

Effects of Different Sintering Protocols on Color Stability of Monolithic Zirconia**Farklı Sinterleme Protokolleri Uygulanmasının Monolitik Zirkonyanın Renk Stabilitesine Etkisinin İncelenmesi**

Dilara DOĞAY,* Duygu SARAÇ*

ÖZET

Amaç: Çalışmanın amacı farklı sinterleme protokolü uygulanmasının, bünyesinde farklı zirkonya tiplerini içeren çok katmanlı monolitik zirkonya restorasyonların renk stabilitesine etkisinin incelenmesidir.

Materyal ve Metod: Çalışmamızda kullanılan örnekler presinterize A2 renkli çok katmanlı monolitik zirkonya bloktan (IPS e.max ZirCAD Prime, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn) CAD/CAM teknolojisi kullanılarak üretilmiştir. Örnekler üç gruba ayrılarak (n=15) üretici talimatlarına uygun olacak şekilde standart, hızlı ve yüksek hızlı olmak üzere üç farklı protokolda sinterlenmiştir (Programat S2, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn). Sinterlenme işlemi tamamlanan örnekler yüzey bitim işlemi olarak glaze uygulaması yapılmıştır. Örneklerin ve VITA Classical renk skalasında (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya) yer alan A2 renginin spektrofotometre (SpektoShade, MHT Optic Research, Niederhasli, İsviçre) ile renk ölçümleri yapılarak L, a, b değerleri saptanmıştır. L₁, a₁, b₁ değerleri sabit olup renk skalasındaki A2 rengini, L₂, a₂, b₂ değerleri ise sırasıyla standart, hızlı ve yüksek hızlı sinterleme protokollerini temsil etmek koşuluyla CIEDE2000 sistemine göre her grubun ΔE₀₀ değerleri hesaplanmıştır. Çalışmanın istatistiksel analizi Tek Yönlü Varyans Analizi ile, çoklu karşılaştırmalar Tukey HSD Testi ile yapılmıştır (Önem düzeyi p<0,05 olarak alınmıştır).

Bulgular: ΔE₀₀'nin algılanabilir sınırı ΔE₀₀≤1.30 ve kabul edilebilirlik sınırı ΔE₀₀>2,25 olarak belirlendiğinde farklı sinterleme protokollerine göre oluşturulmuş tüm grupların renk skalası ile karşılaştırıldığında klinik olarak anlamlı bir renk farklılığı oluşturduğu tespit edilmiştir. En düşük ΔE₀₀ değeri standart sinterleme protokolü uygulanan grupta görülürken (ΔE₀₀=5,77) (p<0,001), en yüksek ΔE₀₀ değeri hızlı sinterleme protokolü uygulanan grupta görülmüştür (ΔE₀₀=7,54) (p<0,001). Bununla birlikte tüm gruplar için L₂, a₂, b₂ değerlerinde sinterleme protokolündeki değişikliğe bağlı olarak fark bulunmuştur.

Sonuç: Sinterleme sıcaklığı ve bekleme sürelerindeki artış, zirkonyanın tanecik yapısı ve faz dönüşümlerini ve dolayısıyla materyalin ışık saçılması, ışık iletimi gibi optik özelliklerini etkilediğinden, süre sıkıntısı olmadığı durumlarda standart protokol uygulaması, süre kısıtlılığı olan vakalarda ise hızlı protokole oranla yüksek hızlı sinterleme protokolünün tercih edilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hızlı sinterleme, Monolitik zirkonya, Renk değişimi

ABSTRACT

Aim: The aim of the study is to examine the effects of applying different sintering protocols on the color stability of multilayer monolithic zirconia restorations containing different zirconia types.

Material and Method: The samples used in our study were produced from pressinterized A2 colored multilayer monolithic zirconia block(IPS e.max ZirCAD Prime,Ivoclar Vivadent,Schaan,Liechtenstein) using CAD/CAM technology. The samples were divided into three groups(n=15) and sintered in three different protocols as standard, speed and high speed (Programat S2, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) in accordance with the manufacturer's instructions. Glaze as a surface finishing process was applied to samples. L, a, b values were determined by measuring the color of the samples and the color A2 in VITA Classical color scale (VITA Zahnfabrik,Bad Säckingen,Germany) with a spectrophotometer (SpektoShade, MHT Optic Research,Niederhasli,Switzerland). L₁, a₁, b₁ values are fixed and the color A2 in the color scale, L₂, a₂, ΔE₀₀ values of each group were calculated according to the CIEDE2000 system, provided that b2 values represent standard, speed and high speed sintering protocols, respectively. Statistical analysis of the study was made with One-Way Analysis of Variance and multiple comparisons were made with Tukey HSD Test (significance level was taken as p<0,05).

Results: When the detectable limit of ΔE₀₀ was determined as ΔE₀₀≤1.30 and the acceptability limit as ΔE₀₀>2.25, it was determined that all groups formed according to different sintering protocols created a clinically significant color difference when compared with the color scale. While the lowest ΔE₀₀ value was observed in the group in which the standard sintering protocol was applied (ΔE₀₀=5.77) (p<0,001), the highest ΔE₀₀ value was observed in the group in which the speed sintering protocol was applied(ΔE₀₀=7.54) (p<0,001). However, there was a difference in L₂, a₂, b₂ values for all groups depending on the change in the sintering protocol.

Conclusion: Since increase in sintering temperature and waiting times affects grain structure and phase transformations of Zirconia and therefore optical properties of the material such as light scattering and light transmission, it is recommended to use the standard protocol in cases where time is limitless, and to prefer high-speed sintering protocol over speed protocol in cases with time limitations.

Keywords: Speed sintering, Monolithic zirconia, Color difference

* Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Ana Bilim Dalı Samsun, Türkiye

Giriş

Son yıllarda, diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan zirkonya alt yapılı seramik restorasyonlarda karşılaşılan alt ve üst yapı bağlantı başarısızlıkları nedeni ile özellikle posterior bölgede monolitik zirkonya restorasyonlara talep artmıştır.^{1,2} Geleneksel yitrium ile stabilize edilmiş tetragonal zirkonya polisakkaritlerinin (Y-TZP) mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştirilmesiyle monolitik zirkonyaların kullanımı yaygınlaşmıştır.^{3,4} Monolitik zirkonyaların estetik bölgede kullanımına izin vermek için yarı saydamlık özellikleri geliştirilmektedir. Işık geçirgenliğinde daha iyi sonuçlar elde etmek amacıyla yitrium oksit (Y_2O_3) içeriği %5 ve %4 mol, alüminyum oksit (Al_2O_3) içeriği ağırlıkça %0,05 olan parsiyel stabilize zirkonyalar (PSZ) üretilmiş, 3. ve 4. nesil Y-TZP' ler (4-5 Y-PSZ) olarak tanıtılmıştır. Materyalin kübik faz oranı %50-80 oranına artırıldığı için ışık geçirgenlik özelliğinde artış gözlenmiştir.^{5,6}

Monolitik zirkonya bloklar monokrom ya da multilayered (çok katmanlı) olarak üretilmektedirler. Monokrom bloklar tek bir renkten oluşurken, çok katmanlı bloklar farklı renkler içeren tabakalardan oluşur.⁶ Çok katmanlı monolitik zirkonyalar, tüm klinik uygulamalar için kullanılmayı amaçlayan bir materyal olarak üç farklı nesil zirkonya (3, 4 ve 5 Y-TZP) ile piyasaya sunulmuştur.⁷

Çok katmanlı monolitik zirkonya bloklarda yalnızca pigmentasyon kullanarak doğal dişlerin renk geçişi taklit edilir. Her tabakada aynı nesil zirkonya kullanılır ve böylece mine ve dentin katmanları arasında bükülme dayanımında herhangi bir farklılık gözlenmez.⁷ Farklı renk tabakaları içeren çok katmanlı monolitik zirkonyaların dışında, farklı zirkonya tiplerinin iyi özelliklerini birleştiren, tabakaları arasında değişken dayanıklılığa sahip monolitik zirkonya materyalleri geliştirilmiştir.⁸ Farklı zirkonya tiplerinin birleşiminden oluşan materyal, dentin bölgesinde yüksek bükülme

dayanımına sahip olan 3 Y-TZP ya da 4 Y-TZP, kesici ve oklüzal bölgede ise daha yüksek yarı saydamlığa sahip olan 5 Y-TZP' den oluşur. Bu güncel zirkonya blokları diş hekimleri tarafından sabit protetik tedavi seçeneği olarak sıklıkla tercih edilse, materyalin fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında yeterli bilimsel çalışma bulunmamaktadır.^{8,9}

Geleneksel zirkonya restorasyonların üretimi aşamasında uzun sinterleme süreleri gerekmesi, son zamanlarda hastalar tarafından tercih edilen tek randevulu tedavilerin kullanımını zorlaştırmaktadır.⁹ Bu amaçla üretici firmalar tarafından daha kısa sürelerde sinterlemeye izin veren, özel fırınlar kullanılarak gerçekleştirilen hızlı ve yüksek hızlı sinterleme protokolleri önerilmiştir.¹⁰

Klinik olarak renk tespiti için optik özelliklerinin bütünü ile ilgilidir. Günümüz diş hekimliğinde renk seçimi için görsel renk tespiti ve aletsel renk tespiti olmak üzere iki ana yöntem vardır. Aletsel renk tespiti için dijital kameralar, kolorimetreler, spektrofotometreler ve ağız içi tarayıcılar kullanılırken görsel renk tespiti için renk skalaları kullanılır.¹¹ Renk algısı subjektif bir durum olduğu için görsel renk tespiti bazı durumlarda güven vermeyen sonuçlara yol açsa da¹² klinik olarak en ulaşılabilir renk tespit araçları renk skalalarıdır (VITA Classical A1-D4, VITA Toothguide 3D-Master; VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya).

Zirkonyanın ışık geçirgenliği ve renk gibi optik özellikleri, restorasyonun estetik özellikleriyle doğrudan ilgilidir.¹³ Farklı sinterleme protokollerinin uygulanmasıyla sıcaklığın ve bu ısıda bekleme süresinin zirkonyanın, özellikle farklı zirkonya tiplerini içeren çok katmanlı monolitik zirkonyanın renk, ışık geçirgenliği ve bükme dayanımı gibi fiziksel özellikleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir; ancak bu etkiler ile ilgili sınırlı sayıda bilgi bulunmaktadır.¹⁴

Bu bilgiler doğrultusunda, çalışmamızın

amacı farklı sinterleme protokolleri kullanımının, farklı zirkonya tiplerini içeren çok katmanlı monolitik zirkonyanın renk stabilitesine etkisini incelemektir. Çalışmamızın hipotezi, sinterleme protokolündeki değişiklikler farklı zirkonya tiplerini içeren çok katmanlı monolitik zirkonyanın renk stabilitesini etkiler, şeklinde dir.

Gereç ve Yöntem

Çalışmamızda kullanılacak 45 adet örnek, başlangıç boyutları 20x5x2 mm olacak şekilde presinterize A2 renkli çok katmanlı monolitik zirkonya bloktan (IPS e.max ZirCAD Prime, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn) üretilmek üzere CAD yazılımında (Tinkercad, Autodesk, San Rafael, CA, USA) tasarlandı. Sayısallaştırılmış veriler CAM yazılımına

(WorkNC Dental, Hexagon, Neu-Isenburg, Almanya) aktarıldı ve sonrasında frezeleme işlemi gerçekleştirildi (Redon Hybrid, Redon, İstanbul, Türkiye).

Her biri 15 adet örnek içeren, farklı sinterleme protokolleri uygulanacak üç grup oluşturuldu. Standart sinterleme protokolü Grup S, hızlı sinterleme protokolü Grup H ve yüksek hızlı sinterleme protokolü Grup YH olmak üzere belirlendi (Standart: 9 sa 50 dk - tmax 1500 °C, Hızlı: 4 sa 25 dk - tmax 1530 °C, Yüksek Hızlı: 2 sa 26 dk - tmax 1560 °C). Tablo I' de belirtilen protokollere uygun şekilde sinterleme işlemi yapıldı (Programat S2, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn). Çalışmamızda kullanılan sinterleme protokolleri, monolitik zirkonyanın üretici firması tarafından önerilen protokoller oldukları için tercih edildi.

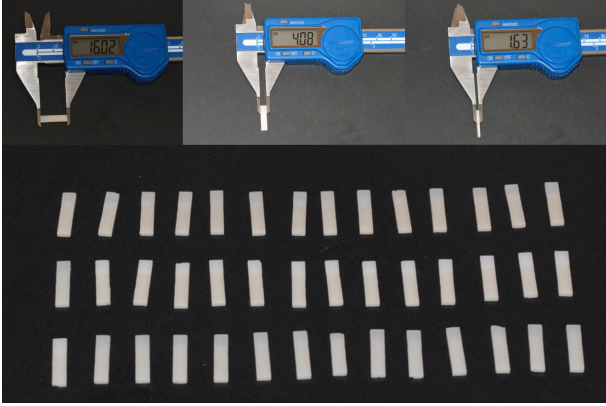
Tablo I. Üreticinin önerdiği sinterleme protokolleri (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lihtenştayn).

Standart	Sıcaklık 1 (°C)	Sıcaklık 2 (°C)	Sıcaklık Artış Oranı (°C/dk)	Bekleme Süresi (dk)
Heating phase	20	900	10	-
Holding phase	900	900	-	30
Heating phase	900	1500	3.3	-
Holding phase	1500	1500	-	120
Cooling phase	1500	900	10	-
Cooling phase	900	300	8.3	-

Hızlı	Sıcaklık 1 (°C)	Sıcaklık 2 (°C)	Sıcaklık Artış Oranı (°C/dk)	Bekleme Süresi (dk)
Heating phase	20	1000	60	-
Holding phase	1000	1000	-	10
Heating phase	1000	1530	3	-
Holding phase	1530	1530	-	60
Cooling phase	1530	1100	50	-
Cooling phase	1100	100	60	-

Yüksek Hızlı	Sıcaklık 1 (°C)	Sıcaklık 2 (°C)	Sıcaklık Artış Oranı (°C/dk)	Bekleme Süresi (dk)
Heating phase	20	950	90	0
Holding phase	950	950	-	0
Heating phase	950	1300	10	0
Holding phase	1300	1300	-	0
Heating phase	1300	1530	3	0
Holding phase	1530	1530	-	0
Cooling phase	1530	1100	50	0
Cooling phase	1100	300	50	0

Sinterleme işlemi sonrası final boyutları 16x4x1,6 mm olan örnekler elde edildi (Şekil 1). Sinterleme işlemi tamamlanan örneklere yüzey bitim işlemi olarak glaze (GC Initial Spectrum Stain Set, GC Europe) uygulaması yapıldı. Örnekler renk ölçümünden önce 24 saat distile suda bekletildi.



Şekil 1. Sinterleme sonrası örneklerin boyutları ve tüm grupların örnekleri

Örneklerin renginin karşılaştırılması için VITA Classical renk skalasında (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Almanya) yer alan A2 rengi kullanıldı. Örnekler ve renk skalası (A2) için renk ölçümleri yapılacak spektrofotometreye (SpektoShade, MHT Optic Research, Niederhasli, İsviçre) uygun, ayrı ayrı şablonlar hazırlandı (Şekil 2, Şekil 3).



Şekil 2. Renk ölçümleri için hazırlanan şablonlar



Şekil 3. Renk ölçümünde kullanılacak spektrofotometre cihazı (SpektoShade, MHT Optic Research, Niederhasli, İsviçre)

Renk ölçümü sonrası L, a, b değerleri saptandı. L_1 , a_1 , b_1 değerleri sabit olup renk skalasındaki A2 rengini, L_2 , a_2 , b_2 değerleri ise sırasıyla standart, hızlı ve yüksek hızlı sinterleme protokollerini temsil etmek koşuluyla CIEDE 2000 sistemine göre her grubun ΔE_{00} değerleri hesaplandı (Şekil 4).

Şekil 4. CIEDE 2000 renk formülü (ΔE_{00})¹⁵

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2} + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)$$

CIEDE2000 sistemine göre $\Delta L'$, $\Delta C'$, $\Delta H'$ sırasıyla numunelerin işlem öncesi ve sonrası parlaklık, doygunluk ve ton ölçümleri arasındaki farkı; RT (rotasyon fonksiyonu) ise mavi alandaki doygunluk ve ton farkı arasındaki etkileşimi gösterir. S_L , S_C , S_H ; total renk farklılığını L^* , a^* , b^* koordinatlarındaki renk farkı çiftlerinin yerindeki değişiklikler açısından düzenler. K_L , K_C , K_H ise deneysel koşullara ait parametrik faktörlerdir ve çalışmamızda bu değerler "1" olarak kabul edildi.¹⁵

İstatiksel analiz için elde edilen veriler IBM SPSS V23 ile analiz edildi. Normal dağılıma uygunluk Shapiro-Wilk Testi ile incelendi. Gruplara göre normal dağılan parametrelerin karşılaştırılmasında Tek Yönlü Varyans Analizi kullanıldı ve çoklu karşılaştırmalar Tukey HSD Testi ile yapıldı. Gruplara göre normal dağılmayan parametrelerin karşılaştırılmasında Kruskal Wallis Testi kullanıldı ve çoklu karşılaştırmalar Dunn Testi ile yapıldı. Önem düzeyi $p < 0,05$ olarak belirlendi. Analiz sonuçları ortalama \pm standart sapma ve ortanca (minimum – maksimum) Tablo II'de görülmektedir.

Tablo II. Grupların ortalama ΔE_{00} değerleri ve Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları.

Gruplar	Ortalama \pm ss	Max.	Min.	F
S	5,77 \pm 0,15 _a	6,15	5,56	
H	7,54 \pm 0,17 _b	7,79	7,21	530,196
YH	7,18 \pm 0,13 _c	7,36	6,94	

Aynı harfe sahip gruplar arasında bir fark yoktur.

Bulgular

Farklı sinterleme protokollerinin çok katmanlı monolitik zirkonyanın rengine etkisini inceleyen çalışmamızda, grupların ortalama, maximum ve minimum ΔE_{00} değerleri ve istatistiksel sonuçları Tablo II' de görülmektedir. Gruplara göre ΔE_{00} ortalama değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulundu ($p < 0,001$). En yüksek renk farklılığı 7,18 ile yüksek hızlı sinterleme grubunda elde edilirken en düşük renk farklılığı 5,77 ile standart sinterleme grubunda elde edilmiştir.

Gruplara göre L_2 ortalama değerleri ve istatistiksel analiz sonuçları Tablo III' de görülmektedir. Gruplar arasında ortalama L_2 değerleri arasında anlamlı fark bulundu ($p < 0,001$). Standart sinterleme protokolü ile en düşük L_2 değeri (80,04) saptanırken, hızlı sinterleme protokolünde en yüksek L_2 değeri (82,51) elde edildi (Tablo III).

Tablo III. Grupların ortalama L_2 değerleri ve Tek Yönlü Varyans Analizi sonuçları.

Gruplar	Ortalama \pm ss	Max.	Min.	F
S	80,04 \pm 0,22 ^a	80,6	79,7	
H	82,51 \pm 0,25 ^b	82,9	82	498,357
YH	81,62 \pm 0,15 ^c	81,8	81,3	

Aynı harfe sahip gruplar arasında bir fark yoktur.

Gruplara göre a_2 ortalama değerleri incelendiğinde yine gruplar arasında istatistiksel fark bulundu ($p < 0,001$). En yüksek a_2 değeri Grup S' de (-0,5) tespit edilirken, Grup S'yi, -1'le Grup H ve -1,4 ile Grup YH takip etmektedir (Tablo IV).

Tablo IV. Grupların ortalama a_2 değerleri ve Kruskal Wallis Testi sonuçları.

Gruplar	Ortanca	Max.	Min.	χ^2
S	-0,5 ^a	-0,7	-0,3	
H	-1 ^b	-1,1	-0,8	
YH	-1,4 ^c	-1,4	-1,2	37,005

a-c: Aynı harfe sahip gruplar arasında bir fark yoktur.

Grupların b_2 değerleri incelendiğinde tüm gruplar arasında istatistiksel fark olduğu

bulundu ($p < 0,001$). En yüksek b_2 değeri standart sinterleme protokolü uygulanan grupta (17,05) elde edilirken, en düşük b_2 değeri (13,55) yüksek hızlı protokol ile elde edildi. (Tablo V)

Tablo V. Grupların ortalama b_2 değerleri ve Kruskal Wallis Testi sonuçları.

Gruplar	Ortanca	Max.	Min.	χ^2
S	17,05 ^a	17,3	16,2	
H	14,8 ^b	15,2	14,3	
YH	13,55 ^c	14,2	13,1	36,584

Aynı harfe sahip gruplar arasında bir fark yoktur.

Tartışma

Farklı zirkonya tiplerini içeren çok katmanlı monolitik zirkonya restorasyonların üretiminde farklı sinterleme protokolü kullanımının renk stabilitesine etkisini araştıran çalışmamızın sonuçları doğrultusunda, sinterleme protokolündeki değişiklikler farklı zirkonya tiplerini içeren çok katmanlı monolitik zirkonyanın renk stabilitesini etkiler, hipotezimiz kabul edilmiştir.

Monolitik zirkonya restorasyonların rutin olarak kullanılabilmesi için mekanik özelliklerinin yanı sıra ışık geçirgenliği ve renk stabilitesi gibi estetik özelliklerini de koruması oldukça önemlidir.^{6,15} Hem estetik hem mekanik özellikleri geliştirilmiş, tabakaları arasında değişken dayanıklılığa sahip olan çok katmanlı monolitik zirkonya materyallerinin klinik olarak kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.⁸ Aynı zamanda tek randevulu hasta başı klinik uygulamalara da izin veren materyal, yeni geliştirilen hızlandırılmış sinterleme protokollerine de dikkat çekmektedir.^{16,17}

Tek randevulu hasta başı monolitik zirkonya restorasyonların yapımına olan talebin artması, üretim aşamalarında oldukça zaman alan sinterleme süresinin azaltılmasını bir ihtiyaç haline getirmiştir. Bu amaçla geliştirilen hızlı ve yüksek hızlı sinterleme protokollerinde özel fırınlar kullanılarak sinterleme süreleri oldukça kısaltılmış ve zirkonya, tek randevulu hasta başı restorasyonlar için uygun hale getirilmiştir. Hızlı ve yüksek hızlı protokoller, daha iyi yarı

saydamlık için materyal yapısındaki tanecik büyümesini önlemenin yanı sıra, CAD/CAM sistemleriyle üretilen tek randevulu hasta başı restorasyonlara yönelik zaman ve uygun maliyetli talebi karşılamak üzere geliştirilmiştir. Üreticilerin kullanıma sunduğu bu güncel sinterleme protokollerinin, yeni çok katmanlı monolitik zirkonyanın estetik ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri hala araştırılmaktadır. Bu çalışmada da farklı zirkonya tipleri içeren çok katmanlı monolitik zirkonya materyaline farklı sinterleme protokolleri uygulanmıştır.

Sinterleme protokollerindeki farklılıklar zirkonyanın mikro yapısını doğrudan etkilediği için yarı saydamlık ve bükülme dayanımı gibi fiziksel ve mekanik özelliklerini de doğrudan etkiler.¹⁸ Bu etkinin önemi üreticiler tarafından hızlandırılmış sinterleme protokollerinin tanıtılması ile daha da artmıştır.¹⁶ Sinterleme süresi ve sıcaklığındaki değişikliklerin zirkonyanın yarı saydamlığı, tanecik boyutu ve bükülme dayanımı üzerindeki etkileri araştırmacılar tarafından incelenmiştir, ancak bu değişikliklerin materyal üzerindeki etkileri hala tartışılmaktadır.¹⁴

Diş hekimliğinde renk ölçümü görsel ve aletsel olarak yapılmaktadır.¹¹ Aletsel yöntemler görsel yöntemlerle kıyaslandığında daha yüksek doğruluk ve hassasiyete sahiptir. Dental spektrofotometreler teknolojik olarak gelişmeye ihtiyaç duysa da farklı renk ölçüm yöntemleri arasında en yüksek genel doğruluk ve hassasiyeti sağlar.¹¹ Çalışmamızda renk ölçümleri spektrofotometre (SpektoShade, MHT Optic Research, Niederhasli, İsviçre) ile yapılmış, renk farklılıkları CIEDE 2000 formülasyonu ile hesaplanmıştır. Yapılan araştırmalarda CIEDE 2000 formülasyonun renk farklılıklarını değerlendirmede daha uygun olduğu bildirilmiş¹⁵ ve diğer formüllere kıyasla diş hekimliğinde görsel verilerle daha tutarlı olduğu belirtilmiştir.¹⁹

Çalışmamızda tüm gruplarda elde edilen ΔE_{00}

değerleri klinik olarak kabul edilemez düzeyde tespit edilmiştir. Standart sinterleme protokolü uygulandığında zirkonyanın nihai rengi renk skalasına en yakın sonucu verirken, yüksek hızlı sinterleme protokolü uygulanan grupta elde edilen nihai renk hızlı sinterleme protokolü uygulanan gruba kıyasla renk skalasına daha yakın bir sonuç vermiştir. Parlaklık değeri Grup S' te en düşük bulunurken, Grup H' de en yüksek bulunmuştur ($p < 0,05$). Grupların a_2 değerinde sinterleme protokolü hızlandıkça azalma tespit edilmiş, sinterleme hızının artıp bekleme süresinin en az olduğu Grup YH için renk özelliğinin yeşile doğru arttığı tespit edilmiştir. Sinterleme protokolünün hızlanmasıyla b_2 değerinde de azalma olmuş, zirkonya örneklerin renk özelliği maviye doğru artmıştır.

Araştırmacılar artan sinterleme sıcaklıkları sonucu artan tanecik boyutu ile ilişkili olarak yarı saydamlık değerlerinde artış bildirirse de^{20,21} Kim ve arkadaşları²² yaptıkları bir çalışmada sinterleme süresindeki azalmaya bağlı olarak hem tanecik boyutunda hem de yarı saydamlıkta azalma rapor etmiştir.²² Zhang²³ bir çalışmada tetragonal zirkonyada meydana gelen ancak kübik zirkonyada karşılaşılmayan çift kırılma durumunun, tanecik sınırlarında kırılma indeksi değişikliklerine yol açtığı için 4Y-TZP, 5 Y-TZP gibi kübik faz içeren zirkonyalarda oluşan saçılma etkisinin daha az olmasına ve daha yüksek yarı saydamlık göstermesine sebep olduğunu belirtmiştir.²³ Kılınç ve arkadaşlarının²⁴ yaptığı bir çalışmada sinterleme bekleme süresindeki artışın monolitik zirkonyanın translüsensi değerini olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir.²⁴

Ebeid ve arkadaşları²⁵ yaptıkları bir çalışmada sinterlenme sıcaklıkları 1460 °C, 1530 °C ve 1600 °C olmak üzere üç grup belirlemiş ve bu grupları bekleme süreleri 1 saat, 2 saat ve 4 saat olmak üzere üç alt gruba ayırmıştır. Çalışmada sinterleme sıcaklığı ve bekleme süresi arttıkça ΔE değerinde 4,4'ten 2,2'ye azalma tespit

edilmiştir. Sonuçlar sinterleme sıcaklığının ve süresinin artmasının tanecikler arasındaki gözenekleri azalttığı ve zirkonyanın nihai yoğunluğunu arttırdığı, böylece daha az ışık saçılması ve daha fazla ışık iletimi sağlayarak daha iyi optik özellikler sağladığı şeklinde yorumlanmıştır.²⁵ Bu çalışmada da Grup H' deki zirkonya örneklerin parlaklık değerinin, Grup YH'ye göre daha yüksek çıkmasının sebebi hızlı sinterleme protokolündeki bekleme süresinin yüksek hızlı sinterlemeye göre daha uzun olması sonucu ile ilişkilendirilmiştir.

Grupların renk skalası ile karşılaştırıldığında elde edilen renk farklılığı (ΔE_{00}) en düşük sinterleme sıcaklığı ve en uzun bekleme süresi olan standart sinterleme protokolünde en az bulunurken, yüksek hızlı sinterleme protokolüne göre daha düşük sinterleme sıcaklığına sahip ancak bekleme süresi daha uzun olan hızlı sinterleme protokolü uygulanan grupta renk farklılığı en yüksek bulunmuştur. Bu da sıcaklık artışı ile artan bekleme süresinin renk stabilitesini olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir.

Sinterleme protokollerinin renk stabilitesine etkisi ile ilgili yapılan çalışmalarda üretici firmaların önerdikleri protokoller yerine sinterleme ısısının ve bekleme süresinin değiştirilmesiyle uygulanan sinterleme yöntemleri kullanılmıştır. Sinterleme işleminin bu şekilde uygulanmasının zirkonyanın renk özelliği üzerinde farklı etkiler oluşturduğu görülmüştür.²⁴⁻²⁷ Fakat uygulanan sinterleme koşullarının firmaların önerdiği ya da literatürde kabul gören bir protokol olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle çalışmamızla direkt bir karşılaştırma yapılamamıştır.

Ghinea ve arkadaşlarının¹⁵ dental seramiklerde algılanabilirlik ve kabul edilebilirlik eşik değerlerini belirlemek için CIEDE 2000 ve CIE L*a*b* renk farkı formüllerini karşılaştırdıkları çalışmada, CIEDE 2000 renk farkı formülünü kullanarak hesaplanan tüm ΔE_{00} değerlerinin, önceki

çalışmalarla uyumlu bir şekilde CIE L*a*b* renk farkı formülü ile elde edilen değerlerin %70' ine karşılık geldiği belirtilmiştir.^{15,28,29} CIE L*a*b* renk farkı formülünde 3,46' ya karşılık gelen kabul edilebilir ΔE değeri, CIEDE2000 renk farkı formülünde $\Delta E_{00}=2.25$ değerine eşdeğer; CIE L*a*b* renk farkı formülünde 1,80' e karşılık gelen gözle algılanabilir ΔE değeri, CIEDE2000 renk farkı formülünde $\Delta E_{00}=1,30$ değerine eşdeğer bulunmuştur.¹⁵ Bizim çalışmamızda, Ghinea ve arkadaşlarının¹⁵ çalışması referans alınarak ΔE_{00} ' nin algılanabilir eşik değeri 1,30 olarak belirlendi ve $\Delta E_{00} \leq 1.30$ olduğunda gözle algılanabilir renk değişimi olarak kabul edildi. ΔE_{00} için kabul edilebilir eşik değeri ise 2,25 olarak belirlendi ve $\Delta E_{00} > 2,25$ değerleri, klinik olarak kabul edilemez renk değişimleri olarak kabul edildi.

Elde edilen değerler incelendiğinde tüm sinterleme protokollerinde klinik olarak kabul edilemez sınırlar içerisinde bir renk farklılığı gözlenmiştir. Bu sonuç kullanılan skalanın, monolitik zirkonya materyalinin kendi firmasına ait skala olmaması, klinisyenler tarafından kolay ulaşılabilen ve sıklıkla tercih edilen Vita Classical renk skalasının kullanımı ile ilişkilendirilebilir. Her klinikte tüm materyal firmalarına ait renk skalalarının olamayacağı düşünülerek, diş hekimleri ve teknisyenler tarafından rahatlıkla bulunabilen Vita Classical renk skalasının kullanımı tercih edilmiştir. Ancak materyalin firmasına ait skala kullanımının çalışmanın sonucunu etkileyebileceği düşünülmektedir.

Sonuç

Çalışmamızın sınırları dahilinde;

1. Farklı sinterleme protokolleri çok katmanlı monolitik zirkonyanın renk farklılığı üzerinde etkili bulundu ($p < 0,001$).

2. Üç farklı sinterleme protokolü arasında renk farklılığı açısından anlamlı fark bulundu ($p < 0,001$).

3. Yüksek hızlı protokol, hızlı protokole oranla daha az renk farklılığı oluşturdu ($p < 0,001$).

4. Çalışmanın sonuçları süre kısıtlılığı olmayan durumlarda standart sinterleme protokolünün, süre kısıtlılığı olan durumlarda ise yüksek hızlı sinterleme protokolünün kullanılmasının daha uygun olacağını gösterdi.

Bu çalışma PYO.DIS.1904.22.005 proje numarası ile Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

1. Guess PC, Schultheis S, Bonfante EA, Coelho PG, Ferencz JL, Silva NRFA. All-ceramic systems: Laboratory and clinical performance. *Dent Clin North Am.* 2011;55(2):333-352.
2. Mesbahi EL, Moussaoui H, Bennani A 4. The Use of Monolithic Zirconia Restorations for Patients with Bruxism. *Int J Med Sci and Dent Res.* 2021;4(6):7-12.
3. Hatanaka GR, Polli GS, Adabo GL. The mechanical behavior of high-translucent monolithic zirconia after adjustment and finishing procedures and artificial aging. *J Prosthet Dent.* 2020;123(2):330-337.
4. Sun T, Zhou S, Lai R, et al. Load-bearing capacity and the recommended thickness of dental monolithic zirconia single crowns. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2014; 35:93-101.
5. Camposilvan E, Leone R, Gremillard L, et al. Aging resistance, mechanical properties and translucency of different yttria-stabilized zirconia ceramics for monolithic dental crown applications. *Dental Materials.* 2018;34(6):879-890.
6. Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lümekemann N. Three generations of zirconia: From veneered to monolithic. Part I. *Quintessence Int.* 2017;48(5):369-380.
7. Kaizer MR, Kolakarnprasert N, Rodrigues C, Chai H, Zhang Y. Probing the interfacial strength of novel multi-layer zirconias. *Dental Materials.* 2020;36(1):60-67.
8. Schönhoff LM, Lümekemann N, Buser R, Hampe R, Stawarczyk B. Fatigue resistance of monolithic strength-gradient zirconia materials. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021;119(104504):1-7.
9. Michailova M, Elsayed A, Fabel G, Edelhoff D, Zylla IM, Stawarczyk B. Comparison between novel strength-gradient and color-gradient multilayered zirconia using conventional and high-speed sintering. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2020;111(103977):1-8.
10. Lawson NC, Maharishi A. Strength and translucency of zirconia after high-speed sintering. *J Esthetic and Restorative Dentistry.* 2020;32(2):219-225.
11. Tabatabaian F, Beyabanaki E, Alirezaei P, Epakchi S. Visual and digital tooth shade selection methods, related effective factors and conditions, and their accuracy and precision: A literature review. *J Esthetic and Restorative Dentistry.* 2021;33(8):1084-1104.
12. Chu SJ, Trushkowsky RD, Paravina RD. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. *J Dent.* 2010;38:e2-e16.
13. Zhang F, Inokoshi M, Batuk M, et al. Strength, toughness and aging stability of highly-translucent Y-TZP ceramics for dental restorations. *Dental Materials.* 2016;32(12):e327-e337.
14. Ahmed WM, Troczynski T, McCullagh AP, Wyatt CCL, Carvalho RM. The influence of altering sintering protocols on the optical and mechanical properties of zirconia: A review. *J Esthetic and Restorative Dentistry.* 2019;31(5):423-430.
15. Ghinea R, Pérez MM, Herrera LJ, Rivas MJ, Yebra A, Paravina RD. Color difference thresholds in dental ceramics. *J Dent.* 2010;38:e57-e64.
16. Ersoy NM, Aydoğdu HM, Değirmenci BÜ, Çökük N, Sevimay M. The effects of sintering temperature and duration on the flexural strength and grain size of zirconia. *Acta Biomater Odontol Scand.* 2015;1(2-4):43-50.
17. Kaizer MR, Gierthmuehlen PC, dos Santos MB, Cava SS, Zhang Y. Speed sintering translucent zirconia for chairside one-visit dental restorations: Optical, mechanical, and wear characteristics. *Ceram Int.* 2017;43(14):10999-11005.
18. Wiedenmann F, Pfefferle R, Reichert A, Jerman E, Stawarczyk B. Impact of high-speed sintering, layer thickness and artificial aging on the fracture load and two-body wear of zirconia crowns. *Dental Materials.* 2020;36(7):846-853.

19. Salas M, Lucena C, Herrera LJ, Yebra A, della Bona A, Pérez MM. Translucency thresholds for dental materials. *Dental Materials*. 2018;34(8):1168-1174.
20. Zhang F, Inokoshi M, Batuk M, et al. Strength, toughness and aging stability of highly-translucent Y-TZP ceramics for dental restorations. *Dental Materials*. 2016;32(12):e327-e337.
21. Kaizer MR, Gierthmuehlen PC, dos Santos MB, Cava SS, Zhang Y. Speed sintering translucent zirconia for chairside one-visit dental restorations: Optical, mechanical, and wear characteristics. *Ceram Int*. 2017;43(14):10999-11005.
22. Kim MJ, Ahn JS, Kim JH, Kim HY, Kim WC. Effects of the sintering conditions of dental zirconia ceramics on the grain size and translucency. *J Adv Prosthodont*. 2013;5(2):161-166.
23. Zhang Y. Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dental Materials*. 2014;30(10):1195-1203.
24. Kilinc H, Sanal FA. Effect of sintering and aging processes on the mechanical and optical properties of translucent zirconia. *J Prosthet Dent*. 2021;126(1): 129.e1-129.e7.
25. Ebeid K, Wille S, Hamdy A, Salah T, El-Etreby A, Kern M. Effect of changes in sintering parameters on monolithic translucent zirconia. *Dental Materials*. 2014;30(12): e419-e424.
26. Durkan R, Şimşek H, Deste Gökay G, Yılmaz B. Effects of sintering time on translucency and color of translucent zirconia ceramics. *J Esthetic and Restorative Dentistry*. 2021;33(4):654-659.
27. Vieira Cardoso K, Luis Adabo G, Mariscal-Muñoz E, Gutierrez Antonio S, Eng C, Neudenir Arioli Filho J. Effect of sintering temperature on microstructure, flexural strength, and optical properties of a fully stabilized monolithic zirconia. *J Prosthet Dent*. 2020;124(5):594-598.
28. Paravina RD, Kimura M, Powers JM. Evaluation of polymerization-dependent changes in color and translucency of resin composites using two formulae. *Odontology*. 2005;93(1):46-51.
29. Perez M del M, Saleh A, Yebra A, Pulgar R. Study of the Variation between CIELAB ΔE^* and CIEDE2000 Color-differences of Resin Composites. *Dent Mater J*. 2007;26(1):21-28.

TPİD 7. Uluslararası Bahar Sempozyumu'nda sözlü bildiri olarak sunulmuştur. 1-22 Ekim 2022, İstanbul.

Yazışma Adresi:

Dt. Dilara DOĞAY
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Diş Hekimliği Fakültesi
55200 ATA KUM/SAMSUN
E-posta: dilaradogay@gmail.com

*ORCID ID: 0000-0002-9174-0463

*ORCID ID: 0000-0003-1076-9334