

ARAŞTIRMA

'All-On-Four', 'All-On-Five' ve 'All-On-Six' Konsepti Kullanılarak Üretilen Protezlerin Stres Dağılımının Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi İle İncelenmesi

İkbal Leblebicioğlu Kurtuluş(0000-0001-9122-9852)^α, Emir Esim(0000-0001-5760-4858)^β, Duygu Kılıç(0000-0002-2602-6415)^γ, Kerem Kılıç(0000-0002-2602-6415)^α

Selcuk Dent J, 2021; 8: 774-782 (Doi: 10.15311/selcukdentj.864992)

Başvuru Tarihi: 24 Temmuz 2020
Yayına Kabul Tarihi: 20 Ağustos 2020

ÖZ

'All-On-Four', 'All-On-Five' ve 'All-On-Six' Konsepti Kullanılarak Üretilen Protezlerin Stres Dağılımının Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi İle İncelenmesi

Amaç: Bu çalışmanın amacı; tam dişsiz üst çenede All-on-Four, All-on-Five ve All-on-Six tekniğine göre yerleştirilmiş implantlar üzerine yapılan protezlerin 3 boyutlu modellerinin kemik, implant elemanları ve protetik elemanlar üzerinde oluşturduğu stresleri sonlu elemanlar analiz yöntemi ile değerlendirmektir.

Gereç ve Yöntemler: Tamamen dişsiz atrofik maksillada, All-on-Four, All-on-Five ve All-on-Six konseptine göre üç farklı tedavi planı oluşturulmuştur. En posterior implantlar bütün gruplarda premolarlar bölgesinde, distale doğru 30 derece eğimli olarak konumlandırılmıştır. Alt yapı; krom-kobalt (Cr-Co) alaşımından kesilmiş diş formunda, üst yapı ise monolitik zirkonya olarak ayrı ayrı modellenmiştir, daha sonra kontakt noktalarından temas sağlanmıştır. Protez kantilever uzunluğu 10mm olarak sabit tutulmuştur. Kuvvetler; palatobukkal yönde 45° açıyla, 3,4,5,6 no'lu dişlere sırasıyla; 100N, 150N, 150N, 200N olacak şekilde çift taraflı olarak uygulanmıştır. Von Misses, maksimum principal stres ve minimum principal stresler elde edilmiştir.

Bulgular: All-on-Six konsepti sırasıyla kortikal kemikte, implant ve protetik elemanlar üzerinde ve spongiyöz kemikte daha düşük maksimum principal ve minimum principal stres göstermiştir. Sonlu elemanlar analizinin sonuçlarına göre bakılan tüm parametrelerde protez altyapısındaki stress ve implantlardaki stres dışında en fazla von Misses stresine sahip olan konsept All-on-Four olarak görülmektedir.

Sonuç: İmplant sayısı arttıkça implant elemanları ve protetik elemanlarda görülen stres azalmıştır ancak araştırılan 3 tedavi konseptinde de stres değerleri kemik direnci sınırlarını aşmadı. All-on-Six tedavi konseptinin, atrofik maksillanın rehabilitasyonunda All-on-Four ve All-on-Five konseptlerine göre daha iyi biyomekanik davranış sergilediği söylenebilir.

ANAHTAR KELİMELER

All-on-four, All-on-Five, All-on-six, Sonlu elemanlar analizi

Diş kaybını takiben alveolar sırtın şiddetli atrofisi genellikle dişsiz çenede zamanla artan bir şekilde oluşur. Bu tür dişsizliklerin tedavisi için tam protez, implant destekli hareketli bölümlü protezler veya implant destekli sabit protezler tedavi seçenekleri arasındadır.^{1,2}

Atrofik alveolar sırta sahip dişsiz çenelerin implantlar

ABSTRACT

Analysis of Stress Distribution of Protheses Produced by Using 'All-On-Four', 'All-On-Five' And 'All-On-Six' Concept with Finite Elements Analysis Method

Background: The aim of this study was to evaluate the stress distribution of 3D models of protheses on bone, implant elements and prosthetic elements which were placed on implants according to All-on-Four, All-on-Five and All-on-Six concepts in a fully edentulous upper jaw.

Methods: Three different treatment plans were created in completely edentulous atrophic maxilla according to the All-on-Four, All-on-Five and All-on-Six concepts. The most posterior implants were positioned in the premolar region, inclined 30 degrees distally in all groups. Substructure was modeled in the form of prepared teeth from chrome-cobalt (Cr-Co) alloy, the superstructure was modeled separately as monolithic zirconia, then contact points were provided. The prosthetic cantilever length was kept constant at 10mm. Forces; in the palatobuccal direction with an angle of 45 °, to the teeth numbered 3,4,5,6 respectively; It has been applied double-sided as 100N, 150N, 150N, 200N. Von Misses, maximum principal stress and minimum principal stresses were obtained.

Results: The All-on-Six concept showed lower maximum principal and minimum principal stress on cortical bone, implant and prosthetic elements and cancellous bone respectively. According to the results of the finite element analysis, the concept with the highest von Misses stress appears to be All-on-Four, except for the stress in the prosthetic substructure and the stress in the implants.

Conclusion: The stress on the implant elements and prosthetic elements decreased, where as the number of implants increased; but the stress values did not exceed the bone resistance limits in all 3 treatment concepts investigated. It can be said that the All-on-Six treatment concept exhibits better biomechanical behavior in the rehabilitation of atrophic maxilla than the All-on-Four and All-on-Five concepts.

KEYWORDS

All-on-four, All-on-Five, All-on-six, Finite elements analysis

ile tedavisi; posterior bölgedeki zayıf kemik kalitesi, uzun dönem dişsizlik sonucu kemik miktarındaki yetersizlik ve alveolar kemiğin anatomik sınırlamaları gibi problemlerden dolayı sıklıkla komplike hale gelmektedir.³⁻⁵ İmplant yerleştirmek için gerekli olan kemik miktarını elde etmek için greft uygulanması uygun bir tedavi seçeneği olabilmektedir.^{6,7} Ancak, bu

^α Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi AD, Kayseri, Türkiye

^β Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye

^γ Erciyes Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Periodontoloji AD, Kayseri, Türkiye

tedavi sıklıkla titiz cerrahi işlemler gerektirmekte, komplikasyonlar gelişebilmekte ve dolayısı ile hem daha fazla zaman gerektirmekte hem de tedavi maliyeti yüksek olabilmektedir. Bu nedenle, hasta tarafından kabul edilebilirliği düşük bir tedavi seçeneğidir.⁶⁻⁸

Greftleme prosedürlerinden kaçınmak ve önceden var olan kemiği en etkili şekilde kullanıp bu dezavantajlardan kurtulmak için implantların açılı olarak yerleştirilmesi alternatifi gündeme gelmiştir.⁹ Bu tekniğin adı All-on-four tekniğidir ve 2003 yılında Malo ve ark tarafından ilk kez implant protez rehabilitasyonunda modern bir teknik olarak kullanılmaya başlanmıştır¹⁰ ve atrofik tam ark mandibular ve 2005 yılında maksillada ortaya çıkmıştır.¹¹

Tamamen dişsiz maksillada implant ankrajı bazen kemik rezorpsiyonuna bağlı olarak kısıtlanmaktadır.¹² Özellikle kemik greftlemesi endike olan maksiller arkın posterior kısmında bu durum net olarak görülmektedir.^{13,14} Maksillada implantların açılı bir şekilde kullanılması kemik greftleme prosedürlerine bir alternatif olarak gösterilmiştir.^{11,14} En distaldeki implantı açılı olarak implantın protetik platformunun daha posteriora yer alması sağlanabilir ve sinüs duvarının ve nazal fossanın kortikal kemiğinden destek alınarak daha iyi bir ankraj elde edilebilir.¹¹

All-on-four konseptinin prensibi, tam dişsiz maksillanın ön kısmında geçici, sabit ve derhal yüklenecek olan protezleri destekleyecek dört implant kullanmaktır.^{12,15,16} En öndeki iki implant aksiyel olarak yerleştirilirken, kantilever uzunluğunu azaltmak ve protezin 12 dişe kadar uygulanabilmesini sağlamak için iki posterior implant distal olarak açılı yerleştirilir.^{11,17,18} Anterior implantlar alt çene ve üst çenede lateral kesici bölgesine dik olarak, posterior implantlar alt çenede mental foramenin hemen önüne, üst çenede ise maksiler sinüsün anterior duvarına paralel olarak distale eğimli yerleştirilir.¹¹ Anterior implantlar oklüzal düzleme dik, posterior implantlar ise yaklaşık 30-45° distale eğimli yerleştirilir.¹¹

Literatürde All-on-Four ve All-on-Six konseptlerinde kullanılan implantların çevreleyen kemikteki stres dağılımı ve miktarını inceleyen çeşitli çalışmalar bulunmasına karşın, All-on-Four, All-on-Five ve All-on-Six konseptlerinin üçünün birden karşılaştırıldığı çalışma bulunmamaktadır.¹⁹⁻²¹

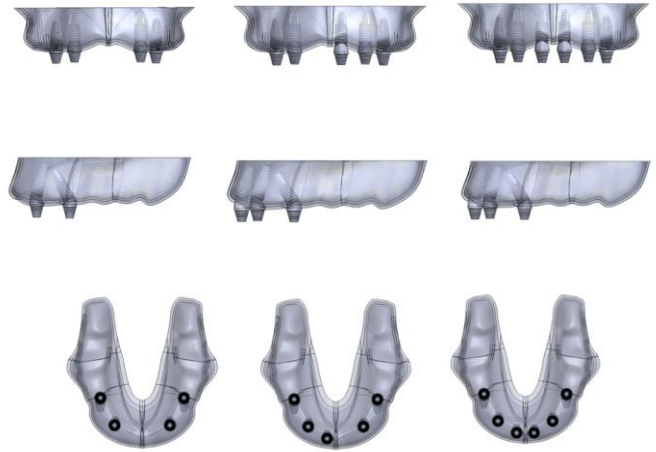
Bu sonlu elemanlar analizi çalışması, All-On-Four, All-On-Five ve All-On-Six konseptlerinde kullanılan implantları çevreleyen maksiller kemikteki stres dağılımını ve miktarını araştırmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada test edilen hipotezler ise aşağıdaki gibidir:

1. İmplant sayısı arttıkça implantları çevreleyen kemik üzerinde daha az stres oluşacaktır.
2. İmplant sayısı arttıkça implant elemanları ve protetik elemanlar üzerindeki stres azalacaktır.

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Modeller

Bu çalışmada tamamen dişsiz atrofik maksillada, All-on-Four, All-on-Five ve All-on-Six konseptine göre üç farklı tedavi planı oluşturulmuştur (Şekil 1). Tedavi planları, implantların yerleşim yerleri ve açıları Tablo 1'de açıklanmıştır. Posterior implantlar bütün gruplarda premolarlar bölgesinde, distale doğru 30 derece eğimli olarak (implantların apikal bölgesi 14-24 no'lu dişler hizasında, implant boyunları 15-25 no'lu dişler hizasında) konumlandırılmıştır.



Şekil 1

Modellerin bukkal, lateral ve oklüzalden görüntüleri

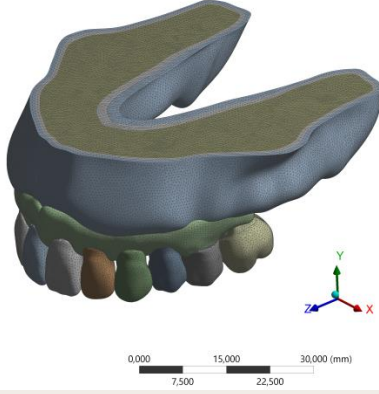
Tablo 1.

Atrofik maksiller modellerdeki implantların yerleşim yerleri ve açıları

	Anterior implant lokalizasyonları	Anterior implantların açısı	Posterior implant lokalizasyonları	Posterior implantların açısı
Model 1	12,22	Aksiyel	14,24	distale doğru 30 derece eğimli
Model 2	13,21,23	Aksiyel	14,24	distale doğru 30 derece eğimli
Model 3	11,13,21,23	Aksiyel	14,24	distale doğru 30 derece eğimli

Modelleme

Solidworks (Solidworks Inc., Amerika) programı ile hazır bir kafatası modelinden maksilla modeli çıkartılmıştır. Bu maksilla modeli referans alınıp yüzey modelleme teknikleri kullanılarak kortikal kemik (2 mm kalınlığında), spongiyöz kemik ve diş eti yumuşak dokusunun katı modellenmesi yapılmıştır. (Şekil 2)



Şekil 2

Modellemenin mesh görüntüsü

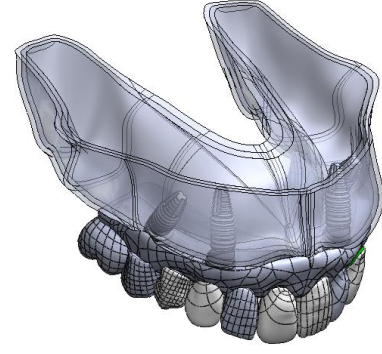
Çalışmada kullanılacak olan her bir implant, dayanak dayanak vidası, titanyum kopingler, oklüzal vidalar Solidworks programı ile gerçek ölçülerine uygun olarak ayrı ayrı modellenmiş ve uyumlanmıştır. Yapılan tasarımlarda 10 mm uzunluğunda, 4.1 mm çapında implant (Straumann Bone Level Tapered (BLT) (Institut Straumann AG, Basel, İsviçre)) kullanılmıştır. (Şekil 3)



Şekil 3

İmplant elemanlarının modellenmesi

Protez alt yapısı ve üst yapılar optik tarayıcı (Dental Wings 7 Series (Model DW-7-140/ Dental Wings Inc.2251 Letoumeux Montreal, Quebec Kanada)) ile üç boyutlu olarak taranmış, elde edilen veriler ".stl" formatında, Geomagic Design X (3D Systems, Inc., Amerika) programına aktarılıp STL tarama görüntülerinin katı modelleri elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan alt yapı; kesilmiş diş formunda krom-kobalt (Cr-Co) alaşımından, üst yapı ise monolitik zirkonya olarak ayrı ayrı modellenmiş, daha sonra kontakt noktalarından temas sağlanmıştır. Protez kantilever uzunluğu 10 mm olarak sabit tutulmuştur. Katı modeli elde edilen protetik elemanlar, implant elemanları ve kemik doku arasında Solidworks programında uyumlandırma yapılmıştır. Bu şekilde üst çene kortikal kemik, spongyöz kemik, implant ve protez elemanları gerçek morfolojisini yansıtacak biçimde modele taşınmıştır. (Şekil 4)



Şekil 4

Tamamlanmış model

Solidworks programında yapılan katı modellemeler üç boyutlu koordinatlar korunarak Ansys 18.1 (ANSYS, Inc, Canonsburg, PA, Amerika) yazılımına aktarılmıştır. Ansys 18.1 yazılımında modelleri oluşturan yapıların her birine, fiziksel özelliklerini tanımlayan elastiklik modülü ve poisson oranı değerleri tanımlanmıştır. (Tablo 2) Matematiksel modellerde, ortalama 6295441 düğüm, 3821020 eleman kullanılmıştır. Tüm modellerde, implantların kemiğe tamamen osseointegre olduğu varsayılarak kemik ve implantlar arasında ve tüm kontakt noktalarında sıkı bir bağlantının varlığı kabul edilmiştir.

Tablo 2.

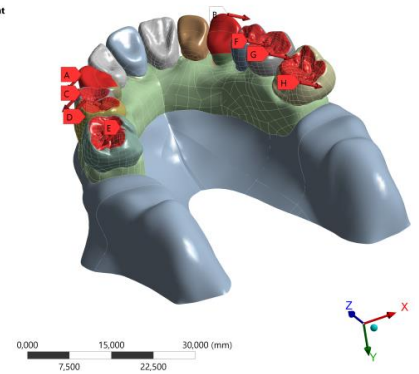
Elastik modül ve poisson oranları

	Elastik Modülü (MPa)	Poisson Oranı
Kortikal kemik	13700	0.30
Trabeküler kemik	1370	0.30
Titanyum (implant)	110000	0.35
Zirkonya	205000	0.22
Cr- Co	218000	0,33

Sınır ve Yükleme Koşulları

C: Model_3_6_implant
Force
Time: 1, s
10.11.2020 16:02

A Force: 100, N
B Force: 2: 100, N
C Force: 3: 150, N
D Force: 4: 150, N
E Force: 5: 200, N
F Force: 6: 150, N
G Force: 7: 150, N
H Force: 8: 200, N



Şekil 5

Uygulanan ısırma kuvvetleri. (Kırmızı oklar kuvvetin yönünü, dişlerin oklüzalindeki kırmızı alanlar kuvvetin uygulandığı bölgeyi göstermektedir.)

Yükleme koşulları oluşturulurken, her bir serbestlik derecesinde hareketi engellemek için modellerin kenarları x,y ve z eksenlerinde sabitlenmiştir. Kuvvetler; palatobukkal yönde 45° açıyla, 3,4,5,6 no'lu dişlere sırasıyla; 100N, 150N, 150N, 200N olacak şekilde çift taraflı olarak uygulanmıştır. (Şekil 5)

Analiz

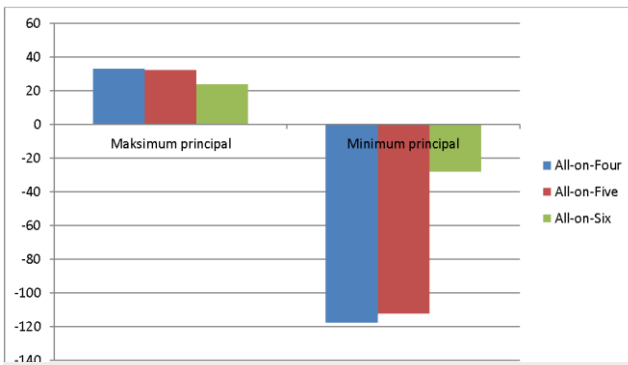
İmplant, dayanak, vida, altyapı ve üstyapıda oluşan gerilimlerin değerlendirilmesinde von Mises stres değerleri kullanılırken, spongiyöz ve kortikal kemikte oluşan gerilimlerin değerlendirilmesinde minimum ve maksimum principal stres değerleri kullanılmıştır. Değerlendirmede yapılarda oluşan en yüksek stres değerleri göz önüne alınmış ve değerler megapaskal (MPa) olarak kaydedilmiştir.

BULGULAR

Kemikte oluşan stres

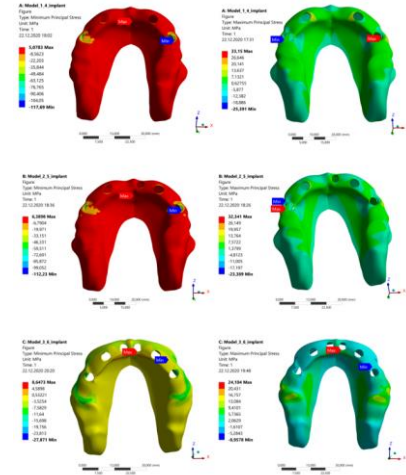
Kortikal kemikte spongiyöz kemikten daha fazla stres konsantrasyonu birikmiştir. Stresler genel olarak posterior implant soketi çevresinde yoğunlaşmıştır. Model 1,2 ve 3'deki kortikal kemikte oluşan basma ve çekme kuvvetleri değerlendirildiğinde, Model 1 ve 2 birbirine benzer kuvvet dağılımları gösterirken Model 1 en yüksek maksimum principal (33,15 MPa) ve en düşük minimum principal kuvvete (-117,69 MPa) sahipti (Grafik 1).

Model 1,2 ve 3'deki spongiyöz kemikte oluşan basma ve çekme kuvvetleri değerlendirildiğinde implant sayısı arttıkça Pmax artış göstermiş, Pmin azalma gözlenmiştir (Grafik 2).



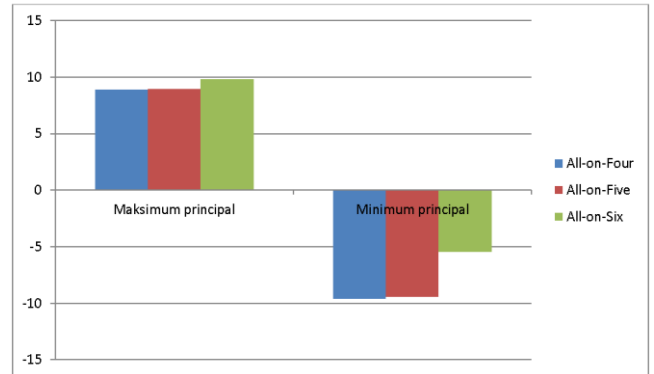
Grafik 1

Kortikal kemikteki stres değerleri (MPa)



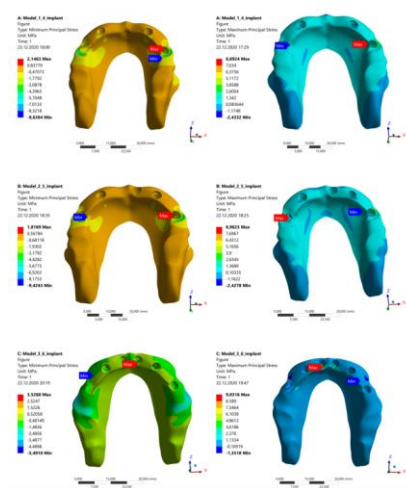
Şekil 6

Kortikal kemikte oluşan Pmin(kırmızı) ve Pmax (turkuaz) stres



Grafik 2

Spongiyöz kemikteki stres değerleri (MPa)



Şekil 7

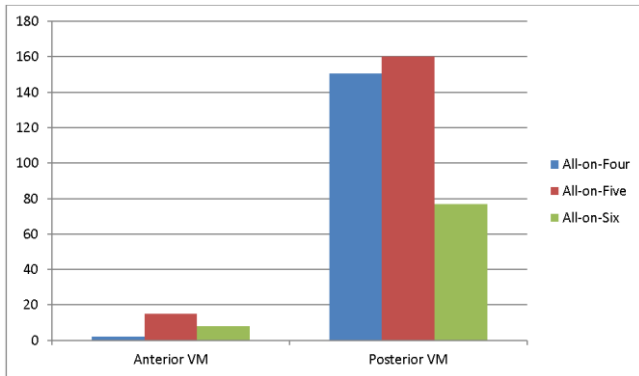
Spongiyöz kemikte oluşan Pmin(hardal sarısı) ve Pmax (turkuaz) stres değerleri

İmplant elemanlarında oluşan stres

Modeller üzerinde implantlarda oluşan von Mises streslerine bakıldığında her grubun anteriorundaki implantların çevresindeki stres benzer dağılım

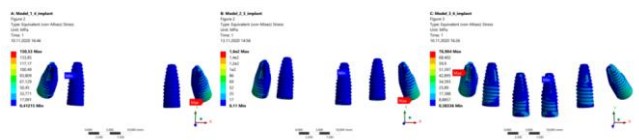
göstermektedir. En yüksek değerin Model 2'de posterior implantların soketi çevresinde (150,53 MPa) olduğu tespit edildi. İmplant sayısının daha az olduğu Model 1 ve Model 2'de dayanaklarda gözlemlenen von Misses stresleri belirgin olarak daha fazladır. İmplant sayısının azalması dayanaklardaki stresi azaltmış görünse de Model 1 ve Model 2'nin von Misses stresleri yakın değerlerde çıkmıştır. En yüksek stres değerinin Model 1'de posterior implantların dayanaklarında (212,06 MPa) olduğu tespit edildi.

Dayanak vidalarındaki strese bakıldığında tüm modellerin anterior ve posteriordaki vidalarında oluşan Von Misses stresleri birbirinden belirgin şekilde farklıdır. Posteriordaki implantların dayanak vidalarındaki stres artış göstermektedir. En yüksek değerin ise Model 1'de posterior implantların dayanak vidalarında (77,522 MPa) olduğu tespit edildi.



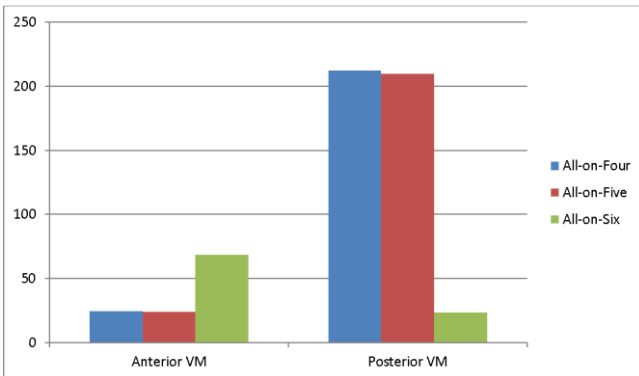
Grafik 3

İmplantlardaki stres değerleri (MPa)



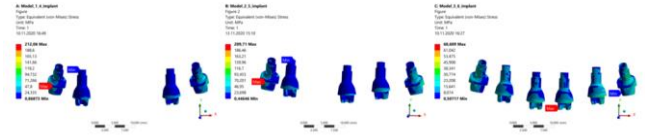
Şekil 8

İmplantlarda oluşan von Misses stres değerleri



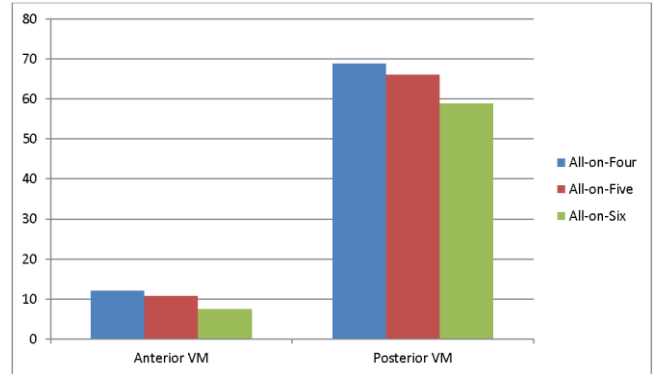
Grafik 4

Dayanaklardaki stres değerleri (MPa)



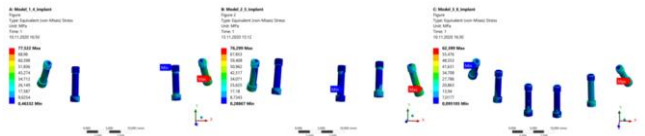
Şekil 9

Dayanalarla oluşan von Misses stres değerleri



Grafik 5

Dayanak vidalarındaki stres değerleri (MPa)



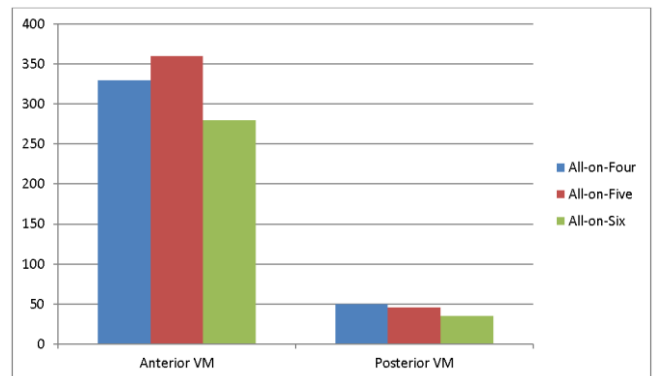
Şekil 10

Dayanak vidalarında oluşan von Misses stres değerleri

Protetik elemanlarda oluşan stres

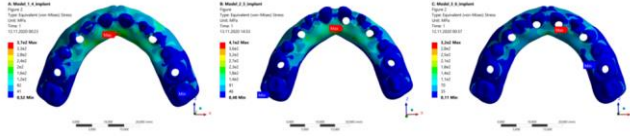
Dayanak vidalarındaki stresin aksine protez altyapısı ve kronlardaki stres posteriora gittikçe azalma göstermektedir. Alt yapılarda stresler anterior dayanak çevresinde ve orta hatta yoğunlaşırken en yüksek von Misses değerinin Model 2'de protez altyapısının palatinaya bakan anterior kısmında (410 MPa) olduğu tespit edilmiştir.

Kronlarda oluşan stres anterior dişlerin kolelerinde yoğunlaşmıştır.



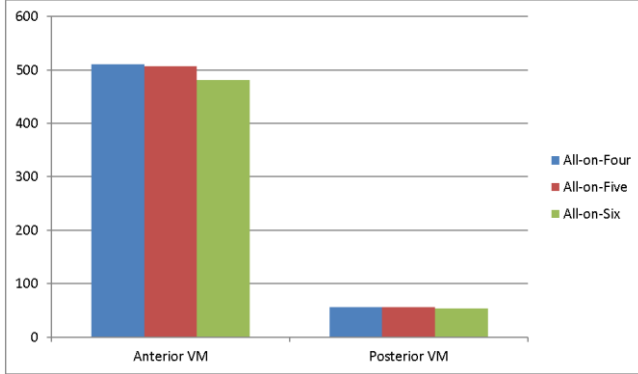
Grafik 6

Protetik altyapıdaki stres değerleri (MPa)



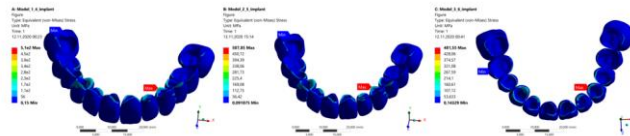
Şekil 11

Protetik altyapıda oluşan von Mises stres değerleri



Grafik 7

Kronlardaki stres değerleri (MPa)



Şekil 12

Kronlarda oluşan von Mises stres değerleri

TARTIŞMA

All-on-Four tedavi konsepti dişsiz hastalar için nispeten basit, öngörülebilir tedavi seçeneği sağlayarak deneyimli cerrahi ve restoratif ekip, dikkatli hasta seçimi, kısa tedavi aralıkları ve cerrahi prosedürlerin azaltılması gibi avantajlar sunmaktadır.²² Özellikle atrofik dişsiz çenelerde alternatif ve potansiyel bir tedavi yöntemi olabilir, rutin klinik uygulamaları yapılabilmektedir.¹⁰ All-on-Four tedavi konseptinin biyomekanik etkilerini değerlendirmek için literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır.^{10,19,23-25} Konuyla ilgili önemli araştırmalar yapılmış olmasına rağmen, işlevsel kuvvetlere direnmek için atrofik çenelerdeki optimal konfigürasyon ve implant sayısı hakkında hala bazı tartışmalar vardır. Bu çalışmanın amacı, atrofik bir maksillada uygulanan All-on-Four, All-on-Five ve All-on-Six konseptlerinin kortikal kemik, spongiyöz kemik, implantlar, dayanaklar, dayanak vidaları ve altyapılarının 3B sonlu eleman analiziyle biyomekanik etkilerini araştırmaktır. Sonlu elemanlar stres analizi çalışmalarında; trabeküler ve kortikal kemiğin, mukozanın ve kullanılan materyallerin elastisite modülleri ve poisson oranları için evrensel olarak kabul edilmiş bir tablo yoktur.²⁶ Bu çalışmada kullanılan değerler için, literatürdeki diğer çalışmalarda en sık kullanılan değerlerden faydalanılmıştır.²⁷⁻³⁰

Sonlu elemanlar analizi çalışmalarında, maksimum principal stres genellikle çekme gerilimini gözlemlemek için, minimum principal stres ise sıkıştırma gerilimini ölçmek için kullanılır. Kemiğin eğilebilir ve esnek cevaba sahip olmasından dolayı, implant çevresi kemiğin biyomekanik davranışını analiz etmek için maksimum ve minimum principal stresi kullanmak uygun görülmektedir.^{24, 31}

Bu çalışmada implant ve protez elemanlarını aynı parametre ile karşılaştırmalı olarak değerlendirebilmek için von Mises değerleri kullanılmıştır. Ayrıca, kemik dokuda oluşan principal stres değerleri ve dağılımlarına ait veriler de karşılaştırmalı olarak incelenerek yorumlanmıştır.

Yapılan sonlu elemanlar analizinin sonuçlarına göre, en fazla strese sahip olan konsept All-on-Four olarak görülmektedir. Bu nedenle çalışmanın hipotezleri kabul edilmiştir.

Kortikal kemikteki stres 4 ve 5 implantta birbirine yakın seyrederken, 6 implantlı modeldeki stres belirgin şekilde daha azdır. Bhering ve ark., yaptığı 4 ve 6 implantlı modellerin karşılaştırıldığı sonlu elemanlar analizi çalışmasında da implant sayısının artmasıyla kortikal kemikteki maksimum principal kuvvetlerinin azaldığı rapor etmiştir.¹⁹ Almeida ve ark. da, kısa ve eğimli implantları modelledikleri sonlu elemanlar analizi çalışmasında All-on-Six tedavi konseptinin kortikal kemikte daha az strese neden olduğunu belirtmişlerdir.³² Bu çalışmanın sonuçları önceki çalışmalarla uyum göstermektedir. Model 3'de daha fazla sayıda implant kullanılması çevreleyen dokuya daha fazla kuvvet iletimine izin verebilir. Aynı davranış spongiyöz kemik için de kaydedilmiştir. All-on-Six grubunda maximum principal stres daha düşük görülmektedir. Posterior bölgeye implantların eklenmesiyle oluşan stresdeki bu azalma daha önce yapılan çalışmalarla uyum göstermektedir.^{19,33}

Fizyolojik limitlere göre (nihai kemik dayanımı) minimum principal stres 170 - 190 MPa, maksimum principal stres 100 - 130 MPa aralığını aştığında kortikal kemikte aşırı yüklenme oluşur; spongiyöz kemikte ise bu minimum veya maksimum principal stres 5 MPa aştığında meydana gelir.^{19,34,35} Bu sınırlar baz alındığında araştırılan tüm tedavi konseptlerinde elde edilen değerler kemik dokusu için patolojik olabilecek değerlerin altındaydı.

Saber ve ark., All-on-Four konseptinde farklı implant sayısı ve eğiminin stress dağılımına etkisini değerlendirdikleri çalışmada kortikal kemikteki stresin en fazla olduğunu rapor etmişlerdir.²¹ Yapılan çalışmada tüm modellerde, kortikal kemikteki stres miktarı, alttaki spongiyöz kemiğe göre çok daha fazladır. Bizim çalışmamızın bulguları da Saber ve ark ve Bevilacqua ve ark yayınladığı sonuçlarla uyumludur.^{15,21} Bu durum kortikal kemiğin daha fazla strese neden olan daha yüksek modül esnekliği

nedeniyle olmuş olabilir. Hem spongyöz hem de kortikal kemik tiplerinde maksimum stres, yükleme tarafındaki arka implantlar civarındadır.

Saber ve ark., 4 ve 6 implantı karşılaştırdıkları çalışmada kortikal kemikteki stres miktarını yaklaşık olarak eşit bulmuşlardır.²¹ Sadece 6 implantlı modelde spongyöz kemikteki stresin biraz daha düşük olduğunu vurgulamışlardır.²¹

Tüm modellerde maksimum stres diğer çalışmalarda da gösterildiği gibi implant boynunda yoğunlaşmıştır.³⁶⁻³⁸ Maksimum stress seviyesi yük uygulanan yerdeki eğimli implantlarda görülmüştür, bu beklenen bir durumdur çünkü yükleme bu implantlara yakın bölgelere yapılmıştır. 4 ve 5 implantlı modellerde max Von Mises stres değeri 150-160 MPa arası idi ve stres lokasyonu ve konsantrasyonu implantların aynı bölgelerinde benzer dağılım gösterirken, 6 implantlı modelde %50 ye yakın bir azalma görülmüştür. İmplant sayısının artmasıyla meydana gelen stres azalması yapılan 3B sonlu elemanlar analizi çalışmaları³⁷ ve bir in vivo çalışma ile de uyum göstermektedir.³⁹

Daha önce yapılan sonlu elemanlar analizi çalışmalarında kullanılan farklı protetik materyallerin ve değişen kantilever uzunluğunun stres dağılımına etkisi bilindiğinden bu çalışmada kantilever miktarı sabit tutulmuş ve tüm modellerde protetik altyapı Cr-Co olarak modellenmiştir. Altyapıdaki maksimum streslere bakıldığında dayanak ve dayanak vidalarında oluşan stresin aksine protez altyapısındaki stres posteriora gittikçe azalma göstermiştir. Protetik altyapıdaki stres dağılımına göre dayanağın oturma kısmındaki stres konsantrasyonu; altyapı ve dayanak arasındaki temas arayüzeyi ve dayanak vidalarına uygulanan önyüklemeden dolayı oluşmuş olabilir. Bu bulgu Bhering ve ark. yaptığı çalışmada da vurgulanmıştır.¹⁹ Tüm modellerde orta hatta palatinal kısımda stres konsantrasyonu yoğunlaşmıştır. Altyapının orta hatta eğilme ve torsiyonu bu sonucu açıklayabilir. Bu bulgu daha önce yapılan çalışmalarla da uyum göstermektedir.^{15,19,21,25} Buradaki stres konsantrasyonu bu bölgedeki altyapı geometrisinin değişmesinden kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca materyaldeki incelleme daha fazla stres birikimine neden olabilmektedir. Anterior bölgedeki kırılmalardan bazı çalışmalarda genel bir komplikasyon olarak bahsedilmektedir.⁵

Modeller arasındaki benzer mekanik davranış, 4 - 6 implantla desteklenen sabit protezlerin benzer klinik başarıya sahip olmasıyla ilişkili olabilir. 5 veya 6 implantın kullanımını değerlendiren klinik çalışmalar olumlu sonuçlar yayınlamıştır.^{40,41} Bu çalışma klinik koşulları olabildiğince simüle etmeye çalışsa da sonlu elemanlar analizinin bir takım kısıtlamaları bulunmaktadır. Kemik tipi, anatomik koşullar, osseoentegrasyon seviyesi ve uygulanan kuvvetlerin miktarı ve yönü bunlardan bazılarıdır. Bu sınırlamalar dahilinde elde edilen stres değerleri kullanılan implant tedavi konseptleri için genel bir fikir verse de, bu

konseptlerin protetik bileşenler ve implantlar üzerindeki uzun dönem etkilerini araştırarak klinik çalışmalar gerekmektedir.

SONUÇ

Yapılan çalışmanın sınırlamaları dahilinde, sonlu elemanlar analizinin sonuçlarına göre bakılan tüm parametrelerde protez altyapısındaki stress ve implantlardaki stres dışında en fazla strese sahip olan konsept All-on-Four olarak görünmektedir.

İmplant sayısı arttıkça implant elemanları ve protetik elemanlarda görülen stres azalmıştır.

Araştırılan 3 tedavi konseptinde de stres değerleri kemik direnci sınırlarını aşmadı.

All-on-Six tedavi konsepti atrofik maksillanın rehabilitasyonunda All-on-Four ve All-on-Five tedavi konseptlerine göre daha iyi biyomekanik davranış göstermiştir.

KAYNAKLAR

1. Att W, Stappert C. Implant therapy to improve quality of life. *Quintessence Int.* 2003;34:573-81.
2. Att W, Bernhart J, Strub JR. Fixed rehabilitation of the edentulous maxilla: possibilities and clinical outcome. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009;67:60-73.
3. Jivraj S, Chee W. Treatment planning of implants in posterior quadrants. *Br Dent J.* 2006;201:13-23.
4. Carinci F, Farina A, Zanetti U, Vinci R, Negrini S, Calura G, et al. Alveolar ridge augmentation: a comparative longitudinal study between calvaria and iliac crest bone grafts. *J Oral Implantol.* 2005;31:39-45.
5. Patzelt SB, Bahat O, Reynolds MA, Strub JR. The all-on-four treatment concept: a systematic review. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2014;16:836-55.
6. Hinze M, Thalmeier T, Bolz W, Wachtel H. Immediate loading of fixed provisional prostheses using four implants for the rehabilitation of the edentulous arch: a prospective clinical study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2010;25:1011-8.
7. Agliardi EL, Romeo D, Panigatti S, de Araujo Nobre M, Malo P. Immediate full-arch rehabilitation of the severely atrophic maxilla supported by zygomatic implants: a prospective clinical study with minimum follow-up of 6 years. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017;46:1592-9.
8. Agliardi E, Panigatti S, Clerico M, Villa C, Malo P. Immediate rehabilitation of the edentulous jaws with full fixed prostheses supported by four implants: interim results of a single cohort prospective study. *Clin Oral Implants Res.* 2010;21:459-65.
9. Asawa N, Bulbule N, Kakade D, Shah R. Angulated implants: an alternative to bone augmentation and sinus lift procedure: systematic review. *J Clin Diagn Res.* 2015;9:ZE10-3.
10. Maló P, Rangert B, Nobre M. "All-on-Four" immediate-function concept with Brånemark System implants for completely edentulous mandibles: a retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2003;5:2-9.
11. Maló P, Rangert B, Nobre M. All-on-4 immediate-function concept with Brånemark System implants for completely edentulous maxillae: a 1-year retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2005;7:S88-94.
12. Krekmanov L, Kahn M, Rangert B, Lindström H. Tilting of posterior mandibular and maxillary implants for improved prosthesis support. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2000;15:405-14.
13. Aparicio C, Perales P, Rangert B. Tilted implants as an alternative to maxillary sinus grafting: a clinical, radiologic, and periotest study. *Clinical implant dentistry and related research.* 2001;3:39-49.
14. Fortin Y, Sullivan RM, Rangert BR. The Marius implant bridge: surgical and prosthetic rehabilitation for the completely edentulous upper jaw with moderate to severe resorption: a 5-year retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2002;4:69-77.
15. Bevilacqua M, Tealdo T, Menini M, Pera F, Mossolov A, Drago C, et al. The influence of cantilever length and implant inclination on stress distribution in maxillary implant-supported fixed dentures. *J Prosthet Dent.* 2011;105:5-13.
16. Nobel All-on-4 Brochure 2010. GB. Manufactures Manual Goeteburg: Nobel Biocare; 2010.
17. Maló P, Nobre M. "All-on-Four" immediate-function concept with Brånemark System implants for completely edentulous mandibles: a retrospective clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2003;5:2-9.
18. Menini M, Signori A, Tealdo T, Bevilacqua M, Pera F, Ravera G, et al. Tilted implants in the immediate loading rehabilitation of the maxilla: a systematic review. *J Dent Res.* 2012;91:821-7.
19. Bhering CL, Mesquita MF, Kemmoku DT, Noritomi PY, Consani RL, Barão VA. Comparison between all-on-four and all-on-six treatment concepts and framework material on stress distribution in atrophic maxilla: A prototyping guided 3D-FEA study. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2016;69:715-25.
20. Maló P, de Araújo Nobre M, Rangert B. Short implants placed one-stage in maxillae and mandibles: a retrospective clinical study with 1 to 9 years of follow-up. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2007;9:15-21.
21. Saleh Saber F, Ghasemi S, Koodaryan R, Babaloo A, Abolfazli N. The Comparison of Stress Distribution with Different Implant Numbers and Inclination Angles In All-on-four and Conventional Methods in Maxilla: A Finite Element Analysis. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2015;9:246-53.
22. Durkan R, Oyar P, Deste G. Maxillary and mandibular all-on-four implant designs: A review. *Niger J Clin Pract.* 2019;22:1033-40.
23. Ozan O, Kurtulmus-Yilmaz S. Biomechanical Comparison of Different Implant Inclinations and Cantilever Lengths in All-on-4 Treatment Concept by Three-Dimensional Finite Element Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2018;33:64-71.
24. Liu T, Mu Z, Yu T, Wang C, Huang Y. Biomechanical comparison of implant inclinations and load times with the all-on-4 treatment concept: a three-dimensional finite element analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2019;22:585-94.
25. Sannino G. All-on-4 concept: a 3-dimensional finite element analysis. *J Oral Implantol.* 2015;41:163-71.
26. Borchers L, Reichart P. Three-dimensional stress distribution around a dental implant at different stages of interface development. *J Dent Res.* 1983;62:155-9.

27. Bozkaya D, Muftu S, Muftu A. Evaluation of load transfer characteristics of five different implants in compact bone at different load levels by finite elements analysis. *J Prosthet Dent.* 2004;92:523-30.
28. Van Staden RC, Guan H, Loo YC. Application of the finite element method in dental implant research. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2006;9:257-70.
29. Demenko V, Linetsky I, Nesvit V, Linetska L, Shevchenko A. FE study of bone quality effect on load-carrying ability of dental implants. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2014;17:1751-61.
30. Çağlar A, Bal BT, Karakoca S, Aydın C, Yılmaz H, Sarısoy S. Three-dimensional finite element analysis of titanium and yttrium-stabilized zirconium dioxide abutments and implants. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2011;26:961-9.
31. de Souza Batista VE, Verri FR, Almeida DA, Santiago Junior JF, Lemos CA, Pellizzer EP. Finite element analysis of implant-supported prosthesis with pontic and cantilever in the posterior maxilla. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2017;20:663-70.
32. Almeida EO, Rocha EP, Freitas Júnior AC, Anchieta RB, Poveda R, Gupta N, et al. Tilted and short implants supporting fixed prosthesis in an atrophic maxilla: a 3D-FEA biomechanical evaluation. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2015;17:e332-42.
33. Benzing UR, Gall H, Weber H. Biomechanical aspects of two different implant-prosthetic concepts for edentulous maxillae. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1995;10:188-98.
34. Baggi L, Pastore S, Di Girolamo M, Vairo G. Implant-bone load transfer mechanisms in complete-arch prostheses supported by four implants: a three-dimensional finite element approach. *J Prosthet Dent.* 2013;109:9-21.
35. Reilly DT, Burstein AH. The elastic and ultimate properties of compact bone tissue. *J Biomech.* 1975;8:393-405.
36. Bellini CM, Romeo D, Galbusera F, Agliardi E, Pietrabissa R, Zampelis A, et al. A finite element analysis of tilted versus nontilted implant configurations in the edentulous maxilla. *Int J Prosthodont.* 2009;22(2):155-7.
37. Silva GC, Mendonça JA, Lopes LR, Landre J, Jr. Stress patterns on implants in prostheses supported by four or six implants: a three-dimensional finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2010;25:239-46.
38. Çağlar A, Aydın C, Ozen J, Yılmaz C, Korkmaz T. Effects of mesiodistal inclination of implants on stress distribution in implant-supported fixed prostheses. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2006;21:36-44.
39. Duyck J, Van Oosterwyck H, Vander Sloten J, De Cooman M, Puers R, Naert I. Magnitude and distribution of occlusal forces on oral implants supporting fixed prostheses: an in vivo study. *Clin Oral Implants Res.* 2000;11:465-75.
40. Pomares C. A retrospective clinical study of edentulous patients rehabilitated according to the 'all on four' or the 'all on six' immediate function concept. *Eur J Oral Implantol.* 2009;2:55-60.
41. Pomares C. A retrospective study of edentulous patients rehabilitated according to the 'all-on-four' or the 'all-on-six' immediate function concept using flapless computer-guided implant surgery. *Eur J Oral Implantol.* 2010;3:155-63.

Yazışma Adresi:

İkbal LEBLEBİCİOĞLU KURTULUŞ

Erciyes Üniversitesi

Diş Hekimliği Fakültesi

Protetik Diş Tedavisi AD

Kayseri, Türkiye

Tel : +90 506 535 51 90

E Posta: ikbal_leblebicioğlu@hotmail.com