

Mandibulanın cerrahi olarak saatin tersi yönünde rotasyonundan sonra posterior açılı kondil üzerinde oluşan streslerin değerlendirilmesi

Evaluation of stress distribution on the posterior angled condyle after surgically counter-clockwise rotation of the mandible

Dr. Sevim Çakıltaş

Serbest Diş Hekimi, İstanbul

Orcid ID: 0000-0001-6050-4428

Dr. Öğr. Üyesi Özge Doğanay

Bezmialem Vakıf Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,
Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi A.D., İstanbul

Orcid ID: 0000-0001-5695-4944

Prof. Dr. Nükhet Kütük

Serbest Diş Hekimi, İstanbul

Orcid ID: 0000-0001-6563-1899

Geliş tarihi: 19 Aralık 2020

Kabul tarihi: 12 Şubat 2021

doi: 10.5505/yeditepe.2021.43827

Yazışma adresi:

Dr. Öğr. Üyesi Özge Doğanay

Bezmialem Vakıf Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,
Adnan Menderes Bulvarı Vatan Cad. İskenderpaşa
Mah. 34093 Fatih, İstanbul

Tel: +090 5301793971

E-posta: ozgedoganay87@gmail.com

ÖZET

Amaç: Ortognatik cerrahide yaygın olarak kullanılan sagittal split osteotomi (SSO) tekniği ile mandibulanın saatin tersi yönünde rotasyonu ve ilerletilmesi sonrası posterior açılı kondil üzerindeki streslerin 'Sonlu Eleman Analizi' (SEA) metodu ile incelenmesi ve 5 farklı mandibuler ilerletme modeli oluşturularak kondilde meydana gelen stres alanlarının, stabilite ve relaps problemlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntemler: Çalışmamızda anterior açık kapanışı olan bir hastanın bilgisayarlı tomografi görüntüsü kullanılarak mandibula modeli oluşturulmuştur. Mandibula modeli üzerinde çift taraflı sagittal split osteotomi yapılarak 5 ve 10 mm ilerletme ve saatin tersi yönünde hareket işlemleri, ayrıca ilerletme sonrasında kemik segmentlerinin pasif ya da aktif fiksasyonu yapılarak 5 farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Posterior açılı mandibuler kondil üzerine gelen baskı, gerilim ve Von Mises stresleri SEA metodu ile değerlendirilmiştir.

Bulgular: Mandibuler kondilde stres yoğunluğu mandibulanın ilerletme miktarına ve fiksasyon tekniğine göre değişmektedir. İlerletme miktarı arttıkça kondilin posterioru ve lateralinde stres miktarı artmaktadır. Fiksasyon aşamasında kondilin posterior açılanması gelen stres miktarını ve yoğunluğunu arttırmaktadır. Mandibuler ilerletmeden sonra gonial açıda görülen değişiklikler Model 2 (124.420) > Model 4 (125.610) > Model 3 (128.350) > Model 5 (129.300) şeklindedir.

Sonuç: Mandibuler ilerletme ve saatin tersi yönünde rotasyon yaptırılan olgularda, mandibuler ilerletme miktarı arttıkça kondilin üzerine gelen stres miktarı artmaktadır. Mandibuler kondilin fiksasyon sırasında orijinal pozisyonunu korunmaması ve posteriora açılanması ile üzerine gelen stres miktarı daha da artmaktadır. Bu durumlarda gözlenen stres artışı relapsa neden olabilmektedir.

Anahtar kelimeler: Sonlu eleman analizi, mandibuler ilerletme, saatin tersi yönünde rotasyon; stres dağılımı, relaps.

SUMMARY

Aim: Stress distributions on the posterior angled condyle after the counter-clockwise rotation and advancement of the mandible are investigated with the 'Finite Element Analysis' (FEA) method by performing sagittal split osteotomy (SSO) technique, which is widely used in orthognathic surgery, and the stress areas seen on the condyle of 5 different mandibular advancement models, stability and relapse problems was aimed to determine.

Materials and Methods: In our study, a mandible model was created using computed tomography image of a patient with anterior openbite. On the mandible model, bilateral sagittal split osteotomy was performed, 5 different models were constituted after 5 and 10 mm advancement and counter-clockwise movement, and after then, passive or active fixation of the bone segments was performed. Von Mises, maximum and minimum principal stresses on the posterior angled mandibular condyle were evaluated using the FEA method.

Results: The stress intensity on the mandibular condyle varies

according to the advancement amount of the mandible and the fixation technique. As the magnitude of advancement increases, the amount of stress on the posterior and lateral of the condyle increases. Posterior angulation of the condyle during fixation increases the magnitude and intensity of the stress. Changes in the gonial angle after mandibular advancement are as Model 2 (124.420) > Model 4 (125.610) > Model 3 (128.350) > Model 5 (129.300).

Conclusion: In cases with mandibular advancement and counter-clockwise rotation, the amount of stress on the condyle increases as the amount of mandibular advancement increases. The amount of stress on the mandibular condyle increases even more when the original position is not preserved during fixation and so, it is deviated posteriorly. In these cases, the increased stress values can lead to relapse.

Key words: Finite element analysis, mandibular advancement, counter-clockwise rotation, stress distribution, relapse.

GİRİŞ

Dentofasiyal deformiteleri tedavi etmek amaçlı geliştirilmiş mandibulaya yönelik ortognatik cerrahi ameliyatlardan biri olan sagittal split osteotomi (SSO) tekniği özellikle alt çeneyi ilgilendiren oklüzyon bozukluklarının cerrahi tedavisinde en sık kullanılan yöntemdir.¹

Mandibulaya ortognatik cerrahi teknikler sayesinde ileri, geri ve rotasyonel hareketler yaptırılabilir. Yapılan bu hareketler mandibuler kondili de etkilemektedir. Kondilin farklı bölgelerine gelen kuvvet miktarları farklıdır. Mandibulanın cerrahi olarak saatin tersi yönünde rotasyon yaptığı olgularda, kondil, mandibuler ilerletmeyi takiben fossada anterior ve superior yönde hareket etme eğilimindedir. Bu hareket sonucunda kondilin anterior ve superior yüzeyleri daha fazla yüke maruz kalarak rezorpsiyona uğrayabilmektedir.²

Temporomandibuler eklemler (TME) üzerine gelen streslerin klinik olarak incelenmesinin zorluklarından dolayı sonlu eleman analizi (SEA) çalışmaları bu alanda sık kullanılır hale gelmiştir. Bu çalışmada, saatin tersi yönünde rotasyon yaptırılan ve farklı ilerletme miktarları uygulanan mandibulada posterior açılı kondil üzerine gelen stresler sonlu eleman analizi yöntemi ile araştırılmıştır.^{3,4}

GEREÇ VE YÖNTEM

Bu araştırma, Bezmialem Vakıf Üniversitesi, Ağız Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızda çift taraflı SSO ile mandibuler ilerletme ve saatin tersi yönünde rotasyon yaptırılan farklı modellerde posterior açılı mandibuler kondil üzerine gelen baskı, gerilim ve Von Mises stres değerleri sonlu eleman analizi yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Yapılan modellemede kemik dokusu, süngerimsi ve kortikal elementlerden oluşan izotropik ve kompozit bir materyal olarak modellenmiştir. Kortikal kemik tabakası 1,8 mm

kalınlığında bir tabaka halinde süngerimsi kemiği örtecek şekilde oluşturulmuştur. Mandibuler 3 boyutlu modelde SSO yapıldıktan sonra, mandibuler hipoplazi-maksiller vertikal fazlalık deformitesi tedavisine uygun şekilde mandibuler ilerletme ve mandibulanın distal segmentine saatin tersi yönünde rotasyon yaptırılmıştır.

Çift taraflı sagittal split ramus osteotomisi yapılan mandibulada 2 farklı miktarda ilerletme (5 ve 10 mm) ve saatin tersi yönünde hareket işlemleri, ayrıca ilerletme sonrasında yapılan kemik segmentlerinin fiksasyonu sırasında proksimal segmentin alt sınırının düzeltilmesi ve pasif olarak yerinde bırakıldığı modeller oluşturulmuştur. Çalışmamızdaki gruplar aşağıdaki gibidir:

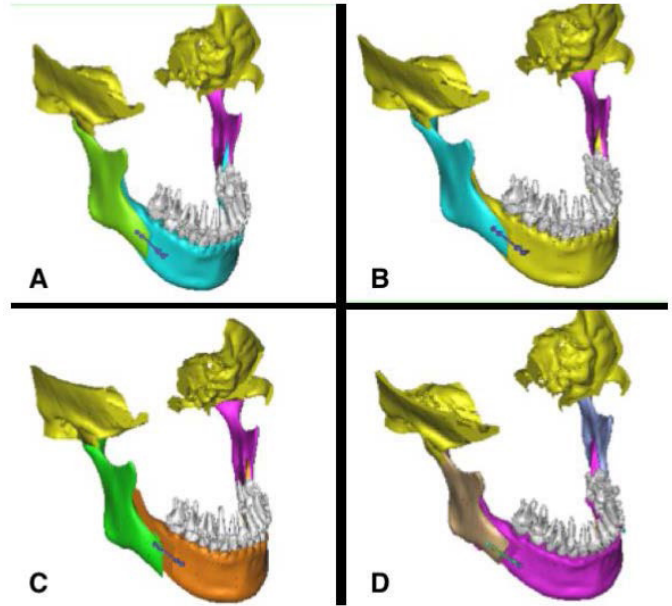
Model 1: Mandibuler ilerletme yapılmamıştır (kontrol grubu)

Model 2: Mandibula 5 mm öne alınıp, proksimal segment pasif şekilde fiks edilmiştir (Şekil 1).

Model 3: Mandibula 5 mm ileri alınıp, proksimal segment alt sınırı distal segmente göre düzeltilerek fiks edilmiştir (Şekil 1).

Model 4: Mandibula 10 mm öne alınıp, proksimal segment pasif şekilde fiks edilmiştir (Şekil 1).

Model 5: Mandibula 10 mm ileri alınıp, proksimal segment alt sınırı distal segmente göre düzeltilerek fiks edilmiştir (Şekil 1).



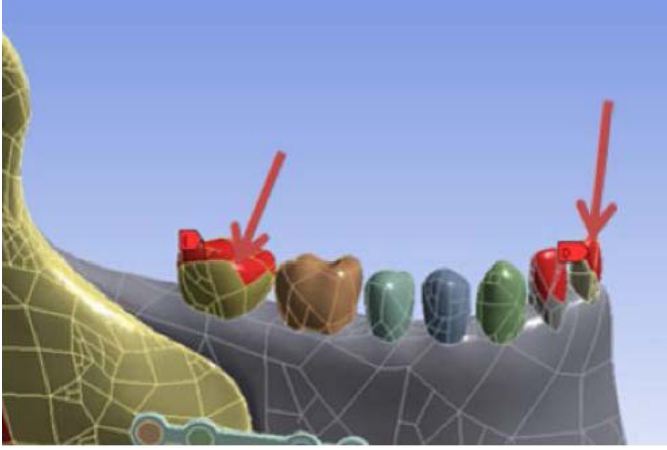
Şekil 1. A: Model 2. Mandibulada SSO ile 5 mm ilerletme, proksimal segmentin pasif şekilde fiksasyonu; B: Model 3. Mandibulada SSO ile 5 mm ilerletme, proksimal segmentin alt sınırının distal segmente göre düzeltilerek fiksasyonu; C: Model 4. Mandibulada SSO ile 10 mm ilerletme, proksimal segmentin pasif şekilde fiksasyonu; D: Model 5. Mandibulada SSO ile 10 mm ilerletme, proksimal segmentin alt sınırının distal segmente göre düzeltilerek fiksasyonu.

Sonlu Eleman Analizi

Ölçümler ve verilerin yazılımı için MIMICS versiyon 10.01 (Materialise's Interactive Medical Image Control System) (versiyon 10.01, Materialise N. V., Lüven, Belçika), CATIA (Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application) (versiyon v6, Paris, Fransa) ve Solidworks (versiyon 18, SolidWorks Corp, Waltham Massachusetts, ABD) üç boyutlu modelleme yazılımı kullanılmıştır. Modeller ge-

ometrik olarak oluşturulduktan sonra analize hazır hale getirilmesi ve analizlerin yapılabilmesi için STL formatında ANYS WORKBANCH yazılımına aktarılarak kullanılmıştır. ANYS WORKBANCH (versiyon 12.0, Altair, Michigan, ABD) programında analizler yapılmıştır.

Kemik dokularının modellenmesi için, uygun kriterlerdeki BT görüntülerinden elde edilen koronal, aksiyal, sagittal kesitli bilgisayarlı tomografi DICOM ham verileri MIMICS programına aktarılmıştır. Hastanın kafatasına ait üç boyutlu yüzey ağ yapısı oluşturulmuştur. Tüm modellerde SSO sonrası fiksasyon için aynı miniplak ve vida sistemi kullanılmıştır. Tüm modeller lineer, homojen ve izotropik materyaller olarak kabul edilmiştir. Oluşturulan model alt çene kondil bölgesinden ve kronun üst yüzeyinden her DOF (Degree of freedom)'ta sıfır harekete sahip olacak şekilde sabitlenmiştir. Ferrario ve ark. ⁵ yaptıkları çalışma örnek alınarak mandibulada anterior ısırma kuvvetlerini simüle etmek için birinci kesici dişe 93 N, posterior çiğneme kuvvetlerini simüle etmek için birinci molar dişe 234 N kuvvet uygulanmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. A: Model 2. Mandibulada SSO ile 5 mm ilerletme, proksimal segmentin pasif şekilde fiksasyonu; B: Model 3. Mandibulada SSO ile 5 mm ilerletme, proksimal segmentin alt sınırının distal segmente göre düzeltilerek fiksasyonu; C: Model 4. Mandibulada SSO ile 10 mm ilerletme, proksimal segmentin pasif şekilde fiksasyonu; D: Model 5. Mandibulada SSO ile 10 mm ilerletme, proksimal segmentin alt sınırının distal segmente göre düzeltilerek fiksasyonu.

BULGULAR

Model 1

Isırma ve çiğneme sırasında en yüksek Von Mises stres değerleri (ısırma: 180.35 MPa, çiğneme: 203.36 MPa) mandibuler kondil başının antero-superiorunda ve medialinde izlenmiştir (Şekil 3.M1). Minimum asal gerilim değerleri ısırma ve çiğneme sırasında en yüksek kondil başının superior ve medialinde (ısırma: -230.55 MPa; çiğneme: -251.53 MPa) tespit edilmiştir. Maksimum asal gerilim değerleri ısırma en yüksek kondil başının superiorunda, çiğneme sırasında ise kondil başının antero-superiorunda olduğu izlenmiştir (ısırma: 158.37 MPa; çiğneme: 200.84 MPa) (Tablo 1).

Model 2

Isırma ve çiğneme sırasında en yüksek Von Mises stres değerleri (ısırma: 276.23 MPa, çiğneme: 241.08 MPa) mandibuler kondil başının superiorunda izlenmiştir (Şekil 3.M2). Minimum asal gerilim değerleri ısırma ve çiğneme

sırasında en yüksek kondil başının postero-superior ve medialinde (ısırma: -278.01 MPa; çiğneme: -284.33 MPa) tespit edilmiştir. Maksimum asal gerilim değerleri ısırma ve çiğneme sırasında en yüksek kondil başının superiorunda olduğu izlenmiştir (ısırma: 292.53 MPa; çiğneme: 296.88 MPa) (Tablo 1).

Model 3

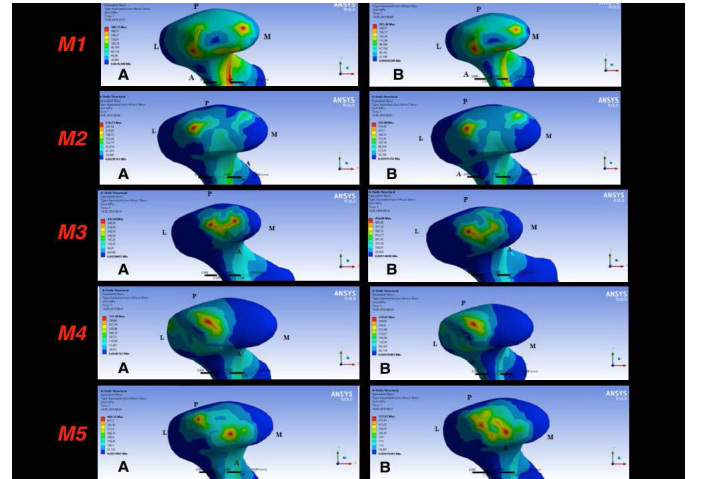
Isırma ve çiğneme sırasında en yüksek Von Mises stres değerleri (ısırma: 432.04 MPa, çiğneme: 454.09 MPa) mandibuler kondil başının postero-superioru ve medialinde izlenmiştir (Şekil 3.M3). Minimum asal gerilim değerleri ısırma ve çiğneme sırasında en yüksek kondil başının postero-superior ve medialinde (ısırma: -530.23 MPa; çiğneme: -534.59 MPa) tespit edilmiştir. Maksimum asal gerilim değerleri ısırma ve çiğneme sırasında en yüksek kondil başının superiorunda olduğu izlenmiştir (ısırma: 563.38 MPa; çiğneme: 606.46 MPa) (Tablo 1).

Model 4

Isırma ve çiğneme sırasında en yüksek Von Mises stres değerleri (ısırma: 331.44 MPa, çiğneme: 379.02 MPa) mandibuler kondil başının postero-superioru ve lateralinde izlenmiştir (Şekil 3.M4). Minimum asal gerilim değerleri ısırma ve çiğneme sırasında en yüksek kondil başının postero-superior ve lateralinde (ısırma: -477.99 MPa; çiğneme: -547.99 MPa) tespit edilmiştir. Maksimum asal gerilim değerlerinin ısırma ve çiğneme sırasında kondil başının lateralinde en yüksek olduğu gözlemlenmiştir (ısırma: 423.46 MPa; çiğneme: 447.48 MPa) (Tablo 1).

Model 5

Isırma ve çiğneme sırasında en yüksek Von Mises stres değerleri (ısırma: 469.35 MPa, çiğneme: 531.01 MPa) mandibuler kondil başının postero-superiorunda olduğu izlenmiştir (Şekil 3.M5). Minimum asal gerilim değerleri ısırma ve çiğneme sırasında en yüksek kondil başının postero-superiorunda (ısırma: -548.14 MPa; çiğneme: -555.09 MPa) tespit edilmiştir. Maksimum asal gerilim değerleri ısırma ve çiğneme sırasında en yüksek kondil başının postero-superior ve lateralinde olduğu gözlemlenmiştir (ısırma: 619.95 MPa; çiğneme: 626.56 MPa) (Tablo 1).



Şekil 3. Tüm modellerde ısırma (A) ve çiğneme (B) sırasında kondil başına gelen Von Mises streslerinin dağılımı.

Tablo 1. Tüm modellerde mandibuler kondil başına gelen Von Mises, çekme (Pmax) ve basma (Pmin) gerilimlerinin değerleri (N: Newton).

		Von Mises	Pmax	Pmin
Model 1	Isırma (93 N)	180.35 MPa	158.37 MPa	-230.55 MPa
	Çiğneme (234 N)	203.36 MPa	200.84 MPa	-251.53 MPa
Model 2	Isırma (93 N)	276.23 MPa	292.53 MPa	-278.01 MPa
	Çiğneme (234 N)	241.08 MPa	296.88 MPa	-284.33 MPa
Model 3	Isırma (93 N)	432.04 MPa	563.38 MPa	-530.23 MPa
	Çiğneme (234 N)	454.09 MPa	606.46 MPa	-534.59 MPa
Model 4	Isırma (93 N)	331.44 MPa	423.46 MPa	-477.99 MPa
	Çiğneme (234 N)	379.02 MPa	447.48 MPa	-547.99 MPa
Model 5	Isırma (93 N)	469.35 MPa	619.95 MPa	-548.14 MPa
	Çiğneme (234 N)	531.01 MPa	626.56 MPa	-555.09 MPa

Model 1'de gonial açı değeri 133.030 olarak tespit edilmiştir. Mandibuler ilerletmeden sonra gonial açıda en fazla değişiklik Model 2'de en az değişiklik Model 5'te görülmüştür. Açıdaki değişimleri sıralayacak olursak Model 2 (124.420) > Model 4 (125.610) > Model 3 (128.350) > Model 5 (129.300)'tir (Tablo 2).

Tablo 2. Tüm modellerde gonial açı değerleri, gonial açı değişimleri, kondilin posterior hareket miktarı ve kondildeki açı değişimi.

	Gonial Açı Değeri	Gonial Açıda Değişiklik	Kondilin Posteriora Hareketi	Kondildeki Açı Değişimi
Model 1	133.03 ⁰			
Model 2	124.42 ⁰	8.61 ⁰	0.33 mm	4.74 ⁰
Model 3	128.35 ⁰	4.68 ⁰	1.08 mm	11.45 ⁰
Model 4	125.61 ⁰	7.42 ⁰	0.61 mm	9.46 ⁰
Model 5	129.30 ⁰	3.73 ⁰	1.74 mm	11.48 ⁰

Mandibuler ilerletme ve saatin tersi yönünde rotasyon yaptırılan olgularda ilerletme miktarı arttıkça kondilin posterioru ve lateralinde stres miktarı artmaktadır. Kondil, ilerletme miktarına bağlı olarak açısal değişimler gösterebilir. Aynı ilerletme miktarında kondilin fiksasyon sırasında orijinal pozisyonunu korumayarak posteriora açılması stres miktarını arttırmıştır ve stres yoğunluğunun kondil başının daha posteriorunda konumlanmasına sebep olduğu tespit edilmiştir. Kondilin, posterior açılması ilerletme miktarındaki değişiklik ile kıyaslandığında stresin artmasında daha etkili olduğu bulunmuştur. Basma stresleri daha çok kondilin antero-superior ve superior alanlarında gözlenirken, çekme stresleri postero-superiora gözlenmektedir.

TARTIŞMA

Ortognatik cerrahi operasyonlar sonrasında kondilde yeniden şekillenme ve rezorpsiyon görülebilmektedir. Politis ve ark.⁶ yaptıkları bir çalışmada, Le fort I osteotomi ve mandibuler ilerletme sonrasında kondiler rezorpsiyon görülme sıklığını araştırmışlardır. 730 hastanın 6'sında (%0,82) kondiler rezorpsiyon görülmüştür. Kondiler rezorpsiyonun SSO ile mandibuler ilerletme sonrası daha sık görüldüğünü, mandibulaya saatin tersi yönünde rotasyon yaptırılmasının bu riski arttırdığını ve sınıf III hastalarda ise çok nadir olduğunu belirtmişlerdir. Posnick ve ark.⁷ operasyondan sonra kondil başlarında rezorptif değişiklikler ve posterior yüz yüksekliğinde azalma tespit etmişlerdir. Politis ve ark.⁶ posterior açılı kondil boyunun rezorpsiyon ve relaps açısından risk faktörü olduğunu belirtmiştir. Çalışmamızda da benzer olarak posterior açılı kondillerde stres daha yüksek bulunmuştur. Yüksek strese maruz kalınması durumunda rezorpsiyon ve relaps riskinin arttığı düşünülmektedir.

Saatin tersi yönünde distal ve proksimal segmentin rotasyonu ve posterior kondil deplasmanı kondil rezorpsiyonu için ameliyata bağlı cerrahi risk faktörü olarak bilinmekte-

dir.⁸ Çalışmada, mandibulaya farklı miktarlarda ilerletme, proksimal segmentin pasif fiksasyonu ve alt sınırının distal segmente göre düzeldiği 5 farklı modelde kondil üzerine gelen baskı, gerilim ve Von Mises stresleri değerlendirilmiştir. Modellerin Von Mises stres yoğunlukları karşılaştırıldığında stres yoğunluğunun en yüksek olduğu alan posteriorda konumlanmıştır. Aynı miktar ilerletme yapılan, proksimal segmentin alt sınırının distal segmente göre düzeltilip fikse edildiği modellerde pasif şekilde fikse edilen modellere göre Von Mises stres değerleri daha yüksek çıkmıştır ve stresin en yüksek olduğu alan daha posteriora konumlanmıştır. Sonuç olarak, fiksasyon sırasında kondilin orijinal pozisyonunda korunmaması durumunda üzerine gelen stres miktarı artmaktadır.

Mandibuler ilerletme miktarı arttıkça Von mises, gerilim ve baskı streslerinde artış izlenmiştir. Kontrol grubunda ve 5 mm mandibuler ilerletme yaptırılan modellerde stres genellikle kondil başının medial yüzeylerinde gözlenirken, 10 mm mandibuler ilerletme yaptırılan modellerde hem kondilin lateral yüzeyleri hem de çığneme sırasında kondil yüksek stres altında kalmaktadır. Mandibuler ilerletme miktarı arttıkça çığneme sırasında ısırma göre kondil başında stres yoğunluğu artmaktadır. Chen ve ark.'nın⁸ yaptıkları çalışmaya benzer olarak kondilin posterior açılanması ile daha önce az stres altında olan bölgelerde stres değerleri artmıştır.

Literatürde yer alan benzer bir çalışma kondilin farklı bölgelerine gelen kuvvet miktarlarının farklı olduğunu bildirmiştir. Ortodontik tedavi gören sınıf II hastalarda Herbst apareyi ile mandibulanın öne alınması sırasında kondilde meydana gelen stresleri sonlu eleman analizi ile inceleyen bir çalışmada, kondilin posteriorunda çekme tipinde gerilme oluşurken, anteriorunda basma tipi gerilmenin meydana geldiği bildirilmiştir.⁹

Tanaka ve ark.¹⁰ maksimum diş sıkma sırasında TME'de oluşan stresleri incelemek için MRG teknolojisinden yararlanarak 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturmuştur. Elde edilen sonuca göre kondilin anterior, orta ve lateral yüzeyinde baskı stresi, posterior ve medial yüzeyinde çekme stresi meydana gelmiştir. Maksimum çekme stresi kondilin posteriorunda izlenmiştir.

Gupta ve ark.¹¹ 2009 yılında yaptıkları bir çalışmada mandibulaya 5 mm horizontal yönde ilerletme sonrasında mandibula kondilinin posteriorunda ve posteriosuperiorunda çekme stresi, kondilin anteriosuperiorunda ise basma stresi alanları gözlemlenmiştir. En yüksek stres ise kondilin posteriorunda ve posteriosuperiorunda izlenmiştir.

Çalışma sonuçlarımıza benzer olarak, Shrivastava ve ark.¹² yaptığı bir çalışmada mandibula 5 mm ve 7.5 mm öne alınmış ve kontrol grubu ile mandibuler kondildeki stres değişkenleri incelenmiştir. Kontrol grubunda en yüksek çekme stresi kondil başının superiorunda, basma stresi

antero-superiorunda iken mandibuler ilerletme ile birlikte stresler daha posterior alana doğru kaymıştır. İlerletme miktarı arttıkça kondil başının posterosuperior kısmında stres değerleri artmıştır. Zhou ve ark.¹³ yaptıkları mandibulanın 8 mm öne ve 4 mm aşağı alındığı sonlu eleman analizi çalışmasında benzer olarak kondilin anterior bölgesinde basma, posterosuperior bölgesinde çekme streslerinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışmamızda mandibuler ilerletme yapılan modellerde y ekseninde gonial açı değişiklikleri, kondil açı değişiklikleri ve kondilin üzerinde seçilen sabit bir noktanın hareketleri incelenmiştir. Aynı miktar ilerletme yapılan, proksimal segmentin alt sınırı distal segmente göre düzeltilerek fikse edildiği modellerde, pasif şekilde fikse edilen modellere göre gonial açıdaki değişikliğin daha az olduğu tespit edilmiştir.

Alder ve ark.¹⁴ yaptıkları bir çalışmada mandibuler ilerletmeden sonra kondil pozisyonlarını x,y,z koordinatlarında değerlendirmiş, koronal düzlemde ortalama 3.50 artma ve 4.30 azalma gözlemlenmiştir. Proksimal segment 3.20 superior, 8.60 inferior yönde rotasyon yapmış; kondil 1.2 mm superior, 1 mm inferior, 1.6 mm anterior ve 1.6 mm posteriora hareket etmiştir. Benzer olarak, Chen ve ark.⁸ Le fort I ve SSO kombinasyonu ile mandibuler ilerletme sonrası kondil pozisyonunun değişikliğini incelemişlerdir. 31 hasta üzerinde yapılan araştırmada ameliyattan hemen sonra kondillerin postero-inferior yönde hareket ettiği tespit edilmiştir. Çalışmamızda kondilin açısal değişikliklerini ve hareket miktarını incelediğimizde tüm modellerde mandibuler ilerletmeden sonra postero-inferiora doğru hareket ve açılanma gözlenmiştir. Modellerde ilerletme miktarının artması ve segmentlerin alt sınırlarının eşitlenerek fiksasyonunun açılanma ve hareket miktarını arttırdığı düşünülmektedir.

Sonlu eleman analizi çalışmalarında birçok değişkenin sabit alınmasının gerekli olmasına rağmen çalışma sonuçları literatürle desteklenebilen, güvenli biyomekanik çalışmalar yapılmasını sağlamaktadır. Ancak anatomi, fizyoloji, patolojik durumları ve tedavi planlamalarını daha iyi taklit edebilen sonlu eleman analizi çalışmaları yapılmalıdır. Sonlu eleman analizi çalışmaları kemik iyileşmeleri hakkında bilgi vermemektedir.^{15,16} Stres değerlerinin yanı sıra farklı ilerletme miktarlarının kemik iyileşmeleri üzerinde farkının olup olmadığı klinik çalışmalarla desteklenmelidir.

SONUÇ

Mandibuler ilerletme ve saatin tersi yönünde rotasyon yaptırılan olgularda, mandibuler ilerletme miktarı kondilin üzerine gelen stres miktarını arttırmaktadır. Kondilin fiksasyon sırasında orijinal pozisyonunun korunmaması ve posteriora daha da açılanması ile de stres miktarı artmaktadır. Ayrıca, kondilde mandibuler ilerletme miktarına ve fiksasyona bağlı olarak açısal değişimler görülebilmektedir. Bu durumlarda gözlenen stres artışı da relapsa neden

olabilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Mani V. Surgical treatment. In: Surgical Correction of Facial Deformities. New Delhi: JP Medical Ltd: p. 101.
2. Gupta A, Hazarey PV, Kharbanda OP, Kohli VS, Gunjal A. Stress distribution in the temporomandibular joint after mandibular protraction: a 3-dimensional finite element study. Part 2. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2009; 135: 749-756.
3. Shrivastava A, Hazarey PV, Kharbanda OP, Gupta A. Stress distribution in the temporomandibular joint after mandibular protraction: A three-dimensional finite element study. Angle Orthod 2014; 85: 196-205.
4. Hirose M, Tanaka E, Tanaka M, Fujita R, Kuroda Y, et al. Three-dimensional finite-element model of the human temporomandibular joint disc during prolonged clenching. Eur J Oral Sci 2006; 114: 441-448.
5. Ferrario VF, Sforza C, Serrao G, Dellavia C, Tartaglia GM. Single tooth bite forces in healthy young adults. J Oral Rehabil 2004. 31: 18-22.
6. Politis C, Van De Vyvere G, Agbaje JO. Condylar Resorption After Orthognathic Surgery. J Craniofac Surg 2019; 30: 169-174.
7. Posnick JC. Orthognathic Surgery - 2. Principles and Practice. London, UK: Elsevier,, 2014: 1783.
8. Chen S, Lei J, Wang X, Fu K-Y, Farzad P, et al. Short-and long-term changes of condylar position after bilateral sagittal split ramus osteotomy for mandibular advancement in combination with Le Fort I osteotomy evaluated by cone-beam computed tomography. J Oral Maxillofac Surg 2013; 71: 1956-1966.
9. Hu L, Zhao Z, Fan Y, Jiang W, Chen J. The influences of the stress distribution on the condylar cartilage surface by Herbst appliance under various bite reconstruction--a three dimensional finite element analysis. Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi (Article in Chinese) 2001; 19: 46-48.
10. Tanaka E, Rodrigo DP, Miyawaki Y, Lee K, Yamaguchi K, et al. Stress distribution in the temporomandibular joint affected by anterior disc displacement: a three-dimensional analytic approach with the finite-element method. J Oral Rehabil 2000; 27: 754-759.
11. Gupta A, Kohli VS, Hazarey PV, Kharbanda OM, Gunjal A. Stress distribution in the temporomandibular joint after mandibular protraction: a 3-dimensional finite element method study. Am J Orthod Dentofacial Orthop Part 1. 2009; 135: 737-748.
12. Shrivastava A, Hazarey PV, Kharbanda OP, Gupta A. Stress distribution in the temporomandibular joint after mandibular protraction: A three-dimensional finite element study. Angle Orthod 2014; 85: 196-205.
13. Zhou X, Zhao Z, Zhao M. Analysis of the condyle in the state on the mandibular protraction by means of the three-dimensional finite element method. Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi (Article in Chinese) 1999; 34: p. 85-87.
14. Alder ME, Deahl ST, Matteson SR, Van Sickels JE, Tinner BD, et al. Short-term changes of condylar position after sagittal split osteotomy for mandibular advancement. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1999; 87: 159-65.
15. Hu L, Zhao Z, Song J, Fan Y, Jiang W, et al. The influences of the stress distribution on the condylar cartilage surface by Herbst appliance under various bite reconstruction--a three dimensional finite element analysis. Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi (Article in Chinese) 2001; 19: 46-48.
16. Wong HC, Tang WC. Finite element analysis of the effects of focal adhesion mechanical properties and substrate stiffness on cell migration. J Biomech 2011; 44: 1046-1050.