

KOMPOZİT RESTORASYONLARDA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

SURFACE ROUGHNESS AND SURFACE ROUGHNESS MEASUREMENT METHODS IN COMPOSITE RESTORATIONS

¹*Kaşad PALA, ²Y. Orçun ZORBA

¹Yrd. Doç. Dr. Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, KAYSERİ.

²Doç. Dr. Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, KAYSERİ.

Özet

Kompozit restorasyonların yapımında en önemli aşamalardan birisi uygun yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için yapılan bitirme ve polisaj işlemleridir. Bitirme ve polisaj işlemleri ile kompozit restorasyonların yüzeyinde bulunan rezinden zengin tabaka uzaklaştırılır. Bu sayede kompozit restorasyonların mekanik özellikleriyle birlikte estetik özellikleri de iyileştirilir. Bitirme ve polisaj işlemleri sırasında kullanılan enstrümanların restorasyonların yüzey pürüzlülüğünde meydana getirdiği değişim profilometre aracılığıyla ölçülebilir. Nitel kantitatif sonuçların elde edilmesiyle kompozit rezinler arasındaki farklılıklar ve kompozit rezinlerin yüzey pürüzlülüğüne polisaj enstrümanlarının etkinliği belirlenebilir. Laboratuvar şartlarında yapılan bu çalışmalar klinik kullanım için yol göstericidir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit rezin, bitirme ve polisaj, yüzey pürüzlülüğü, profilometre, SEM, AFM.

Abstract

One of the most important stages in the composite restorations to obtain the proper surface roughness by the application of finishing and polishing procedures Resin rich layer is removed from the surface of composite restorations within the finishing and polishing procedures. Thus aesthetic properties with the mechanical properties of the composite restoration is also improved. Changes in surface roughness caused by the polishing instruments used during finishing and polishing procedures can be measured through the profilometer. Differences between composite resin and effect of polishing instruments on the surface roughness of composite resins could be determined by the obtain qualitative and quantitative results. Studies conducted in laboratory conditions that are indicative of clinical utility.

Key words: Composite resin, finishing and polishing, surface roughness, profilometry, SEM, AFM.

Giriş

Restoratif diş hekimliğinde ön ve arka grup dişlerde kompozit rezinlerin kullanımı; hastaların giderek artan estetik beklentileri, kompozit rezinlerin formülasyonlarındaki gelişmeler ve diş dokularına adezyondaki artan başarıya paralel olarak giderek artmaktadır (1).

Direkt kompozit restorasyonların yapımında son aşama bitirme ve polisaj işlemleridir. Restorasyonlara uygulanan bitirme ve polisaj işlemlerinin amacı restorasyonların anatomik formunun verilmesi ve diş dokularına yakın bir pürüzsüzlük sağlanmasıdır. Restorasyonlara uygulanan bu işlemler yapılan

restorasyonun başarısını önemli ölçüde etkiler (2,3).

Restorasyonlara uygulanan hatalı yada eksik bitirme ve polisaj işlemleri sonrasında meydana gelecek pürüzlü yüzeyler hem diş hem de çevre dokuların sağlığını tehlikeye atar. Restorasyonların pürüzlü yüzeylerinin neden olabileceği sorunlar; plak birikimi, gingival enflamasyon, ikincil çürükler, restorasyon yüzeylerinde boyanma, marjinal bütünlüğün bozulması ve restorasyon ile diş yüzeylerinin aşınması şeklinde sıralanabilir (4-7). Pürüzsüz yüzeylere adapte olunması hastalar için daha kolaydır ayrıca pürüzsüz yüzeyler hastalara konfor sağlar. (8)

En pürüzsüz kompozit restorasyon yüzeyinin, polyester bant altında polimerize edilen ve üzerinde herhangi bir yapılmamış yüzeylerde elde edildiği gösterilmiştir. Ancak polimerize edilen kompozitlerin en diş tabakasında meydana gelen oksijen inhibisyon tabakasının (rezinden zengin tabaka) uzaklaştırılması gerekmektedir (7,9,10). Oksijen

*İletişim Adresi

Dr. Kaşad PALA
Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Restoratif Diş Tedavisi Anabilim Dalı
Kayseri

Tel: 0505 454 73 07

e-mail: dtkansad@hotmail.com

inhibisyon tabakası kompozit rezinlerin polimerizasyonunu engellemektedir. Bu bölgedeki polimerize olmamış artık monomerler yapılan restorasyonda başarısızlığa neden olabilmektedir (11). Rezinden zengin tabaka kompozit rezinin organik matriks kısmının yüzeye doğru hareket etmesiyle oluşur. Bu tabaka su emilimine meyilli, boyanmaya karşı direnci az ve doldurucu içermeyen bir yapıdadır (3). Yüzeyde kalan rezinden zengin tabaka renklemenin yanı sıra, ağız ortamında kolayca aşınması sebebiyle inorganik doldurucuların açığı çıktığı cilasız, pürüzlü bir yüzey oluşmasına da neden olmaktadır (12). Bu nedenle, matris bandı altında polimerize edilen kompozitlerin yüzeylerinin plak oluşumu ve renklemeye izin vermeyecek bir biçimde düzgünleştirilip cilalanması gerekmektedir. Bu işlemler yapılmadığında; plak akümüasyonu, gingival irritasyon, estetik olmayan bir görüntü, yüzey renklemesi, ikincil çürükler ve kompozit restorasyonlarda bütünlüğün bozulması ile karşıt dişlerde aşınmaların meydana gelmesi kaçınılmazdır (13,14). Yapılan çalışmalarda, farklı yöntemlerle cilalanan yüzeylerde pürüzlülük değerleri (Ra) 0,7-0,14 µm arasındaysa plak birikimi açısından bir fark oluşmadığı bulunmuştur (7,15). Ancak oklüzal kontakt bölgelerindeki pürüzlü restorasyon yüzeyleri antagonist dişin minesinde aşınmaya neden olabilmektedir (16). Posterior dişlerde oklüzal kontakt alanlarındaki minenin pürüzlülük değeri 0,64 µm'dir. Yapılan restorasyonların yüzey pürüzlülüğünün bu değere yakın yada altında olması istenen bir durumdur (17).

Kompozit rezinlerde polisaj işlemi yapılması sırasında uygulanan basınç, kullanılan polisaj sisteminin kompozit yüzeyine tam uyum sağlaması ve yine kullanılan polisaj sisteminin uygulanma süresi gibi faktörler elimine edilebilse dahi, farklı kompozit rezinler üzerinde uygulanan aynı polisaj sistemleri farklı sonuçlar verebilmektedir. Bu farklılığın, kompozit rezinlerin farklı partikül büyüklüğüne sahip olması sebebiyle ortaya çıktığı öne sürülmektedir (18-25). Buna ek olarak partikül sertliği ve doldurucu partiküllerin miktarı da, kompozit rezinlerin bitirme ve polisaj işlemleri sonrasında yüzey mikromorfolojisine etki eden faktörlerdir. Cila işlemi sırasında sert ve büyük partiküller, yumuşak olan rezin matriksten daha kolay kopabilmektedir (26-33).

Kompozit rezin restorasyonlar yumuşak polimerik reçine ile sert doldurucu partiküllerin Cilt / Volume 17 · Sayı / Number 1 · 2016

birleşiminden meydana gelmektedirler. Dolayısıyla bitirme işlemleri sonrasında meydana gelen aşınma miktarları eşit olmamaktadır ve doldurucu partiküller arasında çukurcuklar oluşmaktadır. Bu durum özellikle büyük partiküllü geleneksel tip kompozit rezinlerde daha fazladır, bu sebeple bitirme ve polisaj işlemleri sonrasında daha fazla pürüzlülük görülür ve hissedilir. Mikrofil kompozitlerde ise doldurucu partiküller daha küçük olduğundan daha küçük çukurcuklar oluşur ve yüzey daha parlak ve pürüzsüz görünür. Hibrit ve küçük partiküllü kompozit rezinlerde de parlak ve düzgün bir yüzey elde edilebilmektedir ancak cilaları mikrofil kompozitler kadar kolay yapılamamaktadır (21).

Restorasyonlara uygulanan bitirme ve polisaj işlemleri sırasında kullanılan enstrümanlarının etkinliği ve bu enstrümanlarla uygulanan işlemler sonucunda restorasyonun sahip olduğu yüzey pürüzlülüğü çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörler şu şekilde sıralanabilir; (18,21):

1. Bitirme ve cila işlemi uygulanan materyalin yapısı ve mekanik özellikleri (Ör; kompozit rezin, kompomer, cam iyonomer, amalgam, porselen vb),
2. Aşındırıcılar ile restorasyon materyali arasındaki sertlik farkı,
3. Kullanılan enstrümandaki aşındırıcı partiküllerin sertliği, boyutu ve şekli,
4. Aşındırıcıyı taşıyıcı aygıtın fiziksel özellikleri (Ör; sertliği, esnekliği, bükülebilirliği, kalınlığı, yumusaklığı, porözitesi),
5. Aşındırıcı enstrümanın uygulanma hızı ve restorasyon materyaline basıncı,
6. Aşındırıcı enstrümanların kayganlaştırıcılar ile birlikte kullanılması (Ör; su, suda çözünen polimerler, gliserin vb.).

Yüzey pürüzlülüğü; bir materyalin özelliklerine ya da elde edilme yöntemine bağlı olarak oluşan yüzey dokusundaki düzensizliklerdir (23).

Diş hekimliğinde yapılan restorasyonlarda düzgün yüzeyler elde edilmesi ağız sağlığı ve estetik gereksinimler için oldukça önemlidir. Bitirme ve cila işlemlerinin temel amacı da restorasyona uygun bir kontur, uygun bir oklüzyon, sağlıklı embraşür ve düzgün bir yüzey kazandırmaktır (24).

Dişlerin ve restorasyonların yüzey pürüzlülüğü ile plak birikimi, restorasyonların

renklenmesi ve estetiğin direkt ilişkisi vardır (25). Kompozit rezin restorasyonlarda düzgün bir yüzey elde edilmesi ile plak birikimi azaltılarak diş eti problemlerinin, yüzey renklenmelerinin, hasta şikayetlerinin ve ikincil çürüklerin önlenebileceği birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (26-30). Ayrıca yüzeyin düzgün olması sürtünmeyi azalttığından sonrasında oluşabilecek aşınmayı da azaltarak klinik performansı arttırabileceği bildirilmiştir (31). Bunun yanında pürüzlü yüzeyler kırılmaya daha eğilimli olduklarından yüzey düzgünlüğünün sağlanması ile kırılma riskinin de azalabileceği rapor edilmiştir (32).

Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Yöntemleri

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde optik veya mekanik sensörlere sahip cihazlar kullanılabilir. Tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) gibi kalitatif (nitel) ve yüzey profili analizi (Profilometre) gibi kantitatif (sayısal) metodlarla yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılabilmektedir. Bunların yanı sıra son yıllarda yeni bir teknik olan Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) ile de yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılmaktadır (34).

Profilometreler

Profilometreler mekanik ve optik profilometreler olmak üzere farklı tiplerde olabilir.

Mekanik Profilometreler: Mekanik profilometreler iki boyutlu ölçüm yaparlar ve örnek yüzeyi üzerinde sabit doğrusal bir mesafede, boyutları belirli elmas bir uç yardımıyla yüzeye temas ederek, yüzeyin taranması prensibiyle çalışır. Sensor X eksenı boyunca hareket eder ve dikey eksendeki yükseklik farklarını makinenin dönüştürüm sistemini referans olarak hesaplar. Bu nedenle çalışılan bölgedeki yüzeyin paralelliği ve sensörün eksen dönüştürümü mutlaka dikkatli bir şekilde ayarlanmalıdır (35). Mekanik profilometrelerin sensörleri, yüzeyi elmas uç yardımıyla yatay olarak 20-50µm çözünürlük ile tararlar. Yüzeydeki olukların değerleri etkilememesi için çeşitli açılarla ölçümler yapılmalıdır (36).

Mekanik profilometreler hem dijital hem de analog donanım ve yazılım kullanılarak değerleri kaydedilebilmektedir (22). Bu değerlerden;

-Ra; belirli bir ölçüm mesafesinde tüm yüzey düzensizliklerinin (yükseklik ve derinliklerinin) mutlak toplamalarının aritmetik ortalamasını,

-Rmax; belirli mesafedeki en yüksek ve en derin noktalar arası mesafeyi,

-Rz; belirli mesafedeki birbirini izleyen 5 maksimum yükseklik ve derinliğin ortalamasını ifade etmektedir.

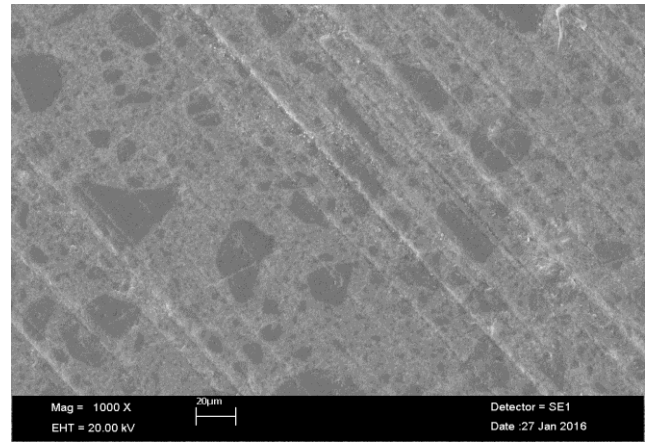
Yüzey pürüzlülüğü çoğunlukla aritmetik ortalama pürüzlülük (Ra) olarak ifade edilir (37).

Optik Profilometreler: Optik profilometreler üç-boyutlu ölçüm sağlayan cihazlardır. Yüzey ile mekanik bir temas yoktur ve optik ışınla tarama yapmaktadır (35). Cihaz yüzey üzerinde belirlenen referans noktaları arasındaki mesafede ölçüm yapmaktadır. Cihazın optik parçaları 100 µm² lik bir alanda birkaç nanometrelik çözünürlük sağlayabilmektedir (35).

Yüzey topografisi 3 boyutludur dolayısıyla optik profilometreler ile yüzeyin doğal karakteri gösterilebilmektedir (34).

Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM)

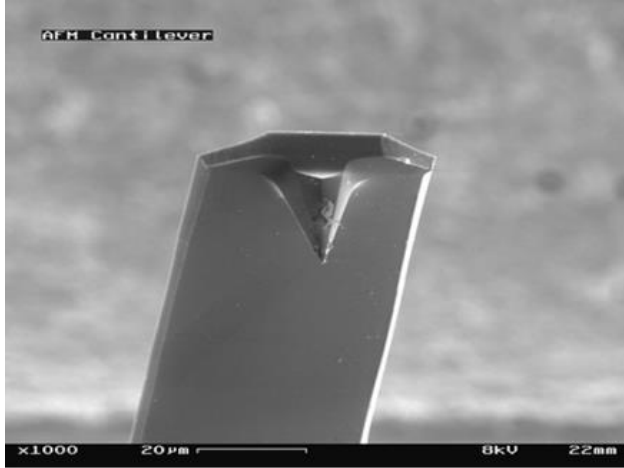
SEM, çok ince (10 µm) bir elektron demetinin incelenen yüzey boyunca bir noktadan bir noktaya ard arda hareket etmesi prensibiyle çalışır (38). SEM bir yüzeyde oluşan çiziklerin ve bozuklukların incelendiği en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Ancak yüzey topografisinin tanımlanmasında bir takım sınırlamalara sahiptir ve üç-boyutlu yüzey özelliği görüntülenememektedir (34). (Resim 1)



Resim 1. SEM ile incelenmiş kompozit rezinin 1000x görüntüsü. SEM ile yüzeydeki çizikler ve doldurucuların yüzeyde meydana getirdiği düzensizlikler net bir şekilde incelenebilmektedir.

Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

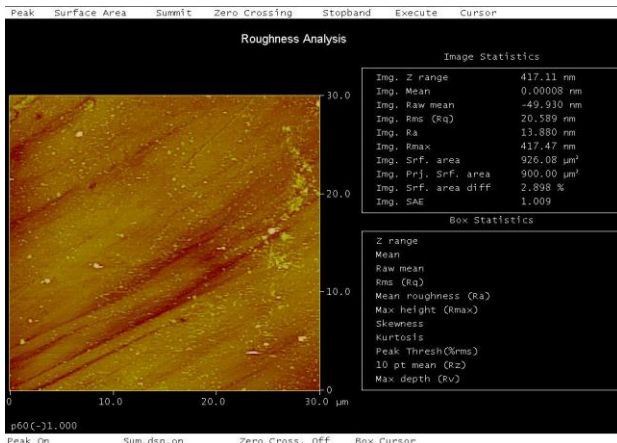
Atomik Kuvvet mikroskobu(AFM) tarama uçlu mikroskobilerin bir çeşididir. AFM ile örnek yüzeyi tarayıcı uç yardımıyla piezoelektrik çevirici ile taranarak örneğin yüzeyi ile ilgili bilgiler toplanır (39). (Şekil 1)



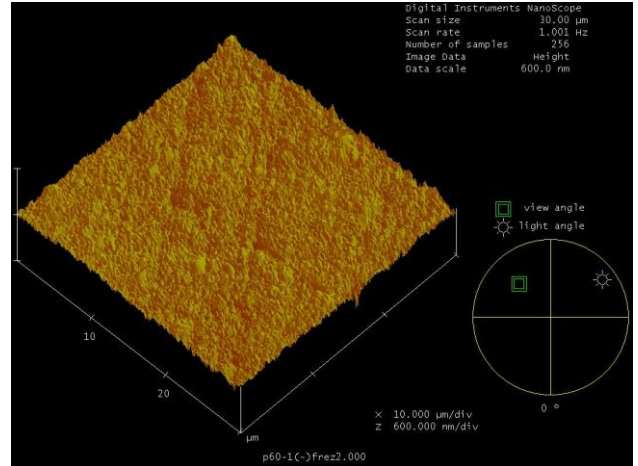
Şekil 1. AFM tarama ucu (Özgür ŞAHİN; Stanford Üniversitesi (50).

AFM, diş hekimliği araştırmalarında son yıllarda popülerite kazanan bir tekniktir. Çalışma prensibinde, örnek yüzeyi çok ince bir manivela (sivri uç) yardımıyla taranır (40). Genellikle AFM tekniklerinde kullanılan uçlar 40-60 nm çapındadır ve AFM ucu yüzeyi tararken, AFM uç ve yüzey arasındaki etkileşimi kayıt eder. Bu etkileşimler Van der Waals kuvvetleri, kapiller kuvvetler ve sürtünme kuvvetlerine bağlıdır (41).

AFM ile atomik boyutlara kadar sivriltilmiş bir iğne ucu yardımıyla, yüzeyin yüksek çözünürlükte ve üç boyutlu görüntülenmesi sağlanır. (Resim 2,3)

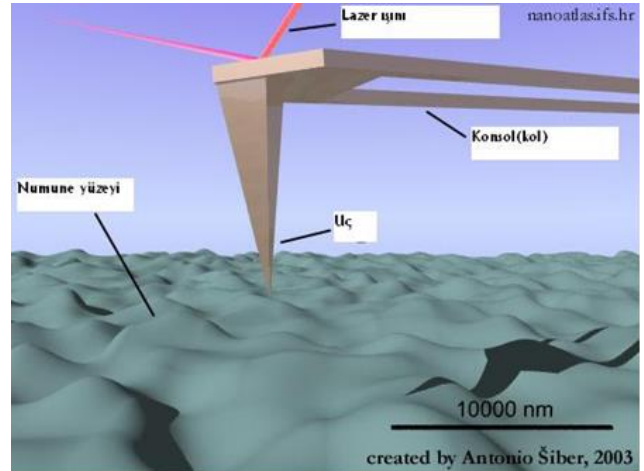


Resim 2. AFM ile ölçülmüş pürüzlülük değerleri ve yüzeyin AFM görüntüsü.



Resim 3. Yüzeyin AFM ile elde edilen 3 boyutlu görüntüsü.

Görüntüleme, iğne ucunun yüzey ile etkileşiminin incelenmesi sonucunda gerçekleştirilir. Değişik amaçlar için farklı iğne uçları kullanılır (42). (Şekil 2)



Şekil 2. AFM ucuna lazerle kuvvet uygulama (51)

AFM de üç farklı teknik kullanabilmektedir. Bunlar; iğnenin yüzeye temas ettirilerek uygulandığı temas yöntemi(çekici mod), iğnenin yüzeye temas etmediği temassız yöntem(itici mod) ve iğnenin yüzeye vurularak uygulandığı vurma yöntemidir(tıkladma modu). Örnek yüzeylerinin görüntülenmesi yanı sıra faz, elektrik iletkenlik ve manyetik farklılıklar da saptanabilmektedir. Çözünürlük yüksek. Atomik seviyede görüntüler bu modda elde edilir (42).

AFM'nin konvansiyonel tekniklere göre 3 boyutlu ölçüm yapması, nanometrik çözünürlükte 3 boyutlu görüntü elde edilmesi vakum veya örneklere özel bir işlem (kaplama

vb) gerektirmemesi gibi avantajları vardır. Ancak tarama hızının düşük olması, örnek sayısının az olması ve undercutları belirleyememesi ise dezavantajlarıdır (40).

İnce AFM ucu (uç yarıçapı, 20 nm) örneklerin yüzey pürüzlülüğü gibi kantitatif bilgilerin kaydedilmesini sağladığı gibi yüzeylerin görüntüleri gibi kalitatif bilgilerin de kaydedilmesini sağlamaktadır (43).

Tartışma ve Sonuç

Kompozit restorasyonlara yapılan bitirme ve polisaj işlemleri sonrası hem estetik görünüm iyileşmekte, hem de mekanik özellikler gelişmektedir. Pürüzsüz bir yüzeyin restorasyonun başarısını ve uzun ömürlü olmasını sağlayacağı muhakkaktır. Hasta konforunun sağlanması, restorasyonda plak birikimi, boyanma ve ikincil çürüklerin önlenmesi için restorasyonlar mutlaka diş dokularına yakın pürüzsüzlüğe sahip olmalıdır. Ağız içerisinde kullanılan polisaj sistemlerinin restorasyonların pürüzsüz hale getirilmesindeki etkinliği laboratuvar şartlarında çeşitli ölçüm metodlarıyla değerlendirilmekte ve elde edilen sonuçlar klinik kullanıma yol göstermektedir (44,45).

AFM ile yüzeyin üç boyutlu analizi yapılabilirken SEM ve profilometre ile yapılan ölçümlerde sadece kantitatif sonuçlar elde edilebilir. AFM ve SEM ile yüzeyin görsel özellikleri incelenebilirken profilometre ile böyle bir inceleme yapılamaz. Mekanik profilometreler ile yüzey 20-50µm çözünürlük ile taranırken AFM ve SEM ile daha detaylı ölçüm yapma olanağı vardır (46).

Yüksek çözünürlüklü AFM görüntüleri daha gerçekçi yüzey pürüzlülüğü sonuçları elde edilmesine olanak sağlar. Diş hekimliğinde kullanılan kompozit rezinlerin yüzeyinde bulunan çatlaklar ve poröziteler gibi mekanik ölçümü yanıltabilecek durumların AFM ile eliminasyonu sayesinde daha gerçekçi ölçümler yapılabilir (47).

AFM'nin SEM'e gör önemli bir avantajı ölçüm öncesinde kaplama, vakumlama gibi herhangi bir ön hazırlık gerektirmeden, örneğe zarar vermeden kolaylıkla ölçüm yapılabilmesidir. Kaplama yapılırken kullanılan altın, gümüş metallerin kullanılmaması ve ön işlem yapılmaması maliyeti düşürür ve ölçüm için gereken zamanı kısaltır (49,50).

Labaratuvar şartlarında kullanılan gerek mekanik, gerek optik profilometreler gerekse AFM, SEM gibi daha ileri metotlardan elde edilen verilerin analizi neticesinde klinik kullanımda hangi tip kompozit rezin için hangi tipte polisaj metot ve enstrümanlarının kullanılacağına karar verilebilir ve daha iyi sonuçların elde edilmesi öngörülebilir.

Kaynaklar

1. Yap AU, Yap SH, Teo CK, Ng JJ. Finishing/polishing of composite and compomer restoratives: effectiveness of one-step systems. *Oper Dent.* 2004;29(3):275-9.
2. Dayangaç B. Kompozit Rezin Restorasyonlar. Ankara: Güneş Kitabevi; 2000.
3. Roberson TM, Heyman HO, Swift EJ. *Sturdevant's Art & Science of Operative Dentistry.* 4th ed ed. Missouri Mosby; 2002.
4. Joniot SB, Gregoire GL, Auther AM, Roques YM. Three-dimensional optical profilometry analysis of surface states obtained after finishing sequences for three composite resins. *Oper Dent.* 2000;25(4):311-5.
5. Reis AF, Giannini M, Lovadino JR, dos Santos Dias CT. The effect of six polishing systems on the surface roughness of two packable resin-based composites. *Am J Dent.* 2002;15(3):193-7.
6. Ryba TM, Dunn WJ, Murchison DF. Surface roughness of various packable composites. *Oper Dent.* 2002;27(3):243-7.
7. Weitman R, Eames W. Plaque accumulation on composite surfaces after various finishing procedures. *J Am Dent Assoc.* 1975;91:101-6.
8. Jones CS, Billington RW, Pearson GJ. The in vivo perception of roughness of restorations. *British dental journal.* 2004;196(1):42-5; discussion 31.
9. Strassler HE, Bauman G. Current concepts in polishing composite resins. *Pract Periodontics Aesthet Dent.* 1993;5(3 Suppl 1):12-7.
10. Chung KH. Effects of finishing and polishing procedures on the surface texture of resin composites. *Dent Mater.* 1994;10:325-30.
11. Reis A, Leite TM, Matte K, et al. Improving clinical retention of one-step self-etching adhesive systems with an additional hydrophobic adhesive layer. *Journal of the American Dental Association (1939).* 2009;140(7):877-85.
12. Krejci I, Lutz F, Boretti R. Resin composite polishing--filling the gaps. *Quintessence international (Berlin, Germany :* 1985). 1999;30(7):490-5.
13. Uctasli MB, Arisu HD, Omurlu H, et al. The effect of different finishing and polishing systems on the surface roughness of different composite restorative materials. *J Contemp Dent Pract.* 2007;8:89-96.
14. Yap AU, Wu SS, Chelvan S, Tan ES. Effect of hygiene maintenance procedures on surface roughness of composite restoratives. *Oper Dent.* 2005;30(1):99-104.
15. Ozgunaltay G, Yazici AR, Gorucu J. Effect of finishing and polishing procedures on the surface roughness of new tooth-coloured restoratives. *J Oral Rehabil.* 2003;30:218-24.
16. Mandikos MN, McGivney GP, Davis E, et al. A comparison of the wear resistance and hardness of indirect composite resins. *J Prosthet Dent.* 2001;85:386-95.
17. Willems G, Lambrechts P, Braem M, et al. The surface roughness of enamel-to-enamel contact areas compared with the intrinsic roughness of dental resin composites. *J Dent Res.* 1991;70:1299-305.
18. Bayne SC, Y. TJ, Taylor DF. *Dental Materials.* In: Roberson TM, Heymann HO, Swift EJ, editors. *Sturdevant's Art and Science of Operative Dentistry.* Fourth Edition ed. Missouri: Mosby Inc; 2002. p. 134-233.

19. Jung M. Surface roughness and cutting efficiency of composite finishing instruments. *Oper Dent.* 1997;22:98-104.
20. Jefferies SR. Abrasive finishing and polishing in restorative dentistry: a state-of-the-art review. *Dent Clin North Am.* 2007;51:379-97.
21. O'Brien WJ. Abrasion, Polishing and Bleaching. In: W.J OB, editor. *Dental Materials and Their Selection.* Canada: Quintessence Books; 2002. p. 156-64.
22. Jefferies SR. The art and science of abrasive finishing and polishing in restorative dentistry. *Dent Clin North Am.* 1998;42:613-27.
23. Paravina RD, Powers JM. *Esthetic Color Training in Dentistry.* First Ed. ed. China: Elsevier-Mosby; 2004.
24. Turkun LS, Turkun M. The effect of one-step polishing system on the surface roughness of three esthetic resin composite materials. *Oper Dent.* 2004;29:203-11.
25. Borges AB, Marsilio AL, Pagani C, Rodrigues JR. Surface roughness of packable composite resins polished with various systems. *J Esthet Restor Dent.* 2004;16:42-7; discussion 8.
26. Weitman RT, Eames WB. Plaque accumulation on composite surfaces after various finishing procedures. *J Am Dent Assoc.* 1975;91:101-6.
27. Chan KC, Fuller JL, Hormati AA. The ability of foods to stain two composite resins. *J Prosthet Dent.* 1980;43:542-5.
28. Fruits TJ, Miranda FJ, Coury TL. Effects of equivalent abrasive grit sizes utilizing differing polishing motions on selected restorative materials. *Quintessence Int.* 1996;27:279-85.
29. Bollen CM, Lambrechts P, Quirynen M. Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. *Dent Mater.* 1997;13:258-69.
30. Neme AL, Frazier KB, Roeder LB, Debner TL. Effect of prophylactic polishing protocols on the surface roughness of esthetic restorative materials. *Oper Dent.* 2002;27:50-8.
31. de Jager N, Feilzer AJ, Davidson CL. The influence of surface roughness on porcelain strength. *Dent Mater.* 2000;16:381-8.
32. Drummond JL, Jung H, Savers EE, et al. Surface roughness of polished amalgams. *Oper Dent.* 1992;17:129-34.
33. Chung KH. Effects of finishing and polishing procedures on the surface texture of resin composites. *Dent Mater.* 1994;10(5):325-30. Epub 1994/09/01.
34. Kakaboura A, Fragouli M, Rahiotis C, Silikas N. Evaluation of surface characteristics of dental composites using profilometry, scanning electron, atomic force microscopy and gloss-meter. *Journal of Material Science:Materials in Medicine.* 2007;18:155-63.
35. Joniot S, Salomon JP, Dejoux J, Gregoire G. Use of two surface analyzers to evaluate the surface roughness of four esthetic restorative materials after polishing. *Oper Dent.* 2006;31:39-46.
36. Heintze SD, Forjanic M, Rousson V. Surface roughness and gloss of dental materials as a function of force and polishing time in vitro. *Dent Mater.* 2006;22:146-65.
37. İnan H, Tamam E, Bağış B. Tam Protezlerde kullanılan farklı kaide materyallerinin yüzey pürüzlülüğü yönünden in vitro incelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Dis Hekimliği Fakültesi Dergisi.* 2008;17:171-6.
38. Junqueira LC. Study Designs. In: Junqueira LC, Carneiro J., Kelly, R. O., editor. *Basic Histology.* Seventh Edition ed. Lange: Appleton& Lange; 1992. p. 1-17.
39. Bassani R, Solaro R, Alderighi M, et al., editors. *Nanoindentation with AFM.* International Conference on Tribology; 2006; Parma, Italy.
40. Gadegaard N. Atomic force microscopy in biology: technology and techniques. *Biotech Histochem.* 2006;81:87-97.
41. Jandt KD. Atomic force microscopy of biometarials surfaces and interfaces. *Surface Science.* 2001;491:303-32.
42. Coşkun A. Nano-Dünyanın Elektronik Gözlüğü Elektron Mikroskobu. *Bilim ve Teknik Dergisi.* 2010; 2010 Mayıs.
43. Silikas N, Watts DC, England KE, Jandt KD. Surface fine structure of treated dentine investigated with tapping mode atomic force microscopy (TMAFM). *J Dent.* 1999;27:137-44.
44. Cazzaniga G, Ottobelli m, Ionescu A, Garcia-Godoy F, Brambilla E. Surface properties of resin-based composite materials and biofilm formation: A review of the current literature. *Am J Dent.* 2015 Dec;28(6):311-20
45. Kamonkhantikul K, Arksornnukit M, Lauvahutanon S, Takahashi H. Toothbrushing alters the surface roughness and gloss of composite resin CAD/CAM blocks. *Dent Mater J.* 2016;35(2):225-32. doi: 10.4012/dmj.2015-228.
46. Marcos Aurélio Bomfim da Silva, Aline Barbirato Fardin, Renata Carvalho Cabral de Vasconcelos, et al. Analysis of Roughness and Surface Hardness of a Dental Composite Using Atomic Force Microscopy and Microhardness Testing *Microsc. Microanal.* 17, 446-451, 2011 doi:10.1017/S1431927611000250
47. Ana Carolina Botta, Sillas Duarte, Jr., 2, Pedro Iris Paulin Filho, and Simoni Maria Gheno Effect of Dental Finishing Instruments on the Surface Roughness of Composite Resins as Elucidated by Atomic Force Microscopy *Microsc. Microanal.* 14, 380-386, 2008 doi:10.1017/S1431927608080768
48. Nair VS, Sainudeen S, Padmanabhan P, Vijayashankar LV, Sujathan U, Pillai R. Three-dimensional evaluation of surface roughness of resin composites after finishing and polishing. *J Conserv Dent.* 2016 Jan-Feb;19(1):91-5. doi: 10.4103/0972-0707.173208.
49. Kumari CM, Bhat KM, Bansal R. Evaluation of surface roughness of different restorative composites after polishing using atomic force microscopy. *J Conserv Dent.* 2016 Jan-Feb;19(1):56-62. doi: 10.4103/0972-0707.173200.
50. <http://www.unl.edu/CMRACfem/temoptic.htm>.