



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

AĞIZ DİŞ VE ÇENE CERRAHİSİ ANABİLİM DALI

**BRUKSİZM HASTALARINDA MASSETER VE
TEMPORAL BOTOKSUN
TEMPOROMANDİBULAR EKLEM DİSKİ
ÜZERİNDE STRES OLUŞUMU ETKİLERİNİN
SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE
İNCELENMESİ**

Sefa Merve ARIKAN

Uzmanlık Tezi

Dr. Öğr. Üyesi Efe Can SİVRİKAYA

TRABZON 2022



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

AĞIZ DİŞ VE ÇENE CERRAHİSİ ANABİLİM DALI

**BRUKSİZM HASTALARINDA MASSETER VE
TEMPORAL BOTOKSUN
TEMPOROMANDİBULAR EKLEM DİSKİ
ÜZERİNDE STRES OLUŞUMU ETKİLERİNİN
SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İLE
İNCELENMESİ**

Sefa Merve ARIKAN
ORCID: 0000-0002-0752-8540

Uzmanlık Tezi

Dr. Öğr. Üyesi Efe Can SİVRİKAYA
ORCID: 0000-0001-6798-7610

TRABZON-2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının Karadeniz Teknik Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Tez Hazırlama ve Yazım Kılavuzu standartlarına uygun olarak hazırlanarak yazıldığını, tezin akademik ve etik kurallara bağlı kalınarak gerçekleştirilmiş özgün bir bilimsel araştırma eserim olduğunu, tezde yer alan ve bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen tüm bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve kullanılan kaynakların kaynaklar listesinde yer aldığını, tezin çalışılması ve yazımı aşamalarda patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

28/02/2022

Sefa Merve ARIKAN

İthaf

Canım ailem ve sevgili eşime...

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim ve tez çalışmam süresince benden yardımını hiçbir zaman esirgemeyen, bana her türlü bilgi ve desteğini sunan değerli hocam ve tez danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Efe Can SİVRİKAYA'ya,

Uzmanlık eğitimim boyunca üzerimde emeği geçen, mesleki bilgi ve tecrübeleriyle bana yardımcı olan değerli hocalarım Doç. Dr. Yavuz Tolga KORKMAZ'a, Doç. Dr. Nuray YILMAZ ALTINTAŞ'a, Doç. Dr. Cem ÜNGÖR'e, Prof. Dr. Celal ÇANDIRLI'ya, Dr. Öğr. Üyesi Onur YILMAZ'a,

Uzmanlık eğitimim boyunca birlikte çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum, hepsi ailem gibi olan değerli asistan arkadaşlarım Gökçe Elif ERDAYANDI'ya, Can ERDAYANDI'ya, Gültekin ONAT'a, Bayram SÜLEYMANLI'ya, Halenur VAR'a, Ayşe Nur SAKAL'a, Cevad BAHTIYARLI'ya, Fatih GİRGİN'e, Emre ULUBAY'a, Emil MAHAMMADLI'ya, Helin Merve ÖZALP'e ve Ayşe BAYRAKTAR'a; hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen değerli kıdemlilerim Emre BALABAN'a ve Onur YILMAZ'a, birlikte aynı sınavla geldiğim, her zaman bana destek olan, şanslı olduğumu düşündüren, benim için yerleri farklı olan değerli eş kıdemlilerim JAVID İHTİYAROV'a, Sezai ÇİFTÇİ'ye, Hüseyin YALÇINKAYA'ya, Nejdet KOÇAK'a, Sercan YILMAZ'a,

Bu şehri benim için anlamlandıran, asistanlık eğitimi dönemimde güzel anılar biriktirmemi sağlayan canım arkadaşlarım Gülhan KOCABAŞ TAŞAN'a, Safiye Pelin TÜRKYILMAZ'a, Aslıhan YAZICI'ya ve Rüya Gizem KOÇAK'a

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, benim için hiçbir emek ve fedakarlıktan kaçınmayan, bugünlere gelmemi sağlayan, her zaman varlıklarını yanımda istediğim canım annem Neşe TEKİN'e, babam Nurettin TEKİN'e, kardeşlerim Ahmet Harun TEKİN'e ve Recep Melih TEKİN'e,

Her zaman varlığıyla ve sevgisiyle bana güç veren, beni destekleyen, hayat arkadaşım Reşat ARIKAN'a

Ve adını bu sayfaya sığdıramadığım tüm herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sefa Merve ARIKAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ONAY	
BEYAN	
İthaf	
TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR, SİMGELER VE FORMÜLLER DİZİNİ	x
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. Çiğneme Sistemi	2
2.1.1. Çiğneme Sistemi Anatomisi	2
2.1.1.1. Dişler ve Destek Yapılar	2
2.1.1.2. İskeletsel Yapılar	3
2.1.1.3. Temporomandibular Eklem (TME)	3
2.1.1.4. Çiğneme Kasları	9
2.1.2. Çiğneme Sistemi Biyomekaniği	13
2.2. Bruksizm	15
2.2.1. Bruksizmin Etkisi	15
2.2.2. Bruksizmin Etiyolojisi	16
2.2.3. Bruksizmin Tanı Ve Tedavisi	16
2.3. Botulinum Toksin	19
2.4. Gerilme Analizi	21
2.4.1. Gerilme Analizinde Kullanılan Terimler	21
2.4.1.1. Gerilme	21
2.4.1.2. Mohr Dairesi ve Asal Gerilme	22
2.4.1.3. Von Mises Gerilme	22
2.4.1.4. Gerinim	22

2.4.1.5. Elastik Sınır (Yield Point)	23
2.4.1.6. Poisson Oranı	23
2.4.1.7. Elastik Modülü (Young Modülü)	23
2.4.1.8. İzotrop ve Anizotrop Cisimler	24
2.4.1.9. Homojen Cisimler	24
2.4.2. Gerilme Analizi Yöntemleri	24
2.4.2.1. Sonlu Elemanlar Stres Analizi Yöntemi	26
2.4.2.2. Sonlu Elemanlar Analizinin Avantajları	28
2.4.2.3. Sonlu Elemanlar Analizinin Dezavantajları	29
3. GEREÇ ve YÖNTEM	30
4. BULGULAR	35
5. TARTIŞMA	38
6. SONUÇLAR	47
7. KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	56

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
Tablo 1. Materyal özellikleri	32
Tablo 2. Kaslar ve kuvvet değerleri	33
Tablo 3. Düğüm ve eleman sayısı	34
Tablo 4. Von mises stres değerleri	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1. Botulinum toksinin etki mekanizması	20
Şekil 2. Stres- strain grafiği	24
Şekil 3. Düğüm ve eleman tipleri	27
Şekil 4. Tomografiden alınan kesitlerle elde edilen 3 boyutlu çalışma modeli	31
Şekil 5. Yükleme senaryosu	33
Şekil 6. Sınır koşulları	33
Şekil 7. Von mises stres değerleri	35

KISALTMALAR, SİMGELER ve FORMÜLLER DİZİNİ

Kısaltma

AB	Uyanıklık bruksizmi
BTX	Botulinum toksin
BTX-A	Botulinum toksin A
CAD	Computer Aided Design- Bilgisayar destekli tasarım
CT	Bilgisayarlı tomografi
dcm	DICOM
EMG	Elektromiyograf
L₀	Başlangıç boyutu
MPD	Miyofasiyal ağrı ve disfonksiyon
MR	Manyetik rezonans
PSD	Polisomnograf
SB	Uyku bruksizmi
SEA	Sonlu elemanlar analizi
SESA	Sonlu elemanlar analizi
SNAP-25	Synaptosomal nerve-associated protein of 25 kDa
SNARE	Soluble N-ethylmaleimide-sensitive factor attachment protein receptor
stl	Stereolithografi
TMD	Temporomandibular bozukluk
TME	Temporomandibular eklem
VAMP	Vesicleassociated membrane protein
VIP	Vazoaktif intestinal peptid
VMS	Von mises stresi
%	Yüzde
FDA	Food and drug administration

Semboller

μ	mikron
μm	mikrometre
ε	Boyut değişimi
F	Kuvvet
kDa	Kilodalton

m²	metrekare
MPa	Megapaskal
N	Newton
P	Paskal
V	Poisson oranı
ΔL	Deformasyon

ÖZET

Bruksizm Hastalarında Masseter ve Temporal Botoksun Temporomandibular Eklem Diski Üzerinde Stres Oluşumu Etkilerinin Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi

Bu çalışmamızın amacı bruksizm hastalarında masseter ve temporal kaslarına botoks uygulaması sonucu temporomandibular eklem diskinde oluşacak stres değişimlerinin 3 boyutlu sonlu elemanlar analizi (SEA) ile incelenmesidir.

Bruksizimli erişkin bir hastaya ait tomografi verileri kullanılarak 3 boyutlu çene modeli oluşturuldu. Tomografi verisinden modelin elde edilmesi 3DSlicer yazılımında yapıldı. Tersine mühendislik ve üç boyutlu CAD faaliyetleri ALTAIR Evolve yazılımı, katı modellerin analiz ortamına uygun hale getirilmesi ve optimize ağ örgüsünün oluşturulması faaliyetleri ALTAIR Hypermesh yazılımı ile gerçekleştirildi; oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin çözümü için Nastran tabanlı ALTAIR Optistruct (ALTAIR, Troy, MI, USA) implicit çözücüsü kullanıldı.

Toplamda 1-bruksizm hastasına ait model, 2-sadece masseter kasına botoks uygulanan model ve 3-masseter ve temporal kaslarına botoks uygulanan model olmak üzere üç ayrı çene modeli oluşturuldu. Botoks uygulamasında masseter kas ve temporal kas kuvvetleri %40 azalacak şekilde analiz gerçekleştirildi. Oluşturulan her üç modelde de dişlerin sıkılması sırasında çiğneme kasları, TME'nin artiküler fossası, mandibular kondili ve eklem diskinde oluşan Von Mises stres dağılımları incelendi.

Stres değerlerinin kondilde özellikle kondil boynunda olduğu gözlemlendi ve kaslara botoks uygulamasının, kondil boynunda oluşan stresi etkilemediği gözlemlenmiştir. Artiküler fossada en yüksek stres değeri bruksizm hasta modelinde olduğu gözlemlenmiş ve masseter ve temporal kaslarına botoks uygulamasının sonucunda diğer iki modelde de stres azalmıştır. Artiküler fossada sadece masseter kasına botoks uygulanması sonucu stres değeri %11 azalırken, masseter ve temporal kaslarına birlikte botoks uygulandığında %25 azalmıştır. Eklem diskinde de fossa ile benzer olarak stresler, masseter ve temporal kaslarına botoks uygulanması ile azalmıştır. Eklem diskinde oluşan stres değerleri de sadece masseter kasına botoks uygulanması sonucu diskte oluşan stres değeri %8 azalırken, masseter ve temporal kaslarına botoks uygulanması sonucu stres değeri %25 azalmıştır.

Çalışmamızdaki sonuçlara göre bruksizm hastalarında masseter veya temporal kaslarına botoks uygulanmasının eklem diskinde oluşan streslerini azalttığı görülmüştür. Sadece masseter kasına botoks yapılması ile kıyaslanınca masseter ve temporal kaslarına botoks uygulanmasının stres değişiminde daha etkili olacağı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bruksizm, Masseter Botoks, Parafonsiyonel Hareketler, Sonlu Elemanlar Analizi, Temporal Botoks

ABSTRACT

Investigation of the Effects of Stress Distribution of Masseter and Temporalis Muscles Botox on Temporomandibular Joint Disc in Bruxism Patients with Finite Element Analysis

The aim of this study was to examine the stress distribution that will occur in the temporomandibular joint disc as a result of botox application to the masseter muscle and temporal muscle in bruxism patients with 3D finite element analysis (FEA).

A 3-dimensional skull model was created using the Tomography data of an adult patient with bruxism. Obtaining the model from the tomography data was done in 3DSlicer software. Reverse engineering and three-dimensional CAD activities were carried out with ALTAIR Evolve software, the adaptation of solid models to the analysis environment and the creation of optimized mesh activities were carried out with ALTAIR Hypermesh software; Nastran-based ALTAIR Optistruct (ALTAIR, Troy, MI, USA) implicit solver was used to solve the generated finite element models.

In total, three different models were created: the model for the bruxism patient, the model in which botox was applied only to the masseter muscle, and the model in which botox was applied to the masseter and temporal muscles. In botox application, the masseter muscle and temporal muscle strengths were reduced by 40%. Von mises stress distributions in the masticatory muscles, articular fossa of the TMJ, mandibular condyle, and articular disc during clenching of the teeth in all three models were examined.

Stress values were observed to occur in the condyle, especially in the condyle neck, and it was observed that the application of botox to the muscles did not affect the stress in the condyle neck. It was observed that the highest stress value in the articular fossa occurred in the bruxism patient model, and as a result of botox application to the masseter and temporal muscles, the stress decreased in the other two models. In the articular fossa, the stress value decreased by 11% as a result of botox application only to the masseter muscle, while it decreased by 25% when botox was applied to the masseter and temporal muscles together. Similar to the fossa, stresses in the articular disc were reduced by botox application to the masseter and temporal muscles. Stress values in the joint disc were reduced by 8% as a result of botox application to the masseter muscle, while the stress value decreased by 25% as a result of botox application to the masseter and temporal muscles.

According to the results of our study, it was observed that the application of botox to the masseter or temporal muscles in patients with bruxism reduced the stress on the joint disc. It has been observed that the application of botox to the masseter and temporal muscles will be more effective in changing the stress when compared to botox only to the masseter muscle.

Keywords: Bruxism, Finite Element Analysis, Masseter Botox, Parafunctional Movements, Temporal Botox,

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Temporomandibular bozukluklar (TMD), erişkinlerde ağrıya neden olan en yaygın kas-iskelet sistemi hastalıklarındandır. Karakteristik bulguları çene kaslarında ve/veya temporomandibular eklemdede ağrı, sınırlı ağız açıklığı gibi fonksiyonel kısıtlılık veya temporomandibular eklemdede ses şikayetidir. Genel olarak etiyolojik faktörler; anatomik, psikososyal ve nöromusküler olarak sınıflandırılabilir. Önemli potansiyel faktörlerden birisi bruksizmdir (1). Bruksizm ve uzun süreli diş sıkma eklemdede stres oluşumuna neden olur.

Temporomandibular eklem bozukluklarının tedavisinde kas gerginliği ve eklem yüklemesinin fizyolojik sınırlarda olmasının sağlanması, kas ve eklemdede ağrıların giderilmesi hedeflenir. Tedavisinde hastanın bilgilendirilmesi, farmakolojik tedavi, psikolojik tedavi gibi non invaziv tedaviden ileri cerrahi gibi invaziv olan tedavilere kadar çeşitli yöntemleri önerilmiştir. Diyetin dikkat edilmesi, ağrı kontrolü, sıcak uygulaması, fizyoterapi, okluzal splintler farmakolojik olmayan tedavilerdir. Antiinflamatuvar ilaçlar, kas gevşeticiler, analjezikler, trisiklik antidepressanlar (psikolojik tedavi) ve botulinum toksini gibi farmakolojik tedavilerde uygulanmaktadır. Fizik tedavi ve ilaç ile tedavi kas kaynaklı temporomandibular eklem bozukluklarında geri dönüşümlüdür. Etken devam ettikçe şikayetlerin tekrar oluşması muhtemeldir (2).

Tezin konusu bruksizimli bir hastada ısırma kuvvetlerinin temporomandibular eklem diski, mandibular kondil ve eklem fossasında oluşturduğu Von Mises stres dağılımlarının ve botulinum toksininin masseter, masseter ve temporal kaslarına uygulanması sonrası meydana gelen stres değişimlerinin sonlu elemanlar metodu ile incelenmesidir. Çalışmanın amacı diş sıkma alışkanlığı olan bireylerde masseter, masseter ve temporal botoksun etkinliğini ölçmek ve klinik uygulamalarda tercih edilebilirliğini değerlendirmektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Çiğneme Sistemi

Çiğneme, yutulan gıdanın öğütülmesi ve tükürük ile karıştırılarak yutması kolay bir bolus oluşturulması olarak tanımlanır. Çiğneme sadece dişlerle değil aynı zamanda perioral kasların hareketiyle de yapılmaktadır (3). Çiğneme; yutma amaçlı yiyeceklerin hazırlanmasını sağlayan duyusal-motor bir aktivitedir (4). Çiğneme sistemi anatomik, fizyolojik ve psikolojik birçok faktöre bağlı karmaşık bir sistemdir.

2.1.1. Çiğneme Sistemi Anatomisi

Çiğneme sistemi çiğneme kaslarının kasılması ile iki TME rehberliği ile hareket eden mandibuladan oluşur (5). Mandibula açma, kapama, mediale ve laterale hareket edebilir. Bu hareketler, çiğneme kaslarının aktif olarak kasılmasıyla gerçekleştirilir. Sol ve sağ kasların simetrik aktivitesi ile açma-kapama hareketleri yapılabilir. Bunun aksine, medio-lateral hareketleri gerçekleştirmek için çiğneme kaslarının simetrik olmayan bir şekilde aktive olmaları gereklidir (6). Her bir yapının çene hareketlerine katkısını belirlemek için, eklemlerin yapısını ve kas sistemini ve bu yapının mekanik sonuçlarını araştırmak gerekir (5).

2.1.1.1. Dişler ve Destek Yapılar

Dişler; alınan gıdaların koparılması, çiğnenmesi ve öğütülmesi ile sindirim sistemine yardımcı olur. Estetik olarak yüzde bir bütünlük oluşturur. Konuşma esnasında seslerin doğru çıkmasını sağlar. Ayrıca etrafında bulunan destek dokuların (periodonsiyum) korunmasını sağlar. Alveol kemikte kendilerine ait alveol boşluğu adı verilen boşluklar içinde bulunurlar. İşlevlerine ve şekillerine göre kesici dişler, köpek dişleri, premolarlar ve molarlar olarak sınıflandırılırlar. Diş etinden itibaren ağızda görünen kısım “kron”olarak adlandırılır. Diş eti altında ve kemik içinde bulunan kısım dişin kökünü oluşturur ve dişin yaklaşık üçte ikisini oluşturur. Oklüzyon basit ifade ile alt ve üst çenedeki dişlerin arasındaki temastır (7).

Periodonsiyum diş saran ve ona destek olan dokulardır. Bunlar periodontal ligament, dişeti, alveol kemiği ve sementtir. Periodontal ligament aracılığı ile dişler çene kemiğine tutunurlar. Periodontal ligament dişe gelen kuvveti absorbe ederek mekanik yüklerden diş korur (8).

2.1.1.2. İskeletsel Yapılar

İnsan kafasının ana bileşenleri kafatası ve mandibuladır. Kafatası çeşitli kemiklerden oluşur ve bunlar birbirlerine fissürler ile bağlıdır. Ana kemik bileşenleri; temporal kemik, frontal kemik, parietal kemik, sfenoid kemik, oksipital kemik, zigomatik kemik, nazal kemik ve maksilladır. Çiğneme sistemini oluşturan üç ana iskelet bileşeni; dişleri destekleyen maksilla, mandibula ile kafatasıyla eklem yapan ve mandibulayı destekleyen temporal kemiktir. Maksilla burun tabanını ve iki taraflı orbita tabanını oluşturur. Altta alveoler kemik ile dişleri destekler. Maksiller dişler kafatasının sabit parçası olarak kabul edilirler. Bu nedenle çiğneme sisteminin sabit bileşenini oluştururlar.

Mandibula, kaslar ile kafatasına tutunan ayrı bir kemiktir. Alt yüz iskeletini oluşturan ve alt dişleri destekleyen “U” şeklinde bir kemiktir. Mandibulanın yükselen ramusunda iki parça bulunur. Bunlar; kondil (arka) ve koronoid çıkıntısıdır (ön). Kondil, mandibulanın kafatası ile eklem yapan ve hareketin olduğu kısımdır. Kondil, kafatası tabanında temporal kemiğin skuamöz kısmı ile eklemlenir. Temporal kemiğin bu kısmı, kondilin yerleştirildiği ve aynı zamanda eklem veya glenoid fossa olarak da adlandırılan içbükey, mandibular fossadan oluşur (9). Temporal kemiğin artiküler fossası çok incedir ve kuru bir kafatası örneğinden bakıldığında yarı saydam görünebilir. Sonuç olarak, bu alan TME için önemli bir stres taşıyan bölge değildir. Kondil, mediolateralde yuvarlak ve anteroposterior olarak dışbükey olma eğilimindedir. Kondil eminens genişliği yaklaşık 15 ile 20 mm ve anteroposterior boyutu 8 ile 10 mm'dir (10).

2.1.1.3. Temporomandibular Eklem (TME)

Temporomandibular eklem (TME), temporal kemiğin glenoid fossası, mandibulanın kondili, yoğun fibröz bağ dokudaki eklem diski ile ayrıca çeşitli ligamentler ve ilişkili kaslar gibi çeşitli bileşenlerden oluşan karmaşık bir yapıdır (10). TME, vücuttaki en karmaşık eklemlerden biridir. Bir düzlemde menteşe (rotasyon) hareketi sağlar ve bu nedenle ginglimoid olarak düşünülebilir. Ancak aynı zamanda onu artrodial eklem olarak sınıflandıran kayma (translasyon) hareketlerini de sağlar. Bu nedenle, teknik olarak ginglimoartrodial bir eklem olarak kabul edilmiştir.

TME, temporal kemiğin pars squamozasındaki mandibular fossa (glenoid kavite) ve artiküler eminens ile mandibular kondil ve bu iki kemiğin arasındaki fibröz yapıda olan, kemiklerin direkt temasını önleyen artiküler diskten oluşmaktadır. Temporomandibular eklem diatrodial bir eklemdir (11).

A) Glenoid Fossa ve Kondil

Mandibula kondili ve temporal kemiğin glenoid fossası TME'nin temelini oluşturur. Bikonkav eklem diski eklemi üst eklem boşluğu ve alt eklem boşluğu olmak üzere ikiye böler. Çocukluktan yetişkinlik dönemine kadar mandibula kondili boyut ve biçimde değişikliklere uğrar (12). Mandibula kondili mediolateral olarak geniş, anteroposterior olarak dardır. Mediolateral olarak 15-20 mm, anteroposterior olarak 8-10 mm genişliktedir. Mandibular kondilin görünümü, farklı yaş grupları ve bireyler arasında da farklılıklar gösterir. Morfolojik değişiklikler, gelişimsel varyasyonlar, maloklüzyon, travma ve diğer gelişimsel anormallikleri karşılamak için kondilin remodelasyonu meydana gelebilir. Fossa orta kranium ile eklem kavitesini ayırmasına rağmen ince yapıdadır. Buda fonksiyonel olarak eklem stres taşıyan bir parçası olmadığını gösterir (13). TME'nin eklem yüzeyleri birbirleri ile uyumsuzdur ve diğer sinovyal eklemler gibi hiyalinden değil, fibrokartilajdan oluşur (12).

B) Artiküler Eminens

Glenoid fossanın önünde bulunan dışbükey kemik yapıya artiküler eminens adı verilir. Eminensin dışbükeyliği önemlidir. Çünkü bu diklik mandibulanın öne hareketinde kondilin yolunu belirlemektedir. Glenoid fossa çatısı oldukça ince olmasına rağmen eminens oldukça kalın ve yoğun bir kemikten oluşur. Ayrıca fossa çatısı ince bir fibröz doku ile örtülü olmasına rağmen eminens kalın ve sıkı fibröz doku ile örtülüdür. Bu nedenle fossaya göre eminens ağır kuvvetleri daha iyi tolere edebilmektedir (9).

C) Eklem Kapsülü

Eklem kemik kısımları ince fibröz, vasküler bir doku kılıfı olan kapsül ile kaplıdır. Kapsülün lateral, medial ve posterior duvarlarına ek, üst ve alt olarak ayrılan anterior duvarı bulunur. Medial ve lateral duvarlar aynı isimli ligamentler ile desteklenirler ve sıkıdır. Alt çene hareketlerinde stabilizasyon sağlar. Anterior duvar gevşek yapıda olması nedeniyle, gelen yüklere diğer duvarlar kadar dayanıklı değildir. Kapsülün kondille bağlantısı yüzeyeldir ve kondilin farklı yönlerinde farklı miktarda uzamaktadır.

Eklem kapsülünün görevlerinden biri propriyosepsiyondur. Uzaydaki pozisyon ve hareketlerin kinetiğinin algılanmasının duyuşal geri bildirimini sağlar (14). Dört farklı tipte reseptör içerir. Bunlar;

1. Tip 1: En fazla bulunan tiptir. Çapları yaklaşık 5-8 μ dur. Eklem kapsülünde eşit dağılmamışlardır. En fazla posteriorda daha sonra anteriorda vardır, medial ve lateralde daha az bulunmaktadır. Düşük eşik değeri mekanoreseptörlerdir. Postural bilgi elde ederler ve antagonist kaslarda rahatlatıcı etkileri vardır.
2. Tip 2: Eklem hareketinin başlangıcında kısa sürede uyarılan ve böylece mandibular hareketler başladığında ilgili kas sistemi üzerinde geçici ve koordineli refleks etkileri oluşturan düşük eşikli, hızla adapte olan mekanoreseptörler gibi davranırlar. Çapları yaklaşık 8-12 μ dur.
3. Tip 3: En büyük çaplı olan tiptir. Çapları yaklaşık 12-17 μ dur. Normal şartlar altında uyarılmaz ve sadece lateral ligamentte aşırı gerilim oluştuğunda aktif hale gelen yüksek eşikli, yavaş adapte olan mekanoreseptörlerdir. Aktivasyonu sonrası refleks olarak pterygoid ve mylohyoid kas spazmı ve temporalis ve masseter kası inhibisyonu ile sonuçlanır.
4. Tip 4: Miyelinsiz ve miyelinli lifler tarafından inerve edilirler. Ağrı reseptörleridir (15).

Eklem kapsülü ayrıca iyi derecede vaskülarize ve innervasyonu yüksektir. Kapsülün bir diğeri görevi de fibrokartilojenöz eklem yüzeylerinin beslenmesini sağlamaktır (14).

D) Artiküler Disk

Eklem diski fonksiyonel olarak anterior (pars meniscus), intermedya (pars grasilis) ve posterior olmak üzere 3 bölüme ayrılır. Diskin birincil görevi kayma hareketi esnasında sürtünmeyi azaltmak ve yük gelen bölgeleri kayganlaştırmaktır. Fibrokartilaj yapıdaki diskın extraselüler matriksi temelinde tip I ve II kollajenden oluşmaktadır. Kollajen lifler intermedyada yoğun ve sagittal yerleşimli iken, anterior ve posteriorda transvers şekildedir ve intermedyada ki lifler ile iç içe geçerler. Ayrıca diskın her bölümünde elastik lifler de bulunmaktadır. Bu elastik liflerin öncelikli görevi basınç ortadan kalkınca, diskın tekrar eski şeklini almasını sağlar (14).

Eklem diski bikonkav oval şekillidir. Yoğun fibröz bağ dokusundan oluşmaktadır. Merkezde damar ve sinir yapıları bulunmaz (9). Disk, kondil ile glenoid fossanın arasındaki boşlukta bulunur ve boşluğu üst ve alt eklem boşluğu olarak ayırır. En kalın kısım anterior, en ince kısım ise intermedya kısmıdır. Aralarındaki oran genellikle 2:1:3

şeklindedir (16). Anteriordan bakıldığında ise disk genellikle medialde lateralden daha kalındır. Diskin şekli kondil ve mandibular fossanın morfolojisine bağlıdır (9).

Artiküler disk, kapsüler ligamente anterior, posterior, medial ve lateral olarak çepeçevre atakedir. Lateral pterygoidin superior karnının bazı lifleri, diskin anteromedialine yapışıktır ve diski, işlev sırasında medial ve lateral kollateral bağlar yoluyla mandibular kondilde stabilize eder (10).

E) Retrodiskal Doku (Bilaminar Zon)

Temporomandibular eklemin posterior kısmı; bilaminer bölge, retroartiküler plastik yastık, retroartiküler yastık, retrodiskal yağ dokusu veya trilaminar bölge olarak isimlendirilir. Beslenme ve proprioseptif duyu alınımları sağlar. Üst bölge (superior retrodiskal lamina) ve alt (inferior retrodiskal lamina) bölge olarak iki kısımda incelenir ve bu iki kısım arasında birçok damar, sinir ve yağ dokusunun bulunduğu genu vaskülozum bulunur (14). Retrodiskal dokular sinoviyal sıvının üretiminde rol alır. Superior lamina elastik lifler içerir ve aşırı translasyon hareketinde diskin yer değiştirmesini sınırlar. Inferior lamina elastik lif içermez, sıkı kollajen liflerden oluşmaktadır. Diski, kondilin artiküler yüzeyinin posterioruna bağlar ve diskin kondil üzerinde sabit kalmasından sorumludur. Rotasyon hareketinde diskin kondil başında aşırı dönmesini engellediği düşünülmektedir (10, 14).

F) Sinovyal Membran

Sinovyal membran TME'yi oluşturan kemiklerin ekleme bakan yüzeylerini ve kapsülün iç yüzeyini sarmaktadır. Sinovyal membran iki katmandan oluşur. İlk katman, sinovyal intima denilen, eklem boşluğuna bakan, hücre katmanıdır. İkinci katman, subintimal doku veya subsinovyal doku olarak adlandırılan destekleyici bir katmandır. Sinovyal intima hücreleri, subintimal dokudaki hücrelerden pozisyonları ve dizilişleri ile ayırt edilebilirler (17). Sinovyal membran hücreleri sinoviyal sıvıyı üretirler. Ayrıca fonksiyonel hareketlerde sürtünmeyi azaltmak, kondrositler için gereken besin ve elektrolitleri sağlamak, artık maddelerin fagositozunu sağlamak ve eklem yüzeylerinin yapışmasını önlemek gibi görevleri vardır. Sinovyal membran hücreleri tarafından üretilen sinoviyal sıvının görevleri ise; eklem yüzeylerinin metabolik gereksinimlerini sağlamak, eklem yüzeylerinde sürtünmeyi azaltmak ve eklem yüzeylerinin lubrikasyonunu sağlamaktır (17).

G) Temporomandibular Eklem Ligamentleri

Diğer hareketli eklemlerde olduğu gibi, çiğneme sistemi ligamentlerinin de hareket rehberliği, stabilizasyon ve hareketlerin kısıtlanması şeklinde üç ana işlevi vardır. Hareketlerin kısıtlanması fonksiyonel olarak en önemli işlevdir (14).

Ligamentler, belirli uzunluklara sahip kollajen liflerinden oluşur. Esnemezler. Bununla birlikte bir ligamente, aniden veya uzun bir süre boyunca yoğun kuvvet uygulanırsa, ligament uzayabilir. Bu meydana geldiğinde eklem fonksiyonunu değiştirir (9). TME'yi destekleyen üç fonksiyonel ve iki aksesuar ligament vardır.

1. Fonksiyonel ligamentler

Fonksiyonel ligamentler üç tanedir. Bunlar: kollateral, kapsüler ve temporomandibular ligamentlerdir (9).

Kollateral (Diskal) Ligamentler: Genellikle diskal ligamentler olarak adlandırılırlar ve iki tanedir. Medial diskal ligament, diskin medial kenarını kondilin medial kutbuna bağlar. Lateral diskal ligament, diskin lateral kenarını kondilin lateral kutbuna bağlar. Bu ligamentler, eklem mediolateral olarak üst ve alt eklem boşluklarına bölünmesinden sorumludur. Diskal ligamentler, kollajen bağ dokusu liflerinden oluşur; bu nedenle esnemezler. Diskin kondilden uzağa hareketini kısıtlama işlevi görürler. Başka bir deyişle diskin, kondil ile birlikte pasif hareket etmesine izin verirler. Diskal ligamentlerin ataşmanları diskin, kondilde anteriora ve posteriora rotasyonuna izin verir. Bu nedenle, bu ligamentler, kondil ve disk arasındaki TME'nin menteşe (rotasyon) hareketinden sorumludur. Diskal ligamentlerin damar ve sinir destekleri vardır. İnervasyonları, eklem konumu ve hareketleri hakkında bilgi sağlar. Bu bağların gerilmesi ağrıya neden olur (9). Her ne kadar diskal ligamentler rotasyon hareketinden sorumlu olsa da, hareket sınırları dahilinde sıkı ataşmanlar translasyonda da diski kondil ile birlikte hareket ettirir (10).

Kapsüler ligamentler: TME'nin tamamı kapsüler ligaman tarafından çevrelenmiştir. Kapsüler ligamentin lifleri, superiorda glenoid fossa ve artiküler eminensin artiküler yüzeyleri boyunca temporal kemiğe, inferiorda kondil boynuna tutunur. Kapsüler ligament, artiküler yüzeylerin dislokasyonuna neden olabilecek herhangi bir medial, lateral veya inferior kuvvetlere direnç gösterir. Kapsüler ligamentin önemli bir işlevi, eklemi çepeçevre sarmak ve böylece sinoviyal sıvıyı eklem boşluğunda tutmaktır. Kapsüler ligamentte sinir

innervasyonuna sahiptir ve eklemin konumu ve hareketi ile ilgili proprioseptif geri bildirim sağlar (9).

Temporomandibular ligamentler: Kapsüler ligamentin laterali, temporomandibular ligamenti oluşturur. Bu ligamenti oluştururken daha güçlü ve sıkı liflerle kuvvetlenir. Temporomandibular ligament, dış-oblik ve iç-horizontal olmak üzere iki kısımdan oluşur. Dış kısım, artiküler tüberkülünün dış yüzeyinden ve zigomatik çıkıntıdan posteroinferior olarak, kondil boynunun dış yüzeyine uzanır. İç horizontal kısım, artiküler tüberkülünün dış yüzeyinden ve zigomatik çıkıntıdan posteriora ve horizontal olarak kondilin laterale ve diskin posterioruna uzanır (9). Dış oblik kısım kondilin translasyonel ve rotasyonel hareket miktarını sınırlar. İç horizontal kısım ise özellikle çiğneme sırasında, çene lateral olarak hareket ettiğinde kondilin posterior hareketini sınırlamaktadır. Posterior hareketin bu kısıtlanması, retrodiskal dokuyu korumaya yarar (10).

2. Aksesuar ligamentler

İki adet aksesuar ligament vardır. Bunlar; stilomandibular ligament ve sfenomandibular ligament. Ekleme uzak kemiklerden tutunsalar da mandibula hareketlerinde pasif sınırlayıcı etkileri olduğundan aksesuar sayılmaktadırlar (10).

Sfenomandibular ligament: Sfenoid kemikten başlar ve aşağıda mandibula ramusunun medial yüzeyindeki lingula adı verilen küçük kemik çıkıntısına kadar uzanır. Sfenomandibular ligament, lateral pterygoid kasın aktivasyonu sırasında bir dereceye kadar bir rotasyon noktası olarak işlev görür ve böylece mandibulanın translasyonuna katkıda bulunur (9, 10).

Stylomandibular ligament: Stylomandibular ligament, styloid çıkıntıdan başlayıp mandibula angulusunun posterioruna uzanır ve aynı zamanda medial pterygoid kasın derin fasyasıyla karışır. Sfenomandibular ligamente benzer şekilde rotasyon noktası olarak işlev görür ve ayrıca mandibulanın aşırı protrüzyonunu sınırlar (10).

E) Temporomandibular Eklemin Vaskülarizasyonu ve Sinir İnnervasyonu

TME'nin vasküler kaynağı posteriorda süperfisyal temporal arter ve maksiller arter tarafından sağlanmaktadır (10). Bu arterler aynı zamanda çiğneme kaslarının da kan desteğini sağlamaktadır. Ayrıca kemik iliği yoluyla inferior alveoler arter sayesinde de beslenmektedir (14). Eklemin posteriorunda retrodiskal dokularla ilişkili olan ve aynı zamanda sinoviyal sıvının üretimini sağlayan zengin bir venöz pleksus bulunmaktadır.

Kondil disk kompleksinin protrüziv hareketlerinde bu venöz pleksus dolarken, retrüziv hareketlerde boşalmaktadır.

TME'nin innervasyonu esas olarak auriculutemporal sinirden ve anteriordan katılan masseterik ve posterior derin temporal sinirin dalları tarafından sağlanır (10). Eklem sinirinin sempatik innervasyonu superior servikal gangliyondan sağlanmaktadır. TME'de sempatik liflerin duyu liflerine oranı 3:1'dir. Nöropeptid A, Nöropeptid Y veya vazomotor intestinal peptid (VIP) içeren sempatik lifler eklem posteriorunda daha fazladır. Sempatik nöronların görevi vazomotor durumu denetlemektir. Böylece kondil hareketleri sırasında genu vaskülozum içindeki kan akımı ayarlanmaktadır. Sempatik sistemin vazomotor görevinden başka, ağrı algılanmasında da rol oynadığı düşünülmektedir (14).

Propriyoseptif duylardan dört tip reseptör sorumludur. Bunlar; ruffini mekanoreseptörleri (Tip I), paccini reseptörleri (Tip II), golgi tendon organları (Tip III), serbest sinir sonlanmaları (Tip IV) şeklindedir. Bu reseptörler eklem kapsülü, temporomandibular ligament, retrodiskal doku ile burada ki genu vaskülozum içinde bulunmaktadır. Kapsülün anteromedial kısmı göreceli olarak daha az sayıda Tip IV ağrı reseptörü içerir (14).

2.1.1.4. Çiğneme Kasları

Vücudun iskelet bileşenleri, kaslar tarafından bir arada tutulur ve hareket ettirilir. İskelet kasları, bireyin hayatta kalması için gerekli olan hareketi sağlar. Kaslar 10-80 µm çapında birçok liften oluşmaktadır. Birçok kasta lifler uzayabilmektedir fakat liflerin %2'si uzayamaz. Her lif ortasına yakın bölgeden tek bir sinir sonlanması ile innerve olur. Kas lifleri tendon lifleri ile birleşir ve kas tendonunu oluşturur. Kas lifleri içeriğindeki miyoglobine (hemoglobine benzer bir pigment) miktarına göre karakterize edilebilir. Miyoglobine miktarı fazla ise kas daha yoğun kırmızı renkli, yavaş ama güçlü kasılma gösterir. Bu lifler Tip I (yavaş lifler) liflerdir. Metabolizmaları aerobiktir, bu nedenle yorulmaya karşı dirençlidirler ve postural konumlarını korurlar. Miyoglobine miktarı düşük olan lifler ise daha beyaz renkte ve Tip II (hızlı lifler) lifler olarak adlandırılır. Metabolizmaları anaerobiktir, çabuk kasılırlar fakat çabuk yorulurlar. Bu liflerin mitokondrileri azdır. Çiğneme kaslarında tip I, IIA, IIB ve IM lifleri farklı oranlarda bulunmaktadır (9, 14).

Mandibulaya yapışan kaslar, mandibulanın hareketini bir dereceye kadar etkiler. Mandibulaya yapışan dört büyük kas çiğneme kasları olarak kabul edilir; ancak, toplam 12

kas aslında mandibulanın hareketini etkilemektedir ve bunların hepsi çift taraflıdır. Kas çiftleri simetrik hareketler için birlikte veya asimetrik hareketler için tek taraflı olarak işlev yapabilir. Örneğin; her iki lateral pterygoid kasın birlikte kasılması, deviasyon olmaksızın mandibulanın protrüzyonunu ve depresyonu sağlarken; lateral pterygoid kaslardan birinin tek taraflı kasılması, karşı tarafın deviasyonu, açılması ve protrüzyonu ile sonuçlanır.

Çene hareketini etkileyen kaslar anatomik pozisyonlarına göre supramandibular ve inframandibular olarak iki gruba ayrılabilir. Supramandibular kas grubu; mandibulanın ramus ve kondiline yapışan ve çiğneme kasları olarakta adlandırılan temporalis, masseter, medial pterygoid ve lateral pterygoid kaslardan oluşan kas grubudur. Bu grup, ağırlıklı olarak çenenin kapatılması işlevi görür. Lateral pterygoidin çeneyi açma işlevi de vardır. Inframandibular kaslar ise mandibula gövdesi ve simfiz ile hyoid kemiğe yapışırlar ve ağırlıklı olarak çeneyi açma işlevi görürler. Inframandibular grup; dört suprahoid (digastrik, geniohyoid, mylohyoid ve stylohyoid) ve dört infrahyoid (sternohyoid, omohyoid, sternothyroid ve tirohyoid) kaslarını içerir (10).

A. Supramandibular Kaslar

Masseter Kası: Masseter kası dikdörtgen şeklinde bir kastır. Derin ve yüzeysel olmak üzere iki kısımdan oluşur. Yüzeysel (süperfisyal) kısım zigomatik arkta başlar ve mandibula angulusta bulunan lateral masseterik tüberositeye tutunur. Mandibulanın alt sınırında, mandibulanın iç yüzeyinde bulunan medial pterygoid kası ile devamlı haldedir. Derin kısım ise zigomatik arkta başlar ve yükselen ramusun laterale tutunur. Derin kısmın bazı bölümleri eklem kapsülüne ve diske de tutunmaktadır. Böylece masseter kası kapsülün gerginliğine etki ederek kapsül reseptörlerini etkilemektedir. Masseter kası mandibulanın güçlü elevatör kasıdır. Masseter kasının kasılması ile çene kapatılır ve dişler temasa geçer. Elektromiyografik çalışmalar, masseterin derin tabakasının protrüziv hareketler sırasında aktif olmadığını fakat retrüzyon sırasında her zaman aktif olduğunu, yüzeysel kısmın ise protrüzyon sırasında aktif ve retrüzyon sırasında nonaktif olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde; derin masseter ipsilateral hareketlerde aktif ancak kontralateral hareketlerde nonaktif işlev görürken; yüzeysel masseter, kontralateral hareketler sırasında aktifken ipsilateral hareketlerde aktif değildir (9, 10, 14).

Temporal Kas: Temporal kas linea temporalis superior ve inferiora başlayan, kafatasının lateralinde ve temporal fossada bulunan büyük, yelpaze şeklinde bir kastır. Koronoid çıkıntı ve mandibula yükselen ramus anterior kenarına tutunur. Liflerin yönüne

ve fonksiyonlarına göre 3 kısıma ayrılır. Ön bölge lifleri vertikaldir ve yukarı çekme hareketi ile kaldıraç görevi görür. Orta bölge oblik liflerden oluşur. Çenenin kapanması ve geriye hareketinden sorumludur. Arka bölge lifleri ise horizontaldir. Öncelikli olarak çenenin kapatılması ve retrüzyonunu sağlar. Ayrıca temporalis kasının tek taraflı kasılması mandibulanın bir dereceye kadar ipsilateral deviasyonunu sağlar (10, 14).

Çiğneme hareketi sırasında kasın ön ve arka kısımlarının etkinlikleri arasında ciddi fark vardır. Fakat normal mandibula açma kapama hareketlerinin yanında diş sıkmada da kasın üç kısmı da yaklaşık aynı miktarda etkindir (14).

Medial Pterygoid Kası: Çeneyi kapatan diğer bir kastır. Medial pterygoid kasının başlangıcı sfenoid kemiğin pterygoid fossası içindeki pterygoid çıkıntıdır. Buradan mandibula angulusunun iç kısmına doğru inferior, posterior ve lateral olarak uzanarak süperfisyal masseter ile paralele yakın bir şekilde seyreder. Masseter kas lifleri gibi aynı yönde sıralanmadan, geniş ölçülerde birbirine geçmiştir. Masseter kası gibi kuvvetli bir kastır. Medial pterygoidin ana işlevi mandibulanın elevasyonudur, ancak aynı zamanda karşı tarafa rotasyon için lateral pterygoid ile sinerjizmle unilateral protrüzyonda da fonksiyon görür. Temas eden diş yüzey alanı ve diş sayısı ile protrüzyonda etkinliği artar. Elektromiyografide diş gıcırdatmadaki etkinliği, posterior yönde, anteriora göre fazladır. Tek taraflı kasılınca mediotrüzyon meydana gelir. Frontal düzleme göre oblik seyirlidir. Bu nedenle kondilin transvers seyrini etkiler (10, 14).

Lateral Pterygoid Kas: Lateral pterygoid çeneyi açan asıl kastır. Lateral pterygoid kası işlevine göre superior ve inferior olarak iki kısıma ayrılır. Abe ve ark. (1993) (14) çalıştıkları örneklerin %12'sinde intermediate kas karnı göstermiştir. Superior kısım sfenoid kemiğin büyük kanadından başlar ve pterygoid foveaya tutunur. Bazen bir miktar disk kapsülüne de tutunabilir. Superior lateral pterygoidin diske bağlanması tartışmalıdır fakat çalışmalarda disk-kas ataçmanının varlığı gösterilmiştir. Superior lateral pterygoidin liflerinin çoğu (%60 ile %70) kondilin boynuna yapışır, liflerinin %30 ile %40'ı diske yapışır. Inferior kısım pterygoid çıkıntının lateral laminasının lateralinden başlayıp pterygoid foveaya tutunur. Bu iki kısmın birbirlerine göre antagonist ve resiprokal etkileri vardır.

Inferior kısım ağız açma sırasında aktifken, superior kısım ağız kapatma sırasında aktiftir. Inferior kısmın asıl görevi protrüzyon ve kontralaterale hareketin sağlanmasıdır. Inferior kısım bilateral olarak kasılınca kondil artiküler eminensten aşağı doğru hareket

eder ve mandibulaya protrüzyon yaptırır. Kas unilateral olarak kasılırsa kondilin mediotrüziv hareketi ile mandibulanın kontraletere hareketi sağlanır. Diğer mandibular depressor kaslarla birlikte inferior lateral pterygoid kası kondilin ileri ve aşağı hareketini ve sonucunda da çenenin açılmasını sağlar (9, 10, 14).

B. İnframandibular Kaslar

1. Suprahyoid Kaslar

- Digastrik
- Mylohyoid
- Geniohyoid
- Stylohyoid

2. İnfrahyoid Kaslar

- Sternotiroid
- Sternohyoid
- Tirohyoid
- Omohyoid

Genellikle mandibuladan hyoid kemiğe tutunan kaslara suprahyoid, hyoid kemikten klavikula ve sternuma bağlanan kaslara infrahyoid kaslar denir. 4 adet suprahyoid, 4 adet infrahyoid kas vardır. Suprahyoid ve infrahyoid kaslar, baş ve boynun diğer birçok sayıdaki kasları ile aynı şekilde, mandibulanın işlevini koordine etmede önemli bir rol oynarlar. Suprahyoid kaslar, lateral pterygoid kas ile birlikte çenenin açılmasını sağlarlar. Mandibula kapalı durumda suprahyoid kaslarının kasılması hyoid kemiği kaldırır. Bu yutkunmanın önemli kısmıdır. İnfrahyoid kaslar mandibulanın hareketine göre hyoid kemiğinin pozisyonunu ayarlar (9, 14).

Digastrik kas; mastikatör kas olarak düşünülmesi de mandibulanın işlevinde önemli etkisi vardır. Digastrik kasının çift karnı vardır. Posterior karnı mastoidin medialinden başlar, anterior, inferior ve mediale devam ederek hyoid kemiğine tutunur. Burada anterior karn ile tendon oluşturarak birleşir. Anterior karnı mandibulanın iç kısmındaki digastrik fossaya tutunur. Sağ ve sol digastrik kasının kasılması mandibulanın açılmasını ve geriye hareketini sağlar (9, 14).

Mylohyoid kas; mandibula korpusunda ki mylohyoid çizgiden hyoid kemiğine uzanır.

Geniohyoid kas; bu kasın paralel lifleri mandibulanın simfizinin iç kısmından başlar ve hyoid kemiğe uzanır. İki taraflı kasılınca çenenin açılmasında görevi vardır. Aynı zamanda ağız tabanını yukarı kaldırır ve hyoid kemiği öne çeker. Mylohyoid ve geniohyoid kasları primer olarak çenenin açılması esnasında, dil protraksiyonunda ve yutkunma esnasında aktiflerdir. Fakat çenenin laterale hareketi esnasında da etkinlik gösterirler.

Stylohyoid kas; stiloid çıkıntısından hyoid kemiğine uzanır. Hyoidi dengeler (14).

2.1.2. Çiğneme Sistemi Biyomekaniği

TME; hareketli mandibula kondilinin hareketsiz kafatası ile bağlantı yeri olup çiğneme sisteminin ayrılmaz bir parçasıdır (18). Her iki eklemdede aynı anda farklı işlevleri yapabilmesine rağmen eş zamanlı hareket ederler (9). Fibrokartilaj yapıdaki disk eklem boşluğunu üst ve alt olarak ikiye böler. TME'nin biyomekaniğinin iyi bir şekilde anlaşılması, çiğneme sistemindeki fonksiyon ve disfonksiyonu anlayabilmek için temeldir. TME'nin, yapısı ve işlevi iki farklı sisteme ayrılabilir;

1. Birinci eklem sistemi inferior sinoviyal kaviteyi çevreleyen kondil ve eklem diskinden oluşmaktadır. Disk, lateral ve medial diskal ligamentlerle kondile sıkıca bağlı olduğundan, bu yüzeyler arasında meydana gelebilecek tek fizyolojik hareket, rotasyondur. Diskin kondile bağlanması kondil-disk kompleksi olarak adlandırılır ve TME'deki rotasyon hareketinden sorumlu eklem sistemidir. Dönme merkezi her iki kondilden geçen yatay bir eksen olarak kabul edilir. Teorik olarak, ön dişlerin insizal kenarlarında ölçülen yaklaşık 2,5 cm'lik açıklıkta TME'de sadece rotasyon hareketi gerçekleşmektedir. .
2. İkinci sistem mandibular fossaya karşı işlev gören kondil-eklem diski kompleksinden oluşmaktadır. Artiküler diskin superioru ile mandibular fossa arasında sıkı bir bağlantı olmadığından üst eklem boşluğunda serbestçe kayma hareketi gerçekleşebilir. Kondil ve disk kollateral ligamentler ile bağlı olduğundan birlikte kayarlar. Bu sistemde üst eklem boşluğunda translasyon hareketi görülmektedir.

Mandibulanın tüm simetrik veya asimetrik hareketleri, kondil, disk ve artiküler eminensin yakın temasını gerektirir. Kas sisteminin bilateral simetrik hareketleri ile rotasyon, kapama, protrüzyon ve retrüzyon gibi hareketler yapılabilir. Çiğneme sırasında oluşan asimetrik hareketler ile kas sisteminin tek taraflı hareketleri de her iki eklemden meydana gelen farklı miktarlarda rotasyon ve translasyon ile mümkün olur.

TME'nin ligamentleri eklemi hareket ettirmez. Kasların hareketleri ile uzatılabilirdikleri halde gerilmezler (dinlenme pozisyonuna döndüren elastikiyete sahip değildirler). Fakat ligamentlerin uzaması eklemin normal fonksiyonunu tehlikeye atabilir. Ligamentler, aşırı hareket aralıklarında hem mekanik hem de nöromusküler refleks yoluyla pasif olarak hareketi kısıtlarlar. Normal işlev sırasında, rotasyon ve translasyon hareketleri aynı anda gerçekleşir ve konuşma ve çiğneme gerektiren serbest hareket aralığına izin verirler.

Kondil ve diskin fossa içerisindeki stabilitesi bu yapıların sürekli teması ve mastikatör kaslar ile özellikle supramandibular kasların sürekli aktiviteleri ile sağlanır. Dinlenme durumunda bile bu kaslar, hafif bir tonusa sahiptir (9, 10).

Ağız açmanın ilk aşamasında, hareket öncelikle rotasyoneldir. Yaklaşık olarak ilk 20 mm çene açıldıktan sonra, ana hareket hem translasyon hem de rotasyon kombinasyonuna dönüşür (19). Çenenin açılması suprahoid kaslarının (rotasyon) ve lateral pterygoid kasının (rotasyon ve translasyon) aktiviteleri ile gerçekleşir. Translasyon sırasında disk pasif olarak anterior yöne taşınır. Çene açılırken superior stratumda (superior retrodiskal doku) ve alt anterior eklem kapsülü duvarında gerilim artmaktadır. Superior stratum diskin anteriora hareketini sınırlayabilir fakat çenenin açılmasını sınırlayamaz. Çenenin açılması eklem kapsülü ve lateral ligamentler tarafından sınırlandırılır. Çene açılması esnasında genu vaskülozum hacminin dört veya beş katı kadar genişler. Böylelikle negatif basınç oluşturarak kanla dolar.

Çenenin kapatılması ise temporal, masseter, medial pterygoid ve superior lateral pterygoid kasları ile gerçekleşir. İnferior lateral pterygoid kapama esnasında aktif değildir. Temporal kas ve masseter kasları eklem kapsülünün anterioruna tutunmaktadır ve burada oluşturdukları gerilim, reseptörlerde gerekli uyarımı sağlamaktadır. Çenenin kapatılması esnasında diskin kondile göre daha anteriora gitmesi gereklidir. Kondil kaslar tarafından posteriora çekilirken diğer yapılar da diskin hareketine rehberlik ederler. Superior stratum kapanışın başlangıcında diskin posteriora hareketinden sorumludur.

Ayrıca diskin posteriorunun dışbükey şekli sayesinde kapanış esnasında disk pasif olarak kondil ile birlikte posteriora hareket eder.

Lateral hareketlerde ise çalışan taraf kondili laterale hareket ederken karşı taraf kondili mediale hareket etmektedir. Çalışan taraf kondili lateral harekette dikey bir aks etrafında rotasyon yapar (14).

2.2. Bruksizm

Bruksizm; hem çocuk hem de yetişkin nüfusun önemli bir bölümünü etkileyen, diş sıkma, gıcırdatma şeklindeki parafonksiyonel harekettir. Bruksizm primer (idiyopatik) veya sekonder olabilir. Primer bruksizm, klinik olarak ilgisiz olduğu düşünülen, uyku ve uyanıklık bruksizmi olarak iki alt gruba ayrılır. Uyku bruksizmi (SB) istemsizdir ve uyku ile ilişkili bir hareket bozukluğu olarak sınıflandırılır. Uyanıklık bruksizm (AB), aksine, diş sıkmanın farkındalığı olarak tanımlanır. Toplumun yaklaşık %8 ile %31'ini etkilemektedir. Yetişkinlerin %22 ile %31'ini uyanıkken, 13 ± 3 'ünü uyku esnasında etkilemektedir. Daha çok kadınlarda görülmektedir. Yaş arttıkça prevalansı azalmaktadır. Çocuklukta ve ergenlikte prevalansı yüksektir. Sekonder bruksizm ise; ilaç kullanımının bir yan etkisi olarak ve bazı nörolojik ve gelişimsel bozukluklarda gözlenmiştir (20-22).

2.2.1. Bruksizmin Etkisi

Bruksizmin çeşitli semptomatik etkileri olabilir. Dişlerde aşınma, hem akut hem de kronik bruksizmin en sık gözlenen klinik belirtisidir. Dişleri çevreleyen destek yapıların (periodonsiyum) hasar görmesi, diş etlerinde çekilme ve inflamasyon, alveol kemiğin rezorpsiyonu kronik bruksizmin önemli yan etkileridir. Çiğneme kaslarının, özellikle masseter hipertrofinin en sık nedenidir. Bruksizmin temporomandibular eklem üzerindeki etkileri fazlasıyla belgelenmiştir. Son olarak, bruksizm çeşitli yüz ağrılarına, kas-diş hassasiyetine, baş ağrısına, eklem veya kas hasarlarına neden olabilir (23, 24).

Amerikan Orofasiyal Ağrı Akademisi'ne (AAOP) göre, temporomandibular bozukluklar (TMD) “çiğneme kaslarını, temporomandibular eklemi (TME) ve ilişkili yapıları içeren bir grup bozukluk” olarak tanımlanmaktadır (25). TMD'ler artiküler veya non artiküler olarak sınıflandırılabilirler. Nonartiküler TME bozuklukları en yaygın olarak çiğneme kas disfonksiyonu şeklinde ortaya çıkar. Tüm TME disfonksiyonlarının yaklaşık yarısı veya daha fazlası, çiğneme kası miyaljisinin formlarıdır. Bunlar, akut kas gerginliği ve spazmı, miyofasiyal ağrı ve disfonksiyon (MPD), fibromiyalji ve daha az yaygın olarak

miyotonik distrofiler ve miyozit ossifikanlar gibi kronik durumları içerir. MPD çoğunlukla masseter veya temporalis kas spazmı ile ilişkilidir. Ayrıca, pterygoid kasları veya supramandibular veya inframandibular kas gruplarının kombinasyonunu içerebilir. Bruksizm, kronik lokal kas kontraktürü, inflamasyon ve lokalize kas hipertrofisi gibi çok sayıda olumsuz sonuçla ilişkilidir ve bu da miyofasiyal ağrı ve disfonksiyona neden olabilir (10, 26). Bruksizm nedeniyle oluşan aşırı yüklem travma etkisi oluşturur. Bu nedenle TMD oluşumunda birçok etiyolojik faktörden biriside bruksizmdir. Bruksizm, masseter kası hipertrofisi ve temporomandibular bozuklukların miyalji veya artralji karakteristiği nedeniyle önemli ölçüde klinik ilişki kazanmıştır (27). Yavelow, Forster ve Ulininger, bruksizmin; kas spazmının bir sonucu olarak ağrıya, eklemden klike ve mandibular hareketin kısıtlanmasına neden olduğunu iddia etmişlerdir (28). Ayrıca aşırı eklem yüklemesi; proteoglikan bozulmasına, sinoviyumda değişikliklere, iltihaplanmaya ve sinoviyal sıvıda değişikliklere yol açarak kondrositlerin yağlanması ve beslenmesinin bozulmasına ve sonuçta kıkırdak bozulmasına neden olabilir (29).

2.2.2. Bruksizmin Etiyolojisi

Biyolojik (dopamin ve diğer nörotransmitterler gibi nörokimyasallar, genetik), psikolojik (stres, kişisel özellik, anksiyete), eksojen faktörler (sigara, alkol, kafein, malokluzyon, serotonin geri alım inhibitörleri gibi bazı ilaçlar) bruksizmin etiyolojisinde yer almaktadır (20). Bruksizmin etiyolojisi ve patofizyolojisi hala belirsizdir, ancak merkezi ve otonom sinir sistemlerinin aracılık ettiği çok faktörlü bir kökene sahip olduğu görülmektedir (27).

2.2.3. Bruksizmin Tanı Ve Tedavisi

2017 yılında uluslararası bir konsensus paneli bruksizmi tekrarlayan çiğneme kası aktivitesi (Repetitive Masticatory Muscle Activity-RMMA) olarak tanımlamıştır. Bu toplantıda bruksizmin iki ayrı tanıma ayrılması önerilmiştir. Bunlar; uyku ve uyanıklık bruksizmidir. Bruksizm epizotları, uyanıklık veya uyku sırasında çiğneme kas aktivitesinden oluşur ve orofasiyal bölgede bir dizi belirti ve semptom olarak kendini gösterir. Uyku bruksizmi; uyku sırasında meydana gelen ritmik veya ritmik olmayan kas aktivitesidir. Uyanıklık bruksizmi ise tekrarlayan ve sürekli diş teması ve çeneyi kapatma hareketleri ile karakterize kas aktivitesidir. Uyku ve uyanıklık bruksizminin semptomları benzerdir ve diş gıcırdatma, ağrılı veya ağrı olmaksızın kaslarda hassasiyet, temporomandibular eklem hassasiyeti, yüz ağrısı ve baş ağrısını içerir. Uyku bruksizminin

semptomları genellikle sabah uyanıldığında en fazladır ve gün içinde düzelir, ancak uyanıklık bruksizmde hastalar uyandıktan sonra semptomlar gelişebilir. Belirtiler arasında dişlerin anormal aşınması, dil kenarlarında dişlerin izleri, çene kaslarının aktivitesinde artış (elektromiyograf (EMG) veya polisomnograf (PSG) ile ölçülür), masseter kası hipertrofisi, tükürük akışında azalma, dudak veya yanak ısırma, diş eti çekilmesi, ağız açıklığında kısıtlılık ve dilde yanma yer alır. Semptomların çeşitliliği ve diğer durumlarla örtüşmesi nedeniyle, bruksizmin teşhisi, anketler, öykü alma ve muayeneyi içeren dikkatli bir değerlendirme sürecini gerektirir (22, 30).

Temporomandibular eklem fonksiyon esnasında oluşan stresleri absorbe etme ve dağıtma gibi özelliklere sahiptir. Temporomandibular eklem diski, çene eklemine tüm hareketlerinde büyük bir yük taşıma kapasitesi sağlar. Mandibular kondilin süngerimsi kemiği de, temporomandibular eklem yüklenmesi sırasında ek olarak basma ve çekme deformasyonlarına dayanabilir. Bruksizm ve uzun süreli diş sıkma gibi parafonksiyonel alışkanlıklar, temporomandibular eklem disfonksiyonel yüklenme ile ilişkilendirilmiştir. Diş sıkıran parafonksiyonlu hastaların, rahatsızlığı olmayanlara göre daha yüksek kondiler asimetri gösterdiği bildirilmiştir. Bruksizm ve uzun süreli diş sıkma gibi parafonksiyonel alışkanlıklar, TME'de anormal kompresyon ve kesme kuvvetleri üretebilir, bu da disk yer değiştirmesini, kondilde ve eklem kıkırdığında dejeneratif değişiklikleri başlatabilir (31). Arnett ve ark. parafonksiyonun, kondiler rezorpsiyonu başlatabileceğini veya diğer faktörlerin neden olduğu rezorpsiyonu artırabileceğini öne sürmüşlerdir. İsrailli ve arkadaşları da parafonksiyonlar (bruksizm ve diş sıkma gibi) ile TME osteoartriti oluşumu arasında bir ilişki olduğunu bildirmiştir (32).

Çeşitli epidemiyolojik çalışmalar kronik mekanik stresin veya tekrarlayan artan mekanik stresin osteoartrit gelişimi ile yakından ilişkili olduğunu göstermiştir. Parafonksiyon nedeniyle aşırı mekanik stres oluşabilir ve bu, osteoartritin gelişiminde önemli bir faktör olarak kabul edilmiştir. Bu parafonksiyonlardan bruksizm ve uzun süreli diş sıkma TME'de aşırı stresin başlıca nedenleridir. Ayrıca, diskin mekanik yorgunluğunun eşlik ettiği diskin değişen mekanik özellikleri, TME'nin yağlama ve tamponlama fonksiyonlarının bozulmasına neden olabilir. Ayrıca travmanın neden olduğu TME değişiklikleri ilerleyici kondiler rezorpsiyon ve deformasyona neden olabilir. Adaptasyon kapasitesini aşan mekanik yüklenme, kondrosit hasarına ve rejeneratif sisteminin tahrip olmasına neden olabilir. Eklem bileşenlerindeki aşırı yüklenme, eklem yüzeylerindeki

sürtünme kuvvetini artırır ve bunun sonucunda kıkırdakta aşınmaya ve kondilin düzleşmesine neden olur (33, 34).

Bruksizm tanısında genel bir konsensus bulunmamaktadır. Anket uygulama, ağız içi apareyler, klinik gözlem, çiğneme kaslarının EMG analizi, PSG değerlendirmeleri tanı için kullanılan farklı yöntemlerdir (24).

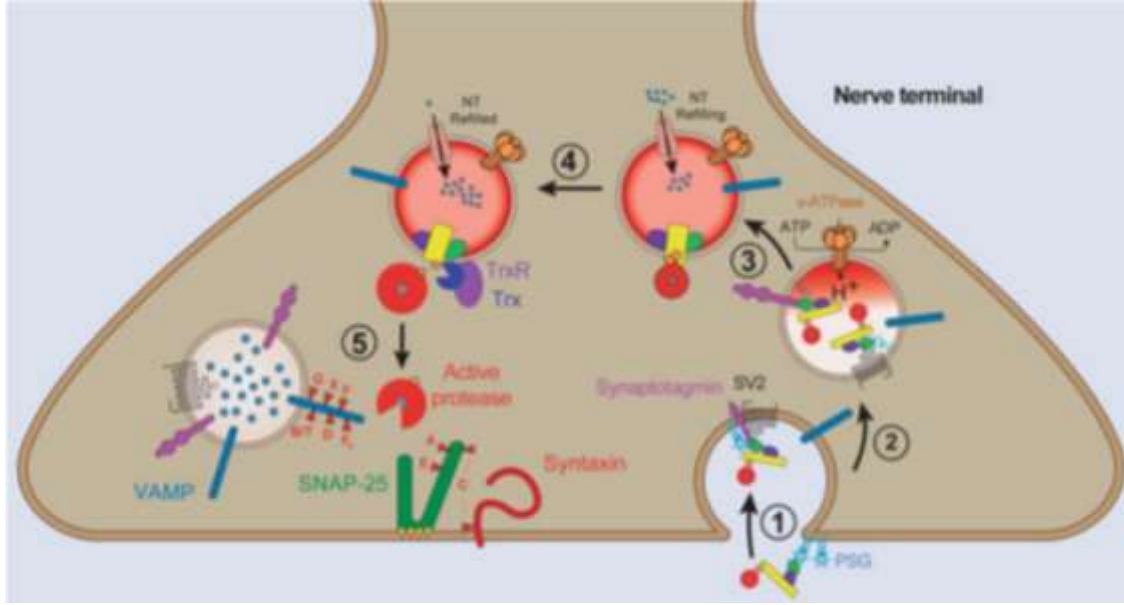
Bugüne kadar bruksizmi etkili ve kalıcı bir şekilde iyileştiren herhangi bir tedavi gösterilmemiştir. Mevcut tedavi, semptom yönetimi ve diğer komplikasyonların önlenmesine odaklanmaktadır. En yaygın kabul gören tedavi yaklaşımları ağız içi apareyler, farmakoterapi (SB için) ve davranış stratejileridir. Ağız içi aletler (okluzal splintler ve anterior diş aparatları) dişleri patolojik aşınmadan korur ve çiğneme kaslarını gevşetir. Orofasiyal motor aktivitede yer alan nörokimyasal sistemleri hedef alarak uyku bruksizmini tedavi etmek için farmakolojik ajanlar kullanılmıştır. Benzodiazepinler ve diğer kas gevşeticiler, antidepresanlar, antikonvülsanlar, dopaminerjik ilaçlar ve beta blokerler dahil olmak üzere çeşitli bileşiklerin deneysel kullanımına rağmen, şu anda rutin uygulamayı destekleyen sınırlı kanıt bulunmaktadır. Bruksizmin kas bozukluğundan ziyade parafonksiyonel bir aktivite olarak nitelendirilmesi, davranışı doğrudan değiştirebilecek bilişsel ve psikolojik müdahalelere ilgi uyandırmıştır. Denenen davranışsal yaklaşımlar arasında hasta eğitimi, uyku hijyeni, alışkanlıkları değiştirme, gevşeme teknikleri, meditasyon, hipnoterapi, psikoanaliz, bilişsel davranışçı terapi ve biofeedback bulunmaktadır. Özellikle ağrı gidermeye yönelik teknikler, transkutanöz elektriksel sinir stimülasyonu, akupunktur ve manuel masajı içerir. Bunların her biri ile ilgili sonuçlar, mevcut çalışmaların sayısı ve kalitesi nedeniyle sınırlı kalmıştır (22).

Son yıllarda, bruksizmi kontrol etmek amacıyla botulinum toksinin kullanımında artan bir eğilim vardır. Clostridium Botulinum'un saflaştırılmış ekzotoksinleri olan botulinum toksinleri, hiperaktif kasın geçici olarak gevşemesini sağlayarak terapötik ilaç olarak çok sayıda nöromusküler bozukluk (blefarospazm/ hemifasiyal spazm, servikal distoni, jüveil serebral palside fokal spastisite, felç kaynaklı üst ve alt ekstremité spastisitesi, kronik migren, mesane hiperaktivitesi, primer hiperhidrozis vb.) için uzun süredir kullanılmaktadır. Son bilimsel kanıtlar, bruksizmin, çiğneme kaslarının motor aktivitesini düzenleyen merkezi ve otonom sinir sistemlerin aracılık ettiği çok faktörlü bir etiyolojiye sahip olduğunu gösterdiğinden, bu toksinler, nöromusküler iletimi engellemesi nedeniyle bruksizm tedavisinde kullanılmaya başlanmıştır (27, 30).

2.3. Botulinum Toksin

Botulinum toksini (BTX), bilinen en zehirli biyolojik maddelerden biridir. Anaerobik, gram pozitif, çubuk şeklinde bir bakteri olan *Clostridium botulinum* tarafından üretilen bir nörotoksindir. Üretilen nörotoksinler serolojik olarak 8'e ayrılır (A-G C1 ve C2). Serotiplerin tümü, bir ağır (H, 100 kDa) zincir ve bir disülfid bağı ile birleştirilmiş hafif (L, 50 kDa) zincirden oluşan, benzer yapıya ve moleküler ağırlığa sahiptir. Ağır zincir içerdiği karboksi terminali ile toksinin kolinerjik sinir uçlarına bağlanmasını ve hücre içerisine girmesini sağlar. Hafif zincir ise çinko içeren bir endopeptidazdır ve membran füzyonu için gerekli olan SNARE proteinlerini parçalar, böylelikle asetilkolin salınımını engeller. Tüm serotipler, direkt olarak nöromüsküler kavşağa ve kolinerjik sinapslara etki eder, SNARE proteinlerini parçalayarak ana nörotransmitter olan asetilkolinin salınımını bloke eder ve kas felçlerine ve atrofisine neden olarak nöral iletim ile etkileşime girer. Etkilenen sinir terminalleri dejenere olmaz, nörotransmitter salınımının engellenmesi geri döndürülemez. İşlev, sinir terminallerinin filizlenmesi ve yeni sinaptik bağlantıların oluşturulmasıyla (nörogenezis) geri kazanılabilir; bu süre genellikle iki ile üç ay sürer (35-37). Bu inhibisyonda görevli 5 basamak vardır;

1. Presinaptik kolinerjik sinir terminallerine, spesifik ve geri dönüşümsüz bağlanma.
2. Sinaptik veziküllerle içeri alınma (reseptör aracılı endositoz).
3. Translokasyon (toksin vezikül membranını geçerek sitozole salınır).
4. Zincirler arası disülfür bağının kırılmasıyla sitozolde L zincirinin salınması
5. Sitozolde L zinciri metaloproteaz aktivitesini gösterir. Sinaptik vezikülün presinaptik membran ile füzyonu için gerekli olan SNARE (soluble N-ethylmaleimide-sensitive factor attachment protein receptor) heterotrimerik kompleksini oluşturan üç proteinden (VAMP(vesicleassociated membrane protein), SNAP-25 (synaptosomal nerve-associated protein of 25 kDa) and syntaxin) birini veya daha fazlasının parçalanması. Böylece asetilkolin içeren veziküllerin motor nöronun terminal membranı ile kaynaşması önlenir ve bu da nöromüsküler iletimin kesintiye uğramasına neden olur (30, 37) (Şekil 1).



Şekil 1. Botulinum Toksin Etki Mekanizması (37)

Botoks ilk olarak 1981’de strabismus için insan deneklerde kullanılmaya başlandı. Zamanla botoksun terapötik kullanımı oftalmoloji, gastroenteroloji, üroloji, ortopedi, dermatoloji, kozmetik alanlar dahil olmak üzere diğer tıp alanlarına yayıldı. BTX kullanımı ilk olarak 1989 yılında FDA tarafından 12 yaşından büyük insanlarda strabismus, blefarospazm ve servikal distonilerin tedavisi için onaylanmıştır. Daha sonra BTX, 2000’de servikal distoni, 2002’de glabellar yüz çizgileri, 2004’te aksiller hiperhidroz, 2010’da kronik migren ve 2013’te lateral kanthal çizgilerde kullanımı gibi çeşitli klinik durumlar için onaylanmıştır. Kronik bel ağrısı, felç, travmatik beyin hasarı, serebral palsy, akalazy ve çeşitli distoniler, migren, Frey sendromu, bruksizm gibi birçok rahatsızlıkların tedavisinde de kullanılmaktadır (38-40).

BTX baş boyun bölgesinde çeşitli rahatsızlıklar için yaygın olarak kullanılmasına rağmen bruksizm hastalarında BTX kullanımı ile ilgili sınırlı sayıda çalışma vardır (38). Van Zandijcke ve ark. (1990) ilk olarak bruksizmin tedavisinde botoksun terapötik etkisini bildirmişlerdir (41). Temporomandibular ekleme, çiğneme kaslarının gerginliğinin aşırı artması nedeniyle disfonksiyon meydana gelir, bu nedenle botoks ile tedavinin temel amacı, kaslardaki bu hipertansiyonun azaltılmasıdır (42). Çiğneme kaslarının devamlı kasılması, kas hücrelerinde iskemiye neden olur. Bu iskemi, serotonin veya ağrıya neden olan mediyatörlerin çevre dokulardan salınmasını uyarır ve bu ağrı mediyatörleri, beyin korteksinden sinir uçlarına iletir. Serebral kortekse iletilen geri bildirim fenomeni, kasın

kasılmasına neden olur ve bu kısır döngü kas spazmı ve miyozit gibi hastalıklara, bu da migren, servikal omurgada rijidite ve dişlerde hassasiyet gibi bir dizi semptomların ortaya çıkmasına neden olur. Ayrıca, kalıcı temporomandibular eklem ağrısına da neden olur. Botulinum toksini, kalıcı kas kasılmasından kaynaklanan bu kısır döngünün kırılmasında rol oynar. Geçici felç yoluyla kas kasılmasını azaltarak, kasları gevşeterek ve kas doku hücrelerine kan desteği sağlayarak geri bildirim fenomenini kırar (41). Lokal kas felci ve genel kas kasılmasındaki azalma, BTX'un ağrı giderme mekanizmasını tam olarak açıklamaz. Son zamanlarda yapılan araştırmalar, BTX-A'nın duyuşal sinir terminallerinde glutamat ve kalsitonin gen ilişkili peptidin salınımını inhibe ettiğini ve bu nedenle muhtemelen inflamatuvar ağrının azalmasına ve merkezi sensitizasyonun dolaylı inhibisyonuna neden olduğunu göstermektedir (43). BTX-A'nın etkisi geçicidir ve büyük ölçüde enjeksiyon alanıyla sınırlıdır. BTX-A infiltrasyonlarının şiddetli bruksizm hastaları için güvenli ve etkili bir tedavi olduğu sonucuna varan çalışmalar vardır. Bu çalışmalar BTX-A enjeksiyonlarının bruksizm epizotlarının sıklığını azaltabildiğini, ağrı seviyelerini ve bu patolojinin ürettiği maksimum okluzal kuvveti azaltabildiğini, bruksizm tedavisinde kontrole kıyasla daha tatmin edici klinik sonuçlar sunduğunu gösterdi (27).

2.4. Gerilme Analizleri

2.4.1. Gerilme Analizlerinde Kullanılan Terimler

2.4.1.1. Gerilme (Stres)

Bir cisme dışarıdan bir kuvvet uygulandığında, kitle içerisinde zıt yönde ve eşit miktarda bir direnç meydana gelir. Stres olarak adlandırılan bu direnç; birim alandaki kuvvet olarak tanımlanır ve birimi Pascal'dır ($P=N/m^2$).

$$\text{Stres (S)} = \text{Kuvvet (F)} / \text{Alan (A)}$$

Gerilme vektördür. Büyüklük ve yön ile tanımlanmaktadır. Yön açısından kuvvetin uygulanması sonucu cisimde temel olarak uzama, sıkışma ve makaslama şeklinde üç tip gerilme oluşabilir. Genellikle üç tip gerilme bir arada meydana gelir (44-46).

- Çekme stresi (Tensile stress); bir cisme aynı doğrultuda fakat farklı yönde uygulanan, cismin moleküllerini birbirinden ayırmaya zorlayan kuvvet veya kuvvetlerin uygulanmasıyla oluşur.

- Sıkıştırma stresi (Compressive stress); bir cismi sıkıştırmaya veya kısaltmaya çalışan, cismin moleküllerini birbirine yakınlaştıra, aynı doğrultuda fakat zıt yönlerdeki kuvvetlerin uygulanmasıyla oluşur.
- Makaslama stresi (Shear stress); bir cismin moleküllerinin birbiri üzerinde yüzeye paralel kaymaya zorlayan, cisme farklı seviyelerde, zıt yönde uygulanan iki kuvvetin uygulanması ile oluşur (45-47).

2.4.1.2. Mohr Dairesi ve Asal Gerilme

Bir cisimdeki gerilmeler etkiledikleri yüzeye teğetse kayma (makaslama) gerilmeleri, etkiledikleri yüzeye dikse normal gerilmeler olarak adlandırılır. Tüm düzlemlerde gerilmeler sadece normal gerilme ise ve kayma gerilmeleri sıfır ise asal gerilmeler olarak adlandırılır.

Asal stres (gerilme) üçe ayrılır;

- Maksimum asal gerilme: En yüksek çekme (tensile stress) gerilmesini ifade eder, pozitif değerdedir.
- Ara asal gerilme
- Minimum asal gerilme: En yüksek baskı (compressive stress) gerilmelerini ifade eder, negatif değerdedir.

Analiz sonucunda elde edilen pozitif değer çekme gerilimini, negatif değer baskı gerilimini belirtir. Stres elemanında mutlak değeri büyük olan gerilme etkili olan gerilmedir ve değerlendirilmesi gereken stres tipidir (48, 49).

2.4.1.3. Von Mises Gerilme

Von Mises stresi, kuvvet uygulanan cisimde genel stres yoğunluğunu ifade eder ve stres dağılımı, toplam yük aktarımı hakkında bir izlenim verir. Renk skalası ile gösterilir. Çekilebilir (ductility) materyallerde önemlidir (50, 51).

2.4.1.4. Gerinim (Strain)

Gerinim; bir cisme herhangi bir kuvvet uygulandığında meydana gelen uzunluktaki değişimin başlangıç uzunluğuna oranıdır. Ölçü birimi ve simgesi yoktur. Gerinim bir kuvvet değil bir büyüklüktür.

$$\text{Gerinim} = \text{Deformasyon (Boyuttaki değişim)} / \text{Başlangıç boyutu} = (L - L_0) / L_0 = \Delta L / L_0$$

Gerinim elastik ve plastik olmak üzere 2'ye ayrılır. Elastik gerinimde (elastik şekil değiştirme) kuvvet ortadan kalkınca cisimdeki deformasyonda ortadan kalkar ve cisim orijinaline geri döner. Plastik deformasyonda ise geri dönüşüm olmaz, kalıcı deformasyon meydana gelir. Plastik gerinimde eğer cisme uygulanan kuvvet, cismin dayanabileceği gerilme kuvvetinden fazla ise, cisimde kopma veya kırılma şeklinde deformasyonlar meydana gelir (52).

Elastik cisimlerde stres uygulamasıyla doğru orantılı olarak cisimde şekil değişikliği oluşuyorsa bu cisimlere lineer elastik cisim denilir. Belirli yük sınırları içerisinde cisimde gerilme-gerinim ilişkisi doğru orantılıdır ve bu “Hooke Kanunu”olarak bilinmektedir. Lineer elastik cisimlerde young modülü sabittir (53, 54).

2.4.1.5. Elastik Sınır (Yield Point)

Cismin kalıcı deformasyona uğramadan dayanabildiği maksimum gerilme değeridir (51).

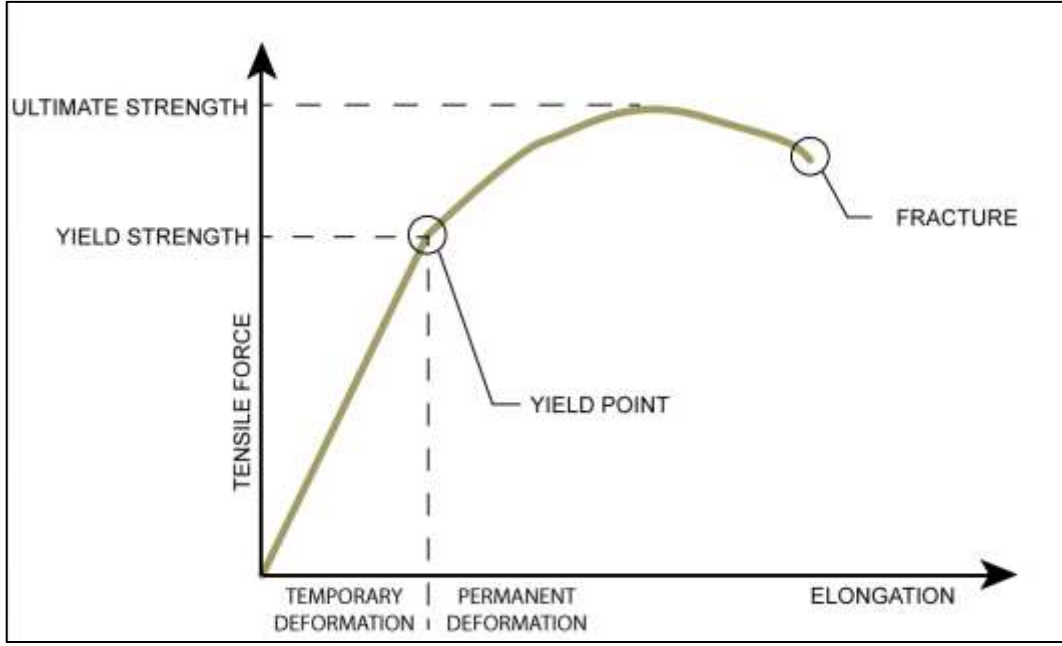
2.4.1.6. Poisson Oranı

Bir cisime basma veya çekme kuvveti uygulandığında cisimde aksiyal ve lateral gerinimler sonucu, eninde ve boyunda boyut değişiklikleri oluşur. Cisimde meydana gelen enine birim boyut değişiminin, boyundaki birim boyut değişimine oranı poisson oranıdır ve “V” ile gösterilir. Bir eksenindeki uzama diğer ekseninde kısalma ile sonuçlanacağı için poisson oranı negatif bir değerdir, fakat mutlak değer ile değerlendirilir. Çoğu materyal için 0-0.5 arasında bir değerdir. Poisson oranı 0.25 olan bir malzeme mükemmel izotropik elastik malzeme kabul edilir (55, 56).

$$V = - \epsilon_{\text{trans}} / \epsilon_{\text{axial}}$$

2.4.1.7. Elastik Modülü (Young Modülü)

Maddenin sertliğini gösteren bir katsayıdır. Stresin (gerilim), straine (gerinim) oranı ile hesaplanır. Maddenin şekil değiştirmeye karşı gösterdiği dirençtir. Yani madde yüksek stres karşısında çok az deforme oluyorsa elastik modülü (young modülü) yüksektir (51, 57).



Şekil 2. Stres-strain grafiği

2.4.1.8. İzotrop ve Anizotrop Cisimler

Materyallerin farklı doğrultularda aynı elastik özellik göstermesi izotropik, farklı özellikler göstermesine anizotropik materyaller denir. İzotropik materyaller farklı doğrultuda uygulanan kuvvetlerde aynı elastik modülüne sahiptir, anizotropik materyaller farklı elastik modülüne sahiptir. X,y,z eksenlerinden ikisinde benzer özellik gösteren materyallere transvers izotropik denir (58, 59).

2.4.1.9. Homojen Cisimler

Cismin her noktada elastik özelliklerinin aynı olduğunun kabul edilmesidir (51, 60).

2.4.2. Gerilme Analizi Yöntemleri

Gerilme analizi, bir cisme kuvvet uygulandığında meydana gelecek gerilmeleri görüntülemek ve pratik uygulamalarda cismin mekanik dayanıklılığını arttırabilmek için gerilimlerin dağılımını önceden belirleyebilen yöntemlerdir.

Tüm analizlerde kuvvet ve kuvvete dayanacak cismin mekanik özellikleri bilinmesi gerekir. Oral dokularda parafonksiyonel ve fonksiyonel kuvvetler nedeniyle karmaşık tepkiler oluşur. Kullanılacak dental materyallerde, dişlerde veya çevre dokularda fonksiyon

esnasında meydana gelen fiziksel ve mekanik değişikliklerin incelenmesi amacıyla diş hekimliğinde çeşitli stres analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar;

1. Fotoelastik analiz
2. Strain gauge (gerilim ölçer) yöntemi
3. Kırılğan vernikle kaplama (Brittle lacquer tekniği) analiz yöntemi
4. Holografik interferometri (lazer ışığı) ile analiz yöntemi
5. Termografik kuvvet yöntemi
6. Radyoteleometri yöntemi
7. Sonlu elemanlar stres analizi (Finite Element Analysis) (60-62).

Fotoelastik stres analiz yöntemi; bu yöntemde cisimlerin içinde oluşan baskı ve gerilimlerin gözle görülebilen ışık kaynağına dönüşmesi esas alınır. Diş hekimliğinde ilk kez 1935 yılında ortodontik tedavideki kuvvetlerin alveol kemikteki stres etkilerini incelemek amacıyla kullanılmıştır. İlgili cismin fotoelastik modeli yapılır ve polariskop cihazı ile kuvvet çizgileri incelenerek stres bölgeleri belirlenir. Sık ve ince çizgiler o bölgede stresin yoğun olduğunu belirtir (63).

Gerilim ölçer (strain-gauge) analiz yöntemi; ilk kez Lord Kelvin tarafından 1856 yılında kullanılan bu yöntem, gerilim ölçer cihazı yük altındaki cisimlerin doğrusal şekil değişikliklerini hesaplamakta kullanılmaktadır. Isırma kuvveti çalışmalarının çoğunda bu analiz yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemle elektriksel direnç parçası ile bağlı olduğu iletken yapının yük altında şekil değişikliği hesaplanır (60, 63).

Brittle Lacquer (kırılğan vernik) tekniği ile kuvvet analizi; bu yöntemde analiz yapılacak cisim özel bir vernikle kaplanır, fırınlanır ve kuvvet yüklemesi yapılır. Yükleme sonucu oluşan çatlakların sıklığı ve yönleri yorumlanır. Çatlakların sıklığı kuvvetin yoğunlaştığı bölgeleri ve kuvvet hatlarının doğrultusunu gösterir (63).

Lazer ışıklı kuvvet analizi yöntemi; bu yöntemde interferometre denilen bir cihaz ile cismin üç boyutlu görüntüsü lazer ışıklı holografik film üzerine kaydedilir. Holografik film üzerinde görünür ışık saçakları oluşur ve bu görüntüler sonucunda stres analizi yapılır (63).

Termografik stres analiz yöntemi; bu yöntemde homojen izotropik materyal periyodik olarak yüklendiğinde materyalin yapısında meydana gelen ısısal değişikliklerin ölçümü ile stres analizi yapılır. Materyalde oluşan ısı değişiklikleri stres ile orantılıdır (63).

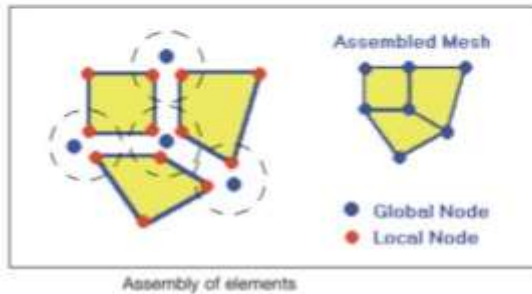
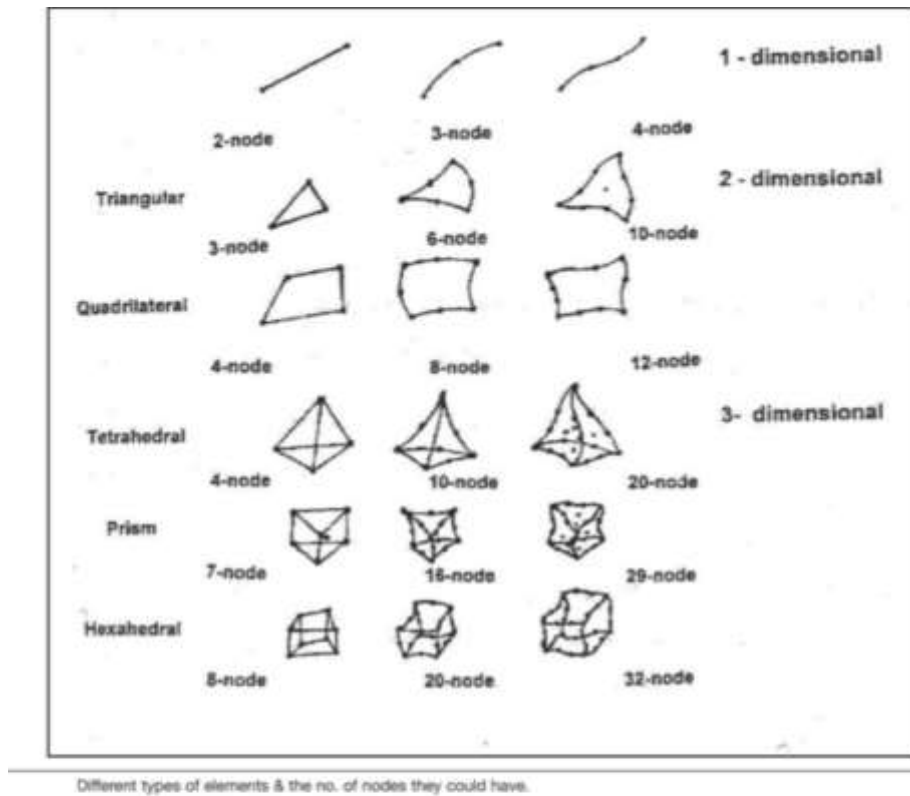
Radyotelemetri ile stres analiz yöntemi; bu yöntemde birleşik bir donanım ve yazılım ile elde edilen veriler aracı olmadan transfer edilir. Yöntem; güç kaynağı, anten, radyotransmitter, alıcı, gerilim ölçer, gerilim ölçer yükselticisi ve veri kaydediciden oluşmaktadır. Gerilim ölçerde meydana gelen direnç farklılıklarının oluşturduğu voltaj değişiklikleri radyotelemetrinin frekansını etkiler ve sonuçlar oluşur (63).

2.4.2.1. Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi (SESA)

Sonlu elemanlar analizi ilk olarak uçak mühendisliğinde karmaşık ve uzun süren problemlerin çözümü için geliştirilmiştir. 1909 yılında Ritz tarafından tanımlanan numerik analiz metodu kökenlidir. Ledney ve Huang'ın matematiksel bir dış modeli geliştirmesiyle dış hekimliğinde de kullanılmaya başlanılmıştır. İmplantolojide ilk kez Widera ve Tesk tarafından 1973 yılında kullanılmıştır (64, 65). Son otuz yılda sonlu elemanlar analizi implant ve çevresindeki oluşan tahmini stresleri belirlemek amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir (66).

Analitik çözüme ulaşmanın zor olduğu karmaşık geometrik problemlerinin çözümünde sonlu elemanlar analizi gibi sayısal yöntemlerin kullanımı artmıştır. Bu yöntem, materyali analiz etmek için kullanılan sayısal bir yöntemdir ve materyalin veya tasarımın bilgisayar modelinden oluşur. Sonlu elemanlar analizi ile geometrik yapı düğüm ve elemanların (sonlu) kompleks sisteminden oluşan bir ağ yapıya dönüştürülür. Ağ bir örümcek ağı gibi davranır. Elemanlar birbirlerine düğümler ile bağlıdır. Bu nedenle bir elemanda oluşan fiziksel değişiklik diğer elemanları da etkiler. Matematiksel model materyalin geometrisine ve boyutlarına uygun şekilde bölünmüş elemanlardan oluşan halidir. Geometrik şekli oluşturan tüm elemanların malzeme ve yapısal özellikleri (poisson oranı, elastik modül, sınır koşullar vs.) programa tanıtılmalıdır. Asıl problem daha küçük probleme indirgendiği için yaklaşık bir sonuç elde edilir. 2 veya 3 boyutlu modeller hazırlanabilir. Fakat 3 boyutlu modeller, 3 boyutlu yapılar hakkında daha gerçekçi sonuçlar verir. Lineer veya nonlinear sistemler kullanılabilir. Lineer sistemler çok daha az karmaşıktır ve genellikle plastik deformasyonu hesaba katmaz. Nonlinear sistemler plastik deformasyonu hesaba katar ve birçoğu da bir malzemenin kırılma kapasitesini test edebilir. Adından da anlaşılacağı gibi nesne, düğümler aracılığıyla birleştirilen sonlu sayıda alt elemanlara ayrıştırılır. Elemanlar bir (düz çizgiler), iki (üçgen, dörtgen) veya üç boyutlu (piramit veya tuğla benzeri bir şekil) ve çeşitli şekillerde olabilir (Şekil 1). Eleman sayısı arttırıldıkça daha hassas sonuçlar elde edilir. Tüm elemanların deformasyonunun toplamı,

tüm yapının deformasyonudur. Böylece geometrik olarak düzensiz bir şeklin bile stres strain davranışı hesaplanabilir (66-69). Sonlu elemanlar yöntemi, mandibuladaki stres ve deformasyonları anlamak, TME bileşenlerinin hareketlerini simüle etmek, sağlıklı eklemin nonsimetrik hareketleri sırasında her iki taraftaki disk ve ligamentlerdeki stres dağılımını analiz etmek, internal düzensizliği olan veya olmayan TME’de stres dağılımındaki farklılığı analiz etmek gibi dental biyomekanikte büyük ölçüde kullanılmıştır ve kullanılmaktadır (70).



Şekil 3. Eleman ve düğüm tipleri (69)

Sonlu elemanlar analizi 3 aşamadan oluşur;

1. Hazırlık aşaması (Pre-Processing); CAD (bilgisayar destekli dizayn) verileri veya MR ve CT verilerinin bilgisayara aktarılması, ağ yapısının oluşturulması, materyal özellikleri ve sınır koşulların (modeli uzayda sabitleyen ve eksternal kuvvete direnen noktaların) belirlenmesi
2. Çözümleme (Processing); Bilgisayar yazılımında matris formülasyonlarının, ters çevirme, çarpma ve çözüm hesaplamalarının yapıldığı aşamadır.
3. Sonuç (Post-Processing); Bu aşama analiz sonuçları ve doğrulamaları içerir (67).

2.4.2.2. Sonlu Elemanlar Analizinin Avantajları

Bu yöntemi popüler yapan birçok avantajı vardır;

- Bu analiz yöntemi ile karmaşık geometrideki cisimler kolayca modellenir ve analiz edilebilir.
- Eleman denklemleri ayrı ayrı değerlendirildiği için birkaç farklı malzemeden oluşan model gövdeleri değerlendirilebilir.
- Sınır koşulları rahatlıkla uygulanabilir.
- Gerektiğinde küçük elemanların kullanılması için elemanların boyutu değiştirilebilir.
- Neden sonuç ilişkisine bağlı problemler, yapının tamamında değilde küçük bir kısmında çözümlenerek bütün yapıya ait kuvvetler ve yer değiştirmeler formüle edilebilir.
- Analitik ve deneysel yöntemlere göre daha hassas sonuçlar elde edilir.
- Hayvan veya insan materyaline ihtiyaç yoktur.
- Noninvazivdir.
- Uygulanan bir kuvvetin büyüklüğü ve yönü belirlenebilir.
- Teorik olarak ölçülebilen stres noktaları sağlar.
- Analiz edilen materyalin fiziksel özellikleri değişmez.
- Çok sayıda veri görsel olarak kolaylıkla yorumlanabilir.
- Hem statik hem de dinamik analizler yapılabilir.
- Modelde veya uygulanan kuvvetlerde değişiklikler yapılarak analiz birçok defa yapılabilir (68, 71, 72).

2.4.2.3. Sonlu Elemanlar Analizin Dezavantajları

- Hatalı bilgi, istatistik ve yorumlama, hatalı sonuçlar verecektir.
- Bilgisayar ve yazılım bilgisi gerektirir.
- Analizde kullanılacak bilgisayar ve software programları maliyetlidir. Gelişen teknoloji ile güncel olunmalıdır.
- Analizin doğru yapılabilmesi için (malzeme özellikleri, sisteme yüklenmesi vs.) gerekli bilgiler araştırmacıya bağlıdır (68, 71, 72)

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi ve Tempa Mühendislik iş birliğiyle gerçekleştirilmiştir.

Üç boyutlu ağ yapısının düzenlenmesi ve matematiksel anlamda uygun katı ağ yapısına dönüştürülmesi, üç boyutlu sonlu elemanlar analizi modellerinin oluşturulması ve sonlu elemanlar stres analizi işlemi; 2.40 GHz saat hızında INTEL Xeon E-2286 işlemcili, 64 GB ECC belleğe sahip HP iş istasyonlarında gerçekleştirilmiştir.

Tomografi verisinden.stl modelin elde edilmesi 3DSlicer yazılımında yapılmıştır. Tersine mühendislik ve üç boyutlu CAD faaliyetleri ALTAIR Evolve yazılımı, katı modellerin analiz ortamına uygun hale getirilmesi ve optimize ağ örgüsünün oluşturulması faaliyetleri ALTAIR Hypermesh yazılımı ile gerçekleştirilmiştir; oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin çözümü için Nastran tabanlı ALTAIR Optistruct (ALTAIR, Troy, MI, USA) implicit çözücüsü kullanılmıştır.

Bruksizm hastasına ait model, masseter kasına botoks uygulanan model ve masseter ve temporal kaslarına botoks uygulanan model olmak üzere üç model oluşturulmuştur. Her üç modelde de dişlerin sıkılması sırasında çiğneme kasları, TME'nin artiküler fossası, mandibular kondili ve eklem diskinde oluşan gerilme dağılımları incelendi.

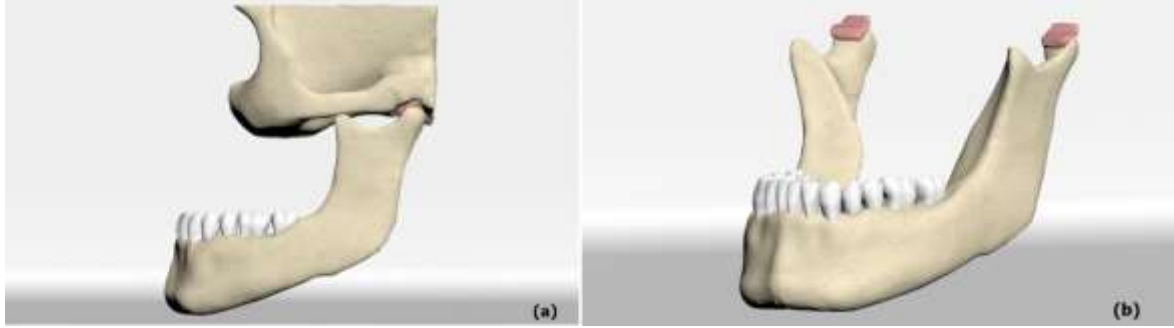
Bu çalışmanın amacı bruksizm (diş sıkma) sırasında TME'de oluşan streslerin dağılımını ve çenenin kapatılmasında görevli masseter ve masseter-temporal kaslarına botoks uygulaması ile bu streslerde oluşacak değişimin belirlenmesidir.

Kortikal, Trabeküler Kemik ve Dişlerin Modellenmesi

Çalışmada kullanılan maksilla kemik modelinin oluşturulması için; erişkin bir bireyin tomografisi çekilmiştir. 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 dönüştürülmüştür. Model .stl formatında dışa aktarılmıştır.

Üç boyutlu model ALTAIR Evolve yazılımına aktarılmıştır ve burada uygun maksilla kortikal kemik ve diş geometrisi modellenmiştir. Kalınlığı ayarlanan üç boyutlu maksilla kortikal kemiğinin iç yüzeyi referans alınarak trabeküler kemik elde edilmiştir.

Hazırlanan tüm modeller ALTAIR Evolve yazılımında 3 boyutlu uzayda doğru koordinatlara yerleştirilip modelleme işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 4. Tomografiden alınan kesitlerle elde edilen 3 boyutlu çalışma modelimiz; a)Kondil ve disk modelinin lateralinden görüntüsü b)Diskin modellenmesi

Matematiksel Modellerin Elde Edilmesi

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.

Malzeme Tanımları

Analizlerde elastik modül ve poisson oranı verilen malzemelerin doğrusal (lineer) malzeme özellikleri kullanılmıştır. Analizi yapılan modelin malzeme özellikleri sayısal ve görsel olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan mandibular fossa, kondil, eklem diski ve eklem kartilajına ait malzeme özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Kortikal kemik çeneleri dıştan çevreleyen sert kemiktir ve 1,5-3 mm arasında kalınlığı değişir. Çalışmamızda 3 mm olarak modellenilmiştir. Artiküler disk kalınlığı ise posterior 3mm, anterior 2 mm ve intermediate bölge 1 mm olarak modellenmiştir (16, 73, 74).

Tablo 1. Modellemesi yapılan biyolojik dokuların elastik modül ve poisson oranları (16)

Materyal	Elastik Modül	Poisson Oranı
Kortikal Kemik	13700*	0.3*
Trabeküler Kemik	7930*	0.3*
Artiküler Disk	44.1*	0.4*

*MPa

Yükleme Senaryoları ve Sınır Koşulları

Bruksizm tedavisinde temporal, masseter ve lateral pterygoid kaslar için botoks önerilir. Bunlar için önerilen dozlar temporal kas için 10–25 ünite, masseter kası için 25–50 ünite ve lateral pterygoid kas için 7.5–10 ünite dir. Masseter kası daha hacimli olduğu için daha yüksek doz gereklidir (2, 75). Çalışmada toplam üç farklı yüklem e koşulu altında üç doğrusal olmayan (nonlinear) analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmada masseter (süperfisyal ve derin), temporal (anterior, orta, posterior), lateral pterygoid (superior, inferior), medial pterygoid ve anterior digastrik kasları modellenmiştir. Kontrol modeli olan birinci analiz modelinde bruksizm hastası bireyin çiğneme kas kuvvetleri yüklem e senaryosunda tanımlanmıştır. İkinci analiz modelinde bruksizm hastası bireyin masseter kaslarına uygulanan botoks simüle edilmiştir. Üçüncü analiz modelinde ise bireye hem masseter hem temporal kaslara uygulanan botoks etkisi çiğneme kuvvetlerine yansıtılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Botoks uygulaması sonrası kas kuvvenin %20 den %40'a kadar azaldığını belirten çalışmalar referans alınarak, masseter ve temporal kaslarına botoks uygulanması sonucu kas kuvvet değ erleri %40 azalacak şekilde kuvvetler değ erlendirilmiştir (41, 76-80). Yüklem e tanımları uygulama bölgelerinde yer alan düğüm noktalarına dağıtılarak ilgili bölgelerde gerilme tekilliğ inin önüne geç ilmiştir.

Modelde bulunan bütün parçalara; X eksen i normalinde, Y-Z düzlemine göre simetrik olacak şekilde sınır koşulu uygulanmıştır.

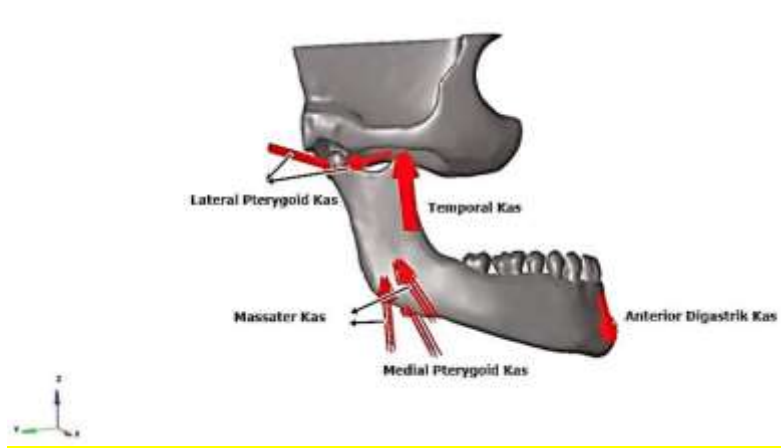
Çiğneme kaslarına ait kuvvet bileş enleri Tablo 2'de verilmiştir. Kuvvetlerin uygulanma noktaları da Ş ekil 5'de verilmiştir.

Modeller maksiller kortikal kemiğ in üst bölgesinde bulunan ve maksiller dişlerin köklerinde bulunan düğüm noktalarından her üç eksen deki hareketi engellenecek şekilde tüm serbestlik dereceleri kısıtlanarak sabitlenmiştir (Ş ekil 6).

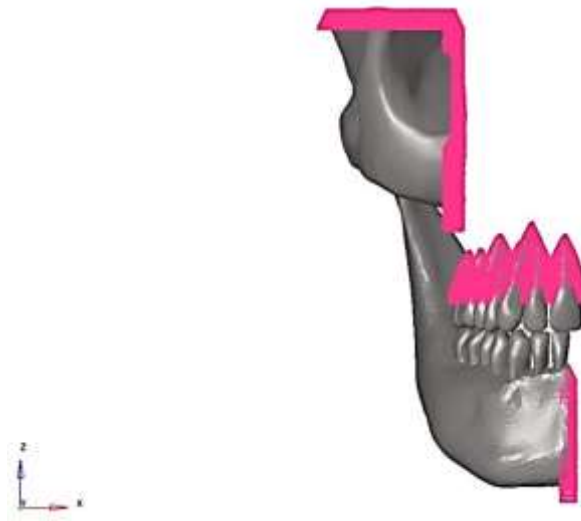
Tablo 2. Kaslar ve kuvvet değerleri (81, 82)

KASLAR	Kuvvet	Cos-x	Cos-y	Cos-z	F _x	F _y	F _z
Süperfisyal Masseter	190,4 *	0,207	0,884	0,419	79,7776	39,4128	168,3136
Derin Masseter	81,6 *	0,546	0,758	0,358	29,2128	44,5536	61,8528
Medial Pterygoid	174,8 *	0,486	0,791	0,373	65,2004	84,9528	138,2668
Superior Lateral Pterygoid	28,7*	0,761	0,074	0,645	18,5115	21,8407	2,1238
İnferior Lateral Pterygoid	66,9*	0,630	0,174	0,757	50,6433	-42,147	-11,6406
Anterior Temporalis	158,0*	0,149	0,988	0,044	-6,952	23,542	156,104
Orta Temporalis	95,6*	0,222	0,837	0,500	47,8	21,2232	80,0172
Posterior Temporalis	75,6*	0,208	0,474	0,855	64,638	15,7248	35,8344
Anterior Digastrik	40,0*	0,244	0,237	0,940	37,6	9,76	-9,48

*N: Newton



Şekil 5. Yükleme Senaryosu: Modelimizde kasların uygulanma doğrultuları



Şekil 6. Sınır Koşulları: Modelin 3 boyutlu düzlemde program aracılığı ile sabitleme noktaları (pembe alan) belirtilmiştir.

Kuantitatif Model Bilgileri

Oluşturulan analiz modeli için bilgiler Tablo 3’de paylaşılmıştır.

Tablo 3. Analiz modeli için eleman ve düğüm sayısı;

Model	
Toplam düğüm sayısı	871227
Toplam eleman sayısı	1384636

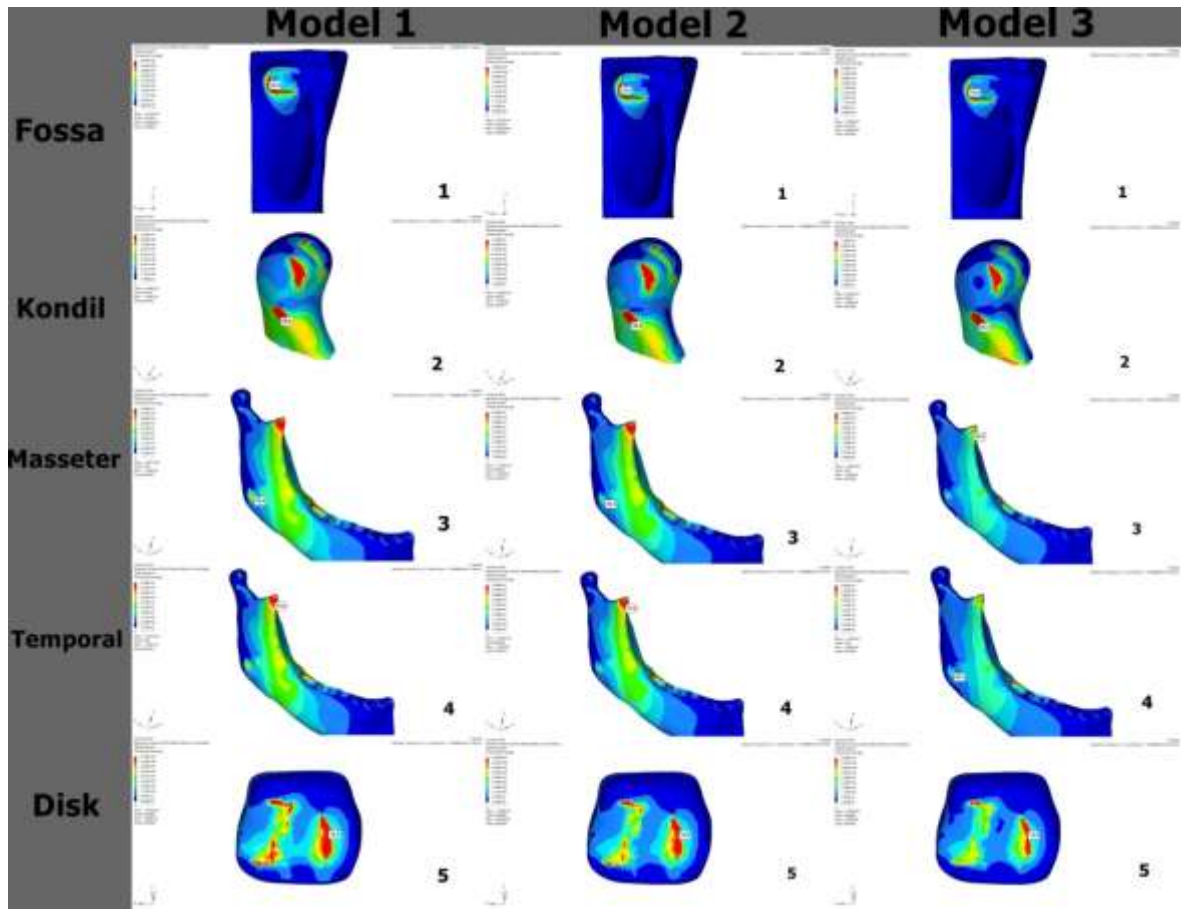
Oluşturulan matematiksel modellerde analizlerin yapılabilmesi ve doğru sonuçların elde edilebilmesi için, modeli oluşturan parçaların birbirleriyle olan yüzey ilişkilerinin analiz programında tanımlanması gerekmektedir. Bu amaçla modelde kortikal-trabeküler kemik ara yüzünde, mandibular-maksiler dişler arasında ve kemiklerle dişler arasında FREEZE tipi kontak tanımı gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım parçaların hareketi esnasında tam korelasyon ile hareket ettiği varsayımına dayanmaktadır.

Temporomandibular eklemin maksilla ve mandibulayla olan temas bölgeleri $\mu=0.2$ katsayılı sürtünme kontağı ile modellenmiş ve bu sebeple tüm modeller non-lineer olarak oluşturulmuştur.

4. BULGULAR

Üç farklı durum için analizler yapılmıştır. Bruksizm hastasında oluşan Von Mises stres dağılımı Model 1’de gösterilmiştir. Masseter kasına botoks uygulaması sonucu oluşan Von Mises stres dağılımı Model 2’de gösterilmiştir. Masseter ve temporal kaslarına botoks uygulaması sonucu oluşan Von Mises stres dağılımı Model 3’de gösterilmiştir.

Von Mises stres dağılımları şekillerde renklendirme yöntemi ile gösterilmektedir (Şekil 7). Her renk farklı bir değeri belirtir. Bu değerler skala ile sol tarafında belirtilmiştir.



Şekil 7. Von mises stres değerleri

Model 1. Bruksizimli hastaya ait Fossa, Kondil, Masseter Kas, Temporal Kas ve Diske ait Von Mises stres değerleri.

Model 2. Her iki taraflı Masseter kasına botoks uygulaması yapıldığında Fossa, Kondil, Masseter Kas, Temporal Kas ve Diske ait Von Mises stres değerleri.

Model 3. Her iki taraflı Masseter ve Temporal kaslarına botoks uygulaması yapıldığında Fossa, Kondil, Masseter Kas, Temporal Kas ve Diske ait Von Mises stres değerleri

Çalışmamızın sonunda bruksizimli hastalarda stresin fossada anterior ve medial bölgelerde yoğun olduğunu, en yüksek değer in ise fossanın medialinde oluştuğunu gözlemledik (Model 1.1, 25.4MPa). Kondilde ise kondilin anteriorunda, lateralinde ve özellikle kondil boynunda stresler yoğun oluşmuştur (Model 1.2, 56.6 MPa). Diskte en yüksek stres değerleri indermediate bölgede özellikle lateral yüzeyde gözlenmiştir (Model 1.5, 16.2MPa). Masseter kasına veya masseter ve temporal kasına botoks uygulaması sonucu oluşan stres bölgeleri fossa, disk ve kondil boynunda değişmemiştir. Fakat stres yoğunluğu kondil boynunda neredeyse sabit kalırken fossa ve diskte önemli miktarda azalmıştır (Model 2.1, Model 2.5, Model 3.1 ve Model 3.5). Fossa ve diskte oluşan stres değeri sadece masseter kasına botoks uygulama ile sırası ile yaklaşık sırası ile %11 (-2.8 MPa) ve %8 (-1.3 MPa) oranında azalırken, masseter ve temporal kaslarına botoks uygulamada fossada da diskte de yaklaşık %25 (-6.4 MPa, -4.2 MPa) azalmıştır. Masseter ve temporal kasına botoks uygulaması sonucu fossada (19 MPa) ve diskte (12 MPa) oluşan stres değeri en düşük değerler olarak hesaplanmıştır. En fazla stres değeri değişimi masseter ve temporal kaslarına botoks uygulanması sonucu fossa ve diskte gözlenmiştir.

Bruksizimli hastada masseter kasına ait stresler angulus bölgesinde ve kas ataçmanlarının bulunduğu koronoid bölgede yoğunlaşmıştır. En yüksek stres değeri angulus bölgesinde gözlemlenmiştir (Model 1.3, 49.6 MPa). Masseter kasına botoks uygulaması sonucu stres değeri önemli ölçüde azalmıştır (Model 2.3, -19.2 MPa). Hem masseter hem temporal kasına botoks uygulanması sonucu oluşan stres değeri ile sadece masseter kasına botoks uygulaması sonucu oluşan stres değeri benzerdir.

Bruksizimli hastada temporal kasında oluşan stres en fazla kas liflerinin tutunduğu koronoid bölgede oluşmuştur (Model 1.4, 72.6 MPa). Masseter kasına botoks uygulaması sonucunda bu stres değerinde değişim gözlenmemiştir. Fakat temporal ve masseter kasına botoks uygulaması yapıldığında oluşan stres değeri önemli ölçüde azalmıştır (Model 3.4, -29.1 MPa).

Her üç durumda da oluşan Von Mises stres değerleri Tablo 4’de verilmiştir. Bu değerlere göre hem masseter hem temporal kasına botoks uygulaması sonucu diskte daha

düşük stres oluşumu gözlemlenmiştir. Kemik yapılar diske göre daha rijit olması nedeniyle gerilme değişimleri disk ile kıyaslanınca daha düşük olmuştur.

Tablo 4. Von mises stres değerleri

	Bruksizm	Masseter Botoks	Masseter ve Temporal Botoks
Kondil	56.6*	56.4*	56.3*
Fossa	25.4*	22.6*	19.0*
Masseter	49.6*	30.4*	30.3*
Temporal	72.6*	72.6*	43.5*
Disk	16.2*	14.9*	12.0*

*MPa

5. TARTIŞMA

Temporomandibular bozukluklar (TMD), erişkinlerde ağrıya neden olan en yaygın kas-iskelet sistemi hastalıklarındandır. Karakteristik bulguları çene kaslarında ve/veya temporomandibular eklemda ağrı, sınırlı ağız açıklığı gibi fonksiyonel kısıtlılık veya temporomandibular eklemda ses şikayetidir. Bu nedenle çoğu zaman temporomandibular eklem bozuklukları yaşam kalitesinin düşmesine neden olur (1).

Temporomandibular eklem bozukluklarının tedavisinde uygun kas gerginliği ve eklem yüklemesinin fizyolojik sınırlarda olmasının sağlanması, kas ve eklemdaki ağrıların giderilmesi hedeflenir (2).

Temporomandibular eklem fonksiyon esnasında oluşan stresleri absorbe etme ve dağıtma gibi özelliklere sahiptir. Bruksizm ve uzun süreli diş sıkma gibi parafonksiyonel alışkanlıklar, temporomandibular eklem disfonksiyonel yüklenme ile ilişkilendirilmiştir (31). Adaptasyon kapasitesini aşan mekanik yükleme, kondrosit hasarına ve rejeneratif sisteminin tahrip olmasına neden olabilir. Eklem bileşenlerinde aşırı yüklenme, eklem yüzeylerindeki sürtünme kuvvetini artırır ve bunun sonucunda kıkırdakta aşınmaya ve kondilin düzleşmesine neden olur (34).

Amerikan Orofasiyal Ağrı Akademisi'ne göre temporomandibular disfonksiyon kas kaynaklı veya eklem kaynaklı olmak üzere 2 gruba ayrılır. Temporomandibular eklem disfonksiyon tedavisi için hasta eğitiminden farmakolojik ve psikolojik tedaviye ve non-invaziv müdahalelerden ileri cerrahi müdahalelere kadar çeşitli tedaviler önerilmiştir. Diyet kontrolü, ağrı kontrolü, fizyoterapi, sıcak kompresler ve okluzal splintler farmakolojik olmayan tedavilerdir. Farmakolojik tedaviler: antiinflamatuvar ilaçlar, kas gevşeticiler, analjezikler, trisiklik antidepressanlar (psikolojik tedavi) ve botulinum toksini kullanımıdır. Ancak herhangi bir tedavinin diğerine üstünlüğü kanıtlanamamıştır (2, 83). Bu çalışmada, dişlerini sıkkan bir hastanın çiğneme kaslarına botulinum toksin uygulanmasının temporomandibular eklem diskinde, mandibular kondilde ve artiküler fossada oluşturduğu stres etkisi incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, botulinum toksin uygulanması sonucunda her iki eklem bölgesinde de stres gerilme değerleri daha düşüktür. Sadece masseter kasına botulinum toksin uygulanmasına göre hem masseter hem temporal kasa botulinum toksin uygulanması sonucu oluşan stres gerilmesi daha düşük değerdedir. Botulinum toksin uygulanmadığında her iki eklemda da stres değerleri yoğun bulunmuştur.

1994 yılında Koriath ve Hannam simüle edilmiş simetrik ve asimetrik diş sıkma esnasında kondil üst yüzeyinde oluşan kuvvetlerin dağılımını incelediği üç boyutlu sonlu elemanlar analizi çalışması yapmıştır. Dişli bir hastadan elde edilen bilgisayarlı tomografi verileri ile sonlu elemanlar modeli oluşturmuşlardır. Diş sıkma esnasındaki kas kuvvetlerini modellemek amacıyla dokuz kasın (süperfisyal ve derin masseter, anterior-middle-posterior temporal, medial pterygoid, superior ve inferior lateral pterygoid ve anterior digastrik) tutunma bölgelerinden kas kuvvetlerini uygulamışlardır. Bu çalışmada ise dişlerini sıkkan bir hastanın eklemine gelen streslerin dağılımı, botulinum toksini uygulanmamış ve masseter ve temporal kasa botulinum toksini uygulanmış halde üç boyutlu sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir. Modellemede kullanılan kaslar ve kuvvetleri benzerdir. Koriath ve Hannam kondilin üst yüzeyinin lateral üçte birinde stresin yoğunlaştığını belirtmişlerdir (81). Bu çalışmada Koriath ve Hannam'ın çalışmasına benzer şekilde, kondil anterior yüzeyinin lateralinde stresleri yoğun bulmuştur. Ayrıca bu çalışma kondil boynunun inferior ve orta üçlüsünün lateralanteriorunda en yoğun streslerin oluştuğunu bulmuştur.

1994 yılında Tanaka ve arkadaşları sonlu elemanlar analizi kullanarak diş sıkma sırasında TME'de ki stres dağılımlarını araştırmak amacıyla kafatasından elde edilen kesitlerle model oluşturmuşlardır. Kondil, glenoid fossa, eklem disk ve kıkırdığında oluşan stresleri sonlu elemanlar analizi ile değerlendirmişlerdir. Temporal, masseter, lateral ve medial pterygoid kaslar için 500N'lik bir bileşke kuvvet uygulayacak şekilde kas kuvvetlerini tanımlamışlardır. Diş sıkma esnasında anteroposterior yönde anterior ve orta bölgelerde kompresyon streslerinin indüklendiğini, posterior bölgede ise tensile streslerin oluştuğunu bildirmişlerdir. Ayrıca mediolateral yönde kompresyon stresleri lateral ve orta bölgede indüklendiğini, tensile streslerin medial bölgede oluştuğunu belirtmişlerdir. Glenoid fossa yüzeyindeki stres dağılımlarında, kondil yüzeyindekilere neredeyse benzer fakat ortalama gerilmeleri, kondil yüzeyindekilerin yaklaşık 1/5 ile 4/5'i değerinde elde etmişlerdir. Eklem diski ve kıkırdakta oluşan stresleri de glenoid fossa yüzeyi ile benzer bulmuşlardır. Diskin anteriorunda shear stresi daha yüksek hesaplanmıştır. 1998 yılında Nagahara ve arkadaşları da diş sıkma esnasında disk deplasmanı ve eklemde oluşan stresi sonlu elemanlar analizi ile incelemiş ve stres değerlendirme sonuçlarını Tanaka ve arkadaşlarının bulduğuna benzer bulmuşlardır (82, 84). Bu çalışmada diş sıkma esnasında TME'de oluşan stresleri değerlendirmiştir. Disk ve fossada gözlenen Von Mises stres dağılımları benzer bulunmamıştır. Diskte stres lateralde daha yoğun gözlenirken fossada

medialde daha yoğun gözlenmiştir. Ayrıca kondilde oluşan stres dağılımları ile fossada oluşan stres dağılımları da farklı gözlenmiştir. Bu çalışmada Tanaka ve arkadaşlarının çalışmasından farklı olarak modelde anterior digastrik kası da dahil edilmiştir. Ayrıca kas kuvvetleri bileşke bir değer olarak değil, kaslara ayrı ayrı kuvvet uygulanmıştır. Tanaka ve arkadaşlarının çalışmaları ile benzer şekilde bruksizm hasta modelinde fossada oluşan stres, kondilde oluşan stresin yaklaşık 2/5-1/2'si değerinde gözlenmiştir.

1997'de Hu ve arkadaşları sağlıklı bir insanın temporomandibular eklem kondilinde oluşan stres dağılımını incelemek amacıyla sonlu elemanlar analizi çalışması yapmışlardır. Altı hastadan elde ettikleri bilgisayarlı tomografi görüntüleri kullanılarak sonlu elemanlar modeli oluşturmuşlardır. Stresin kondilin anterior yüzeyinde daha yoğunlaştığını ve yükleme esnasında daha fazla stres oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Aynı kesitlerde kondildeki internal stresler simetrik bulunmuştur. Kondilin posterioruna doğru stresin daha az olduğunu, en iç ve en dış bölgelerinde posterior bölgeden de daha az stres oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Kondilin inferior ve orta üçlüsünde anterior kortikal kemikteki stres değeri, posterior kortikal kemikten daha yüksek bulunmuştur. Kondilde kansellöz kemikte stresin düşük olduğunu, stresin kortikal kemikte yoğunlaştığını belirtmişler ve stresin kortikal kemik tarafından taşındığı sonucuna varmışlardır (85). Bu çalışmada da Hu ve arkadaşlarının çalışması ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kondilde stresler kondil anteriorunda, inferior ve orta üçlü lateralanterior kortikal kemikte yoğun bulunmuştur. Stres yoğunluğu posteriora doğru ise daha düşük olarak gözlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca disk ve artiküler fossada oluşan streslerde değerlendirilmiştir. Diskte intermediate ve lateral bölgelerde Von Mises stres daha yoğun gözlenmiştir. En yüksek stres diskin lateralinde oluşmuştur. Artiküler fossada ise stres yoğunluğu olan bölgeler diskle uyumlu değildir. Artiküler fossada anterior ve medial bölgelerde stresler daha yoğun oluşmuştur. En yüksek stres değeri ise medial bölgede gözlenmiştir.

1998'de Chen ve arkadaşları disk, kondil ve fossa-eminens kompleksinde oluşan stres analizi için sonlu elemanlar analizini kullanmışlardır. Hastadan elde edilen manyetik rezonans (MR) görüntüleri ile üç boyutlu model geliştirmişlerdir. 9 mm'lik insizal açıklıkta TME'de ki parametreleri hesaplamışlardır. Diskin alt ve üst sınırlarına bitişik posterior kısımlarında Von Mises gerilmeleri yüksek bulunmuştur. Diskin orta bölümünün üst kısmında en yüksek tensile (çekme) stres, alt ve üst sınırına bitişik diskin posterior kısmında ise en yüksek kompresif (sıkıştırma) stres bulmuşlardır. Kompresif stres tensile

stresten çok daha yüksek hesaplanmıştır. Kondilde Von-Mises ve kompresif stresler aynı bölgelerde, kondilin temas noktasına yakın kortikal kemik ve kıkırdakta hesaplanmıştır. Kıkırdakta bu iki parametre daha yüksek hesaplanmıştır. Kortikal kemikteki stresler ise küçük bir stres gradyanı şeklinde kortikal kemikte dağılmıştır. Kıkırdağın kondil ile temas bölgesinde yoğun kompresyon kuvvetler olmasına rağmen kondilde maksimum tensile stres oluşmuştur. Fossa-eminens kompleksinde Von Mises stresi kıkırdakta çok düşük, ancak kortikal kemikte yüksek bulunmuştur. Kıkırdakta çekme (tensile) gerilimi düşük, kortikal kemikte çekme gerilimi yüksek bulunmuştur. Temas bölgesinde sadece sıkıştırma (kompresif) gerilimi saptamışlardır. Kansellöz kemikte çok düşük Von-Mises ve tensile (çekme) stres elde etmişlerdir. Üç komponentten elde edilen sonuçlar karşılaştırılınca kondilde en yüksek kompresif (sıkıştırma) ve fossa-eminens kompleksinde en yüksek çekme (tensile) hesaplamışlardır (86). Benzer çalışmalarda eklem bölgesinde stres karşılaştırmaları principle stres değerleri ile de yapılmıştır. Bu çalışmada Von Mises stres değeri ile yapılması biyolojik dokuların çekilebilir materyal olması ve genel stres değerleri vermesi sebebi ile tercih edilmiştir. Literatürde eklem Von Mises stres değerleri ile analiz edildiği çalışmalar da mevcuttur (32, 87).

2005 yılında Koolstra ve arkadaşları çene hareketi sırasında eklemine kıkırdak yapılarındaki gerilimlerin ve deformasyonların dağılımını analiz etmek için çiğneme sisteminin dinamik bir modelini oluşturmuşlardır. Model geometrisi, mumyalanmış bir erkek kadavranın sağ temporomandibular ekleminden elde edilmiştir, sol eklem de sağ eklem ayna görüntüsü ile oluşturulmuştur. Modelde 12 kas çifti dahil etmişlerdir. Bunlar; superfisyal masseter, anterior ve posterior derin masseter, anterior ve posterior temporal, medial pterygoid, superior ve inferior lateral pterygoid, digastrik, geniohyoid, anterior ve posterior mylohyoid. Tüm simülasyonlar çene kapalı konumdayken yapılmıştır. Kapalı pozisyonda çene açma hareketi simüle edilmiş ve eş zamanlı digastrik, geniohyoid, mylohyoid ve lateral pterygoid kaslarının %10, %50 veya %100 aktivasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Besin direnci olmadan çene kapatma hareketi maksimum ağız açıklığından sonra masseter, medial pterygoid ve temporal kaslarının aynı anda %1 veya %10 aktivasyonu ile simüle edilmiştir. Besin direncinin etkisi için çene kapatma esnasında sabit kuvvette kısıtlılık eklenerek araştırılmıştır. Bunun için simetrik olarak santral kesicilerin arasına 50N'luk veya tek taraflı alt üst çene sağ 2.molarlar arasına 80N'luk kuvvet uygulanmış ve çene kapatan kasların %25'inin aktivasyonu ile simüle edilmiştir. Çene açma esnasında kasların %10, %50 ve %100 aktivasyonunda maksimum interinsizal

açıklık 1.8cm, 2.6cm ve 3.0 cm olarak hesaplanmış ve eklemdaki yük 15N, 45N ve 85N olarak hesaplanmıştır. Besin direnci olmadan eklemda oluşan yük kas aktivasyonu ile orantılı olarak bulunmuştur. Çene kapatan kaslar %10 veya %100 aktive edildiğinde sırasıyla eklemdaki yükü 10N ve 90N olarak belirlemişlerdir. Besin direnci varlığında eklemdaki yük daha yüksek hesaplanmıştır. 50N'luk kuvvet uygulandığında eklemda oluşan yük yaklaşık 145N'a yükselmiş, sağ molar bölgeye 80N'luk kuvvet uygulandığında da çalışan tarafta eklem yükü 110N, kontralateral tarafta 145N olarak hesaplanmıştır. Çene açık pozisyondayken diskte en yüksek stres ince intermediate kısmında oluşmuştur, çene kapandığında bu alan mediale kaymıştır. Kıkırdak tabakada en yüksek stres artiküler eminens ile bağlantılı bulunmuştur. Kondil kıkırdağında kondil rotasyonu ile stres alanı değişmiştir. Temporal kıkırdakta, çene kapanırken mandibular fossada da stres oluşumu gözlenmiştir. Diskte, Von Mises stresleri artiküler katmanlardan çok daha büyük hesaplanmıştır. Principal stres alanı kas aktivasyonunun değeri ile orantılı bulunmuştur. Eklem kıkırdağında neredeyse tamamen kompresif (sıkıştırma) stresler görülürken diskte hem tensile (çekme) hem de kompresif (sıkıştırma) stresler gözlenmiştir. Ayrıca diskte büyük principal stres alanları ile büyük Von mises stres alanları aynı bulunmamıştır. Unilateral besin kısıtlı kapatma hareketinin sonunda, simetrik besin kısıtlı olana göre Von Mises gerilmesi daha az, maksimum asal gerilme (principal stres) ise daha büyük bulunmuştur. Simüle edilen tüm hareketler sırasında, artiküler diskteki ortalama principal (kompresif ve tensile) stresleri, eklem yüküyle orantılı bulmuşlardır. En büyük strain besin kısıtlı çene kapama hareketleri sırasında diskte gözlenmiştir. Kapama boyunca diskte ortalama strain kademeli olarak artmış, dişler temas ettiği zaman %20'e ulaşmıştır. Çalışmalarında artiküler diskin temporal kemik ve mandibular kondilin kıkırdak tabakalarından daha fazla deforme olduğunu gözlemlediler. Bunun nedeninin artiküler kıkırdağın kemiğe bağlı olması ve bu sayede kompresif kuvvetlerin kemiğe iletilebilmesi olduğunu, diskin ise serbest olması nedeniyle oluşan stresin eklem yüzeyine paralel yayılması ve sonucunda lokal gerilme kaynaklı deformasyonlar oluştuğunu belirtmişlerdir. Çene hareketi ile diskteki stresin medio-laterale kaymasını Beek ve arkadaşlarının çalışması ile uyumlu bulmuşlardır (88). Bu çalışmada ise 9 kas çifti çalışmaya dahil edildi ve besin kısıtlaması uygulanmadı. Diş sıkma esnasında eklemdaki Von Mises stresleri değerlendirildi. Koolstra ve arkadaşlarının çalışmasında besin kısıtlaması olmadan çene kapatma esnasında diskte oluşan stresler medialde yoğunken bizim çalışmamızda diş sıkma stresler lateralde yoğun bulunmuştur.

Hirose ve arkadaşları 2006 yılında anterior disk deplasmanlı ve disk deplasmanlı hastalarda diş sıkma sırasında eklemde yumuşak dokularda oluşan Von Mises streslerini değerlendirmişlerdir. Anterior disk deplasmanlı ve deplasmanlı kadın hastadan elde edilen manyetik rezonans görüntüleri ile model oluşturmuşlardır. Anterior redüksiyonlu disk deplasmanı olan hastanın Wilkes sınıflamasına göre Evre III olduğu belirlenmiştir. Eklem yüklemesi masseter, temporal, medial ve lateral pterygoid kaslarının kuvvet vektörleri ile simüle edilmiştir. Diş sıkma hareketleri dört kasın eş zamanlı olarak %20 aktivasyonu ile simüle edilmiştir. Asemptomatik eklemde diskteki Von Mises stresleri diş sıkmanın başlangıcında intermediate bölgenin merkezinde ve lateralinde yoğun gözlenmiştir. 10 dakika süren diş sıkmanın sonucunda stres yoğunluğunun gözlemlendiği bölgeler değişmemiş fakat stres artmıştır. Retrodiskal dokuda stres başlangıçta yüksek bulunmuş fakat diş sıkma süresi uzadıkça stres azalmış ve 2 dakika sonra stres sabit bir düzeyde kalmıştır. Semptomatik eklemde ise diş sıkma başlangıcında stres diskin posteriorunun medial kısmında daha yoğun gözlenmiştir. 10 dakikalık diş sıkma sonucunda stres daha geniş alana yayılmıştır ve stres büyüklüğü artmıştır. Diskin posterior kısmında diş sıkma başlangıcında retrodiskal dokuda 5 kat daha büyük stresler oluşmuş ve strese azalma olmamıştır (32). Bu çalışmada da elde edilen sonuçlar Hirose ve arkadaşlarının çalışmasındaki asemptomatik eklemde elde edilenlere benzerdir. Fakat bizim çalışmamızda süre ile değerlendirme olmamıştır. Hirose ve arkadaşları 4 çiğneme kasının %20'sini eş zamanlı aktive etmişlerdir. Bizim çalışmamızda ise 9 çift kas ayrı ayrı kuvvetlerde uygulanmıştır. Diskte intermediate ve lateral bölgelerde Von Mises stres daha yoğun gözlenmiştir. En yüksek stres diskin lateralinde oluşmuştur.

2007 yılında Pileiciklene ve arkadaşları da maxilla, mandibula ve eklem diskinin üç boyutlu modelini oluşturmak ve diş sıkma esnasında eklem diskinde oluşan Von Mises stresi değerlendirmek amacıyla sonlu elemanlar analizi çalışması yapmışlardır. 20 yaşında erkek kadavradan elde edilen bilgisayarlı tomografi görüntüleri kullanılarak model oluşturulmuştur. Diş sıkma dört mandibular elevatör kas (masseter, temporal, lateral ve medial pterygoid) ile simüle edilmiştir. Diş sıkma hareketleri dört kasın eş zamanlı maximum kasılma kuvvetlerinin %25'i olarak uygulanmıştır. Kuvvetlerin totali fizyolojik mastikatör kuvvet olarak tanımlanan 262N olarak elde edilmiştir. Eklem diski fibrokıkırdak yapıda olduğu için bilgisayarlı tomografi ile taranamadığından, eklem diski matematiksel şekillendirme ile oluşturulmuştur. Dişler tam interküspidasyonda, alt-üst çene ön 4 diş arasına plaka yerleştirilerek ısırma ve alt-üst çene sol posterior dişler

arasına plak yerleştirilerek diskte oluşan stres değerleri gözlemlenmiştir. Tüm dişlerin temas halinde olduğu maximum interküspidasyonda diskte en büyük stres diskin orta kısmında gözlenmiştir. Anterior 4 diş arasında plaka yerleştirilerek ısırma uygulandığında eklem diskindeki stres maximum interküspidasyona göre yaklaşık %30 daha az gözlenmiştir. Sol taraf posterior alt-üst çene dişler arasına plaka yerleştirildiğinde iste sol eklem diskinde stres oluşmazken, sağ eklem diskinde maximum interküspidasyonda oluşan stresin %33'ü kadar stres oluşmuştur. Çalışmalarında anterior veya tek taraflı posterior ısırma maksimum stres konsantrasyonunun plakada oluştuğunu, disklerde ise orta düzeyde streslerin oluştuğunu gözlemlemişlerdir (87). Bu çalışmada da maximum interküspidasyonda diş sıkma sonucu diskte, kondilde ve artiküler fossada oluşan Von Mises stresleri değerlendirilmiştir. Dişler arasında herhangi bir plaka, besin vs. varlığında oluşan stresler değerlendirilmemiştir. Pileiciklene ve arkadaşları diş sıkma esnasındaki kas kuvvetlerini total olarak uygulamıştır. Bu çalışmada ise kas kuvvet uygulamaları total olarak yapılmamıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar Pileiciklene ve arkadaşlarının çalışmalarına benzer olarak, maksimum interküspidasyonda diş sıkma esnasında, diskte en yüksek stres yoğunluğu intermediate bölgede ayrıca diskin lateralinde gözlenmiştir. Fakat en yüksek stres değeri diskin lateralinde gözlenmiştir.

2009 yılında Nishio ve arkadaşları uzun süreli diş sıkma ve TME biyomekaniği arasındaki olası ilişkiyi incelemek için sonlu elemanlar analizi çalışması yapmışlardır. Anterior disk deplasmanlı semptomatik ve asemptomatik iki hastadan elde edilen Manyetik Rezonans (MR) görüntüleri ile iki model oluşturmuşlardır. Çalışmalarında uzun süreli diş sıkma sırasında, mandibular kondil yüzeyindeki stres dağılımlarını, ayrıca disk yer değiştirmesinin stres dağılımı üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Eklem yüklemesi için masseter, temporal, medial pterygoid ve lateral pterygoid kas kuvvetleri simüle edilmiştir. Mandibular kondil yüzeyindeki Von Mises stres dağılımını, başlangıç ve 10 dakikalık diş sıkma sonucunda değerlendirmişlerdir. Asemptomatik eklemden kondilde en yüksek Von Mises değerlerini, başlangıç zamanında anterior ve lateralde gözlemlediler. 60 saniyelik diş sıkma sonunda streslerin arttığını fakat 10 dakikaya kadar sabit kaldığını gözlemlediler. Medial ve posterior bölgede ise 60 saniyelik sürede stresler azalmış ve sabit kalmıştır. Semptomatik eklemden ise Von Mises değerlerini daha düşük hesapladılar fakat stres dağılım paternini daha farklı gözlemlediler. Başlangıçta en yüksek stres değeri kondil anteriorunda gözlemlediler. 2 dakikalık diş sıkma bu değer azalmış, diğer bölgelerde (medial, lateral, posterior) ise 2 dakikalık sürede stres değerleri artmıştır. 10 dakikalık diş

sıkma sonrasında medial ve anterior bölgedeki değerler benzer bulunmuştur. Posterior bölge ise 10 dakikalık sıkma sonucunda en yüksek değere ulaşmıştır (90). Bu çalışmada da bruksizm hastalarında diş sıkma sonucu kondilde, diskte ve artiküler fossada oluşan Von Mises stresleri değerlendirildi. Fakat diş sıkmanın süresine bağlı olarak stres değişimi değerlendirilmemiştir. Nishio ve arkadaşlarının asemptomatik modellerinde buldukları sonuçlara benzer şekilde kondilde stres yoğunluğu anterior ve lateralde gözlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca kondil boynunda da stresler yoğun ve en yüksek bulunmuştur. Kaslara botoks uygulaması kondilde oluşan stres değerlerini ve streslerin yoğun olduğu bölgeleri çok fazla değiştirmemiştir.

2013 yılında Cheng ve arkadaşları TME’de stres dağılımını incelemek amacıyla sonlu elemanlar analizi çalışması yapmışlardır. 3 asemptomatik 3 eklem disfonksiyonu bulunan hastayı çalışmaya dahil ettiler. Bu çalışmada yazarlar her iki taraftaki eklemden farklı stres değerleri için asimetrik indeks tanımlamışlardır. 12 mandibular kondil, disk ve artiküler eminensteki stresi değerlendirmişlerdir. Modeller elde edilen CT görüntüleri ile oluşturulmuştur. Dört çiğneme kasının (masseter, temporal, medial pterygoid ve lateral pterygoid) üçü ağız kapatan biri ağızı açan kastır ve çalışmalarında sadece ağız kapatan üç kası modellemişlerdir. Semptomatik eklemler için stresler asemptomatik olanlara göre daha yüksektir. Von Mises stresi çene kapatıldığında kondilde yaklaşık %20 ve çene açıldığında diskte %45 oranında azaldığını; stres dağılımları önemli asimetri gösterdiğini ve semptomatik hastalar için maksimum streslerin çoğunun lateral bölgede oluştuğu gözlenmiştir. Stres dağılımı asemptomatik eklemlerde ise daha uniform gözlenmiştir. Çenenin açılması sırasında kondildeki en yüksek Von Mises stresi semptomatik grupta asemptomatik gruba göre >%30 daha yüksek bulunmuştur ve bu diskteki stresin yaklaşık iki katı yüksek olarak belirlenmiştir. Asemptomatik eklemler için, en yüksek streslerin birkaçı posterior ve medial bölgelerde yer almış, neredeyse tüm eklemlerde stres merkezi bölgede gözlenmiştir; ancak semptomatik eklemler için maksimum streslerin %58.33’ü lateral bölgede gözlenmiştir. Her iki eklem grubu arasında maksimum streslerde belirgin bir fark olmamasına rağmen, semptomatik eklemlerde maksimum Von Mises ve kesme gerilmelerinde çene hareketi sırasında artma eğilimi gözlenmiştir (89). Bu çalışmada ise bruksizm hastalarında diş sıkma esnasında eklem diski, kondil ve artiküler fossada oluşan Von Mises stresleri değerlendirilmiştir. Cheng ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada sadece çeneyi kapatan çiğneme kasları dahil edilirken bizim çalışmamızda 9 çift kas kuvvetleri dahil edilmiştir. Diskte stresler orta bölgede ve lateralde yoğun gözlenmiştir. En yüksek

stres değeri ise diskin lateralinde gözlenmiştir. Kondildeki stresler ise modeller arasında çok fazla değişmemiştir. Kondilde oluşan stresler, diskte oluşan streslerin 2 katından daha fazla olarak gözlenmiştir.

2014 yılında Aoun ve arkadaşları bruksizimli hastalarda eklem diskini incelemişlerdir. Hastadan elde edilen polimerize edilmiş sentetik bir modelden analiz için model elde etmişlerdir. Çiğneme kaslarından süperfisyal ve derin masseter, anterior ve medial temporal ve medial pterygoid kaslarını modellemişlerdir. Maksimum ısırma kuvvetinde diskin başlangıç ve 10.saniyedeki stres değerleri ölçülmüştür. Diş sıkma başlangıcında en yüksek stres değerleri diskin lateralinde gözlenmiş fakat 10. saniyede yaklaşık %14 azalmıştır. Diskin medialinde ise stres değeri başlangıca göre bazı bölgelerde lokal olarak yaklaşık %7 artmıştır. Stres merkezde sabit kalma eğilimi göstermiştir. Lateraldeki stres azalması medial kısma göre daha fazla olmuştur. Diskin lateralinde gerinimler (strain) daha fazla gözlenmiş ve 10 saniye sonra %33 artmıştır. Toplam gerinim ile elastik gerinim arasındaki fark olarak hesaplanan minimum creep strain diskin hemen hemen tüm bölgelerinde meydana gelmiş fakat en yüksek diskin lateralinde gözlenmiştir. Sonuç olarak, diş sıkmanın devam edilmesinin, diskin tüm bölgelerinde strainde bir artışa ve lateral kısımda disk hasarı ile ilişkili olabilecek daha büyük creep straine neden olduğunu göstermişlerdir (91). Bu çalışmada da bruksizm hasta modelinde diskte oluşan en yüksek ve yoğun stres değerleri diskin lateralinde gözlenmiştir. Kaslara botoks uygulaması sonucunda stres değerleri azalmıştır fakat stres yoğunluğunun olduğu bölgeler benzer bulunmuştur. Bu çalışmada Von Mises stres değerleri hesaplanmıştır, fakat strain değerleri değerlendirilmemiştir.

6. SONUÇLAR

Isırma kuvvetinin Von Mises stres değerleri üzerindeki etkisi disk, kondil ve fossa arasında görüldü. Botoks uygulamasının kondil üzerindeki Von Mises stres etkisi azdır. Ancak fossa ve disk üzerindeki etkisinin klinik olarak önemi belirtilebilir. Isırma kuvvetinin yüksek olduğu bireylerde diskte oluşan streslerinin %25 oranda azalmasına bağlı olarak ileri dönem disk hastalıklarının önlenmesinde temporal ve masseter botoksun birlikte uygulanması önerilebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Sierwald I, John MT, Schierz O, Hirsch C, Sagheri D, Jost-Brinkmann PG, Reissmann DR (2015). Association of temporomandibular disorder pain with awake and sleep bruxism in adults. *J Orofac Orthop* 76(4): 305-317.
2. Sipahi Calis A, Colakoglu Z, Gunbay S (2019). The use of botulinum toxin-a in the treatment of muscular temporomandibular joint disorders. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg* 120(4): 322-325.
3. Maruyama M, Morita K, Kimura H, Nishio F, Yoshida M, Tsuga K (2020). Association between masticatory ability and oral functions. *J Clin Exp Dent* 12(11): e1011-e1014.
4. van der Bilt A, Engelen L, Pereira LJ, van der Glas HW, Abbink JH (2006). Oral physiology and mastication. *Physiol Behav* 89(1): 22-27.
5. Koolstra JH (2002). Dynamics of the human masticatory system. *Crit Rev Oral Biol Med* 13(4): 366-376.
6. Koolstra JH, van Eijden TM (1999). Three-dimensional dynamical capabilities of the human masticatory muscles. *J Biomech* 32(2): 145-152.
7. Davies S, Gray RM (2001). What is occlusion? *Br Dent J* 191(5): 235-238, 241-235.
8. Tomokiyo A, Wada N, Maeda H (2019). Periodontal Ligament Stem Cells: Regenerative Potency in Periodontium. *Stem Cells Dev* 28(15): 974-985.
9. Okeson JP (2020). Management of Temporomandibular Disorders and Occlusion, Eighth Edition
10. Miloro M. et al (2011). Peterson's Principles of Oral and Maxillofacial Surgery -Third Edition.
11. Haskin CL, Milam SB, Cameron IL (1995). Pathogenesis of degenerative joint disease in the human temporomandibular joint. *Crit Rev Oral Biol Med* 6(3): 248-277.
12. Shaffer SM, Brismee JM, Sizer PS, Courtney CA (2014). Temporomandibular disorders. Part 1: anatomy and examination/diagnosis. *J Man Manip Ther* 22(1): 2-12.

13. Alomar X, Medrano J, Cabratosa J, Clavero JA, Lorente M, Serra I, Monill JM, Salvador A (2007). Anatomy of the temporomandibular joint. *Semin Ultrasound CT MR* 28(3): 170-183.
14. A.Baumann UL (2002). *Color Atlas of Dental Medicine (TMJ Disorders and Orofacial Pain The Role of Dentistry in a Multidisciplinary Diagnostic Approach)* Klaus H.Rateitschak HFW, editor.
15. Clark RK, Wyke BD (1974). Contributions of temporomandibular articular mechanoreceptors to the control of mandibular posture: an experimental study. *J Dent* 2(3): 121-129.
16. Liu Z, Qian Y, Zhang Y, Fan Y (2016). Effects of several temporomandibular disorders on the stress distributions of temporomandibular joint: a finite element analysis. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 19(2): 137-143.
17. Dijkgraaf LC, de Bont LG, Boering G, Liem RS (1996). Structure of the normal synovial membrane of the temporomandibular joint: a review of the literature. *J Oral Maxillofac Surg* 54(3): 332-338.
18. Kijak E, Margielewicz J, Pihut M (2020). Identification of Biomechanical Properties of Temporomandibular Discs. *Pain Res Manag* 2020: 6032832.
19. Villamil MB, Nedel LP, Freitas CM, Macq B (2012). Simulation of the human TMJ behavior based on interdependent joints topology. *Comput Methods Programs Biomed* 105(3): 217-232.
20. Manfredini D, Serra-Negra J, Carboncini F, Lobbezoo F (2017). Current Concepts of Bruxism. *Int J Prosthodont* 30(5): 437-438.
21. Lavigne GJ, Khoury S, Abe S, Yamaguchi T, Raphael K (2008). Bruxism physiology and pathology: an overview for clinicians. *J Oral Rehabil* 35(7): 476-494.
22. Ilovar S, Zolger D, Castrillon E, Car J, Huckvale K (2014). Biofeedback for treatment of awake and sleep bruxism in adults: systematic review protocol. *Syst Rev* 3: 42.
23. Glaros AG, Rao SM (1977). Bruxism: a critical review. *Psychol Bull* 84(4): 767-781.
24. Koyano K, Tsukiyama Y, Ichiki R, Kuwata T (2008). Assessment of bruxism in the clinic. *J Oral Rehabil* 35(7): 495-508.

25. Jimenez-Silva A, Pena-Duran C, Tobar-Reyes J, Frugone-Zambra R (2017). Sleep and awake bruxism in adults and its relationship with temporomandibular disorders: A systematic review from 2003 to 2014. *Acta Odontol Scand* 75(1): 36-58.
26. Garip H, Tufekcioglu S, Kaya E (2018). Changes in the temporomandibular joint disc and temporal and masseter muscles secondary to bruxism in Turkish patients. *Saudi Med J* 39(1): 81-85.
27. Fernandez-Nunez T, Amghar-Maach S, Gay-Escoda C (2019). Efficacy of botulinum toxin in the treatment of bruxism: Systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 24(4): e416-e424.
28. Faulkner KD (1990). Bruxism: a review of the literature. Part II. *Aust Dent J* 35(4): 355-361.
29. Israel HA, Diamond B, Saed-Nejad F, Ratcliffe A (1999). The relationship between parafunctional masticatory activity and arthroscopically diagnosed temporomandibular joint pathology. *J Oral Maxillofac Surg* 57(9): 1034-1039.
30. Agren M, Sahin C, Pettersson M (2020). The effect of botulinum toxin injections on bruxism: A systematic review. *J Oral Rehabil* 47(3): 395-402.
31. Barrientos E, Pelayo F, Tanaka E, Lamela-Rey MJ, Fernandez-Canteli A, de Vicente JC (2020). Effects of loading direction in prolonged clenching on stress distribution in the temporomandibular joint. *J Mech Behav Biomed Mater* 112: 104029.
32. Hirose M, Tanaka E, Tanaka M, Fujita R, Kuroda Y, Yamano E, van Eijden TM, Tanne K (2006). Three-dimensional finite-element model of the human temporomandibular joint disc during prolonged clenching. *Eur J Oral Sci* 114(5): 441-448.
33. Wu Y, Cisewski SE, Coombs MC, Brown MH, Wei F, She X, Kern MJ, Gonzalez YM, Gallo LM, Colombo V, Iwasaki LR, Nickel JC, Yao H (2019). Effect of Sustained Joint Loading on TMJ Disc Nutrient Environment. *J Dent Res* 98(8): 888-895.

34. Lin YY, Tanaka N, Ohkuma S, Iwabuchi Y, Tanne Y, Kamiya T, Kunitatsu R, Huang YC, Yoshioka M, Mitsuyoshi T, Tanimoto K, Tanaka E, Tanne K (2010). Applying an excessive mechanical stress alters the effect of subchondral osteoblasts on chondrocytes in a co-culture system. *Eur J Oral Sci* 118(2): 151-158.
35. Munchau A, Bhatia KP (2000). Uses of botulinum toxin injection in medicine today. *BMJ* 320(7228): 161-165.
36. Schiavo G, Matteoli M, Montecucco C (2000). Neurotoxins affecting neuroexocytosis. *Physiol Rev* 80(2): 717-766.
37. Rossetto O, Pirazzini M, Fabris F, Montecucco C (2021). Botulinum Neurotoxins: Mechanism of Action. *Handb Exp Pharmacol* 263: 35-47.
38. Tinastepe N, Kucuk BB, Oral K (2015). Botulinum toxin for the treatment of bruxism. *Cranio* 33(4): 291-298.
39. Freni F, Gazia F, Stagno d'Alcontres F, Galletti B, Galletti F (2019). Use of botulinum toxin in Frey's syndrome. *Clin Case Rep* 7(3): 482-485.
40. Blumenfeld AM, Silberstein SD, Dodick DW, Aurora SK, Brin MF, Binder WJ (2017). Insights into the Functional Anatomy Behind the PREEMPT Injection Paradigm: Guidance on Achieving Optimal Outcomes. *Headache* 57(5): 766-777.
41. Kwon KH, Shin KS, Yeon SH, Kwon DG (2019). Application of botulinum toxin in maxillofacial field: part I. Bruxism and square jaw. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 41(1): 38.
42. Malgorzata P, Piotr C, Edward K (2017). The Mechanism of the Beneficial Effect of Botulinum Toxin Type a Used in the Treatment of Temporomandibular Joints Dysfunction. *Mini Rev Med Chem* 17(5): 445-450.
43. Mauskop A (2010). Botulinum neurotoxin in the treatment of headache disorders. *Handb Clin Neurol* 97: 217-232.
44. Choi JW, Heo SJ, Koak JY, Kim SK, Lim YJ, Kim SH, Lee JB (2006). Biological responses of anodized titanium implants under different current voltages. *J Oral Rehabil* 33(12): 889-897.

45. Cox T, Kohn MW, Impelluso T (2003). Computerized analysis of resorbable polymer plates and screws for the rigid fixation of mandibular angle fractures. *J Oral Maxillofac Surg* 61(4): 481-487; discussion 487-488.
46. Jafari A, Shetty KS, Kumar M (2003). Study of stress distribution and displacement of various craniofacial structures following application of transverse orthopedic forces--a three-dimensional FEM study. *Angle Orthod* 73(1): 12-20.
47. R.W P (1991). *Science of Dental Materials*.
48. Misch CE (2005). *Dental Implant Prosthetics* St.Louis, editor Elsevier Mosby.
49. JE. S (2011). *Shigley's mechanical engineering design*.
50. Cattaneo PM, Dalstra M, Melsen B (2003). The transfer of occlusal forces through the maxillary molars: a finite element study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 123(4): 367-373.
51. Angelo A. Caputo JPS (1987). *Biomechanics in clinical dentistry* Quintessence Pub Co.
52. Bohluli B, Motamedi MH, Bohluli P, Sarkarat F, Moharamnejad N, Tabrizi MH (2010). Biomechanical stress distribution on fixation screws used in bilateral sagittal split ramus osteotomy: assessment of 9 methods via finite element method. *J Oral Maxillofac Surg* 68(11): 2765-2769.
53. Natali AN (2003). *Dental Biomechanics*.
54. Pickover C (2008). *Archimedes to Hawking: laws of science and the great minds behind them*.
55. Anusavice K SC, Rawls H (2012). *Phillips' science of dental materials*. Elsevier Health Sciences.
56. Daskalaki A (2009). *Dental Computing and Applications: Advanced Techniques for Clinical Dentistry* IGI Global.
57. Ulm CW, Kneissel M, Hahn M, Solar P, Matejka M, Donath K (1997). Characteristics of the cancellous bone of edentulous mandibles. *Clin Oral Implants Res* 8(2): 125-130.
58. Fung Y-C (1993). *Biomechanics: mechanical properties of living tissues*.

59. N. Özkaya MN, D. Leger, D. Goldsheyder (1999). Fundamentals of biomechanics: equilibrium, motion, and deformation Springer Science.
60. Doç. Dr. Murat Hancı AGEB, Prof. Dr. Alaeddin Arpacı (2000). Biyomekanik Logos Yayıncılık.
61. Borchers L, Reichart P (1983). Three-dimensional stress distribution around a dental implant at different stages of interface development. J Dent Res 62(2): 155-159.
62. Akca K, Cehreli MC, Iplikcioglu H (2002). A comparison of three-dimensional finite element stress analysis with in vitro strain gauge measurements on dental implants. Int J Prosthodont 15(2): 115-121.
63. Ulusoy M AK (2010). Diş Hekimliğinde Hareketli Bölümlü Protez Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Yayınları.
64. Ledley RS, Huang HK (1968). Linear model of tooth displacement by applied forces. J Dent Res 47(3): 427-432.
65. Vaillancourt H, Pilliar RM, McCammond D (1996). Factors affecting crestal bone loss with dental implants partially covered with a porous coating: a finite element analysis. Int J Oral Maxillofac Implants 11(3): 351-359.
66. Jianping Geng WY, Wei Xu (2007). Application of the Finite Element Method in Implant Dentistry Springer.
67. Sreekha A, Bashetty K (2010). Infinite to finite: an overview of finite element analysis. Indian J Dent Res 21(3): 425-432.
68. Ebrahimi F (2012). Finite Element Analysis– New Trends and Developments .Intechopen
69. Shetty P, Hegde AM, Rai K (2010). Finite element method--an effective research tool for dentistry. J Clin Pediatr Dent 34(3): 281-285.
70. Liu Z, Fan Y, Qian Y (2008). Comparative evaluation on three-dimensional finite element models of the temporomandibular joint. Clin Biomech (Bristol, Avon) 23 Suppl 1: S53-58.
71. Logan DL (2011). A first course in the finite element method Cengage Learning.

72. Reddy MS, Sundram R, Eid Abdelmagdy HA (2019). Application of Finite Element Model in Implant Dentistry: A Systematic Review. *J Pharm Bioallied Sci* 11(Suppl 2): S85-S91.
73. Juodzbals G, Kubilius R, Eidukynas V, Raustia AM (2005). Stress distribution in bone: single-unit implant prostheses veneered with porcelain or a new composite material. *Implant Dent* 14(2): 166-175.
74. Newman FACaMG (1996). *Clinical Periodontology* 8th edition ed W B Saunders Co.
75. De la Torre Canales G, Camara-Souza MB, do Amaral CF, Garcia RC, Manfredini D (2017). Is there enough evidence to use botulinum toxin injections for bruxism management? A systematic literature review. *Clin Oral Investig* 21(3): 727-734.
76. Ahn KY, Kim ST (2007). The change of maximum bite force after botulinum toxin type a injection for treating masseteric hypertrophy. *Plast Reconstr Surg* 120(6): 1662-1666.
77. Park HU, Kim BI, Kang SM, Kim ST, Choi JH, Ahn HJ (2013). Changes in masticatory function after injection of botulinum toxin type A to masticatory muscles. *J Oral Rehabil* 40(12): 916-922.
78. Pardo NB, Kerstein RB, Junior MC, Ferreira LS, Abrahao M (2020). Botulinum toxin type A for controlling bruxism assessed with computerized occlusal analysis: A pilot study. *Cranio*: 1-10.
79. Freund B, Schwartz M (2003). Temporal relationship of muscle weakness and pain reduction in subjects treated with botulinum toxin A. *J Pain* 4(3): 159-165.
80. Kim KS, Byun YS, Kim YJ, Kim ST (2009). Muscle weakness after repeated injection of botulinum toxin type A evaluated according to bite force measurement of human masseter muscle. *Dermatol Surg* 35(12): 1902-1906.
81. Koriath TW, Hannam AG (1994). Mandibular forces during simulated tooth clenching. *J Orofac Pain* 8(2): 178-189.
82. Tanaka E, Tanne K, Sakuda M (1994). A three-dimensional finite element model of the mandible including the TMJ and its application to stress analysis in the TMJ during clenching. *Med Eng Phys* 16(4): 316-322.

83. Patel AA, Lerner MZ, Blitzer A (2017). IncobotulinumtoxinA Injection for Temporomandibular Joint Disorder. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 126(4): 328-333.
84. Nagahara K, Murata S, Nakamura S, Tsuchiya T (1999). Displacement and stress distribution in the temporomandibular joint during clenching. *Angle Orthod* 69(4): 372-379.
85. Hu M, Zhou J, Hong M, Ma H, Tian X (1997). Study on stress distribution of the condyle. *Chin Med J (Engl)* 110(10): 811-813.
86. Chen J, Akyuz U, Xu L, Pidaparti RM (1998). Stress analysis of the human temporomandibular joint. *Med Eng Phys* 20(8): 565-572.
87. Pileickiene G, Surna A, Barauskas R, Surna R, Basevicius A (2007). Finite element analysis of stresses in the maxillary and mandibular dental arches and TMJ articular discs during clenching into maximum intercuspation, anterior and unilateral posterior occlusion. *Stomatologija* 9(4): 121-128.
88. Koolstra JH, van Eijden TM (2005). Combined finite-element and rigid-body analysis of human jaw joint dynamics. *J Biomech* 38(12): 2431-2439.
89. Cheng HY, Peng PW, Lin YJ, Chang ST, Pan YN, Lee SC, Ou KL, Hsu WC (2013). Stress analysis during jaw movement based on vivo computed tomography images from patients with temporomandibular disorders. *Int J Oral Maxillofac Surg* 42(3): 386-392.
90. Nishio C, Tanimoto K, Hirose M, Horiuchi S, Kuroda S, Tanne K, Tanaka E (2009). Stress analysis in the mandibular condyle during prolonged clenching: a theoretical approach with the finite element method. *Proc Inst Mech Eng H* 223(6): 739-748.
91. Aoun M, Mesnard M, Monede-Hocquard L, Ramos A (2014). Stress analysis of temporomandibular joint disc during maintained clenching using a viscohyperelastic finite element model. *J Oral Maxillofac Surg* 72(6): 1070-1077.