

# Hızlı Üst Çene Genişletmesi (RME)- Kuvvet İlişkisi ve RME ile Oluşan Histolojik Değişimler

## Rapid Maxillary Expansion (RME)- Force Connection and Histological Changes Caused by RME: Review

Koray HALICIOĞLU,<sup>a</sup>  
İbrahim YAVUZ<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Ortodonti AD,  
Abant İzzet Baysal Üniversitesi  
Diş Hekimliği Fakültesi,  
Bolu

<sup>b</sup>Ortodonti AD,  
Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi,  
Erzurum

Geliş Tarihi/Received: 01.03.2010  
Kabul Tarihi/Accepted: 21.09.2010

Yazışma Adresi/Correspondence:  
Koray HALICIOĞLU  
Abant İzzet Baysal Üniversitesi  
Diş Hekimliği Fakültesi,  
Ortodonti AD, Bolu,  
TÜRKİYE/TURKEY  
korayhalicioğlu@hotmail.com

**ÖZET** Çapraz kapanışın düzeltilmesi amacıyla üst çenenin yatay yönde genişletilmesi 1960'lı yıllardan beri kullanılan bir yöntemdir. Bu amaç için çeşitli genişletme protokolleri [Yavaş üst çene genişletmesi, yarı hızlı üst çene genişletmesi ve hızlı üst çene genişletmesi (RME)] uygulanmaktadır. Genel olarak klinisyenler RME protokolüne güvenmektedirler. Bu yüzden, bu konu hakkında yapılan çalışmaların sayısının çok fazla olduğu görülmektedir. RME maksilla ve mandibula arasındaki transversal yöndeki iskeletsel ve dişsel bozuklukların düzeltilmesinde kullanılmaktadır. Bu anomaliler, iskeletsel (midpalatal suturanın yırtılması) ve dişsel genişletme (üst çene posterior dişlerin laterale tippingi) ile düzeltilmektedir. RME sırasında ilişkili anatomik yapılarda makro ve mikro değişimler bildirilmiştir. RME sırasında vidanın tek aktivasyonu ile 1,5-4 kg arasında kuvvet oluşmaktadır ve bu kuvvet günlük aktivasyon sonrası 9 kg veya daha fazla olabilmektedir. RME işlemi sırasında oluşan direnç, mid palatal sutura ile birlikte asıl üst çenenin diğer suturalarından kaynaklanmaktadır. RME'nin neden olduğu ağır kuvvetler ankraj dişlerde de histolojik değişimlere neden olmaktadır. Bu çalışmada, RME-kuvvet ilişkisi ve RME sonucu meydana gelen histolojik ve uygulanan kuvvete bağlı oluşan anatomik değişimler anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Damak genişletme tekniği; ortodontik gereçler; sınırlı eleman analizi; histolojik teknikler

**ABSTRACT** Transversally expansion of the maxilla is a method that have been used to correct posterior crossbites by orthodontics specialists since 1960s. Various expansion protocols [slow maxillary expansion, semirapid maxillary expansion and rapid maxillary expansion RME] have been applied for this purpose. Clinicians mainly rely on rapid maxillary expansion protocols. Therefore, a large range of studies about this topic has been found. RME of the maxilla is used to correct skeletal and dental transverse discrepancies between the maxilla and mandible. These discrepancies are corrected through a combination of skeletal expansion (separation of the maxillary midpalatal suture) and dental expansion (lateral tipping of the maxillary posterior teeth). RME has been thoroughly described with respect to macro and micro changes that the involved anatomic structures undergo. During RME, forces between 1.5-4 kg are produced by only activation of screw appliances, while daily activations could result in cumulative loads of 9 kg or more. It has been proved that the major resistance to maxillary expansion from the other sutures of the maxilla with mid-palatal suture. Under the influence of heavy forces caused by RME, histological changes have been detected in anchor teeth. In this review, RME-force connection with histological and anatomical changes due to applied force caused by RME was evaluated.

**Key Words:** Palatal expansion technique; orthodontic appliances; finite element analysis; histological techniques

**B**aşlangıçta bilateral olarak gelişen ve medial suturada birleşen premaksilla ve damağı oluşturan kemiklerin fiziksel olarak suturadan hızlı bir şekilde ayrılmasıyla yapılan genişletmeye hızlı üst çene genişletmesi [rapid maxillary expansion (RME)] denir.<sup>1</sup>

RME metodu ile 0,9-4,5 kg kuvvet uygulayan mekanikler kullanılarak, haftada 3 mm veya daha fazla genişletme yapılmaktadır.<sup>2-6</sup> RME ile hedeflenen; dişlere ve alveolar yapılara ortodontik diş hareketi limitlerini aşan kuvvetler uygulayarak, ortodontik diş hareketinin miktarını azaltmak ve ortopedik hareketin miktarını arttırmaktır.<sup>1,2,7</sup>

RME işleminde hedef; alveol kemiğine ortodontik diş hareketi için gerekli olan kuvvetten daha fazla kuvvet uygulayarak maksimum ortopedik ve minimum ortodontik etki elde etmektir.<sup>2,8</sup> RME işlemi esnasında uygulanan kuvvetlere karşı ilk yanıt, destek dişlerin bukkal yönde eğilmeleri ve periodontal ve palatal yumuşak dokularda meydana gelen gerilmelerdir. Uygulanan kuvvet sutural yapıların biyoelastik direncini kırabilecek büyüklüğe ulaştığında suturanın ortopedik ayrılması meydana gelir.<sup>9-12</sup> Uygulanan kuvvet miktarı sutural yapıların biyoelastik direncinin altına düşerse suturanın ortopedik ayrılması devam etmez (Resim 1, 2).<sup>4,5,10</sup>

RME işlemi sırasında uygulanan kuvvet zaman içerisinde azalır ve sıfıra düşer, eğer düşmezse rezidüel (iki aktivasyon süresi arasında kalan) kuvvetler oluşur.<sup>6</sup> Rezidüel kuvvetler ne kadar fazla

olursa, tedavi süresince uygulanan kümülatif kuvvet o nispette artacaktır. Etki-tepki kanunu göz önüne alındığında kümülatif kuvvet kadar direnç oluşacaktır. Ancak, bu direncin büyüklüğü; hastanın yaşı, sirkümmaksiller suturalardaki kemik yoğunluğu, ossifikasyon miktarı gibi faktörler nedeni ile farklılık gösterebilir.<sup>13</sup>

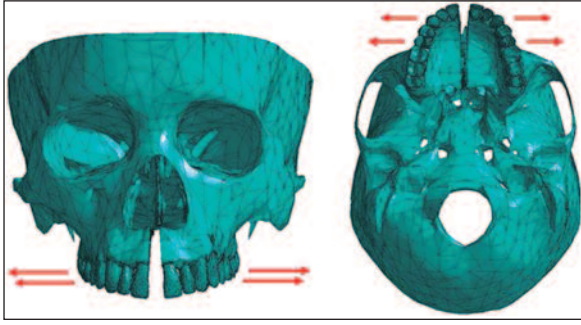
Isaacson ve ark., Isaacson ve Ingram ve Zimring ve Isaacson tarafından RME işlemi sırasında ve sonrasında oluşan kuvvetleri incelemeyi amaçlayan bir dizi çalışma yapılmış ve araştırmacılar; RME vidasının her aktivasyonu sonrasında maksimum yükün oluştuğunu ve bu yükün bir süre sonra dağıldığını, RME vidasının çeyrek turluk bir aktivasyonu sonrasında ortalama olarak 1,5-4,5 kg (3-10 pound) arasında bir kuvvetin oluştuğunu, bu kuvvetin vidanın aktivasyonu ile kümülatif olarak arttığını, RME'nin 15. gününde yaklaşık 9 kg'lık (22 pound) bir kuvvetin biriktiğini ve bu kuvvetin altı haftalık pekiştirme sırasında zamanla azaldığını rapor etmişlerdir.<sup>4,6</sup>

RME tedavisinde uygulanan kuvvetlerin dağılımı ve bu kuvvetlere karşı oluşan direnç konusunda literatürde tam bir birliktelik olmadığı tespit edilmiştir. Genel olarak, Bishara ve Staley'in belirttiği gibi maksillanın artikülasyon yaptığı 10 adet kemik ve maksilla ile aralarında oluşan suturaların ve midpalatal suturanın bu kuvvetlerden etkilediği ve bu bölgelerde direnç oluştuğu görülmüştür.<sup>2</sup>



**RESİM 1:** Hyrax apareyi ile hızlı üst çene genişletmesi (RME) uygulanan bir hastanın RME öncesi (1) ve sonrası (2) ağız içi görüntüsü.

(Renkli hali için Bkz. <http://dishekimligi.turkiyeklinikleri.com/>)



**RESİM 2:** Hızlı üst çene genişletmesi (RME) sonrası meydana gelen değişimlerin "finite element method (FEM)" tekniği kullanılarak elde edilen görüntüsü (Holberg ve ark. 2007).

(Renkli hali için Bkz. <http://dishekimligi.turkiyeklinikleri.com/>)

Isaacson ve Ingram ve Zimring ve Isaacson RME sırasında genel olarak tüm yüzde, lokal olarak ise göz altında ve burun kemiklerinde hastalarca bildirilen basınç duyarlılıklarına, biriken kuvvetlerin neden olduğunu söylemişlerdir.<sup>5,6</sup> Tedavi edilen tüm hastalarda vidanın 9 ila 12. turları arasında santral dişler arasında diastema görüldüğü, diastema oluşmasıyla birlikte subjektif semptomlar ve kaydedilen yükte azalma olmadığı ve bazı hastalarda baş dönmesi, kulak çınlaması gibi semptomlar oluştuğu bildirilmiştir. Sutura açıldıktan sonra kuvvette ani düşüş olmaması nedeni ile genişletmeye karşı asıl direncin midpalatal suturadan değil, sirkümmaksiller yapılardan kaynaklandığını söylemişlerdir (Şekil 1, 2).

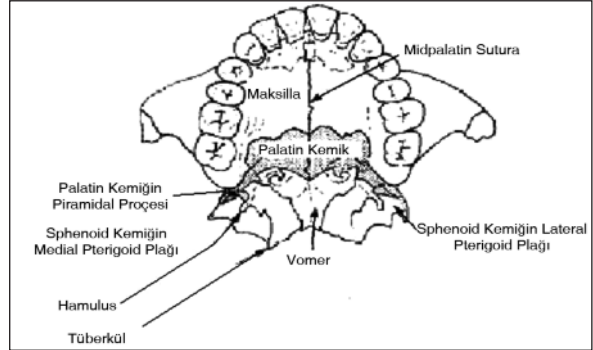
RME apareylerinin uyguladığı ağır kuvvetler sadece midpalatal suturaya değil, maksillanın artikülasyon yaptığı 10 adet kemiğe ve bu suturalara etki etmektedir.<sup>2</sup>

Pavlin ve Vukicevic, yüz iskeletinin maksiller ekspansiyon işlemine verdiği tepkiyi lazerli holografi cihazıyla inceledikleri çalışmalarında maksilla, sirkümmaksiller suturalar ve komşu kemiklerin sutural genişlemeye mukavemet ettiklerini, vidanın her bir çevrilmesi sonrası hem alveolar çıkıntılarda deformasyon ve dental tipping hem de maksilla ve sirkümmaksiller suturalarda horizontal ve vertikal aksta rotasyonlar oluştuğunu tespit etmişlerdir.<sup>14</sup>

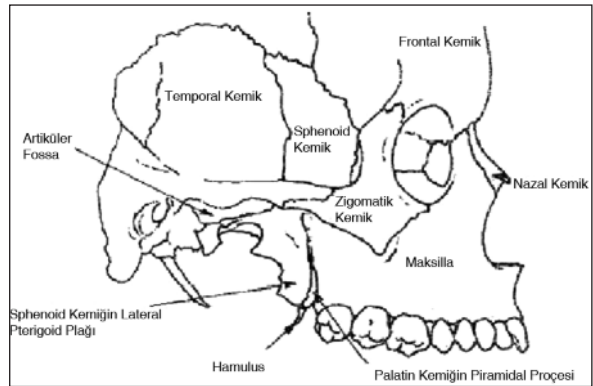
Gardner ve Kronman, maymunlar üzerinde yaptıkları RME işleminden sonra mid-sagittal, lamboid, pariyetal suturaların ve sfenookspital sin-kondrozisin oryantasyonunun bozulduğunu ve su-

turaların bazı noktalarında 1,5 mm'ye varan ayrılma olduğunu söylemişlerdir.<sup>15</sup>

Chaconas ve Caputo, 5 farklı RME apareyinin (haas, hyrax, minne expander, quad-helix ve müteharrik aparey) oluşturduğu ortopedik kuvvet dağılımını 3 boyutlu fotoelastik kafatası modeliyle incelemişler, "haas, hyrax" ve müteharrik plak ile yapılan genişletme işleminin önemli miktarda ortopedik kuvvet oluşturduğunu, "minne expander" apareyinin ise ortopedik sınırlar içerisinde olmak üzere daha az kuvvet oluşturduğunu, en az kuvveti ise "quad-helix" apareyinin oluşturduğunu söylemişlerdir.<sup>16</sup> Sabit ekspansiyon apareylerinin damağın ön kısmından başlayıp posteriora palatin kemiğe doğru uzanan bir stres oluşturduğunu, "haas, hyrax" ve "minne" apareylerinin etkisiyle oluşan kuvvetlerin palatin kemiğin perpendiküler plağından ışınal tarzda sfenoid kemik, zigomatik çıkıntı ve orbitanın median duvarı gibi derin anatomik yapılara doğru yayıldığını bulmuşlardır.



**ŞEKİL 1:** Maksilla, palatin kemiğin piramidal proçesi ve sfenoid kemiğin lateral ve medial pterigoid plakları -inferior görünüm- (Bishara ve Staley, 1987).



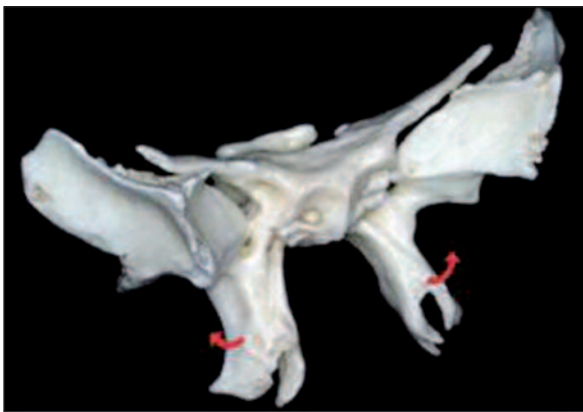
**ŞEKİL 2:** Maksillanın artikülasyon yaptığı kemikler ve suturaları -lateral görünüm- (Bishara ve Staley, 1987).

İşeri ve ark., [finite element method (FEM)] metodu ile yaptıkları çalışmalarında, RME işleminin kraniofasyal yapılar üzerindeki biyomekanik etkisini ve oluşturduğu gerilimi araştırmışlardır.<sup>17</sup> En yüksek gerilim alanı sfenoid kemiğin pterigoid çıkıntılarında olmak üzere (73,75 kg/mm<sup>2</sup>) sırasıyla maksiller molarlar ve kaninler arasında, inferior nazal kavitenin yan duvarlarında, zigomatik ve nazal kemikte stres alanları gözlemlenmiştir.

Sfenoid kemiğin pterigoid çıkıntılarında bu kadar yoğun stresin olmasının nedeni, bu çıkıntıların bilateral konumlanmalarına rağmen lateral hareketlerine izin verecek bir suturalarının olmamasıdır.<sup>2</sup> Ayrıca, bu plaklar palatin kemiğin piramidal çıkıntılarını birbirine bağlamaktadır.<sup>18</sup> Sutural açılma arttıkça posterior bölgede bu plaklar da esnerler, ama kafa kaidesine yaklaşmaları daha rijit yapıda olduğu için bu bölgede en fazla direnç gösterirler (Resim 3).<sup>7</sup>

Holberg, çocuklarda, gençlerde ve erişkinlerde RME'nin etkilerini FEM ile incelemiş ve RME'nin çocuklarda ve gençlerde orta derecede, erişkinlerde ise ağır derecede strese neden olduğunu tespit etmiş ve foramen rotundum, foramen ovale ve superior orbital fissürün bu ağır kuvvetlerden daha fazla etkilendiğini ve bu bölgelerde oluşabilecek kırıkların nöral ve vasküler yaralanmalara neden olabileceğini söylemiştir.<sup>19</sup>

Bir başka FEM çalışmasında Gautam ve ark., RME sonrasında sırasıyla en çok sfenozigomatik,



**RESİM 3:** Sfenoid kemiğin lateral pterigoid proseslerinin eğimlenmesinin 3-D plastik modelle şematik anlatımı (Somso Şirketi, Coburg, Almanya-Holberg-2005).

(Renkli hali için Bkz. <http://dishekimligi.turkiyeklinikleri.com/>)

zigomatikotemporal, frontomaksiller, nazomaksiller ve en az frontonazal suturalarda stres oluştuğunu bildirmişlerdir.<sup>20</sup>

Ayrıca, RME'nin uyguladığı ağır kuvvetlerin sutura, kemik, diş kökü ve pulpasında oluşturduğu mikro düzeydeki değişimler pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

RME işlemi sonrasında suturada inflamasyon ve doku yırtılmaları ile karakterize çok fazla damarlanmış organize olmamış bağ dokusu, kist şeklinde oluşumlar, serbest yüzen kemik parçacıkları ve çok sayıda mikrofraktür olduğu görülmektedir.<sup>10,21-23</sup>

Ten Cate ve ark., ratların superior sagittal ve koronal suturalarının yapısını ve suturaların ekspansiyona verdiği histolojik yanıtı incelemişler ve sutural yırtılmaya ilk yanıt olarak eksüda, kollajen fibrillerin bozulması, fibroblast ölümü ve akut inflamasyon gözlemlenmişler, üçüncü ve dördüncü günlerde fibroblast remodelingi ve kollajen yığılımı ile beraber yeni kemik oluşumu bildirmişlerdir.<sup>24</sup> Suturalarda meydana gelen değişimlerin remodeling sayesinde olduğunu ve bunun osteositik ve fibrositik hücre popülasyonunun sayı ve aktivite artışıyla meydana geldiğini, fiber oryantasyonu ve vasküler dağılımın suturaların anatomik karakteristiğinden ziyade fonksiyonel aktiviteye verdiği yanıt ile alakalı olduğunu söylemişlerdir.

Ekstrom ve ark., "hyrax" apareyi ile yapılan ekspansiyondan sonra mid-palatal suturada meydana gelen mineralizasyon değişimlerini hastaya radyoizotop "I" maddesi vererek ve X-ray cihazı kullanarak incelemişlerdir.<sup>25</sup> Suturada ilk haftada mineral miktarının arttığını, sutural açılmanın tamamlanmasından sonraki bir ay boyunca artışın en fazla olduğunu, artışın yavaşlayarak iki ay daha devam ettiğini bulmuşlardır. Suturada meydana gelen mineral artışına zıt olarak çevre kemiklerde mineral miktarının azaldığını ve mineral yoğunluğunun RME işleminden sonraki üçüncü ayda her bölgede hemen hemen eşit olduğunu ve başlangıç düzeyine döndüğünü saptamışlardır.

Arat ve ark., farklı büyüme periyodundaki hastalarda yapılan RME işlemine bağlı olarak

kemik dokularda meydana gelen değişimleri kemik sintigrafisi metoduyla incelemiş ve metabolik aktivite artışının en fazla anterior ve median suturada olduğunu, üç aylık pekiştirme sonrası metabolik aktivitenin başlangıç düzeyine döndüğünü ve üç aylık pekiştirmenin kemiğin reorganizasyonu için yeterli olduğunu söylemişlerdir.<sup>26</sup>

Cleall ve ark. ile Starnbach ve Cleall, RME'nin etkisiyle mid-palatal sutura ile birlikte nazal, zigomatikomaksiller ve zigomatikotemporal suturalarda kemik aktivitesinin olduğunu ve en fazla aktivitenin nazal suturada olduğunu bildirmişlerdir.<sup>21,22</sup>

Thompson, RME uyguladığı Macaca Mulatta maymunlarında zigomatikomaksiller, zigomatikotemporal, zigomatikofrontal ve frontomaksiller suturalarda repozisyon ve remodeling faaliyetinin farklı derecelerde gözlendiğini, yüzey alanı bakımından en büyük olan zigomatikomaksiller suturada en fazla aktivitenin olduğunu bildirmiştir.<sup>27</sup> Ayrıca, sfenookspital sinkondroziste genişleme olduğundan bahsetmiştir.

Vardimon ve ark., maymunlar üzerinde yaptıkları çalışmada, kök rezorpsiyonunda önemli olan faktörlerin kuvvetin miktarı ve süresi, periodonsiyumun sağlıklı olması ve çevre kemik yoğunluğu olduğunu söylemişlerdir.<sup>28</sup>

Starnbach ve ark., beş adet maymuna banded RME apareyi ile üst çene genişletmesi yapmışlardır.<sup>29</sup> Birinci maymun kontrol grubu, ikinci maymunda iki hafta içinde molarlar arası mesafe 4 mm, üçüncü maymunda 12 hafta içinde 6 mm genişletilmiştir. Dördüncü maymun 12 hafta ekspansiyona tabi tutulup 12 hafta pekiştirmeye alınmış ve beşinci maymun 12 haftalık ekspansiyondan sonra 24 hafta pekiştirmeye tabi tutulmuştur. Birinci maymunda periodontal yapılar normal iken 12 hafta ekspansiyon yapılan maymunda palatal tarafta daha geniş bir membran ve organize olmamış periodontal fibriller gözlenmiştir. Pekiştirme süresi uzadıkça, periodontal dokulara daha az reaksiyon olduğu görülmüştür.

Barber ve Sims, banded ekspansiyon apareyi kullanılarak RME işlemi yapılan dokuz hastanın

çekilmiş dişleri üzerinde tarayıcı elektron mikroskobu (SEM) ile yaptıkları çalışmada tüm destek dişlerin bukkal kök yüzeylerinde rezorpsiyonların oluştuğunu ve tamir sürecinin devam etmesine rağmen pekiştirmenin dokuzuncu ayında bile kök rezorpsiyonunun devam ettiğini, kök yüzeyi defektlerinin hücresel sement ile onarıldığı, ancak periodontal liflerin reataçmanının oluşmadığını tespit etmişlerdir.<sup>30</sup>

Langford ve Sims, "hyrax" tipi RME apareyi kullanarak tedavi ettikleri 18 hastanın çekilen ankraj dişlerini SEM ve ışık mikroskobunda incelemiş ve rezorpsiyonla birlikte periodontal liflerde ataçman oluşumu olduğunu, bu rezorpsiyonun hücresel sement ile tamir edildiğini rapor etmişlerdir.<sup>31</sup>

Odenrick ve ark., "haas ve hyrax" apareylelerinin neden olduğu kök rezorpsiyonunu karşıladıkları çalışmalarında, her iki tip apareyin destek premolar dişlerinde rezorpsiyonlara neden olduğunu, ama "haas" apareyinde rezorpsiyonun daha az olduğunu rapor etmişlerdir.<sup>32</sup> Pekiştirme dönemi uzadıkça rezorpsiyon alanlarında tamir nedeni ile azalma olduğunu, ama hiçbir bölgede reataçman oluşumu izlenmediğini bildirmişlerdir.

Timms ve Moss, RME'nin dişler ve destek dokular üzerindeki etkilerini inceledikleri histolojik çalışmalarında, bütün deneklerin köklerinin koronal üçlü bölümünde mesiobukkal ve distobukkal yönlerde rezorpsiyon görüldüğünü ve tamir aktivitesinin iki yıl sonra bile devam ettiğini, kökün koronal üçlü bölümünde eksostozların geliştiğini ve birkaç vakada pulpa taşlarının görüldüğünü bildirmişlerdir.<sup>33</sup>

Kayhan ve ark., RME sonrası destek dişlerin pulpalarında meydana gelen değişimleri histolojik ve histomorfik olarak incelemiş ve RME işleminin destek dişlerin pulpalarında dolaşım bozukluklarına, dentin birikimine ve merkezde fibrotik değişikliklere neden olduğunu söylemişlerdir.<sup>34</sup>

Cho ve ark. ise RME sonrası destek dişlerin pulpalarında meydana gelen değişimleri elektrikli

pulpa testi ile değerlendirmiş ve dişlerin vitalitele-  
rini koruduğunu göstermişlerdir.<sup>35</sup>

RME nedeni ile oluşan bu ağır kuvvetleri azaltılmak amacıyla pek çok yeni aparey tasarımı yapılmıştır. Bu apareylerden sonuncusu, Wichelhaus ve ark. tarafından sürekli ve hafif kuvvet uygulamak için vida haznesinde Ni-Ti açık "coil spring" ler bulunduran "hyrax" vidasının bir modifikasyonu olan Ni-Ti hızlı maksiller genişletme vidası (hafızalı vida) olarak tanıtılmıştır.<sup>12</sup> Bu araştırmacılara göre, bu yeni vida hızlı, sürekli ve fizyolojik ekspansiyon kuvvetleri üreterek genişletme işleminin daha etkili, daha fizyolojik ve hastalar tarafından psikolojik olarak daha iyi tolere edilmesini sağlamaktadır. Konvansiyonel RME apareylerinin uyguladığı kuvvetlerin etkileri ile ilgili olarak yapılan son yayınlarda da bu kuvvetlerin ağır olduğu ve yüksek stres birikimine neden olduğu bildirilmektedir.<sup>36,37</sup>

## SONUÇ

RME-kuvvet ilişkisi ve RME sonucu meydana gelen histolojik değişimler konusundaki çalışmalardan, RME'nin ortodonti literatüründe en fazla incelenen tedavi yöntemlerinden biri olduğu ve güncelliğini hâlâ koruduğu görülmektedir. Sonuç olarak, konvansiyonel apareyler ile RME uygulaması sonucu ortaya çıkan kuvvetlerin hem tüm destek dişleri ve periodontal dokuları hem de maksilla ve çevresindeki suturaları farklı oranlarda etkilediği tespit edilmiştir. Klinisyenlerin, RME nedeni ile oluşan ağır kuvvetlerin hem destek dişler üzerinde oluşturabileceği hasarı göz önünde bulundurması hem de bu kuvvetlere karşı oluşan dirençleri dikkate alması gerekmektedir. Ayrıca, daha az kuvvet uygulayan aparey tasarımlarıyla ilgili yeni araştırmalara ihtiyaç olduğu görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Lamparski DG, Jr., Rinchuse DJ, Close JM, Sciote JJ. Comparison of skeletal and dental changes between 2-point and 4-point rapid palatal expanders. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;123(3):321-8.
- Bishara SE, Staley RN. Maxillary expansion: clinical implications. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1987;91(1):3-14.
- Mew J. In favor of semirapid expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997;112(4):20A-1A.
- Isaacson RJ, Wood JL, Ingram AH. Forces produced by rapid maxillary expansion. I. Design of the force measuring system. *Angle Orthod* 1964;34(4):256-60.
- Isaacson RJ, Ingram AH. Forces present during treatment. *Angle Orthod* 1964;34(4):261-70.
- Zimring JF, Isaacson RJ. Forces produced by rapid maxillary expansion. 3. forces present during retention. *Angle Orthod* 1965;35:178-86.
- Timms DJ. A study of basal movement with rapid maxillary expansion. *Am J Orthod* 1980;77(5):500-7.
- Haas AJ. Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the midpalatal suture. *Angle Orthod* 1961;31(2):73-89.
- Hicks EP. Slow maxillary expansion. A clinical study of the skeletal versus dental response to low-magnitude force. *Am J Orthod* 1978;73(2):121-41.
- Storey E. Tissue response to the movement of bones. *Am J Orthod* 1973;64(3):229-47.
- Cotton LA. Slow maxillary expansion: skeletal versus dental response to low magnitude force in Macaca mulatta. *Am J Orthod* 1978;73(1):1-23.
- Wichelhaus A, Geserick M, Ball J. A new nickel titanium rapid maxillary expansion screw. *J Clin Orthod* 2004;38(12):677-80.
- Brosh T, Vardimon AD, Ergatudes C, Spiegler A, Lieberman M. Rapid palatal expansion. Part 3: strains developed during active and retention phases. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998;114(2):123-33.
- Pavlin D, Vukicevic D. Mechanical reactions of facial skeleton to maxillary expansion determined by laser holography. *Am J Orthod* 1984;85(6):498-507.
- Gardner GE, Kronman JH. Cranioskeletal displacements caused by rapid palatal expansion in the rhesus monkey. *Am J Orthod* 1971;59(2):146-55.
- Chaconas SJ, Caputo AA. Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances. *Am J Orthod* 1982;82(6):492-501.
- Iseri H, Tekkaya AE, Oztan O, Bilgic S. Biomechanical effects of rapid maxillary expansion on the craniofacial skeleton, studied by the finite element method. *Eur J Orthod* 1998;20(4):347-56.
- Wertz RA. Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *Am J Orthod* 1970;58(1):41-66.
- Holberg C. [Effects of rapid maxillary expansion on the cranial base-an FEM-analysis]. *J Orofac Orthop* 2005;66(1):54-66.
- Gautam P, Valiathan A, Adhikari R. Stress and displacement patterns in the craniofacial skeleton with rapid maxillary expansion: a finite element method study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132(1):5 e1-11.
- Cleall JF, Bayne DI, Posen JM, Subtelny JD. Expansion of the midpalatal suture in the monkey. *Angle Orthod* 1965;35:23-35.
- Starnbach HK, Cleal JF. The effects of splitting the midpalatal suture on the surrounding structures. *Am J Orthod* 1964;50(2):923-34.
- Brin I, Hirschfeld Z, Shanfeld JL, Davidovitch Z. Rapid palatal expansion in cats: effect of age on sutural cyclic nucleotides. *Am J Orthod* 1981;79(2):162-75.

24. Ten Cate AR, Freeman E, Dickinson JB. Sutural development: structure and its response to rapid expansion. *Am J Orthod* 1977;71(6): 622-36.
25. Ekström C, Henrikson CO, Jensen R. Mineralization in the midpalatal suture after orthodontic expansion. *Am J Orthod* 1977;71(4): 449-55.
26. Arat ZM, Gökalp H, Atasever T, Türkkahraman H. 99mTechnetium-labeled methylene diphosphonate uptake in maxillary bone during and after rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 2003;73(5):545-9.
27. Thompson RW. Extraoral high-pull forces with rapid palatal expansion in the *Macaca mulatta*. *Am J Orthod* 1974;66(3):302-17.
28. Vardimon AD, Graber TM, Voss LR. Stability of magnetic versus mechanical palatal expansion. *Eur J Orthod* 1989;11(2):107-15.
29. Starnbach H, Bayne D, Cleall J, Subtelny JD. Facioskeletal and dental changes resulting from rapid maxillary expansion. *Angle Orthod* 1966;36(2):152-64.
30. Barber AF, Sims MR. Rapid maxillary expansion and external root resorption in man: a scanning electron microscope study. *Am J Orthod* 1981;79(6):630-52.
31. Langford SR, Sims MR. Root surface resorption, repair, and periodontal attachment following rapid maxillary expansion in man. *Am J Orthod* 1982;81(2):108-15.
32. Odenrick L, Karlander EL, Pierce A, Kretschmar U. Surface resorption following two forms of rapid maxillary expansion. *Eur J Orthod* 1991;13(4):264-70.
33. Timms DJ, Moss JP. An histological investigation into the effects of rapid maxillary on the teeth and their supporting tissues. *Trans Eur Orthod Soc* 1971:263-71.
34. Kayhan F, Kucukkeles N, Demirel D. A histologic and histomorphometric evaluation of pulpal reactions following rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000; 117(4):465-73.
35. Cho JJ, Efstratiadis S, Hasselgren G. Pulp vitality after rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;137(2):254-8.
36. Holberg C, Steinhäuser S, Rudzki-Janson I. Rapid maxillary expansion in adults: cranial stress reduction depending on the extent of surgery. *Eur J Orthod* 2007;29(3):31-6.
37. Gautam P, 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(3):361-6.