

Dinamik yükleme yapılan kısa implantlarda kron/implant oranının stres dağılımına etkisinin incelenmesi*

Ersan Çelik(0000-0002-3797-770X)^α, A.Nehir Özden(0000-0001-7084-7133)^β

Selcuk Dent J, 2019; 6: 324-334 (Doi: 10.15311/selcukdentj.565789)

Başvuru Tarihi: 15 Mayıs 2019
Yayına Kabul Tarihi: 11 Temmuz 2019

ÖZ

Dinamik yükleme yapılan kısa implantlarda kron/implant oranının stres dağılımına etkisinin incelenmesi

Amaç: Bu çalışmanın amacı farklı kron/implant oranına sahip kısa implantlar üzerine uygulanan statik ve dinamik yüklerin implantı çevreleyen kemik doku ve implantta meydana getirdiği stresin sonlu elemanlar stres analiz yöntemiyle incelenmesidir.

Gereç ve Yöntemler: Çalışmada, 4.1 mm çapında ve üç farklı uzunlukta (6 mm, 8 mm ve 10 mm) toplam 3 adet dental implant seçilmiştir. Bu üç implantın üzerine kron/implant oranı 1/1, 1.5/1 ve 2/1 olacak şekilde üçer adet alt birinci molar metal destekli seramik kron bilgisayar ortamında tasarlanmış ve implant destekli kronlar yine bilgisayar ortamında mandibula modeline yerleştirilerek toplam 9 adet çalışma modeli elde edilmiştir. Elde edilen bu modellere, vertikal ve oblik fonksiyonel kuvvetler uygulanarak, kortikal ve spongioz kemikte oluşan maksimum ve minimum asal stres değerlerine, implantta oluşan Von Mises stres değerlerine, implantlarda meydana gelen yorulma değerlerine kron/implant oranının etkisi üç boyutlu sonlu elemanlar stres analiz yöntemiyle incelenmiştir.

Bulgular: Aynı miktarda kuvvet uygulanmasına rağmen, oblik yükleme yapılan modellerde dik yükleme yapılan modellere oranla implant sistemini oluşturan parçalarda ve kemik dokuda stres seviyelerinde belirgin bir artış olmuştur. Tüm modellerde, kron/implant oranındaki artış implant sistemini oluşturan parçalarda ve kemik dokuda stres seviyelerinde belirgin bir artışa neden olmuştur.

Sonuç: Bu çalışmanın limitleri dahilinde elde edilen sayısal değerler, kron/implant oranının yük transfer mekanizmalarını ve implantların klinik başarı sürelerini etkilediğini göstermiştir. Mandibular molar bölgede tek diş eksikliklerinde uygulanacak implant tedavisinde 1/1 kron/implant oranının diğer oranlara göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Kron/implant oranındaki artış, stres miktarlarının artmasına ve implantların klinik başarı sürelerinin kısılmasına neden olmuştur.

ANAHTAR KELİMELER

Dinamik yükleme, kısa implant, kron/implant oranı, sonlu eleman stres analizi

ABSTRACT

Evaluation of the effect of crown/implant ratio on stress distribution in dynamic loaded short implants

Background: The aim of this study is to investigate the stress distribution in surrounding bone tissue and implant caused by static and dynamic loaded short implants with different crown/implant ratios by finite element stress analysis method.

Methods: A total of 3 dental implants with a diameter of 4.1 mm and three different lengths (6 mm, 8 mm and 10 mm) were selected. These three implants are designed with three lower first molar metal-supported ceramic crowns on the crown/implant ratio of 1/1, 1.5 / 1 and 2/1 and implant-supported crowns were placed into the mandible model and a total of 9 study models were obtained. For the evaluation of the effect of crown/implant ratio, the vertical and oblique functional forces applied to these models, the maximum and minimum principle stress values in the cortical and spongy bone, the Von Mises stress values on the implant and the fatigue values occurring in the implants were investigated by three dimensional finite element stress analysis method.

Results: Although the same amount of force was applied, there was a significant increase in stress levels in the parts of the implant system and in the bone tissue compared to the models with oblique loading. In all models, the increase in crown / implant ratio caused a significant increase in stress levels in the parts of the implant system and bone tissue.

Conclusion: The numerical values obtained within the limitations of this study showed that the crown/implant ratio affected the load transfer mechanisms and the clinical success times of the implants. It has been determined that 1/1 crown/implant ratio gives better results compared to other ratios in implant treatment which will be applied in one tooth deficiency in mandibular molar region. The increase in crown/implant ratio resulted in increased stress levels and shortening the clinical success times of implants.

KEYWORDS

Dynamic loading, short implant, crown/implant ratio, finite element stress analysis

Her tedavi seçeneğinde birtakım gereklilikler olduğu gibi implant uygulaması için de gerekli ön koşullar vardır. Bu koşullardan en önemlisi yeterli kemik

hacminin bulunmasıdır. Ancak, implant uygulamalarında, özellikle posterior maksiller ve mandibular bölgelerde anatomik oluşumlar ve kemik

* Bu çalışma, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Müdürlüğü tarafından 10B3334003 proje numarası ile desteklenmiştir.

^α Ordu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Ordu

^β Yakın Doğu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Anabilim Dalı, Lefkoşa

rezorbsiyonunun fazla olmasından dolayı implant yerleşimi için dikey yönde yeterli kemik varlığı bulunmayabilir. Bu şekildeki atrofik kret bölgelerinde, implant yerleşimi için yeterli kemik elde etmek amacıyla literatürde birçok teknik tanımlanmıştır. Bu teknikler kullanılarak, sinüs tabanı ile alveoler kret tepesi arasında 3-4 mm'lik kemik varlığında bile implant yerleştirilebildiği bilinmektedir. Ancak, bu cerrahi işlemler için, tedavi zamanında 6 aya varan uzamalara, ek maliyetlere ve ek cerrahi işlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla bu işlemlerin kazanç/maliyet dengesi birçok hekim ve hasta tarafından sorgulanmaktadır. Bu ek işlemlerden kaçınabilmek ve ilk cerrahide implant yerleşimini mümkün kılabilmek için çok farklı tasarımlarda kısa implantlar piyasaya sunulmuştur.¹

Kemik rezorbsiyonunun fazla olduğu posterior dişsiz bölgelerde kısa implantların kullanımının birçok avantajı vardır. Birçok vakada, maksillada sinüs lift uygulamasından, mandibulada ise sinir repozisyonu ve vertikal ogmentasyon uygulamalarından ve bu uygulamaların güçlükleri ve komplikasyonlarından korunulmasını sağlar. Genel olarak bu avantajlar, hastaların motivasyonunu ve implant destekli protez planlamalarının kabul edilirliliğini artırır.^{2,3}

Çeşitli özelliklerinden dolayı kısa implantların endikasyonları hakkında hala tartışmalar mevcuttur. Bu özellikler; azalmış implant yüzeyi ve riske edilmiş kron/implant oranıdır. Alveolar kemikteki destek kemik kaybına bağlı olarak kron/implant oranı zamanla artar. Buna bağlı olarak rotasyon merkezi implantın daha apikaline doğru yer değiştirir ve lateral kuvvetler implant için daha yıkıcı bir etki oluştururlar. Alveol kemik içindeki implant desteğinde değişiklik olmadan yapılan restorasyonlara bağlı olarak oklüzal dikey boyutun artması da kron/implant oranında değişikliklere neden olur.⁴

İmplantların başarı oranları ile implantların uzunluk ve çapları arasındaki ilişkiyi inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Kısa implantlarda gözlenen başarısızlık nedenlerini cerrahi deneyimsizlik, implantların kemik yoğunluğu düşük bölgelere yerleştirilmesi, implant yüzey özelliklerinin dikkate alınmaması gibi faktörlere bağlayan çok sayıda makale mevcuttur. Bunların aksine, kısa implantların başarı oranlarının uzun olanlarla kıyaslanabilecek bir seviyede olduğunu belirten makaleler de bulunmaktadır. Wyatt ve Zarb⁵ 7 mm uzunluğundaki kısa implantların başarı oranlarını % 75, Winkler ve ark.⁶ ise % 74.4 olarak tespit etmişlerdir. Hermann ve ark.⁷ bu oranın %78.2 olduğunu, Weng ve ark.⁸ ise başarısız olan implantların % 60'nın kısa olduğunu ve kısa implantların kümülatif başarı oranının tüm implantların başarı oranına göre oldukça düşük olduğunu belirtmişlerdir Yukardaki çalışmaların aksine kısa implantların yüksek başarı oranına sahip olduğunu belirten çalışmalar da bulunmaktadır. Malo ve ark.⁹ yaptıkları çalışmada 7 mm ve 8.5 mm uzunluğundaki kısa implantların 5 yıl sonraki kümülatif başarı oranını sırasıyla % 96 ve % 97 olarak bulmuşlardır. Anitua ve Orive'nin 2010 yılında yaptığı çalışmada 661 hasta üzerinde uygulanan 1287 kısa implantın % 99 başarı oranı sergilediği belirtilmiştir.³

Bilgisayar uygulamaları ve sonlu eleman stres analiz çalışmaları, implantoloji alanında implant tasarımı, materyal içeriği, yük etkileri ve arayüz problemlerini incelemede kullanılmaktadır.¹⁰ Genel anlamda bütün halindeki problemin, daha küçük, basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözümünün sağlanması ile bütünün çözümlendiği matematiksel analizdir. Bu yöntemin avantajları; yüksek derecede doğruluk, farklı stres durumlarını göstermesi, farklı mekanik parametrelere sahip objelerin incelenbilmesi ve etik olmayan deneylerin simule edilebilmesidir. Dezavantajları ise; cisimlerin geometrisinin matematiksel modele çevirme gerekliliği, yüksek kapasiteli bilgisayara ihtiyaç duyulması ve malzeme parametreleri (izotropi, young modülü) ile ilgili varsayım yapılması gerekliliğidir.¹¹

Başarılı ve sağkalım oranı yüksek implant uygulamaları için materyal özellikleri ve biyomekanik prensipler iyi bilinmelidir. Bu çalışmanın amacı mandibula modeline yerleştirilmiş farklı kron/implant konfigürasyonlarına sahip kısa implantların statik ve dinamik yükler altında oluşturduğu stres dağılımının sonlu elemanlar analiz yöntemiyle incelenmesidir.

GEREÇ VE YÖNTEM

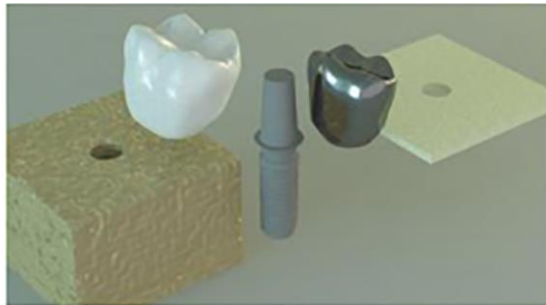
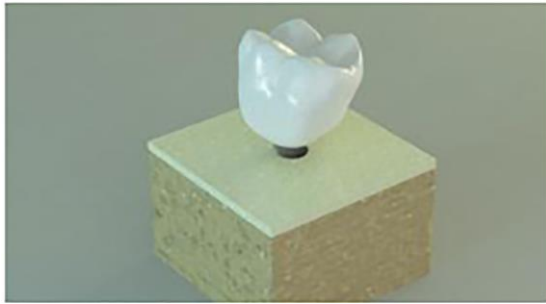
Çalışmada 3 farklı uzunluktaki kemik seviyesi implant (Institute Straumann AG, Basel, İsviçre) kullanılmıştır. Kullanılan implantlar 6 mm, 8 mm, 10 mm uzunluğunda ve 4.1 mm çapındadır. Bu 3 adet implant smartBox (Smartoptics, Oslo, Norveç) tarayıcısında 3 boyutlu tarama işleminden geçirilmiştir. Elde edilen nokta bulutu '.stl' formatında kaydedilmiştir. Bu formattaki dosyalar Rhinoceros (Rhinoceros v4.0, McNeel Europe Corp, Barselona, İspanya) yazılımında açılmış ve burada implantların diğer setlerle uyumu sağlanmıştır. İmplantlar üstüne mandibular 6 numaralı diş morfolojisinde metal destekli seramik kronlar modellenmiştir. Bu amaçla ilgili dişin ön, yan, üst ve alt görüntüleri ve dış boyutları Wheeler Diş Anatomisi Atlası'ndan alınmıştır.¹² Alt yapı olarak krom-kobalt alaşımı (Wiron 99; Bego, Bremen, Almanya), üst yapı olarak ise feldspatik porselen (Ceramco II; Dentsply, Burlington, ABD) kullanılmıştır (Tablo 1).

Kortikal kemik modellemesi için, Rhinoceros yazılımında önce 20x20x1 mm boyutlarında bir kutu modellenmiştir. Arkasından implantın bu kutudan Boolean yöntemi ile çıkartılmasıyla implant ve kortikal kemik uyumu sağlanmıştır. Spongioz kemik modellemesi için, yine Rhinoceros yazılımında önce 20x20x14 mm boyutlarında bir kutu modellenmiştir. Modellenen implantın Boolean yöntemi ile spongioz kemikten çıkartılması ile implant ve spongioz kemik uyumu sağlanmıştır. Modellenen kutunun koronel yüzeyi ile daha önce modellenen kortikal kemiğin apikal yüzeyi arasında Rhinoceros yazılımında uyumlama yapılmıştır (Şekil 1).

Tablo 1.

Çalışmada kullanılan materyallerin uzunlukları

Model	İmplant (mm)	Kron (mm)	Abutment (mm)	Metal (mm)	Porselen (mm)
1	6	6	4	0,5	1,5
2	6	9	4	3,5	1,5
3	6	12	4	6,5	1,5
4	8	8	5,5	1	1,5
5	8	12	5,5	5	1,5
6	8	16	5,5	9	1,5
7	10	10	7	1,5	1,5
8	10	15	7	6,5	1,5
9	10	20	7	11,5	1,5

**Şekil 1.**

İmplant, abutment, metal altyapı, porselen, kortikal ve spongiöz kemik modellemesi

Modeller, VRMesh (VirtualGrid, Washington, ABD) yazılımı ile geometrik olarak oluşturulduktan sonra analize hazır hale getirilmeleri ve analizlerinin yapılması için, stl formatında Algor Fempro (Algor Inc., Pennsylvania, USA) yazılımına aktarılmıştır. Tüm modeller lineer, homojen ve izotropik materyaller olarak kabul edilmiştir. İncelenen tüm modellerde, kortikal kemik ile spongiöz kemiğin kendi iç özelliklerine uygun olarak yük aktarımı yaptıkları ve birlikte çalıştıkları kabul edilmiştir. Aynı şekilde, implant ile kemik yapısı, implant ile abutment ve abutment ile metal destekli seramik kron arasındaki bağlantı, basıncı kesintisiz olarak iletecek şekilde sağlanmıştır. İmplantların

mandibulaya % 100 osseointegre olduğu varsayılmıştır. Modeller kemiğin alt ve yan taraflarından 'Degree of freedom'da (DOF) sıfır harekete sahip olacak şekilde sabitlenmiştir. Tüm modellere ait eleman ve düğüm sayıları ile materyal özellikleri **Tablo 2** ve **Tablo 3**'te verilmiştir.

Tablo 2.

Modellerin eleman ve düğüm sayıları

Model no	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
1	125485	22283
2	140601	24872
3	155716	27461
4	148998	26310
5	173937	30369
6	198875	34427
7	177054	30876
8	219042	38067
9	261029	45258

Tablo 3.

Materyal özellikleri

Set Adı	Malzeme	Elastisite Modülü (Gpa)	Poisson Oranı
Kortikal Kemik	Kortikal D2 kemik	13,7	0,3
Spongiöz Kemik	Spongiöz Kemik	1	0,3
İmplant ve Abutment	Titanyum	110	0,3
Metal Altyapı	Krom Kobalt Alaşımı	218	0,33
Kron	Felspatik Porselen	82,8	0,35

Çalışmada statik yükleme için 2 farklı senaryoda kuvvet uygulaması yapılmıştır. Birinci senaryoda; her bir implantın abutmentinin üzerine yerleştirilen metal destekli seramik restorasyonların oklüzal tablasının santral fossasından 300 N kuvvet dik yönde uygulanmıştır. İkinci senaryoda ise; her bir krona mesiobukkal, bukkal ve distobukkal tüberkül tepelerinden 100'er Newton olmak üzere toplam 300 N kuvvet 45°'lik açı ile bukkolingual yönde uygulanmıştır. Elde edilen Maksimum (gerilme) ve Minimum (sıkışma) asal stres değerleri kortikal ve spongiöz kemik için, Von Mises stres değerleri ise implantlar için değerlendirilmiştir. Dinamik yükleme için elde edilen statik yükleme analiz sonuçlarını referans alarak, titanyum modeller üzerinde yorulma analizi yapılmıştır. Yorulma analizi, implantın üretildiği "Grade IV titanyum" malzeme değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Dinamik yük uygulamalarında; statik yükleme için kullanılan kuvvet değerleri aynı oranda ve aynı açıda belirlenen bölgelere 1 Hz frekansta uygulanmıştır. Bu uygulama toplam 7 siklusta gerçekleştirilmiştir. Stres analizlerini takiben implantlar tek tek 'Algor Fatigue Wizard' yazılımına yüklenmiştir. Bu yazılımda, yorulma deneyleri için Stain Based analiz uygulaması seçilmiştir.

BULGULAR

Vertikal yükleme altında, kortikal kemik, spongiöz kemikten daha yüksek bir stres konsantrasyonu sergilemiştir. Minimum asal stres değerlerinin tüm modellerde maksimum asal stres değerlerinden daha yüksek olduğu ve implantın boyun bölgesinde homojen olarak dağıldığı görülmüştür. Kortikal kemikte, en yüksek minimum asal stres değeri -11.41 MPa ile 2/1 kron/implant oranına sahip 6 mm'lik implantı çevreleyen kortikal kemikte, en düşük değer ise -8.3 MPa ile 1/1 kron/implant oranına sahip 10 mm'lik implantı çevreleyen kortikal kemikte elde edilmiştir (Şekil 2). Aynı bölgelerin maksimum asal stres değerleri incelendiğinde her bölgede olduğu gibi düşük seviyelerde gözlemlenmiştir. Spongiöz kemikte en yüksek minimum asal stres değeri -2.13 MPa ile 2/1 kron/implant oranına sahip 6 mm'lik implantın apikalinde, en düşük değer ise -1.55 MPa ile 1/1 kron/implant oranına sahip 10 mm'lik implantın apikalinde tespit edilmiştir. Bütün modellerde implantlarda meydana gelen stres dağılımları üst yivlerde ve implantın koronal üçlüsünde yoğunlaşmıştır. İmplantlarda elde edilen en yüksek Von Mises stres değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değer ortalama 108.3 MPa ile 6 mm'lik implantlarda, en düşük değer ise ortalama 84.6 MPa ile 10 mm'lik implantlarda tespit edilmiştir (Şekil 3) (Tablo 4).

Tablo 4.

Dik yükleme yapılan modellerden elde edilen stres değerleri

Yapı	Değerler (MPa)	Değerler (MPa)									
		6x6	6x9	6x12	8x8	8x12	8x16	10x10	10x15	10x20	
Kortikal Kemik	Min.Asal Stres	-11.1	-11.3	-11.4	-9.4	-9.5	-9.6	-8.3	-8.4	-8.6	
	Max. Asal Stres	3.34	3.36	3.38	2.61	2.63	2.64	2.51	2.53	2.56	
Spongiöz Kemik	Min.Asal Stres	-2.1	-2.12	-2.13	-1.76	-1.77	-1.79	-1.55	-1.86	-1.58	
	Max.Asal Stres	1.1	1.2	1.2	1.01	1.02	1.03	0.9	0.9	1	
Implant	von Mises	107.8	108	108.3	90.1	90.5	90.7	84.7	84.7	84.9	

Tablo 5.

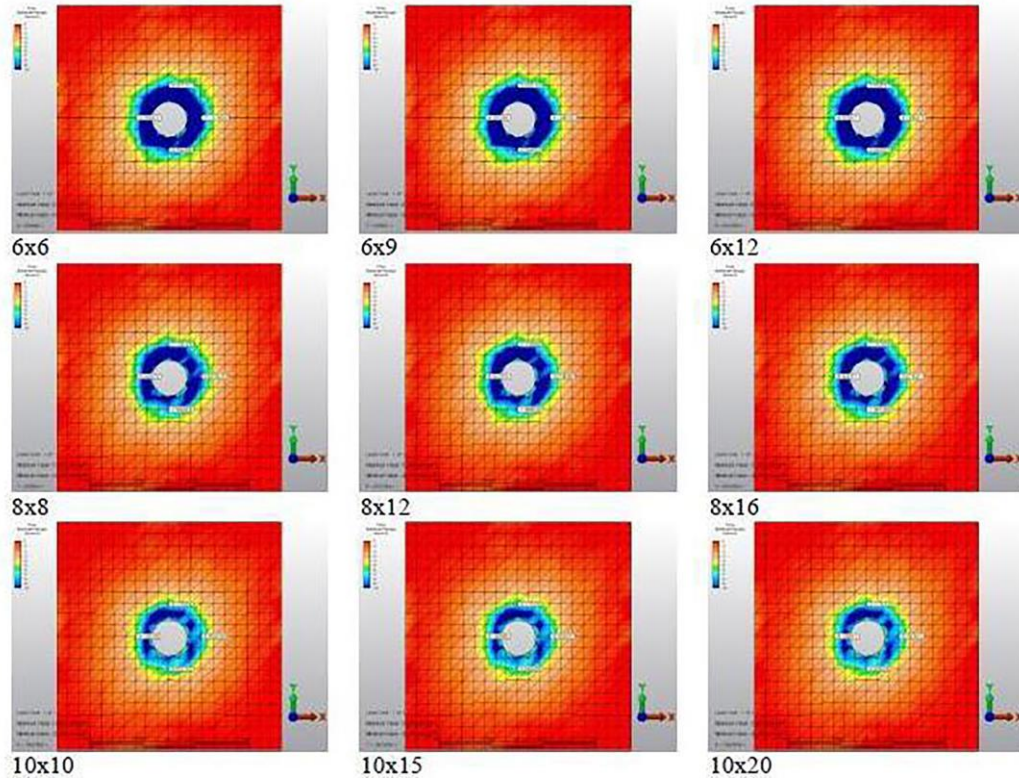
Oblik yükleme yapılan modellerden elde edilen stres değerleri

Yapı	Değerler (MPa)	Değerler (MPa)									
		6x6	6x9	6x12	8x8	8x12	8x16	10x10	10x15	10x20	
Kortikal Kemik	Min.Asal Stres	-41.7	-49.4	-57.1	-36.5	-45.2	-54	-38.9	-49.3	-59.8	
	Max. Asal Stres	31.81	40.7	49.15	29.05	39.2	49.37	33.01	44.94	56.9	
Spongiöz Kemik	Min.Asal Stres	-6.44	-7.56	-8.67	-5.97	-7.38	-8.44	-6.1	-7.73	-9.36	
	Max.Asal Stres	2.46	3.47	4.49	2.11	3.14	4.18	2.15	3.14	4.13	
Implant	von Mises	166	224.1	282.3	144.8	234.6	319.2	280.1	393.1	506.1	

Oblik yükleme altında, en yüksek minimum asal stres değeri implantın boyun kısmını çevreleyen kemiğin palatal kısmında, en yüksek maksimum asal stres değeri ise implantın boyun kısmını çevreleyen kemiğin bukkal kısmında izlenmiştir. Kortikal kemikte, en yüksek minimum asal stres değeri, -59.85 MPa ile 2/1 kron/implant oranına sahip 10 mm'lik implantı çevreleyen kortikal kemiğin lingualinde, en düşük değer ise -36.52 MPa ile 1/1 kron/implant oranına sahip 8 mm'lik implantı çevreleyen kortikal kemiğin lingualinde izlenmiştir (Şekil 4). Maksimum asal stres değerleri incelenecek olursa, en yüksek değer 56.9 MPa ile 2/1 kron/implant oranına sahip 10 mm'lik implantı çevreleyen kortikal kemiğin bukkalinde,

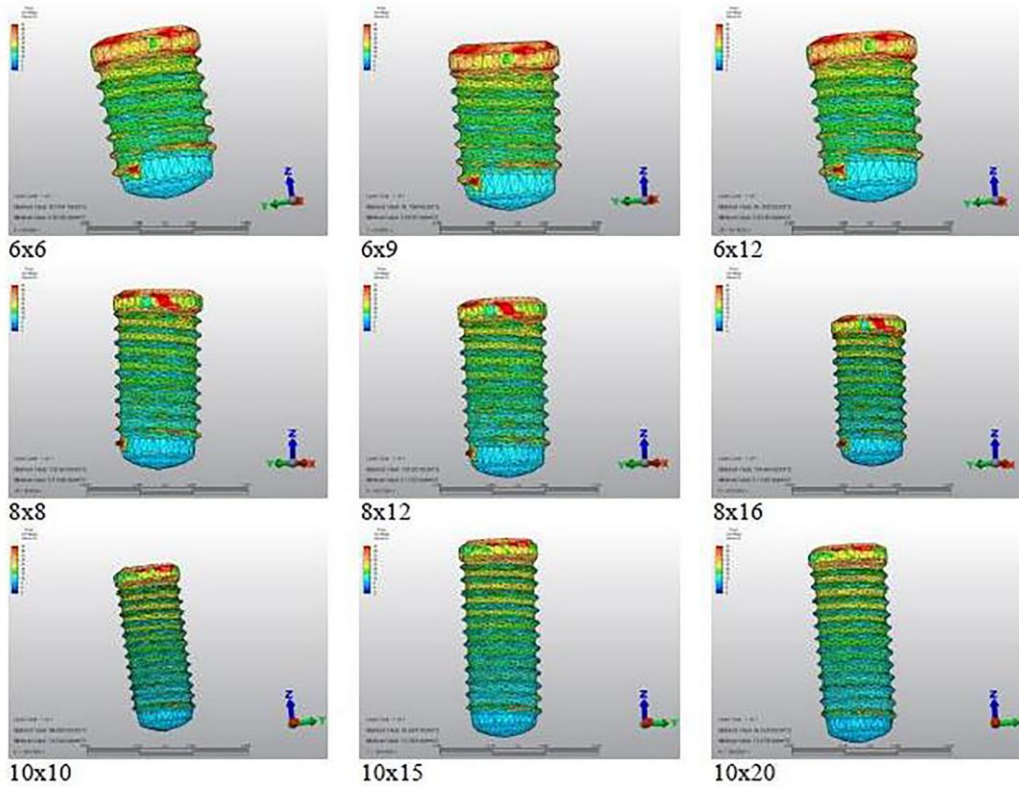
en düşük değer ise 29.05 MPa ile 1/1 kron/implant oranına sahip 8 mm'lik implantı çevreleyen kortikal kemiğin bukkalinde tespit edilmiştir. Spongiöz kemikte, en yüksek minimum asal stres değeri, -9.36 MPa ile 2/1 kron/implant oranına sahip 10 mm'lik implantı çevreleyen spongiöz kemiğin lingual boyun ve apikal bölgelerinde, en düşük değer ise -5.97 MPa ile 1/1 kron/implant oranına sahip 8 mm'lik implantı çevreleyen spongiöz kemiğin lingual boyun ve apikal bölgelerinde izlenmiştir. İmplantlarda meydana gelen stres değerleri, vertikal yüklemeye olduğu gibi implantın üst yivlerinde ve koronal üçlüde yoğunlaşmıştır. En yüksek Von Mises stres değeri 506.1 MPa ile 2/1 kron/implant oranına sahip 10 mm'lik implantta tespit edilmiştir. En düşük değer ise 1/1 kron/implant oranına sahip 8 mm'lik implantta 144.8 MPa olarak tespit edilmiştir (Şekil5) (Tablo 5).

Dinamik yükleme deney sonuçları Tablo 6'da, farklı kron/implant oranlarıyla restore edilmiş farklı uzunluktaki tek diş implant üstü restorasyonların klinik başarısızlığın görüldüğü yükleme siklusu sayısı (KBSS) ile gösterilmiştir. Tahmini klinik başarı süresi, KBSS sonuçlarının yıllık 350000 çiğneme döngüsüne bölünmesiyle hesaplanmıştır. Vertikal yükleme uygulanan grupta tespit edilen en yüksek KBSS değeri, 1/1 kron/implant oranına sahip 10 mm'lik implantta 9.4 milyon siklustur. En düşük değer ise 6.8 milyon siklus ile 2/1 kron/implant oranına sahip 6 mm'lik implantta tespit edilmiştir. Oblik kuvvet uygulanan grupta ise, tespit edilen en yüksek KBSS değeri, 1/1 kron/implant oranına sahip 10 mm'lik implantta 6.3 milyon siklustur. En düşük değer ise 4.5 milyon siklus ile 2/1 kron/implant oranına sahip 6 mm'lik implantta tespit edilmiştir.



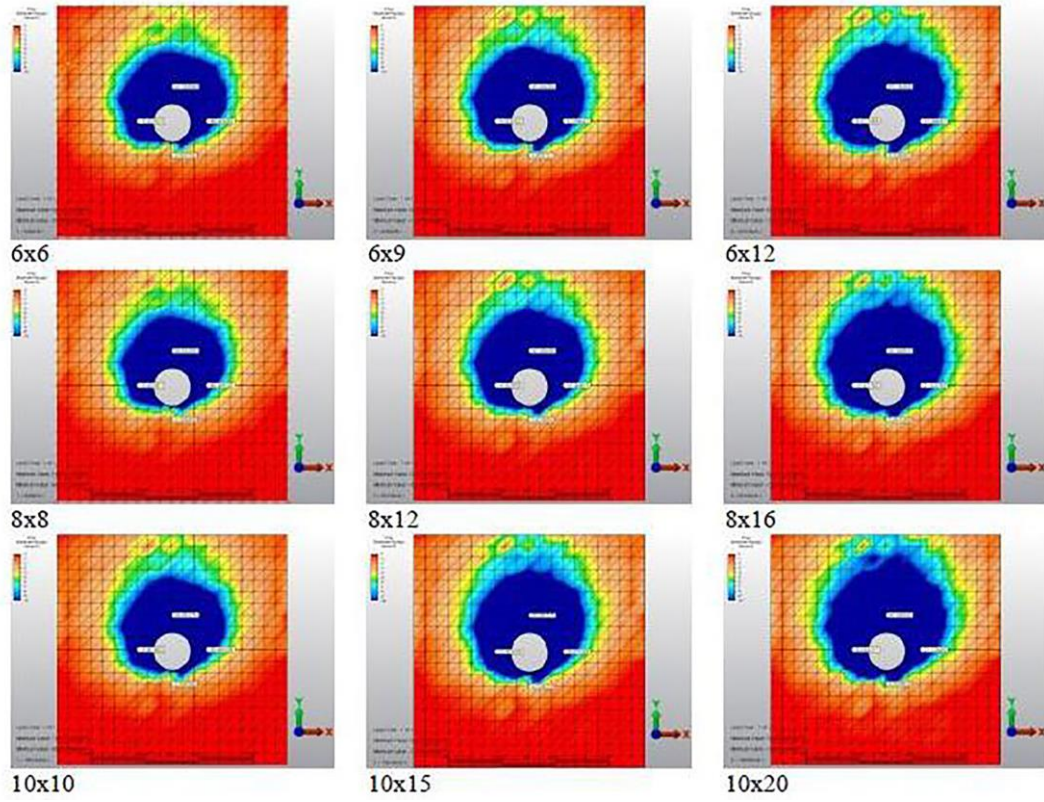
Şekil 2.

Dik kuvvet uygulanan dokuz adet modelin kotikal kemik minimum asal stres değerleri



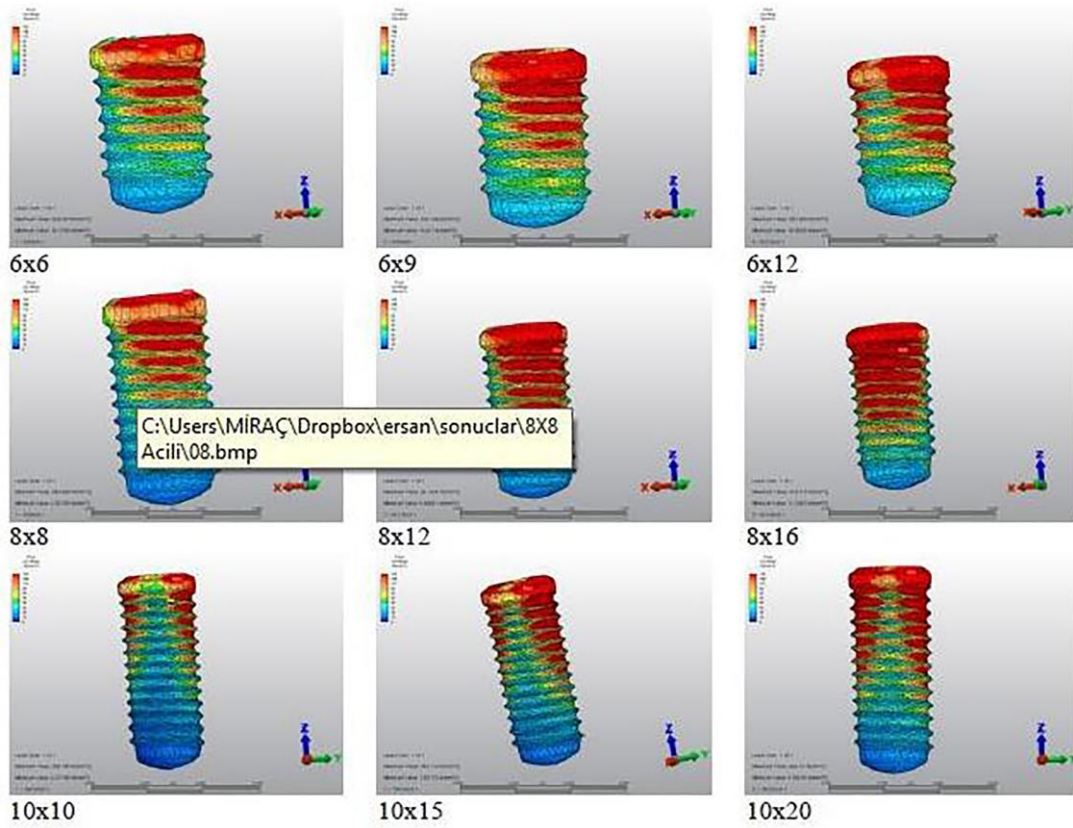
Şekil 3.

Dik kuvvet uygulanan dokuz adet modelin implant Von Mises stres değerleri



Şekil 4.

Oblik kuvvet uygulanan dokuz adet modelin kotikal kemik minimum asal stres değerleri



Şekil 5.

Oblik kuvvet uygulanan dokuz adet modelin implant Von Mises stres değerleri

Tablo 6.**Dik ve oblik kuvvet uygulanan dokuz adet modelin yorulma deneyi sayısal sonuçları**

Kuvvet	Model	KBSS Değeri (milyon siklus)	Yaklaşık Klinik Başarı Süresi (yıl)
Vertikal	6x6	7,5	18,7
	6x9	7,1	17,7
	6x12	6,8	17
	8x8	8,8	22
	8x12	8,4	21
	8x16	8,2	20,5
	10x10	9,4	23,5
	10x15	9,2	23
	10x20	8,9	22,2
Oblik	6x6	5,1	12,7
	6x9	4,8	12
	6x12	4,5	11,2
	8x8	6	15
	8x12	5,9	14,75
	8x16	5,6	14
	10x10	6,3	15,7
	10x15	6	15
	10x20	5,8	14,5

TARTIŞMA

Dental restorasyonların uzun dönem başarılarını etkileyen en önemli faktörlerin başında biyomekanik etkileşimler gelmektedir. Bu nedenle, restorasyonların daha uzun ömürlü olabilmeleri için en uygun biyomekanik koşullar sağlanmalıdır. Diş çekimlerini takiben alveolar krette yıkımlar meydana gelir. Bu nedenle, özellikle posterior bölgelerde, kron uzunluğu artmış restorasyonların yapılması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Kret rezorbsiyonu ve mandibular sinirin varlığı nedeniyle yeterli kemik hacminin mevcut olmaması sonucu bu bölgelerde kısa implantların kullanımı endike hale gelir. Bu klinik durumda ise kron/implant oranı, biyomekanik olarak en fazla dikkat edilmesi gereken konuyu oluşturur. Kron boyu, implant-kron birleşimindeki yük dağılımlarını etkilemektedir. Kron boyu dikey kaldıraç olarak etki gösterdiğinden, kron boyu arttıkça oblik kuvvetlerin oluşturduğu moment etkisi de artar. Kron yüksekliğindeki 1 mm'lik artış sonucu oluşan kuvvetin %20 kadar artacağı bildirilmiştir.¹³

Literatürde 10 mm'lik ve 4.1 mm çapındaki implantın standart implant olduğu, bu uzunluktan daha kısa uzunluktaki implantların kısa implant olarak nitelendirildiği belirtilmiştir.^{2,14} Bu nedenle çalışmada 6 mm ve 8 mm uzunluğundaki kısa implantlardaki sonuçlar 10 mm uzunluğundaki standart implantın sonuçlarıyla ve ayrıca kendi aralarında kıyaslanmıştır. Dik ve oblik kuvvet uygulanan dokuz adet modelin statik yüklemeleri karşılaştırıldığında; oblik kuvvet uygulanan modellerde, dik kuvvet uygulanan modellere oranla kemik yapıda daha yüksek minimum ve maksimum asal stres değerleri ve implantlarda da daha yüksek Von Mises değerleri elde edilmiştir. Hem dik hem de oblik kuvvet uygulamalarında, modellerdeki spongioz kemikte meydana gelen stres değerleri kortikal kemikte meydana gelenlerden düşük olduğu tespit edilmiştir. En yüksek stres değerleri implantlarda meydana gelmiştir.

Kron/implant oranındaki artış kemikte meydana gelen stres değerlerini oldukça düşük oranda etkilerken implant uzunluğundaki artış streslerin azalmasına neden olmuştur. Aynı kron/implant oranına sahip implantlarda implant uzunluğunun 6 mm'den 8 mm'ye çıkması meydana gelen stresleri yaklaşık % 15 azaltırken, 10 mm'ye çıkması ise stresleri yaklaşık % 28 azaltmıştır.

Bu çalışmanın asıl sonuçlarını belirleyecek olan yükleme koşulunun oblik yükleme koşulu olduğu düşünülmektedir. Bu düşüncenin sebebi, esas yıkıcı kuvvetlerin yatay kuvvetlerin olması ve dik yükleme koşulunda çok belirgin olmayan asıl yıkıcı stres birikimlerinin oblik yükleme koşulunda daha belirgin bir şekilde meydana gelmesidir.¹⁵ Bu grupta kortikal kemikte tespit edilen en yüksek minimum asal stres değeri 2/1 kron/implant oranındaki 10 mm'lik implantı çevreleyen kortikal kemiğin lingalinde 59.85 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç, üstyapı olarak tasarlanan kronun 20 mm olmasından kaynaklanmaktadır. Klinikte çok yaygın olmayan bu durumu gözardı ettiğimizde en yüksek ikinci değerin, 57.18 MPa ile, 2/1 kron/implant oranına sahip 6 mm'lik implantı çevreleyen kortikal kemiğin lingualinde meydana geldiği izlenmektedir. En düşük değer ise, 36.52 MPa ile 1/1 kron/implant oranına sahip 8 mm'lik implantı çevreleyen kortikal kemiğin lingualinde tespit edilmiştir. Kron/implant oranındaki artış, kortikal kemikte meydana gelen stres değerlerinde belirgin bir artışa neden olmuştur.

6 mm'lik implantlarda kron/implant oranı 1/1'den 1.5/1'e çıkartıldığında kortikal kemikte meydana gelen stres değerlerindeki artma % 19, 2/1'e çıkartıldığında ise % 37 olarak tespit edilmiştir. 8 mm'lik implantlarda kron/implant oranı 1/1'den 1.5/1'e çıkartıldığında kortikal kemikte meydana gelen stres değerlerindeki artma % 24, 2/1'e çıkartıldığında ise % 47 olarak tespit edilmiştir. 10 mm'lik implantlarda kron/implant oranı 1/1'den 1.5/1'e çıkartıldığında kortikal kemikte meydana gelen stres değerlerindeki artma % 27, 2/1'e çıkartıldığında ise % 54 olarak tespit edilmiştir.

Kemik-implant arayüzündeki kemik rezorbsiyonunun en önemli nedenlerinden biri oluşan asal stres değerleridir. Kortikal kemikte minimum asal stres değeri 170-190 MPa'yı, maksimum asal stres değeri ise 100-130 MPa'yı geçtiği zaman

kemikte aşırı yüklenme meydana gelir.^{16,17} Çalışmada kortikal kemikten elde edilen minimum asal stres değerleri incelendiği zaman en yüksek değerlerin oblik yüklenme koşullarında 2/1 kron/implant oranına sahip 10 mm'lik ve 6 mm'lik implantların çevresinde sırasıyla 59.8 MPa ve 57.1 MPa olarak tespit edildiği görülmüştür. En yüksek maximum asal stres değeri ise yine oblik yüklenme koşulunda 56.9 MPa ile 2/1 kron/implant oranına sahip 10 mm'lik implantın çevresinde elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler kortikal kemiğin belirtilen maksimum değerlerinin çok altındadır.

Kron/implant oranındaki artış, implantlarda meydana gelen Von Mises stres değerlerini de arttırmıştır. Kron/implant oranının 1/1'den 1.5/1'e çıkartılması 6 mm'lik implantlarda % 35, 8 mm'lik implantlarda % 60, 10 mm'lik implantlarda ise % 40'lık bir stres artışına neden olmuştur. Aynı oranın 1/1'den 2/1'e çıkartılması sonucunda ise implantlarda meydana gelen Von Mises stres değerleri sırasıyla % 69, % 121 ve % 81 oranında artmıştır. Kron/implant oranındaki artışın implant sisteminde ciddi bir stres artışına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, klinik koşulları daha iyi yansıtabilmek için, statik yük uygulamasına ilave olarak dinamik yük uygulaması da yapılmıştır. Isırma eylemi, zaman içinde değişkenlik gösteren dinamik bir eylemdir. Mandibulanın en yüksek kapanma hızı maksilla rehber alındığında yaklaşık 140 mm/sn'dir. Bir öğün sırasında geçen çiğneme süresi 450 saniyedir. Çiğnemenin 1 Hz'lik frekansla yapıldığı ve mandibulanın kapanış hızıyla hesaplandığında, her çiğneme darbesinde 0.3 sn dişin temasta bulunduğu düşünüldüğünde, çiğneme kuvvetleri dişler üzerinde günde 9 dakika süreyle etkili olmaktadır. Buna, yutkunma gibi aktiviteler de ilave edildiğinde dişler günde yaklaşık 17.5 dakika temasta kalmaktadır.¹⁸ Bu bilgilere göre, literatürde 1 yıllık çiğneme sayısı yaklaşık 383250 siklustur.¹⁹ Elde edilen KBSS değerleri, yıllık çiğneme sayısına bölüldüğünde implant-abutment sisteminin yaklaşık klinik başarı süreleri öngörülebilmektedir. Bu durumda kron/implant oranındaki artışın implantların klinik başarı sürelerini azalttığı görülmüştür. Elde edilen veriler ışığında kron/implant oranının 1/1'den 2/1'e çıkması durumunda 6 mm'lik implantın klinik başarı süresinin yaklaşık 1.5 yıl azaldığı görülmüştür. Aynı azalma 8 mm'lik implantlarda 1, 10 mm'lik implantlarda ise 1.2 yıl olarak tespit edilmiştir.

Dinamik yüklenme sonucu implant sistemindeki metal yorgunluğu implant-abutment bağlantısına yakın bölgelerde oluşmuştur. Çehrel ve ark.²⁰ farklı implant ve abutment bağlantı tasarımlarının dinamik yüklenme sonucu yorulma direncini incelediği çalışmalarında, bulgularımıza paralel olarak, implant-abutment sisteminde meydana gelen metal yorgunluğunun bağlantı bölgesinde oluştuğunu bildirmişlerdir.

Carvalho ve ark.²³ 7 mm ve 15 mm'lik implantları karşılaştırdıkları çalışmalarında, uzun implantların kemik dokusunda daha az stres oluşturduğunu, bu nedenle mümkün olduğu durumlarda uzun implantların kullanımının klinikte daha uzun ömürlü restorasyonlar sağlayacağını bildirmişlerdir. Chang ve ark.²⁴ kısa implantların kullanılacağı vakalarda hasta seçiminde dikkatli olunması gerektiğini, kemik yoğunluk ve hacminin artırılması gerektiğini tavsiye etmişlerdir. Lateral oklüzal kuvvetlerin kemikte ve implantta oluşturacağı stresi azaltmak için kron/implant oranına dikkat edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Demenko ve ark.'ın²⁵ implant uzunluğu ve çapındaki artışın kortikal kemikte oluşan stres değerlerini azalttığını bildirdiği çalışmalarında, kortikal kemiğin aşırı yüklenmesi sonucu, oblik oklüzal yükler altında implant-kron sisteminin boyun bölgesinde sorunlar oluşabileceğini öngörmüşlerdir. Maior ve ark.²⁶ 2012 yılında yaptıkları çalışmada da posterior mandibulaya yerleştirilen 5 mm'lik kısa implantların sahip oldukları yüksek kron/implant oranlarından dolayı stres oluşumunda önemli bir artışa neden olduklarını belirtmişlerdir. Gross²⁷, implant destekli protezlerde oklüzyonu değerlendirdiği derlemede gerek tek diş implant destekli restorasyonlarda, gerekse posterior implant destekli sabit köprü restorasyonlarında biyomekanik açıdan avantaj elde etmek için minimum implant uzunluğunun 10 mm ve minimum çapın 3.75 mm olması gerektiğini bildirmiştir. Aynı çalışmada kron/implant oranının 1/1'den fazla olduğu durumlarda klinik olarak başarısızlık görülebileceği belirtilmiştir. Rainer ve ark.² çalışmalarında, 6 mm'lik implantlarla 8 mm'lik implantların aynı klinik başarı sürelerine sahip olduğunu bildirmişlerdir.¹⁴ Annibali ve ark. da kısa implantlar için yüksek başarı oranlarının bulunduğu bildirmişlerdir.

Di Fiore ve ark.²⁸ mandibular posterior bölgede kısa implantların kullanıldığı sabit protezlerde, yüksek kron/implant oranının marjinal kemik seviyesinde fazla yıkıma neden olduğunu bildirmişlerdir. Bitaraf ve ark.²⁹ ise kısa implantlarla standart implantların marjinal kemik seviyesindeki değişiklikleri karşılaştırdıkları derlemesinde iki implant uzunluğunun da benzer sonuçlar sergilediğini fakat kısa implantların daha fazla biyolojik komplikasyon gösterebileceğini ifade etmişlerdir. Thoma ve ark.³⁰ da 5 yıllık klinik takip yaptıkları çalışmalarında, her iki uzunluktaki implantlarla yapılan tedavi şeklinin de, atrofik posterior maksillada implant tedavisi için uygun olup, sağkalım oranları, marjinal kemik seviyelerindeki değişiklikler, hasta tarafından bildirilen sonuçlar ve teknik/biyolojik komplikasyonlar arasında bir fark olmadığını ortaya koymuştur.

İmplant biyomekaniği ile ilgili yapılan sonlu eleman stres analizlerinin hiçbiri kemik doku ve implant

sistemlerinde meydana gelen streslerin değerlendirilmesinde tam olarak yol gösterici olamamıştır. Bu nedenle, elde edilen verilerin klinik araştırmalarla desteklenmesi gerekmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmanın limitleri dahilinde aşağıdaki sonuçlara varılabilir;

- Elde edilen sayısal değerler, kron/implant oranının yük transfer mekanizmalarını ve implantların klinik başarı sürelerini etkilediğini göstermiştir.
- Mandibular molar bölgede tek diş eksikliklerinde uygulanacak implant tedavisinde 1/1 kron/implant oranının diğer oranlara göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.
- Kron/implant oranındaki artış stres miktarlarının artmasına ve implantların klinik başarı sürelerinin kısılmasına neden olmuştur.

KAYNAKLAR

1. Park KB, Ryu KH. *The Short Implant (5 mm & 6 mm in Length)*. Seul: Narae Publishing Inc, 2007.
2. Annibaldi S, Cristallı MP, Dell'aquila D, Bignozzi I, La Monaca G, Pilloni A. Short dental implants: A systematic review. *J Dent Res* 2012; 91: 25-32.
3. Anitua E, Orive G. Short implants in maxillae and mandibles: A retrospective study. *J Periodontol* 2010; 81: 819-26.
4. Grossmann Y, Sadan A. The prosthodontic concept of crown-to-root ratio: A review of the literature. *J Prosthet Dent* 2005; 93: 559-62.
5. Wyatt CC, Zarb GA. Treatment outcomes of patients with implant-supported fixed partial prostheses. *Int J Oral Maxillofac Imp* 1998; 13: 204-11.
6. Winkler S, Morris HF, Ochi S. Implant survival to 36 months as related to length and diameter. *Ann Periodontol* 2000; 5: 22-31.
7. Hermann I, Lekholm U, Holm S, Kultje C. Evaluation of patient and implant characteristics as potential prognostic factors for oral implant failures. *Int J Oral Maxillofac Imp* 2005; 20: 220-30.
8. Weng D, Jacobson Z, Tarnow D, Hurzeler M, Faehn O, Sanavi P ve ark. A prospective multicenter clinical trial of 3i machined-surfaced implants: Results after 6 years of follow-up. *Int J Oral Maxillofac Imp* 2003; 18: 417-23.
9. Malo P, Nobre MA, Rangert B. Short implants place done-stage in maxilla and mandibles: A retrospective clinical study with 1 to 9 years of follow-up. *Clin Imp Dent Relat Res* 2007; 9: 15-21.
10. Yurdukoru B, Eskitascioglu G. Computer applications in dentistry. *Ankara Univ Diş Hekim Fak Derg* 1998; 15: 241-48.
11. Karl M, Dickinson A, Holst S, Holst A. Biomechanical methods applied in dentistry: A comparative overview of photoelastic examinations, strain gauge measurements, finite element analysis and three-dimensional deformation analysis. *Eur J Prosthodont Rest Dent* 2009; 17: 50-7.
12. Nelson SJ, Major M. *Ash Jr. Wheeler's Dental Anatomy, Physiology and Occlusion*, 9th edn. Missouri: Saunders Publishing, 2010.
13. Misch CE. *Dental Implant Prosthetics*. Missouri: Elsevier Mosby, 2005.
14. Rainer AU, Daher S, Leary J, Emanuel KM, Chuang AK. The survival of ultrashort locking-taper implants. *Int J Oral Maxillofac Imp* 2012; 27: 644-54.
15. Holmgren EP, Seckinger RJ, Kilgren LM, Mante F. Evaluating parameters of osseointegrated dental implants using finite element analysis-A two-dimensional comparative study examining the effects of implant diameter, implant shape, and load direction. *J Oral Implantology* 1998; 24: 80-8.
16. Natali AN. *Dental Biomechanics*. London: Taylor & Francis Publishing, Co Inc, 2003.
17. Bağrı L, Cappelloni I, Girolama MD, Maceri F, Vairo G. The influence of implant diameter and length on stress distribution of osseointegrated implants related to crestal bone geometry: A three-dimensional finite element analysis. *J Prosthet Dent* 2008; 100: 422-31.
18. Laurell L, Lundgren D. A standardized programme for studying the occlusal force pattern during chewing and biting in prosthetically restored dentitions. *J Oral Rehabil* 1984; 11: 39-44.
19. Kharisat A, Stegaroiu R, Nomura S, Miyakawa O. Fatigue resistance of two implant-abutment joint designs. *J Prosthet Dent* 2002; 88: 604-10.
20. Cehreli MC, Akca K, Iplikcioglu H, Sahin S. Dynamic fatigue resistance of implant-abutment junction in an internally notched Morse-taper oral implant: influence of abutment design. *Clin Oral Imp Res* 2004; 15: 459-65.
21. Blanes RJ. To what extent does the crown-implant ratio affect the survival and complications of implant-supported reconstructions: A systematic review. *Clin Oral Imp Res* 2009; 20: 67-72.
22. Birdi H, Schulte J, Kovacs A, Weed M, Chuang SK. Crown-to-implant ratios of short-length implants. *J Oral Imp* 2010; 6: 425-33.
23. Carvalho NA, Almeida EO, Rocha EP, Freitas AC, Anchieta RB, Kina S. Short implant to support maxillary restorations: Bone stress analysis using regular and switching platform. *J Craniofac Surgery* 2012; 23: 678-81.
24. Chang SH, Lin CL, Hsue SS, Lin YS, Huang SR. Biomechanical analysis of effects of implant diameter and bone quality in short implants placed in atrophic posterior maxilla. *Med Eng Phys* 2012; 34: 153-60.
25. Demenko V, Linetsky K, Nesvit K, Scevchenko A. Ultimate masticatory force as a criterion in implant selection. *J Dent Res* 2011; 90: 1211-5.
26. Maior BSS, Senna PM, Silva WJ, Rocha EP, Cury AADB. Influence of crown-to-implant ratio, retention system, restorative material, and occlusal loading on stress concentrations in single short implants. *Int J Oral Maxillofac Imp* 2012; 27: 13-8.
27. Gross MD. Occlusion in implant dentistry: A review of the literature of prosthetic determinants and current concepts. *Aust Dent J* 2008; 53: 60-8.

28. Di Fiore A, Vigolo P, Sivoiella S, Cavallin F, Katsoulis J, Monaco C ve ark. Influence of Crown-to-Implant Ratio on Long-Term Marginal Bone Loss Around Short Implants. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2019 Feb 19. doi: 10.11607/jomi.7161.
29. Bitaraf T, Keshtkar A, Rokn AR, Monzavi A, Geramy A, Hashemi K. Comparing short dental implant and standard dental implant in terms of marginal bone level changes: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2019 May 1. doi: 10.1111/cid.12774.
30. Thoma DS, Haas R, Sporniak-Tutak K, Garcia A, Taylor TD, Hämmerle CHF. Randomized controlled multicentre study comparing short dental implants (6 mm) versus longer dental implants (11-15 mm) in combination with sinus floor elevation procedures: 5-Year data. *J Clin Periodontol*. 2018; 45: 1465-74.

Yazışma Adresi:

Dr. Öğr. Üyesi Ersan ÇELİK
Ordu Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi
Protetik Diş Tedavisi AD
Cumhuriyet Kampüsü, 52200, Ordu, Türkiye
Tel : +90 505 748 61 81
Faks : +90 452 212 12 89
E-Posta: ersancelik@gmail.com