

Farklı Kuvvet Tipleri ile Uygulanan Yüz Maskesinin İskeletsel ve Dişsel Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi

Investigation of Skeletal and Dental Effects of Face Mask Applied with Different Force Types by Finite Element Analysis

Veli ŞAHİN^a(ORCID-0000-0002-9667-3802), Mücahid YILDIRIM^b(ORCID-0000-0003-0939-3675)

^aSerbest Diş Hekimi, Antalya, Türkiye

^aFreelance Dentist, Antalya, Türkiye

^bNecmettin Erbakan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ortodonti AD, Konya, Türkiye

^bNecmettin Erbakan University Faculty of Dentistry Department of Orthodontics, Konya, Türkiye

ÖZ

Amaç: Bu çalışmada iskeletsel Sınıf III maloklüzyonların tedavisinde kullanılan yüz maskesi aparatının sonlu elemanlar analizi (FEM) ile sirkümmaksiller bölgede meydana getirdiği değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı noktalarından ve doğrultulardan uygulanan kuvvetlerin çene ve yüz bölgesine etkileri değerlendirilmiştir.

Gereç ve Yöntemler: Bilgisayarlı tomografiyle (BT) alınan kesitlerin üç boyutlu olarak sonlu sayıda elemana ayrıştırılıp, tekrar birleştirilmesi ile sanal bir model elde edilmiştir. Tüm modellerde benzer tasarıma sahip diş-doku destekli ekspansiyon aparatı aracılığı ile 1000 gram şiddetinde protraksiyon kuvveti uygulanmıştır. Birinci modelde anterior bölgeden lateral ve kanin dişler arasından, ikinci modelde posterior bölgeden birinci molar diş hizasından olacak şekilde, üçüncü modelde ise hem anterior hemde posterior bölgeden kombine edilerek kuvvet uygulama noktaları modellere tanımlanmıştır. Ayrıca her bir modele oklüzal düzleme paralel, oklüzal düzlemde aşağı olacak şekilde 20°'lik ve 40°'lik açılımlarla protraksiyon kuvveti uygulanmıştır. Oluşan gerilme alanları sonlu elemanlar stres analiziyle incelenmiştir.

Bulgular: Çalışma modellerinde sirkümmaksiller bölge incelendiğinde genel olarak pterygomaksiller suture, frontonasal suture, zigomatikofrontal suture, premaxilla, maksiller alveolar çıkıntı ve zigomatik butress bölgelerinde yoğun stres alanları olduğu görülmüştür. Maksillada pterygomaksiller suture ve çevresi, frontonasal suture bölgesi genel olarak tüm modellerde en yüksek Von Mises değerine sahip stres bölgeleri olarak bulunmuştur.

Sonuç: Çalışmamızın sonuçlarına göre; dik yön büyümesine sahip olgularda maksiller anterior rotasyonun engellenmesi için, kuvvetin uygulama noktalarının mümkün olduğunca anteriorda konumlandırılması ve kuvvetin yönünün de oklüzal düzlemde 20° den daha aşağıda açılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sınıf III maloklüzyon, yüz maskesi, sonlu elemanlar analizi

GİRİŞ

Sınıf III anomalilerin, diğer anomalilere nazaran insidansı daha az olmasına rağmen tedavisi daha karmaşıktır. Bu anomaliye sahip bireylerde büyümenin gidişatı hakkında tahmin yapmanın zorluğu tedavi planlamasının ve etkinliğinin kalıcı olmasını zorlaştırır^{1,2}. Sınıf III anomalilere sahip bireyler için profil ve estetik genellikle oklüzyondan daha fazla önem arz etmektedir. Bu sebeple bu bireylerin tedavisinde, oklüzyon ile beraber estetik yönden makul ve dengeli fasiyal sonuç hedeflenmelidir^{3,4}. Görülme sıklığı farklı popülasyonlarda etnik ve coğrafik faktörlere göre değişiklikler göstermektedir⁵. Türkiye toplumunda bu anomalinin rastlanma oranı %6-8 arasında olmakla beraber; ortodontik tedavi için başvuranların %12'sinde bu anomali olduğu saptanmıştır⁶. Başçıftçı ve ark.⁷, Konya bölgesinde yaptıkları çalışmada yaşları 6-19 arasında değişen 965 kişide maloklüzyon görülme sıklıklarını; Sınıf I maloklüzyonun %76,4, Sınıf II maloklüzyonun %20,2 ve Sınıf III maloklüzyonun ise %3,5 oranında olduğunu saptamışlardır.

İskeletsel Sınıf III maloklüzyonların büyüme ve gelişim döneminde

ABSTRACT

Objective: In this study, it was aimed to examine the changes in the circummaxillary region by finite element analysis of the face mask appliance used in the treatment of skeletal Class III malocclusions. The effects of the forces applied from different points and directions on the jaw and face area were evaluated.

Material and Methods: A virtual model was obtained by decomposing the sections taken by computed tomography (CT) into a finite number of elements in three dimensions and recombining them. In all models, a 1000 gram protraction force was applied by means of a tooth-tissue supported expansion plate with a similar design. In the first model, between the lateral and canine teeth in the anterior region, in the second model from the posterior region at the level of the first molar, and in the third model, both anterior and posterior regions are combined to define the force application points to the models. In addition, protraction force was applied to each model with 0°, 20° and 40° angulations to the occlusal plane. The resulting stress fields were investigated by finite element stress analysis.

Results: When the circummaxillary region is examined in the study models, intense stress areas were observed in the pterygomaxillary suture, frontonasal suture, zygomaticofrontal suture, premaxilla, maxillary alveolar protrusion and zygomatic butress regions in general. In the maxilla, the pterygomaxillary suture and its surroundings and the frontonasal suture region were generally found to be the stress regions with the highest Von Mises values in all models.

Conclusion: According to the results of our study; In cases with perpendicular growth, it should be angled to prevent maxillary anterior rotation, force application points should be positioned as anteriorly as possible and angled more than 20° below the occlusal plane in the direction of the force.

Keywords: Class III malocclusion, face mask, finite element analysis

görülen, maksiller retrognati tedavisinde maksiller protraksiyon esas tedavi yöntemidir. Protraksiyon tedavisinde sagittal yöndeki maksiller büyümeyi hızlandırmak amacıyla yüz maskesi sıklıkla kullanılan güncel aparatlardandır⁸.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde yüz maskesi ile maksiller protraksiyon tedavisinin iskeletsel ve dental etkileri şöyledir; maksillanın anterior deplasmanı, maksillanın saat yönünün tersine rotasyonu, mandibulanın saat yönünde rotasyonu, yüz profilinde iyileşme, maksiller keser dişlerde protrüzyon, mandibuler keser dişlerde retrüzyon, yüz yüksekliğinde artış^{9,26}.

Yapılan çalışmalarda bu aparatın kullanım şekilleri araştırmacılar tarafından farklı prensipler ile ele alınmıştır^{3,9,10,11,12,13,14}. Bu uygulama farklılıkları klinisyenler tarafından istenilen ortopedik tedavide kafa karıştırıcı olabilmektedir. Yüz maskesi ve çenelik gibi aktif kuvvetler içeren ortopedik aparatlar aracılığı ile uygulanan kuvvetlerin şiddet ve uygulama yönlerindeki farklılıklar, nazomaksiller kompleks, sirkümmaksiller suturlar ve dişlerde farklı stres alanları oluşturmaktadır.

Gönderilme Tarihi/Received: 23 Haziran, 2022

Kabul Tarihi/Accepted: 25 Ekim, 2022

Yayınlanma Tarihi/Published: 21 Ağustos, 2023

Atıf Bilgisi/Cite this article as: Şahin V, Yıldırım M. Farklı Kuvvet Tipleri ile Uygulanan Yüz Maskesinin İskeletsel ve Dişsel Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi. Selcuk Dent J 2023;10(2): 382-387 Doi: 10.15311/ selcukdentj.1134680

Sorumlu yazar/Corresponding Author: Mücahid YILDIRIM

E-mail: mucahidden@gmail.com

Doi: 10.15311/ selcukdentj.1134680

Bir cisme gelen kuvvetlerin nerelerde yoğunlaştığını ve buna göre cismin şeklinin nasıl oluşturulması gerektiğini göstermeye yarayan yöntemler stres analiz yöntemleri olarak adlandırılır. Bu uygulamalar analitik, deneysel ve de sayısal olarak yapılabilmektedir. Analitik yaklaşımlarda bir takım matematiksel formüller ve bunların denklemlerinin çözümü gereklidir. Sonlu elemanlar modeli gibi metodlar sayısal yaklaşımlardır. Deneysel yaklaşımlar esas yapı üzerinde lineer olarak elde edilen ölçümlerin kullanımını ifade etmektedir¹⁵. Gerilme analizleri bir cismin üzerine gelen kuvvetlerin nerelerde yoğunlaştığını belirlemek ve uygulama esnasında cismin daha dayanıklı olabilmesi için ne şekillerde olması gerektiğini önceden saptayabilmek için yapılır.¹⁶

Sonlu elemanlar analizi; son yıllarda mühendislik, sağlık ve malzeme bilimi gibi birçok özel alanda kullanımı olan bilgisayar destekli bir simülasyon sistemidir¹⁷. Bu analiz prensip olarak sonsuz sayıda olduğu kabul edilen değişkenleri, tahmin edilebilir bir sonlu sayıda elemana çevirebilmekte ve bunun sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda, tedavi mekanikleri açısından tahminler yürütülebilmektedir¹⁸. Çalışmamızda sonlu elemanlar analizinin diğer yöntemlere göre üstünlükleri ve pratikliği açısından tercih edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, protrakسیون kuvvetlerini farklı doğrultu ve noktalardan uygulayarak sirkummaksiller bölge ve dişler üzerindeki biyomekanik etkilerini, in vitro olarak sonlu elemanlar analizi ile incelemektir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan maksiller kemik modelinin oluşturulması için, bir bireyin daha önceden medikal amaçlar için çekilmiş tomografi verileri kullanılmıştır. Tomografi verisi 0.1 mm kesit kalınlığı ile rekonstrükte edilmiştir. Rekonstrüksiyon sonucunda elde edilen tomografi verileri, DICOM (.dcm) formatında 3DSlicer yazılımına aktarılmıştır. DICOM formatındaki CT verisi 3DSlicer yazılımında uygun Hounsfield değerlerine göre ayrıştırılarak, segmentasyon işlemi ile üç boyutlu modele dönüştürülmüş ve model. stl formatında dışa aktarılmıştır.

Elde edilen üç boyutlu modeller ALTAIR Evolve yazılımına aktarılmıştır ve burada uygun kraniofasyal kemikler ve diş geometrileri modellenmiştir. Dişlerin dış yüzeyi referans alınarak uygun kalınlıkta periodontal ligamentler modellenmiştir. Çalışmada kullanılan apaney ve ataçmanlar da bu yine bu yazılım aracılığı ile elde edilip modellenmiştir. Akriik cap splint şeklinde tasarlanan apaneyin palatal bölgesinde hyrax vidası da bulunmaktadır.

Matematiksel modeller, geometrik modellerin mesh adı verilen basit ve küçük parçalara bölünmesiyle oluşmaktadır. ALTAIR Evolve yazılımında modelleme işlemi tamamlandıktan sonra modeller ALTAIR Hypermesh yazılımıyla matematiksel olarak oluşturulup analize hazır hale getirilmiştir. Analizlerin yapılabilmesi için, ALTAIR Hypermesh yazılımında hazırlanan modeller fem formatında ALTAIR Optistruct analiz programına aktarılmıştır.

Oluşturulan 3 farklı analiz modeli için 3 farklı yükleme koşulunda toplamda 9 lineer statik analiz gerçekleştirilmiştir. Sadece iki adet kancası olan kanin ve lateral dişler üzerinden veya üst birinci molar diş bölgesinden kuvvet verilecek şekilde tasarlanan 1. ve 2. modellerde kancalar sağ ve sol olmak üzere 2 adettir. Her kanca için 500 gf kuvvet olmak üzere toplamda 1000 gf yükleme yapılmıştır. Her iki bölgeden de kuvvet verilen dört kancalı 3. modelde, çift taraflı olarak, her kanca için 250 gf kuvvet olmak üzere toplamda 1000 gf yükleme yapılmıştır. Bütün model gruplarında kuvvetler oklüzal düzleme paralel, oklüzal düzlemle 20° ve 40° açılı olacak şekilde uygulanmıştır.

BULGULAR

Maksiller protrakسیون amacıyla kullanılan yüz maskesi ile maksiller kemiğe ve dentisyona apaneyin kancaları üzerinden farklı yönlerde ve noktalardan uygulanan kuvvetlerin maksillofasyal yapılar üzerindeki etkilerinin incelenmesi için sonlu elemanlar analizi ile elde edilen Von Mises stres ve yer değiştirme değerleri ölçülmüştür.

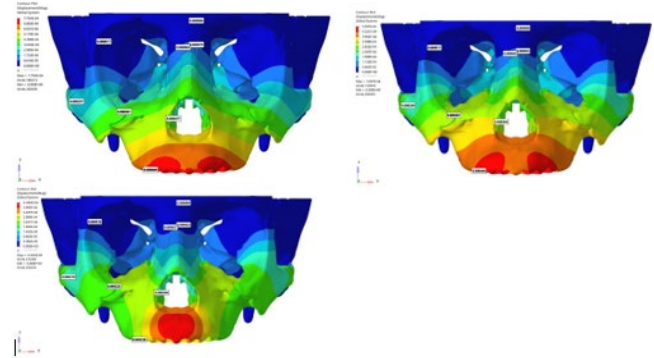
Anterior bölgeden oklüzal düzleme paralel ve 20°'lik açı ile aşağıya doğru kuvvet uygulanması sonucu, en fazla Von Mises gerilmesi 0.191 MPa ve 0.115 MPa ile frontonasal sutur etrafında meydana gelmiştir. Kuvvetin oklüzal düzlemde aşağıya doğru 40°'lik açı ile yönlendirilmesi sonucu en fazla Von Mises gerilmesi 0.082 MPa ile

zigomatikofrontal sutur etrafında meydana gelmiştir. (Tablo 1)

Tablo 1. Anterior Bölgeden Kuvvet Uygulanan Modele ait Von Mises Değerleri

Von Mises Değerleri (MPa)	Uygulanan Kuvvetin Oklüzal Düzlem ile Eğimi		
	0°	20°	40°
Maksiller Alveolar Kemik	0,022	0,017	0,013
Frontomaksiller Sutur	0,101	0,093	0,017
Frontonasal Sutur	0,191	0,115	0,026
Zygomatimaksiller Sutur	0,021	0,025	0,027
Zygomatimotemporal Sutur	0,019	0,015	0,009
Zygomatimofrontal Sutur	0,054	0,054	0,082
Zygomatik Buttress	0,098	0,095	0,052
Pterygomaksiller Sutur	0,128	0,08	0,022
Apertura Priformis	0,023	0,016	0,054

Anterior bölgeden oklüzal düzleme kuvvet uygulanan modellerin yer değiştirme değerleri incelendiğinde; sagittal yönde en fazla yer değiştirme maksiller dişleri çevreleyen alveoler kemik ve çevresi yapılarında izlenmiş, açlandırma arttıkça sagittal hareket azalma eğilimi göstermiştir. Transvers yönde tüm modellerde belirgin değişiklikler izlenmemiş olup, dikey yönde ise açlandırma arttıkça vertikal hareket miktarı pozitif yönde değişmiş ve maksillanın saat yönündeki rotasyonu belirginleşmiştir (Şekil 1).



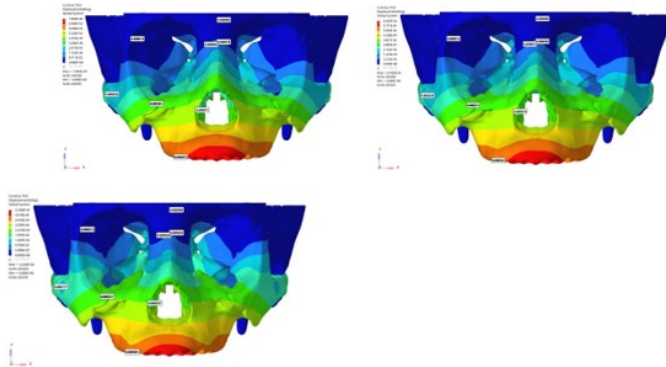
Şekil 1. Anteriordan Kuvvet Uygulanan Modellerde ait Total Yer Değiştirme Değerlerinin Frontal Görüntüleri

Posterior bölgeden daimi birinci molar dişler hizasındaki kancadan kuvvet uygulanması sonucu ile meydana gelen Von Mises gerilmeleri değerlendirilmiştir (Tablo 2). Posterior bölgeden oklüzal düzleme paralel olarak kuvvet uygulanan modelde en fazla Von Mises gerilmesi 0.190 MPa ile frontonasal sutur etrafında meydana gelmiştir. 20°'lik ve 40°'lik açı ile kuvvet uygulanması sonucu, en fazla Von Mises gerilmesi 0.151 MPa ve 0.124 MPa ile pterygomaksiller sutur etrafında meydana gelmiştir.

Tablo 2. Posteriorından Kuvvet Uygulanan Modele ait Von Mises Değerleri

Von Mises Değerleri (MPa)	Uygulanan Kuvvetin Oklüzal Düzlem ile Eğimi		
	0°	20°	40°
Maksiller Alveolar Kemik	0,038	0,037	0,031
Frontomaksiller Sutur	0,098	0,073	0,041
Frontonasal Sutur	0,19	0,133	0,06
Zygomatimaksiller Sutur	0,023	0,016	0,007
Zygomatimotemporal Sutur	0,019	0,016	0,011
Zygomatimofrontal Sutur	0,058	0,063	0,061
Zygomatik Buttress	0,115	0,097	0,068
Pterygomaksiller Sutur	0,16	0,151	0,124
Apertura Priformis	0,027	0,012	0,031

Posterior bölgeden kuvvet uygulanan modellerin yer değiştirme değerleri incelendiğinde; sagittal yönde en fazla premaxilla ve maksiller alveolar kemikte hareket izlenmişken, transvers yönde ise 3 modelde de benzer hareketler izlenmiştir. Dikey yönde ise, açılardırma arttıkça maksillanın saat yönünün tersine rotasyonunun azaldığı gözlenmiştir (Şekil 2).



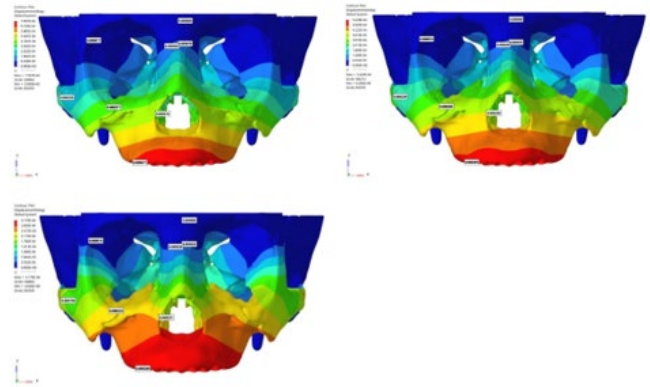
Şekil 2. Posteriordan Kuvvet Uygulanan Modellere ait Total Yer Değiştirme Değerlerinin Frontal Görüntüleri

Anterior ve posterior bölgeden birlikte oklüzal düzleme paralel olarak kuvvet uygulanan modelde en fazla Von Mises gerilmesi 0.190 MPa ile frontonasal sutura etrafında gözlenirken 20°'lik açı ile kuvvet uygulanan modelde, en fazla Von Mises gerilmesi 0.124 MPa ile yine frontonasal sutura etrafında meydana gelmiştir. Anterior ve posterior bölgeden oklüzal düzlemde aşağıya doğru 40°'lik açı ile kuvvet uygulanan modelde ise, en fazla Von Mises gerilmesi 0.073 MPa ile pterygomaksiller sutura etrafında meydana gelmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Anterior ve Posteriordan Kuvvet Uygulanan Modele ait Von Mises Değerleri

Von Mises Değerleri (MPa)	Uygulanan Kuvvetin Oklüzal Düzlem ile Eğimi		
	0°	20°	40°
Maksiller Alveolar Kemik	0,014	0,016	0,017
Frontomaksiller Sutura	0,023	0,02	0,011
Frontonasal Sutura	0,19	0,124	0,043
Zygomatikomaksiller Sutura	0,022	0,021	0,017
Zygomatocotemporal Sutura	0,019	0,015	0,01
Zygomatocofrontal Sutura	0,054	0,061	0,07
Zygomatik Butress	0,109	0,096	0,069
Pterygomaksiller Sutura	0,114	0,115	0,073
Apertura Priformis	0,025	0,002	0,028

Kuvvetin anteriordan ve posteriordan uygulandığı modellerdeki yer değiştirme değerleri incelendiğinde; transvers yönde tüm modellerde benzer değişimler izlenmiştir. Sagittal yönde en fazla burun tabanından itibaren maksiller inferior bölge ve maksiller alveolar kemik yapıda hareket tüm modellerde en belirgin yer değiştirme değerleri olarak gözlenmiştir açılardırma ile doğru orantılı olarak anterior bölgenin sagittal hareketi belirginleşmiştir. Dikey yönde ki değerlendirmede ise superior alanda yer değiştirme hareketi nasal kemik ve kartilaj etrafında sınırlı kalmış, inferior hareket en belirgin şekilde premaxilla bölgede izlenmiştir. 0°'lik açılardırılan modelde rotasyon saat yönünün tersine iken, 20°'lik açılardırılan modelde paralele yakınsamış ve 40°'lik açılardırma ile kuvvet verilen son modelde maksillanın saat yönünde rotasyonu izlenmiştir. (Şekil 3).



Şekil 3. Anterior ve Posteriordan Kuvvet Uygulanan Modellere ait Total Yer Değiştirme Değerlerinin Frontal Görüntüleri

TARTIŞMA

Sutural modifikasyonun nazomaksiller kompleksin remodelingi için, en önemli faktör olduğu yapılan birçok çalışmada vurgulanmıştır¹⁹. Bu gibi çalışmalarda sutural büyümeyi etkileyen faktörler; kuvvetin büyüklüğü, şiddeti ve süresi gibi bazı parametrelere bağlanmış olup, bu parametrelere göre tedavinin hızlanabileceği de belirtilmiştir. Belirli bir suturada oluşan farklı gerilme tipleri, yine aynı suturada farklı remodelingler meydana getirebilmektedir.

Gautam ve arkadaşları²⁰, çalışmalarında sutural gelişimde mekanik stimuluslara bağlı olarak oluşan stresin önemini vurgulamışlardır. Fonksiyonel bir matriks tarafından tetiklenen sutural gelişimin yapılan çalışmalarda, çiğneme veya dış kaynaklı kuvvetlerin meydana getirdiği basma ve/veya çekme gerilmelerinin de sutural gelişimi indükleyebilecek mekanik stimulus kabiliyetine sahip olduğu belirtilmiştir¹⁷.

Literatür incelendiğinde bu alanda, kuvvet etkisi ile streslerin incelendiği birçok farklı in vitro olarak yapılan analiz yöntemleri de göze çarpmaktadır^{15,22}.

Güncel olarak, diş hekimliği alanında en çok kullanılan stres analiz yöntemleri şunlardır:

1. Denek Hayvanları Kullanılarak Yapılan Analiz Yöntemi
2. Fotoelastik Kuvvet Analiz Yöntemi
3. Gerinim Ölçer Stres Analiz Yöntemi (Strain-Gauges)
4. Holografik İnterferometri (Lazer Işını ile Gerilme Analizi)
5. Kırılgan Vernikle Kaplama Yöntemi (Brittle Laquer)
6. Radyotelemetri
7. Sonlu Elemanlar Analizi (Finite Element Analysis / FEM)

Fotoelastik kuvvet analiz yönteminde, insan kafatası gibi karmaşık ve ayrıntılı 3 boyutlu hassas modellerin ölçü ile gerçeğe yakın oranda elde edilmesi çok zor olabilmektedir²⁵. Kırılgan vernik ile kaplama tekniğinde, stresin daha az etki ettiği bölgelerde oluşan çatlak ve kırılmaların gözlenmesi ve ölçülmesi zordur²². Bir diğer analiz yöntemi olan holografik interferometri metodunda ise, ortaya çıkan vibrasyonun engellenip elimine edilmesi çok güçtür³⁴. Termografik stres analiz yönteminin dezavantajı ise, derin bölgelerdeki stresin incelenmesinin zor olması, ayrıca kesitsel olarak belirli bir segmentin incelenmesinin zorluğudur³⁵. Stres analiz yöntemlerinden bir diğeri ise gerilim ölçerle değerlendirmedir. Bu yöntemde doku içi streslerin saptanabilmesi için gerilim ölçerlerin doku içine yerleştirilmeleri gerekmektedir. Bu gibi sebeplerden dolayı invaziv bir yöntem olması kaynaklı rutin kullanımdan uzak kalmıştır²⁵. Radyo telemetri yöntemini incelediğimizde, dirençte farklılıklar olması, frekansın ayarlanması ve verici yerleştirildikten sonra aygıtta oluşabilecek sıkıntılar bu analiz yönteminin dezavantajlarından²².

Bu gibi farklı analizlerin bir çok dezavantajı göz önünde bulundurulduğunda sonlu elemanlar analizi, heterojen ve düzensiz geometriye sahip maddelerin bilgisayar ortamını ayrıntılı modellenmeleri oluşturularak, stres ve yer değiştirmelerini hassas ve de kantitatif olarak incelenmesine olanak veren matematik tabanlı bir yöntemdir²⁹. Çalışmamızda sonlu elemanlar analizi, diğer yöntemlere göre üstünlükleri ve pratikliği açısından tercih edilmiştir.

Sonlu elemanlar analizinde, mümkün olduğunca gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek için, eleman ve düğüm nokta sayısı yeterince yüksek olacak şekilde hedeflenmelidir. Bu da elde edilen çözümün doğruluğunun artmasına katkıda bulunur.²² Gautam ve ark.²⁰ 2009 yılındaki çalışmalarında, 108799 eleman ve 193633 düğüm ile tam kafatası ve maksillayı modellemişlerdir. Daha güncel olarak, Kurt²³ çalışmasında tam kafatasını ve mandibulayı 197828 düğüm ve 890038 eleman ile modellemişken, yapılan bir diğer çalışmada ise Özdemir²⁴, 4.250.445 eleman ve 828.747 düğüm ile kafatası ve maksillayı modellemiştir. Bizim çalışmamızda, tam kafatası ve maksillayı modellediğimiz her modelde, ortalama 7.150.000 eleman ve 1.700.000 düğüm kullanılmıştır. Literatürdeki düğüm ve eleman sayıları göz önünde bulundurulduğunda, çalışmamızda elde edilen sonuçların gerçeğe daha yakın ve hassas olduğunu söyleyebiliriz.

Maksiller protraksiyon ile ilgili yapılan sonlu elemanlar analizi çalışmaları incelendiğinde, birçok çalışmada kuvvetin uygulama yerinin belirlenmesine odaklanıldığı dikkat çekmektedir. Tanne ve ark.²⁵, maksiller protraksiyon kuvvetini birinci büyük azı dişleri hizasından uygulayarak yaptıkları sonlu elemanlar analizi çalışmasında, maksillada saat yönünün tersine rotasyon gözlemlenmişlerdir. Gautam ve ark.²⁰ protraksiyon kuvvetini kaninler hizasından, Yu ve ark.²⁶, ile Ishii ve ark.²⁷, ise kuvveti premolar dişler hizasından uygulamışlardır.

Literatürde birçok araştırmacı, oklüzal düzleme, 15°-30° açı yapacak şekilde kuvvetin yönünü aşağı yönlendirmiş ve oluşan anterior rotasyonu önlemeye çalışmışlardır.^{4,27,28,29} Bu çalışmalar ışığında, yüz maskesi ile protraksiyon kuvveti uygulanan tedavilerdeki kuvvet uygulama yönü ve noktalarındaki farklılıkların, sirkummaksiller bölgedeki etkilerinin nasıl değiştiğini daha iyi analiz edebilmek ve vakaya yönelik daha spesifik tedavi yöntemini belirlemek, başarıyı arttırmak, olası komplikasyonlardan kaçınmak, zaman ve motivasyon kayıplarını en aza indirmek amacıyla daha güncel olarak çalışmamızı planladık.

Yapılan çalışmalarda, sirkummaksiller sutural bölgelere etki eden ortopedik kuvvet uygulamalarının, özellikle protraksiyon ve ekspansiyon kuvvetleri gibi kuvvetlerin pterygoid bölgede yoğun stres birikimlerine sebebiyet verdiği vurgulanmıştır.^{8,30,31} Çalışmamızda pterygomaksiller sutur üzerinde yüksek Von Mises değerleri tespit etmemize rağmen, kuvvet vektörü oklüzal düzlemden aşağı doğru yönlendikçe ve maksillanın saat yönünde rotasyonu arttıkça bu değerlerin azaldığını gözlemledik. Buna sebep olarak ise stres birikimlerinin zygomatikofrontal ve zygomatikotemporal suturlara dağılması olarak tahmin etmekteyiz.

Maksiller protraksiyon kuvvetleri sonucu, frontonasal ve nasomaksiller suturlarda elde edilen yüksek stres değerlerine yapılan çalışmalarda maksillanın frontal ve transversal düzlemde yaptığı rotasyonel hareketlerin sebebiyet verdiğini belirtmişlerdir.^{30,32}

Yer değiştirme değerleri karşılaştırmasında X ekseninde transvers doğrultuda; bütün tedavi modellerinde birbirine benzer değerlerde ve sınırlarda transversal değişim gözlemledik. Söz konusu değişimlerin daha çok alveolar kemik, zigomatik butress bölgesi ile nasal apertura çevresinde daha belirgin olduğunu izledik. RPE vidasını çalıştırmadığımız için yer değiştirme ve stres değerlerini diğer eksenlerde daha baskın olarak ölçtük.

Maksillanın öne hareketinin değerlendirildiği Y ekseninde; üç temel model için de yakın sonuçlar elde ettik ve tüm modellerde sağittal olarak uygulama noktalarına komşu alveolar kemikte yer değiştirme değerlerinin fazla olduğunu gözlemledik. Tüm modeller değerlendirildiğinde, 40°'lik açılma ile kuvvetin daha anteriordan uygulanması sonucu total maksillar hareketin Le Fort II düzeyine yakınsadığı gözlenmiştir.

Çalışmamızda vertikal yön hareketlerin değerlendirildiği Z ekseninde; sadece anterior bölgeden kuvvet uygulanan birinci tedavi modelinde açılma oklüzal düzleme paralel olarak ayarlanıp kuvvet uygulandığında, maksillanın daha çok posterior bölgesinde aşağı doğru hareket meydana geldiği gözlemlendi. Total olarak saat yönünün tersine rotasyon hareketi tespit edildi, bu rotasyon hareketi oklüzal düzlemden aşağıya doğru 20°'lik açı ile kuvvet verilen modelde ise anterior bölgeninde aşağı yönlü hareketi ile dengelendi ve maksilla total olarak paralele yakın bir hareket sergiledi. Aynı modelde protraksiyon kuvvetini 40° derece olacak şekilde aşağıya

açıldığımızda ise, spina nasalis anterior etrafındaki aşağı hareket miktarı posteriora göre daha belirgindi, bu sebeple maksiller düzlemde saat yönünde bir hareket meydana geldi. Posterior bölgeden birinci daimi molar diş hizasından kuvvet uygulanan ikinci modelde ise aşağı doğru açılma arttıkça maksiller düzlemdeki saat yönünün tersine hareket azalmasına rağmen, oklüzal düzlemden aşağıya doğru 40°'lik açılma ile paralele yakın hareket sergiledi fakat bu senaryoda bile saat yönünde hareket belirgin şekilde izlenmemiştir.

Kombine olarak hem anterior hemde posterior bölgeden kuvvet uygulanan üçüncü modelde ise sonuçlar birinci modele daha yakındı, fakat kuvvetin oklüzal düzleme 40°'lik açı ile uygulandığı modelde saat yönünün tersine rotasyon hareketinden çok maksillanın bütünüyle ileri ve aşağı yöndeki hareketi belirgin şekilde izlenmiştir. Bu sonuçlara göre bizim bulgularımız, birinci ve üçüncü modeller ele alındığında Yu ve ark.²⁶, yaptığı çalışmalarıyla uyumludur, bu benzerlik açının kuvvetini premolar bölgesinden uygulamalarına rağmen, açılmanın 30° olmasına bağlanabilir. Maksiller rotasyonun yönü; Gautam ark.²⁰, ile Yan ark.³³, bulgularıyla birinci ve üçüncü modellerde ayrışırken, ikinci modelde ki bulgularla daha çok uyum gösterdi. Fakat Gautam ve ark.²⁰, çalışmasında kuvvet anteriordan 30°'lik açı ile 1000 g olarak verilmesine rağmen bizim çalışmamızda 2. modelde kuvvet posteriordan 0° ve 20°'lik açılarla uygulandığında ancak benzer sonuçları gözlemleyebildik. Bu farklılıkların ise modelleme farkından kaynaklanabileceğini düşünmekteyiz.

Maksillanın ileriye hareketi tüm modellerde bütün dentisyon boyunca izlenmiştir, özellikle posterior dişlerde istenmeyen mezializasyon hareketinin önüne geçebilmek için iskelet ankrajlı ve diş doku ankrajlı sistemlerin karşılaştırmalı verilerinin olduğu daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Çalışmamızda protraksiyon kuvvetlerini maksillaya iletmek için kullandığımız RPE apareyinin ekspansiyon vidası çevrilmeden ölçümlerimiz yapılmış olup, genişletme yapılan karşılaştırmalı çalışmaların sonuçlarımızı daha değerli hale getireceğine inanmaktayız. Ayrıca çalışmamızda çalışma modellerini elde etmek için daha önceden çekilmiş sağlıklı bir bireyin kemikleri ve dişleri modellenmiştir, Sınıf III anomaliye sahip bir bireye ait tomografi verileri kullanılarak yapılabilecek çalışmaların literatüre katkı sağlayabileceğini düşünmekteyiz.

SONUÇLAR

Çalışma modellerinde maksilla ve çevresi alanları incelediğimizde genel olarak pterygomaksiller birleşim, frontonasal sutur, zigomatikofrontal sutur, premaksilla ve maksillar alveoler çıkıntı ve zigomatik butress bölgesinde yoğun stres alanları oluştuğu görülmüştür.

Maksillada pterygomaksiller sutur ve çevresi ile frontonasal sutur bölgesi genel olarak tüm modellerde en yüksek Von Mises değerine sahip stres bölgeleri olarak bulunurken, kuvvetin oklüzal düzlemden aşağı doğru açıldırılması ile bu streslerin zigomatikofrontal sutur etrafına doğru kaydığı izlenmiştir.

Posteriordan kuvvet uygulanan modellerde, maksillanın istenmeyen saat yönünün tersine hareketinin sınırlandırılmasının daha zor olduğu gözlemlenmiş olup, bu rotasyonun engellenmesi ve tedaviden beklenen etkinin daha kolay ve efektif şekilde yakalanabilmesi için, kuvvetin uygulama noktalarının mümkün olduğunca anteriorda konumlanması gerekliliği bu bağlamda ifade edilebilir. Posterior noktalardan kuvvet uygulaması dikey boyutu azalmış ve derin kapanışı olan vakalarda daha çok tercih edilebilecekken, yine bu grup vakalarda oklüzal açılmanın da paralele yakın olması tercih edilebilir.

Değerlendirme / Peer-Review

İki Dış Hakem / Çift Taraflı Körleme

Etik Beyan / Ethical statement

Bu çalışmanın hazırlanma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyulduğu ve yararlanılan tüm çalışmaların kaynakçada belirtildiği beyan olunur.

It is declared that during the preparation process of this study, scientific and ethical principles were followed and all the studies benefited are stated in the bibliography.

Benzerlik Taraması / Similarity scan

Yapıldı - ithenticate

Etik Bildirim / Ethical statement

ethic.selcukdentaljournal@hotmail.com

Telif Hakkı & Lisans / Copyright & License

Yazarlar dergide yayınlanan çalışmalarının telif hakkına sahiptirler ve çalışmalarını CC BY-NC 4.0 lisansı altında yayımlanmaktadır.

Finansman / Grant Support

Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir. | The authors declared that this study has received no financial support.

Çıkar Çatışması / Conflict of Interest

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir. | The authors have no conflict of interest to declare.

Yazar Katkıları / Author Contributions

Çalışmanın Tasarlanması | Design of Study: VS(%80), MY (%20)
Veri Toplanması | Data Acquisition: VS (%40), MY (%60)
Veri Analizi | Data Analysis: VS (%20), MY (%80)
Makalenin Yazımı | Writing up: VS (%60), MY (%40)
Makale Gönderimi ve Revizyonu | Submission and Revision: VS (%20), MY (%80)

KAYNAKLAR

1. Kim JH, Viana MA, Graber TM, Omerza FF, and BeGole EA. The effectiveness of protraction face mask therapy: a meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999; 115: 675-85.
2. Baccetti T, Franchi L, McNamara J. Growth in the Untreated Class III Subject. *Seminars in Orthodontics.* 2007; 13: 130-42.
3. Hickman, 1972. Reverse headgear A case report. *Journal of clinical orthodontics.* 1972; 6: 41-3.
4. Kiliçoğlu H, Kirişçi Y. Profile changes in patients with class III malocclusions after Delaire mask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998; 113: 453-62.
5. Graber T, Rakosi T. *Dentofacial orthopedics with functional appliances.* Second edition. CV Mosby: St. Louis. USA. 1997: 413-8.
6. Sayin M, Türkkahraman H. Malocclusion and crowding in an orthodontically referred Turkish population. *Angle Orthod.* 2004; 74(5): 635-9.
7. Başçiftçi FA, Korkmaz HH, Üşümez S, Eraslan O. Biomechanical evaluation of chin cup treatment with various force vectors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008; 134(6): 773-81.
8. Arman A, Toygar TU, Abuhijleh E. Evaluation of maxillary protraction and fixed appliance therapy in Class III patients. *Eur J Orthod.* 2006; 28: 383-92.
9. Kapust AJ, Sinclair PM, Turley PK. Cephalometric effects of face mask/expansion therapy in Class III children: a comparison of three age groups. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998; 113(2): 204-12.
10. Nanda R. *American Journal of Orthodontics.* Biomechanical and clinical considerations of a modified protraction headgear. 1980b; 78: 125-39.
11. Petit HP. The prognathic syndrome: a complete treatment plan around the facial mask. *Rev Orthop Dento Faciale.* 1982; 16: 381-411.
12. Delaire J. *Revue de stomatologie et de chirurgie maxillo-faciale.* Manufacture of the orthopedic mask. 1971; 72: 579-82.
13. Bhat ZI, Rahalkar JS, Deshamukh S, Naik CD. Treatment of Class III malocclusion in a young adult with reverse pull face mask. *Journal of Orthodontic Research.* 2015; 3(1); 70.
14. Caputo A, Standlee J. *J Biomech.* Quintessence Publishing. Chicago. 1987.
15. Knoell AC. A mathematical model of an in vitro human mandible. *J Biomech.* 1977; 10(3): 159-66.
16. Hughes Thomas JR. The finite element method: linear static and dynamic finite element analysis. 2012.
17. Roberts WE, Vicilli RF, Chang C, Katona TR, Paydar NH. *Biology of biomechanics: Finite element analysis of a statically determinate system to rotate the occlusal plane for correction of a skeletal Class III open-bite malocclusion.* *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2015; 148: 943-55.
18. Miyasaka-Hiraga J, Tanne K, Nakamura S. Finite element analysis for stresses in the craniofacial sutures produced by maxillary protraction forces applied at the upper canines. *Br J Orthod.* 1994; 21: 343-8.
19. Gautam Valiathan A, Adhikari R. Maxillary protraction with and without maxillary expansion: A finite element analysis of sutural stresses. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009; 136: 361-6.
20. Mao JJ, Nah HD. Growth and development: Hereditary and mechanical modulations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004; 125: 676-89.
21. Ulusoy Ç, Darendeliler N. Çenelik uygulamasının mandibula üzerinde oluşturduğu gerilmenin üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi.* 2008; 25(2): 25-32.
22. Kurt M. Yüz maskesi, maksiller ekspansiyon ile kombine çenelik ve altuğ tip mini maksiller protraktör aparatının kraniyofasiyal sistem üzerindeki etkilerinin üç boyutlu sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi. *Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ortodonti Anabilim Dalı, Uzmanlık Tezi, Ankara.* 2018.
23. Özdemir S. Sınıf III maloklüzyonların tedavisinde kullanılan yüz maskesi, kemik destekli maksiller protraksiyon ve hibrid hyrax+mentoplate kombinasyon yöntemlerinin biyomekanik etkilerinin sonlu elemanlar analiziyle incelenmesi. *Gaziantep Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ortodonti Anabilim Dalı, Uzmanlık Tezi, Gaziantep.* 2018.
24. Tanne K, Yoshida S, Kawata T, Sasaki A, Knox J, Jones ML. An evaluation of the biomechanical response of the tooth and periodontium to orthodontic forces in adolescent and adult subjects. *Br J Orthod.* 1998; 25(2): 109-115.
25. Yu HS, Baik HS, Sung SJ, Kim KD, Cho YS. Three-dimensional finite-element analysis of maxillary protraction with and without rapid palatal expansion. *Eur J Orthod.* 2007; 29(2): 118-25.
26. Ishii H, Morita S, Takeuchi Y, Nakamura S. Treatment effect of combined maxillary protraction and chin cup appliance in severe skeletal Class III cases. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1987; 92(4): 304-12.
27. Itoh T, Chaconas SJ, Caputo AA, Matyas J. Photoelastic effects of maxillary protraction on the craniofacial complex. *Am J Orthod.* 1985; 88(2): 117-24.
28. Roberts CA, Subtelny JD. An American Board of Orthodontics case report. Use of the face mask in the treatment of maxillary skeletal retrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1988; 93(5): 388-94.
29. Holberg C, Steinhäuser S, Rudzki I. Surgically assisted rapid maxillary expansion: midfacial and cranial stress distribution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007; 132: 776-82.
30. Provatidis CG, Georgiopoulos B, Kotinas A, McDonald JP. Evaluation of craniofacial effects during rapid maxillary expansion through combined in vivo/in vitro and finite element studies. *Eur J Orthod.* 2008; 30(5): 437-48.
31. Boryor A, Geiger M, Hohmann A, Wunderlich A, Sander C, Martin SF, Sander FG. Stress distribution and displacement analysis during an intermaxillary disjunction--a three-dimensional FEM study of a human skull. *J Biomech.* 2008; 41(2): 376-82.
32. Yan X, He W, Lin T, Liu J, Bai X, Yan G, Lu L. Three-dimensional finite element analysis of the craniomaxillary complex during maxillary protraction with bone anchorage vs conventional dental anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013; 143: 197-205.
33. Vanderby Jr R, Kohles SS. Thermographic stress analysis in cortical bone. *J Biomech.* 1991; 113 (4): 418-22.
34. Justens E, De Bruyn H. Clinical implant dentistry and related research. Clinical outcome of mini-screws used as orthodontic anchorage. 2008; 10(3): 174-80.