



HİBRİT SİLİKA İLAVESİNİN AKRİLİK KAİDE MATERYALİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

EFFECT OF HYBRID SILICA INCORPORATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF DENTURE BASE ACRYLIC RESIN

Yrd. Doç. Dr. Pınar ÇEVİK*

Makale Kodu/Article code: 3155
Makale Gönderilme tarihi: 24.11.2016
Kabul Tarihi: 25.01.2017

ÖZ

Amaç: Bu *in vitro* pilot çalışmanın amacı akrilik rezin kaide materyalinin nanopartiküllü hibrit silika ilavesi sonrası bükülme dayanımı ve reziliens özelliklerinin incelenmesidir.

Gereç ve Yöntem: Yirmi adet bar şeklinde (65x 10x3 mm³) hazırlanan akrilik örnek iki ana test grubuna ayrılmıştır. Grup 1 kontrol grubudur. Grup 2 silika grubu olup akrilik karışım içerisine ağırlıkça % 5 oranında silanlanmış hibrit silika ilave edilmiştir. Akrilik örnekler ısı ile polimerize olan akrilik kaide materyalinden toz/likit oranı 25 gr/10 ml olacak şekilde üretici talimatları doğrultusunda hazırlanmıştır. Silika partikülleri akrilik monomere manuel olarak ilave edilmiştir. Polimerizasyon sürecini takiben akrilik örnekler, 1 mm/ dakika hızında kuvvet uygulayan üniversal test cihazı yardımıyla üç nokta bükülme dayanımı testine tabi tutulmuştur. Bükülme dayanımı ve reziliens verilerine ait değerler cihaza bağlı bir bilgisayar tarafından Megapaskal (MPa) ve Joule (J) olarak kaydedilmiştir. İstatistiksel analizin bağımsız gruplar T-testi ile değerlendirildiği çalışmada, anlamlılık düzeyi p<0.05 olarak belirlenmiştir.

Bulgular: Bükülme dayanımı değerleri gruplar için sırasıyla; Grup 1 (223.44 MPa±26.9) ve Grup 2 (109.01 MPa±20.07)'dir. Bükülme dayanımı bakımından gruplar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunurken, reziliens değerleri açısından kontrol grubu (0.024 J±0.01) ile silika grubu (0.015 J±0.01) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Sonuç: Akrilik rezin içerisine ağırlıkça % 5 oranında hibrit silika ilavesi akriliğin bükülme dayanımı ve reziliens değerlerini düşürmüştür. Gelecek çalışmalarda, farklı yüzdeliklerdeki hibrit nanosilika ilavesinin akrilik rezin materyalinin sertlik ve yüzey özellikleri gibi farklı mekanik özelliklerine etkisi araştırılabilir.

Anahtar Kelimeler: Akrilik rezinleri, nanopartiküller, silikon dioksit

ABSTRACT

Aim: The purpose of this *in vitro* pilot study is to assess the flexural strength and the resilience of denture base acrylic resin after hybrid nanoparticulated silica incorporation.

Material and Methods: Twenty bar shaped (65x 10x3 mm³) acrylic blocks were fabricated and divided into two test groups as follows: Group 1 was acted as control, while Group 2 acted as silica group in which the silane treated hybrid silica nanoparticles were incorporated into the acrylic mixture 5% by weight. A heat cure acrylic resin was used with a powder: liquid ratio as 25 gr/10 ml. Silica nanoparticles were added to the acrylic monomer manually while mixing. After polymerization process, three-point bending flexural strength test was conducted to the acrylic specimens with a universal testing device at a crosshead speed of 1 mm/minute. The flexural strength and the resilience values were derived from the computer system connected to universal test device. The data were recorded as Megapascals (MPa) and Joule (J). An unpaired T-test was used for the statistical analysis (p<0.05).

Results: The flexural strength values of the groups are as follows: Group 1 (223.44 MPa±26.9) and Group 2 (109.01 MPa±20.07), respectively. While the difference between groups was statistically significant for the flexural strength test, the difference between control (0.024 J±0.01) and silica group (0.015 J±0.01) was significant for the resilience results.

Conclusion: The addition of hybrid nano-silica at 5 % by weight was reduced the flexural strength and the resilience of the denture base acrylic resin. Further studies could investigate the hardness and surface characteristics of the denture base acrylic resin after adding silica nanoparticles with different percentages.

Keywords: Acrylic resins, nanoparticles, silicon dioxide

* Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı.



GİRİŞ

Akrilik rezinler estetik ve biyouyumlu olmalarının yanısıra¹⁻⁴ uygulamalarının ve tamirlerinin kolay olması, düşük ağırlığa sahip olmaları³⁻⁵ düşük su emilimi ve düşük çözünürlük gibi kabul edilebilir özellikleri³ ile protez yapımında sıklıkla kullanılan materyallerdir.^{6,7} Bununla birlikte, akrilik rezinler mekanik özellikleri açısından idealden uzak⁸ ve yetersizdirler.⁶⁻⁸ Akrilik kaideli hareketli protezler ağız içinde farklı tipte birçok kuvvete maruz kalırlar. Ağız içinde tekrarlayan çiğneme kuvvetleri akrilikteki yorgunluk olarak sonuçlanırken ağız dışında protezlerin düşmesiyle yüksek dereceli çarpma kuvvetleri akriliğin kırılmasıyla sonuçlanabilir.^{9,10} Akrilik rezinlerin darbe, eğilme, yorgunluk ya da strese karşı düşük direnç göstermesi nedeniyle kırılmaları, sıklıkla karşılaşılan sorunlardandır.⁸ Bunlara ek olarak protezlerde oluşan kırıklar hatalı tasarım, hatalı malzeme seçimi ve yapımdan da kaynaklanabilmektedir.^{9,10}

Polimetilmetakrilat (PMMA) yapısında olan akriliklerin mekanik özelliklerindeki güçlendirme yöntemlerinden biri nanopartikül ilavesi olabilir. Bu noktada, nanosilika çok sıklıkla kullanılan nanopartikül olarak karşımıza çıkmaktadır.³ Doğru konsantrasyonlarda nanopartikül ilavesi ile mekanik özelliklerin güçlendirilmesi sağlanabilir⁵ ve mekanik özelliklerdeki düzelme % 1-5 aralığındaki silika ilavesiyle başarılabilir.^{9,10} Yeryüzünde çok sık rastlanan bir materyal olan silika (SiO₂) çeşitli metal oksitlerle bir arada bulunabilir.^{11,12} Silika, yoğunluğu 2,65-2,70 gr/cm³, sertliği Mohs birimine göre 7 birim olan aşınmaya dirençli bir materyaldir. Bu gibi fiziksel özellikleri silikanın dental materyallerde doldurucu olarak en sık kullanılan materyallerden biri olmasını sağlamıştır.¹³⁻¹⁷

Çalışmanın amacı, protez yapımında kullanılan PMMA esaslı akrilik kaide materyalinin güçlendirilmesi amacıyla yararlanılan silikanın %5 oranında ilavesinin kırılma direncini ne şekilde etkilediğini araştırmaktır. Çalışmanın sıfır hipotezi, nanopartiküllü hibrit silika partiküllerinin akrilik rezinin mekanik özelliklerini güçlendireceği yönündedir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamızda 65x10x3 mm³ boyutlarında 20 adet mum örnek standart bir metal kalıp kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler mum atımı yapıl-

ması amacıyla sert alçı içerisine gömülerek mufla içine yerleştirilmiştir (Resim 1). Muflaya yerleştirilen mum örnekler mufla kapağı kapatılarak brit yardımıyla basınç altında sıkıştırılmıştır. Mufla, içindeki örneklerle beraber 100 °C sıcaklıkta mum eliminasyon cihazına yerleştirilmiş ve 8 dakika bekletilmiştir. Sıcak sudan çıkarılan mufla sıcak su banyosuna tutularak mum atımı gerçekleştirilmiştir. Oluşan mum boşlukları hariç tutularak muflanın alçı kenarlarının izolasyonu sağlanmıştır. Çalışmaya ait gruplar aşağıdaki gibi hazırlanmıştır:



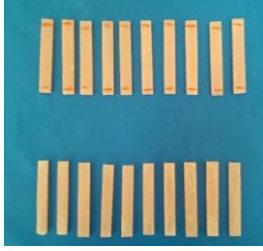
Resim 1: Mufla içine yerleştirilen mum örnekler

Grup 1-Kontrol grubu: Isı ile polimerize olan akrilik kaide materyali (Imicryl Ltd. Şti., Konya, Türkiye) toz:likit oranı 25 gr/10 ml olacak şekilde likit ve toz karıştırılarak hazırlanmıştır. Likit içine akrilik tozu katılarak 3 dakika boyunca karıştırılarak akrilik hamuru elde edilmiştir.

Grup 2-Silika grubu: Çalışmamızda kullanılan silika, üretici firma tarafından (Imicryl Ltd. Şti., Konya, Türkiye) yüzeyi γ -MPS (3-methacryloxy propyl trimethoxy silane) ile silanlanmış 5 nm (nanometre) partikül büyüklüğüne sahip organik-inorganik yapıda silika ve PMMA karışımı hibrit hidrofobik bir materyal olarak tanımlanmıştır. İlave madde olarak kullanılan silika parçacıkları dijital hassas terazi ile tartılarak total akrilik karışımının ağırlıkça % 5'i olacak şekilde akrilik monomer likitin içine karıştırılmış ve ardından akrilik tozu ilave edilerek akrilik hamuru elde edilmiştir.

Toz ve likit karıştırılarak oluşturulan akrilik hamuru lifli hale geldikten sonra, mum eliminasyon cihazı kullanılarak daha önce oluşturulan alçı boşluklara yerleştirilmiştir. Akrilik tepimi sonrası alçı model, bir brit yardımıyla 4 bar basınç altında sıkıştırılarak fazla akriliğin taşması sağlanmıştır. Kenarlardan taşan akrilik kalıntıları mufla kenarlarından temizlenerek 100 °C sıcaklıktaki sıcak suya yerleştirilerek 20 dakika boyunca akriliğin polimerizasyonu sağlanmıştır. Sıcak su

içerisinden çıkarılan muflalar kendi halinde soğumaya bırakmıştır. Soğuyan muflalar açılarak polimerize olan akrilik örnekler çıkarılmış ve kenarlarından tesviye yapılmıştır. Örneklerin standardının sağlanması amacıyla boyutları ölçülerek test işlemleri için hazırlanmıştır (Resim 2).



Resim 2: Testler için hazır hale getirilmiş akrilik örnekler

Bükülme dayanımı ve reziliense ait veriler örneklere üç nokta bükülme dayanımı testi uygulanarak elde edilmiştir. Örneklere üniversal bir test cihazı (Lyd Instruments LRX, Hampshire, UK) yardımıyla 1 mm/dakika hızında kuvvet uygulanmıştır. Kırılma anına ait Newton cinsinden elde edilen veriler, cihaza bağlı bir bilgisayar yardımıyla MPa (megapaskal)'e çevrilerek kaydedilmiştir.

İstatistiksel Analiz

Çalışma sonucunda toplanan verilerin istatistiksel analizi istatistik paket programı (SPSS Version 20.0; SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) kullanılarak yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen veriler istatistiksel olarak normal dağılıma uygunluk göstermiştir. Bükülme dayanımı ve reziliens verilerine ait homojenlik testi Levene's testi kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada istatistik olarak anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak alınmış, verilerin grup içinde normal ve homojen olarak dağıldığı gözlemlendiğinden gruplar arasındaki ortalama ve farklar bağımsız gruplar T-testi ile değerlendirilmiştir.

BULGULAR

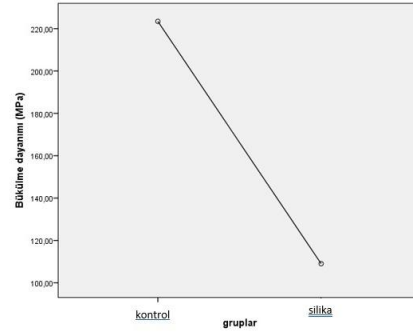
Çalışmadan elde edilen üç nokta bükülme dayanımı test sonuçlarına göre, en yüksek bükülme dayanımı silika ilave edilmemiş kontrol grubu akrilik resin örneklerde gözlenmiştir ($223.44 \text{ Mpa} \pm 26.9$). Ağırlıkça % 5 oranında hibrit nano silika ilave edilmiş akrilik resinin bükülme dayanımı değerleri kontrol grubuna göre anlamlı derecede düşük bulunmuştur ($109.01 \text{ Mpa} \pm 20.7$). Akrilik rezine ait reziliens

değerleri de silika ilavesiyle düşmüştür. Buna rağmen, reziliens bakımından kontrol grubu ($0.024 \text{ J} \pm 0.01$) ile silika grubu ($0.015 \text{ J} \pm 0.01$) arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Materyalin kırılma anına kadar görülen maksimum bükülme oranı silika ilavesiyle istatistiksel olarak anlamlı derecede azalmıştır. Tablo 1'de grupların bükülme dayanımı ve reziliens sonuçlarına ait ortalama değerler ile verilere ait standart sapmalar gösterilmektedir.

Tablo 1. Gruplara ait bükülme dayanımı ve reziliens değerleri.

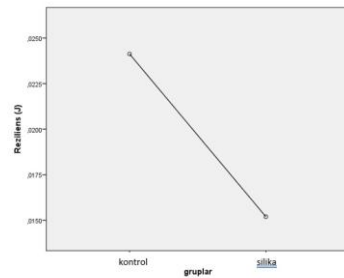
Grup	Bükülme dayanımı (MPa)				Reziliens (J)			
	Ortalama	Std. Sapma	Min.	Maks.	Ortalama	Std. Sapma	Min.	Maks.
Grup 1	223.44	26.9	177.45	254.39	0.024	0.01	0.01	0.04
Grup 2	109.01	20.7	80.23	141.57	0.015	0.01	0.01	0.03
	t: 10.646				t: 1.883			
	p<0.05				p=0.076			

Not: Bükülme dayanımı açısından Grup 2 ile Grup 1 arasındaki fark anlamlıdır ($p < 0.05$); Min: En küçük değer; Maks: En büyük değer; Std. Sapma: Standard sapma.



Not: Bağımsız gruplar T-testi sonuçlarına göre bükülme dayanımı verilerine ait istatistiksel grafik. Silika ilavesiyle, akrilik resinin bükülme dayanımında ciddi bir düşüş gözlenmiştir.

Şekil 1. Bükülme dayanımına ait istatistiksel grafik



Not: Bağımsız gruplar T-testi sonuçlarına göre bükülme dayanımı verilerine ait istatistiksel grafik. Silika ilavesiyle, akrilik resinin reziliens değerlerinde ciddi bir düşüş gözlenmiştir.

Şekil 2. Reziliens değerlerine ait istatistiksel grafik

TARTIŞMA

Çalışmanın sonuçlarına göre, hibrit bir materyal olarak tanımlanmış hidrofobik nano silika partikülleri akrilik rezinin bükülme dayanımını ve reziliens değerlerini düşürmüştür. Bu nedenle, çalışma başında kurulan sıfır hipotezi reddedilmiştir.

Akrilik kaideli protezlerin kullanım süreleri değişmekle birlikte akrilik kırıklarının ilk birkaç yılda meydana geldiği bildirilmiştir.¹⁸ Akrilik kaidenin bükülme dayanımındaki zayıflıklar oklüzal yüklerle bağlı olarak protezlerin kırılmasına yol açabilir. Aynı zamanda akrilik kaidenin baskı dayanımındaki zayıflıklar çarpmaya ve ani darbelere karşı akriliğin kırılmasıyla sonuçlanabilir.^{19,20} Akrilik yüzeyinin aşınmalara ve çizilmelere karşı direnci sertliğinin artmasına bağlı olarak artacaktır. Bu nedenle, akrilik kaide materyalinin bükülme dayanımı, baskı dayanımı, sertlik ve reziliensinin yüksek olması ve yüzey pürüzlülüğünün düşük olması istenilen özelliklerindedir.

Son yıllarda protez kaide materyalinin kırılmalara karşı dayanımını artırmak amacıyla bükülme ve baskı dayanımının artırılması amaçlanmaktadır. Bu noktada, akriliğe daha güçlü maddeler ilave edilerek yeni veya güçlendirilmiş materyaller elde edilmeye çalışılmaktadır.⁸ Bu noktada, akrilik içine cam, karbon, naylon ve aramid fiberler, gümüş, alüminyum, ve metal tozları ile metalik teller eklenerek mekanik özelliklerin geliştirilmesi hedeflenmiştir.^{3,10}

Dental materyallerde sıklıkla kullanılan doldurucu maddeler nano silikalardır. Silika, silisyum ve oksijen birliğini ifade eden bir formdur.²¹ Silikanın akrilik materyalin matrisi ile sıkı bir bağ yapabilmesi, yüzeyinin ancak silan molekülü ile işlenmesi ile mümkün olmaktadır.³ Silika yüzeyinin işlenmesi için en sık kullanılan silan ajanı 3-methacryloxy propyl trimethoxy silane(γ -MPS)'dir. Farklı tip silanların nano silikalar üzerinde farklı etki ettiği ve ilave edilen materyalin mekanik özelliklerini olumlu ya da olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir.²² Silanlama yöntemi ile silika hidrofobik bir yapı kazanıp silika ile akrilik rezin matrisin kovalent bir bağ yapması sağlanmış olur.²³

Çalışmamızda kullanılan hibrit nano silika ilavesi akrilik rezinin bükülme dayanımında anlamlı oranda düşüşe yol açmıştır. Çalışmamızdan elde edilen sonuçlar Mansour ve arkadaşları²⁰, Mc Nally ve arkadaşları²⁴, da Silva ve arkadaşları²⁵, Sodagar ve arkadaşlarının²⁶ yapmış oldukları çalışmalar ile paralellik göstermek-

tedir. da Silva ve arkadaşları²⁵, ağırlıkça % 0.5 ve % 1'lik nano silika ilave edilmiş akrilik rezinin bükülme dayanımının kontrol grubu akrilik rezinden anlamlı derecede yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Aynı çalışmada, ağırlıkça % 5 nano silika ilave edilmiş akrilik rezin anlamlı derecede düşük bükülme dayanımı göstermiştir. da Silva ve arkadaşları²⁵ çalışmamızdan farklı olarak mikrodalga enerjisi ile polimerize olan akrilik rezin kullanmışlardır.

Mc Nally ve arkadaşları²⁴, % 5 oranındaki nano silika partiküllerinin manuel karıştırma ile akrilik içine homojen olarak ilave edilmesinin mümkün olmadığını bildirmişlerdir. Silika partikülleri yüksek konsantrasyonda rezin matrisi içinde kullanılacaksa homojen bir karıştırma metodu ile bunun sağlanması gerektiği bildirilmiştir. Bununla birlikte Zuccari ve arkadaşları²⁷, ağırlıkça yüksek yüzdelerde nano silika ilavesiyle akrilik rezinin mekanik özelliklerinin arttığını bildirmiştir. Ne var ki ağırlıkça % 5'lik nano silikanın akrilik rezine ilavesi oldukça güçtür ve silikanın akrilik matrisinde birikimiyle²⁵ sonuçlanabilir. Bahsedilen bu çalışmalarla paralel olarak bizim çalışmamızda da nano silika partikülleri akrilik likit monomer içerisine manuel olarak karıştırılmıştır. Homojen bir karışım elde edilmiş olması olasılıklar arasındadır. Bu nedenle, çalışmamızda ve diğer benzer çalışmalarda elde edilen düşük bükülme dayanımı ve reziliens değerleri, silikanın rezin matrisi içerisinde birikmesine bağlı mekanik özelliklerin zayıflamasına neden olmuş olabilir. Bunun yanı sıra, silika parçacıkları akrilik rezinin sertliğini artırarak bükülme dayanımını azaltmış da olabilir. Ne var ki çalışmamızda sertlik testi yapılmamıştır.

Çevik ve Yildirim-Bicer²⁸ yapmış oldukları çalışmada, γ -MPS ile silanlanmış 12 nm boyutlarındaki silika partiküllerini ağırlıkça % 5 oranında ilave ettikleri akrilik rezinin bükülme dayanımının kontrol grubuna göre düştüğünü, reziliens ve sertlik değerlerinin ise artmış olduğunu bildirmişlerdir. Bahsedilen çalışmada SEM görüntüleri silikanın akrilik rezin matrisi içinde birikim yapmadığını açıklamıştır. Çalışmamızda kullanılan silika partikülleri, üretici firma tarafından silika ve PMMA'dan oluşan hidrofobik hibrit bir materyal olarak tanımlanmıştır. Bahsedilen çalışmadan farklı olarak bu çalışmada, daha küçük parçacık büyüklüğüne sahip (5 nm) hibrit nanosilika kullanıldığından, bu tip bir silika ilavesinin akrilik rezinin sertlik, basma dayanımı ve yüzey pürüzlülüğü gibi mekanik özelliklere nasıl etki edeceği ileriki çalışmalarda araştırılabilir. Çalışmamızda

kırık yüzeylerine ait SEM görüntüleri alınmamıştır. Yapılacak geniş çaplı bir çalışmada yüzey yapısı değerlendirilip olası birikim ve boşluklu yapılar teşhis edilmeli ve düşük bükülme dayanımı değerlerinin sebepleri saptanabilir.

Çalışmalardan elde edilen sonuçların farklı olması ve akrilik rezinin silika ile güçlendirilmesinde henüz bir fikir birliğinin olmaması, çalışmalarda kullanılan materyallerin farklı olmasından ve çalışma metodlarındaki farklılıklardan dolayı olabilir. Yapılan çalışmalarda farklı tip materyaller farklı konsantrasyonlarda kullanıldığından, yaptığımız bu pilot çalışmadan elde edilen verilerin diğer çalışmalarla birebir kıyaslanması doğru olmayacaktır. İleriki çalışmalar, silikanın farklı oranlarda akrilik rezine ilave edilerek farklı tip mekanik dayanım testlerinin yapılması şeklinde planlanabilir.

SONUÇ

Yapılan bu pilot çalışmada, ağırlıkça % 5 oranında hibrit silika ilavesinin akrilik kaide materyalinin bükülme dayanımı ve reziliens değerlerini düşürdüğü gözlenmiştir. İlave maddelerin farklı yüzdeliklerde kullanılması ile akrilik kaide materyalinin diğer mekanik özelliklerinin ne yönde değişeceği gelecek çalışmalarda değerlendirilmelidir.

Pınar Çevik, ORCID ID: 0000-0003-1970-7543

KAYNAKLAR

1. Vallittu P.K. A review of methods used to reinforced denture base resins. J Prosthodont 1995;4:183-7.
2. Kim SH, Watts DC. The effect of reinforcement with woven E-glass fibers on the impact strength of complete dentures fabricated with high impact acrylic resin. J Prosthet Dent 2004;91:274-80.
3. Alla RK, Sajjan S, Alluri VR, Ginjupalli K, Upadhy N. Influence of fiber reinforcement on the properties of denture base resins. J Biomater Nanobiotechnol 2013;4:91-7.
4. Balos S, Pilic B, Markovic D, Pavlicevic J, Luzanin O. Poly(methyl-methacrylate) nanocomposites with low silica addition. J Prosthet Dent 2014;111:327-34.
5. Bellamy K, Limbert G, Waters MG, Middleton J. An elastomeric material for facial prostheses: synthesis, experimental and numerical testing aspects. Biomaterials 2003;24:5061-6.
6. Darbar UR, Huggett R, Harrison A. Denture fracture-a survey. Br Dent J 1994;176:342-5.
7. Asar VN, Albayrak H, Korkmaz T, Turkyilmaz I. Influence of various metal oxides on mechanical and physical properties of heat-cured polymethyl methacrylate denture base resins. J Adv Prosthodont 2013;5:241-7.
8. Jagger DC, Harrison A, Jandth A. The reinforcement of dentures. J Oral Rehabil 1999; 26: 185-94.
9. Faot F, Costa MA, Del Bel Cury AA, Rodrigues Garcia RC. Impact strength and fracture morphology of denture acrylic resins. J Prosthet Dent 2006;96:367-73.
10. Kaplan R, Özçelik B, Gürbüz A. Tam protezlerin yapımında kullanılan akrilik rezinleri güçlendirme yöntemleri. Atatürk Üniv Diş Hek Fak Derg 2006;1:70-6.
11. Hong YR, Fu HP, Zhang YJ, Wang J, Li HZ, Zheng Y. Surface-Modified Silica Nanoparticles for Reinforcement of PMMA. J Appl Polym Sci 2007; 105: 2176-84.
12. Zheng YP, Zheng Y, Ning RC. Effects of nanoparticles SiO₂ on the performance of nanocomposites. Mater Lett 2003;57:2940-44.
13. Karayazgan-Saraçoğlu B. Silika ile güçlendirilmiş maksillofasiyal silikon elastomerlerin fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi. CÜ Diş Hek Fak Derg 2010;13:34-9.
14. Han Y, Kiat-amnuay S, Powers JM, Zhao Y. Effect of nano-oxide concentration on the mechanical properties of a maxillofacial silicone elastomer. J Prosthet Dent 2008;100:465-73.
15. Jalham IS, Maita IJ. Testing and evaluation of rubberbase composites reinforced with silica sand. J Compos Mater 2006;23:2099-112.
16. Botti A, Pyckhout-Hintzen W, Richter D, Urban V, Straube E. A microscopic look at the reinforcement of silica-filled rubbers. J Chem Phys 2006; 124: 174908-13.



17. Ab Rahman I and Padavettan V. Synthesis of Silica Nanoparticles by Sol-Gel: Size dependent properties, surface modification and applications in silica polymer nanocomposites-A review. J Nanomater 2012;2012:1-15.
18. Johnston EP, Nicholls JI, Smith DE: Flexural fatigue of 10 commonly used denture base resins. J Prosthet Dent 1981;46:478-83.
19. Manley TR, Bowman AJ, Cook M: Denture bases reinforced with carbon fibers. Br Dent J 1979; 146: 25.
20. Mansour MM, Wagner WC, Chu TM. Effect of mica reinforcement on the flexural strength and microhardness of polymethyl methacrylate denture resin. J Prosthodont 2013; 22:179-83.
21. Karayazgan B, Gunay Y, Evlioglu G. Improved edge strength in a facial prosthesis by incorporation of tulle: a clinical report. J Prosthet Dent 2003; 90: 526-9.
22. Esfandeh M, Mirabedini SM, Pazokifard S, Tari M. Study of silicone coating adhesion to an epoxy undercoat using silane compounds: Effect of silane type and application method. Colloids Surf A Physicochem Eng Asp 2007; 302:11-6.
23. Kanie T, Arikawa H, Fujii K, Inoue K. Physical and mechanical properties of PMMA resins containing gamma-methacryloxypropyltrimethoxysilane. J Oral Rehabil 2004; 31:166-71.
24. Mc Nally L, O'Sullivan DJ, Jagger DC. An in vitro investigation of the effect of the addition of untreated and surface treated silica on the transverse and impact strength of poly (methylmethacrylate) acrylic resin. Biomed Mater Eng 2006; 16:93-100.
25. da Silva LH, Feitosa SA, Valera MC, de Araujo MA, Tango RN. Effect of the addition of silanated silica on the mechanical properties of microwave heat-cured acrylic resin. Gerodontology 2012; 29:1019-23.
26. Sodagar A, Bahador A, Khalil S, Shahroudi AS, Kassaei MZ. The effect of TiO₂ and SiO₂ nanoparticles on flexural strength of poly (methylmethacrylate) acrylic resins. J Prosthodont Res 2013;57:15-9.
27. Zuccari AG, Oshida Y, Moore BK. Reinforcement of acrylic resins for provisional fixed restorations. Part I: mechanical properties. Biomed Mater Eng 1997;7:327-43.
28. Cevik P, Yildirim Bicer AZ. The effect of silica and prepolymer nanoparticles on the mechanical properties of denture base acrylic resin. J Prosthodont 2016. doi: 10.1111/jopr.12573.

Yazışma Adresi

Yrd. Doç. Dr. Pınar ÇEVİK
Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı
Bışkek cd. 82. Sokak No:4
06510, Emek, Çankaya/Ankara
Tel: 0543 773 37 93
Email: dt_pinarcevik@yahoo.com

