

Farklı Açılardaki Farklı Abutment Materyallerinin Kullanıldığı Maksiller Anterior Tek Diş İmplantlarda Oluşan Streslerin Analitik Olarak İncelenmesi: Bir Sonlu Elemanlar Analizi

Analytically Investigation of Stress Created in Maxillary Anterior Single Dental Implants Using Different Abutment Materials at Different Angles: A Finite Element Analysis

^{ID} Said Mirza KIZMAZ^a, ^{ID} Köksal BEYDEMİR^b, ^{ID} Süleyman AGÜLOĞLU^c

^aSerbest Hekim, İstanbul, Türkiye

^bDicle Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi ABD, Diyarbakır, Türkiye

^cİzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi ABD, İzmir, Türkiye

Bu çalışma, Said Mirza KızmaZ'ın "Maksiller anterior tek diş implant destekli protezlerde farklı abutment materyallerinin değişik açılarda kullanımının oluşturduğu streslerin sonlu elemanlar analizi metoduyla incelenmesi" başlıklı doktora tezinden üretilmiştir (Diyarbakır: Dicle Üniversitesi; 2019).

ÖZET Amaç: Çalışmanın amacı, maksiller anterior bölgelerde açılı titanyum ve zirkonya abutment kullanıldığı durumlarda, okluzal streslerin implant, abutment, restorasyon ve çevre dokularda oluşturduğu streslerin analiz edilmesidir. Bu sayede başarılı bir implant uygulaması için hangi materyallerin hangi açılarda daha başarılı olduğunun tespit edilmesi **amaçlanmıştır**. **Gereç ve Yöntemler:** Çalışmada stres analiz yöntemlerinden biri olan ve teknolojinin gelişmesiyle birçok alanda sıklıkla kullanılan sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılmıştır. Maksiller anterior tek diş implant destekli restorasyon modelleri titanyum ve zirkonya abutment materyallerinin implant ile 0° ve 25° açı yaptığı modeller bilgisayar ortamında hazırlanmıştır. Üç boyutlu olarak bilgisayar ortamında hazırlanan bu modellere çiğneme ve kesme kuvvetleri uygulanmış ve uygulanan bu kuvvetler sonucunda implantta, abutmentte, restorasyonda, implant vidasında, çevre kemik dokuda oluşan stresler incelenerek kıyaslanmıştır. **Bulgular:** Maksiller anterior tek diş eksikliklerinde zirkonya abutmentler 0° ve 25° açılı kullanımda kesme ve çiğneme kuvvetlerine karşı titanyum abutmentlere benzer stres birikimleri göstermiştir. Hem zirkonya hem de titanyum abutmentlerde 25° açılı kullanıldıklarında açısız kullanımına göre %30 oranında stres artışı **görülmüştür**. Abutment vidasında ise açılı kullanımda stresin 3 kat arttığı **görülmüştür**. **Sonuç:** Estetik beklentileri karşılamak için maksiller anterior bölgede kullanılan zirkonya abutmentler çiğneme ve kesme kuvvetleri karşısında oluşan stresler açısından titanyum abutmentlere benzer stresler oluşturduğundan hem açılı hem de düz kullanımının titanyum abutmentlerden farklı sonuçlar doğurmayacağı anlaşılmıştır. Abutment vidalarında 25° açılı kullanımda 3 kat fazla stres oluştuğu tespit edildiğinden tasarım ve materyal kalitesinin dikkate alınması gerektiği **görülmüştür**. Konu ile ilgili in vivo çalışmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir.

ABSTRACT Objective: Aim of the study is analyzing the stresses caused by occlusal stresses on the implant, abutment, restoration and surrounding tissues in cases where angled titanium and zirconia abutments are used in the maxillary anterior regions. In this way, it is aimed to determine which materials and which angles should be used for a successful implant application. **Material and Methods:** Finite element analysis method, which is frequently used in many areas with the development of technology, was used in the study. Maxillary anterior single implant supported restoration models were prepared in computer environment where titanium and zirconia abutment materials prepared 0° and 25° angles with the implant. Chewing and shearing forces were applied to these models, which were prepared in three dimensions in the computer environment, and as a result of these applied forces, the stresses on the implant, abutment, restoration, implant screw, and surrounding bone tissue were examined and compared. **Results:** In maxillary anterior single tooth deficiencies zirconia abutments showed similar stress cumulations to titanium abutments when they are used with 0° and 25° angle. On both zirconia and titanium abutments, when they are tilted 25°, an increase in stress of 30% was observed compared to the non-tilted use. It is observed that the stress increased three times more on abutment screw with the use of angle. **Conclusion:** Since zirconia abutments used in the maxillary anterior region to meet aesthetic expectations create stresses similar to titanium abutments in terms of stresses against chewing and shear forces, it has been understood that both angled and straight use will not produce different results than titanium abutments. Abutment screws have been found to have 3 times more stress at 25° angles, so design and material quality have to be taken into consideration. It is thought that supportive in vivo studies should be performed.

Anahtar Kelimeler: Dental implant; abutment; zirkonya abutment; sonlu elemanlar analizi

Keywords: Dental implant; abutment; zirconia abutment; finite element analysis

Correspondence: Süleyman AGÜLOĞLU

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Protetik Diş Tedavisi ABD, İzmir, Türkiye

E-mail: sagul9127@gmail.com



Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Dental Sciences.

Received: 16 Mar 2022

Received in revised form: 25 May 2022

Accepted: 01 Jun 2022

Available online: 08 Jun 2022

2146-8966 / Copyright © 2022 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Dental implant uygulamalarında ana hedef implant üstü restorasyonlar ile her türlü dişsizliğin giderilmesidir. İmplant üreten firmalar amaca göre çeşitli tip ve sayılarda abutmentler üretmiştir. Genellikle titanyum ve alaşımları ile seramik abutmentler kullanılmaktadır. Titanyum abutmentler uzun yıllar biyouyumluluk ve yüksek başarı ile kullanılmıştır. Fakat gri renkleri nedeni ile peri-implant dokuda renk değişikliğine yol açmaktadırlar. Aynı zamanda peri-implant dokularında çekilme olduğunda abutmentlerin görünür hâle gelmesiyle estetik olarak bozukluklar ortaya çıkmaktadır. Estetiğin geliştirilmesi amacıyla titanyum abutmentlerde birçok değişiklik yapılmasına rağmen estetik problemler devam etmektedir.¹ Bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli imalat sistemlerinde gelişmelerle birlikte, alümina abutmentler gibi estetik fakat bükülme ve kırılma dayanımı alümina ile karşılaştırıldığında 2 kat daha fazla olan zirkonya, abutment materyali olarak kullanılmaya başlamıştır.^{2,3}

İmplant işlemlerinin başarısını etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Anterior maksillada diş kayıplarını takiben ideal konumlarda dental implant uygulaması her zaman mümkün değildir. Vestibüldeki kompakt kemik diş çekimleri sırasında kırılabilir. Ayrıca alveol kretinin genişliği diş çekimlerinden sonraki 1. yılda %25 ilk 3 yılda ise %40-60 oranında azalmaktadır.⁴ Seçilen implantın meziyodistal, oro-fasiyal, apiko-koronal yönde yerleşmesi ve doğru implant seçilmesi peri-implant sert yumuşak dokuların uzun dönem stabilitesi açısından önemlidir.⁵ Henry ve ark. yaptıkları çalışmada, 71 maksiller anterior tek diş implantların da 5 yıl içerisinde %96,6 başarı oranı yakaladıklarını ancak %10 estetik başarısızlıkla karşılaştıklarını bildirmiştir.⁶ Estetik sınırları giderebilmek için günümüzde farklı açılarda çıkış profilleri olan abutmentler kullanılmaktadır.

Çalışma, abutment materyalinin elastisite modülüne bağlı olarak, aktarılan stresin farklı olabileceği düşüncesiyle tasarlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Çalışmada, maksiller anterior bölgede bulunan tek implant üzerine, anatomik kısıtlamalardan dolayı 0° 15° ve 25° olmak üzere 3 farklı açıda hazırlanmış titanyum ve zirkonya abutmentler ile üzerine gelen zir-

konya altyapılı porselen restorasyona kesme ve çığ-nemeyi temsil eden 2 farklı açıda kuvvet uygulandı ve her modellemede implantta, abutmentte, kemik dokuda ve restorasyonda oluşan stres dağılımları 3 boyutlu sonlu elemanlar analiz metodu ile incelendi.

Bütün matematiksel modeller MSC Patran 2005 (MSC Software Corp.-USA) sonlu elemanlar paket programı kullanılarak analiz edildi. Ayrıca Straumann Dental Implants System-İsviçre tarafından üretilmiş 4,1x10 mm'lik implant modeli ve abutment olarak Straumann Dental System tarafından üretilmiş standart titanyum abutment ile yine Straumann Dental System tarafından üretilmiş CARES Zirkonia abutment kullanıldı. Restorasyon modellemesinde ise Degudent GmbH-Almanya tarafından üretilen yttrium oxide ile stabilize edilmiş Cerkon Base zirkonya altyapı materyali ve Elephant Dental-Hollanda tarafından üretilmiş Sakura Feldspatik porseleni kullanıldı. Kullanılan materyallerin elastisite modülü ve Poisson oranı Tablo 1'de gösterilmiştir. Analizlerde kullanılacak materyallerin bilgisayar modellerinin oluşturulması için 3D Max 5 (AutoDesk, Inc, MA, ABD) 3 boyutlu bilgisayar destekli tasarım yazılımı kullanıldı.

Maksiller anterior ve premolar bölgede; yeterli dayanıma sahip yoğun trabeküler kemik etrafında ince kortikal kemik tabakasından oluşan Tip 3 kemik bulunmaktadır.⁷ Bu nedenle çalışmada, Lekholm ve Zarb'ın kemik kalite sınıflaması dikkate alınarak, bu sınıflamada yer alan homojen Tip 3 kemik özelliğine uygun olacak şekilde maksiller kemik oluşturuldu.⁸ Kortikal kemiğin kalınlığı 0,75 mm olarak belirlendi.

TABLO 1: Kullanılan materyallerin elastisite modülü ve Poisson oranı.

Materyal	Elastisite modülü, Poisson		Referans
	E (MPa)	oranı, ν	
Kortikal kemik	148000	0,3	Holmes ve Loftus, 1997
Trabeküler kemik	1850	0,3	Akca ve Iplikcioglu, 2001
Titanyum alaşımı	110000	0,35	Sertgöz ve Güvener, 1996
Zirkonya dayanak	200000	0,31	Metoxit Zirconia Ceramics Document
SBP altyapı zirkonya	210000	0,3	De Jager ve ark., 2005
SBP tabakalama porseleni	60000	0,265	De Jager ve ark., 2005

SBP: Sabit bölümlü protez.

Çalışmada, iki farklı ısırma kuvveti uygulandı. Bu kuvvetler; implantın uzun eksenine doğrultusuna dik olan yatay ısırma kuvveti (kesme kuvveti F_y) ve implantın uzun eksenine 30 derecelik açı yapan oblik ısırma kuvveti (F_o çiğneme kuvveti)'dir. Oblik yük miktarı 178 N (toplam 534 N) ve horizontal yük miktarı 25.5 N (toplam 76.5 N) olarak 7 ayrı noddan uygulandı.^{9,10} Bu ısırma kuvvetlerinin büyüklükleri arasındaki oran, Koolstra ve ark.nın çalışmasına göre saptandı.¹¹

$$F_y: F_d: F_o=1: 3,5: 7$$

Horizontal ve oblik yüklemeler sonucunda oluşan stresler arasında çalışmanın amacına uygun olarak modellerde meydana gelen en yüksek basma, çekme ve Von Mises stresleri ve dağılımları hesaplandı.

Üç boyutlu elemanda en büyük stres değeri, bütün makaslama stres bileşenlerinin "sıfır" olduğu durumda oluşmaktadır. Bir eleman bu durumda olduğunda basma ve çekme streslerine asal gerilme (principal stress) denir. Asal gerilme en yüksek, ara ve en düşük olarak 3'e ayrılır. σ_1 en büyük pozitif değeri, σ_3 en küçük negatif değeri ve σ_2 ise ara değeri göstermektedir ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$). σ_1 en yüksek çekme streslerini, σ_3 ise en yüksek basma streslerini temsil etmektedir.¹²

Von Mises stresleri; çekilebilir malzemeler için, şekil değiştirmenin başlangıcı olarak tanımlanır. Von Mises stresleri, 3 asal stres değeri kullanılarak aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı.¹²

$$\sigma = [((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2) / 2]^{1/2}$$

Oluşan streslerin karşılaştırılmasını kolaylaştırmak için her stres değerinin farklı renklerle gösterildiği bir değer skalası tanımlandı. Bulguları gösteren tüm görüntülerde; aynı yüklem ve aynı bölgedeki stres değerlerinin incelendiği şekillerde stres değerleri aynı skalayla gösterildi.

Analiz sonucunda elde edilen değerler, varyansı olmayan matematiksel hesaplamalar sonucu ortaya çıktığı için istatistiksel analizler yapılmadı. Bu nedenle çalışmada meydana gelen en yüksek stres miktarları ve dağılımları değerlendirildi.

BULGULAR

İki farklı abutment materyalinin, 0° ve 25° olmak üzere 2 farklı açıda konumlandığı 4 ayrı modele çiğneme ve kesme kuvvetleri uygulanarak toplam 8 farklı modelde analiz yapılmıştır. Her modelde implant, implant etrafındaki kemik, abutment ve restorasyon modelleri beraber kendi içinde analiz edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen çekilebilir materyaller için Von Mises, kırılma materyaller için maksimum principle (çekme) ve minimum principle (basma) stres değerleri renk ve miktar skalaları ile gösterilmiştir. Bu sonuçlar daha sonra kullanılan materyallere göre karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

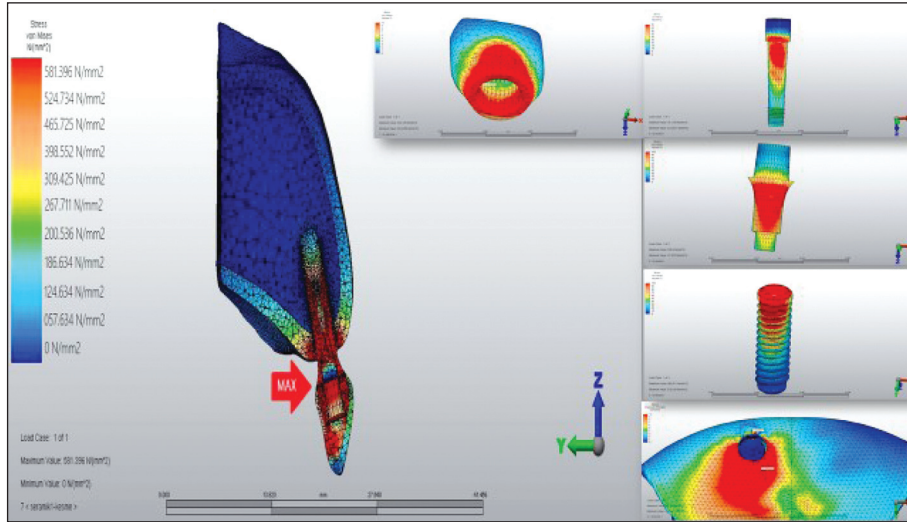
Stres dağılımlarını gösteren kesit görüntülerinin sol üst tarafındaki skaladan (bilgisayar programında, stres miktarlarını kolay yorumlayabilmek için verilen renk skalası Resim 1), renklere göre sayısal olarak stres değerleri görülebilmektedir. şekillerde her renk bir stres aralığını (MPa) temsil etmektedir. Skalalar aynı yüklem ve aynı yapı için sabitlenmiştir. Skala renk aralıklarının sabit tutulması şekillerin birbiriyle karşılaştırılmasına imkân vermektedir.

Çalışmada oluşturulan 4 farklı model genel olarak incelendiğinde, titanyum ve zirkonya abutmentlerin materyal değişimiyle oluşan stres farklılıkları hem kesme kuvveti uygulandığında hem de çiğneme kuvveti uygulandığında zirkonyada küçük bir miktar fazla olmakla beraber (%1'in altında bir artış) benzer bir dağılım ve değer göstermiştir (Tablo 2).

Abutmentler açıldığında ise biriken stres miktarlarında hem zirkonya hem de titanyum abutmentte %1'den daha az bir artış görülmüştür. Bu sonuç hem zirkonya hem de titanyum abutmentlerin anterior bölgede 25 dereceye kadar açıldırılmasının açısız kullanımına benzer bir etki oluşturduğunu düşündürmektedir.

Ayrıca açılı kullanılan zirkonya ve titanyum abutmentler materyal farklılığına göre değerlendirildiğinde de birbirlerine çok yakın değerler oluşturduğu görülmüştür.

Oluşturulan modellerde uygulanan kuvvetlere göre implant açısından değerlendirildiğinde materyal değişiminde veya açılma işlemi implant üzerinde oluşan stresler birbirine çok yakın değerler ve-



RESİM 1: Stres dağılımlarını gösteren kesit görüntülerinin sol üst tarafındaki renk skalasına göre sayısal olarak stres değerleri görülebilmektedir.

TABLO 2: Abutment analizleri.

Abutment analizi	Kesme	Çiğneme
Titanyum 0°	305.135	87.952
Titanyum 25°	399.004	108.835
Zirkonya 0°	305.055	87.956
Zirkonya 25°	399.804	109.189

irken, kesme kuvvetinin çiğneme kuvvetlerine göre implant üzerinde daha fazla stres oluşturduğu tespit edilmiştir. Oluşan streslerin implantın boyun bölgesinde kortikal kemiğe aktarıldığı anlaşılmaktadır (Tablo 3).

Analiz yapılan modellerde en büyük farklılığın, materyal değişimi ve açılardırma işleminin yapıldığı abutmentte olması beklenmelidir. Zirkonya hem düz hem de açılı kullanımda stres miktarı çok az artmakla beraber titanyuma çok yakın değerler vermiştir. Öte yandan abutmentin açılardırılması durumunda oluşan maksimum stres değerlerinde artma görülmüştür. Bu artma hem titanyumda hem de zirkonyada aynı miktarda olduğu için zirkonyanın açılı olarak anterior bölgede abutment materyali olarak titanyuma benzer etkiler gösterdiği anlaşılabılır.

Modeller implant üstü zirkonya altyapılı porsele restorasyon açısından incelendiğinde stres bütün modellerde birbirine çok yakın değerlerde yayılmıştır. Öte yandan çiğneme kuvvetlerinde restorasyonda

bir miktar daha yüksek stres değerleri olduğu görülmüştür (Tablo 4).

Açılardırma işleminde en yüksek stres değişimlerinin olduğu yerlerden birinin abutment vidası olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 5). Her iki modelde de titanyum abutment vidası kullanılmıştır. Vida üzerinde oluşan stresler abutmentteki materyal değişiminden herhangi bir değişim göstermezken açılardırma işleminde yaklaşık 3 katına çıktığı görülmüştür. Yine modele kesme kuvveti uygulandığında çiğneme kuvvetine göre 2 kat daha fazla maksimum stres olduğu görülmüştür.

TABLO 3: İmplant analizleri.

İmplant analizi	Kesme	Çiğneme
Titanyum 0°	581.001	172.557
Titanyum 25°	589.917	228.886
Zirkonya 0°	581.396	172.882
Zirkonya 25°	590.033	228.877

TABLO 4: İmplant üstü restorasyon analizleri.

Restorasyon analizi	Kesme	Çiğneme
Titanyum 0°	178.485	224.189
Titanyum 25°	178.567	233.607
Zirkonya 0°	178.527	227.521
Zirkonya 25°	178.596	235.928

TABLO 5: Abutment vidası analizleri.

Abutment vidası analiz	Kesme	Çiğneme
Titanyum 0°	76.173	33.412
Titanyum 25°	299.592	100.626
Zirkonya 0°	75.735	33.698
Zirkonya 25°	299.592	100.64

TABLO 6: Kemik analizleri.

Kemik analizi maksimum principle (gerilme)	Kesme	Çiğneme
Titanyum 0°	58.726	19.619
Titanyum 25°	44.858	74.447
Zirkonya 0°	58.852	19.688
Zirkonya 25°	44.870	74.452

Buna göre abutment vidası tasarımı ve dayanıklılığı anterior bölgede abutment açıldırıldığı durumlarda göz önünde bulundurulması gereken bir konudur.

İmplant etrafındaki kemik dokunun stres alanları değerlendirildiğinde, en yüksek Von Mises stres değerlerinin implantların kortikal kemikle temas ettikleri alanda ve hemen üzerindeki boyun kısmında olduğu görülmüştür (Tablo 6). Bu durumun implantta periodontal ligamentin ve bunun sonucunda mikro hareketin olmaması sebebiyle stresin bu bölgelerde yoğunlaştığı düşünülmektedir. Zirkonya veya titanyum abutment kullanımının kemik üzerinde herhangi bir fark oluşturduğu görülmemiştir.

TARTIŞMA

Maksilla anteriorda diş çekimi sonrası meydana gelen atrofiler, çene kemiğinin genel şekli, cerrahi uygulamadaki zorluklar sıklıkla bu bölgedeki implantlarının açılı olarak konumlanmasını gerektirebilmektedir. Özyanat ve ark. yaptıkları çalışmada, randomize kullanılan 400 implant dayanağından 159 adetinin açılı olduğunu tespit etmişlerdir.¹³ Açılı implant dayanağı kullanımının en yoğun olduğu bölge ise üst anterior bölgesi olarak tespit edilmiştir. Kao ve ark. çalışmalarında, burun tabanına yakın olması ve kretin morfolojisi gereği implant uygulaması esnasında uzun aksın dışında yerleşime en çok üst ke-

siciler bölgesinde rastlandığını belirtmektedir.¹⁴ Bu durum açılı abutment kullanımı zorunluluğu doğurmaktadır. Bununla birlikte Sousa ve ark. düz abutmentlerin, açılı abutmentlerden daha iyi prognoza sahip olduğunu ve mekanik olarak daha dirençli olduklarını vurgulamıştır.¹⁵

Gingival dokunun şekli ve dişin doğal çıkış profiline uygun restorasyonların yapılabilmesi ancak intrasulkuler tasarımla sağlanabilir. Bu amaçla prepare edilebilen titanyum implant dayanakları kullanılmaktadır. Ancak ince diş eti yapısına sahip olan bireyler ve tam seramik restorasyonların tercih edildiği durumlarda titanyum dayanaklar optik özellikleri nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple seramik ve zirkonya implant dayanakları hekimlerin kullanımına sunulmuştur. *In vitro* ve *in vivo* çalışmalarda seramik implant dayanakları ile yapılan restorasyonlarda stabil yumuşak ve sert doku seviyeleri ile titanyuma göre daha düşük bakteriyel kolonizasyon gözlemlendiği rapor edilmiştir.¹⁶ Bununla birlikte de Holanda Cavalcanti Pereira ve ark. sundukları sistematik derlemede, implant bağlantı yüzeyindeki aşınma açısından, zirkonya dayanakların titanyum dayanaklara göre daha şiddetli aşınma gösterdiğini vurgulamışlardır.¹⁷ Ayrıca anterior bölgede kullanılan implant üstü seramik dayanaklar ile desteklenmiş cam seramik kron restorasyonların kırılma direncinin incelendiği bir çalışmada, alüminyum oksit ve zirkonya oksit seramik dayanakların dayanıklılığının literatürde belirtilen maksimum insizal yük değerlerini aştığı rapor edilmiştir.¹⁸

En yüksek stres değerlerinin belirlenmesi, kullanılan materyallerin yüklemeye altındaki dayanımını belirlemek açısından önemlidir. İnsan kortikal kemiğinin en yüksek (ultimate) dayanım kapasitesi, çekme stresleri için 121-135 MPa arasında, basma stresleri için ise 167-205 MPa arasında değişmektedir. Trabeküler kemiğin stresler karşısındaki dayanım kapasitesi daha düşüktür ve 1-20 MPa arasında değişmektedir.¹⁹ Titanyumun dayanım kapasitesi (endurance limit) 259.9 MPa olarak bildirilmiştir. Zirkonya ise bükülme direnci 900-1.200 MPa arasında değişen yüksek dayanıklılıkta bir materyaldir.²⁰ Çalışmada elde edilen en yüksek stres değerlerinin, kullanılan materyallerin dayanım kapasitesini aşmadığı belirlendi.

Karabudak ve ark. titanyum ve zirkonya abutmentlerin mandibula anteriorda 0° ve 15° kullanılmasıyla oluşan modellerde yaptıkları sonlu elemanlar analizinde 0° zirkonya abutmentlerin aynı açıdaki titanyum abutmentlere göre daha yüksek ancak yakın gerilme değerleri oluşturduğunu tespit etmiştir.²¹ Aynı şekilde 15° yerleştirilen zirkonya abutmentlerin titanyum abutmentlere göre daha yüksek olmakla beraber yakın stres dağılımları gösterdiklerini tespit etmiş ve zirkonya abutmentlerin mandibula anteriorda titanyumlara alternatif olarak güvenle kullanılabilceğini belirtmiştir. Bu çalışmamızda da materyallerin benzer gerilme değerleri oluşturduğu sonucu çıkmıştır, böylelikle abutment materyalinin elastisite modülüne bağlı olarak aktarılan stresin farklı olabileceği hipotezi reddedilmiştir.

Sonlu elemanlar yönteminde modelin sınır koşulları, arayüz tanımlamaları, modelin gerçek yapıya benzerliği, malzeme özellikleri sonuçları değiştiren faktörlerdir. Bununla beraber test koşulları, parametreler ve geometri istenilen şekilde değiştirilebilmekte ve test istenildiği zaman tekrarlanabilmektedir. Bunun sağladığı avantajların *in vivo* testlerde elde edilmesi zordur. Dolayısıyla test edilmiş ve doğruluğu kanıtlanmış matematiksel modeller kullanılarak yapılan analizler, materyal, model veya restorasyon dizaynı incelenmesinde kullanışlı bir yöntemdir.²²

Araştırmada kullanılan sonlu elemanlar analizi yönteminde gerçeğe yakın sonuçlar alabilmek için modelde kullanılan eleman sayısı oldukça fazla tutuldu. Kemik, titanyum, zirkonya gibi materyaller için kullanılacak elastisite modülü ve Poisson oranları titiz bir literatür araştırması sonucu belirlendi.

SONUÇ

1. İmplant üstü tek diş eksikliklerinin giderilmesi için uygulanan implant tedavilerinde zirkonya abutment kullanımı, abutmentin implant ile 0° açı yaptığı durumlarda hem kesme hem de çigneme kuvvetlerine karşı titanyum abutmentler ile benzer stres dağılımları göstermiştir.

2. İmplant üstü tek diş eksikliklerinin giderilmesi için uygulanan implant tedavilerinde zirkonya abutment kullanımı, abutmentin implant ile 25° açı yaptığı durumlarda hem kesme hem de çigneme

kuvvetlerine karşı titanyum abutmentler ile benzer stres dağılımları göstermiştir.

3. İmplant üstü tek diş eksikliklerinin giderilmesi için uygulanan implant tedavilerinde abutmentin implant ile 0° veya 25° yaptığı durumlarda implant boyun bölgesinde titanyum veya zirkonya abutment kullanımının kayda değer stres farklılıkları oluşturmadığı görülmüştür.

4. İmplant üstü tek diş eksikliklerinin giderilmesi için uygulanan implant tedavilerinde abutmentin implant ile 0° yaptığı durumlarda zirkonya ve titanyum abutmentler üzerinde benzer stres değerleri benzer görülmüş, 25° açılı uygulandığı durumlarda hem zirkonya hem de titanyum abutmentler üzerinde %30 stres artışı görülmüştür.

5. İmplant üstü tek diş eksikliklerinin giderilmesi için uygulanan implant tedavilerinde titanyum veya zirkonya abutment kullanımının implant üstü restorasyon üzerinde oluşan stresler açısından fark oluşturmadığı görülmüş olup, çigneme kuvvetlerinde kesme kuvvetlerine göre daha fazla stres oluştuğu görülmüştür.

6. İmplant üstü tek diş eksikliklerinin giderilmesi için uygulanan implant tedavilerinde abutmentin 25° açılı kullanıldığı durumlarda hem zirkonya hem de titanyum abutmentlerde, abutment vidalarında oluşan stresin 3 kat arttığı görülmüştür.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Köksal Beydemir, Said Mirza Kızmaz; **Tasarım:** Köksal Beydemir, Süleyman Ağuloğlu; **Denetleme/Danışmanlık:** Köksal Beydemir; **Analiz ve/veya Yorum:** Köksal Beydemir, Süleyman Ağuloğlu; **Kaynak Taraması:** Said Mirza Kızmaz; **Makalenin Yazımı:** Said Mirza Kızmaz, Süleyman Ağuloğlu; **Eleştirel İnceleme:** Süleyman Ağuloğlu, Köksal Baydemir.

KAYNAKLAR

1. Misch CE. Dental Implant Prosthetics. 1st ed. St. Louis: Elsevier Mosby; 2005.
2. Nakamura K, Kanno T, Milleding P, Ortengren U. Zirconia as a dental implant abutment material: a systematic review. *Int J Prosthodont.* 2010;23(4):299-309. [[PubMed](#)]
3. Kohal RJ, Att W, Bächle M, Butz F. Ceramic abutments and ceramic oral implants. An update. *Periodontol 2000.* 2008;47:224-43. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
4. Carlsson L, Röstlund T, Albrektsson B, Albrektsson T. Implant fixation improved by close fit. Cylindrical implant-bone interface studied in rabbits. *Acta Orthop Scand.* 1988;59(3):272-5. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
5. Besler U, Martin W, Jung R, Hammerle C, Buser D. ITI Treatment Guide: Implant Therapy in the Esthetic Zone: Single-Tooth Replacements. Vol.1. 1st ed. London: Quintessence Publishing; 2007. p.27.
6. Henry PJ, Laney WR, Jemt T, Harris D, Krogh PH, Polizzi G, et al. Osseointegrated implants for single-tooth replacement: a prospective 5-year multicenter study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1996;11(4):450-5. [[PubMed](#)]
7. Gottfredsen K, Berglundh T, Lindhe J. Bone reactions adjacent to titanium implants with different surface characteristics subjected to static load. A study in the dog (II). *Clin Oral Implants Res.* 2001;12(3):196-201. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
8. Lekholm U, Zarb GA. Patient selection and preparation. In: Branemark PI, Zarb GA, Albrektsson T, eds. *Tissue Integrated Prostheses: Osseointegration in Clinical Dentistry.* 1st ed. Chicago: Quintessence; 1985.
9. Misch CE, Hoar J, Beck G, Hazen R, Misch CM. A bone quality-based implant system: a preliminary report of stage I & stage II. *Implant Dent.* 1998;7(1):35-42. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
10. Duyck J, Vrielinck L, Lambrechts I, Abe Y, Schepers S, Politis C, et al. Biologic response of immediately versus delayed loaded implants supporting ill-fitting prostheses: an animal study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2005;7(3):150-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
11. Koolstra JH, van Eijden TM, Weijs WA, Naeije M. A three-dimensional mathematical model of the human masticatory system predicting maximum possible bite forces. *J Biomech.* 1988;21(7):563-76. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
12. Carlsson GE, Lindquist LW, Jemt T. Long-term marginal periimplant bone loss in edentulous patients. *Int J Prosthodont.* 2000;13(4):295-302. [[PubMed](#)]
13. Özyanat G, Mohammadi A, Alioğlu E, Değer S. Simante restorasyonlarda açılı implant dayanağı kullanım sıklığı [Frequency of the using angled abutments for the cementable restorations]. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry.* 2013;47(1):8-16. [[Link](#)]
14. Kao RT, Fagan MC, Conte GJ. Thick vs. thin gingival biotypes: a key determinant in treatment planning for dental implants. *J Calif Dent Assoc.* 2008;36(3):193-8. [[PubMed](#)]
15. Sousa MP, Tribst JPM, de Oliveira Dal Piva AM, Borges ALS, de Oliveira S, da Cruz PC. Capacity to maintain placement torque at removal, single load-to-failure, and stress concentration of straight and angled abutments. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2019;39(2):213-8. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
16. Rimondini L, Cerroni L, Carrassi A, Torricelli P. Bacterial colonization of zirconia ceramic surfaces: an in vitro and in vivo study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2002;17(6):793-8. [[PubMed](#)]
17. de Holanda Cavalcanti Pereira AK, de Oliveira Limirio JPJ, Cavalcanti do Egito Vasconcelos B, Pellizzer EP, Dantas de Moraes SL. Mechanical behavior of titanium and zirconia abutments at the implant-abutment interface: a systematic review. *J Prosthet Dent.* 2022;S0022-3913(22)00050-6. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
18. Yildirim M, Fischer H, Marx R, Edelhoff D. In vivo fracture resistance of implant-supported all-ceramic restorations. *J Prosthet Dent.* 2003;90(4):325-31. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
19. Friberg B, Jemt T, Lekholm U. Early failures in 4,641 consecutively placed Brånemark dental implants: a study from stage 1 surgery to the connection of completed prostheses. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1991;6(2):142-6. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
20. Saab XE, Griggs JA, Powers JM, Engelmeier RL. Effect of abutment angulation on the strain on the bone around an implant in the anterior maxilla: a finite element study. *J Prosthet Dent.* 2007;97(2):85-92. [[Crossref](#)] [[PubMed](#)]
21. Karabudak F, Zamanlou H, Yeşildal R, Bayındır F, Şen S. Düz ve açılı abutmentlere sahip titanyum ve zirkonyum dental implantların gerilme analizlerinin karşılaştırılması [Comparison of titanium and zirconia dental implants of straight and angled abutments' stress analysis]. *Mühendislik ve Makine.* 2014;55(652):34-42. [[Link](#)]
22. Yoshida N, Koga Y, Kobayashi K, Yamada Y, Yoneda T. A new method for qualitative and quantitative evaluation of tooth displacement under the application of orthodontic forces using magnetic sensors. *Medical Engineering and Physics.* 2000;22(4):293-300. [[Crossref](#)]