Mills RW, Jandt KD, Ashworth SH. Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. *Br Dent J* 1999; 24: 186:388-391.
5. Cayless MA, Marsden AM. Tungsten halogen lamps. In lamps and lighting, 3rd ed. Edward Arnold Ltd, Londra, UK, 1983, pp 169-182.
6. Haitz RH, Craford MG, Weisman RH. Light Emitting Diodes. In: Bass M (ed). Handbook of optics, 2nd ed. McGraw Hill Inc, 1995, 12.1-12.39.
7. Uhl A, Mills RW, Vowles RW, Jandt KD. Knoop hardness depth profiles and compressive strength of selected dental composites polymerized with halogen and LED light curing Technologies. *J Biomed Mater Res* 2002; 63: 729-738.
8. Mills RW, Uhl A, Jandt KD. Optical power outputs, spectra and dental composite depths of cure, obtained with blue light emitting diode (LED) and halogen light curing units (LCUs). *Br Dent J* 2002; 26: 193: 459-463.
9. LUMILEDS Lightening. San Jose, Kaliforniya, ABD: In Uhl A, Sigusch BW, Jandt KD. Second generation LEDs for the polymerization of oral biomaterials. *Dent Mater* 2004; 20: 80-87.
10. Tsai PC, Meyers IA, Walsh LJ. Depth of cure and surface microhardness of composite resin cured with blue LED curing lights. *Dent Mater* 2004; 20: 364-369.
11. Uhl A, Sigusch BW, Jandt KD. Second generation LEDs for the polymerization of oral biomaterials. *Dent Mater* 2004; 20: 80-87.
12. Tarle Z, Meniga A, Knezevic A, Sutalo J, Ristic M, Pichler G. Composite conversion and temperature rise using a conventional, plasma arc, and an experimental blue LED curing unit. *J Oral Rehabil* 2002; 29: 662-667.
13. Harrington E, Wilson HJ, Shortall AC. Light-activated restorative materials: a method of determining effective radiation times. *J Oral Rehabil* 1996; 23: 210-218.
14. Cook WD. Spectral distributions of dental photopolymerization sources. *J Dent Res* 1982; 61: 1436-1438.
15. Jandt KD, Mills RW, Blackwell GB, Ashworth SH. Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs). *Dent Mater* 2000; 16: 41-47.
16. Shortall AC, Harrington E, Wilson HJ. Light curing unit effectiveness assessed by dental radiometers. *J Dent* 1995; 23: 227-232.
17. Summitt JB, Robbins JW, Schwartz RS. Fundamentals of Operative Dentistry A Contemporary Approach, 2th Ed., Quintessence, ABD 2001, 252.
18. Rueggeberg FA, Craig RG. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res* 1988; 67:932-937.
19. Ferracane JL. Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater* 1985; 1: 11-14.
20. Yoon TH, Lee YK, Lim BS, Kim CW. Degree of polymerization of resin composites by different light sources. *J Oral Rehabil* 2002; 29: 1165-1173.
21. Park YJ, Chae KH, Rawls HR. Development of a new photoinitiation system for dental light-cure composite resins. *Dent Mater* 1999; 15: 120-127.
22. Uhl A, Mills RW, Jandt KD. Photoinitiator dependent composite depth of cure and Knoop hardness with halogen and LED light curing units. *Biomaterials* 2003; 24: 1787-1795.

Yazışma Adresi:

Dr. Cemal YEŞİLYURT
Karadeniz Teknik Üniversitesi,
Dişhekimliği Fakültesi,
Diş Hastalıkları ve Tedavisi AD,
TRABZON
Faks : (462) 325 30 17
E-posta : cyesilyurt@ktu.edu.tr