

“Bulk-fill” ve Akışkan Kompozitlerin Polimerizasyon Derinliklerinin Karşılaştırılması

Comparison Depth of Cure of Bulk-Fill and Flowable Composite Resins

Özcan KARATAŞ,^a
Merve İŞCAN YAPAR,^a
Nurcan ÖZAKAR İLDAY,^a
Yusuf Ziya BAYINDIR^a

^aRestoratif Diş Tedavisi AD,
Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Erzurum

Geliş Tarihi/Received: 06.03.2015
Kabul Tarihi/Accepted: 22.05.2015

Yazışma Adresi/Correspondence:
Özcan KARATAŞ
Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Restoratif Diş Tedavisi AD, Erzurum,
TÜRKİYE/TURKEY
ozcnkrts@gmail.com

ÖZET Amaç: Bu çalışmanın amacı, farklı kalınlıklarda hazırlanan kompozit örneklerin LED ışıklı cihaz ile polimerizasyonlarını takiben polimerizasyon derinliklerinin karşılaştırılmasıdır. **Gereç ve Yöntemler:** Çalışmada dört farklı akışkan kompozit materyal “Smart Dentin Replacement (SDR)” bulk-fill kompozit, Aelite Flow, Clearfil Majesty Flow ve Grandio Flow) kullanıldı. Teflon kalıplar yardımıyla her kompozit için 2 ve 4 mm kalınlıklarında örnekler hazırlandı. Elipar S10 LED ışık cihazı ile polimerize edilen örnekler 24 saat 37°C sıcaklıkta distile su içerisinde karanlık ortamda bekletildi. Ardından örneklerin alt ve üst yüzeylerinin mikro sertlikleri FM 800e Microhardness Tester cihazı ile ölçüldü. Her örneğin sertlik oranı hesaplanarak kaydedildi. Örneklerden elde edilen veriler tek yönlü varyans analizi ve bağımsız t-testi ile analiz edildi ($\alpha=0,05$). **Bulgular:** Majesty Flow ve Grandio Flow (110,59±3,90 VHN; 107,20±3,66 VHN) örneklerinin üst yüzey mikro sertlik değerlerinin, SDR Bulk-Fill ve Aelite Flow (76,75±6,98 VHN; 63,56±3,47 VHN) örneklerine göre önemli derecede yüksek olduğu görüldü ($p<0,05$). Aelite Flow, Grandio Flow ve Majesty Flow kompozitlerin 4 mm örneklerinde ortalama sertlik değerinin 0,80’in altında olduğu saptandı. **Sonuç:** Bu çalışmada, bulk tekniğiyle yapılan bütün akışkan kompozit örnekleri 2 mm kalınlığında klinik olarak kabul edilebilir polimerizasyon derinliği gösterirken, 4 mm kalınlığında yalnızca SDR örnekleri yeterli polimerizasyon derinliği göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Akışkan hibrid kompozit; polimerizasyon

ABSTRACT Objective: The aim of this study is to compare the depth of cure of flowable composite in different thicknesses, after polymerization with using LED units. **Material and Methods:** Four flowable composite resins were used in this study. SDR Bulk-Fill Aelite Flow (Clearfil Majesty Flow, Grandio Flow,) Composite resin discs were prepared from each material at 2 mm and 4 mm thicknesses. Samples were polymerized using LED units. After polymerization, samples were incubated in the dark for 24 hours at 37°C temperature in saline. Then the microhardness of the top and bottom surfaces was measured using FM 800e Microhardness Tester. Depth of polymerization of each sample was recorded. Data were analyzed by using one way ANOVA, and independent-samples t-test ($\alpha=0.05$). **Results:** Top surface micro hardness values of Majesty flow and Grandio flow (110.59±3.90 VHN; 107.20±3.66 VHN) were found to be significantly higher than the SDR Bulk-Fill and Aelite Flow (76.75±6.98 VHN; 63.56±3.47 VHN) ($p<0.05$). Mean micro hardness values at 4 mm for Aelite Flow, Grandio Flow ve Majesty Flow was <0.80. **Conclusion:** In this study, while all flowable composite samples obtained clinically acceptable polymerization degree for 2 mm thickness with bulk technique, only SDR samples obtained for 4 mm thickness.

Key Words: Flowable hybrid composite; polymerization

Türkiye Klinikleri J Dental Sci 2015;21(3):216-20

doi: 10.5336/dentalsci.2015-44824

Copyright © 2015 by Türkiye Klinikleri

Geleneksel kompozitlerin polimerizasyon büzülmesini engellemek ve stres kırıcı bir bariyer oluşturmak amacıyla, kompozitlerin doldurucu miktarı %20-25 oranında azaltılarak akışkan kompozitler

geliştirilmiştir.¹ Doldurucu miktarındaki bu azalma akışkan kompozitlerin viskozitesini azaltarak kaide materyali olarak kullanımına izin vermiştir. Araştırmalar, akışkan kompozitlerin düşük doldurucu içeriklerinden dolayı polimerizasyon büzülmesinin geleneksel kompozitlere göre daha fazla olduğunu göstermiştir.²

Polimerizasyon büzülmesini azaltmak amacıyla kompozitlerin tabakalar hâlinde uygulanması, bu kompozitlerin derin kaviteelerde ışıklandırma sayısını ve uygulanma süresini artırmaktadır. Kompozitlerin kaviteye daha büyük kütlelerde ve daha fazla kalınlıkta uygulanabilmesini sağlamak amacıyla son yıllarda "bulk-fill" kompozitler geliştirilmiştir.^{3,4} Bu kompozitler geleneksel kompozitlere göre daha düşük viskoziteye, akışkan kompozitlerden ise daha düşük polimerizasyon büzülmesine sahip olmaları yönünden avantajlıdır.⁵

"Bulk-fill" kompozitlerin rezin matris yapısına hidroksil serbest Bis-GMA, alifatik üretilen dimetakrilat, parsiyel aromatik üretilen dimetakrilat veya yüksek dallı metakrilat eklenmiştir. Organik matris ve monomer yapısındaki bu değişim, kompozitin polimerizasyon büzülmesini %70'e kadar azaltmakta ve kompozitin translüsent yapısını geliştirerek polimerizasyon için gerekli ışığın kompozit kütlesi boyunca daha fazla yayılmasını ve polimerizasyon derinliğinin artmasını sağlamaktadır.⁶

Kompozitlerin polimerizasyonu boyunca monomerlerin polimere dönüşüm miktarı konversiyon ya da polimerizasyon derecesi olarak adlandırılmaktadır.⁷ Polimerizasyon derecesi artarken rezinde reaksiyona katılmayan artık monomer miktarı azalmakta ve buna bağlı olarak restorasyonun fiziksel özellikleri gelişmektedir. Geleneksel kompozitlerin polimerizasyon derecesini artırmak amacıyla kompozit kaviteye tabakalar hâlinde uygulanmaktadır. Ancak "bulk-fill" kompozitler gelişmiş translüsent yapılarından dolayı geleneksel kompozitlerden daha yüksek polimerizasyon derecesine sahiptir. Kompozitin polimerizasyon derecesinin artması, kaviteye daha büyük kütleler hâlinde yerleştirilebilmesine olanak sağlamaktadır.^{8,9}

Bir materyalin sürekli bir kuvvet uygulamasına karşı direnç gösterebilme yeteneğine "mikro-

sertlik" adı verilmektedir. Mikrosertlik ölçümü için farklı cihazlar kullanılabilir. Diş hekimliğinde uygulama kolaylığı ve ölçüm hassasiyetinden dolayı, materyallerin sertliğini ölçmede en sık Vickers sertlik ölçüm cihazından yararlanılmaktadır.¹⁰ Bouschlicher ve ark., kompozitin polimerizasyon derinliğinin mikrosertlik ölçüm metodu ile hesaplanabileceğini bildirmişlerdir.¹¹ Bu yöntemde, farklı kalınlıklardaki kompozit blokların tavan ve taban yüzeylerinden mikrosertlik ölçümü yapılmaktadır. Kompozitlerin taban sertlik değerinin tavan sertlik değerine bölünmesi ile elde edilen rakama "sertlik oranı" adı verilmektedir. Literatürde kompozit rezinin yeteri kadar polimerize olabilmesi için kabul edilebilir sertlik oranının 0,80-0,90 arasında olması gerektiği bildirilmiştir.^{12,13}

Bu çalışmada, "Smart Dentin Replacement (SDR) "bulk-fill" kompozit ile geleneksel akışkan kompozitlerden 2 ve 4 mm kalınlıklarda hazırlanan örneklerin mikrosertlikleri Vickers sertlik ölçüm metoduyla ölçülerek, polimerizasyon derinliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmanın hipotezi "bulk-fill" kompozitlerin 4 mm kalınlıkta akışkan kompozitlere göre daha iyi polimerizasyon derecesi göstermesi gerektiridir.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Çalışmamızda kullanılan akışkan kompozitler Tablo 1'de görülmektedir. Örneklerin hazırlanması için politetrafluoroetilen yapılmış 6 mm çapında, 2 ve 4 mm kalınlıklarında silindirik kalıplar hazırlandı. Sertlik oranı ölçümü amacıyla kompozitlerden her iki kalınlıkta sekiz örnek olmak üzere toplam 64 örnek hazırlandı. Kompozitler şırınga vasıtasıyla kalıplara yerleştirilerek üzerleri strip bantla örtüldü ve düzleştirildi. Fazla kompozitler kalıptan uzaklaştırılarak strip bant üzerine cam yerleştirildi. Tüm örnekler Elipar S10 LED ışık cihazı (3M ESPE, Seefeld, Almanya) kullanılarak 20 sn ışık ile polimerize edildi (480 nm dalga boyu ve 1200 mW/mm²). Işık cihazının gücü üreticisi tarafından sağlanan radyometre ile ölçüldü. Polimerizasyonu tamamlanan örnekler 24 saat 37°C sıcaklıkta distile su içerisinde karanlık ortamda bekletildi. Ardından örneklerin Vickers sertlik ölçüm cihazı (MVK-H1, Akashi Co, Tokyo, Ja-

TABLO 1: Çalışmada kullanılan kompozitler, üretici firmaları, matris ve doldurucu tipleri, hacimsel olarak doldurucu miktarı.

Materyal adı	Üretici firma	Materyal türü	Matris tipi	Doldurucu tipi	Doldurucu hacmi (%)
SDR	Dentsply Konstanz, Almanya	"Bulk-fill" kompozit	Polimerizasyon modülatör, dimetakrilat rezin, UDMA	Ba-B-F-Al silikat cam SiO ₂ , amorfov Sr-Al silikat cam	44
"Clearfill Majesty Flow"	Kuraray Medical Inc, Tokyo, Japonya	Yüksek doldurucu akışkan kompozit	BISGMA, TEGDMA	Silanlanmış baryum cam ve koloidal silika	81
"GrandioSO Flow"	Voco Cuxhaven, Almanya	Yüksek doldurucu akışkan kompozit	Metakrilat	Pirojenik silika veya ince öğütülmüş cam seramik	81
"Ælite Flow"	Bisco Inc. Schaumburg, Illinois	Düşük viskoziteli akışkan kompozit	Bis-GMA, TEGDMA	Cam frit	42

SDR: Smart Dentin Replacement.

ponya) kullanılarak 200 g yük ve 10 sn bekleme süresiyle tavan ve taban yüzeylerinden üçer noktadan sertlik ölçümü yapıldı. Yapılan üç ölçümün ortalaması alınarak her örneğin tavan ve taban yüzey sertlikleri belirlendi. Ardından örneklerin sertlik oranları aşağıdaki formül ile hesaplandı.

$$VHN_{\text{ort}} = VHN_{\text{taban}} / VHN_{\text{tavan}}$$

Örneklerden elde edilen veriler, tek yönlü varyans analizi ve bağımsız t-testi ile SPSS 18 yazılımı kullanılarak analiz edildi ($\alpha=0,05$).

BULGULAR

Örneklerin alt ve üst yüzey sertlikleri ve ortalama sertlik oranları Tablo 2'de görülmektedir. Majesty Flow ve Grandio Flow (110,59±3,90 VHN; 107,20±3,66 VHN) örneklerinin tüm yüzeylerde ölçülen mikrosertlik değerlerinin, SDR "bulk-fill" ve Aelite Flow (76,75±6,98 VHN; 63,56±3,47 VHN) örneklerine göre önemli derecede yüksek olduğu saptandı ($p<0,05$).

Her grupta 2 mm kalınlıkta hazırlanan örneklerin alt ve üst yüzey sertlikleri arasında istatistiksel olarak fark bulunmaz iken ($p>0,05$), 4 mm kalınlıkta örneklerin alt yüzey sertliklerinin üst yüzeylere göre anlamlı bir şekilde azaldığı görüldü ($p<0,05$). Tüm gruplarda 2 mm kalınlıkta hazırlanan örneklerde ortalama sertlik oranı 0,80'in üzerindeyken, 4 mm kalınlıkta hazırlanan örneklerde yalnızca SDR grubunda ortalama sertlik oranının 0,80'in üzerinde olduğu saptandı.

TARTIŞMA

Çalışmada, "bulk-fill" kompozit ile geleneksel akışkan kompozitlerden hazırlanan örneklerin yüzey sertlikleri mikrosertlik test metoduyla ölçülerek sertlik oranları hesaplandı. Materyalin sertliği, deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır.¹⁴ Mikrosertlik test metodu materyalin mekanik dayanıklılığını, rijiditesini ve konversiyon oranını belirlemede etkili bir yöntemdir. Bu amaçla en sık kullanılan cihazlardan biri Vickers sertlik

TABLO 2: Kompozit örneklerin farklı kalınlıklardaki alt ve üst yüzey sertlik değerleri ve sertlik oranları.

	Vickers sertlik değerleri (Mpa)					
	Üst yüzey		Alt yüzey		Sertlik oranı (HR)	
	2 mm	4 mm	2 mm	4 mm	2 mm	4 mm
SDR	76,75±6,98 ^{A,b}	82,47±4,49 ^{A,c}	65,48±5,12 ^{A,b}	62,97±4,81 ^{A,b}	0,86±0,02 ^{A,a}	0,82±0,02 ^{A,a}
Aelite	63,56±3,47 ^{A,b}	73,48±4,21 ^{A,c}	56,05±4,34 ^{A,b}	53,53±5,35 ^{A,b}	0,88±0,05 ^{A,a}	0,78±0,03 ^{A,a}
Majesty	110,59±3,90 ^{A,a}	109,32±5,730 ^{A,b}	99,21±2,90 ^{A,a}	79,12±5,35 ^{B,ab}	0,90±0,03 ^{A,a}	0,72±0,02 ^{B,a}
Grandio	107,20±3,66 ^{A,a}	118,55±2,90 ^{B,a}	91,97±3,74 ^{A,a}	88,60±5,39 ^{A,b}	0,86±0,04 ^{A,a}	0,77±0,04 ^{A,a}

HR: Hardness ratio (sertlik oranı). Küçük harfle gösterilen, aynı sütündeki aynı harfler benzerdir (tek yönlü varyans analizi); büyük harfle gösterilen aynı satırdaki aynı harfler benzerdir (bağımsız t-testi).

ölçüm cihazıdır. Bu cihaz, önceden ayarlanmış bir kuvveti materyalin yüzeyine uygulayarak materyal yüzeyinde iz bırakan iki farklı köşegen şeklinde elmas uca sahiptir. Bu uçlar sertlik ölçümünde kullanılan diğer cihazların sahip olduğu uçlara göre 1/3 oranında daha kısadır. Vickers sertlik ölçüm cihazının bu uç yapısı, sertlik ölçümü sırasında materyalin yüzey özelliklerinden daha az etkilenmesine ve daha hassas ölçüm yapabilmesine izin vermektedir.¹⁵ Bu yüzden çalışmada sertlik ölçümleri Vickers sertlik ölçüm cihazıyla yapılmıştır.

Polimerizasyon derinliği restorasyonun fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Polimerizasyon derinliğini ölçmenin direkt ve indirekt olmak üzere iki yöntemi vardır.¹⁶ İnfrared spektroskopi ve Raman spektroskopi direkt ölçüm yöntemleri iken, kazıma yöntemi ve mikrosertlik yöntemi indirekt yöntemlerdir. Uygulama kolaylığı ve düşük maliyetinden dolayı polimerizasyon derinliğini ölçmede en sık kullanılan yöntemlerden biri mikrosertlik ölçümü yöntemidir.^{12,13}

Majesty Flow ve Grandio Flow örneklerinin hem üst yüzey sertlikleri hem de alt yüzey sertlikleri Aelite Flow ve SDR "bulk-fill" kompozit örneklerine göre yüksek bulunmuştur. Majesty Flow ve Grandio Flow akışkan kompozitlerin yüksek doldurucu içeriğine sahip olması yüksek yüzey sertliklerini açıklayabilir. Doldurucu miktarındaki artış kompozitin mekanik özelliklerini geliştirmektedir. Grandio Flow, oldukça yüksek doldurucu oranına sahip bir akışkan kompozittir (hacimce %81). Çalışmamızda bu kompozit örneklerinin en yüksek yüzey sertliğini göstermesi doldurucu oranının yüksekliğiyle açıklanabilir. Benzer şekilde, Aelite Flow örneklerinin en düşük ortalama yüzey sertliğini göstermesi düşük doldurucu oranıyla açıklanabilir. Çalışmamızla uyumlu bir şekilde, Chung ve ark., yaptıkları araştırma sonucu doldurucu miktarı azaldıkça kompozitin yüzey sertliğinin de azaldığını saptamışlardır.¹⁷ Benzer şekilde Braem ve ark. da yüksek doldurucu içeriği olan materyallerde yüksek yüzey sertlik değerlerinin ölçüldüğünü gözlemlemişlerdir.¹⁸

Çalışmamızda 2 mm kalınlığındaki örneklerde tüm kompozitler için yeterli sertlik oranı görülür-

ken, 4 mm kalınlığında yalnızca "bulk-fill" kompozit olan SDR örneklerinde yeterli sertlik oranı görülmüştür. "Bulk-fill" kompozitler, geleneksel kompozitlerin monomer kimyasında yapılan değişiklikler sonucu elde edilmiştir.¹⁹ Üreticiler Bowen Monomeri (Bis-GMA: 2,2-bis [4-(2-hydroxy-3-methacryloxypropoxy) phenyl] propane) olarak adlandırılan bir monomerin kimyasını değiştirerek düşük viskoziteli yeni bir monomer elde etmişlerdir.⁵ "Bulk-fill" kompozitlerin geliştirilmiş translusent yapısı ve metakrilat rezin içerisine yerleştirilen foto aktif gruplar, bu kompozitlerin polimerizasyon kinetiğinin daha iyi kontrol edilmesine ve kompozitin "bulk" tekniği ile 4 mm derinliğe kadar polimerize edilebilmesine izin verebilmektedir.²⁰

İlk üretilen "bulk-fill" kompozit olan SDR, yapısında modifiye üretan dimetakrilat rezin içerisinde bir fotoaktif grup içermektedir.²¹ Bu yapı polimerizasyon için gerekli ışığın kompozitin daha derin tabakalarına ulaşmasına imkân vererek, restorasyonun "bulk" tekniği ile 3-4 mm kalınlığında uygulanabilmesine olanak sağlamaktadır.²² Garcia ve ark., çalışmamızla benzer şekilde mikrosertlik ölçüm metodunu kullanarak SDR "bulk-fill" kompozitle hazırlanan 4 mm kalınlığında örneklerin yeterince polimerize olduğunu saptamışlardır.¹²

El-Damanhoury ve ark.nın çalışmasında, geleneksel akışkan kompozitlerle "bulk-fill" kompozitlerden hazırlanan 4 mm kalınlıkta örneklerin polimerizasyon derinlikleri hesaplanmış, SDR örneklerinde sertlik oranı 0,80'in üzerinde bulunmuştur.²³ Yine aynı çalışmada, kullanılan tüm "bulk-fill" kompozitler 4 mm derinlikte yeterli polimerizasyon gösterirken, bizim çalışmamızla benzer şekilde geleneksel kompozitlerin 4 mm derinlikte sertlik oranları 0,80'in altında kalmıştır. Benzer şekilde Jang ve ark., çalışmalarında 4 mm derinlikte metakrilat bazlı kompozitlerin yeterli polimerizasyon derinliğini göstermediğini, SDR örneklerinde ise ortalama sertlik oranının 0,94 olduğunu bulmuşlardır.²⁴ Flury ve ark. da araştırmalarının sonucunda "bulk-fill" kompozitlerin geleneksel kompozitlere oranla daha fazla polimerizasyon derinliğine sahip olduğunu görmüşlerdir.⁶

SONUÇ

Kompozit rezin içerisinde doldurucu miktarı arttıkça yüzey sertliği artmaktadır.

Klinik açıdan restorasyon yapımı sırasında kompozitin yeterli polimerizasyon derinliği göstermesi önemli bir faktördür. SDR "bulk-fill" kom-

pozit ile 4 mm kalınlıkta optimum polimerizasyon derinliği sağlanırken, geleneksel akışkan kompozitler bu kalınlıkta yetersiz polimerizasyon derinliği göstermektedir.

Yeterli polimerizasyon derinliğinin sağlanabilmesi için geleneksel akışkan kompozitler kaviteye 2 mm derinliğinde tabakalar hâlinde uygulanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ, Stamatides P, Wilkerson M. A characterization of first-generation flowable composites. *J Am Dent Assoc* 1998;129(5):567-77.
- Salerno M, Derchi G, Thorat S, Ceseracciu L, Ruffilli R, Barone AC. Surface morphology and mechanical properties of new-generation flowable resin composites for dental restoration. *Dent Mater* 2011;27(12):1221-8.
- Karaman E, Yazici AR, Ozgunaltay G, Dayançac B. Clinical evaluation of a nanohybrid and a flowable resin composite in non-carious cervical lesions: 24-month results. *J Adhes Dent* 2012;14(5):485-92.
- Donadio-Moura J, Gouw-Soares S, de Freitas PM, Navarro RS, Powell LG, Eduardo Cde P. Tensile bond strength of a flowable composite resin to ER:YAG-laser-treated dentin. *Lasers Surg Med* 2005;36(5):351-5.
- Czasch P, Ilie N. In vitro comparison of mechanical properties and degree of cure of bulk fill composites. *Clin Oral Investig* 2013;17(1):227-35.
- Flury S, Hayoz S, Peutzfeldt A, Hüsler J, Lussi A. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? *Dent Mater* 2012;28(5):521-8.
- Dewaele M, Truffier-Boutry D, Devaux J, Leloup G. Volume contraction in photocured dental resins: the shrinkage-conversion relationship revisited. *Dent Mater* 2006;22(4):359-65.
- Rueggeberg F. Contemporary issues in photocuring. *Compend Contin Educ Dent Suppl* 1999(25):S4-15.
- Garcia D, Yaman P, Dennison J, Neiva GF. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk fill flowable composite resins. *Oper Dent* 2014;39(4):441-48.
- Campodonico CE, Tantbirojn D, Olin PS, Versluis A. Cuspal deflection and depth of cure in resin-based composite restorations filled by using bulk, incremental and transtooth-illumination techniques. *J Am Dent Assoc* 2011;142(10):1176-82.
- Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent* 2004;29(6):698-704.
- Garcia D, Yaman P, Dennison J, Neiva G. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk fill flowable composite resins. *Oper Dent* 2014;39(4):441-8.
- Herrero AA, Yaman P, Dennison JB. Polymerization shrinkage and depth of cure of packable composites. *Quintessence Int* 2005;36(1):25-31.
- Mante MO, Saleh N, Tanna NK, Mante FK. Softening patterns of light cured glass ionomer cements. *Dent Mater* 1999;15(5):303-9.
- Fuentes V, Toledano M, Osorio R, Carvalho RM. Microhardness of superficial and deep sound human dentin. *J Biomed Mater Res A* 2003;66(4):850-3.
- Park SH, Kim SS, Cho YS, Lee SY, Noh BD. Comparison of linear polymerization shrinkage and microhardness between QTH-cured & LED-cured composites. *Oper Dent* 2005;30(4):461-7.
- Chung KH, Greener EH. Correlation between degree of conversion, filler concentration and mechanical properties of posterior composite resins. *J Oral Rehabil* 1990;17(5):487-94.
- Braem M, Finger W, Van Doren VE, Lambrechts P, Vanherle G. Mechanical properties and filler fraction of dental composites. *Dent Mater* 1989;5(5):346-8.
- Guan L, Li J, Wu G, Hong Z. Initiation of polymerization with ultrasound in dental composite resin. *Biomater Artif Cells Immobilization Biotechnol* 1992;20(1):125-9.
- Cara RR, Fleming GJ, Palin WM, Walmsley AD, Burke FJ. Cuspal deflection and microleakage in premolar teeth restored with resin-based composites with and without an intermediary flowable layer. *J Dent* 2007;35(6):482-9.
- Zaruba M, Wegehaupt FJ, Attin T. Comparison between different flow application techniques: SDR vs flowable composite. *J Adhes Dent* 2013;15(2):115-21.
- Zaruba M, Wegehaupt FJ, Attin T. Comparison between different flow application techniques: SDR vs flowable composite. *J Adhes Dent* 2013;15(2):115-21.
- El-Damanhoury H, Platt J. Polymerization shrinkage stress kinetics and related properties of bulk-fill resin composites. *Oper Dent* 2014;39(4):374-82.
- Jang JH, Park SH, Hwang IN. Polymerization shrinkage and depth of cure of bulk-fill resin composites and highly filled flowable resin. *Oper Dent* 2015;40(2):172-80.