

Özgün araştırma makalesi

Vertikal çeneliğin mandibular kondil ve ramus üzerindeki biyomekanik etkilerinin ön açık kapanışı olan ve olmayan bireylerde sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi

Özer Alkan ^{1,*} Sevil Akkaya²

¹Ortodonti Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi ²Ortodonti Anabilim Dalı, Diş Hekimliği Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara

ÖZET

AMAÇ: Araştırmanın amacı, ortodontide özellikle yüksek açılı vakalarda uygulanan ağız dışı aygıtlardan biri olan vertikal çeneliğin temporomandibular eklem (TME) üzerindeki biyomekanik etkilerinin ön açık kapanışı olan ve olmayan bireylerde sonlu elemanlar metodu ile değerlendirilmesidir.

GEREÇ VE YÖNTEM: Vertikal çeneliğin TME'de oluşturduğu stres miktar ve dağılımının belirlenmesinde ön açık kapanışı olan ve olmayan iki farklı bireye ilişkin iki ayrı üç boyutlu geometrik model oluşturuldu (Sırasıyla Model I ve Model II). Dijital görüntülerden geometrik modellerin ağ yapısı oluşturularak stres miktar ve dağılımının hesaplanması işlemi ise ABAQUS bilgisayar programı kullanılarak yapıldı.

BULGULAR: Beş N' luk ortopedik kuvvet uygulayan vertikal çenelik apareyinin Model I ve Model II'deki TME'de oluşturduğu stres miktar ve dağılımında farklılıklar tespit edildi. Model I ve Model II'e ait dişlerde saptanmış olan en yüksek stres miktarını mandibular kondil bölgesi izlemektedir. Model I ve Model II'deki mandibular kondil bölgesinde tespit edilen en yüksek stres miktarları sırasıyla 5.64 MPa, 1.38 MPa'dır. Model I ve Model II'e ait mandibular kondilde tespit edilen yüksek stres bölgelerinin lokalizasyonunda da farklılıklar tespit edildi. Model I'e ait mandibular kondil başında stres üst arka bölgede lokalize, Model II'de üst ön bölgede lokalize oldu.

SONUÇ: Klinisyenler ön açık kapanışa sahip bireylerde kullanılan standart ortopedik kuvvetlerin TME üzerindeki olası patolojik etkileri konusunda dikkatli olmalıdır.

ANAHTAR KELİMELER: Açık kapanış; sonlu elemanlar metodu; temporomandibular eklem

KAYNAK GÖSTERMEK İÇİN: Alkan Ö, Akkaya S. Vertikal çeneliğin mandibular kondil ve ramus üzerindeki biyomekanik etkilerinin ön açık kapanışı olan ve olmayan bireylerde sonlu elemanlar metodu ile incelenmesi. Acta Odontol Turc 2020;37(2):48-53

EDİTÖR: Emine Kaygısız, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

YAYIN HAKKI: © 2020 Alkan ve Akkaya. Bu eserin yayın hakkı [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) ile ruhsatlandırılmıştır. Sınırsız kullanım, dağıtım ve her türlü ortamda çoğaltım, yazarlar ve kaynağın belirtilmesi kaydıyla serbesttir.

FINANSAL DESTEK: Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Biriminden 03/2007-4 proje numarası ile finansal destek alınmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI: Bulunmamaktadır.

[The abstract in English is at the end of the manuscript]

GİRİŞ

İskeletsel ön açık kapanış vakalarının tedavisinde yaygın olarak kullanılan vertikal çenelik apareyinin; mandibulanın aşağı ve arka yöndeki büyümesinin öne ve yukarı yöne değiştirilmesinde, ön yüz yüksekliğinin azaltılmasında, alt arka dentoalveolar bölgenin intruziyonunda etkili olduğu klinik çalışmalarda sefalometrik olarak gösterilmiştir.^{1,2} İskeletsel ön açık kapanış vakalarının tedavilerinde etyolojik faktörlerin doğru bir şekilde tespit edilip uzaklaştırılmasının, bireyin büyüme modelinin doğru tanımlanmasının ve uygun etki mekanizmasına sahip mekaniklerin seçilmesinin önemli olduğu bilinmektedir.³⁻⁵ Ancak iskeletsel ön açık kapanış vakalarının teşhisinde rutin olarak kullanılan sefalometrik analiz parametreleri; etyoloji, bireyin büyüme modeli ve seçilen mekaniklerin uyguladıkları kuvvetlerin kemik dokuda neden olduğu değişimler gibi biyolojik faktörleri açıklamada yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle mekanik kuvvetlerin biyolojik etkileri hakkındaki pek çok sorun hala açıklanamamıştır.⁶⁻¹⁴

Diş hekimliğinde, anatomik yapılar üzerine uygulanan kuvvetlerin etkileri; foto elastik kuvvet analiz,

Makale gönderiliş tarihi: 10 Aralık 2019; Yayına kabul tarihi: 7 Nisan 2020
*İletişim: Dr. Özer Alkan, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ortodonti Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye;
E-posta: alkanozer@hotmail.com

kırılabilir vernik ile kaplama, halografik interferometri, termografik stres analiz, gerinim ölçer stres analiz, radyoteleometri yöntemleri gibi farklı analiz yöntemleriyle incelenebilmektedir. Bu yöntemlerden pek çoğunun metabolik ve yapısal ihtiyaçlara cevap verebilen, canlı ve kompleks bir doku olarak tanımlanan kemik yapısının iç birimlerindeki stres dağılımını ve yer değiştirmeleri değerlendirmede sınırlı kaldığı belirtilmektedir. Bu durum biyomekanik davranışların daha ayrıntılı olarak tanımlanmasına gereksinim olduğunu göstermektedir. Ancak sonlu elemanlar stres analizi ile analitik çözümü bulunmayan bu problemlere yaklaşık çözüm bulunabilmekte; bu nedenle de deneysel metotlara alternatif yeni bir simülasyon ve deney aracı olarak kullanılabilir. ¹⁵

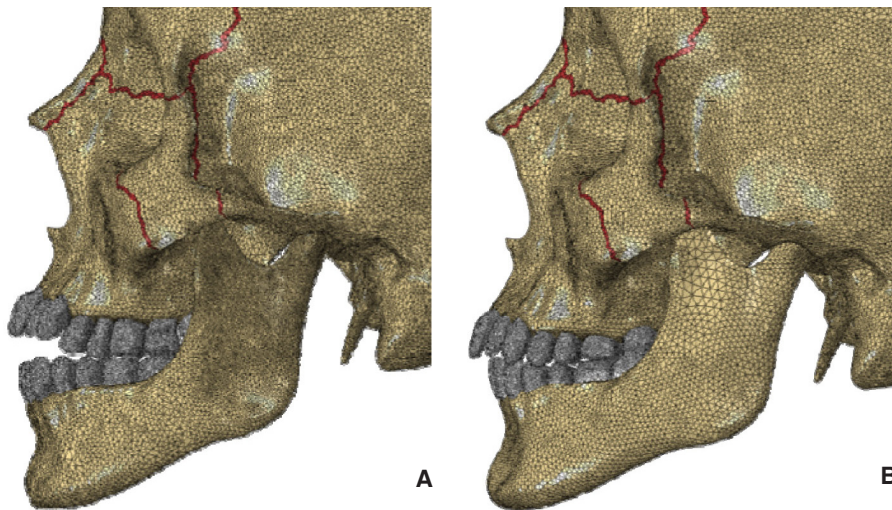
İskeletsel ön açık kapanış vakalarında kullanılan vertikal çenelik apareyi standart kuvvet sistemleri oluşturmasına karşın, stomatognatik sistem üzerindeki etkilerinde bireysel farklılıklar görülebilmektedir. Bu sistemlerin oluşturduğu ortopedik kuvvetlerin ön açık kapanışı olan ve olmayan gibi farklı dişsel özelliklere sahip yüksek açılı bireylerin; çene kemikleri, dentoalveolar yapıları ve temporomandibular eklemden (TME) oluşturduğu etkileri inceleyen bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu araştırmanın amacı, iskeletsel ön açık kapanış vakalarında uygulanan ortopedik bir aygıt olan vertikal çeneliğin, mandibular kondil ve ramus üzerindeki biyomekanik etkilerinin, günümüzde üç boyutlu dijital görüntüleme metodları ile birlikte gelişen ve in vitro olarak uygulanan stres analizleri içinde avantajları ortaya konulmuş olan sonlu elemanlar stres analizi metodu ile incelenmesidir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Araştırmaya Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Etik Kurulu'ndan 23.01.2007 tarih ve 01 sayılı Etik Kurul onayı alınarak başlandı.

Klinik muayene sırasında dik yön yüz boyutları artmış olduğu görülen bireylerden alınan lateral sefalometrik radyografilerde ANB açısı ve alt çene düzlem eğimi kullanılarak bir ön değerlendirme yapılarak, iskeletsel sınıf 1, yüksek açılı vakalar tespit edildi. Bu bireyler arasından da biri dişsel ön açık kapanış (Model I), diğeri ise kabul edilebilir overbite ve overjet ilişkisine sahip olan (Model II) iki kız birey araştırmamıza dahil edildi. Model I ve Model II'e ait bireylere ilişkin ANB açıları sırasıyla; 4°, 3° ve alt çene düzlem eğimi açıları sırasıyla; 41°, ve 42° şeklinde belirlendi. Aynı büyüme gelişim dönemlerindeki bu bireylerin kemik yaşları ile kronolojik yaşları arasında önemli bir sapmanın olmasına da dikkat edildi. DP_{3 union} büyüme gelişim dönemindeki Model I ve Model II'e ait bireylerin kronolojik yaşları sırasıyla; 13 yıl 11 ay, 13 yıl 4 ay, kemik yaşları ise sırasıyla; 14 yıl 1 ay ve 13 yıl 11 ay'dı.

Vertikal çenelik uygulamasındaki kuvvet miktarı tek tarafta 5 N olarak belirlendi. Araştırmada standart olarak kullanılan vertikal çenelik apareyinin (3M Unitek Orthodontic Products, Monrovia, CA, ABD) uyguladığı kuvvetin alt çene kemiğine dik yönde iletilebilmesi için supramental altından başlayıp çene ucunu içine alacak şekilde yerleştirilen çeneliğin çengel ucunun oksipital, parietal ve frontal kemik bölgelerinden ankraj alınarak yerleştirilen dikey yönlü başlıkla bağlantısını sağlayan elastik parçanın gözün dış bileşiminin üç santimetre uzağından geçecek şekilde yerleştirilmesine dikkat edildi. Tespit edilen kuvvetin yönü, sonlu elemanlar stres analizi yönteminin yükleme aşamasında geometrik model üzerine aktarıldı. Vertikal çenelik kullanım endikasyonu konulan büyüme gelişim dönemindeki bu iki kız bireyin, 3 boyutlu geometrik modellerinin oluşturulması amacıyla maksillofasiyal görüntüleme merkezinde ILUMA marka (ILUMA™ Cone Beam CT Scanner, IMTEC Technology, Ardmore, Oklahoma, ABD) konik ışınli bilgisayarlı tomografi cihazı kullanıldı. Tarama işlemi sonucunda elde edilen verilerden tam dijital DICOM



Resim 1. Üç boyutlu geometrik modellerin ağı yapısının vestibülden görünüşü; (A) Model I, (B) Model II.

3.0 uyumlu volumetrik bilgisayarlı tomografi görüntüleri elde edildi. Bu görüntülerden geometrik model elde edilerek ağ yapısının oluşturulması işlemi ise, ABAQUS (Version 6.8.1, Hibbitt, Karlsson& Sorensen Ins.HKS, Johnston, Rhode Island, ABD) bilgisayar programı kullanılarak yapıldı. Geometrik modellerin ağ yapısını oluşturan elemanların materyal özelliklerinin tanımlanmasında kullanılan 'elastik modulus' ve 'poisson oranları' Tablo 1'de görülmektedir.

Model I; dişsel ön açık kapanış ilişkisine sahip vakayı tanımlarken, Model II; kabul edilebilir overjet ve overbite ilişkisine sahip olan vakayı tanımlamaktadır (Resim 1). Model I ve Model II geometrik modellerinin ağ yapısının oluşturulmasında kullanılan eleman ve düğüm sayısı Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 1. Geometrik modellerin ağ yapısının oluşturulmasında kullanılan elemanların 'elastik modulus' ve 'poisson oranları'

Anatomik Yapılar	Elastik Modulus (MPa)	Poisson Oranları
Dişler	70000	0.30
Periodontal Ligament	7	0.49
Süngerimsi Kemik	7800	0.35
Kortikal Kemik	14000	0.30
Sutural Yapılar	7	0.49

Tablo 2. Geometrik modellerin ağ yapısının oluşturulmasında kullanılan eleman ve düğüm sayıları

Geometrik Model	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
Model I	617586	130.420
Model II	578410	120.673

ğüm sayısı Tablo 2'de görülmektedir.

BULGULAR

Model I'e ait vestibül ve lingual yüzey görüntülerindeki en yüksek stres bölgelerinden biri, mandibular kondil başının altından başlayıp sigmoid girintiyi içine alarak koronoid çıkıntının arka kenarında sonlanan ramusun üst-arka alanıdır (Resim 2-4).

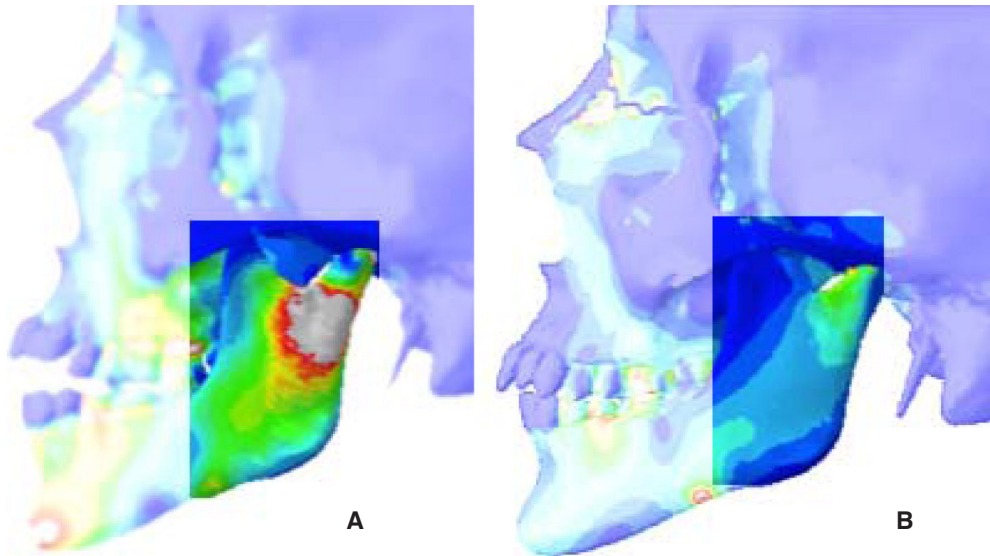
Model II'e ait vestibül ve lingual yüzey görüntülerinde ise mandibular kondil başının altında ve ramusun arka bölgesinde mavi ve yeşil renkle tanımlanan düşük düzeydeki stres bölgeleri görülmektedir (Resim 2-4).

Model I ve Model II'e ait dişlerde saptanmış olan en yüksek stres miktarını (sırasıyla; 16.84 MPa, 13.94 MPa) mandibular kondil ve ramus bölgesi izlemektedir (Resim 2). Bu bölgeler için Model I'de mandibular kondilin üst arka bölgesinde tespit edilen en yüksek stres miktarı 5.64 MPa ile Model II'deki mandibular kondilin üst ön bölgesinde tespit edilen en yüksek stres miktarı olan 1.38 MPa'a göre yaklaşık dört katı değere ulaşmıştır (Resim 3, 4).

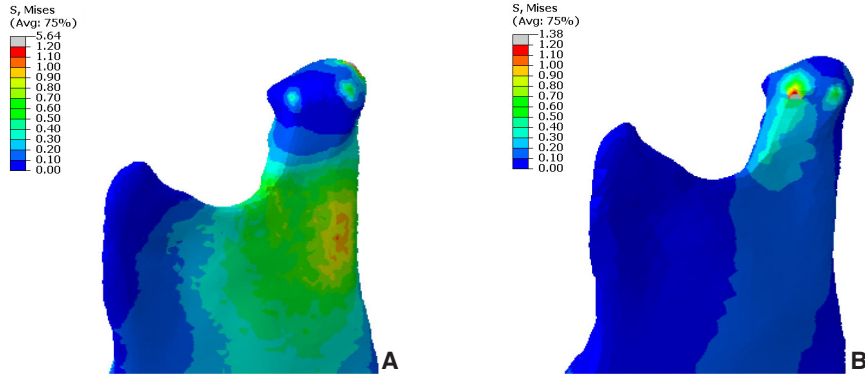
Her iki modele ait mandibular kondil ve ramusta tespit edilen yüksek stres bölgelerinin lokalizasyonunda da farklılıklar tespit edilmiştir. Model I'e ait vestibül ve lingual görüntülerde, mandibular kondil başında stres üst arka bölgede, Model II'de ise üst ön bölgede lokalize olmuştur. Modellerin hiçbirinde vestibül ve lingual görüntülerde mandibular koronoid çıkıntılarda herhangi bir stres bölgesi saptanmamıştır (Resim 3, 4).

TARTIŞMA

İskeletsel ön açık kapanış vakalarında görülen fonksiyonel ve estetik problemlerin düzeltilebilmesi için tercih



Resim 2. Vertikal çenelik uygulaması ile stres dağılımına ilişkin bulguların vestibülden görünüşü; (A) Model I, (B) Model II.



Resim 3. Vertikal çenelik uygulaması ile mandibular kondil ve koronoid çıkıntıda belirlenen stres dağılımına ilişkin bulguların vestibulden görünüşü; (A) Model I, (B) Model II.

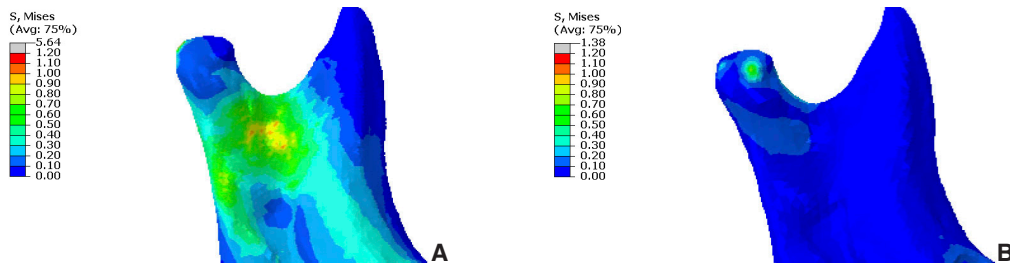
edilen ortodontik tedavilerde, apareylerle tek ve/veya iki çene kemiğiyle birlikte dentoalveolar yapıyı da etkileyebilen mekanik kuvvetler uygulanarak dik yön yüz boyutunun kontrolü amaçlanmaktadır.¹⁶⁻¹⁹ İskeletsel ön açık kapanış vakalarındaki dik yön yüz boyutunun kontrolü ve açık kapanışın eliminasyonu için kullanılacak apareylerden biri vertikal çeneliktir.^{18,20,21}

Yapılan literatür değerlendirmesi sonucunda, iskeletsel ön açık kapanış vakalarına ilişkin tedavi sonuçlarının, sefalometrik analiz parametreleri kullanılarak daha doğru şekilde değerlendirilebilmesi için, uygun örneklem büyüklüğünde randomize kontrollü klinik araştırmalara gereksinim vardır.^{19,22-24} Günümüzde iskeletsel ön açık kapanış vakalarının ortopedik tedavisinde kullanılan mekanikler tarafından uygulanan standart kuvvet sistemlerinin yeniden şekillenebilen kemik dokuda farklı morfolojik değişimlere neden olduğu görülmüştür. Bu morfolojik değişimlerde; alt-üst daimi dişlerin karşılıklı temasta olduğu oklüzal yüzeylerin, alt çene kondil başının ve üst çene kemiğinin kafa kaidesi ile bağlantısını sağlayan suturların anahtar rol oynadığı saptanmıştır.¹⁰ Kemik büyümesi ve remodelasyonunun kontrolünde uygulanan mekanik kuvvetlerin bölgede neden olacağı stres miktarı ve dağılımının en önemli faktör olduğu kabul edilmektedir. Bireyin büyüme gelişimini yönlendirmek için uygulanan ortopedik kuvvetlerin, erişkin bireylerin kemik dokusunda dahi 20 MPa'a kadar çıkabilen stres değerlerinde fizyolojik kemik remo-

delasyonunun gerçekleşebildiği belirtilmektedir. Ayrıca, mekaniklerin kemik dokuda neden olduğu stres miktarı ve dağılımının deneysel olarak gösterilebildiği sonlu elemanlar stres analiziyle birlikte sefalometrik analiz yöntemleriyle tespit edilmiş olan morfolojik değişimlerin açıklanabileceği düşünülmektedir.^{25,26}

Ortodonti literatüründe, ön açık kapanış ve/veya iskeletsel yüksek açılı olarak tanımlanan bireylerdeki dik yön boyutlarının kontrolünde etkili bir ağız dışı ortopedik aparey olarak kabul edilen vertikal çeneliğe ait ağız dışı kuvvetlerin dentofasiyal yapılarıdaki dağılımının miktarı ve lokalizasyonu hakkındaki bilgiler sınırlıdır. Alba ve ark.¹⁰ tarafından bu konuda yapılmış olan tek çalışmada, vertikal çenelik altındaki stres dağılımlarının lokalizasyonu fabrikasyon olarak oluşturulan model üzerinde fotoelastik yöntemlerle tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda; alt ve üst çene kemiğine ait II. küçük azı ve I. büyük azı dişleri, alt çene kemiği kondil başı, korpusu ve ramusunda lokalize stres alanları saptanmışken, üst çene kemiği ve çevre dokularında ise herhangi bir stres saptanmadığı belirtilmiştir. Alba ve ark.¹⁰, fotoelastik yöntemle araştırma modelinde vertikal çenelik apareyine ait oluşabilecek streslerin sadece lokalizasyonunu değerlendirmişken, bu çalışmada ise sonlu elemanlar stres analizi yöntemiyle üç boyutlu araştırma modellerindeki TME'de vertikal çenelik apareyinin neden olduğu stresin miktarı ve dağılımı değerlendirilmiştir.

Ortodonti literatüründe, sonlu elemanlar stres analizi



Resim 4. Vertikal çenelik uygulaması ile mandibular kondil ve koronoid çıkıntıda belirlenen stres dağılımına ilişkin bulguların lingualden görünüşü; (A) Model I, (B) Model II.

yöntemiyle elde edilen üç boyutlu araştırma modellerinin oldukça sık kullanıldığı belirlenmiştir.²⁷⁻³² Aynı zamanda ortodontik ve ortopedik kuvvetlerin dentofasiyal kompleksini oluşturan anatomik yapılar üzerindeki biyomekanik etkileri de bu modeller üzerinde değerlendirilmiştir.^{27-29,32} Yapılan çalışmalar sonucunda, sonlu elemanlar stres analizi yönteminin ortodonti mekaniklerinin seçiminde kullanılabileceği rapor edilmiştir.^{27,29,30,32}

Model I ve Model II'e ait dişlerde saptanmış olan en yüksek stres miktarını mandibular kondil ve ramus bölgesi izlemektedir. Model I ve Model II'deki mandibular kondil bölgesinde tespit edilen stres miktarı sırasıyla 5.64 MPa, 1.38 MPa'dır. Model I'e ait kondil başında tespit edilen stres düzeyinin Model II'e göre daha yüksek olma nedeninin sentrik oklüzyona giren diş sayısının daha az olması nedeniyle stresin şok absorpsiyonunda devreye ikinci bölge olan mandibular kondilin girmesi olduğu düşünülmektedir. Modellerde ait dişlerde tespit edilen en yüksek stres miktarlarının sentrik oklüzyonda temasta olan diş sayısından ve bu temas sırasındaki oklüzal temas noktalarının lokalizasyonundan etkilenebileceği görülmektedir.

Model I'e ait kondil başında stres üst arka bölgede, Model II'de ise ön bölgede lokalize olmuştur. Model I'e ilişkin mandibular kondil başındaki lokalizasyonun Alba ve ark.¹⁰ ait araştırma bulgularıyla uyumlu olduğu saptanmıştır. Ancak Alba ve ark.¹⁰ fotoelastik yöntemini kullandıkları fabrikasyon araştırma modellerinin dentofasiyal özellikleri hakkında herhangi bir bilgi vermemişlerdir.

Büyümekte olan bireylerde kullanılan ortopedik aparatların uyguladıkları kuvvetin TME'ye zarar vermeyecek sınırlarda olması oldukça önemli bir konudur. Bu çalışma ile bireylerin oklüzal özelliklerinin, standart kuvvet uygulayan aparatların TME üzerinde neden olabilecekleri stres miktarı ve dağılımını etkilediği gösterilmiştir.

Ortodontide temel hedef, stomatognatik sistem fonksiyonlarının daha iyi bir duruma getirilmesidir. Uygulanan vertikal kuvvetlerin mandibular ramus boyunca kondil başına da ulaşan stres oluşumlarına yol açtığı bu çalışma ile belirlenmiştir. Bu stres değerlerinin, TME'nin yapısı içerisinde absorbe olup olmadığı ve etkileri şeklindeki sorularımız mevcut teknolojik imkanlar içerisinde henüz yanıtlanamamıştır. Aynı zamanda mevcut stres değeri ve dağılımlarının özellikle sefalometrik referans noktalarında neden olabilecekleri yer değiştirmelerin tespit edilebilmesi durumunda, ortodontik tedavi sonuçlarının daha detaylı değerlendirilmesinin mümkün olacağını düşünmekteyiz. Bu konuda daha kapsamlı gelecek çalışmalara ihtiyaç olduğu açıktır.

SONUÇ

Bu araştırmanın sonucunda, oklüzal özelliklerin vertikal çenelik gibi standart kuvvet uygulayan aparatların TME üzerinde neden olabilecekleri stres miktarı ve dağılımını etkilediği görülmüştür.

TEŞEKKÜR VE ANMA

Bu araştırma, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 03/2007-4 proje numarası ile finansal olarak desteklenmiş ve 13-17 Ekim 2018 tarihinde İzmir'de gerçekleştirilmiş olan 16. Uluslararası Türk Ortodonti Derneği Kongresi'nde sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR

1. Işcan HN, Dincer M, Gultan A, Meral O, Taner-Sarisoy L. Effects of vertical chin cup therapy on the mandibular morphology in open-bite patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;122:506-11.
2. Pedrin F, Almeida MR, Almeida RR, Almeida-Pedrin RR, Torres F. A prospective study of the treatment effects of a removable appliance with palatal crib combined with high-pull chin cup therapy in anterior open-bite patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:418-23.
3. Nielsen HJ, Bakke M, Blixencrone-Moller T. Functional and orthodontic treatment of a patient with an open bite craniomandibular disorder. *Tandlaegebladet* 1991;95:877-81.
4. Sankey WL, Buschang PH, English J, Owen AH 3rd. Early treatment of vertical skeletal dysplasia: the hyperdivergent phenotype. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;118:317-27.
5. Galletto L, Urbaniak J, Subtelny JD. Adult anterior open bite. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;97:522-6.
6. Nahoum HI. Anterior open-bite: a cephalometric analysis and suggested treatment procedures. *Am J Orthod* 1975;67:513-21.
7. Graber TM, Vig KL, Vanarsdall RL. *Orthodontics: Current Principles and Techniques*. 4th ed. St. Louis, MO: Mosby Elsevier, 2005.
8. Dung DJ, Smith RJ. Cephalometric and clinical diagnoses of open bite tendency. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:484-90.
9. Faulkner KG, Gluer CC, Majumdar S, Lang P, Engelke K, Genant HK. Noninvasive measurements of bone mass, structure, and strength: current methods and experimental techniques. *Am J Roentgenol* 1991;157:1229-37.
10. Alba A, Chaconas SJ, Caputo AA, Emison W. Stress Distribution Under High-pull Extraoral Chin Cup Traction, A photoelastic study. *The Angle Orthodontist* 1982;52:69-78.
11. Davidovitch Z, Krishnan V. Role of basic biological sciences in clinical orthodontics: A case series. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009;135:222-31.
12. Lespessailles E, Chappard C, Bonnet N, Benhamou CL. Imaging techniques for evaluating bone microarchitecture. *Joint Bone Spine* 2006;73:254-61.
13. Schudy FF. The Rotation of the Mandible Resulting from Growth: Its Implications in Orthodontic Treatment. *Angle Orthod* 1965;35:36-50.
14. Trouten JC, Enlow DH, Rabine M, Phelps AE, Swedlow D. Morphologic factors in open bite and deep bite. *Angle Orthod* 1983;53:192-211.
15. Eskitaşçıoğlu G, Yurdokur B. Diş Hekimliğinde Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi. *AÜ Diş Hek Fak Derg* 1995;22:201-5.
16. Ngan P, Fields HW. Open bite: a review of etiology and management. *Pediatr Dent* 1997;19:91-8.
17. Lentini-Oliveira D, Carvalho FR, Qingsong Y, Junjie L, Saconato H, Machado MA, et al. Orthodontic and orthopaedic treatment for anterior open bite in children. *Cochrane Database Syst Rev* 2007:CD005515.
18. English JD. Early treatment of skeletal open bite malocclusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;121:563-5.
19. Cozza P, Mucedero M, Baccetti T, Franchi L. Early orthodontic treatment of skeletal open-bite malocclusion: a systematic review. *Angle Orthod* 2005;75:707-13.
20. Haas AJ. A biological approach to diagnosis, mechanics and treatment of vertical dysplasia. *Angle Orthod* 1980;50:279-300.
21. Huang GJ. Long-Term Stability of Anterior Open-Bite Therapy: A Review. *Semin Orthod* 2002;8:162-72.

22. Arat M, Iseri H. Orthodontic and orthopaedic approach in the treatment of skeletal open bite. *Eur J Orthod* 1992;14:207-15.
23. Ng WQ, Neill J. Evidence for early oral feeding of patients after elective open colorectal surgery: a literature review. *J Clin Nurs* 2006;15:696-709.
24. Buschang PH, Sankey W, English JD. Early Treatment of Hyperdivergent Open-Bite Malocclusions. *Semin Orthod* 2002;8:130-40.
25. Tanne K, Sakuda M, Burstone CJ. Three-dimensional finite element analysis for stress in the periodontal tissue by orthodontic forces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;92:499-505.
26. Tanne K, Sakuda M. Biomechanical and clinical changes of the craniofacial complex from orthopedic maxillary protraction. *Angle Orthod* 1991;61:145-52.
27. Hartono N, Soegiharto BM, Widayati R. The difference of stress distribution of maxillary expansion using rapid maxillary expander (RME) and maxillary skeletal expander (MSE)—a finite element analysis. *Progress in Orthodontics* 2018; 19:33.
28. Ulusoy Ç, Doğan M. A new method for the treatment of unilateral posterior cross-bite: a three dimensional finite element stress analysis study. *Progress in Orthodontics* 2018; 19:31.
29. Ammourey MJ, Mustapha S, Dechow PC, Ghafari JG. Two distalization methods compared in a novel patient-specific finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2019;156:326-36.
30. Chae JM, Park JH, Kojima Y, Tai K, Kook YO, Kyung HM. Biomechanical analysis for total distalization of the mandibular dentition: A finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2019;155:388-97.
31. Park CS, Yu HS, Cha JY, Mo SS, Lee KJ. Effect of archwire stiffness and friction on maxillary posterior segment displacement during anterior segment retraction: A three dimensional finite element analysis. *Korean J Orthod* 2019;49:393-403.
32. Uysal C, Baloş Tuncer B, Tuncer C. Maxillary posterior intrusion with corticotomy-assisted approaches with zygomatic anchorage—a finite element stress analysis. *Progress in Orthodontics* 2019; 20:8.

An investigation of the biomechanical effects of vertical chin cup on mandibular condyle and ramus in those with and without anterior openbite: a finite element method

ABSTRACT

OBJECTIVE: To evaluate the biomechanical effects of vertical chin cup, an extraoral device especially used in patients with high-angle malocclusion, on temporomandibular joint (TMJ) in those with and without anterior open bite using finite element method.

MATERIALS AND METHOD: Two different three-dimensional geometric models (Models I and II) were created for two subjects with or without anterior open bite (Models I and II, respectively) in order to determine the amount and distribution of the stresses created by vertical chin cup on the TMJ. ABAQUS software was used to calculate the amount and distribution of the stresses by forming mesh structure of the geometric models from digital images.

RESULTS: There were differences in the amount and distribution of the stresses on the TMJ in Models I and II created by vertical chin cup with an orthopedic force of 5 N. Mandibular condylar region follows the highest amount of stress tension found in the teeth of Models I and II. The highest amount of stress detected in the mandibular condylar area in Models I and II were 5.64 and 1.38 MPa, respectively. There were differences in the localization of high stress zones found in the mandibular condyle of Models I and II. The stress at the mandibular condylar head of Model I was localized in the upper posterior region whereas it was localized in the upper front region in Model II.

CONCLUSION: Clinicians should be aware of the possible pathological effects of standart orthopedic forces on TMJ in subjects with anterior open bite.

KEYWORDS: Finite element method; open bite; temporomandibular joint