



T.C.

RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ

DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ

**BRUKSİZM HASTALARINDA MASSETER, TEMPORAL VE
LATERAL PTERYGOİD KAS BOTOKSUNUN VE ISIRMA PLAĞI
KULLANIMININ TEMPOROMANDİBULAR EKLEM ÜZERİNDE
OLUŞTURDUĞU GERİLİMLERİN ÜÇ BOYUTLU SONLU
ELEMENLAR ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ağız Diş ve Çene Cerrahisi Programı

Uzmanlık Tezi

Dt. Elif HAŞİMOĞLU

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Emre BALABAN

RİZE

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağız Diş ve Çene Cerrahisi Ana bilim dalında, Dr. Öğr. Üyesi Emre BALABAN danışmanlığında, Arş. Gör. Dt. Elif HAŞİMOĞLU tarafından hazırlanan “Bruksizm Hastalarında Masseter, Temporal ve Lateral Pterygoid Kas Botoksunun ve Isırma Plağı Kullanımının Temporomandibular Eklem Üzerinde Oluşturduğu Gerilimlerin Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Analizi ile Değerlendirilmesi” adlı bu tez çalışması, 08/06/2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Uzmanlık Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı, Adı Soyadı

İmza

Başkan:

Dr. Öğr. Üyesi Emre BALABAN

(Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi)

Üye:

Doç. Dr. Zeynep GÜMRÜKÇÜ

(Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi)

Üye:

Dr. Öğr. Üyesi Yasin Çağlar KOŞAR

(Eskişehir Osmangazi Üniversitesi)

ETİK BEYAN

Ağız Diş ve Çene Cerrahisi Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Bruksizm Hastalarında Masseter, Temporal ve Lateral Pterygoid Kas Botoksunun ve Isırma Plağı Kullanımının Temporomandibular Eklem Üzerinde Oluşturduğu Gerilimlerin Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Analizi ile Değerlendirilmesi” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Usul ve Esaslarına uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve/veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

08/06/2023

Elif HAŞİMOĞLU

TEŞEKKÜR

Fakültemiz dekanı sayın Prof. Dr. Zeynep YEŞİL'e,

Klinik ve mesleki eğitimimin tamamlanmasında büyük emeği olan, birikimleriyle her zaman bana yol gösteren sayın Doç. Dr. Zeynep GÜMRÜKÇÜ'ye ve sayın Doç. Dr. Nazife Begüm KARAN'a,

Öğrenciliğimden bu yana işini hayranlıkla seyrettiğim, bana cerrahiyi sevdiren, öğreten, samimiyetiyle güven veren ve ne zaman ihtiyaç duysam orda oluşunu bildiğim abim, tez danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Emre BALABAN'a,

Kıymetli tez jürim Dr. Öğr. Üyesi Yasin Çağlar KOŞAR'a,

Tezimin analiz aşamasında büyük bir özveri ve titizlikle çalışan Tinus Technologies ekibine,

Uzmanlık eğitim sürecimde birlikte çalışmaktan zevk aldığım abimlerim Uzm. Dt. Alperen KALYONCU'ya ve Uzm. Dt. Muhammed Raşid GÖKSU'ya, asistanlığım boyunca gün sonunda beraber gülüp ağladığım arkadaşlarım Uzm. Dt. Kübra KARAKUZU'ya, Uzm. Dt. Sabina KARŞICI'ya ve Nurgül COŞKUN'a, bana her konuda yardımcı olan arkadaşım Dr. Öğr. Üyesi Andaç DOĞAN'a, birlikte yürüdüğümüz bu yolu güzelleştiren eş kidedlim Mert KARABAĞ'a,

Tüm cerrahi bölümü çalışanlarına, enerjileriyle bana kendimi iyi hissettiren RTEÜ Diş Hekimliği Fakültesi öğrencilerine ve fakültenin bana kazandırdığı en güzel arkadaşlıklar olan sevgili Kemik KADRO ekibine,

Uzakta olsalar da desteklerini hep hissettiğim Güneş ÇAĞLAR'a ve Nisa ÖZSOY'a, dünümden bugünüme, iyi günümde kötü günümde her zaman yanımda olan kardeşlerim Özgün TOPALOĞLU'na, Havva Nur S. GÜNLÜ'ye ve Feyzanur B. YERLİKAYA'ya

Hayatım boyunca her başarımda emekleri olan, maddi manevi hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, sevgi ve ilgileriyle bana destek olan biricik anneme ve babama

Tüm kalbimle teşekkür ederim

Elif HAŞİMOĞLU

Benimle her zaman gurur duyduklarını bildiğim abim ve ablama ithafen,

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Çiğneme Sistemi.....	3
2.1.1. Çiğneme Sistemi Anatomisi	4
2.1.1.1. Dişler ve Destek Yapılar	4
2.1.1.2. Üst Hava-Sindirim Sistemi Boşlukları.....	5
2.1.1.3. Tükürük Bezleri	5
2.1.1.4. İskeletsel Yapılar	6
2.1.1.5. Temporomandibular Eklem.....	6
2.1.1.6. Çiğneme Kasları	17
2.1.1.7. Suprahyoid Kaslar.....	22
2.1.1.8. Temporomandibular Eklem Patolojileri.....	23
2.1.1.9. Çiğneme Sisteminin Biyomekaniği	26
2.2. Bruksizm	29
2.2.1. Bruksizm Sınıflaması	30
2.2.2. Bruksizmin Etiyolojisi.....	31

2.2.3. Bruksizm Epidemiyolojisi	32
2.2.4. Bruksizmin Belirti ve Semptomları.....	32
2.2.5. Bruksizmin Tanı ve Tedavisi.....	33
2.2.5.1. Anket Metodu	34
2.2.5.2. Ağız İçi Aparey Kullanımı	34
2.2.5.3. Çiğneme Kaslarının Elektromiyografi (EMG) ve Ultrasonografi (USG) ile Analizi.....	34
2.2.5.4. Polisomnografi (PSG) ile Analiz	35
2.2.5.5. Bilişsel-Davranışsal Tedavi.....	35
2.2.5.6. Oklüzal Splintlerle Tedavi.....	36
2.2.5.7. Farmakolojik Yaklaşımlarla Tedavi.....	38
2.3.Botulinum Toksin	38
2.3.1. Bruksizm Tedavisinde Botulinum Toksin	43
2.3.2.1. Anterior Disk Deplasmanı Tedavisinde Botulinum Toksin	44
2.4. Gerilme Analizleri	44
2.4.1. Gerilme Analizlerinde Kullanılan Terimler.....	45
2.4.1.1. Kuvvet	45
2.4.1.2. Gerilme (Stres).....	45
2.4.1.3. Gerinim (Strain).....	46
2.4.1.4. Asal Gerilmeler (Principal Stresses)	46
2.4.1.5. Von Mises Stresi (Eşdeğer Stres, Equivalent Stres)	47
2.4.1.6. Elastisite Modülü (Young Modülü)	47
2.4.1.7. Akma Dayanımı (Yield strength)	47
2.4.1.8. Hooke Kanunu	48
2.4.1.9. Possion Oranı.....	48
2.4.1.10. İzotropik, Anizotropik, Homojen Cisim.....	48
2.4.1.11. Yay Sabiti	48
2.4.2. Diş Hekimliğinde Kullanılan Stres Analiz Yöntemleri.....	49
2.4.2.1. Fotoelastik stres Analiz Yöntemi.....	50
2.4.2.2. Gerilim Ölçer Stres Analiz Yöntemi.....	50
2.4.2.3. Holografik (lazer ışığı) İnterferometri ile Kuvvet analizi	50
2.4.2.4. Radyotelemetri ile Stres analiz Yöntemi.....	50
2.4.2.5. Termografik Stres Analiz Yöntemi.....	50
2.4.2.6. Sonlu Elemanlar Stres Analizi Yöntemi	51
3. MATERYAL VE METOD.....	54
3.1. Hasta Seçimi	54

3.1.1. Gönüllülerin Araştırmaya Dahil Olma Kriterleri.....	54
3.1.2. Gönüllülerin Araştırmaya Dahil Olmama Kriterleri	54
3.2. Kortikal Kemik, Trabekuler Kemik ve Temporomandibuler Eklem Modellenmesi.....	56
3.3. Modeller	60
3.4. Matematiksel Modellerin Elde Edilmesi.....	63
3.5. Malzeme Tanımları	63
3.6. Çalışma Gruplarının Dizaynı.....	64
3.7. Yükleme Senaryoları ve Sınır Koşulları	67
3.8. Kuantitatif Model Bilgileri	71
3.9. Sistemlerin Birleştirilmesi ve Parçalar Arası Bağlantı Durumu	71
3.10. Sonlu Elemanlar Analizi Programıyla Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	72
4. BULGULAR	73
5. TARTIŞMA	86
6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR	111
EKLER	122

ÖZET

Bruksizm Hastalarında Masseter, Temporal ve Lateral Pterygoid Kas Botoksunun ve ısıрма Plağı Kullanımının Temporomandibular Eklem Üzerinde Oluşturduğu Gerilimlerin Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Analizi ile Değerlendirilmesi

Amaç: Bu çalışmamızın amacı bruksizm hastalarında masseter, temporal, lateral pterygoid kaslara botoks uygulaması ve ısıрма plağı kullanımının temporomandibular eklemdede oluşacak stres değişimlerinin karşılaştırmalı olarak 3 boyutlu sonlu elemanlar analizi ile incelenmesidir.

Materyal ve Metod: Bruksizimli erişkin bir hastaya ait tomografi verileri kullanılarak 3 boyutlu çene modeli oluşturuldu. Tomografi verisinden kemik .stl modelin elde edilmesi 3DSlicer yazılımında yapılmıştır. Tersine mühendislik ve üç boyutlu CAD faaliyetleri ANSYS Spaceclaim yazılımı, katı modellerin analiz ortamına uygun hale getirilmesi ve optimize ağ örgüsünün oluşturulması faaliyetleri ANSYS Workbench yazılımı ile gerçekleştirilmiştir; oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin çözümü için LS-DYNA çözücüsü kullanılmıştır. Temporomandibular eklemin normal kondil-disk-fossa ilişkisi içerisinde, diskin tek taraflı ve çift taraflı anteriora deplase olduğu üç ana model üzerinde botoks uygulaması ve ısıрма plağı kullanımının yedi farklı yükleme senaryosu oluşturuldu. Oluşturulan üç ana modelde de dişlerin sıkılması sırasında çiğneme kasları, TME'nin artiküler fossası, mandibular kondili ve eklem diskinde oluşan von Mises stres dağılımları incelendi.

Bulgular: Deplasman olmayan modellerde stresler en çok kondil ve diskin orta bölgesinde, glenoid fossanın posteromedialinde toplanırken, diskin anterior deplasmanlı olduğu durumlarda streslerin arttığı, kondil, disk ve glenoid fossadaki streslerin posterior alanda yoğunlaştığı görüldü. Botoks uygulaması ve ısıрма plağı kullanımıyla kondil disk ve glenoid fossada izlenen streslerde azalma izlendi. Modellerde ısıрма plağı kullanımıyla masseter-temporal botoksun beraber uygulamasının, masseter-temporal-lateral pterygoid kaslara botoks uygulamasına göre kondil-disk-fossa üzerindeki stresleri azaltmada çok daha etkili olmuştur.

Sonuç: Lateral pterygoid kasa botoks uygulamasının anatomik zorluğu, kılavuzsuz kas içi enjeksiyonun zorluğu nedeniyle kör enjeksiyon yapılmasının komplikasyonları nedeniyle bruksizm için deplasman olan ve olmayan durumlarda öncelikli tedavi seçeneği eklem içi stresleri azaltmada daha iyi sonuçlar veren masseter ve temporal kaslara botoks enjeksiyonu ile birlikte ısıрма plağı kullanımı olabilir.

Anahtar Kelimeler: Bruksizm, Botoks, ısıрма Plağı, Sonlu Elemanlar Analizi

ABSTRACT

Evaluation of Masseter, Temporal and Lateral Pterygoid Muscle Botox and Stress on the Temporomandibular Joint with Bite Plate Use in Patients with Bruxism by Three-Dimensional Finite Element Analysis

Aim: The aim of this study is to compare the stress changes that will occur in the temporomandibular joint of the use of botox to the masseter, temporal, and lateral pterygoid muscles in patients with bruxism, using 3D finite element analysis.

Materials and Methods: A 3-dimensional jaw model was created using tomography data from an adult patient with bruxism. Bone .stl model was obtained from tomography data in 3DSlicer software. Reverse engineering and three-dimensional CAD activities were carried out with ANSYS Spaceclaim software, adapting solid models to the analysis environment and creating optimized mesh activities were carried out with ANSYS Workbench software; LS-DYNA solver was used to solve the finite element models created. Seven different loading scenarios of botox application and bite plate use were created on three main models in which the temporomandibular joint was displaced unilaterally and bilaterally anteriorly, within the normal condyle-disc-fossa relationship. Von Mises stress distributions in the masticatory muscles, articular fossa of the TMJ, mandibular condyle and joint disc during clenching of the teeth were examined in all three main models.

Results: In the non-displacement models, the stresses were mostly concentrated in the middle region of the condyle and disc, in the posteromedial of the glenoid fossa. A reduction in the stress observed in the condylar disc and glenoid fossa was observed with the use of Botox and bite plate. The combined application of masseter-temporal botox with the use of bite plate in the models was much more effective in reducing the stresses on the condyle-disc-fossa than the application of botox to the masseter-temporal-lateral pterygoid muscles.

Conclusion: Due to the anatomical difficulty of botox application to the lateral pterygoid muscle, the complications of blind injection due to the difficulty of unguided intramuscular injection, the primary treatment option for bruxism with and without displacement may be the use of a bite plate with botox injection into the masseter and temporal muscles, which gives better results in reducing intra-articular stress.

Keywords: Bruxism, Botox, Bite Plate, Finite Element Analysis

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Kısaltmalar

ADD :Anterior disk deplasmanı

AASM :American Academy of Sleep Medicine /Amerikan Uyku Tıbbı

Birliği

Ach :Asetilkolin

BoNT :Botulinum nörotoksin

BTX :Botoks

BTX-A :Botulinum toksin A

BTX-B :Botulinum toksin B

dcm :DICOM

EMG :Elektromiyografi

EEG :Elektroensefalogram

EKG :Elektrokardiyografi

EMG :Elektromiyografi

FDA :Food and drug administration

ICSD :Classification of Sleep Disorders/ Uluslararası uyku bozuklukları

sınıflaması

LPK :Lateral Pterygoid kas

Lig. : ligament

MPK :Medial Pterygoid kas

MRG :Manyetik rezonans görüntüleme

Non-REM :Non-rapid Eye Movement/Hızlı Göz Hareketlerinin Olmaması

PSG :Polisomnografi

REM : Rapid Eye Movement/Hızlı Göz Hareketleri

SNAP-25 :Synaptosomal nerve-associated protein of 25 kDa

SNARE :Soluble N-ethylmaleimide-sensitive factor attachment protein

receptor

SSRI :Selektif serotonin geri alınımı inhibitörü

.stl :Stereolithografi

TMD :Temporomandibular düzensizlik

TME :Temporomandibular eklem

UB	:Uyku bruksizmi
UI	:Ünite
USG	:Ultrasonografi
VAMP	:Vesicleassociated membrane protein
VAS	:Görsel Analog Skala
VIP	:Vazoaktif intestinal peptid
V3	:Mandibular sinir
VII	:Fasiyal sinir

Semboller

%	:Yüzde
μ	:Mikron
μm	:Mikrometre
μm/kg	:Mikrometre/kilogram
mm	:Milimetre
m	:kütle
m²	:Metrekare
A	:Alan
ε	:Boyut değişimi
F	:Kuvvet
GPa	:Gigapaskal
kDa	:Kilodalton
MPa	:Megapaskal
N	:Newton
N/mm	:Newton/milimetre
P	:Paskal
S	:Stres
V	:Poisson oranı
ΔL	:Deformasyon
σ	:Asal Gerilme
°	:Derece
≈	:Neredeyse eşit
<	:Küçüktür

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Kondiler Process	8
Şekil 2. Glenoid (Mandibular) fossa ve Artiküler eminens.....	9
Şekil 3. Artiküler Disk	11
Şekil 4. Temporomandibular ligament.....	14
Şekil 5. Kapsüler ligament	14
Şekil 6. Sphenomandibular ligament	15
Şekil 7. Stylomandibular ligament.....	16
Şekil 8. Masseter kas.....	19
Şekil 9. Temporal kas.....	20
Şekil 10. Medial Pterygoid Kas	21
Şekil 11. Lateral Pterygoid Kas	22
Şekil 12. Botulinum Toksin Etki Mekanizması.....	41
Şekil 13. Tomografi verisinden sonlu elemanlar modeli eldesi	56
Şekil 14. Kortikal Kemik.....	58
Şekil 15. Trabeküler Kemik.....	58
Şekil 16. Normal Konumda Disk.....	59
Şekil 17. Anterior Disk.....	60
Şekil 18. Model A	61
Şekil 19. Model B	62
Şekil 20. Model C	62
Şekil 21. Matematiksel model eldesi	63
Şekil 22. Çene kaslarının uygulama noktaları ve yönleri 189	69
Şekil 23. Kas Kuvvetleri	70
Şekil 24. Sınır Koşulları	70
Şekil 25. Yay Sabiti	71

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Amerikan Orofasiyal Ağrı Akademisi ve Uluslararası Başağrısı Derneği'nin birlikte yaptığı sınıflamaya göre temporomandibular düzensizliklerin sınıflandırılması	24
Tablo 2. Modeller	61
Tablo 3. Malzeme özellikleri	64
Tablo 4. Çalışma Gruplarının Oluşturulması	65
Tablo 5. Kaslar kuvvet değerleri ve yönleri.....	69
Tablo 6. Düğümler ve elemanlar	71
Tablo 7. A modeli Von Mises stres değerleri	75
Tablo 8. B modeli Von Mises stres değerleri.....	75
Tablo 9. C modeli Von Mises stres değerleri.....	76
Tablo 10. A modeli Von Mises stres dağılımı	77
Tablo 11. B modeli Von Mises stres dağılımı.....	79
Tablo 12. C modeli Von Mises stres dağılımı.....	81

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Vücudumuzdaki en karmaşık eklemlerden biri olan temporomandibular eklem (TME) in düzensizlikleri (TMD) yetişkinlerde ağrıya sebep olan en yaygın kas-iskelet sistemi hastalıklarındandır ^{1, 2}. TMD'lerin en yaygın bulguları kas-eklem ağrısı, çene hareketlerinde kısıtlılık ve krepitasyon gibi eklem sesleridir. TMD'ler hastalığın bulunduğu bölgeye ve ilerleyişine göre; intraartiküler düzensizlikler, enflamatuvar eklem hastalıkları, gelişimsel eklem rahatsızlıkları, mastikatör kas rahatsızlıkları, mandibulanın kronik fonksiyon bozuklukları olmak üzere 5 farklı grupta sınıflandırılabilirler. Bu rahatsızlıklar ayrı ayrı görülebildiği gibi, birbirlerini etkileyebilir ve birlikte de görülebilirler ^{3, 4}.

Temporomandibular düzensizlikler önemli bir halk sağlığı sorunudur ⁵. TMD'ye sahip bireylerin çoğunda psikolojik sorunlar veya uyku sorunlarının da eş zamanlı izlendiği belirlenmiştir ³. Bu nedenle, TMD genellikle ağrının sebep olduğu, yaşam kalitesinde bozulmalara yol açar ⁴. Bu rahatsızlıkların yaygınlaşması, yapılan çalışmaların sayısını arttırmıştır. Hastalıkla ilgili farklı yaklaşımlar ve modeller oluşturulmuştur. TMD kavramının hastalık olarak ilk ortaya çıktığı zamanlarda etiyolojik faktörler incelendiğinde genellikle oklüzal ve mekanik faktörler üzerinde durulmuştur. Günümüzde yapılan çalışmalarda ise bu görüşün hastalığın daha iyi anlaşılmasına yardım etmediği için yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Artan çalışmalar ve artan araştırmacı sayısı ile birlikte pek çok farklı çalışma ve model üretilmiş olsa da hastalığın karmaşık yapısından dolayı etiyolojisinin de multifaktöriyel olduğu kanısına varılmıştır ³. Genel olarak etiyolojik faktörler anatomik, psikososyal ve nöromusküler olarak sınıflandırılabilir. Olası faktörlerden birisi de bruksizmdir ². Bruksizme bağlı uzun süreli diş sıkma her iki TME'de stres oluşturur.

Temporomandibular düzensizliklerde uygulanan tedavi ağrının giderilmesini, eklem seslerinin azaltılmasını ve böylece normal TME işlevinin sağlanmasını amaçlar ^{6, 7}. Rahatsızlığın etiyolojisinin çok faktörlü olması nedeniyle tedavisi de totaliter ve multidisipliner

bir bakış gerektirir ⁸. Patojenik yol tam olarak belirlenmediğinden genelde reversible ve invaziv olmayan tedaviler ilk seçenek olarak uygulanır. Bu tedavilerin başarısız olduğu veya istenilen sonucu vermediği durumlarda ise cerrahi tedavi yaklaşımları göz önüne alınır. Fizik tedavi yöntemleri iskeletsel-kassal ağrıların hafifletilmesi, splint uygulamalarıyla mekanik stresin ortadan kaldırması, artrosentez ve eklem içi enjeksiyon ise ağrı mediatörlerinin uzaklaştırılması için uygulanan tedavi seçeneklerindendir ⁹⁻¹². Diş hekimliğinin birçok alanında kullanılan botulinum toksin (BoNT) uygulaması ise TMD'lerin tedavisinde tercih edilen seçenekler arasındadır ⁸.

Bu çalışmanın hipotezi; bruksizmi olan hastalarda farklı kas gruplarına uygulanacak olan BoNT uygulamalarının asemptomatik normal TME ilişkisinde olan ve anterior disk deplasmanı (ADD) bulunan TME üzerinde kondil, disk ve glenoid fossada oluşan gerilmelerin ısırma plağı ile kullanıldığında oluşturacağı gerilmelerin farklı olacağı yönündedir.

Çalışmanın konusu bruksizimli bir hastada ısırma kuvvetlerinin TME diski, mandibular kondil ve glenoid fossada oluşturduğu von Mises stres dağılımlarının ve BoNT'un masseter kasa, temporal kasa ve lateral pterygoid kasa (LPK) uygulanması ve ısırma plağı kullanımının oluşturduğu stres değişimlerinin sonlu elemanlar analizi yöntemi ile incelenmesidir. Çalışmanın amacı diş sıkma alışkanlığı olan bireylerde masseter kasa, temporal kasa ve LPK'ya botoks (BTX) uygulamasının ve ısırma plağı kullanımının TME üzerinde etkinliğini ölçmek, klinik uygulamalarda tercih edilebilirliğini değerlendirmektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Çiğneme Sistemi

Çiğneme nöromuskuler reflekslerle yapılan otonomik bir harekettir ve çenenin koordineli hareketleriyle beraber bir besin kütlesi oluşturarak yiyeceğin yutulmaya hazır hale getirilmesini sağlar. İnsanlarda büyüme ile çiğneme fonksiyonu da gelişir. Bebeklerde bu yetenek 6.ayda gelişmeye başlar ve 9. ayda koordineli çiğneme hareketleri tamamlanır. Çiğneme yeteneğinde merkezi sinir sistemi ve kaslardaki birçok geri bildirim mekanizması görev alır, böylece bu fonksiyon gerçekleştirilir ¹³.

Sindirim sisteminin ilk aşaması olan çiğneme; yutma sürecini fasilite etmek ve sindirim enzimleriyle daha fazla gıdanın, daha iyi temas etmesini sağlamak amacıyla gıdanın küçük parçalara ayrılmasıdır ¹⁴. TME'yi de içine alan çiğneme sistemi diğer bir deyişle stomatognatik sistem ise; diş, yanak, dudak, tükürük bezlerinin yanında; baş boyun çevresi kaslar, çiğneme kasları ve ligamanlar, sinirler, damarlar, eklem diski ve sinoviyal sıvıyı da içine alan son derece karmaşık bir yapıdan oluşmaktadır ^{3, 11}. Stomatognatik sistem, sadece çiğneme esnasında değil, konuşma, yutma, inspirasyon ve ekspirasyon sırasında da çalışmaya devam eder. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki; bir insan günde 1500-2000 kere çene eklemine kullanır ve bu sistem ile 1500 kez yutkunma ve dakikada 6-8 kez soluk alıp verme işlemi gerçekleştirir. Bu sebeple, sistemin herhangi bir yerindeki problem yalnızca o bölgeyi değil, sisteme ait diğer bölgeleri ve işlevlerini de art arda etkiler ¹⁵.

Çiğneme dizisi 3 aşamada incelenebilir:

1. Besinin ağza alınması ve dil yoluyla dişlere aktarılması (kesme),
2. Besinin ritmik çiğneme hareketleriyle bolusa dönüştürüldüğü ana dizi
3. Temizleme ve yutma ¹⁶

Çiğneme fonksiyonunda kas aktivitesine bakıldığında; çiğneme unilateral olarak yapılıyorsa, gıda tarafında masseter kas ve medial pterygoid kas (MPK), karşı tarafta temporal

kas ve LPK kasılırken, bilateral çiğneme sırasında tüm kaslarda ve her iki tarafta aktivasyon meydana gelir ¹³.

Çiğneme performansı, çiğnemenin süresi (ritim), mandibulanın hareketi ve ritme bağlı ısırma kuvveti gibi nicel değerlerle ilişkilidir. Çiğneme performansının analizi için kesici diş, çalışan taraf ve dengeleyen taraf kondilinin ön, sagittal ve yatay düzlemlerindeki referans noktaları ve eksenleri kullanılmaktadır ¹⁷. Bu performansın iyileştirilmesi, çiğnem hızının artması ve süresinin kısalmasıyla ilişkilidir ¹⁶.

2.1.1. Çiğneme Sistemi Anatomisi

İnsan çiğneme sistemi, kafatasına göre hareket edebilen ve çiğneme kaslarının kasılmaları yoluyla iki TME tarafından yönlendirilen bir çeneden oluşur ¹⁸. Çiğnemede görev alan yapılar dişler, kemikler, kaslar ve yumuşak dokular şeklinde dört ana başlık altında değerlendirilebilir ¹⁹. Her bir yapının çene hareketlerine katkısını anlayabilmek için kas sistemini, eklemlerin yapısını ve bu yapıların mekanik sonuçlarını öğrenmek gerekir ¹⁸.

2.1.1.1. Dişler ve Destek Yapılar

Sağlıklı erişkin bir bireyde bolus hazırlığı için öneme sahip 32 daimî diş vardır. Çiğneme esnasında ön dişlerle ısırma, arka dişlerle öğütme işlemi gerçekleştirilir. Kişinin diş yapısındaki değişim, beslenme alışkanlığını da değiştirebilir ²⁰.

Dişler alveol kemik içerisinde alveol boşluğu denilen boşluklarda periodontal ligament aracılığıyla çene kemiğine tutunurlar. Periodontal ligamentin görevi ise dişlerin üzerine gelen yükleri absorbe edip, dişleri mekanik kuvvetlerin zararlı etkilerinden korumaktır. Dişler ve yiyecekler; bolus ile meydana gelen reaksiyon kuvvetleri ve alt ve üst dişlerin temasıyla çene hareketlerini doğrudan etkiler. Oluşan kuvvetler; kas ve eklem hareketleriyle çoğunlukla aşağı doğru yönlendirilecek ve kütle merkezine göre açma torkuyla beraber eklem yüklemesine sebep olacaktır ayrıca dişler üzerindeki çiğneme yükleri, mandibula yoluyla eklemlere aktarıldığından eklemler için istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu yüklerin pik değerine ulaşmasının önüne

geçmek için periodonsiyum yapısında bulundurduğu mekanoreseptörleri kullanır. Merkezi sinir sistemi sağlıklı bir periodonsiyumdaki bu reseptörler aracılığıyla dişler üzerindeki kuvvetleri algılayabilmektedir. Böylelikle ağız içinde besin varlığında kas aktivasyonunu gerektiği biçimde uyarıp çiğneme yüklerini kısmen emer²¹⁻²³.

2.1.1.2. Üst Hava-Sindirim Sistemi Boşlukları

Üst hava- sindirim sistemi, ağız boşluğu, orofarenks, nazofarenks ve hipofarenks olmak üzere 4 bölgeye ayrılır. Bu bölgelerin içinde yutkunma sırasında kapanan ve açık kalarak yiyeceğin geçişine izin veren küçük boşluklar vardır. Yutkunma sırasında kapatılan ve bolusun geçişine izin vermeyen boşluklar; laringeal ventrikül ve laringeal vestibul ile lateral ve anterior sulkuslardır. Bunların herhangi birinde bolus kalıntısı olması disfajiği gösterirken priform sinüsler ve valleculaelar bolusun geçtiği küçük boşluklardır²⁰.

2.1.1.3. Tükürük Bezleri

Ağız boşluğuna açılan parotis, submandibular ve sublingual olmak üzere 3 çift majör tükürük bezi bulunur ve bunlar tükürüğün %95'ini üretir²⁴. Tüm tükürük miktarının %90'ı ise parotis ve submandibular bezlerden sağlanır. Oral mukozada bulunan minör tükürük bezleri de tükürük salgısına yardımcı olur. Salgı özelliklerine göre tükürük bezleri seröz, müköz ve seromüköz salgı oluştururlar. Tükürüğün bileşeni çoğunlukla su olmasına rağmen protein, enzim ve elektrolitler de içerir. Bu özellikleri sayesinde tükürük besinin nemlendirilmesi ve sindirilmesini sağlar, bolus haline getirilmesine yardımcı olur. Böylece çiğneme fonksiyonunda önemli bir rol oynar.

Beslenme sırasında parotis ve sublingual bezler daha aktifken, dinlenme sırasında ağız içi nemi sağlayan submandibular bezdir. Tükürük bezlerinin fonksiyonu otonom sinir sistemi kontrolü altındadır^{20, 25}.

2.1.1.4. İskeletsel Yapılar

İnsan kafasının ana bileşenleri kafatası ve mandibuladır ¹¹. Frontal, parietal, temporal, sphenoid, occipital, nasal ve zygomatic kemikler ile maxilla kafatasının majör komponentleridir ²⁶. Maksilla ve mandibula, dişlerle çiğneme fonksiyonuna katılırlar. Maksilla çiğneme sisteminin hareketsiz bölümünü oluşturur. Mandibula ise kafatasına kaslar ve ligamentler (lig.) yoluyla asılan ayrı bir kemiktir. Mandibulanın gövdesi posteriorda yukarı doğru ilerleyerek ramusu; ramus da iki çentiğe ayrılarak önde koronoid prosesi arkada kondiler prosesi oluşturur. ²⁷. Mandibular kondil temporal kemiğin skuamoz parçasıyla kafatabanıyla eklem yapar, böylece fonksiyonda iken protraksiyon, retraksiyon, depresyon, elevasyon ve rotasyon hareketlerini yapabilir ^{11, 19, 26, 27}.

2.1.1.5. Temporomandibular Eklem

Vücuttaki en kompleks eklemlerden biri olan TME mandibulanın, temporal kemik ile eklem yaptığı bölgedir ²⁷. Ginglimus grubu eklemlerin konveks eklem yüzü menteşeye benzerken, konkav eklem yüzü ise menteşeyi içine alıp saracak bir şekile sahiptir. Eklem yüzleri bu sayede birbirleriyle uyumludur. Eklem yüzeyleri birbirine uyacak formdaysa ve kayma hareketi yapılmasına izin veriyorsa bu eklem gruplarına da diarthrosis ismi verilir ²⁸. TME bir düzlemde menteşe hareketi yapabildiğinden ginglymoid olarak sınıflandırılırken, kayma hareketi de yapabildiğinden arthrodial eklem grubuna girer ve ginglymoarthrodial eklem olarak tanımlanır ²⁷. Temporal kemiğin mandibular fossası ile mandibular kondil artiküler diskle birbirinden ayrılır bu yüzden direkt bağlantıda değildir. TME iki kemikten oluşmasına rağmen, fonksiyonel olarak artiküler disk eklem kompleks hareketine izin veren kemikleşmemiş üçüncü bir kemik gibi hizmet eder, bu yüzden TME bileşik eklem sınıfına girer ¹¹.

TME, vücudun diğer eklemlerinden farklıdır ve belirli özelliklere sahiptir. Bunlar;

- Her iki taraf eklem ayrı ayrı iki işlevsel bölüm gibi çalışsa da bir taraf eklemdaki kinetiksel ve işlevsel değişiklikler diğerine de etki eder.
- Diğer eklemler hyalin kartilaj yapıdan oluşurken, TME rejenerasyon yeteneği hyalin kartilajdan daha yüksek olan fibröz dokudan oluşur ve eklem yüzeyleri nonvaskülerizedir.
- Vücudun diğer eklemlerinden daha komplekstir. Kayma hareketi devam ederken stabil kalabilme yeteneğine sahiptir.
- Dişler oklüzyonda olmadığına, kondilin konumu kas, kemik ve ligamentler tarafından belirlenir. Dişlerin oklüzyona gelmesiyle kondil son pozisyonunu alır.
- Her iki TME birbirleriyle bağımlıdır. Yani herhangi bir taraftaki TME'nin hareketlerinin bozulması diğer taraftaki TME'nin fonksiyonunu etkiler. Vücudun diğer eklemlerinde böyle bir durum söz konusu değildir. Bu yüzden tek taraflı eklem rahatsızlıkları karşı taraf eklemda ağrı ve fonksiyon bozukluğuna sebebiyet verebilir ²⁹.

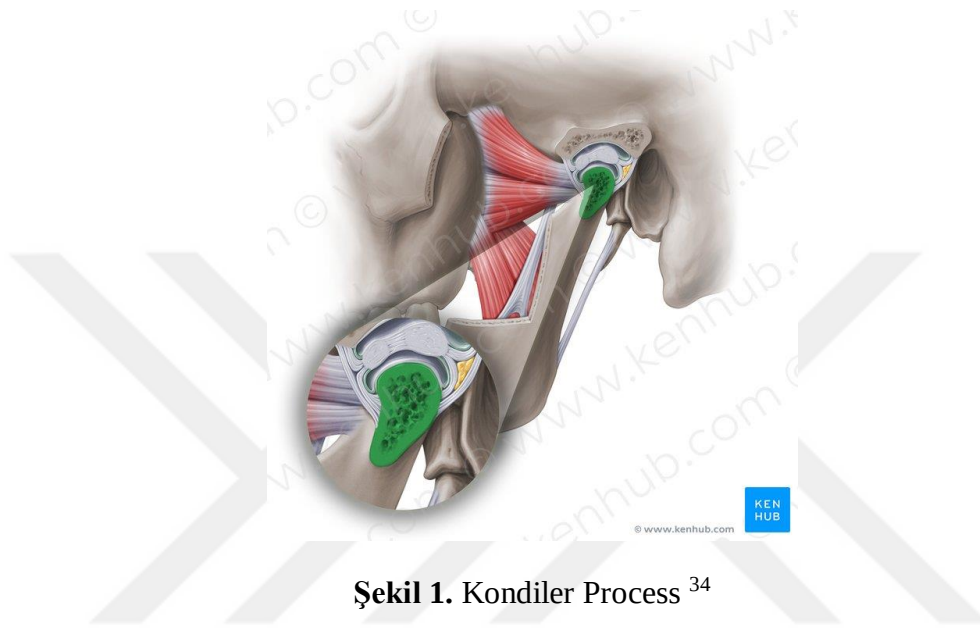
Temporomandibular Eklem Anatomisi

Temporomandibular eklemi oluşturan yapılar; kemikler, ligamentler, kas grupları, disk ve kapsüldür ²⁸.

Mandibular Kondil

Kondilin ön ve üst yüzeyi mandibulanın eklem yüzeyidir. Mandibulanın eklem yaptığı bu yüzey, erişkin bir bireyde medialden laterale yaklaşık 15 mm, anteriordan posteriora ise yaklaşık 10 mm kadardır. Kondilin uzun aksı ramusa dik açıda olmakla birlikte sağ ve sol kondilin uzun eksenini genişleyen ramus nedeniyle foramen magnum hizasında kesişerek 145 ile 160 derecelik bir açı yapar. Kondile yandan bakıldığında ve önden bakıldığında eklem yüzeyi belirgin şekilde konvektir. Kondil başında medial ve lateral çıkıntılar vardır ve kondil boynu öne doğru eğilir pozisyonadadır ^{27,30,31}. Kondilin medial ve lateral kutbu ve subkondiler tüberkül diskle temporomandibular ligamanın bağlanması için pürüzlüdür. Kondil şeklindeki varyasyonlar yaygındır. Mandibular kondilin görünümü kişiden kişiye farklılıklar gösterir.

Kondildeki şekil değişiklikleri, malokluzyon, travma, gelişimsel bozukluklar gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişim gösterebilir. Ayrıca, eklem yüzeyindeki bazı düzensizlikler, mandibulanın periosteumu tarafından oluşturulan fibröz doku örtüsü ile düzeltilebilir ³⁰⁻³³ (Şekil 1).



Şekil 1. Kondiler Process ³⁴

Glenoid (Mandibular) Fossa ve Artiküler Eminens

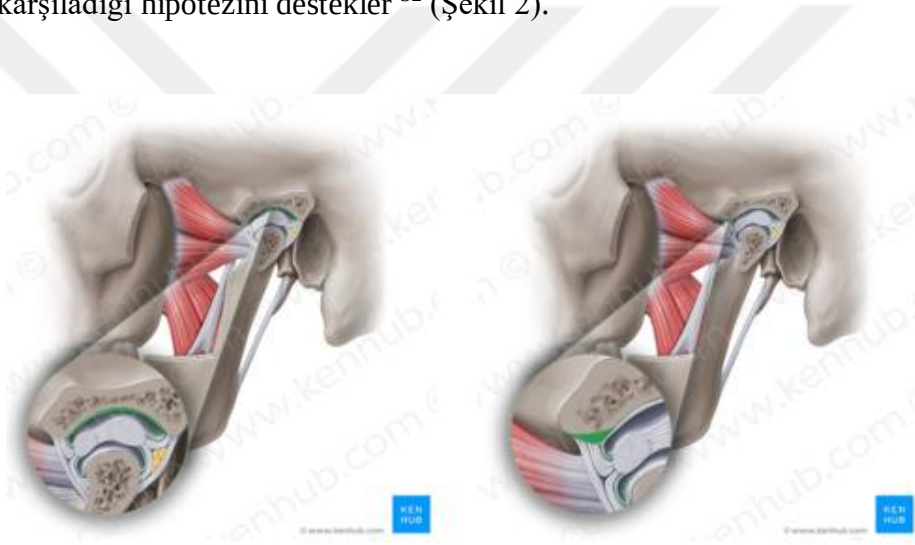
Glenoid fossa; önde artiküler eminens arkada dış kulak yolu ile sınırlanan temporal kemikteki içbükeyliktir. Fossanın çatısının yarı saydam görünür ve kâğıt inceliğinde olması bu kısmın TME nin temporal bileşeninin asıl yükü taşıyan kısmı olmadığını gösterir.

Artiküler fossa; glenoid fossanın eklem yapılarıyla dolu kısmıdır. Tamamı temporal kemiğin skuamoz kısmından oluşmuştur.

Glenoid fossanın arka-yan tarafında glenoid fossanın artiküler olmayan kısımlarını ayıran fissüre timpanoskuamoz fissür denir. Timpanoskuamoz fissür glenoid fossanın önünde petroskuamozal, arka kısmında petrotimpanik fissür olarak adlandırılır. Petrotimpanik fissür corda timpaniyi ve kan damarlarını içeren nörovasküler yapıya yataklık yapar. Yani nörovasküler yapılar artiküler fossada değil, glenoid fossada bulunur.

Artiküler eminens zigomatik arkın arka köküyle, artiküler fossanın ön duvarını oluşturan eyer şeklindeki kemiktir. Geniş bir eklem yüzeyine sahiptir. Lateralden bakıldığında oldukça konvektir. Bu konveksitenin derecesi bireyler arasında değişkenlik gösterir.

Disk ve kondil, ağız açma sırasında, preglenoid düzleme (eminensin ön eğimine) doğru hareket eder. Hafif bir anterior eğim diskin ve kondilin anterior-posterior hareketini kolaylaştırır. Artiküler eminensi oluşturan fibröz doku, artiküler fossanın çatısını oluşturan fibröz doku gibi ince değildir. Daha kalın ve oldukça sağlamdır. Ayrıca daha yoğun bir kemik tabakadan oluşur. Bu morfolojik özellikler de eklem yüklerini fossanın değil artiküler eminensin karşıladığı hipotezini destekler³² (Şekil 2).



Şekil 2. Glenoid (Mandibular) fossa ve Artiküler eminens³⁴

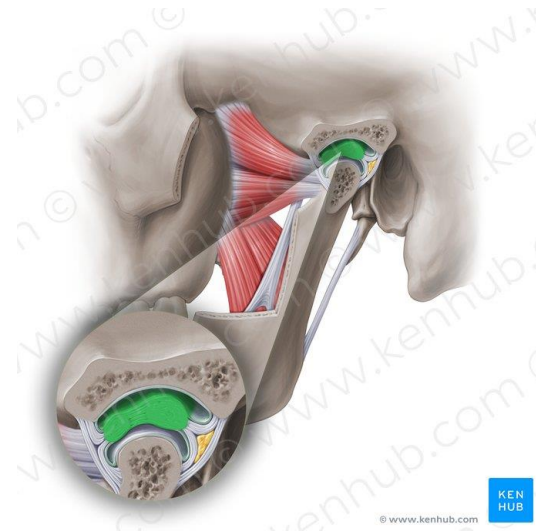
Eklem Diski

Diskin merkezi çevre dokulara göre oldukça incedir. İntermediate (ara,orta) bölge olarak adlandırılan bu bölgede kan damarları ve sinirler yoktur. Avasküler fibröz bir tabakadır. Kollajen lifler intermediate bölgede yoğun ve sagittal yerleşimli ve iç içe geçmiş şekildedir. Bu da eklemin bu merkezi bölümünde önemli bir reaksiyon kuvveti olduğu, temel görevlerinden birinin kondil ve temporal kemiğin eklem yüzeyindeki stresi azaltmak ve eşit bir kuvvet dağılımı sağlamak olduğu hipotezini destekler^{35, 36}.

Diski oluşturan kollajen lifler anterior ve posteriorda transvers şekildedir ³⁶. Disk ön kısımda anterior ataçman olarak devam ederek eklem kapsülüne yapışırken arka tarafta çift vaskülerize bağ dokusu olan bilaminar zon olarak devam eder. Bilaminar bölge; postglenoid prostesten ve subkondiler bölgeye tutunan fibroelastik tabakadan oluşur. Diskin posterioru da anterioru gibi eklem kapsülüyle ilişkidir ve nörovasküler yapıları içerir ^{37, 38}.

Diskin lateral ve medial kondil üzerine yapışır ve bu da disk kondil ile hareket etmesini sağlar. LPK'nın üst başının diske yapışık olmasından dolayı bu kasın çekişiyle beraber disk de anteromedial yönde uzar ve posterolateral retraksiyon hareketleri sınırlanır. Diskin extraselüler matriksi temelinde tip I ve II kollajen vardır. Ayrıca disk her bölümünde yer alan elastik lifler sayesinde disk üzerindeki basınç ortadan kalkınca, disk tekrar eski şeklini almasını sağlar ³⁶. Ekstrasellüler matriksin ara maddesindeki negatif yüklü glikozaminoglikanlar ozmotik şişme basıncından sorumludur. Disk ve kırıkta basınca dayanıklı alanlarda bulunmaktadır ve negativitesi sayesinde disk ya da kondiler kırıkta su salınımına imkân vererek gelen stresi azaltır. Baskı stresinin rahatlamaından sonra su içeriği tekrar regüle edilir ve yük uygulanan doku orjinal şekline geri döner ³⁹.

Lateralden bakıldığında disk morfolojik olarak önde kalın olan anterior band, ortada ince olan intermediate zon ve arkada en kalın olan posterior banddan oluşur. Önden arkaya kalınlık oranı 2:1:3' tür ⁴⁰ (Şekil 3).



Şekil 3. Artiküler Disk ³⁴

Eklemler Kapsülü ve Sinoviyal Membran

Vaskülerizasyonu ve innervasyonu olan fibröz kapsül, artiküler eminens, fossa ve preglenoid düzlemin eklem yüzeylerini dışardan sarıp temporal kemiğin skuamöz kısmına tutunur. Arkada, kapsül postglenoid prostesten, arka eklem dudağından ve timpanoskuamozal fissürden çıkar, posterior bilaminar alanın üstüne yapışır. İnferiorda kondil boynunun periostuna, medialde ve lateralde glenoid fossaya tutunur.

Eklemler kapsülü medialde ince, lateralde kalındır. Anteriorda gevşek bağ dokusundan oluşur. Bu durum da anterior bölümün kapsülün diğer kısımları kadar güçlü olmadığını gösterir. ADD'lerin ortaya çıkışında kapsülün bu anterior bölümünün gerilmeleri önemlidir. Gerilme ve uzamanın miktarının disk deplase olmasıyla ilgili doğrudan alakalı olduğu rapor edilmiştir ^{11, 32}.

Eklemler kapsülü mandibulanın hareketlerini sınırlama işlevi görür. Vertikal lifler kondilin artiküler eminens ve fossadan distraksiyon hareketlerini sınırlarken, yatay lifler (polar bağlar) kondilin aşırı retrüviz hareketlerini önler ve kapsülün arka kısmı çıkıntılı hareketleri sınırlar.

Oldukça vaskülerize bir bağ dokusu tabakası olan sinoviyal membran eklem yapılarını kaplar. Membranın en geniş alanı, diskin arkasını kapsüle bağlayan gevşek bağ dokusu dahil olmak üzere arka bağlantıyı kapsar. Sinoviyal doku fibröz kapsülün iç yüzünü de örter. Kondil

glenoid fossada konumlandığında, sinoviyal membran posteriorda oldukça ağır kıvrımlar oluşturur. Kondil eklem eminensinin zirvesine doğru çıkıntı yaptığında, sinoviyal dokular gerilirken kıvrımlar kaybolur ³².

Sinoviyal membran tarafından üretilen plazma benzeri sinoviyal sıvı eklem boşluklarını doldurur. Sinoviyal sıvının görevi lubrikasyonu sağlamaktır. Bu görevini de hyaluronik asit ve sürtünme katsayısının azalmasını sağlayan fosfolipitler aracılığıyla gerçekleştirir. Eklem yılanması fosfolipitleri uzaklaştırmadığından eklem mekaniğinde de istenmeyen etkiler oluşturmaz. Yüksek molekül ağırlıklı hyaluronik asit ise sıvının viskozitesini sağlayarak eklem yüzeylerini birbirinden ayrı tutar. Travmatize eklemlerde artan fosfolipaz A2 ile fosfolipitler yıkılır. Hyaluronik asidin fosfolipitlere tutunmasıyla fosfolipazın yıkım etkisinden korunmuş olur, böylece indirekt olarak lubrikasyonda etkilidirler ⁴¹⁻⁴⁴.

Mikrotravmalarla oluşan aşırı kuvvetlerle oksidatif radikallerin üretimi uyarılır. Kollajen ağ yapısı bozulur, hyaluronik asitlerin ortadan kalkmasıyla fosfolipaz enzimleri fosfolipitleri yıkmaya başlar ve sıvının lubrikant özelliği bozulur, sürtünme artar ^{43, 44}.

Kapsül ve diske kan temini esas olarak maksiller arterin dalları tarafından sağlanır. Proprioepsiyon ve ağrı için duyuşal sinirler aurikülotemporal, derin temporal ve masseterik sinirlerin dallarıdır. Eklem diskinin ve fibröz kapsülün arka kısımlarında çok sayıda kan damarı ve sinir bulunur ³².

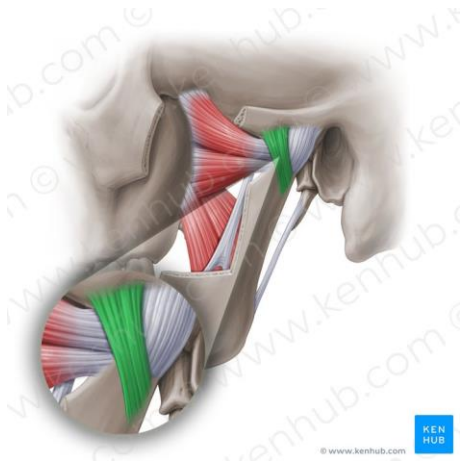
Retrodiskal Dokular

Bilaminar zon şeklinde adlandırılan artiküler diskin posterior bandı iyi innerve olan ve iyi kanlanan retrodiskal dokulara bağlanır. (superior ve inferior retrodiskal lamina). Sinoviyal sıvı üretiminden sorumludur. Superior lamina elastik liflerden oluşur ve aşırı translasyon hareketlerinde artiküler diskin deplasmanını engeller ⁴⁰.

Temporomandibular Eklem Ligamentleri

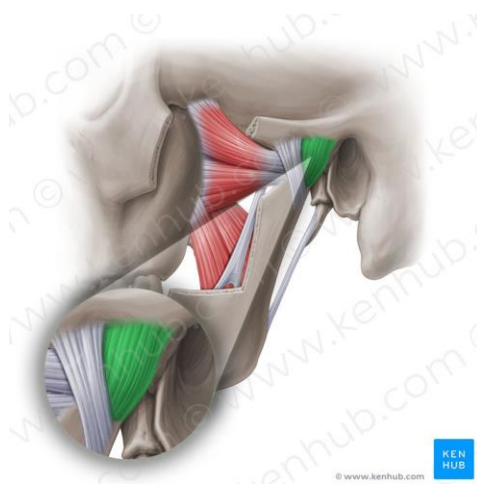
Ligamentler konnektif doku fiberleridir ve eklem yapılarının korunmasında görev alırlar. Kollajen fiberlerden oluşur, boyları sabittir ve kuvvet karşısında gerilme/esneme özellikleri olmamasına karşın ani ağır yüklerde ya da uzun süreli kuvvet uygulandığında ligamentlerde laksite oluşabilir ve boyları uzayabilir. TME fonksiyonunda aktif rolleri yoktur. Vücudun diğer eklemlerindeki gibi sadece harekete kılavuzluk ederler. Eklem stabilizasyonu ve hareketlerin kısıtlanmasından sorumludur. Temporomandibular ligament, kapsüler ligament, kollateral ligamentler TME'nin stabilitesinden sorumlu üç fonksiyonel temel ligamenttir. Aksesuar olarak sfenomandibular ve stylomandibular ligamentler stabilizasyonda görev alır ^{11, 27, 32}.

Temporomandibular ligament, artiküler tüberkülün üst kısmından bağlı ve kondil boynuna bağlanmak için yaklaşık 45° açıyla aşağı ve geriye doğru uzanan güçlü bir fibröz doku bandıdır. Kapsüler ligament, lateraldeki liflerle karışıp, artiküler tüberkülden öne doğru uzayarak temporomandibular ligamenti oluşturur. Kapsüler ligament ile karıştığı arka sınırını tanımlamak zordur. Dış kısımda oblik ve iç kısımda horizontal liflerden oluşur. Ayrıca artiküler tüberkülden kondilin lateral kutbuna yatay olarak geriye doğru uzanan temporomandibular ligamentin derin bölümü kondilin geriye doğru hareketini engeller, retrodiskal dokuları korur. Oblik kısım ise rotasyonel hareketleri sınırlayarak ağız açmada limitasyon sağlar ^{11, 45} (Şekil 4).



Şekil 4. Temporomandibular ligament ³⁴

Kapsüler ligament; TME'nin tamamını sarar. Yukarıda temporal kemiğin skuamoz yüzeyine, inferiorda kondil boynuna tutunur. Ligament, eklem yüzeylerinin birbirinden ayrılmasına neden olacak kuvvetlere karşı içindeki yapıları bir arada tutar, en önemli işlevlerinden biriye sinoviyal sıvıyı kapsül içerisinde muhafaza etmesi ve devamlılığını sağlamasıdır. Sinovial sıvı; eklem yüzeylerinin lubrikasyonunu, metabolik gereksinimlerini sağlar (atıkların eliminasyonu ve kondrositler için besin) ve eklem yüzeyleri arasındaki sürtünmeyi azaltır. İnervasyonu iyidir ve feed-back mekanizmasıyla eklem pozisyonu ve kinetiği hakkında proprioseptif bilgi verir. Kapsül, kondilin artiküler eminensi aşmasına izin verir ve alt çenenin hareketlerini stabilize eder ^{11, 46, 47} (Şekil 5).

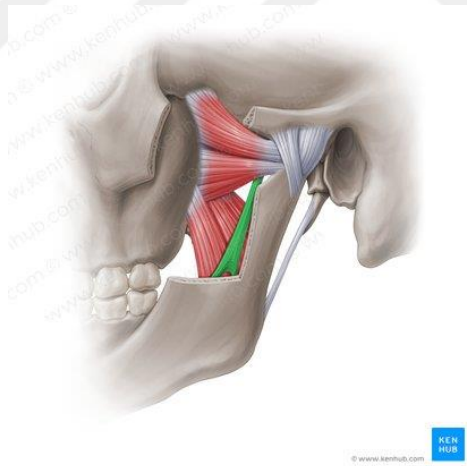


Şekil 5. Kapsüler ligament ³⁴

Kollateral (Diskal) ligamentler; diske ve kondil başı arasında uzanırlar. Böylece eklemi süperior ve inferior olmak üzere iki eklem kavitesine böler ve diskin kondilden uzaklaşmasını önler. Diskin kondil üzerindeki anteroposterior hareketine izin verir. Kondil ve disk arasında oluşan eklemnin menteşe hareketinde görev alırlar. Nörovasküler yapılar içerir ve innervasyonu eklemnin propriosepsiyonu hakkında bilgi verir. Ligamentteki gerilme ağrıya sebep olur ^{11, 48}.

TME'in iki adet aksesuar ligamenti tanımlanmıştır. Bunlar; stylomandibular ligament ve sfenomandibular ligamenttir ^{49, 50}.

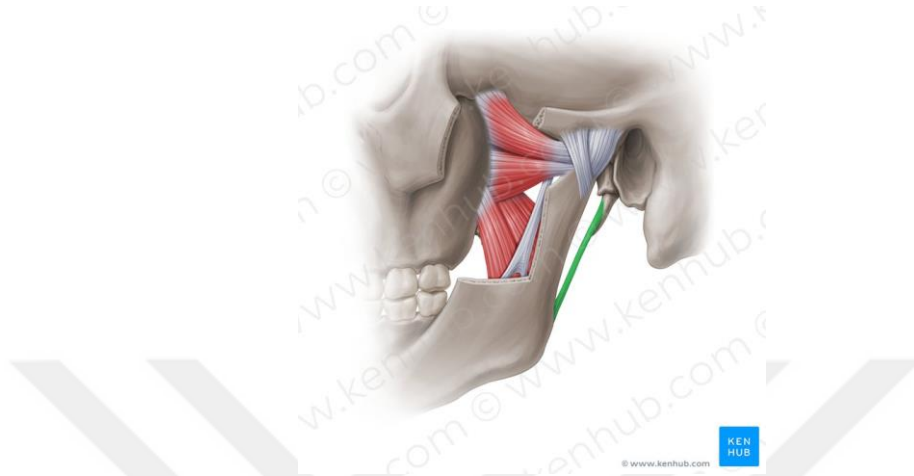
Sfenomandibular ligament, sfenoid kemiğin omurgasından doğarak aşağı ve dışa doğru yelpaze şeklinde yönelen meckel kıkırdağından köken alır ve lingula mandibulada sonlanır. Çene hareketleri esnasında bu bağın mandibular foramenden geçen kan damarlarını ve sinirleri ilave gerilmelerden koruduğu ileri sürülmüştür. Sfenomandibular ligament, sınırları belirsiz ince bir bağ dokusudur ⁵¹. Mandibular hareketlere etkisi yoktur ³² (Şekil 6).



Şekil 6. Sphenomandibular ligament ³⁴

Stylomandibular ligament, styloid çıkıntından mandibular gonion bölgesine uzanan güçlendirilmiş bir servikal fasya tabakasıdır. Liflerinin çoğu, mandibular ramusun alt arka kısmına tutunurken bazısı medial pterygoid kasın medial yüzeyi boyunca derin fasya üzerinde devam eder. Stylomandibular ligamentin üst sınırı kalınlaşmış kord benzeri bir yapıdır. Bu bağ, çeneler hem kapalı hem de tamamen açıkken nispeten gevşektir; sadece çene maksimum

protrüzyundayken gerilir. Böylece, bu bağın aşırı protruziv hareketleri sınırladığı düşünülmektedir ³². Bazen ligamentin kalsifikasyonu sonucu TMD benzeri semptomlar izlenebilir ⁵² (Şekil 7).



Şekil 7. Stylomandibular ligament ³⁴

Temporomandibular Eklem İnnervasyonu

Temporomandibular eklem de diğer eklemler gibi kendisini kontrol eden kasların duyu ve motor innervasyonlarını alan trigeminal sinir tarafından innerve olur. TME'nin duyu sinirleri, mandibular sinir (V3) ve dalları, afferent innervasyon sağlar. Çoğu duyu innervasyonu nervus auriculotemporalis 'in termal dalları ile sağlanırken ilave innervasyon için nervus massetericus ve derin temporal sinir yardımcı olur ⁵³.

Sempatik innervasyonunu superior servikal gangliyondan alan TME'de sempatik lifler duyu liflerinin üç katı kadardır. Eklem posteriorunda vazoaftif intestinal peptid (VIP), Nöropeptid A, Nöropeptid Y içeren sempatik lifler çoğunluktadır. Kapsülün anteromedial kısmı göreceli olarak daha az sayıda Tip IV ağrı reseptörü içerir. Ağrı algılanmasında rol oynayan sempatik nöronların kondil kinetiği esnasında kan akımını da ayarladığı düşünülmektedir ³⁶.

Temporomandibular Eklem Vaskülarizasyonu

Temporomandibular eklem, onu çevreleyen çeşitli damarlar tarafından zengin bir şekilde kanlanır. Baskın damarların başında eksternal karotid arter ve venin dalları,

posteriordan süperfacial temporal arter, anteriordan orta meningeal arter ve inferiordan internal maksiller arter gelir. Diğer önemli arterler derin aurikular, anterior timpanik ve yükselen faringeal arterlerdir. Kondil, vasküler tedarigini inferior alveoler arter yoluyla kemik iliği alanlarından alır ve ayrıca daha büyük damarlardan hem anterior hem de posteriordan direkt olarak kondil başına giren besleyici damarlar yoluyla vasküler tedarik alır ⁵⁴.

2.1.1.6. Çiğneme Kasları

Temporomandibular eklem fonksiyonlarına etkileri olduğu için çiğneme kaslarını yakından tanımak önemlidir. Vücudun kemik bileşenleri iskelet kaslarıyla birlikte hareket ederler. Kaslar liflerden oluşmaktadır ve lifler uzayabilme özelliğindedir, sadece liflerin %2'si uzayamaz. Her lif ortasına yakın bölgeden tek bir sinir sonlanması ile innerve olur. Kas lifleri tendon lifleri ile birleşerek kas tendonunu oluşturur.

Kas lifleri içerdikleri miyoglobülin miktarlarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Miyoglobülin hemoglobin benzeri bir pigmenttir. Yüksek konsantrasyonda miyoglobülin içeren lifler daha derinde yer alır ve kırmızı renktedir, yavaş ama güçlü kasılma gösterir. Bu lifler Tip 1 (yavaş lifler) liflerdir. Metabolizmaları aerobiktir, bu nedenle yorulmaya karşı dirençlidirler ve postural konumlarını korurlar. Düşük konsantrasyonda myoglobülin içeren lifler daha beyazdır ve tip 2 kas lifleri (hızlı lifler) olarak adlandırılırlar. Hızlı kas lifleri hızlı kontraksiyon kabiliyetine sahiptir ama çok çabuk yorulurlar. Tüm iskeletsel kaslarda çeşitli oranlarda hızlı ve yavaş lifler bir arada bulunur. Bu oran kasın fonksiyonunu belirler ^{11, 36}.

Çiğneme kasları, masseter kaslar, temporal kaslar, medial pterygoid kaslar ve lateral pterygoid kaslar olarak dört kas çiftinden oluşmaktadır.

Her ne kadar çiğneme kasları olarak görülmesine de digastrik kaslar da çiğneme kası olarak görülmemesine rağmen mandibulanın kinetiğinde önemli rol sahibidir.

Çiğneme kaslarının yanında mandibula hareketlerinden sorumlu yardımcı kaslar da vardır. Bunlar; suprahoid grup (digastrik, geniohyoid, mylohyoid ve stylohyoid kaslar) ve infrahyoid grup (sternohyoid, omohyoid, sternotiroid ve tirohyoid) kaslardır.

Masseter kas, temporal kas ve MPK mandibulayı yükselten ve ağzı kapatan ana kaslardır. LPK ve digastrik kas mandibulaya baskı yapan ve ağzı açan birincil kaslardır ³².

Masseter Kas

Masseter kas, mandibulanın güçlü bir elevatör kasıdır. Birinci brankial arkten derive olup zigomatik arkten çıkarak mandibular ramusa yapışan rektanguler bir kاست ³².

Masseter, süperfisiyal ve derin olmak üzere iki parçadan oluşur. Yandan bakıldığında mandibula köşesine doğru oblik seyreden süperfisiyal kısım güçlü tendinöz fiberler olarak zigomatik arkın altından çıkar, önde zigomatik prosesin köşesinden arkada zigomatikotemporal fissürden orjin alır. Yarısı aşağı doğru konveks veya zikzak bir çizgide bitiyormuş gibi görünen tendinöz bir tabakayla örtülüdür. Kompleks yapısı nedeniyle multipinnate kas olarak adlandırılır çünkü aslında bu tabaka kas kütesinden içeri girip ilerlemeye devam eder ve çiğneme sırasında şişkin kas demetleriyle kontrast oluşturduğundan izlenebilir. Arkada, yüzeysel masseterin lifleri, mandibulanın açısının arka ve alt tarafını çevreleyerek, MPK liflerini bir tendinöz rafe şeklinde birleştirir. Bu kas düzenine pterygomasseterik askı denir. Yüzeysel kısım mandibuler protrüzyona katkıda bulunur.

Derin parça yüzeysel masseterin liflerine yaklaşık 30° ila 40° 'lık bir açıyla aşağı doğru vertikal aksta uzanım gösterir. Mandibular ramusun üst kısmına tutunur. Derin masseterin lifleri, zigomatik arkın tüm uzunluğu boyunca artiküler eminensin ön yamacından bazı lifleri ise TME kapsülünün yan duvarından da çıkabilir. Bu şekilde artiküler eminense karşı kondili stabilize eder, ayrıca kapsülün gerginliğini etkileyerek kapsül reseptörlerini etkilemektedir. Masseter kasın kasılmasıyla dişler kapanışa gelir ve çiğneme gerçekleştirilir ^{11, 55, 56}. Masseter kasın innervasyonunu mandibular sinirin masseterik dalı sağlar ³² (Şekil 8).



Şekil 8. Masseter kas ³⁴

Temporal Kas

Yelpazeye benzeyen kas temporal fossada yer alır. Koronoid çıkıntı ve mandibulada yükselen ramusun anterior kenarına tutunur. Sfenoidin büyük kanadı, frontal kemiğin temporal yüzleri parietalın dar bir şeridi ve temporalin skuamoz parçasının büyük bölümünden kemiğe atake olur. Kas lifleri ve tendonlar da zigomatik kemik, frontal kemik, sfenoidin büyük kanadından oluşan postorbital septumdan çıkar.

Süperior temporal hattan aşağı doğru inerek ikiye ayrılan; yüzeysel kısmı zigomatik arkın lateraline, derin kısmı ise arkın medialine tutunan ve düzensiz bağ dokusu bantlarıyla bir araya getirilen temporal fasyanın medialinden orijin alan birçok temporal lif, sfenoid kemiğin infratemporal krestini içerecek şekilde aşağıya yönelir. İnfratemporal bölgede masseterin az sayıda lifine katılır. Isırma sırasında temporal kasın kontraksiyonuyla birlikte dış tabaka kalınlaşır ve palpe edildiğinde kemik izlenimi verir.

Kasın temel liflerini oluşturan ön lifler dikey, orta kısımdaki lifler eğik, arkadaki lifler ise neredeyse yatay yönlü bir şekilde öne uzanır. Bu lifler zigomatik kemiğin arka kökü çevresinde ve artiküler eminensin önünde kıvrılırlar ve dikey olarak aşağı mandibulaya inerler. Ana görevi mandibulanın elevasyonu olup, ön lifleri çeneyi yukarıya, arka lifleri ise geriye çeker ^{15, 32, 57}.

Trigeminal sinirin derin temporal dalları tarafından innerve edilir, trigeminal sinir foramen ovaleden geçtikten sonra temporal kemiğin posterior ve orta dallarını verirken, anterior dal foramene bitişik bir sulkusta bukkal sinir ile ilerler, lateral pterygoid kasın iki başı arasından geçtikten sonra bukkal sinirden ayrılır, kan desteğini ise maksiller arterin aurikülotemporal dalı sağlar ^{32, 57} (Şekil 9).



Şekil 9. Temporal kas ³⁴

Medial Pterygoid Kas

Ramusun medialinde yer alan, iç pterygoid kas olarak da isimlendirilen MPK, yandan bakıldığında masseterin küçük bir anatomik karşılığı gibi görünür. Dikdörtgen şekillidir ve sfenoid kemiğin lateral ve medial pteryoid çıkıntıları arasında yer alan pteryoid fossada bulunur.

Medial pterygoid kasın büyük kısmı (derin kısmı) LPK'nın medialinden ilerlerken, yüzeysel kısmı lateralinde yer alır. Anterior lifleri palatin kemik ve maksiller tüberositeden kaynaklanır.

Medial pterygoid kasın lifleri aşağı, geriye ve dışarı uzanarak mandibular açının medial yüzeyine doğru sokulur ve angulusa kas desteği sağlar. Angulusun arkasında masseterin liflerine katılarak *pterygomasseterik askıyı* oluşturur. Bir tendondan (kafatasına bağlanan) çıkan ve diğerinde biten (çeneye bağlanan) kas lifleri *bipinnate* veya *multipinnate*

düzenlemeyle, medial pterygoid (ve masseter) kas liflerine örgülü bir görünüm verir ve bu da kasa büyük kuvvetler üretme yeteneği sağlar. Mandibulanın elevasyonunu sağlar, böylece dişler temasa gelir. Mandibulanın protraksiyonunda da aktiftir. Tek taraflı kasıldığında ise alt çenenin medioretruziv hareketini sağlar.

Medial pterygoid kasa giden sinir, ön ve arka dallarına ayrılmadan hemen önce V3'ten çıkar. Tensör timpani ve tensör veli palatini kaslarını da innerve eden medial pterygoid sinir, üst arka sınırında medial pterygoid kasa ulaşır. Kan desteği maksiller arterin pterygoid dalından verilir ^{11, 32} (Şekil 10).



Şekil 10. Medial Pterygoid Kas ³⁴

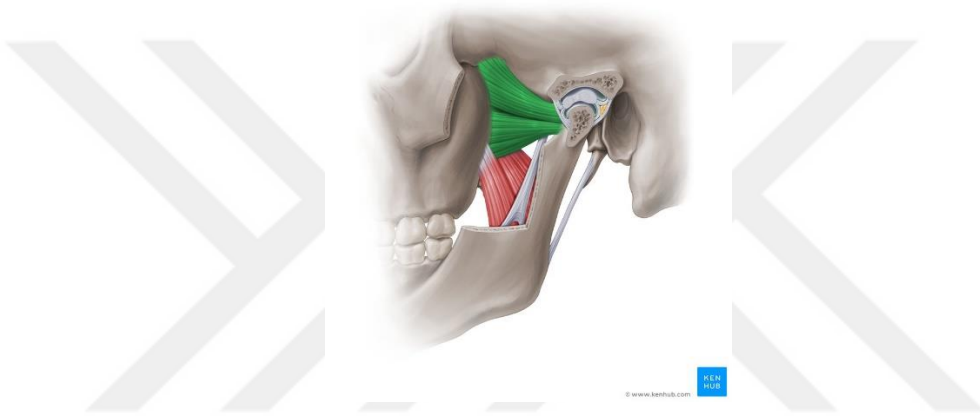
Lateral Pterygoid Kas

Lateral pterygoid iki başlı çeneyi açan asıl kastır. Kasın inferior başı superior başından üç kat daha büyüktür. EMG kayıtları süperior başın çene kapanması sırasında kasıldığını, inferior başın ise çenenin protraksiyonu, açılması ve bir tarafa kaydırılması sırasında kasıldığını göstermektedir.

Lateral pterygoid kasın iki başı, köklerinde geniş bir boşlukla ayrılır, ancak TME'nin önünde birleşir. Superior ve inferior başın lifleri, pterygoid fovea olarak isimlendirilen kondil boynunun anteromedial yüzeyindeki pürüzlü bir fossaya bağlanır. LPK'nın kondil üzerindeki kuvveti öne doğrudur. LPK'nın süperior başı ısırma ve çiğneme sırasında mandibular kondili

artiküler eminense karşı stabilize eder. Ayrıca süperior başın küçük bir kısmı sıklıkla doğrudan eklem kapsülünün anteromedial kısmına bağlanır ve artiküler diskin anteromedial kısmına uzanır. LPK'nın inferior başının iki taraflı kasılması ise, mandibular kondilleri ve eklem disklerini aşağı, eklem eminensi boyunca çeker. Bu hareket çenenin protraksiyonudur. İnferior başın tek taraflı hareketi, mandibulanın orta hattını karşı tarafa kaydırır (lateral gezi).

Lateral pterygoid kasa giden sinir genellikle V3'ün ön gövdesinin bir dalı olan bukkal sinirin bir dalıdır. Kan desteği maksiller arterin pterygoid dalı sağlar ³² (Şekil 11).



Şekil 11. Lateral Pterygoid Kas ³⁴

2.1.1.7. Suprahyoid Kaslar

Ağzın açılmasında ve yutkunmada görev alır. Digastrik, geniohyoid, mylohyoid ve stylohyoid kaslar çeneyi açan suprahyoid kaslardır.

Digastrik Kas

İki karnı olan bu kas mastikatör kas olarak değerlendirilmese bile çene hareketlerinde işlev görür. Arka karın posterior mastoid çıkıntından başlar, lifleri öne aşağı ilerleyerek hyoid kemiğe yapışır. Yine ön karın ise orta hat mandibula lingual yüzeyinden hyoid kemiğe uzanır. Digastrik kas bilateral çalıştığında, infrahyoid ve suprahyoid kaslarla hyoid kemik stabil edilir, çene aşağıya-geriye hareket eder, dişler arasındaki temas kesilir. Mandibula stabil hale

getirildiğindeyse infrahyoid, suprahyoid kaslar, digastrik kasla birlikte yutkunma işlemi için mandibulayı yukarı kaldırır ³².

Stylohyoid Kas

Stylohyoid kas, temporal kemiğin styloid çıkıntısı ile hyoid kemiğin büyük boynuzu ve gövdesi arasında uzanan liflere sahip ince, yuvarlak bir kastır. Hyoid kemiğin stabilizatörü, retraktörü ve yükselticisi olarak işlev görür. Fasiyal sinir tarafından innerve edilir ³².

Mylohyoid Kas

Mandibulanın sağ ve sol arka-iç tarafında linea mylohyoidea denilen kısımdan hyoid kemiğe uzanan bu kas ortada birleşir; yassı, ince bir tabaka oluşturur. Bu tabaka mandibulanın iç kısmında oral boşluğu alttan örter ve bu boşluğun döşemesini yapar ve dile destek sağlar. Ağız döşemesini kaldırdığında dil sert damağa doğru dayanır. Bu fonksiyon yutma işlevinde görev alır ³².

Geniohyoid Kas

Ağız tabanının ortasındaki mylohyoid kas üzerinde uzanır. Mandibulanın posteriomedialinde yer alan geniohyoid spinadan çıkar, posteriora ve hafifçe laterale doğru uzanırlar ve hyoid kemiğin ana gövdesine yapışırlar. Bu kas hyoid kemiği ve larinksi yukarı ve öne doğru çekerek larinks ağzını yemek borusundan uzaklaştırır. Bu, gıdanın solunum sistemine girmesini önler ³².

2.1.1.8. Temporomandibular Eklem Patolojileri

TME'in farklı birçok patolojileri vardır Bunlar: gelişimsel patolojiler, kronik mandibular hipomobilité, musküler mastikatör patolojiler, disk-kondil kompleksi uyumsuzlukları, artiküler yüzeylerin yapısal uyumsuzlukları ve inflamatuvar patolojilerdir.

Temporomandibular düzensizliklerin sınıflandırılması Amerikan Orofasiyal Ağrı Akademisi ve Uluslararası Başağrısı Derneği'nin (American Academy of Orofacial Pain and

International Headache Society) birlikte yaptığı sınıflamaya göre aşağıdaki tablo oluşturulmuştur ¹¹ (Tablo 1).

Tablo 1. Amerikan Orofasiyal Ağrı Akademisi ve Uluslararası Başağrısı Derneği'nin birlikte yaptığı sınıflamaya göre temporomandibular düzensizliklerin sınıflandırılması

Çiğneme Kaslarına Ait Rahatsızlıklar	Temporomandibular Eklem Rahatsızlıkları	Kronik Mandibular Hipomobilitate	Gelişim Bozuklukları
1. Koruyucu ko-kontraksiyon 2. Lokal kas ağrısı 3. Miyofasyal ağrı 4. Miyospazm 5. Miyozit ve diğerleri	1. Kondil-disk kompleksinde düzensizlik a. Disk deplasmanı b. Redüksiyonlu disk dislokasyonu c. Redüksiyonsuz disk dislokasyonu 2. Eklem yüzeylerinin yapısal uyumsuzluğu a. Şekil değişiklikleri i. diskte ii. kondilde iii. fossada b. Adezyonlar i. disk-kondil arasında ii. disk-fossa arasında c. Subluksasyon d. Spontan dislokasyon 3. TME'in inflamatuvar hastalıkları a. Sinovit/kapsülit b. Retrodiskit c. Artritler i. osteoartrit ii. poliartrit d. İlave yapıların inflamatuvar hastalıkları i. temporalis tendiniti ii. stylomandibular ligamentin inflamasyonu	1. Ankiloz Fibröz Kemiksel 2. Kas kontraktürleri Miyostatik Miyofibrotik 3. Koronoid impedans	1. Konjenital ve gelişimsel kemik rahatsızlıkları a. Agenizi b. Hipoplazi c. Hiperplazi d. Neoplazi 2. Konjenital ve gelişimsel kas rahatsızlıkları a. Hipotrofi b. Hipertrofi c. Neoplazi

Bu patolojilerden en sık görüleni ise disk deplasmanlarıdır.

Temporomandibular Eklemin Disk Deplasmanları

Disk deplasmanları semptomatik ve asemptomatik görülebilir. Disk deplasmanına neden olan birçok faktör vardır. Alınan travmalar, disk, kapsül ve ligamentler üzerinde gerilmelere kopma ve yırtılmalara sebebiyet verebilir. Kanama olduğunda hiperplastik ve

fibrotik eklem içi reaksiyon, harekette kısıtlılık ve ağrı meydana gelir. Eklem üzerine binen aşırı yük nedeniyle diskin kondil üzerine oturan, çene hareket ederken eklem aralığını dolduran ve eklem yapıları arasında temasını sağlayan şekli değişirse, ligamentlerde uzama meydana gelir ve disk kondil üzerindeki normal pozisyonundan farklı bir pozisyona yer değiştirir. Böyle bir durum sağlıklı eklemlerde görülmez. Diskin deplasmanı, disk normal pozisyonunun dışına çıktığında meydana gelir. Bunlar disk düzensizlikleri ve TME ligamentlerinin gevşekliğiyle ilişkilidir. Bruksizmin neden olduğu sıkıştırıcı kuvvetler TME'nin bağ dokusunda değişiklikler oluşturduğundan disk bozukluklarının potansiyel nedeni olarak görülmüş, ayrıca çoğunlukla TME rahatsızlıklarıyla ilişkili olduğu bildirilmiştir ⁵⁸.

Redüksiyonlu Disk Deplasmanı

Çene açıkken disk kondil ilişkisi normalken, kapalı pozisyonda disk kondilin anterior veya anteromedialinde konumlanır. Diskin konumlandığı bu anormal yerleşim nedeniyle kondil yüzeyi ile sürekli temasta olan diskin posterior bandı inceler. Deforme ince posterior bant diskin daha da öne kaymasına neden olur ve translasyon siklusunun herhangi bir noktasında kondil diskin posterior bandını atlar, kondil diski yakalar ve klik sesi duyulur. Bu ses redüksiyonlu disk deplasmanının en karakteristik klinik bulgusudur. Çene kapanışa geçerken de dişler interküspidasyona yaklaşırken disk yeniden deplase olur, hafif bir kapanma kliği oluşabilir. Açma ve kapama sırasında duyulan bu çift ses resiprokal klik olarak ifade edilir. Bu açma kapama mekanizması esnasında duyulan sesler diskin çene açılırken redükte olduğunu yani normal pozisyonuna geçtiğini, çene kapanırken ise diskin tekrar öne deplasman durumuna döndüğünü belirtir.

Açma esnasında mandibular orta hattın etkilenen tarafa doğru deviasyonu diğer bir yaygın karakteristik bulgudur. Deplase disk tarafındaki translasyonda geçici duraksamanın bir sonucu olarak ortaya çıkar. Diskin redüksiyonuyla beraber kondiler translasyon normalleşir ve hareketin sonucunda mandibula orta hatta döner. Kondilin diski yakalanması esnasında deplase

taftaki kondilin hareketi hızlanırken deplase olmayan taraftaki kondil normal hızında hareketini sürdürür. Redüksiyonlu ADD’yla ağrı görülüyorsa bu genellikle kondilin posterior ataçmanlara baskısı nedeniyle veya gerilmiş diskal ligamentlerden kaynaklıdır. Ağız açıklığı normaldir veya sağlıklı duruma göre bir miktar daha azdır. Eğer sınırlı mandibular açılma varsa bu diskin mekanik engellemesi değil, çoğunlukla eklem ağrısı yüzünden kasın sekonder refleks koruması nedeniyledir. Redüksiyonlu ADD’nı ağrılıysa, ağrı eklem hareket ettikçe artar. Sürtünme sesi duyulmaz ⁵⁹.

Redüksiyonsuz Disk Deplasmanı

Kondilin öne translasyonunda disk redükte olmadığından, kondilin önünde konumlanır. Rotasyon ve translasyon hareketleri boyunca kondil ve disk asla normal anatomik ilişkiye gelemeler. Bozukluğun başlangıcında redüksiyonlu ADD’ı izlenir. Bozukluk ilerledikçe disk redüksiyonsuz bir şekilde öne yer değiştirir. Hasta hikayesinde geçmişte var olan ağrıdan ve kilitlenmeden söz eder. Hasta kapalı ağız pozisyonunda kilitlenme yaşadığından ağzını açmaya çalışırken ağrı hisseder ⁶⁰. Redüksiyonsuz ADD’nın temel bulgusu olan defleksiyonda mandibular orta hat hareketin başlangıcından bitişine kadar sürekli olarak etkilenen tarafa deplasedir, asla orta hat pozisyonuna dönmez ⁵⁹.

2.1.1.9. Çiğneme Sisteminin Biyomekaniği

Temporomandibular eklem karmaşık bir eklem sistemidir. Bunun nedeni de tek bir kemiğe (mandibulaya) iki farklı eklemün bağılı olması ve bu eklemlerin ayrı ayrı görevler görürler de bir eklemdaki kinetiğin her koşulda diğerini etkilemesidir. Bu yüzden TME ile alakalı patolojileri anlayabilmek için TME’in biyomekaniğini iyi bir şekilde kavramak gerekir ⁶¹.

Temporomandibular eklem vücutta eklem menteşe (rotasyon) hareketi ile kayma (translasyon) hareketi yapabilen tek eklemdir. Mandibulanın rotasyon ve/veya translasyon hareketleri üç boyutlu bir sistemde gerçekleşir. Alt çene eklemlerin rehberliğinde hareket eder.

Eklemin translasyon ve rotasyon hareketleri üç eksenenden sadece birine bağılı gibi görünse de aslında bu eksenler üzerinde birbirinden bağımsız olarak hareket etmektedirler.

Kompond bir eklem olan TME'nin yapısı ve fonksiyonu ikiye ayrılır:

- Birinci bölüm eklem sistemi inferior eklem kavitesini saran dokuları, kondil ve eklem diskini, ve burada gerçekleşen hareketleri içerir. TME diski üzerine gelen stresleri absorbe eden ve dağıtan bir amortisör/distribütör yapı olarak kabul edilir ^{11, 62}. Kondil ve disk iç ve dış kısımlardan diskal ligamentlerle birbirlerine bağılıdır (kondil-disk kompleksi). Bu nedenle kondil-disk kompleksinde gerçekleşebilecek tek fizyolojik hareket *rotasyon* hareketidir.
- İkinci bölüm eklem sistem ise, glenoid fossaya karşı işlev yapan kondil-disk kompleksidir. Disk eklem boşluğuna sıkıca bağılı olmadığından superior boşlukta yapabildiği fizyolojik hareket *translasyon (kayma)* hareketidir. Translasyonla birlikte mandibulanın protraksiyonu gerçekleşir. Disk her iki TME'de de ossifiye olmamış bir kemik gibi fonksiyona katıldığından TME gerçek bileşik eklem şeklinde sınıflandırılır ^{61, 63}.

Temporomandibular disk artiküler yüzeyler arasında harekete katkı sağlar. Mandibulanın rotasyon, retrüzyon, protrüzyon gibi kasların bilateral çalıştığı simetrik hareketlerinde ve çiğneme yapılırken oluşan tek taraflı kas kinetiği sırasında her iki eklemdede ayrı derecelerde translasyon ve rotasyona izin veren asimetrik hareketlerinde; kondil, disk ve eminensin kontağı sağlanmalıdır. Bu kontaklar eklem stabilitesi için de gereklidir. İstirahat halinde bile tonusu mevcut mastikatör kasların, özellikle çeneye elevasyon yaptıran kasların sürekli aktivasyonu kondil ve diskin fossa içindeki stabilitesini sağlar.

Kasların aktivasyonunun artmasıyla kondil diske daha fazla kuvvet uygular ve disk de mandibular fossaya daha fazla kuvvet uygular. Böylece interartiküler basınç artar. İstirahatte basınç az disk alanı geniş, aktivasyonda (diş sıkma, çiğneme vb) basınç yüksek disk alanı

dardır. İnterartiküler basıncın olmaması ise artiküler yüzeylerin ayrılması ile sonuçlanır. Diskin kontur ve hareketi eklemde artiküler kontaklarının devamını sağlar. İnterartiküler basınç arttıkça, kondil diskin daha ince olan intermediate zonuna oturur. Basınç azaldığında ve disk alanı genişlediğinde, diskin daha kalın bir kısmı boşluğu doldurmak için döner. Diskin anterior ve posterior bandının yapısı intermediate zondan daha kalın olduğu için, diskin posterior ya da anterior yönde rotasyonu oluşabilir. Bu rotasyon; diskin anterior ve posterior sınırına tutunan yapılarla ilgilidir ^{11, 64}.

Lateral pterygoid kas TME diskinin anterioruna yapışır. Kasın üst başı diske alt başı kondile tutunur. Kasın alt başı kondili öne çekerken üst baş inaktiftir, üst baş ancak mandibulanın elevatör kaslarıyla birlikte güçlü ısırma sırasında aktifleşerek diski öne çeker. Dinlenme sırasında hafif bir tonusu olan LPK'nın üst başının çekişi retrodiskal dokuların gerilimden fazladır yani eklem içi basıncın düşük ve eklem boşluğunun geniş olduğu durumda disk kondilin anterioruna doğrudur. Diğer bir deyişle, çene kapalı pozisyonda kondil diskin orta ve posterior bölgeleriyle temastadır. Ağız kapalıyken diskteki elastik gerilim sıfırdır.

Rotasyon ve translasyon sırasında disk kondil ilişkisini koruyan diskin morfolojisi ve eklem içi basınçtır. Disk morfolojisinin değiştiği durumlarda disfonksiyonel semptomlar ortaya çıkar. Kondilin anteriora yer değiştirmesi durumunda, retrodiskal dokulardaki gerilim LPK'nın üst başından fazla olur ve disk posteriora doğru rotasyon yapar. Mandibula tekrar istirahate geldiğinde baskın güç yine LPK olur ve disk anteriora yer değiştirir.

Tek taraflı yapılan çiğneme durumlarında eklemlere eşit yük binmez, çene sert yiyecek etrafında dayanak noktası oluşturur, kontralateral eklemde basınç artar, ipsilateral eklemde azalır. Bu durum eklem yüzeylerinin ayrılmasına sebep olabilir, bu yüzden LPK'nın üst başı diski öne doğru çeker, diskin posteriordaki kalın bölümünün kondil ile teması sağlanır ve stabilite sağlanmış olur. Dişler interküspidasyona yaklaştıkça yani ağız kapandıkça eklem içi basınç artar, disk boşluğu azalır, disk posteriora doğru yer değiştirir. Böylece daha ince olan

diskin orta bölgesi boşluğu doldurur. Kapanma kuvvetinin devam etmediği dinlenme pozisyonuna geçilirken yine disk anteriora doğru eski yerine gelir ²⁷.

Aşağıdaki ortopedik prensipler normal biomekanik fonksiyonu anlatmaktadır:

- Ligamentler belirli eklem hareketlerini diğerlerinin izin verdiği ölçüde kısıtlayan TME'in yardımcı bağlardır. TME'in normal fonksiyonuna aktif olarak katılmazlar. Eklem hareketlerini de mekanik nöromuskuler refleks yoluyla kısıtlarlar.
- Ligamentler esnek değildirler. Herhangi bir gerilim kuvveti sırasına da uzayabilirler.
- TME'in artiküler yüzeyleri devamlı kontakta kalmalıdır. Eklemi çevreleyen kaslar bu kontağı sağlar ^{11, 48, 65-68}.

2.2. Bruksizm

Bruksizm, fonksiyonel olmayan kuvvetli çene hareketlerinin sebep olduğu diş sıkma ve/veya diş gıcırdatma ile istem dışı artmış aktivite olarak tanımlanan ve sık görülen bir rahatsızlıktır ⁶⁹. Yüzyıllardır bu bozukluk için, “Karolyi etkisi”, “bruksomani”, “neuralgia traumatica” “oklüzal alışkanlık nevrozu”, “diş yüzeylerinin non-fonksiyonel olarak gıcırdatılması” tarzında farklı tanımlar kullanılmıştır. Eski Yunancada diş gıcırdatma anlamına gelen “brychein”den köken aldığı ve 1931’de ilk defa Frohman ‘ın bu terimi kullandığı söylenmiş olsa da , ilk kez 1900’lü yılların başında Marie Pietkiewicz'in “la bruxomanie” terimini kullandığını belirten kaynaklar da mevcuttur ⁷⁰.

Bruksizmin özellikle mezokortikal yolaktaki serotonerjik nörotransmisyonun dopaminerjik sistemi etkilemesi ve bu sistemin bozukluğuyla alakalı olabileceği öne sürülmektedir ⁷¹.

Mandibulayı eleve edip alt ve üst dişleri temas haline getiren kaslarda eş zamanlı ve çift taraflı kasılmalara sebep olan bruksizm gözlemlendiği sırada izlenen kuvvetler, uzun süreli, izometrik ve dişlerin temasının unstabil sentrik dışı hareketlerine neden olması sebebiyle, çiğneme kuvvetlerine göre daha fazla zararı olan kuvvetlerdir. Uzun süreli bruksizm hikâyesi

olan bireylerde kaslar daha kuvvetli hale geldiğinden, ağrı veya yorulma eşiğinin yüksek olması gibi sonuçlar doğurmaktadır ⁷².

Sağlıklı bireylerde yemek yerken normal çiğneme esnasında gıdanın cinsine göre posterior bölgede 2-12 kg (20-120 N) kuvvet gözlenirken, uyku bruksizmi (UB) esnasında dişler üzerine gelen yük 22-26 kg (220-260 N) kadardır ⁷³⁻⁷⁶.

2.2.1. Bruksizm Sınıflaması

Bruksizm klasifikasyonunun; etiyoloji, motor aktivite tipi ve geçmişte var olup olmamasına göre yapıldığı bilinmektedir. Bruksizmin ortaya çıktığı zamana göre yapılan klasifikasyon en sık olarak kullanılandır, bunun da gece uyku esnasında gelişen ve en sık rastlanan tip olan nokturnal bruksizm ve gündüz gerçekleşen, aile sorumluluğu veya iş stresi gibi yaşamı etkileyen durumlarla, gerginlik ve anksiyete durumlarında ortaya çıkan diurnal bruksizm olarak ikiye ayrıldığı rapor edilmiştir ⁷⁷.

Bruksizm aynı zamanda motor aktivite tipine göre, tonik, fiziksel, kombine olmak üzere 3'e ayrılırken, etiyolojisine göre birincil (idiyopatik) ve ikincil (iatrojenik) olarak da sınıflandırılmıştır. Tanımlanabilir olmayan, sosyopsikolojik ve medikal faktörlerden bağımsız yani tıbbi bir nedeni yoksa bruksizmin birincil formu UB ve gün içinde diş sıkmayı (clenching) içine alırken, ikincil formları ritmik hareket bozukluğu, apne hipopne durumları, depresyon, şizofreni gibi nörolojik, psikiyatrik bozukluklar, uyku bozuklukları veya ilaç etkileri ile ilişkilendirilirse ikincil bruksizm olarak tanımlanır ⁷⁸⁻⁸⁰.

Yakın zamanda bruksizmi ICSD (International Classification of Sleep Disorders/Uluslararası Uyku Bozuklukları Sınıflaması) tekrarlayan kas aktivitesi ve tekrarlayan çene hareketleriyle oluşan diş sıkma ve gıcırdatma şeklinde ifade etmiştir ⁸¹.

2.2.2. Bruksizmin Etiyolojisi

Bruksizm etiyojisi birçok faktörle ilişkilidir ve tam olarak çözümlenemekte birlikte,⁸² stres, oklüzal bozukluklar, alerji, uyku kalitesi vs gibi etkenlerin kaynak olabileceği düşünölmekte ve non-spesifik patolojisinden dolayı da bruksizm tanısı koymak oldukça zordur.

Bu faktörler alt başlıklar halinde incelenebilir;

- Lokal Faktörler (taşkın dolgular, uyumsuz hareketli yer tutucular gibi protetik restorasyonlar, atipik erüpsiyonlar gibi oklüzyonda travma oluşturan etmenler, mobil dişler, ağrı, trismus gibi rahatsızlıklar)⁸³
- Sistemik Faktörler (Santral sinir sistemi hastalıkları, sendromlar, astım, rinit vb. hastalıkları, bağırsak parazitleri, yetersiz beslenme, alerjiler, endokrin bozukluklar vb.)^{84, 85}
- Genetik Faktörler (Bruksizm ve ailesel yatkınlık arasındaki ilişki net olmamakla birlikte, uyku bozuklukları ve uykuda konuşmayla beraber bruksizm durumunun genetik etki oranı %30 civarındadır. Bu alışkanlığı sergileyen ebeveynlerin çocuklarında diş sıkma/gıcırdatma olasılığının 1,8 kat daha fazla olduğu bildirilmiştir.⁸⁶⁻⁸⁹
- Psikososyal Faktörler (aile yaşantısı, sosyoekonomik durum, stres)
- Uyku Bozuklukları (Uyku bruksizmi ataklarının çoğunun non-REM (non-Rapid Eye Movement/ hızlı göz hareketlerinin olmaması) evre 1 ve 2’de yani hafif uykuda meydana geldiğini, sadece %10’unun REM (Rapid Eye Movement/Hızlı göz hareketlerinin olması) uykusunda gerçekleştiğini göstermektedir.)⁹⁰
- Nörokimyasallar, ilaçlar (Selektif serotonin geri alınımı inhibitörü (SSRI), nikotin, katekolamin (adrenalin, noradrenalin, dopamin) salınımı)^{73, 91, 92}

2.2.3. Bruksizm Epidemiyolojisi

Bruksizm prevalansı %4-%96 arasında değişen orandadır. Hastalığın multifaktöriyel etiyojolojiye sahip olması nedeni ile tanısıyla karışabilecek etkenlerin fazlalığı ve bireylerin hastalığın farkında olmaması gibi durumlar bu geniş aralığın sebebi olabilir ⁹³.

Adölesanlarda ve çocuklarda, yetişkinlere göre daha fazla görüldüğünü bildiren, yetişkin popülasyonda ise her iki cinsten de eşit ya da kadınlarda erkeklere göre daha sık görüldüğünü rapor eden farklı yayınlar mevcuttur. Çocuklarda %1-%20 oranında, yetişkin popülasyonda %5-%8 oranında görülür ve yaşlılarda %3 lük bir artış olduğu bilinmektedir ^{81, 94, 95}. Bireyin kendi bildirdiği verilere dayanan sistematik bir derlemede, prevalans oranı diurnal bruksizm için %22,1 ile %31 ve nokturnal bruksizm için %12,8 arasında değişmekteyken, nokturnal bruksizmin polisomnografi (PSG) tarafından yalnızca %3,5'u doğrulanmıştır ⁹⁶.

2.2.4. Bruksizmin Belirti ve Semptomları

Diş sıkma ve gıcırdatma sonucu; atrizyon tipinde diş aşınmaları, dişlerde erozyon, hassasiyet, hiperestezi, mobilite/migrasyon, periodontal ligament hasarı meydana gelebilir. Diş eti üzerindeki etkisi hala tartışmalı olmakla birlikte diş etlerinin iltihabı, diş eti çekilmesi belirtiler arasında yer alabilir. Kırık tüberkül tepeleri, pulpa nekrozu ve alveoler kemik rezorpsiyonu, çürük olmayan servikal lezyonlar, radyografik görünümünde ise lokalize veya generalize radyolüsen kondensasyon ve TMD'ler görülebilir ^{95, 97-99}. Ekstraoral muayenede çiğneme kasları çift taraflı olarak palpe edilir, ağrı hassasiyet ve hipertrofi varlığı araştırılır, özellikle masseter hipertrofisi bruksist hastalarda belirgindir ^{100, 101}.

Bruksizm sonucu TMD gelişme olasılığı yüksektir ¹⁰². TME muayenesi uygulanacak kuvvet çok şiddetli olmamak şartıyla çift taraflı kondil başları üzerinden, tragusun hemen önünden parmaklarla palpe edilerek yapılır. Palpasyon ve inspeksiyonla, ağız açıp kapattırılarak; kondillerin fossa içerisindeki hareketleri, simetrik olup olmadığı, ağrı varlığı, deviasyon/defleksiyon varlığı, klik/krepitasyon sesleri ağız açıklığı değerlendirilmelidir ¹⁰³.

2.2.5. Bruksizmin Tanı ve Tedavisi

Literatürde diurnal bruksizm tanısı için evrensel olarak kabul edilmiş bir kriter bildirilmemiştir ¹⁰⁴. Amerikan Uyku Tıbbı Birliği, American Academy of Sleep Medicine, (AASM)'nin 2014'te belirlediği uyku bruksizmi tanı kriterleri ise

- Uykuda diş sıkma seslerinin sık sık ya da düzenli şekilde duyulması,
- Uykuda diş sıkmayla anormal diş aşınmalarının görülmesi ve uykudan sonra çene kaslarında geçici ağrı veya yorgunluk ve/veya temporal baş ağrısı ve/veya diş gıcırdatmaya bağlı sabahları uyanma sırasında çenede kilitlenme şeklindeki klinik belirtilerden bir ya da daha fazlasının olması şeklinde iki kriterdir.

2013 senesinde bruksizm konusunda uzman araştırmacıların önerileri doğrultusunda, bruksizm tanısında dünya genelinde bir konsensus olmadığından, yapılacak araştırmalarda ve klinikte uygulanabilecek yeni bir ölçüm metodu öne sürülmüştür ¹⁰⁵.

2013'te yapılan bruksizm (nokturnal ya da diurnal) ölçüm metodu üç grupta değerlendirilmektedir.

- Olası (*possible*): Kişinin kendi bildirisi (Anamnez ya da anket yolu ile)
- Muhtemel (*probable*): Kişinin kendi bildirisi + klinik muayene bulgusu
- Kesin (*definite*): Kişinin kendi bildirisi + klinik muayene bulgusu + PSG (tercihen ses ve görüntü kaydı içeren)

Bilincin devre dışı olması noktürnal evrede meydana gelen parafonksiyonel hareketlerin saptanması zor bir durum olduğundan tanı koymak için pek çok farklı metod kullanılabilir. Bu durumun saptanmasında, iyi bir anamnez ile subjektif farkındalığın belirlenmesi önem taşır. Anket yöntemi, ağız içi ve ağız dışı muayene ile bruksizmin sekonder belirtilerinin varlığının araştırılması, ağız içi apareylerden destek alma ve çiğneme kaslarının EMG ile analizi ve PSG gibi görüntüleme sistemlerinin kullanılmasıyla değerlendirilebilir ^{95, 106}.

2.2.5.1. Anket Metodu

Bu metotta bruksizmle ilgili elde edinilen bilgilerin subjektif olması dezavantajken, metodun başlıca avantajı geniş kitlelere uygulayabilme kolaylığıdır ¹⁰⁶.

2.2.5.2. Ağız İçi Aparey Kullanımı

Oklüzal apareyler üzerindeki aşınmaların izlenip değerlendirilmesi ya da oklüzal kuvvetlere bakarak bruksizm aktivitesinin ispatına dayanır. Son yıllarda ‘Bite Strip’ ve ‘T-SCAN’ gibi çiğneme gücünü hesaplayan aygıtların teşhis amacıyla kullanılmasını tavsiye eden yayınlara rastlanmaktadır ¹⁰⁷. Bruksizm frekansını ve varlığını saptayan sistemde 5 saatlik uyku periyodunda masseter kasın kaç kez kontrakte olduğu bir bilgisayar çipiyle kaydedilir ¹⁰⁸.

2.2.5.3. Çiğneme Kaslarının Elektromiyografi (EMG) ve Ultrasonografi (USG) ile Analizi

Elektromiyografi ile kas kasılmasının kalitesini, istirahat halindeki kas hipoaktivitesi veya hiperaktivitesinin varlığını, bruksizm süresi, sayısı ve büyüklüğünün, kas fonksiyonunun değerlendirilmesi, normal ve patolojik kas kinetiğinin yorumlanmasına olanak sağlayarak kas lifleri tarafından üretilen biyoelektrik potansiyellerin analiz ve kaydı olarak tanımlanır ¹⁰⁹.

Elektromiyografi ile kasın uyarılması söz konusu değildir. Görüntü/ses kaydının olmadığı taşınabilir EMG sistemleri nokturnal bruksizmde kullanılır ancak en büyük dezavantajı hekim kontrolünde olmadığından bruksizm ile ayırt edilemeyen birçok normal aktiviteye (konuşma, yutkunma, öksürme) karşı sensitive göstermesi, bruksizmle karıştırılması, bu yüzden de bruksizm epizotlarının fazla derecelendirilmesidir ¹¹⁰. Hekimlerin hastanın uyku hali durumunda çiğneme kaslarında izlenen kas kasılmalarının % 30’unun bruksizmle ilgili olmadığını bilmesi gerekir ^{106, 111}. Son zamanlarda bunu önlemek için EMG ölçüm yöntemi yanı sıra kalp hızını takip eden, uyku hareketlerini gözlemleyen aktigrafi, video/ses kayıtlarının olduğu aygıtların denemeleri yapılmıştır ¹¹⁰.

Ultrasonografi parankimal ve yumuşak dokuların izlenmesinde ses dalgalarından yararlanılan bir görüntüleme yöntemidir. Bu yöntemde insan kulağının algılayabildiği ses frekansının çok üstünde (2-20 MHz) frekansları olan ses dalgaları kullanılır. Mastikatör kasların kontrakte olduğu diş sıkma durumunda kasların hareket değişkenlerinin ve parafonksiyonun değerlendirilip kas kalınlığının belirlendiği USG, kolay uygulanılan ve tekrarlanabilir bir metottur ¹¹².

2.2.5.4. Polisomnografi (PSG) ile Analiz

Bruksizmi tespit etmede belli sınırlamaları olmasına karşın altın standart olarak kabul gören PSG testi, solunum frekansı ve hacmini ve kandaki oksijen düzeyini ölçmek için oksimetre, beyin, kalp ve mastikatör kas aktivitelerini ölçmek için elektroensefalogram (EEG), elektrokardiyografi (EKG) ve elektromiyografi (EMG) verilerini ve fonksiyon dışı çene hareketlerini normal hareketlerden ayırabilmek için video ve ses verilerini kullanır. Sadece laboratuvar ortamında uygulanabilmesi bu yüzden de mevcut bruksizmi etkilediği görüşüyle birlikte cihazın maliyetli olması dezavantajlarından ^{106, 113, 114}.

Bruksizm tedavisi için etkeni ortadan kaldırmak gerekir, etiyolojisi multifaktöriyel olduğundan tek bir tedavi seçeneği yoktur. Çiğneme kaslarının hiperaktivitesi ile dentisyonun ve TME'nin aşırı yüklenmesinin önlenmesine yönelik tedavi yaklaşımları vardır. Bu nedenle efektif tedavi yöntemini seçebilmek için sebep olan etkenleri belirlemek önemlidir ^{72, 81}. Bruksizmin tedavisi için birçok yöntem olsa da ağırlıklı olarak bilişsel-davranışsal tedavi, oklüzal aparey ve splintler, farmakolojik yaklaşımlar başlıkları altında toplanmaktadır ⁹⁵.

2.2.5.5. Bilişsel-Davranışsal Tedavi

Bilişsel davranışsal tedavi; hatalı düşüncelere alternatif düşünceler oluşturarak davranışların yeniden şekillendirilmesi, bilişsel yeniden yapılandırma sağlama, korku/stres/ağrı yönetimi ve nüks önleme gibi başlıklarla bruksizmi tetikleyen ya da arttıran olası etkenleri ortadan kaldırarak TMD tedavisinde kullanılır ¹¹⁵. Bu yöntemler meditasyon-gevşeme

metotları, biyofeedback ve hipnoz gibi tedavilerdir. Birçok hasta bu metotlarla koopere olmakta zorlansa bile etkinlikleri kontrollü çalışmalar ile doğrulanmıştır ⁹⁵.

2.2.5.6. Oklüzal Splintlerle Tedavi

1901 yılında Karolyi tarafından kullanılmış ve bruksizm vakalarında hala yaygın olan oklüzal splintler, oklüzal ilişkinin değiştirmesiyle dikey boyutun artmasına sebep olur.

Splintlerin etki mekanizmaları ile ilgili çeşitli teoriler vardır ¹¹⁶ Bunlar:

- *Oklüzal Ayırma Teorisi:* Splint kullanımıyla oluşan ideal oklüzyonun çiğneme kaslarının aşırı aktivasyonuna sebep olan uyaranları uzaklaştırarak uygun mandibula ve TME işlevine izin verdiğini savunur.
- *Maksillomandibular Yeniden Düzenleme Teorisi:* Çiğneme kaslarının aktivitesini düşürerek ideal oklüzyonla “nöromüsküler denge”nin kurulabileceğini savunur.
- *Dikey Boyut Teorisi:* Kasların normal kinetiğini gerçekleştirebilmesi için kaybolan dikey boyutun yeniden sağlanması gerektiğini savunur. Oral ortopedik teori, çenenin sentrik ilişkide konumlandırılması ve miyosentrik pozisyon olmak üzere 3 tane teori mevcuttur. Tüm bu teorilerin ortak noktası, ideal interküspidasyonda maksillaya göre yanlış pozisyonlanmış mandibulanın yeniden konumlandırılmasıdır. Böylece daha ideal bir maksillomandibular ilişki elde edilir ve bruksizme bağlı semptomlar azaltılır.
- *Temporomandibular Eklem Yeniden Konumlanması Teorisi:* Kondillerin glenoid fossa içindeki pozisyonlarının değişmesiyle semptomların azalacağını savunur.
- *Zihinsel Farkındalık Teorisi:* Devamlı bir uyaran olarak rol oynayan splintin hastanın eski alışkanlıklarını değiştirdiğini ve böylelikle zararlı kas aktivitelerinin hafifleyeceğini savunur.

Oklüzal splintler (diğer isimleriyle gece plağı, ısırma plağı, intraoral orthotic deprogrammer), TME ağrısının giderilmesi, artrit ve dişlerin mobilitelerinin, aşınmasının

önüne geçilmesi farkına varma ve plasebo etkisi ile kasın aşırı aktivasyonunun azaltılması, çiğneme kaslarındaki eşgüdüksüzlük ve ağrıyla spazmın önlenmesi amacıyla kullanılırlar. Rutinde akrilik veya kompozit malzemeden yapılırlar. Dişlerin tamamını veya oklüzal yüzeylerinin bir kısmını kaplayan çıkarılabilir apareylerdir ^{72, 95}.

Sentrik İlişki Splinti (Relaksasyon Plağı, Stabilizasyon Splinti veya Kas Gevşetici Plak)

Ana amacı kasları gevşeterek kas ağrısını azaltmaktır. 14 günde masseter kasın aşırı aktivasyonunun önüne geçtiği bildirilmiştir. Çeneler arası ilişkiyi değiştirmeden vertikal boyutu arttıran sentrik ilişki splintleri; mastikatör kasların ağrı ve disfonksiyonunda, TMD’lerde ve bruksizmde, yüksek başarıya sahip ve en sık kullanılan splint çeşididir. Kas istemsiz kasılmasıyla ortaya çıkan TME’de ağrı ve ses oluşması durumlarında kullanımı uygundur ^{72, 117}.

Ön Konumlandırma Splinti (Ortopedik Repozisyon Plağı veya Anterior Repozisyon Plağı, Anterior DeProgrammer, Nosiseptif Trigeminal İnhibisyon Plakları (NTI-tss), Anterior Bite Plane)

Sentrik ilişki splinti etkili olmadığında, disk kondil uyumsuzluklarında kullanılan akrilikten yapılan bu splint, maksilla anteriorda dişler ile rugaya rahat bir şekilde konumlanırken molar ve premolar dişler temassız bırakılır. Aşırı diş sıkmayla dişlere gelen yük artar, bu nedenle bu yükü karşılamaya çalışan periodantal ligamentin gerilimi artar. Ön konumlandırma splinti bu yükü uzaklaştırıp periodantal lig.’in gerilimini düşürür ve dokuların normal durumuna dönmesine yardımcı olur. Bunu yaparken, eklem içinde retrodiskal dokuların adaptasyon yeteneğini artırır, kondil başının adapte olmuş dokularla birlikte hareketine izin verir, ancak mandibulanın pozisyonunda herhangi bir değişikliğe yol açmaz. Kullanım alanları, bruksizmle görülen veya bruksizmin eşlik etmediği ADD’ler ve akut kas spazmlarıdır. 3 aydan uzun kullanımı, geri dönüşü olmayan oklüzal patolojilere sebebiyet verebilir ^{72, 95, 117}.

Arka Isırma Plağı (Posterior Bite Plane)

Mandibuladaki dişlere uygulanır. Sert akrilikten yapılır. Lingual plaktan oluşan apareydir. Mandibulanın konumunu düzelterek uygun dikey boyutun sağlanmasını amaçlar. Dişler üzerinde irreversible etkilere sebep olabileceğinden uzun süreli kullanımları kontrendikedir. Bruksizmle görülen veya bruksizmin eşlik etmediği ADD'lerin tedavisinde kullanılır ⁷².

Pivolu Splint

Mandibula veya maksillada tüm arkı örterken ağzın her 1/4 'lük kısmında tek diş teması basıncı düşüren sert akrilikten bir apareydir. Osteoartritte kullanılabilir ve yedi günden fazla kullanımı önerilmez. Egzersiz apareyi olarak da kullanılırlar. Bruksizimli hastalarda uyanıklık halinde hekim kontrolünde kullanılanan apareylerdir ^{72, 117}.

2.2.5.7. Farmakolojik Yaklaşımlarla Tedavi

Bruksizmin tedavisi için ilaç kullanımı son yıllarda denenmeye başlanmıştır. Farmakolojik tedavi sadece kısa dönem kullanım için uygundur, uzun dönem kullanımı tavsiye edilmemektedir. Benzodiazepinler, santral kas gevşeticiler, trisiklik antidepresanlar (amitripyline), antikonvülsanlar (gabapentin) sempatolitikler (L-dopa, propranolol), botulinum toksin A bruksizm tedavisinde çalışılan ilaçlardır ⁹⁵.

2.3.Botulinum Toksin

Clostridium botulinum bakterisinden elde edilen bir nörotoksindir. İkinci Dünya Savaşı sırasında öldürücü etkisinden dolayı biyolojik silah olarak kullanılan BoNT'un oral yolla alındığında öldürücü dozunun 0,2-1µg/kg olduğu, damar içine zerk edildiğinde daha düşük dozlarda (0,001-0,005 µg/kg) daha toksik olduğu görülmüştür ¹¹⁸.

Bu toksin, 1800'lü yılların başında Justinus Kerner tarafından çürümüş etin yenmesinden kaynaklanan intoksikasyonun çizgili kaslarda paraliziyeye neden olduğunu fark etmesiyle keşfedilmiştir. Çürük sosiste bulunduğu için botulizm, Latince siyah sosis

manasındaki botulus kelimesinden köken almıştır. İskelet kası felcine ve midriyazise neden olduğundan hiperaktif motor sistemi gevşetmek için kullanma olasılığı bildirilmiştir.

Belçikalı bir mikrobiyolog olan Van Ermengem, 1897'de çürük sosis yiyen bir hastanın dışkılarından patojeni izole etmeyi başarmış ve buna *Bacillus botulinus* adını vermiştir, bu da 1922'de *Clostridium botulinum* olarak yeniden isimlendirilmiştir.

Schantz büyük miktarlarda kristalize BoNT üretmeyi başarmış ve bu toksinin klinik uygulamasının temeli ise 1949'da Burgen'in toksinin presinaptik asetilkolin inhibisyonunda rol oynadığını keşfetmesiyle atılmıştır ¹¹⁹.

Botulinum nörotoksin T tip A (BTX-A) 1973'te ilk olarak Scott tarafından insanlarda tedavi amaçlı kullanılmıştır. Bundan hemen sonra 1989 senesinde erişkin şaşılık ve blefarospazm tedavisinde ABD Gıda ve İlaç İdaresi'nin (FDA) onayı ile tıpta benimsenen ilk toksin olmuştur. Blefarospazmı olan bir hastayı BTX-A kullanarak tedavi ederken, Carruthers şans eseri bunun glabellar bölgedeki kırışıklıkların görünümünü azalttığını keşfedip bunun yüz ifadelerini kontrol eden kasların gevşemesinden kaynaklandığını bildirmiştir. Daha sonra nazolabial foldda ve perorbital bölgedeki kırışıklıklarda da efektif olduğunu bulmuşlardır. O zamandan bu yana BoNT uygulamasının kapsamı, blefarospazm gibi oftalmolojik bozuklukların ve yüz spazmları, servikal ve uzuv distonileri gibi nörolojik bozuklukların tedavisini kapsayacak şekilde genişlemiş ve esas olarak iskelet kaslarındaki uygunsuz veya aşırı gerginliği gidermek için kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca gastrointestinal sistemin düz kasları üzerinde de etkili olduğu bildirilmiştir. Uygulama aralığı son zamanlarda çiğneme kaslarının artan geriliminin, yüz asimetrisinin, hiperhidrozun ve osmidrozun neden olduğu ağrının tedavisinin yanı sıra çiğneme ve baldır kaslarının kozmetik olarak düzeltilmesini içerecek şekilde genişletilmiştir ¹¹⁹.

Botulinum nörotoksinin A, B, C (C1 ve C2), D, E, F ve G olmak üzere immünolojik olarak yedi farklı serotipi mevcuttur. G tipi hastalık oluşturmazken, A, B, E, F insanlarda, C ve

D tipleriye hayvanlarda botulizme sebebiyet vermektedir ¹²⁰. Bakteri tarafından üretildiğinde, toksin molekülü, 300 ila 900 kDa arasında bir dizi makromoleküler kompleks oluşturmak için toksik olmayan ek proteinlerle birleşir. Maksimum biyolojik aktivite elde etmek için, 150 kDa toksin polipeptit; bir disülfid bağı ve kovalent olmayan etkileşimlerle bağlı kalan 100 kDa ağır zincir ve 50 kDa hafif zincir halinde ayrılmalıdır. Tüm toksin serotipleri, yaklaşık 150 kDa moleküler kütleyle sahip tek zincirli bir polipeptit olarak sentezlenir.

Ter bezlerinin ve kasların sinir sisteminin kontrolü altında fonksiyon görmesi için motor nöron aksiyon potansiyeli akson terminalini depolarize ettiğinde motor son plaklardan sinaptik aralığa asetilkolin ve benzeri mediatörlerin salınması gerekir. Bu asetilkolin salımı, SNARE (Soluble NEethylmaleimide-sensitive factor Attachment Protein Receptor) kompleksi olan bir taşıma protein zinciri tarafından gerçekleştirilir. BoNT sinir sonlanmasında bu SNARE kompleks yapısını bloke etmektedir.

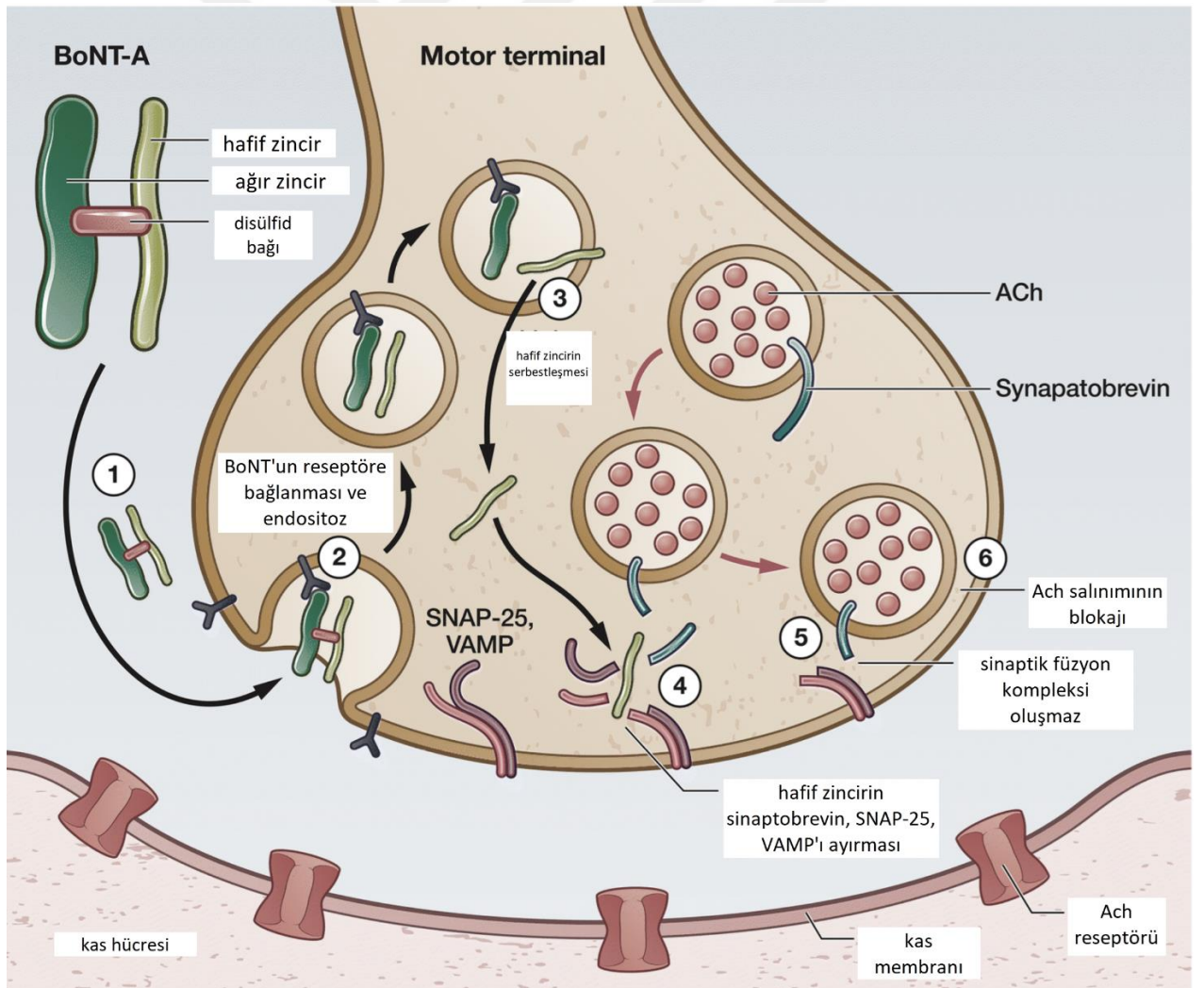
Toksin dokuya uygulandığında BoNT'un ağır zinciri özellikle kolinerjik sinir uçlarında bulunan ağır zincir kısmı ile glikoprotein yapılarına bağlanır ve sinir içerisine endositozis ile girmektedir. Bu özel yerleştirme, BoNT'un kolinerjik sinapslar için yüksek seçiciliğinin nedenidir. Sinir içine alındıktan sonra BoNT'un hafif zinciri, SNARE protein kompleksine yüksek özgüllükle bağlanır. Bunun blokajı ile periferik sinir uçlarında asetilkolin salınımını engeller, sinirin doku üzerindeki etkisi azalır ya da sıfırlanır, böylece kaslarda geçici denervasyon ve gevşemeyi indükler ¹²¹.

Botulinum nörotoksin bir hedef dokuya enjekte edildiğinde, Hedef proteinler, BoNT serotipleri arasında değişiklik gösterir. BTX-A, 25 kDa'lık sinaptozomla ilişkili proteinleri (SNAP25) ayırır. Botulinum toksin B (BTX-B), sinaptobrevin II olarak da bilinen vezikülle ilişkili membran proteinini (VAMP) ayırır. Hafif zincirin SNARE protein kompleksinin proteolitik bölünmesi, asetilkolin (Ach) vezikülünün hücre zarının iç yüzeyinde kenetlenmesini önler ve vezikül füzyonunun bloke edilmesiyle sonuçlanır. Hedef doku bir kas olduğunda,

kimyasal denervasyon ile paresis meydana gelir. Hedef doku bir ekzokrin bez olduğunda, glandüler sekresyon bloke edilir ¹²² (Şekil 12).

Klinik etki, uygulamadan sonra 3–7 gün içinde olur, ardından 1–2 haftalık pik evresi gözlenir. Bunu tam sinir iyileşmesine kadar 3–6 ay zamanla ara seviyede bir plato dönemi izler. Giderek azalarak etkisini kaybetmeden önce 3 ay kadar kaslar üzerinde analjeziye ve kasların hiperaktivasyonunun inhibisyonuna neden olur ¹²³.

Botulinum nörotoksin tarafından Ach ekzositozunun inhibisyonu, SNARE protein kompleksi döngüsünün restorasyonu ile sonlandırılır. Aksonal filizlenme ve uç plaka uzaması meydana gelir, ancak BoNT etkisinin sona ermesinden sorumlu olmayan geçici bir fenomen olduğuna inanılır ¹²².



Şekil 12. Botulinum Toksin Etki Mekanizması ¹²⁴

Diş hekimliğinde başlıca kullanım alanları, TMD, brüksizm, gummy smile, mastikatör kas hipertrofileri ve hiperaktiviteleri, trigeminal nevralji, miyofasiyal ağrı, tükürük bezlerinin işlevsel bozuklukları (Frey sendromu, aşırı tükürük salgısı gibi) ve ortognatik cerrahi sonrası m.geniohiyoideus'un inaktive edilmesidir ⁷².

Kas Hipertrofisinde Botulinum Toksin

Temporal kas için yapılacak BTX uygulaması yüzeysel ve derin olmak üzere ikiye ayrılır. Enjeksiyon bilgi ve tecrübe gerektirir Yüzeysel fasyanın iki plakası arasında yağ dokusu vardır ve kas daha derindedir. Hekim kılavuz olarak iğne girişi sırasında dokunma hissini kullanır. Bölgeden geçen damarlar nedeniyle aspirasyon önemlidir. Temporal kas için 5 farklı enjeksiyon noktası belirlenmiştir ve her bölge için 5-25 UI enjeksiyon tavsiye edilmektedir ¹²⁵.

Masseter kasına ise klinik olarak kolayca ulaşılabilir. Dikkat edilmesi gereken nokta asimetrik gülüşü önlemek için toksinin zigomatikus majör kasına difüzyonunu engellemektir. Kasın hacmine bağlı olarak enjeksiyon dozu değişebilir, ancak genellikle her iki taraf masseter kas için 15-40 UI BTX yeterli olmaktadır ¹²⁵.

Masseter kas hipertrofisi, mandibula köşesinde kasın büyümesi şeklinde izlenir. Kasın hipertrofisi kozmetik olarak şekil bozukluğuna, asimetriye neden olurken, bazen de ağrıya sebebiyet verebilir ¹²⁶ Tedavi alternatifleri arasında kasın cerrahi olarak küçültülmesi ve ilgili kasa BoNT enjeksiyonu yer alır. BoNT ilgili kasa enjekte edildiğinde kasta fonksiyon azalır ve kasın atrofisi meydana gelir ¹²⁷.

Medial pterygoid kas mandibulanın medial yüzeyinde bulunur bu yüzden ulaşımı zordur. Bu kasa enjeksiyon yapmanın etkisi sorgulanmaktadır çünkü masseter ve temporal kasların enjeksiyonuyla istenilen klinik etki sağlanmaktadır. Kasın enjeksiyonu ekstraoral veya intraoral olabilir. Ekstraoral olarak submandibular bölgeden kasa yaklaşılr, intraoral yaklaşımda ise kasın palpasyonu yapılr, fakat ağız açmadaki kısıtlılık ve öğürme refleksi durumu zorlaştırır. Her iki teknikte de infratemporal fossaya enjeksiyon riski vardır. Trigeminal

sinirin dalları, eksternal karotid arterin dalları etkilenebilir, bu yüzden EMG rehberliğinde yapılması önerilmektedir. Her kasa yapılacak enjeksiyon dozu 10-45 UI arasında değişmektedir^{128, 129}.

Lateral pterygoid kas için botoks enjeksiyonunda EMG rehberliğine ihtiyaç duyulur. Ekstraoral olarak yapıldığında palpasyonla kondil başı belirlenir, koronoid çentiğın olduğu aralıktan iğneyle giriş yapılır, iğne 45° posteriora yönlendirilerek kondil başına enjeksiyon yapılır. Hastadan çenesini laterale kaydırılması istenir ve aspirasyonla beraber tekrar enjeksiyon yapılır. İntraoral olarak yapıldığında ise maksillanın tüberi arkasından giriş sağlanır. Enjeksiyon sırasında dış kulak yolu ve pterygoid ven plexusuna dikkat edilmelidir. Enjeksiyon için 10-45 UI doz tavsiye edilmektedir^{128, 129}.

2.3.1. Bruksizm Tedavisinde Botulinum Toksin

Bruksizm sadece kasları etkileyebildiği gibi TME'yi de etkileyebilir. Şiddetli bruksizmi olan hastada temporal kaslara ve masseter kaslara 100 UI BTX-A enjeksiyonunun etkili olduğunu bulmuş ilk araştırmacılar Van Zandijcke ve Marchau'dur¹³⁰.

Yine Ondo ve arkadaşlarının PSG'yle desteklenen yaptığı botoks çalışmasında masseter ve temporal kaslara uygulanan BoNT ile görsel analog skala (VAS) skorlarında ve bruksizm aktivitesinde azalma bildirmişlerdir¹³¹.

Bruksizm tedavisinde BTX uygulamaları genellikle masseter kasa yapılırken masseter ve temporal kasın sinerjik etkisini göz önünde bulunduran çalışmalarda her iki kasa da enjeksiyon yapılmıştır. Ancak bu iki uygulama arasındaki farkları gösteren yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır^{132, 133}. Son yıllarda BTX kullanımı gündüz ve uyku bruksizminin tedavisinde gündeme gelmiştir. BoNT'un masseter ve temporal kaslara enjeksiyonunun bruksizm semptomlarını azalttığı gösterilmiştir.¹³⁴ BTX istemsiz orofasiyal hareketler ve bozukluklara bağlı gelişen sekonder bruksizmi tedavi etmede kullanılabilir. Ancak uyku

bruksizmi üzerindeki etkileri objektif ölçümler ile kesin bir şekilde değerlendirilememiştir ¹³⁰,
133, 135.

2.3.2.1. Anterior Disk Deplasmanı Tedavisinde Botulinum Toksin

Lateral pterygoid kasın alt ve üst başlarının organize bir şekilde çalışmaması disk üzerinde istemeyen hareketlere neden olur. ADD'yle LPK arasında yakın ilişki olduğu EMG kayıtlarıyla da desteklenmiştir ¹³⁶.

Bakke ve ark. eklem seslerinin tedavisi için LPK'ya BoNT uygulamışlar 1 yıllık takipte seslerinin tekrarlanmadığını bulurken, ¹³⁷ Aquilina ve ark., ADD'si olan hastaya BoNT tedavisi uygulamışlar, 6 hafta boyunca izlemişler, sonuçta hastada çene hareketlerinin normale döndüğünü ve ağrının azaldığını bildirmişlerdir ¹³⁸.

Pons ve arkadaşlarının 6 kronik TMD'si olan hastaya yaptığı bir çalışmada, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) kılavuzluğunda LPK'ya, masseter kasa ve temporal kasa BoNT uygulanmış, araştırma sonucunda eklem sesleri kaybolmuş, ağız açıklığı artmış, ağrı düzeyi azalmıştır. ¹³⁹.

2.4. Gerilme Analizleri

Gerilme analizi yöntemleri, bir binanın, aletin ya da herhangi bir cismin üzerine bir yük uygulandığında meydana gelen değişiklikleri, gerilmelerin toplandığı bölgeleri görmek için kullanılır. Canlı doku ve organlarda gerilme analizi yapmak zor olduğundan canlı dokunun modeli oluşturulur. Biyolojik materyal ve tedavi malzemelerinde pek çok gerilme analizi yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar; fotoelastik kuvvet analiz yöntemi, kırılabilir vernikle kaplama yöntemi, gerilim ölçer kullanılarak yapılan analizler, lazer ışınıyla gerilme analiz yöntemi ve sonlu elemanlar analizi yöntemleridir. Sonlu elemanlar analizi yöntemi karmaşık sistemlerin çözümlenmesinde pek çok avantajı sayesinde en çok kullanılan yöntemdir ¹⁴⁰.

2.4.1. Gerilme Analizlerinde Kullanılan Terimler

2.4.1.1. Kuvvet

Bir cismin biçimini ve/veya hareket durumunu değiştirebilen etkiye denir.

“Kuvvet (F) = kütle (M) × ivme (a)”

Kuvvet, birimi Newton değerinde belirtilecekse “N = kg×m/s²” olarak formüle edilmektedir ¹⁴¹.

2.4.1.2. Gerilme (Stres)

Dışarıdan bir kuvvet uygulandığında, cisimin, uygulanan kuvvet büyüklüğüne denk karşıt yönde oluşturduğu tepki stres olarak isimlendirilir, birim alana denk düşen kuvvet miktarıdır. Stresin büyüklüğü uygulandığı yüzeyin alanına ve kuvvetin büyüklüğüne göre değişir.

“Stres (S) = Kuvvet (F) / Alan (A)”

Stres birimi Paskal olarak ifade edilecekse $P=N/m^2$ şeklinde formüle edilir.

Dış hekimliğiyle alakalı çalışmalarda araştırılan nesnelerin boyutları sebebiyle stres birimi olarak Megapaskal (MPa) kullanılmaktadır ^{142, 143}.

“1 MPa = 10⁶ Pa”

Yönlerine göre üçe ayrılırlar; çekme gerilimi (tensile stres), sıkıştırma gerilimi (compressive stres) ve kayma (=kesme) gerilimi (shear stres) ¹⁴⁴

- Çekme stresi: Bir cismi uzatma isteğiyle deformasyona sebebiyet verecek kuvvete karşı oluşan iç kuvvettir. Çekme stresi, şekil değişimi (strain) ile görülür.
- Sıkıştırma stresi: Bir cismi kısaltma veya sıkıştırma isteğiyle deforme etmeye çalışan kuvvete karşı oluşan iç kuvvettir. Bu stres türüne de daima sıkışma sonucu oluşan şekil değişimi (strain) eşlik eder.
- Kayma (=kesme) stresi: Bir cismin bir parçasının diğer parçası üzerinde yüzeye paralel yönde kaydırma eğiliminde olan kuvvetin neden olduğu deformasyona karşı koyan iç

kuvvete denir. Burada uygulanan kuvvetler birbirlerine doğru yönlendirilmiş olup, aynı doğru üzerinde değildir. Bu stres türüne de daima kayma sonucu oluşan şekil değişimi (strain) eşlik eder.

2.4.1.3. Gerinim (Strain)

Strain çekmede cismin uzaması sıkışmada kısalması kaymada ise cismin bir parçasının diğerine göre açısının değişmesi anlamındadır ¹⁴⁴.

Bir materyale yük uygulandığı zaman birim boyutunda bir değişim oluşur. Buna biçim değiştirme denir. Biçim değiştirme bir kuvvet ya da yük değil sadece büyüklük ifade eder. Gerinim cisme elastik veya plastik şekilde etki edebilir. Elastik biçim değişimi, palyatiftir ve cisim üzerindeki yük uzaklaştırılınca cisim eski biçimini alır, plastik biçim değişimindeyse oluşan biçim değişikliği sürekli, cisme uygulanan yük uzaklaştırılsa bile cisim eski şeklini alamaz.

“Gerinim (Strain) = Boyuttaki Değişim / İlk Boyut” Gerinim değeri yüzde (%) ile ifade edilir. %100 uzama 1 Straini gösterir ¹⁴².

2.4.1.4. Asal Gerilmeler (Principal Stresses)

Üç boyutlu stres elemanının x,y,z düzlemlerine, bir normal, iki kesme tipi stres etki eder. Üç boyutlu bir elemanda en büyük stres değeri, sadece dik olan kuvvetler olduğunda yani bütün makaslama stres bileşenleri sıfır olduğu durumda oluşur. Bir eleman bu konumda olduğunda, bu gerilmelere “asal gerilme (σ)” denir.

- Maksimum asal gerilme (P_{max} , σ_1): Pozitif değerdir ve en yüksek çekme stresini (tensile stres) ifade eder.
- Ara asal gerilme (σ_2): Ara değeri gösterir.
- Minimum asal gerilme (P_{min} , σ_3): En yüksek sıkışma (baskı) stresini ifade eden en küçük negatif değerdir ¹⁴².

Analiz sonucunda elde edilen stres değerlerindeki negatif değerler basma gerilimini, pozitif değerler ise çekme gerilimini belirtmektedir. Etkin stres tipini mutlak değeri daha büyük olan stres belirtmektedir ¹⁴⁵.

2.4.1.5. Von Mises Stresi (Eşdeğer Stres, Equivalent Stres)

Esneyebilir maddeler için şekil değişiminin başlangıcını ifade eder. Bir maddenin belirli kısmının iç enerjisi bir sınırı aşarsa madde bu noktada biçim değişikliğine uğrar. Üç boyutta oluşan asal gerilmelerin kombine edilmesiyle hesaplanan von Mises gerilim değerleri, sonlu elemanlar analizinde bir kuvvet uygulandığı zaman maddede oluşan gerilmenin yoğunlaştığı kısımları ve dağılımı hakkında inceleme yapmaya olanak sağlar, kırılma dayanıklılığı analizlerinde kullanılmakta ve renk skalası üzerinde gösterilmektedir ^{142, 146}.

2.4.1.6. Elastisite Modülü (Young Modülü)

Elastisite modülü, gerilimin (stres) gerinime (strain) oranıdır. Birimi; birim alana uygulanan kuvvettir ve kg/mm^2 veya Gigapaskal (GPa) olarak ifade edilir. Maddeler için ayırt edici bir değerdir. Elastisite modülü değeri azaldıkça, materyalin sertliği de azalır. Eşit miktarda kuvvet uygulanmış iki materyalden elastisite modülü düşük olan yüksek olana göre daha fazla deformasyon gösterir ^{147, 148}.

2.4.1.7. Akma Dayanımı (Yield strength)

Materyalin plastik bir şekilde işlev görmeye başladığı gerilimi tanımlamak için kullanılır. Elastik davranışın sınırını ve plastik davranışın başlangıcını gösteren bir gerilim-gerinim eğrisi üzerindeki noktadır. Bu streste malzemede sınırlı bir kalıcı gerinim meydana gelir ¹⁴⁷. Germe-akma dayanıklılığı belirli bir miktarda kalıcı deformasyona denk gelen stres olarak tanımlanır. Bir materyalin germe-akma dayanıklılığı ne kadar düşükse o kadar fazla kalıcı deformasyona uğrar ¹⁴⁹.

2.4.1.8. Hooke Kanunu

1678 yılında Robert Hooke gerilimler ile şekil değiştirmeler arasında doğrusal bir ilişki olduğunu tanımlamıştır. Hooke kanununa göre cismin boyutlarındaki uzama, cismin uzunluğu ve çekme kuvveti ile doğru, kesit alanı ve Young's modülü ile ters orantılı olarak değişmektedir ¹⁵⁰.

2.4.1.9. Possion Oranı

Cismin bir yüzeyindeki gerilim ile bu gerilimin diğer yüzeylerde oluşturduğu deformasyon ilişkisidir. Materyalin enine deformasyonunun boyuna deformasyonuna oranıdır. Bir cisim sıkışma kuvvetleri karşısında boyunda kısalma eninde ise kalınlaşma gösterir. Çekme kuvvetleri karşındaysa kuvvete dik yönde ise kısalma ve kuvvet doğrultusunda uzama eğilimdedir.

Cisme ait bir özellik olan poisson oranı 'v' ile sembolize edilmektedir ve 0 ile 0,5 arasında değişkenlik gösterir ¹⁵¹. Poisson oranı 0.25 olan bir malzeme mükemmel izotropik elastik malzeme kabul edilir ¹⁵².

2.4.1.10. İzotropik, Anizotropik, Homojen Cisim

Üç asal ekseninde benzer özellik gösteren malzemelere izotropik, farklı özellik gösteren malzemelere anizotropik denir. İzotropik cisimler uygulanan kuvvetlerle oluşan makaslama gerilme çekme, sıkışma streslerinde sabit ve aynı olan elastik modüle sahipken anizotropik cisimler farklı elastik modüle sahiptirler ^{153, 154}.

Homojen cisim; yapısal olarak her elemanı aynı özellikte olan, elastik özelliklerinin cisim içerisinde farklılık göstermediği kabul edilen cisimlerdir ¹⁵⁵.

2.4.1.11. Yay Sabiti

Sonlu elemanlar metodunun çözümünde yapının direngenlik (rijidite) matrisi, dış kuvvet ve bu kuvvetin yapıda oluşturduğu deformasyonlara bağlıdır. Prizmatik üniform kirişe

etki eden eksenel F kuvvetinin elastik uzamaya (u) oranıdır. Tanıma göre, "yay sabiti (k)" birim yer değiştirme oluşturmak için gerekli kuvvettir.

$$\text{Yay sabiti (k)} = F/u$$

k: global direngenlik matrisi ¹⁵⁶

2.4.2. Diş Hekimliğinde Kullanılan Stres Analiz Yöntemleri

Stres analiz yöntemleri tasarım aşamasındaki malzeme zayıflıklarını tespit etmek, ilerde oluşabilecek sorunları tahmin edip ortadan kaldırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntemler, mekanik, inşaat ve elektrik gibi birçok mühendislik alanında olduğu kadar diş hekimliği ve tıbbi araştırmalarda da kullanılmaktadır. Diş hekimliğinde stres analizi yöntemleri, çene-yüz cerrahisi, implantoloji, ortodonti ve endodonti alanlarındaki araştırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır ¹⁵⁷. Fonksiyonel ve parafonksiyonel hareketler, kemiklerde, dişlerde, implantlarda ve yumuşak dokularda kuvvetlerin oluşmasına neden olur. Alveoler kemik üzerindeki stresi, stres yoğunlaşma alanlarını ve olası deformasyonları incelemek için farklı analiz yöntemleri kullanılır ¹⁵⁸.

Bu yöntemler;

- Fotoelastik stres analiz yöntemi
- Gerilim ölçer stres analiz yöntemi
- Holografik (lazer ışığı) interferometri ile kuvvet analizi
- Kırılgen vernik kaplama (Brittle lacquer tekniğı) yöntemi ile stres analizi
- Radyoteleometri ile kuvvet analiz yöntemi
- Termografik kuvvet analiz yöntemi
- Sonlu elemanlar stres analiz yöntemi olarak sıralanmaktadır ^{159, 160}.

2.4.2.1. Fotoelastik stres Analizi Yöntemi

Modelde meydana gelen gerilme ve gerininin doğrudan gözlemlenmesini sağlayan bir yöntemdir. Fotoelastik modelin ilk gözlemi sayesinde, kuvvet dağılımının anında kalitatif analizine paralel olarak, doğrudan ölçüm teknikleri veya modern optik aletler kullanılarak istenen alanın kantitatif verilerini doğru bir şekilde elde etmek de mümkündür ¹⁶¹.

2.4.2.2. Gerilim Ölçer Stres Analiz Yöntemi

Sistem mekanizması mekanik, optik, akustik, elektrik ve elektrondur. Yapıda yük altında oluşan doğrusal şekil değişikliklerini algılamak için kullanılır. Ağızda meydana gelen basıncın in vivo olarak değerlendirilmelerine izin verir. Bu, direnci ölçerek stresi belirlemenin bir yoludur.

2.4.2.3. Holografik (lazer ışığı) İnterferometri ile Kuvvet analizi

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.

2.4.2.4. 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.

2.4.2.5. Termografik Stres Analiz Yöntemi

Bu yöntemde homojen izotropik cisme düzenli olarak yüklenme yapıldığında cismin yapısında meydana gelen ısısal değişikliklerin ölçümü ile stres analizi yapılır. Cisimde oluşan ısı değişiklikleri stres ile orantılıdır ¹⁶².

2.4.2.6. Sonlu Elemanlar Stres Analizi Yöntemi

Karmaşık geometriler içeren bu problemi çözerken analitik bir sonuca ulaşmak zordur. İşte bu mekanik karmaşık yapıyı küçük ve basit parçalara (sonlu elemanlara) ayırıp analitik şekilde çözümleyen sayısal metot, sonlu elemanlar analizidir. Fonksiyonun çözümü için bütün elemanlarına ayrılır ve her sonlu eleman için formül oluşturulur, daha sonra bu çözümler birleştiril, cismin tamamına uygulanır ¹⁶³. Sonlu elemanlar analizi, sayısal olarak akışkan, yapısal ve karmaşık fizik problemlerini çözemeye yardımcıdır ¹⁶⁴.

Bu süreç ilk olarak 1950'de havacılık ve uzay mühendisliğinde kullanıldı. İlk kullanıcılar Boeing, Bell Aerospace ve Rolls-Royce idi. Bu yöntemin ana fikrini oluşturan ilk makale 1956 yılında Turner ve arkadaşları tarafından yayınlanmıştır. 1970'li yıllarda teknolojinin daha da gelişmesiyle birlikte olgunlaşan yöntem, günümüzde makine mühendisliği, elektrik, uçak yapımı, akışkanlar mekaniği, nükleer tıp, ortopedi, kalp damar cerrahisi ve kozmetik cerrahi gibi çeşitli mühendislik disiplinlerinde kullanılmaktadır.

Sonlu eleman gerilme analizi üzerine diş hekimliğinde ilk çalışma Ledley ve Huang (1968) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada matematiksel modeli çıkarılan bir dişe çeşitli yönlerde kuvvetler uygulanmış ve bu kuvvetlerin dişi destekleyen kemik dokuda oluşturduğu gerilmeler incelenmiştir. Yöntemin modern anlamda diş hekimliğinde uygulanması; Farah ve ark. yaptıkları çalışmayla başlamış, yakın zamanda implant, tedavi ve protez alanlarında da kullanılmıştır ¹⁶⁵. Lineer veya nonlinear metotlar uygulanabilir. Lineer metotlar çok daha az karmaşıktır ve plastik deformasyonu hesaba katmaz. Nonlinear metotlar plastik deformasyonu hesaba katar ve materyalin kırılma kapasitesini test edebilir. Her cisim üzerine gelen yük miktarı belli bir sınırı aştıktan sonra kalıcı olarak biçim değişikliğine uğrar, yani plastik deformasyon gösterir. Lineer metotlar plastik deformasyonları göstermemesine rağmen proprioseptif refleks dişler ve çevresindeki dokuların plastik deformasyonuna sebep olabilecek

yüklerin tek bir seferde oluşmasını önler. Bu yüzden diş hekimliği alanında meydana gelecek kuvvetler çoğu zaman elastik deformasyon sınırları dahilindedir ¹⁵⁷.

Sonlu elemanlar stres analizinde kullanılan eleman çeşitleri ¹⁴²;

- Çizgisel Elemanlar (Line elements): Bir doğru üzerinde düğüm noktalarının birleştirilmesiyle oluşur.
- İki Boyutlu Katı Elemanlar (2D Solid Elements): Düğümler üçgen veya dörtgen biçiminde birleştirilir. Belirli kalınlıktadır. En az 3 düğüm noktasına sahiptir.
- Üç Boyutlu Katı Elemanlar (3D Solid Elements): Dört veya altı yüzeyli olan üç boyutlu elemanlardır.

Bu prosedür üç aşamada gerçekleştirilir.

- Ön aşama: Önce bir geometrik model oluşturun, ardından bu modeli elemanlara bölerek bir ağ modeli oluşturun. Meshleme, sonlu elemanlar analizinin temelidir ve eleman koordinatları ve düğüm noktaları bu süreç aracılığıyla belirlenir. Mesh edildiğinde, elemanların yapısı basittir ve bitişik elemanlar arasında boşluk yoktur. Bitişik elemanlar, fiziksel sürekliliği sağlamak için düğümlerle bağlanır ¹⁶⁶.
- Analiz aşaması: Bu aşamada analiz edilecek elemanların cinsi, koordinatları, cismin geometrisinin elemanlara bölünmesi, model için belirlenen malzeme özellikleri, modele uygulanan kuvvetler, elemanların yönleri gibi veriler analiz edilir. Kuvvetler, sınır koşulları ve analiz türü bilgisayar ortamına aktarılabilir ¹⁶⁷.
- Sonuç aşaması: Elde edilen sonuçlar grafikler, model görüntüleri ve tablolar kullanılarak yorumlanır ¹⁶⁸.

Sonlu elemanlar gerilme analizi yöntemlerinin diğer gerilme analizi yöntemlerine göre avantajları incelenirken,

- Yazılım sayesinde karmaşık geometrilere sahip nesneler gerçekçi bir şekilde modellenebilir.

- Gerekli sayıda farklı malzeme verisi ile çeşitli modeller oluşturulabilir.
 - Her eleman, orijinal yapının mekanik özelliklerini koruduğu için, oluşturulan matematiksel modelin her bölgesinden ayrıntılı nicel veriler elde edilebilir.
 - Uygulanan kuvvetin büyüklüğü ve yönü kontrol edilebilir.
 - İncelenen parçanın gerilim dağılımı ve yer değiştirmesi ayrıntılı olarak incelenebilir.
 - Sonlu elemanlar, farklı boyutları ve şekilleri sayesinde farklı geometrileri temsil edebilir.
 - Hem statik hem de dinamik analiz yapılabilir.
 - Nedensel sorunları çözer.
 - İnvaziv olmayan bir tekniktir.
 - Kısa sürede sonuç alınabilir ¹⁶⁹⁻¹⁷³.
- Sonlu elemanlar yönteminin dezavantajları şunlardır;
- Sonlu elemanlar yöntemi, kullanılan temel teori kadar doğrudur. Malzeme ve eleman verilerinin fiziksel verilerinin alınmasında ve bilgisayara yüklenmesinde yapılacak hatalar sonuçları olumsuz etkileyecektir.
 - Daha küçük eleman boyutları daha doğru sonuçlar verir. Daha küçük öge boyutları daha fazla bilgisayar belleği gerektirir. Bu nedenle sınırlı bilgisayar belleği, çözümün hassasiyetini sınırlar ¹⁶⁵.
 - Elde edilen sonuçların doğruluğu, girilen verilerin doğruluğuna bağlıdır.
 - Bölge ayrıklaştırması, kabul edilebilir ve doğru sonuçlar elde etmek için deneyim gerektirir ¹⁷⁴.

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalına bruksizm şikayetiyle başvuran bir hastanın tomografi verileri kullanılarak ve Tinus Technologies ortak çalışmasıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma öncesinde Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Etik Kurulu'ndan 2023/01 karar numarası ile bilimsel ve etik yönden onay alındı. (Ek.1.) Gönüllü katılımcıya Etik Kurul'un talebine uygun olarak hazırlanan, yapılacak çalışmanın amacını, içeriğini, araştırmada kullanılacak yöntemi ve araştırmacının çalışma süresince sorumluluğunu da belirten 'Asgari Bilgilendirilmiş Gönüllü Olur Formu' okutulmuş imzalı onayı alınmıştır.

3.1. Hasta Seçimi

3.1.1. Gönüllülerin Araştırmaya Dahil Olma Kriterleri

Kliniğimize başvuran hastalardan;

- Herhangi bir şekilde zarar görmemiş pre-operatif ve post-operatif panoramik radyografisi ve tomografi verileri arşivlerde mevcut olan,
- Sınıf 1 oklüzal kapanışa sahip, diş eksikliği bulunmayan,
- 25-40 yaş aralığında bruksizm rahatsızlığı olan kadın hasta çalışmaya dahil edilmiştir.

3.1.2. Gönüllülerin Araştırmaya Dahil Olmama Kriterleri

Kliniğimize başvuran hastalardan;

- Dijital ölçüm yapılamayacak seviyede zarar görmüş veya artefakt içeren radyografi ve tomografi verileri
- Radyografik ve klinik bilgilerine ulaşılamayan hastalar,
- Bruksizm hastası olmayan bireyler,
- Tek veya çift taraflı diş eksiklikleri mevcut bireyler,

- Sınıf 2 ve Sınıf 3 çene ilişkisine sahip hastalar ve
- Eklemleri tutan (ör. Romatoid artrit gibi) sistemik bir rahatsızlığı mevcut olan hastalar çalışma dışında tutulmuştur.

Gerçek hayatta hastadan hastaya değişiklik gösterebilecek birçok parametreler mevcutken bu çalışmada bilgisayar ortamında hedefe yönelik olarak daha yalın ve tüm şartlar için sabit kabul edilen parametrelere yer verilmiştir. Oluşturulan çalışma düzeneği, farklı modelleri simülasyon ortamında birbirleri ile karşılaştırmak için uygundur.

Modellemede modern tıp ve mühendislik biliminin sunduğu araçlardan yararlanılırken, simülasyonda detaylı sayısal değerler veren üç boyutlu sonlu elemanlar gerilme analizi yönteminden faydalanıldı.

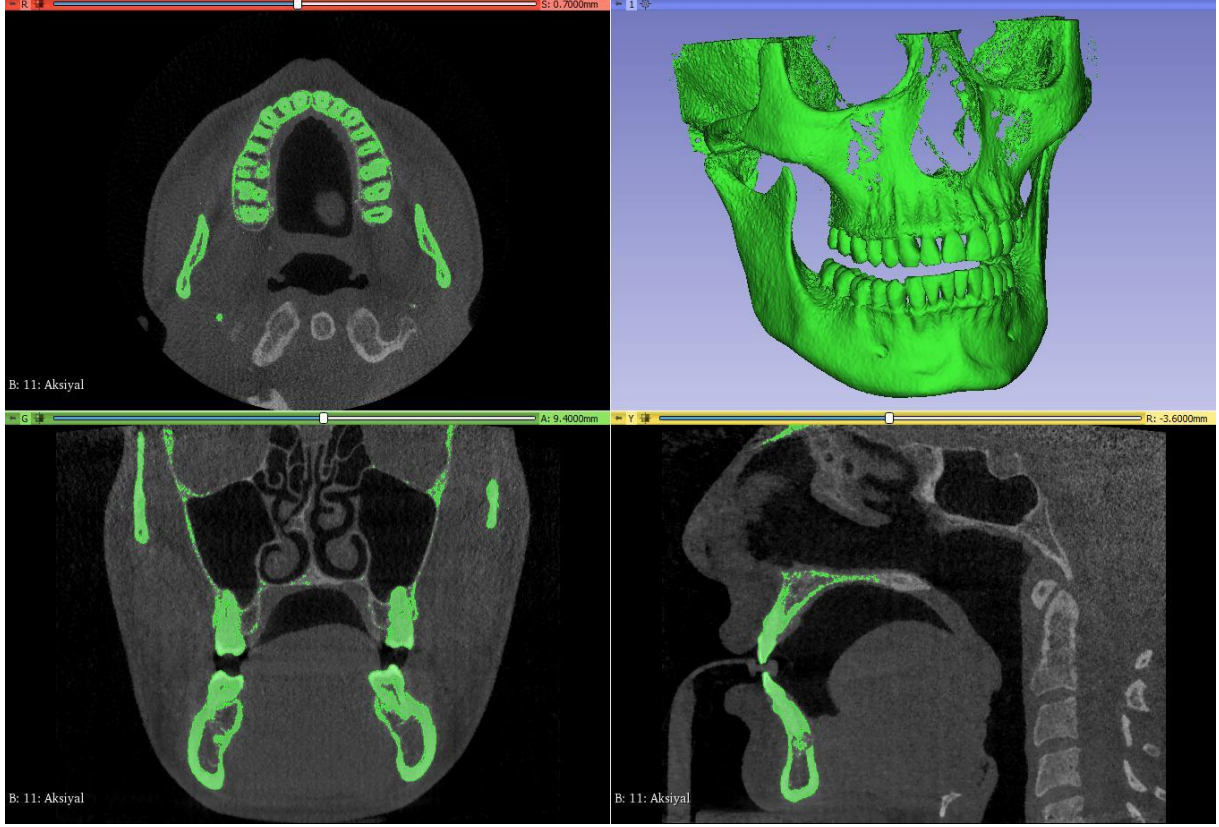
Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bruksizm vakalarında uygun tedavi seçimi ile temporomandibular eklem prognozunun iyileştirilmesi, disk rezopsiyonlarının azaltılması ve bruksizme bağlı diş aşınmalarının ve diş kayıplarının önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Böylece geri dönüşümü olmayan ve ancak ileri cerrahiyle düzeltilebilecek eklem harabiyetinin telafisine yönelik maliyetli tedavilerin gerekliliğinin azaltılabileceği ve ulusal ekonomiye katkı sağlanabileceği düşünülmektedir.

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 kemik .stl modelin elde edilmesi 3DSlicer yazılımında yapılmıştır.

Tersine mühendislik ve üç boyutlu CAD faaliyetleri ANSYS Spaceclaim yazılımı, katı modellerin analiz ortamına uygun hale getirilmesi ve optimize ağ örgüsünün oluşturulması

faaliyetleri ANSYS Workbench yazılımı ile gerçekleştirilmiştir; oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin çözümü için LS-DYNA çözücüsü kullanılmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Tomografi verisinden sonlu elemanlar modeli eldesi

3.2. Kortikal Kemik, Trabekuler Kemik ve Temporomandibuler Eklem

Modellenmesi

Çalışmada kullanılan mandibular kemik ve maksiler 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 BT verisi 3DSlicer yazılımında uygun Hounsfield değerlerine göre ayrıştırılarak, segmentasyon işlemi ile üç boyutlu modele dönüştürülmüştür. Model .stl formatında dışa aktarılmıştır.

Üç boyutlu model ANSYS Spaceclaim yazılımına aktarılmıştır ve burada mandibular ve maksiller kemik geometrisi oluşturulmuştur.

Mandibular kemiklere içe doğru 1,5 mm offset verilerek kortikal kemik elde edilmiştir (Şekil 14).

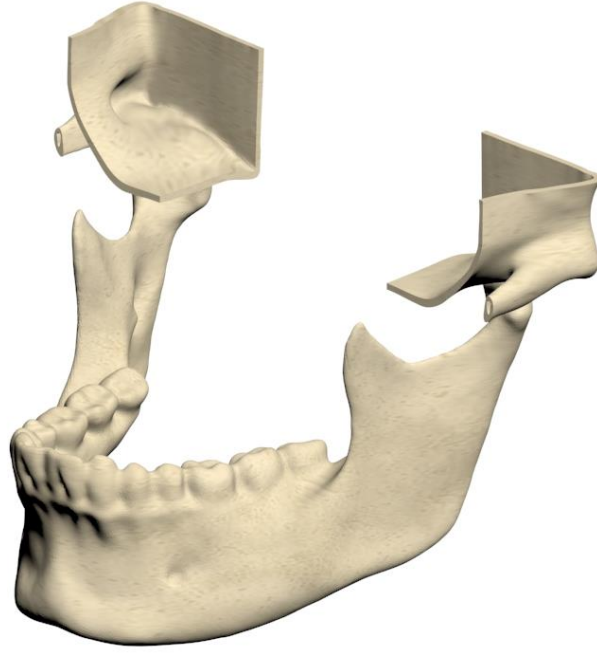
Kortikal kemiklerin iç yüzeyleri referans alınarak trabeküler kemikler elde edilmiştir (Şekil 15).

Oluşturulan kemik modellerine uygun olarak; glenoid fossaya oturan 0,41 mm kalınlığında temporal kartilaj ve kondile oturan 1,15 mm kalınlığında kondiler kartilaj ANSYS Spaceclaim yazılımında modellenmiştir ¹⁷⁵.

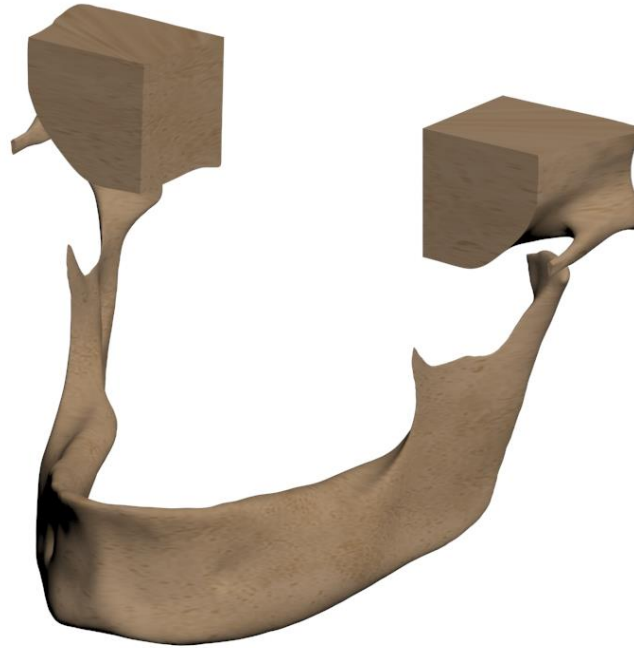
Temporal ve kondiler kartilajlar arasına, intermediate'ta (ortada) 1 mm ve anterior ile posteriorda ortalama 2 – 3 mm kalınlığında olan artiküler disk; hem anteriora deplase olacak şekilde hem de normal konumda olacak şekilde ANSYS Spaceclaim yazılımında modellenmiştir ^{176, 177} (Şekil 16, Şekil 17).

Kapsül ise temporal ve kondiler kartilaj arasına, artiküler diskin etrafını saracak şekilde ANSYS Spaceclaim yazılımında modellenmiştir.

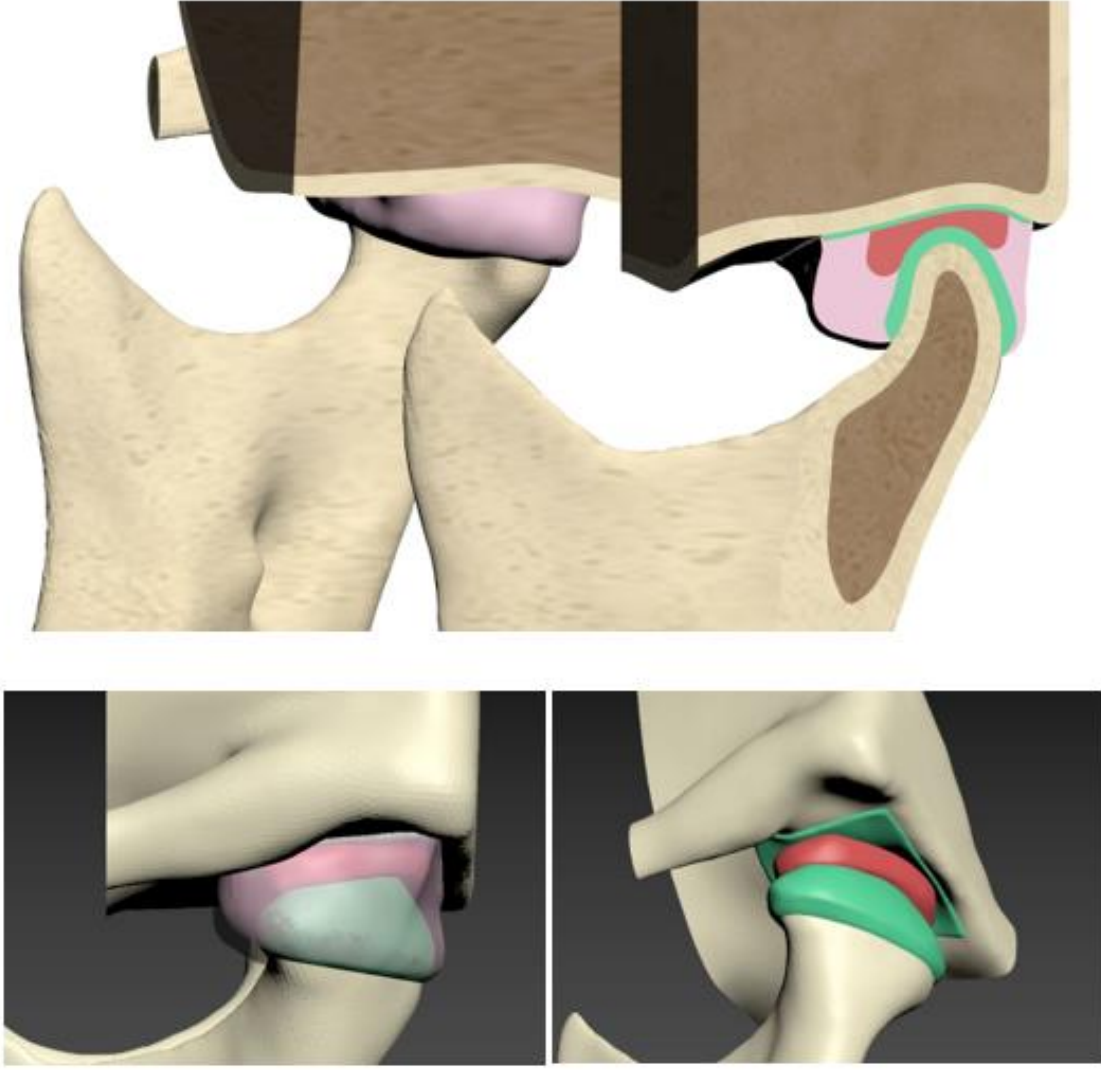
Modeller arasında kuvvet aktarımının sağlanabilmesi için ANSYS Workbench yazılımında mesh yapıları arasında uyumlandırma işlemi yapılmıştır.



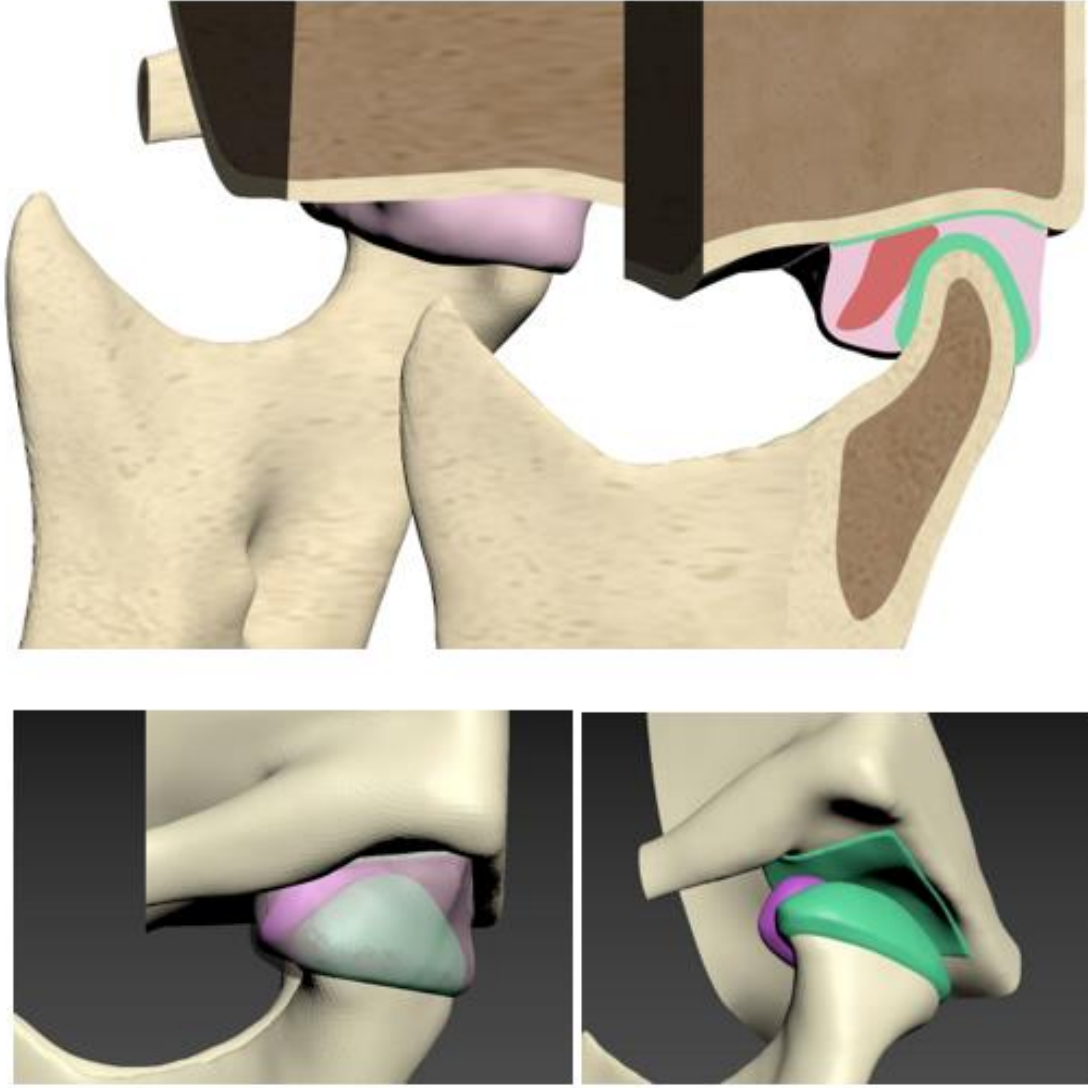
Şekil 14. Kortikal Kemik



Şekil 15. Trabeküler Kemik



Şekil 16. Normal Konumda Disk



Şekil 17. Anterior Disk

3.3. Modeller

Bu çalışmada çift taraflı normal temporomandibular eklem ilişkisine sahip çene modeli, tek taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modeli ve çift taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modeli olmak üzere toplamda üç model oluşturulmuştur (Tablo 2).

Bu üç model için; çenenin kapatılmasında görevli masseter, masseter-temporal ve masseter-temporal-lateral pterygoid kaslarına botoks uygulaması ile ısırma plağı uygulaması yapılmıştır.

Tablo 2. Modeller

Model A Çift taraflı normal temporomandibular eklem ilişkisine sahip çene modeli (ham model)

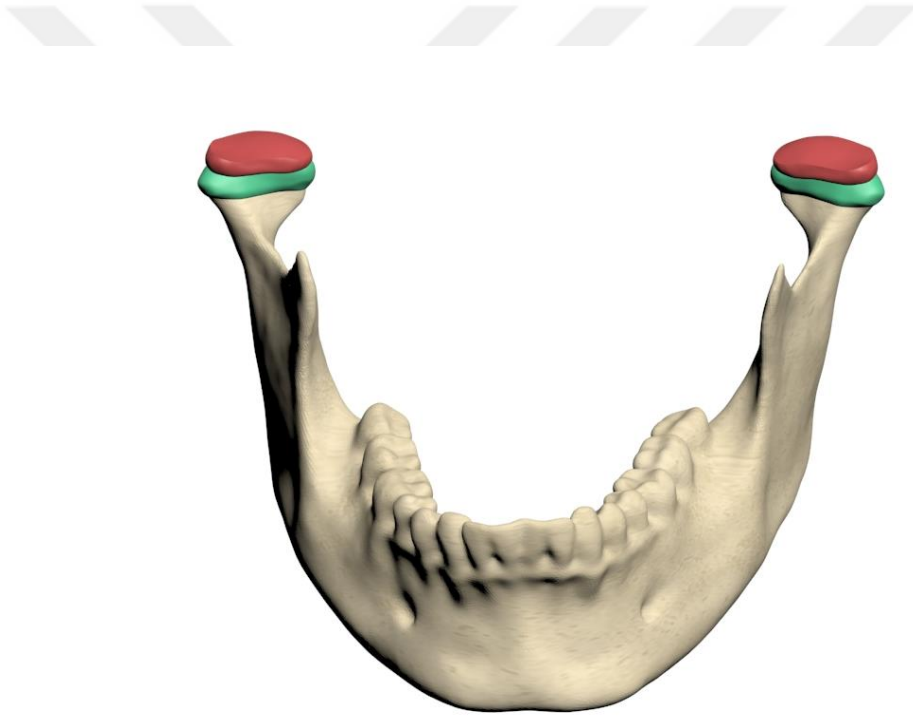
* sağ ve sol disk normal konumda (Şekil 18)

Model B Tek taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modeli

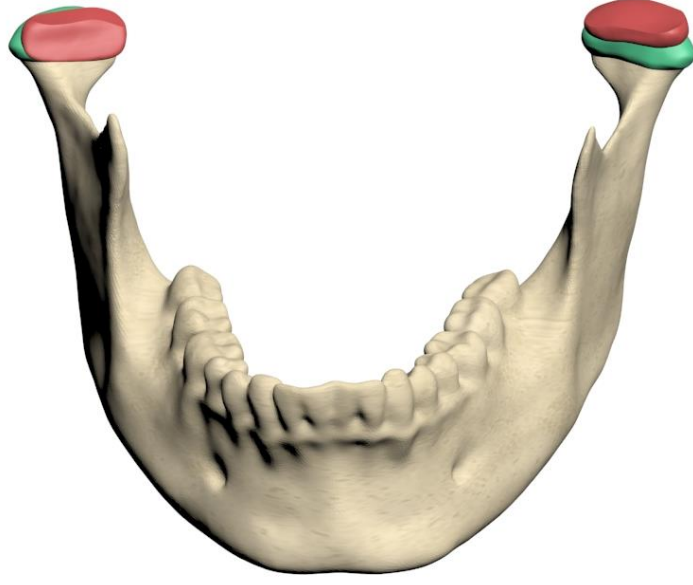
* sağ disk anterior deplasmana sahip ve sol disk normal konumda (Şekil 19)

Model C Çift taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modeli

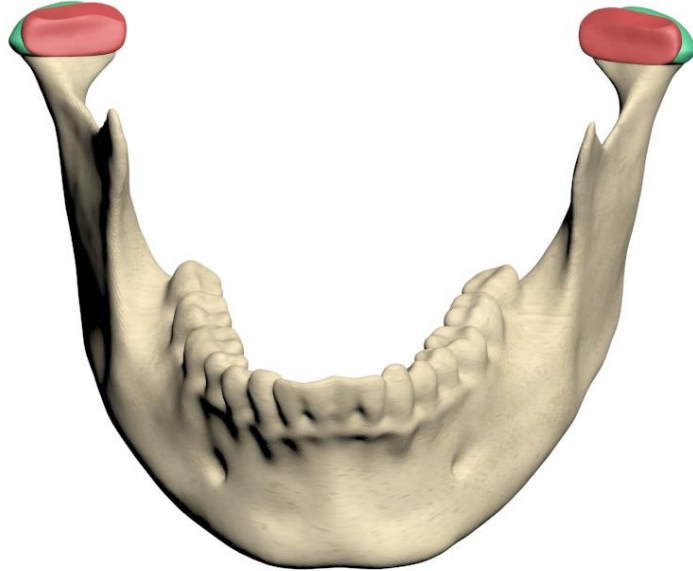
* sağ ve sol disk anterior deplasmana sahip (Şekil 20)



Şekil 18. Model A



Şekil 19. Model B

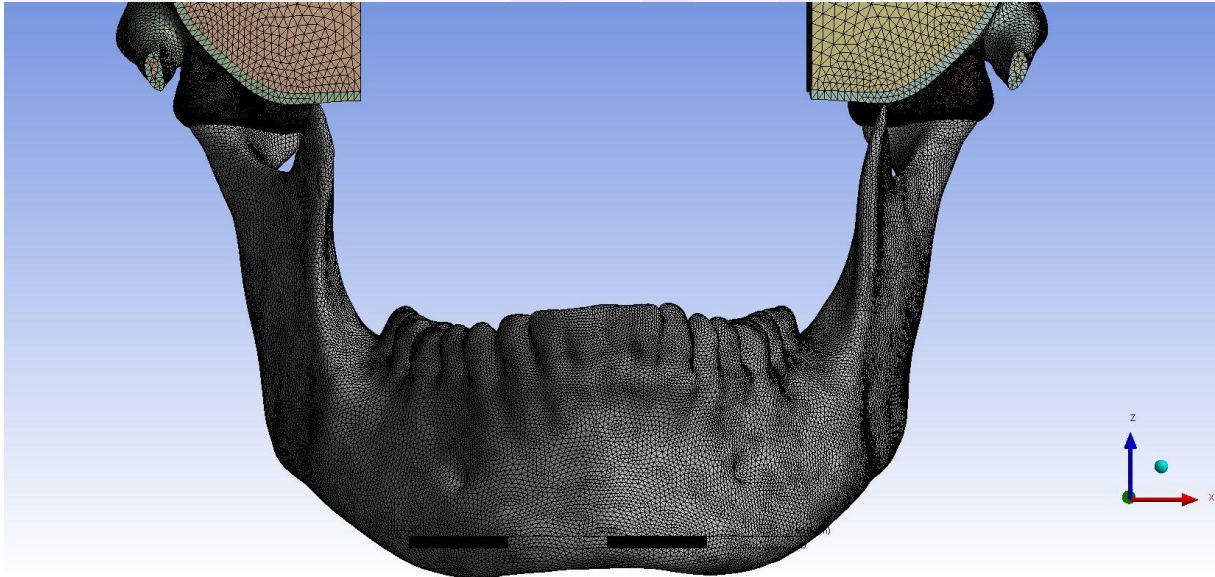


Şekil 20. Model C

3.4. Matematiksel Modellerin Elde Edilmesi

Matematiksel modeller, geometrik modellerin mesh adı verilen basit ve küçük parçalara bölünmesiyle oluşmaktadır. ANSYS Spaceclaim yazılımında modelleme işlemi tamamlandıktan sonra modeller ANSYS Workbench yazılımıyla matematiksel olarak oluşturulup analize hazır hale getirilmiştir.

Analizlerin yapılabilmesi için, ANSYS Workbench yazılımında hazırlanan matematiksel modeller LS-DYNA çözücüsüne aktarılmıştır (Şekil 21)



Şekil 21. Matematiksel model eldesi

3.5. Malzeme Tanımları

Analizlerde elastik modül ve poisson oranı verilen malzemelerin doğrusal (lineer) malzeme özellikleri kullanılmıştır. Analizi yapılan modelin malzeme özellikleri sayısal olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan artiküler fossa, kondil, eklem diski ve eklem kartilajına ait malzeme özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Malzeme özellikleri

Malzeme	Elastik Modül [MPa]	Poisson Oranı	Referans
Kortikal Kemik	13700	0.3	178
Trabeküler Kemik	1370	0.3	178
Artiküler Disk	44.1	0.4	179
Bilaminar Zon, Eklem Kapsülü	0.49	0.49	179, 180
Kartilaj	0.79	0.49	179, 181

3.6. Çalışma Gruplarının Dizaynı

Çalışmada bruksizimli erişkin tek bir bireyin tomografi verilerinden yararlanılarak üç boyutlu çene modeli hazırlandı, elde edilen model sadece iskelet yapıları yansıttığı için temporomandibular eklem diski, masseter, temporal (anterior, posterior), lateral pterygoid (superior, inferior), medial pterygoid kaslar anatomi atlasından yararlanılarak modellendi.

Normal temporomandibular eklem ilişkisine ek olarak tek ve çift taraflı anterior disk deplasmanı varlığında bruksizm hastası bireyin çiğneme kas kuvvetleri yükleme senaryosu tanımlanmıştır.

Çift taraflı normal temporomandibular eklem ilişkisine sahip çene modeli ham model olarak oluşturulmuştur. Ham modele ek olarak, anterior disk yer değiştirmesinin doğasına göre uygun olacak şekilde disk yer değiştirmesini simüle etmek için iki model daha sonlu elemanlar yazılımı ile tasarlanmıştır. Modellerin birinde tek taraflı, diğerinde çift taraflı olmak üzere, arka bant ile bilaminar bölge arasındaki sınırın, kondilin fonksiyonel yüzeyinin en ön noktasına karşı öne yerleştirildiği redüksiyonsuz anterior disk yer değiştirmesini temsil edecek şekilde oluşturulmuştur.

Her üç modelde de dişlerin sıkılması esnasında, masseter, temporal ve lateral pterygoid kaslarına botulinum toksin uygulamasının ve ısırma plağının kullanımının artiküler fossa, mandibula kondili ve TME diskinde oluşturduğu gerilmelerin dağılımlarının incelenmesi, bu işlemler ile ilgili bilgiler sunulması ve bu bilgilerin karşılaştırılması amaçlandı.

Çalışma grupları ise modeller ve tedavi yöntemleri üzerinden eşleştirilerek oluşturulmuştur. Üç farklı model ve yedi farklı tedavi yöntemi eşleştirilerek 21 farklı yükleme senaryosuyla gruplar oluşturulmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. Çalışma Gruplarının Oluşturulması

GRUPLAR	YÜKLEME SENARYOLARI
A0	Çift taraflı normal temporomandibular ilişkiye sahip çene modeli, herhangi bir botoks ya da ısırma plağı uygulaması yok
A1	Çift taraflı normal temporomandibular ilişkiye sahip çene modelinde masseter kasa botoks uygulaması
A2	Çift taraflı normal temporomandibular ilişkiye sahip çene modelinde masseter ve temporal kaslara botoks uygulaması
A3	Çift taraflı normal temporomandibular ilişkiye sahip çene modelinde masseter, temporal ve lateral pterygoid kaslara botoks uygulaması
A4	Çift taraflı normal temporomandibular ilişkiye sahip çene modelinde ısırma plağının kullanıldığı durum
A5	Çift taraflı normal temporomandibular ilişkiye sahip çene modelinde masseter kasa botoks uygulaması ile ısırma plağının kullanıldığı durum
A6	Çift taraflı normal temporomandibular ilişkiye sahip çene modelinde masseter ve temporal kaslara botoks uygulaması ile ısırma plağının kullanıldığı durum
A7	Çift taraflı normal temporomandibular ilişkiye sahip çene modelinde masseter, temporal ve lateral pterygoid kaslara botoks uygulamasıyla birlikte ısırma plağının kullanıldığı durum
B0	Tek taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modeli, herhangi bir botoks ya da ısırma plağı uygulaması yok

B1	Tek taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde masseter kasa botoks uygulaması
B2	Tek taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde masseter ve temporal kaslara botoks uygulaması
B3	Tek taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde masseter, temporal ve lateral pterygoid kaslara botoks uygulaması
B4	Tek taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde ısırma plağının kullanıldığı durum
B5	Tek taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde masseter kasa botoks uygulaması ile ısırma plağının kullanıldığı durum
B6	Tek taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde masseter ve temporal kaslara botoks uygulaması ile ısırma plağının kullanıldığı durum
B7	Tek taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde masseter, temporal ve lateral pterygoid kaslara botoks uygulamasıyla birlikte ısırma plağının kullanıldığı durum
C0	Çift taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde herhangi bir botoks ya da ısırma plağı uygulaması yok
C1	Çift taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde masseter kasa botoks uygulaması
C2	Çift taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde masseter ve temporal kaslara botoks uygulaması
C3	Çift taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde masseter, temporal ve lateral pterygoid kaslara botoks uygulaması
C4	Çift taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde ısırma plağının kullanıldığı durum
C5	Çift taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde masseter kasa botoks uygulaması ile ısırma plağının kullanıldığı durum
C6	Tek taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde masseter ve temporal kaslara botoks uygulaması ile ısırma plağının kullanıldığı durum
C7	Çift taraflı anterior disk deplasmanına sahip çene modelinde masseter, temporal ve lateral pterygoid kaslara botoks uygulamasıyla birlikte ısırma plağının kullanıldığı durum

3.7. Yükleme Senaryoları ve Sınır Koşulları

Cismin yer değiştirmesinin ve üzerindeki streslerin sınırlarını ifade eden sınır koşulları; materyalin nerede sabitleştirildiğini ve üzerine gelen yükün hangi kısımdan uygulandığını gösterir. Cismin analizi, yapılırken hangi kısma yük uygulanması planlanıyorsa sınır koşulları da buna göre oluşturulur ¹⁸² (Şekil 24).

Bruksizm tedavisinde temporal kas, masseter kas ve LPK için botoks ve ısırma plağı kullanımı önerilir. Botoksun etkinliği için tavsiye edilen dozlar kasın hacmine ve kütlesine göre değişir. Temporal kas için 5–25 UI, masseter kas için 15–40 UI ve lateral pterygoid kas için 10–45 UI'dir ^{125, 128, 129}.

Çalışmada masseter (süperfisyal ve derin), temporal (anterior, orta, posterior), lateral pterygoid (superior, inferior), medial pterygoid ve anterior digastrik kasları modellenmiştir. BoNT uygulaması sonrası kas kuvvetinin %20 den %40'a kadar azaldığını bildiren çalışmalar referans alınarak, masseter, temporal ve lateral pterygoid kaslarına botoks uygulanması sonucu kas kuvvet değerleri %40 azalacak şekilde kuvvetler değerlendirilmiştir ¹⁸³⁻¹⁸⁸.

1.Kuvvet Senaryosu için; masseter kas kuvvetleri %40 oranında azaltılıp geri kalan kas kuvvetleri tabloda belirtilen yön ve büyüklüklerde uygulanmıştır.

2. Kuvvet Senaryosu için; masseter ve temporal kas kuvvetleri %40 oranında azaltılıp geri kalan kas kuvvetleri tabloda belirtilen yön ve büyüklüklerde uygulanmıştır.

3.Kuvvet Senaryosu için; masseter, temporal ve lateral pterygoid kas kuvvetleri %40 oranında azaltılıp geri kalan kas kuvvetleri tabloda belirtilen yön ve büyüklüklerde uygulanmıştır.

4.Kuvvet Senaryosu için; ısırma plağı ile beraber tüm kas kuvvetleri aşağıdaki tabloda belirtilen yön ve büyüklükler baz alınarak uygulanmıştır.

5.Kuvvet Senaryosu için; ısırma plağı ile beraber masseter kas kuvvetleri %40 oranında azaltılıp geri kalan kas kuvvetleri tabloda belirtilen yön ve büyüklüklerde uygulanmıştır.

6. Kuvvet Senaryosu için; ısırma plağı ile beraber masseter ve temporal kas kuvvetleri %40 oranında azaltılıp geri kalan kas kuvvetleri tabloda belirtilen yön ve büyüklüklerde uygulanmıştır.

7.Kuvvet Senaryosu için; ısırma plağı ile beraber masseter, temporal ve lateral pterygoid kas kuvvetleri %40 oranında azaltılıp geri kalan kas kuvvetleri Tablo 5’de belirtilen yön ve büyüklüklerde uygulanmıştır (Şekil 22, Şekil 23)

Splintsiz ve splintli modellerin simülasyonu molar diş üzerinde tanımlanan aşağıda belirtilen yay sabiti ile simüle edilmiştir:

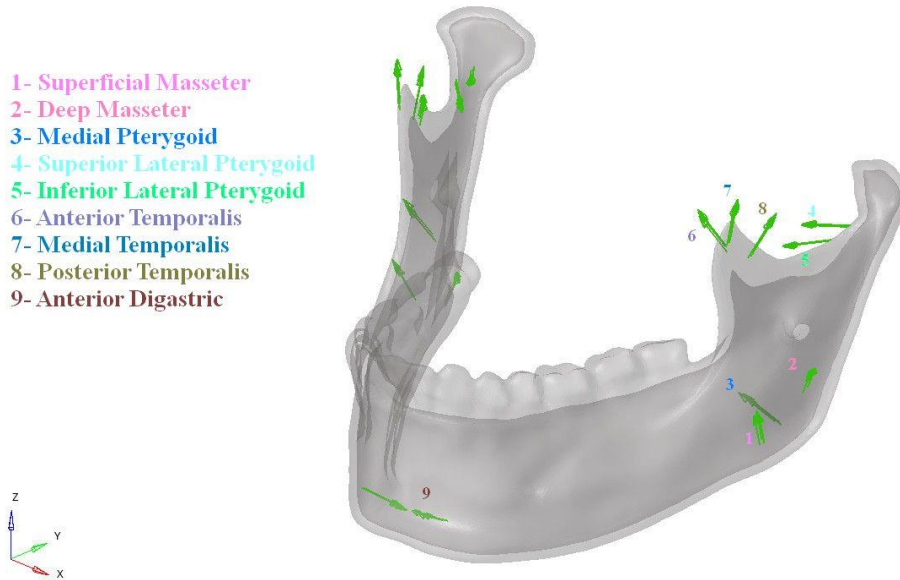
1. Splint yokken, ağzın kapanması (2mm) ve çenenin bastırmasıyla dişlerin sıkışması, yay katsayısı = 45 N/mm

2. Splint varken çenenin bastırmasıyla dişlerin sıkılması, yay katsayısı = 330 N/mm

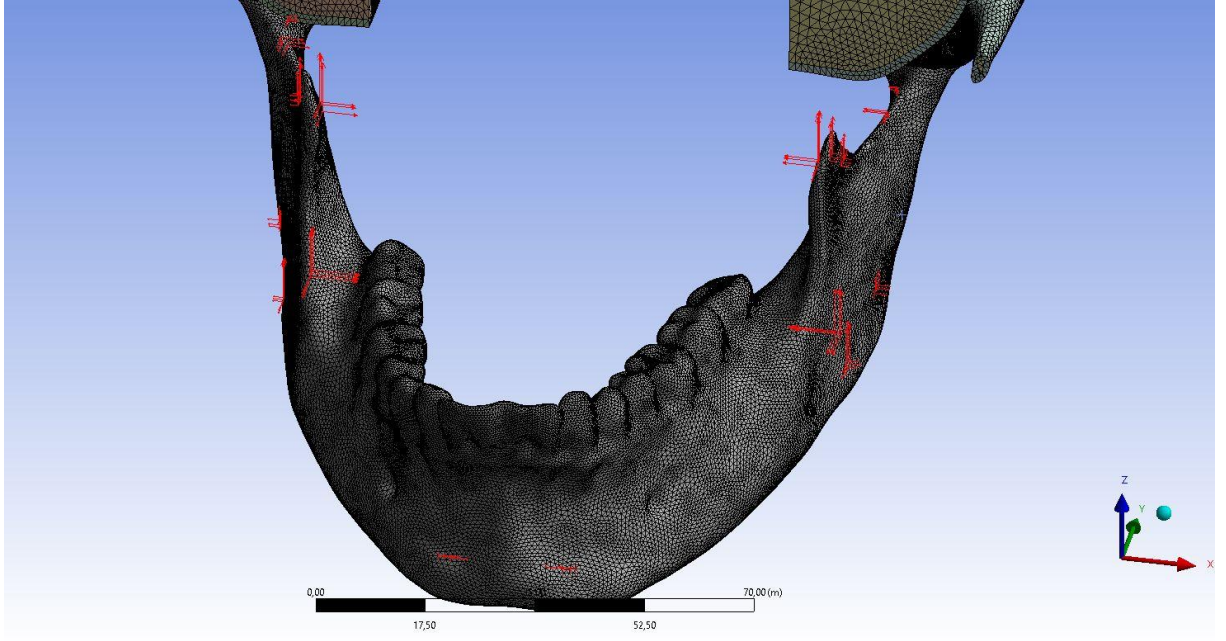
Yay katsayıları çenenin basmasıyla dişlerin en çok yaklaşık 0.3 mm sıkışacağı bilindiğinden bu değer de hesaba katılmıştır (Şekil 25) ¹⁸⁹.

Tablo 5. Kaslar kuvvet değerleri ve yönleri ^{190, 191}

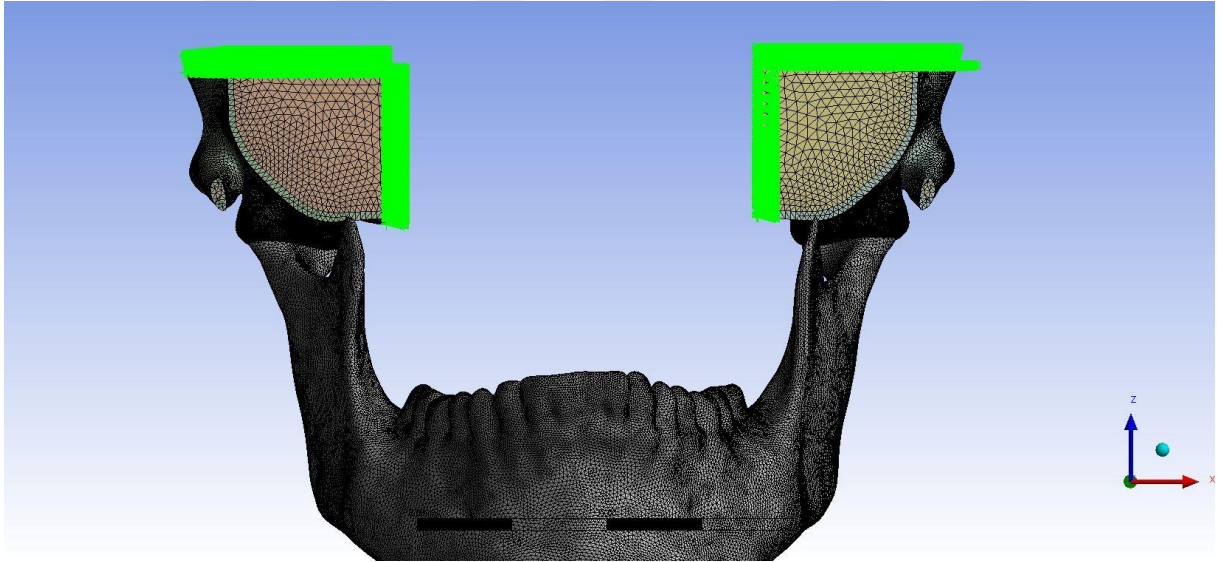
Kaslar	Toplam Kuvvet (N)	Cos-x	Cos-y	Cos-z
Süperfisyal masseter kas	190.4	0.207	0.884	0.419
Derin masseter kas	81.6	0.546	0.758	0.358
Medial pterygoid kas	174.8	0.486	0.791	0.373
Superior lateral pterygoid kas	28.7	0.761	0.074	0.645
İnferior lateral pterygoid kas	66.9	0.630	0.174	0.757
Anterior temporal kas	158	0.149	0.988	0.044
Medial temporal kas	95.6	0.222	0.837	0.500
Posterior temporal kas	75.6	0.208	0.474	0.855
Anterior digastrik kas	40	0.244	0.237	0.940



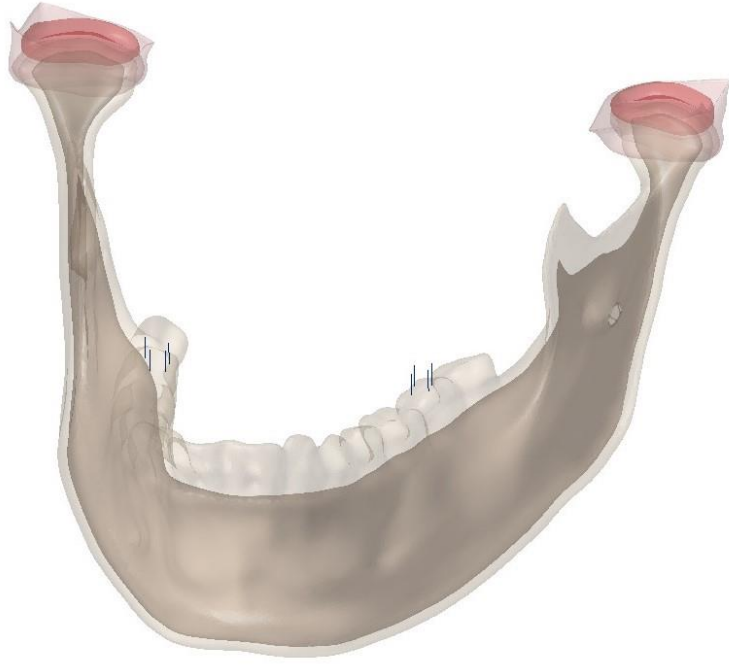
Şekil 22. Çene kaslarının uygulama noktaları ve yönleri ¹⁸⁹



Şekil 23. Kas Kuvvetleri



Şekil 24. Sınır Koşulları



Şekil 25. Yay Sabiti

3.8. Kuantitatif Model Bilgileri

Oluşturulan üç analiz modeli için bilgiler Tablo 6’da paylaşılmıştır.

Tablo 6. Düğümler ve elemanlar

	<i>Total # of Nodes</i>	<i>Total # of Elements</i>
Model A	445456	1692392
Model B	451634	1714983
Model C	455748	1728500

3.9. Sistemlerin Birleştirilmesi ve Parçalar Arası Bağlantı Durumu

Oluşturulan matematiksel modellerde analizlerin yapılabilmesi ve doğru sonuçların elde edilebilmesi için, modeli oluşturan parçaların birbirleriyle olan yüzey ilişkilerinin analiz programında tanımlanması gerekmektedir.

Artiküler disk – kondiler kartilaj ve artiküler disk – temporal kartilaj ara yüzlerinde $\mu=0.001$ katsayılı nonlinear sürtünme kontağı tanımlanmıştır ¹⁹².

Geri kalan tüm temas bölgeleri arasında ise BONDED tipi kontak tanımı gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım parçaların hareketi esnasında tam korelasyon ile hareket ettiği varsayımına dayanmaktadır.

3.10. Sonlu Elemanlar Analizi Programıyla Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sonlu elemanlar stres analizi modellerinde her bir elemanın iç çözümlemesinden tüm materyalin çözümlemesine kadar bütün işlemler bilgisayar programlarıyla yapılır. Analiz sonucunda gerilim değerleri matematiksel hesaplamalarla elde edilir ve bu değerlerin varyansı yoktur. Bu yüzden bu değerlerin istatistiksel analizi yapılamamaktadır. Buradaki önemli nokta, kesit görüntülerindeki gerilim miktarının ve dağılımlarının dikkatli bir biçimde değerlendirilmesi ve yorumlanmasıdır ¹⁵⁷.

Von Mises stres dağılımları renklendirme yöntemiyle gösterilmiştir. Stres değerleri için bir skala oluşturulmuş, her renk farklı bir stres değer aralığını belirtmiştir. Yorumlamalar bu skala üzerinde renk yoğunluğuna göre yapılmıştır. Bu şekilde gruplar arası değişiklikler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Modellerdeki stres değerleri maksimum von Mises değerleri belirlenerek kaydedilmiştir. Analiz sonucu elde edilen verilerin varyansı olmadığından bulguların istatistiksel analizi yapılmamıştır ¹⁸⁴.

Oluşturulan modellerde dişlerin sıkılması sırasında çiğneme kaslarına uygulanan BTX ve ısırma plağı kullanımının sonucunda, TME'nin glenoid fossasında, mandibular kondilinde ve eklem diskinde oluşan von Mises gerilme dağılımları incelenmiştir.

4. BULGULAR

Yedi farklı durum için üç farklı model (A, B ve C modelleri) üzerinde analizler yapılmıştır (Tablo 7, Tablo 8, Tablo 9).

Bruksizm hastasında oluşan von Mises stres dağılımı normal çift taraflı normal temporomandibular eklem ilişkisindeki model A0, tek taraflı anterior deplasman ve çift taraflı anterior deplasman olan modeller sırasıyla B0 ve C0'da gösterilmiştir.

Masseter kasına botoks uygulaması sonucu oluşan von Mises stres dağılımı çift taraflı normal temporomandibular eklem ilişkisinde Model A1'de, tek taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde Model B1'de ve çift taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde model C1'de gösterilmiştir.

Masseter ve temporal kaslarına botoks uygulaması sonucu oluşan von Mises stres dağılımı çift taraflı normal temporomandibular eklem ilişkisinde Model A2, tek taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde B2 ve çift taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde C2'te gösterilmiştir.

Masseter, temporal ve lateral pterygoid kaslarına botoks uygulaması sonucu oluşan von Mises stres dağılımı çift taraflı normal Temporomandibular eklem ilişkisinde Model A3, tek taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde B3 ve çift taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde C3'te gösterilmiştir.

Isırma plağının kullanıldığı durumda oluşan von Mises stres dağılımı çift taraflı normal temporomandibular eklem ilişkisinde Model A4, tek taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde B4 ve çift taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde C4'te gösterilmiştir.

Masseter kasa botoks uygulaması ve ısırma plağı kullanılan durumda oluşan von Mises stres dağılımı çift taraflı normal temporomandibular eklem ilişkisinde Model A5, tek taraflı

anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde B5 ve çift taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde C5’te gösterilmiştir.

Masseter ve temporal kaslarına botoks uygulamasıyla birlikte ısırma plağı kullanılan durumda oluşan von Mises stres dağılımı çift taraflı normal Temporomandibular eklem ilişkisinde Model A6, tek taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde B6 ve çift taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde C6 da gösterilmiştir.

Masseter, temporal ve lateral pterygoid kaslara botoks uygulaması ile ısırma plağının birlikte kullanıldığı durumda oluşan von Mises stres dağılımı çift taraflı normal temporomandibular eklem ilişkisinde Model A7, tek taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde B7 ve çift taraflı anterior deplasman olan temporomandibular eklem ilişkisinde C7’de gösterilmiştir.

Von Mises stres dağılımları şekillerde renklendirme yöntemi ile gösterilmektedir. Her renk farklı bir değeri belirtir. Bu değerler skala ile sol tarafında belirtilmiştir (Tablo 10, Tablo 11, Tablo 12).

Tablo 7. A modeli Von Mises stres değerleri

	Kondil		Disk		Glenoid Fossa	
	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
A0	10.073	10.609	11.726	12.233	5.540	5.960
A1	8.770	9.004	9.819	10.093	4.751	4.866
A2	7.296	7.584	8.162	8.526	3.959	4.099
A3	6.974	7.260	7.854	8.242	3.776	3.903
A4	8.580	9.001	9.947	10.363	4.715	4.831
A5	7.326	7.601	8.178	8.458	4.042	4.136
A6	6.107	6.417	6.826	7.183	3.377	3.490
A7	5.808	6.127	6.615	6.954	3.207	3.310

*MPa

Tablo 8. B modeli Von Mises stres değerleri

	Kondil		Disk		Glenoid Fossa	
	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
B0	10.116	11.502	12.011	22.222	5.605	7.082
B1	8.828	9.803	9.964	18.430	4.804	5.717
B2	7.343	8.245	8.294	15.585	4.004	5.012
B3	7.017	7.867	8.039	14.956	3.819	4.814
B4	8.639	9.014	10.208	17.399	4.769	5.552
B5	7.377	7.679	8.417	14.398	4.086	4.611
B6	6.148	6.474	7.022	12.221	3.413	3.923
B7	5.864	6.152	6.799	11.699	3.242	3.760

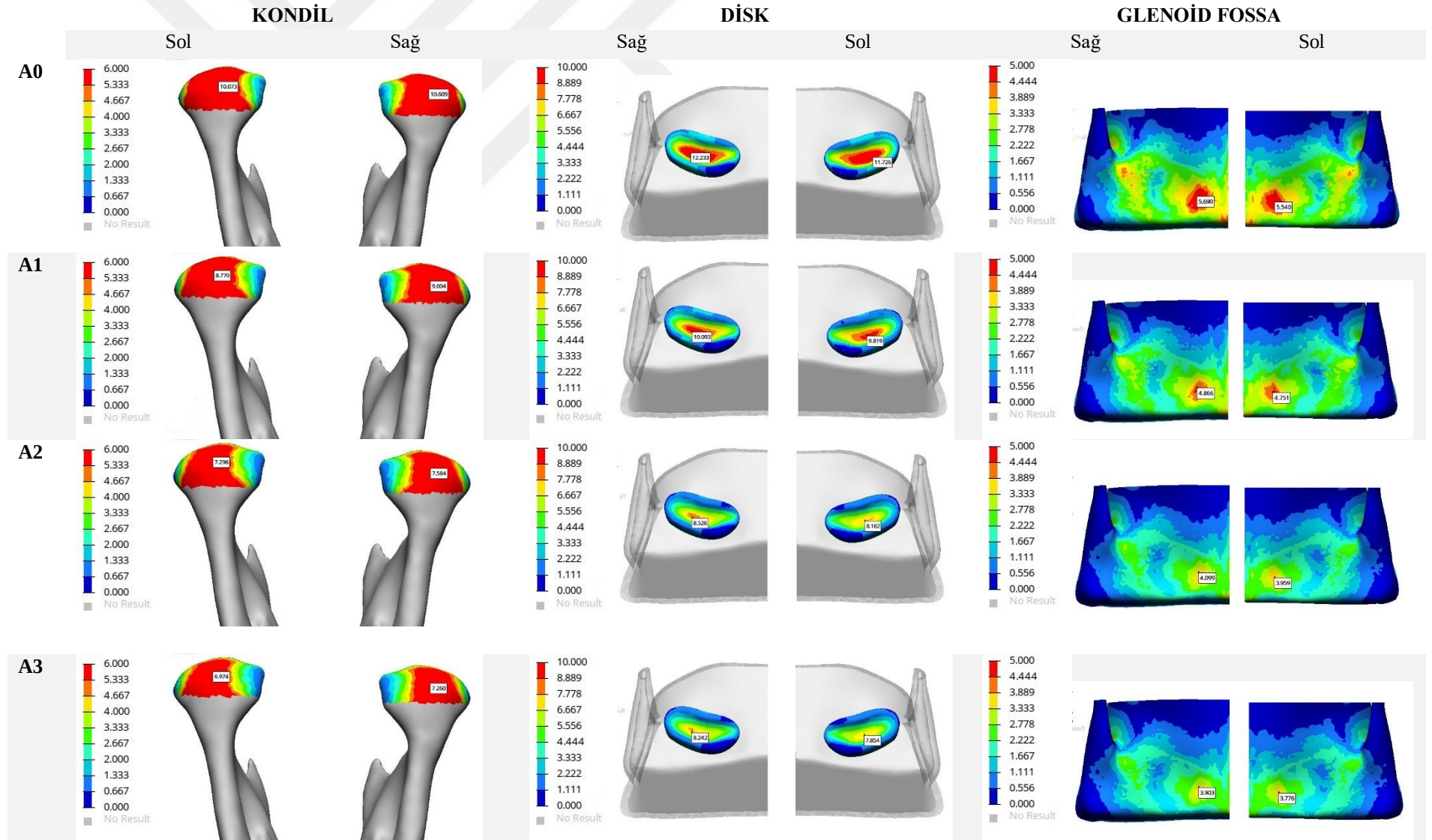
*MPa

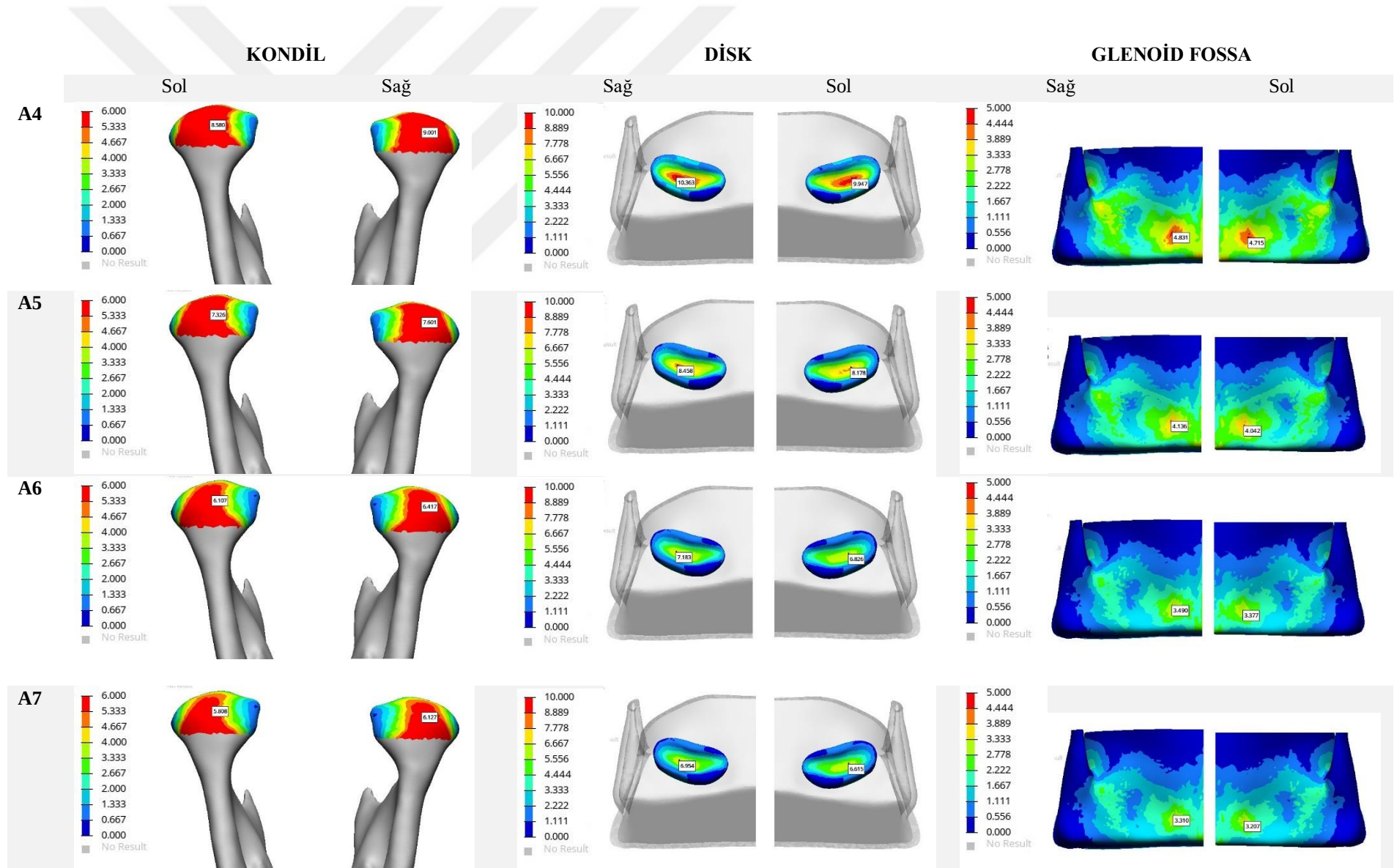
Tablo 9. C modeli Von Mises stres değerleri

	Kondil		Disk		Glenoid Fossa	
	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ
C0	11.016	11.513	20.496	22.392	7.016	7.317
C1	9.555	9.812	16.144	18.608	5.961	6.125
C2	7.942	8.292	13.403	15.732	4.970	5.184
C3	7.558	7.868	12.860	15.091	4.758	4.977
C4	8.654	9.053	15.195	17.639	5.522	5.738
C5	7.425	7.720	12.704	14.619	4.681	4.775
C6	6.192	6.507	10.574	12.404	3.919	4.059
C7	5.865	6.180	10.118	11.871	3.735	3.889

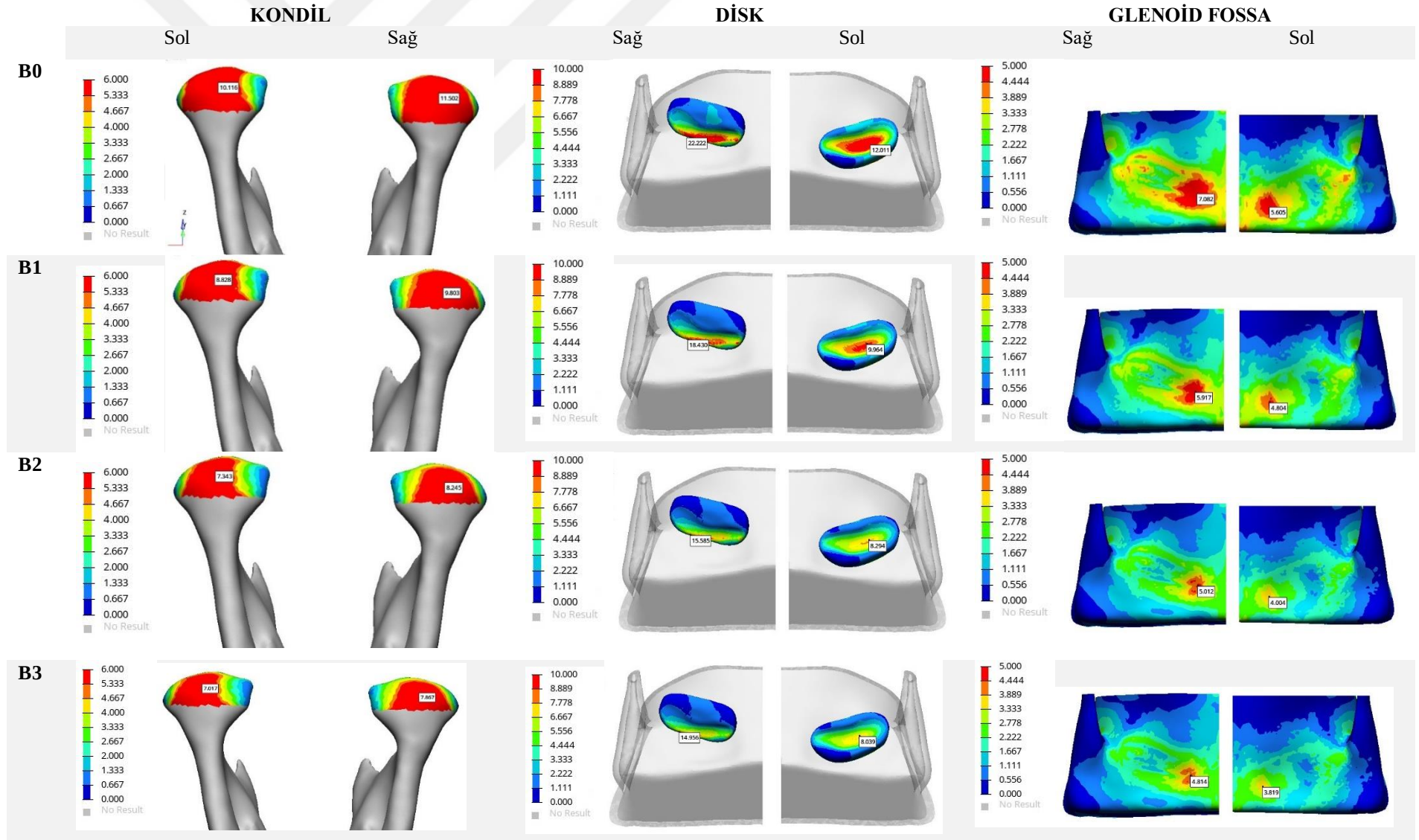
*MPa

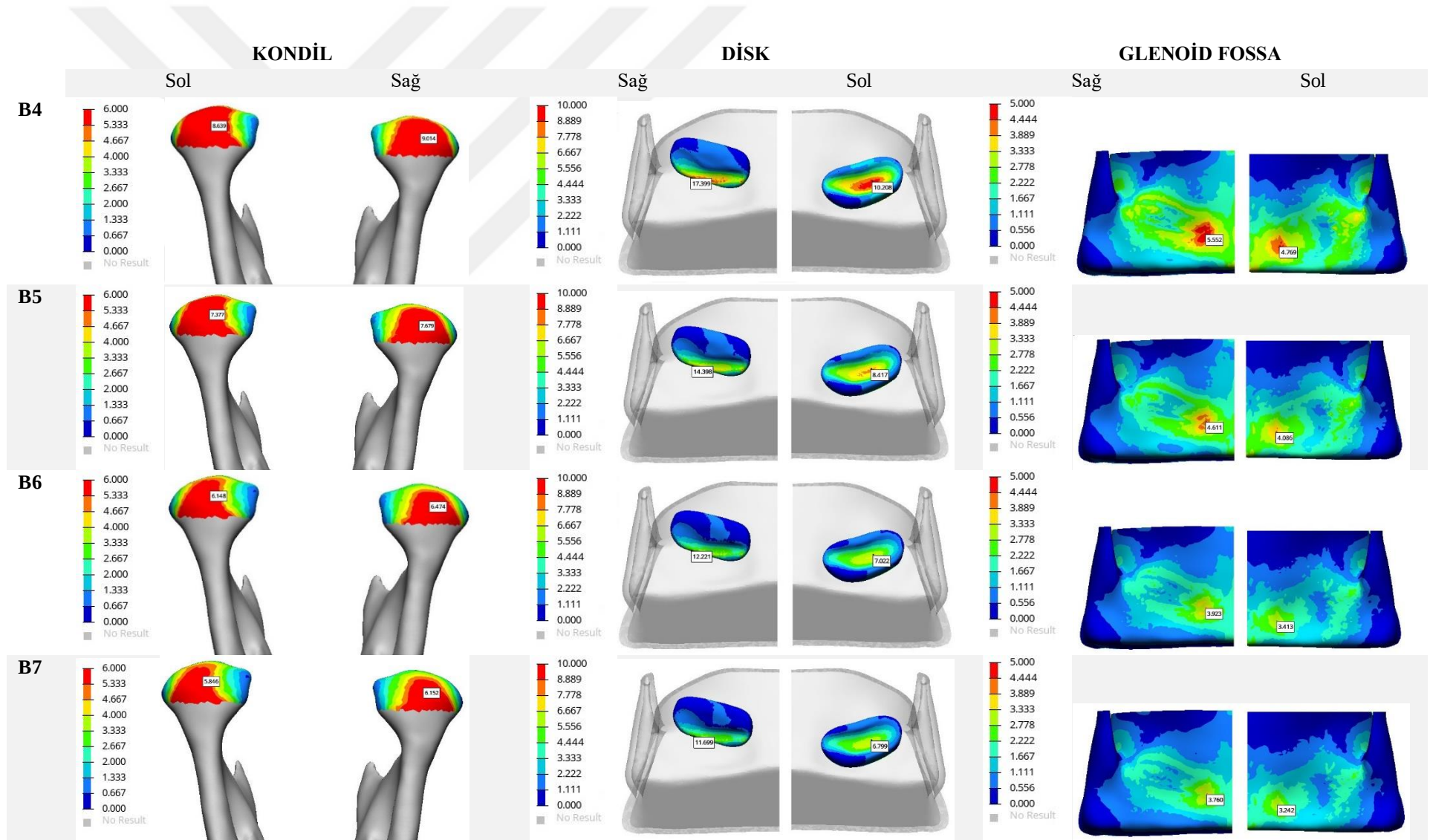
Tablo 10. A modeli Von Mises stres dağılımı



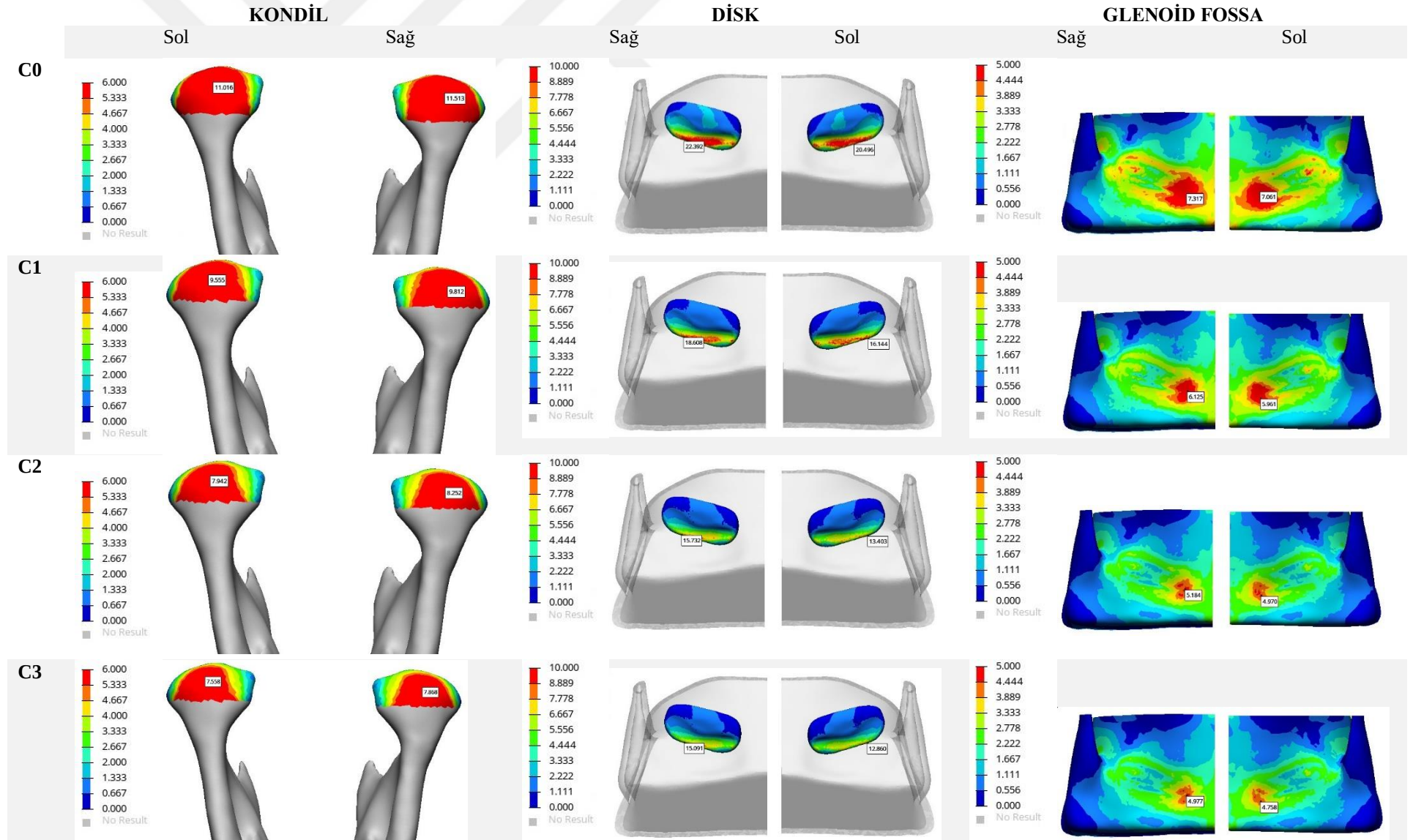


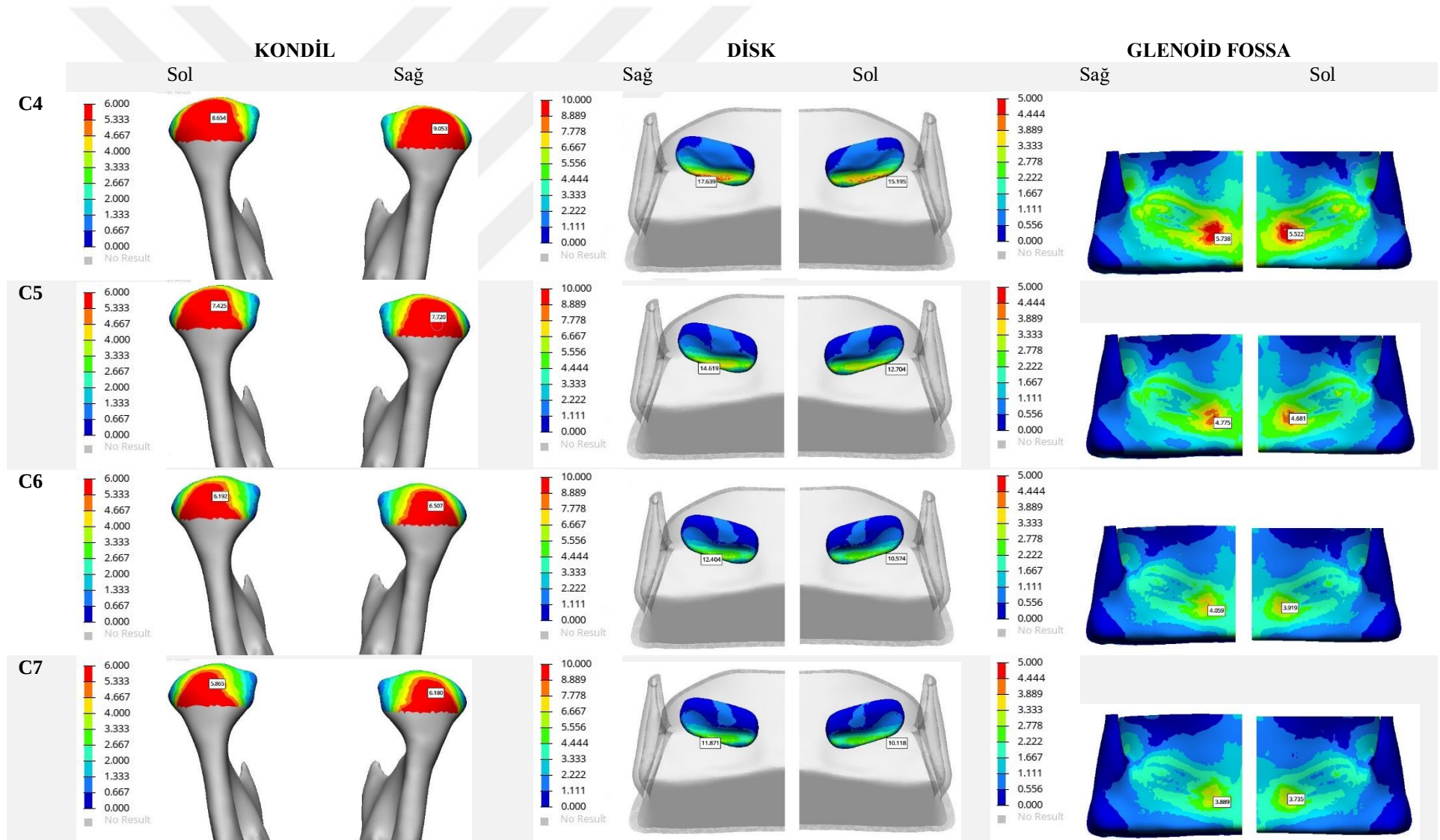
Tablo 11. B modeli Von Mises stres dağılımı





Tablo 12. C modeli Von Mises stres dağılımı





Çalışmamızın sonunda bruksizimli hastalarda, normal temporomandibular eklem ilişkisinde ve tek taraflı ve çift taraflı deplasman varlığında stresin fossada posterior ve medial bölgelerde yoğun olduğunu, en yüksek değerin ise fossanın posteriomedialinde olduğu gözlemlendi. (Grup A0 5.5/5.6 MPa, Grup B0 7.0/5.6 MPa, Grup C0 7.3/7.0 MPa). Kondilde ise kondil başının olduğu yerde merkezden çevreye yayılan stres yoğunlaşması izlendi (Grup A0, 10.0/10.6 MPa, Grup B0 10.11/11.5, Grup C0 11.0/11.5 MPa). Diskte en yüksek stres değerleri deplasman olmayan taraflar için intermediate zonda gözlemlenirken, deplasman olan taraflarda posteriora izlenmiştir. (Grup A0 12.2/11.7 MPa, Grup B0 22.2/12.0 MPa, Grup C0 22.3/20.4 MPa).

Normal temporomandibular eklem ilişkisindeki eklemde ve tek taraflı veya çift taraflı anterior deplasmanın olduğu modellerde masseter kasına botoks uygulaması sonucu oluşan stres bölgeleri değişmemiştir ancak stres yoğunluğunda kondil, disk ve fossada azalma tespit edilmiştir (Fossa için; Grup A1 4.8/4.7 MPa, Grup B1 5.9/4.8 MPa, Grup C1 6.1/5.9 MPa).

Normal temporomandibular eklem ilişkisindeki eklemde ve tek taraflı veya çift taraflı anterior deplasmanın olduğu modellerde masseter ve temporal kas botoks uygulaması sonucu oluşan stres bölgeleri değişmemiştir, ancak modellerde streslerde azalma gözlenmiştir. Disk için grup A2’de (8.5/8.1 MPa), A0’a göre yaklaşık %30 azalma (-3.7/-3.6 MPa), grup B2’de (15.5/8.2 MPa) B0’a göre deplasman olan tarafta %30 azalma (-6.7 MPa), deplasman olmayan tarafta %31 azalma (-3.8 MPa), grup C2’de (15.7/13.4 MPa) C0’a göre sağ tarafta %30 azalma (-6.6 MPa), sol tarafta %34 azalma (-7.0 MPa) izlenmiştir. Fossaada oluşan stresler grup A2’de 4.0/3.9 MPa, grup B2’de 5.0/4.0 MPa, grup C2’de 5.1/4.9 MPa şeklindeyken, kondilde oluşan stresler grup A2’de 7.2/7.5 MPa, grup B2’de 7.3/8.2 MPa, grup C2’de 7.9/8.2 MPa şeklindedir.

Masseter, temporal ve lateral pterygoid kaslarına botoks uygulamasıyla streslerde azalma gözlenirken, kondil için stresler A ve B modellerinde orta bölgede, C modellerinde intermediate zonun bir miktar posterioruna doğru yoğunlaşmış, disk ve fossa için stresin

yoğunlaştığı bölgeler değişmemiştir. Disk için grup A3'te (8.2/7.8 MPa) stresler A0 modeline göre %33 (-4.0/-3.9 MPa) oranında, grup B3'te (14.9/8.0 MPa) stresler B0 modelinde deplasman olan tarafta yaklaşık %33 (-7.3 MPa) oranında azalırken, deplasman olmayan tarafta da %33 (-4.0 MPa) oranında azalmıştır, grup C3'te (15.0/ 12.8 MPa) stresler C0 modeline göre yaklaşık %33 (-7.3 MPa) ve %37 (-7.6 MPa) oranında azalmıştır. Kondildeki stresler grup A3'te 6.9/7.2 MPa, grup B3'te 7.0/7.8 MPa, grup C3'te 7.5/7.8 MPa bulunmuştur. Fossadaki stresler ise grup A3'te 3.9/3.7 MPa, grup B3'te 4.8/3.8 MPa, grup C3'te 4.9/4.7 MPa değerinde izlenmiştir.

Botoks uygulanan gruplarda kondil, disk ve fossadaki ortalama en düşük stresler modellerde masseter-temporal-lateral pterygoid botoksun beraber uygulandığı gruplarda (C3>B3>A3) tespit edilmiştir.

Normal temporomandibular eklem ilişkisindeki eklem modelinde ısırma plağı kullanımda stresler kondilin ve diskin orta bölgesinde, glenoid fossanın posteriomedialinde yoğunlaşmış şekilde izlenmiştir. Diskin anteriora deplase olduğu taraflarda stresler kondil için orta bölgenin bir miktar posterioruna kayarken, disk için posterior bölgede toplanmıştır, glenoid fossa için stresin yoğunlaştığı bölgeler değişmemiştir. Grup A4'te disk için stres değerleri 10.3/9.9 MPa, kondil için 8.5/9.0 MPa, fossa için 4.8/4.7 MPa değerindedir. Grup B4'te deplasman olan tarafta olmayan tarafa göre daha yüksek stres değerleri izlenmiştir. Disk için stres değerleri 17.3/10.2 MPa, kondil için 8.6/9.0 MPa, fossa için 5.5/4.7 MPa şeklindedir. Grup C4'te disk için 17.6/15.1 MPa, kondil için 8.6/9.0 MPa ve fossa için 5.7/5.5 MPa stres değerleri izlenmiştir.

Masseter botoks uygulamasının yapıldığı ve aynı anda ısırma plağının kullanıldığı durumlarda stresler sadece ısırma plağı kullanıldığı duruma göre azalmış, stresin yoğunlaştığı alanlar A ve B modellerinde kondil için değişmemiş, C modelinde bir miktar posteriora kaymıştır. Disk ve glenoid fossa için stresin yoğunlaştığı bölgeler ise aynı kalmıştır. Grup A5

için diskte stresler 8.4/8.1 MPa, kondilde stresler 7.3/7.6 MPa, fossada 4.1/4.0 MPa şeklinde; grup B5 için stresler diskte 14.3/8.4 MPa, kondilde 7.3/7.6 MPa, fossada 4.6/4.0 MPa şeklinde ve grup C5 için ise stresler disk için 14.6/12.7 MPa, kondil için 7.4/7.7 MPa, fossa için 4.7/4.6 MPa şeklindedir.

Normal temporomandibular eklem ilişkisindeki eklemde ve tek taraflı ve çift taraflı anterior deplasmanın olduğu modellerde masseter-temporal kas botoks uygulaması ve ısırma plağının birlikte kullanıldığı durum sonucu oluşan stres bölgeleri kondil için her üç modelde de orta ve posteriorda yoğunlaşmış, ancak disk ve fossa için stresin yoğunlaştığı bölgeler değişmemiştir. Modellerde streslerde azalma gözlenmiştir. Disk için grup A6'da (7.1/6.8 MPa), A0'a göre %41 azalma (-5.1/-4.9 MPa), grup B6'da (12.2/7.0) B0'a göre deplasman olan tarafta %45 azalma (-10.0 MPa), deplasman olmayan tarafta %41 (-5.0 MPa), grup C6'da (12.4/10.5 MPa) C0'a göre sağ tarafta %44 (-9.9 MPa), sol tarafta %48 (-9.9 MPa) azalma izlenmiştir. Fosaada oluşan stresler grup A6'da 3.4/3.3 MPa, grup B6'da 3.9/3.4 MPa, grup C6'da 4.0/3.9 MPa şeklindeyken, kondilde oluşan stresler grup A6'da 6.1/6.4 MPa, grup B6'da 6.1/6.4 MPa, grup C6'da 6.1/6.5 MPa şeklindedir.

Masseter-temporal-lateral pterygoid kasa botoks uygulamasıyla beraber ısırma plağının kullanıldığı durumda diğer bütün gruplara göre stresler en az düzeydedir. A7, B7 ve C7 için diskte stres değerleri sırasıyla 6.9/6.6, 11.6/6.7, 11.8/10.1 MPa, kondilde stres değerleri her üç grup için aynı 5.8/6.1 MPa ve glenoid fossa için stres değerleri 3.3/3.2, 3.7/3.2, 3.8/3.7 MPa şeklinde izlenmiştir.

5. TARTIŞMA

Temporomandibular eklem, insan vücudunda yük taşıyan sistemlerden biridir. Ergenlik döneminde TME yapılarının gelişimi ve erişkinde kondiler remodelasyon için optimal mekanik yükleme büyük önem taşır ¹⁷⁹.

Temporomandibular eklem fonksiyonuna ilişkin yetimizi geliştirmek için normal ve patolojik durumlarda oluşturulmuş insan TME'sinin doğrulanmış üç boyutlu sonlu eleman modelleri, değerli tanı araçlarıdır. Travma ve parafonksiyonel aktivitelerle oluşan doku hasarı için eşik değerlerinin belirleyicileri olarak hizmet ederler ¹⁵⁷.

Çalışmada tomografi verileri kullanılarak oluşturulan modelde TME'nin farklı disk kondil ilişkilerinde çiğneme kaslarına (masseter- temporal-lateral pterygoid) uygulanan BTX ve ısırma plağı kullanımının farklı konfigürasyonlarının disk, kondil ve glenoid fossada meydana getirdiği streslerin (von Mises stres değerleri) sonlu elemanlar analizi yöntemi ile tespit edilip ve sonuçların karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlandı. Bu şekilde gruplar arasında oluşan stres değerlerindeki farklılıklar incelenerek, klinikte çeşitli vakalarda en uygun planlamayı yapmak için ön bilgi olanağı sunacaktır. Kullanılan sonlu elemanlar analizi yöntemleriyle canlı dokuların niteliklerinin tam olarak modele aktarmanın mümkün olmadığı bilinmesine rağmen bu çalışma elde edilen sayısal değerlerin karşılaştırmalı olarak incelenmesine imkan verir.

Temporomandibular eklem, maksillofasiyal bölgedeki tek hareketli eklemdir ve üstte temporal kemik eklem yüzeyi, altta mandibulanın kondiler çıkıntısı, aradaki eklem diski ve çevresindeki eklem kapsülünden oluşur. TMD'ler, ağız ve çene-yüz bölgesinde en sık görülen hastalıklar arasındadır. Yapılan araştırmalar sonucu eklem diskinin ve kondilin; boyutu ile morfolojisinin TMD'lerin ortaya çıkmasında güçlü bir etken olduğu tespit edilmiştir. Artiküler diskin boyutu ve morfolojisindeki değişiklikler, ADD'yle; kondilin boyutu ve morfolojisindeki değişiklikler ise osteoartrit başlangıcıyla ilişkilidir ¹⁹³. Bağış ve ark. yaptığı bir çalışmada

TMD'lerin genç ve orta yaşlı kadınlar arasında, özellikle 20 ila 30 yaşlar arasında yüksek bir prevalansa sahip olduğunu bildirmiştir ¹⁹⁴. Bu nedenle bulgularımızın gerçeğe yakın sonuçlar vermesi için çalışmamızda ham model oluşturulurken kliniğimize başvurmuş 29 yaşında bruksist bir kadın hastanın tomografi verileri kullanılmıştır.

Katranji ve ark. dişli ve dişsiz insan kadavralarında üç farklı bölgeden ölçtükleri mandibulanın kortikal kemik kalınlıkları dişsiz çene için 1.36 mm – 2.06 mm, dişli çene için 0.99 mm – 1.98 mm arasında bulmuşlar ve posterior bölgede anterior bölgeden daha kalın olduğunu rapor etmişlerdir ¹⁹⁵. He ve ark. 2022 yılında yaptıkları bir sonlu elemanlar çalışmasında ise ofset komutu ve boole işlemine dayalı olarak kortikal kemik elde etmek için mandibula 1.5 mm içe doğru kaydırılarak kortikal kemik elde edilmiştir ¹⁹⁶. Bu çalışmalara benzer olarak bruksizm hastasından elde ettiğimiz tomografi verisinde çeşitli bölgelerden yaptığımız ölçümlerde kortikal kemik ortalama 1.5 mm şeklinde oluşturulmuş, kortikal kemiğin iç yüzeyi referans alınarak trabeküler kemik modellenmiştir.

Mandibular kondil ve glenoid fossanın eklem yüzeylerinde kartilaj tabakası mevcuttur. Fibrokartilaj yapı fonksiyonel stres altında remodelizasyon ve rejenerasyon yeteneğine sahiptir ¹¹. Glenoid fossa üzerindeki kartilajın ortalama kalınlığı 0,07 ila 0,5 mm civarındadır ¹⁹⁷. Pullinger ve ark.'nın 1990 yılında yaptığı bir çalışmada kondillerin eklem yüzeylerinde ve artiküler fossa-eminens komplekslerinde fibrokartilaj katmanları simüle edilmiş, anatomik yapıya bağlı olarak kıkırdak tabakalarının kalınlığı, kondillerin tepelerinde ve eklem fossalarında 0,2 mm iken kondillerin ve temporal kemiklerinin ön yüzeylerinde 0,5 mm biçiminde oluşturulmuştur. ¹⁹⁸. Barrientos ve ark. 2020 yılında çiğneme sırasında TME'deki stresleri araştırmak için yaptıkları bir çalışmada ilgili eklem kıkırdaklarını modellemek için kondiler (1.15 mm) ve temporal (0.41 mm) kemik eklem yüzeylerini kaplayan iki tekdüze kalınlıkta katman oluşturulmuştur ¹⁷⁵. Jonsson ve ark. biri normal superior disk pozisyonunda on ikisi ADD'li olacak şekilde toplam 13 otopsi örneği inceledikleri bir çalışmada ise 0.13 mm

ve 0.92 mm arasında değişen kartilaj kalınlıkları tespit etmişlerdir ¹⁹⁹. Bu bağlamda, kondiler ve temporal kıkırdak için güvenilir biyomekanik standartların geliştirilmesi önemlidir. Bu amaçlara yönelik olarak çalışmamızda normal TME ilişkisinin yanında anterior disk deplasmanlı durum da incelenecek olduğundan kondiler ve temporal kıkırdağın biyomekanik özellikleri gözden geçirilmiş ve yapı-işlev korelasyonları için Barrientos'un çalışması örnek alınarak sonlu elemanlar analiz modeline dahil edilmiştir.

Diskin morfolojisi ise TMD'ler için son derece önemlidir. Okeson'a göre TME diski orta bölgede en ince, ön kenarda daha kalın ve arka sınırda en kalındır. Kondil, diskin orta bölgesi üzerinde eklem yapar ²⁰⁰. Tomografi verileri yumuşak doku ve kartilajları iyi yansıtmadığından çalışmamızda TME diskinin morfolojisini oluşturmak için MRG ve otopsi spesimenleri kullanılan araştırmalardan yararlanılmıştır.

Murakami ve Yoshida MRG yardımıyla disk şekillerini bikonkav, bikonveks, biplanar, hemikonveks ve huni benzeri şeklinde sınıflandırmışlar ve normal disk şeklinin bikonkav olduğunu belirtmişlerdir ^{201, 202}. Wajima ve ark. ise posterior bandın genişlemesinin redüksiyonsuz disk deplasmanında en çok görülen disk şekli olduğunu göstermişlerdir ²⁰³.

Luo ve ark. TME diskinin boyutunu ölçmek için MRG verileri kullanarak yaptığı bir çalışmada diskin anterior bandı, intermediate zonü ve arka bandının kalınlıkları sırasıyla $2,25 \pm 0,45$ mm, $1,02 \pm 0,25$ mm ve $2,15 \pm 0,64$ mm olarak belirlemiştir. Ayrıca artiküler diskin uzunluğu $9,15 \pm 1,10$ mm olarak ölçülmüştür ¹⁹³. Agrawal ve ark'nın kadavralar üzerinde TME artiküler diskinin morfometrik ölçümlerini yaptığı bir çalışmada ise hem erkeklerde hem de kadınlarda ortalama disk kalınlığı posteriomedial ve posteriolateral bölgede 1.4-2.0 mm arasında değişirken, anteriomedial ve anteriolateral bölgede 1,6-1,8 mm arasında olduğu gösterilmiştir. Diskin maksimum uzunluğu ön-arka boyutta 12-13 mm arasında değişirken, mediolateral boyutta 22 mm ölçülmüştür ²⁰⁴. Liu ve ark. sonlu elemanlar analizi ile yaptığı bir çalışmada diskin intermediate bölgesinin minimum kalınlığı yaklaşık 1 mm iken ön ve arka

bantların maksimum kalınlıkları sırasıyla 2 ve 3 mm olarak belirlemiştir ¹⁷⁷. Bu bilgiler ışığında diskin üç boyutlu modeli hazırlanırken anterior band/intermediate zon/posterior band kalınlık oranları sırasıyla 2-3 mm/1 mm/3 mm şeklinde planlanmıştır.

Temporomandibular eklemin iç düzensizliği (internal derangement), diskin mandibular kondil ve glenoid fossaya göre anormal konumsal ilişkisi olarak tanımlanır. Bunlar arasında ADD en yaygın bozukluktur, ancak menşei ve sonuçları hala belirsizdir. En sık rastlanan etiyolojik faktör travmadır; bruksizm ve diş sıkma gibi kas hiperaktiviteleri sonucu meydana gelebilir ¹¹.

Literatürde insan TME'sinin in vivo biyomekaniğini simüle etmek için iki boyutlu ve üç boyutlu modeller kullanılmıştır. Ancak bu makalelerin çoğu sağlıklı eklemler için sonuçlar bildirmiştir. Tanaka ve Palomar diskteki stres dağılımındaki iç düzensizliği olan ve olmayan denekler arasındaki farklılıkları lineer elastikiyet çerçevesi altında analiz etmiştir ^{180, 205, 206}. Bu yüzden bu çalışma ulaşabildiğimiz veriler dahilinde Tanaka ve Palomar'ın çalışmalarına benzer şekilde statik lineer analizler şeklinde yürütülmüştür. Çalışma, TME'nin hem normal disk-kondil-fossa ilişkisinde hem de ADD varlığında botoks ve ısırma plağı kullanıldığı durumlarda stres değişimlerini karşılaştırmalı değerlendiren başka bir çalışma bulunmadığından tasarlanmıştır.

Anterior disk deplasmanın doğasını kavrayabilmek için diskin glenoid fossa içindeki normal konumunun iyi belirlenmesi gerekir. Diskin kondil ve glenoid fossa arasındaki normal pozisyonunun tayini için pek çok farklı metot önerilmiştir. Bu metotlardan araştırmacılar arasında en fazla kabul edilen; diskin arka bandının kondil üzerinde saat 12 ($\pm$ 10 derece) konumunda oturması, diskin orta bölgesinin ise kondilin ön çıkıntısı ile artiküler eminensin arka kısmı arasında pozisyonlanmasıdır. Frontal düzlemde bakıldığında her iki kondil kutuplarından geçen ve sagittal düzleme çizilen tanjant çizgilerini aşmadan kondil üzerinde konumlanan disk, normal konumlanmış diskin pozisyonudur ²⁰⁷⁻²⁰⁹.

Yoshida diskin normal pozisyonunu sınıflandırırken, kondilin vertikal aksından geçen çizgi ile bilaminar zonu dik şekilde kesen çizginin oluşturduğu açıyı kullanmıştır. Bu açının 20° den az olması diskin normal pozisyonunda olduğunu gösterirken, 20° den büyük olması diskin anteriora deplasmanını göstermektedir ²⁰². Bu araştırma baz alınarak yaptığımız çalışmada ise çift taraflı normal temporomandibular eklem ilişkisinde çene modeline ek olarak, tek taraflı ADD'nin bulunduğu çene modeli ve çift taraflı ADD'nin bulunduğu çene modeli üç boyutlu sonlu elemanlar analizi ile oluşturulmuştur. Yükleme senaryoları kas kuvvetleriyle birlikte bu modeller üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Çiğneme kaslarının kuvvet aralığının belirlendiği çalışmalara bakıldığında literatürde bu konuda yapılmış pek çok araştırma ve pek çok farklı görüş mevcuttur. Örneğin bunlardan en çok kabul görenlerinden biri Nagahara ve ark.'nın yaptığı çalışmadır. Nagahara ve ark. bütün mastikatör kasların total kas kuvvetini 500 N olarak belirlemişler ve bu kuvvet değerini her bir kasın yüzey alanına göre oranlamışlar ve böylece her kas için ayrı bir kuvvet değeri rapor etmişlerdir ²¹⁰. Meyer ve ark. çiğneme kas kuvvetlerini maksimum interküspidasyonda ve keser dişlerin tetatet pozisyonunda değerlendirilmişler, sırasıyla, 80 - 400 N aralığında, ve 250 - 690 N aralığında olduğunu saptamışlardır ²¹¹. Araştırmacılar pek çok değişik kas kuvvet değerleri kullanmış olsa da çoğu araştırmacı kasların kuvvet değerlerini belirlerken kasların yüzey alanlarıyla oranlarını kullanmışlardır. Yaptığımız çalışmada kasların kuvvet değerleri ve yönlerinin belirlenmesinde Tanaka ¹⁹¹ ve Koriath ¹⁹⁰'un benzer çalışmalarından faydalanılmıştır.

Temporomandibular hastalıkların tedavisi için yumuşak diyet, davranışların modifikasyonu, medikal tedaviler (kas gevşeticiler, non-steroid antiinflamatuvarlar, antidepresanlar), ısırma plakları, enjeksiyonlar (BTX ve steroidler), fizik tedavi ve cerrahi yaklaşımlar (açık eklem cerrahisi, artroskopi, artrosentez) gibi pek çok farklı yöntem

önerilmiştir ²¹². TMD ve bruksizmin multifaktöryel bir etiyojisi olduğu için tedavisinde de multidisipliner bir yaklaşım gereklidir ¹¹⁵.

Literatürde sadece sınırlı sayıda çalışma, BTX-A'nın (Botoks®) etkinliğine ve ağırlı miyofasiyal semptomların iyileştirilmesindeki umut verici sonuçlarına değinmektedir ²¹³⁻²¹⁷. BTX, TMD'lerin yönetiminde ilk tedavi seçeneği olarak kabul görmemesine rağmen, geleneksel tedaviler etkisiz olduğunda başvurulacak terapötik bir yöntem olabilir ²¹⁸. BoNT enjekte edilen yüz bölgeleri farklı çalışmalarda farklılık göstermektedir. Literatürde sadece masseter kasa ²¹⁹, masseter ve temporal kaslara ^{220, 221} ve temporal, masseter ve lateral pterygoid kaslara ²²² enjeksiyon yapılan çalışmalar mevcuttur. Ancak LPK için kılavuzsuz kas içi enjeksiyon tekniği, kasın derin yerleşimi sebebiyle zordur. Tekniğin esas dezavantajı, navigasyon sistemine erişim ihtiyacıdır. Yüzeysel kaslar için, hedeflere yalnızca klinik bir rehberlikle ulaşılabilirken, LPK gibi daha az erişilebilir olan derin kaslar için daha verimli bir görüntüleme yöntemi gereklidir. Derin kaslara kör enjeksiyonun yapılmasının komplikasyonları, kas dışına enjeksiyon ve bununla birlikte bitişik kaslara çok yakın istenmeyen enjeksiyonlardır. LPK'a enjeksiyon söz konusu olduğunda, faringeal kaslara enjeksiyon yapılması disfaji ve inhalasyondan sorumluyken, yumuşak damak kaslarına enjeksiyon yapılması ise disfoniye yol açar. Bitişik kaslara yakın enjeksiyonların yapılması, yan etkilerle birlikte kontrolsüz yayılma riskini de beraberinde getirir ¹³⁹.

Lateral pterygoid kas üzerindeki bu klinik çalışma zorluğu nedeniyle sonuçların araştırılması için in vitro bir çalışma yapmayı tercih ederek sonlu elemanlar analizi yardımıyla çalışmamız oluşturuldu. LPK hakkında daha geniş çaplı araştırmalara ihtiyaç duyulması nedeniyle literatürdeki uygulamalar göz önüne alınarak araştırmamızdaki çalışma gruplarımız dizayn edilmiştir. Bruksizm hastası bireyin tedavisi için BTX uygulamalarıyla yükleme senaryoları masseter kasa BTX, masseter-temporal kaslara BTX, masseter-temporal-lateral pterygoid kaslara uygulanan BTX şeklinde tasarlandı. BTX uygulamasının kasın kasılmasını

azalttığı ve çiğneme kasındaki ısırma basıncını %20'den 40'a kadar düşürdüğü bilinen araştırmalardan yararlanılarak %40 oranında kas kuvvetleri azaltıldı ¹⁸³. BTX uygulaması kas hacmi, uygulama şekli gibi faktörlerle kişiden kişiye etki düzeyinde farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle bizim için bu noktada önemli olan kas kuvvetinin ne kadar azaldığından çok, bunu standardize ederek kas kuvvetindeki düşüşü simüle edip stresler arasındaki oransal değişim ile stres dağılımını gözlemlemektir. Temporomandibular eklemdaki stres dağılımı sonlu elemanlar analizi ile değerlendirildi.

Uzun yıllardır TMD'lerin tedavisinde kullanılan ısırma plakları eklem üzerine gelen kuvveti elimine edip oklüzal ilişkileri düzenleyerek brüksizm tedavisinde kullanılır ²²³. Isırma plakları, TMD'lerde non-invaziv ve etkili bir tedavi yöntemi olduğundan, modern diş hekimliğinde yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır ¹¹. Bu tedavinin kassal semptomlar üzerindeki belirgin etkisinden dolayı da, pek çok araştırmacı ısırma plaklarının çiğneme kasları üzerindeki aktivitesini incelemişlerdir ^{224, 225}.

Zhang ve ark. TMD tedavisinde ısırma plağı kullanımını değerlendirdikleri kontrollü klinik çalışmaların derlemesinde, ısırma plaklarının özellikle alt çene hareketlerinde kısıtlılık ve ağrı şikayeti olan TMD hastalarının tedavisinde girişimsel olmayan bir tedavi yaklaşımı olduğunu ve acilen TMD teşhisinde standardize kriterlere ihtiyaç bulunduğunu belirtmişlerdir ²²⁶. TMD'si olan hastalarda, kas işlevi hala çok iyi bilinmemekle birlikte EMG sonuçları çelişkilidir. Dalewski ve ark. 2015 yılında EMG kullanarak yaptığı randomize kontrollü yarı-kör çalışmada brüksizm tedavisinde oklüzal splinte karşı modifiye nosiseptif trigeminal inhibisyon splintinin yüzeysel temporal ve masseter kasları üzerindeki etkileri tedaviden 30 gün önce ve sonra karşılaştırmış, her iki splintin kullanımının da bir aylık tedaviden sonra asimetri indeksini veya postüral aktiviteyi/maksimum istemli kasılma oranını etkilemediğini bulmuşlardır. Ne oklüzal splintin ne de nosiseptif trigeminal inhibisyon splintinin incelenen kaslar üzerinde önemli bir etki göstermediğini bildirmişlerdir ²²⁷. Harada ve ark. farklı ısırma

plaklarıyla (stabilizasyon splinti ve palatal splint) uyku bruksizmi üzerinde EMG kayıt sistemi kullanarak yaptığı bir çalışmada ise farklı ısırma plaklarının bruksizme etkisinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını ve her iki ısırma plağının uyku bruksizmi ile ilişkili masseter aktivitesini azalttığını ancak bu etkinin geçici olduğunu rapor etmiştir ²²⁸.

Bu bulgular ışığında ısırma plaklarının kasların biyoelektrik aktiviteleri üzerinde direkt bir etki gösterip göstermediği araştırılmalı ve tedavi kalitesinin ölçümü için farklı bilimsel yöntemler kullanılmalıdır. Bu çalışma sonlu elemanlar metoduyla oluşturulmuştur. Çalışma yapılırken canlı dokunun ve kas kuvvetlerinin şiddet ve yönleri belirlenmiş, kullanılacak apareyin mekanik özellikleri oluşturulmuş, bunlar üzerinde oluşacak şekil değişiklikleri ve stres dağılımı incelenmiştir ¹⁵⁷. Çalışmamızda ısırma plağının kas kuvvetlerinin değişimi üzerine etkisi bulunmamaktadır. Farklı ısırma plaklarının bruksizm üstünde istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığını gösteren araştırmaların varlığından yola çıkılarak Karataş ve ark.'nın yaptığı çalışmaya benzer şekilde ısırma plaklı ve plaksız modellerin simülasyonu molar dişler üzerinde tanımlanan yay sabitleriyle taklit edilmiş, kaslara uygulanan botoksler ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir ¹⁸⁹.

Hegab ve ark. 2018 yılında yaptığı randomize kontrollü bir klinik çalışmada TMD için MRG görüntülerine dayalı olarak ısırma plağı kalınlığını değerlendirmiştir. Çalışmada TMD'si olan hastalar redüksiyonlu ve redüksiyonsuz disk deplasmanı olan hastalar olarak iki gruba ayrılmış, tedavi öncesinde, plak kullanımı sırasında ve tedavi sonrasında alınan MRG görüntüleri karşılaştırılmıştır. Redüksiyonsuz disk deplasmanı için kondilin anteropostero konumundaki ve vertikal konumundaki değişikliklerde 2 mm, 3 mm ve 4 mm 'lik plak grupları ve ısırma plağı kullanılmayan kontrol grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark görülmediği bildirilmiştir. Aynı şekilde diskin konumunda da 2 mm, 3 mm ve 4 mm'lik plaklar için plak kullanılmayan gruba göre istatistiksel olarak anlamlı farka rastlanmamıştır. Redüksiyonsuz disk deplasmanı alt grubunda MR ölçümlerinde sadece 5 mm ve 6mm'lik

ısıрма plağı kullanılan gruplarda iki grubun birbirine göre ve kontrol grubuna göre kondil ve diskin hareketleri açısından istatistiksel olarak anlamlı fark görüldüğü bildirilmiştir. Çalışmada araştırmacılar MRG ölçümleri ve klinik sonuçlara dayalı 1 yıl süreyle izlenen en iyi disk ve kondil hareketini, redüksiyonlu disk deplasmanında ideal olarak 4 mm, redüksiyonsuz disk deplasmanında 6 mm'lik dikey ısıрма plağı kalınlığında izlemişler ve bunu önermişlerdir ²²⁹. Bu çalışmanın ve literatürde ısıрма plağının dikey kalınlığı arttıkça hasta toleransının düştüğünü gösteren çalışmaların ışığında plak için yay sabiti kullanılırken eklem aralığını değiştirmeden kondil-disk-fossadaki stres değişimleri incelenmiştir ²³⁰.

Tanaka ve ark. 2000 yılında yaptığı bir çalışmada maksimum ısıрма sırasında ADD'li TME'de oluşan stresleri sonlu elemanlar analizi ile araştırmıştır. Genç bir bireyin kafatası modelinden TME bölgesi oluşturulmuş, normal kondil-disk ilişkisine ek olarak ADD'li çene modeli simüle etmişlerdir. Standart modelde kompresif stresleri kondil ve glenoid fossanın anterior, orta ve lateral bölgelerinde görüldüğü bildirilirken, tensil stresleri posterior ve medial bölgede izlendiği bildirilmiştir. ADD'li modellerde ise bilaminar bölge hariç TME'nin tüm alanlarında kompresif streslerin tespit edildiği bildirilmiştir. Artiküler disk ve bilaminar bölgedeki kesme/kayma gerilmelerinin çoğu alanda önemli ölçüde arttığını, sonuç olarak, normal bir disk pozisyonuna sahip TME'deki stres dağılımlarının, ADD'ye sahip olanlardan önemli ölçüde farklı bulunduğunu bildirmişlerdir; bunun da diskin anterior deplasmanının, TME'deki, özellikle eklem diskindeki stres dağılımlarının doğası ile ilgili olabileceğini bildirmişlerdir ¹⁷⁹.

Tanaka çalışmasında kondil-disk-fossada oluşan kompresif ve tensil gerilmelerini incelerken bu çalışmada von Mises stres değerlerine yer verilmiştir. Çalışmamız Tanaka'nın çalışmasıyla orantılı olarak herhangi bir BTX uygulaması yapılmadan ve ısıрма plağı olmaksızın çift taraflı normal TME ilişkisinde diskte stresleri intermediate zonda izlerken (A0),

çift taraflı ADD'li eklem modelinde diskin posteriorunda yoğunlaşmış şekilde görmüştür (C0). Tanaka ADD durumunda diskte ve bilaminar bölgedeki kesme/kayma gerilimleri varlığını tespit ederken, bizim çalışmamızda ADD varlığında en yüksek von Mises stres değerleri diskin posteriorunda izlenmiştir ve stresler A0 modelindeki stresin yaklaşık iki katı kadar bulunmuştur. Gruplar arasında disk-kondil-fossada oluşan stres değerleri sırasıyla $C0 > B0 > A0$ şeklindedir. Çalışmamız, TME'deki stres dağılımlarının, anterior disk yer değiştirmesinin derecesinden büyük ölçüde etkilendiğini göstermiştir. TME'de disk yer değiştirmesi ile bağlantılı olarak fizyolojik olmayan stres dağılımının varlığı ortaya konmuştur, ancak mevcut sonuçlar klik sesi oluşumu hakkında bilgi açısından sınırlıdır.

Temporomandibular eklemden ses, ADD'de, LPK'nın süperior başı ile inferior başının üst kısmı arasındaki koordinasyonsuz fonksiyonun belirtisidir. Tanaka ve ark. yaptıkları bir başka çalışmada, uzun süreli diş sıkma sırasında LPK'nın hiperaktivitesinin TME diski üzerindeki etkisi matematiksel bir modelle incelemiştir. TME'nin sonlu eleman modelleri, TME'de iç düzensizlik olan veya olmayan iki deneğin MRG verilerine dayanılarak oluşturulmuştur. Her model için, 10 dakikalık kenetleme sırasında yükleme koşulu olarak kas kuvvetleri kullanılmıştır. Ayrıca, 1 dakikalık aralıklarla LPK kuvvetinin aralıklı bir artışı uygulanmıştır. Asemptomatik modelde, diş sıkmanın başlangıcında diskin orta ve yan kısımlarında büyük gerilmeler bulunmuş, retrodiskal dokuda diş sıkmanın ilk 2 dakikasında stres gevşemesi meydana gelmiştir. LPK'nın kuvveti geçici olarak arttığında, disk öne doğru hareket etmiş ve daha sonra orijinal konumuna geri dönmüştür. Semptomatik modelde diş sıkma boyunca hem diskin arka bölgesinde hem de retrodiskal dokuda büyük gerilmeler gözlenmiştir. LPK kuvvetinin giderek artması üzerine, disk geri dönüşümsüz gibi görünen şekilde öne yer değiştirmiştir²³¹.

Tanaka çalışmasında asemptomatik modelinde 1 dakikalık aralıklarla LPK kuvvetini arttırıp diskin öne doğru deplasmanını modellerken, çalışmamız statik lineer analiz

çerçevesinde yapılmış; A, B ve C modellerinde her üç kasa da botoks uygulamasının yapılmasıyla kas kuvvetleri azaltılarak stres değişimleri bu şekilde incelenmiştir. Asemptomatik model için Tanaka'nın modeline benzer şekilde stresler diskin orta kısmında izlenmiştir, ancak diş sıkma sırasında diski çevreleyen bağ dokusunda oluşan streslerin değişmediğini ya da bu stres gevşemesinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu rapor eden çalışmalar sonucunda Tanaka'nın çalışmasından farklı olarak retrodiskal dokulardaki stres gevşemesi araştırılmamıştır ²³². Tanaka'nın modelinde LPK kuvvetinin artışıyla diskin anteriora deplasmanı daha sonra orijinal konumuna dönüşü simüle edilirken stresler diskin arka bölgesinde ve retrodiskal dokularda izlenmiştir. Bu çalışmada oluşturduğumuz B ve C modellerimizde ise disk istirahatte ve ısırma sırasında her zaman anterior konumda kalacak şekilde pozisyonlandırılmış, streslerin Tanaka'nın çalışmasına benzer şekilde diskin posteriorunda yoğunlaştığı görülmüştür. Bu sonuçlar çalışmamızda diskin redüksiyonu simüle edilmemiş olsa bile LPK'a kuvvet ve yön değeri tanımlayarak analizin yapılmasının daha gerçekçi sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir.

Hirose ve ark. 2006 yılında yaptığı bir çalışmada, uzun süreli diş sıkma sırasında disk yer değiştirmesinin eklem gerilmeleri üzerindeki etkisini incelemişler, diskin asemptomatik eklemde iyi işlev gördüğünü, semptomatik eklemde ise retrodiskal dokunun aşırı strese maruz kaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca aşırı gerinim enerjisinin depolanmasının perforasyonlara neden olabileceğini belirtmişlerdir ²³³. Retrodiskal dokunun önemli bir fonksiyonu, kondilin arkasındaki yumuşak dokuların sıkıştırılmasını önlemek, çene hareketleri sırasında kondil, disk ve glenoid fossa arasındaki konumsal ilişkiyi sürdürmektir. Osborn ve ark. artiküler diskin arka bölgesinde ve bilaminar zonda kondil, glenoid fossa ve artiküler disk arasındaki normal ilişkileri sürdürmek için tensil gerilimini gerekli görüldüğünü bildirmişlerdir. ²³⁴. Scapino öne doğru yer değiştirmiş insan eklem diskini gözlemlemiş ve arka bağlantı alanında büyük ölçüde genişlemiş venöz kanalların varlığını, diskin posteriorunda fizyolojik olmayan streslerin

oluşturduğunu rapor etmiştir. ²³⁵. Bu bulgulardan elde edilen klinik çıkarım eklem diskindeki ve bilaminer bölgedeki aşırı stresi azaltmak için ADD'ye erken bir yaklaşımın istenebileceğidir. Bu yüzden çalışmamızda kondil-disk-fossa üzerine gelen stresleri incelemek için sonlu elemanlar analizi kullanılarak TMD'lerin tedavisi için ısırma plağı kullanımı ve BTX uygulamaları simüle edilmiştir. ADD'li modellerimizde Hirose ve Scapino'nun çalışmalarına benzer şekilde eklemde posterior bölgede von Mises stres değerleri daha yoğun izlenmiştir. Bu da TME'de stres dağılımlarındaki değişikliklerin ADD ilişkili olabileceğini gösterir.

Disk öne doğru deplase olduğunda, sıklıkla diskin arka bağlantısında disk perforasyonu meydana gelir ²³⁶. Otopsi materyalinin kaba ve histolojik incelemelerinden elde edilen kanıtlara göre Blackwood kadavralarda artiküler diskin posterior bağlantı noktasında yırtıldığını, diskin öne yer değiştirdiğini ve diskin yırtılmalarına karşı daha duyarlı hale geldiğini bildirmiştir ²³⁷. Agrawal ve ark. kadavralar üzerinde yaptığı bir morfometrik analizde ise TME diskinin posterior mediali ve posterior lateralinde perforasyonlara rastlamıştır ²⁰⁴. 2001'de DeVocht ve ark. kadavra TME'si ve aynı kadavranın tomografi ile oluşturulmuş sonlu elemanlar analizi modelinde oluşan stresleri karşılaştırmışlar ve kadavra TME'sinde ölçülen maksimum stresi 9.9 MPa, sonlu elemanlar modelinde ölçülen maksimum stresi ise 8.2 MPa olarak bulmuşlardır ²³⁸. Sonuç olarak kadavra ve sonlu elemanlar çalışmalarda ölçülen maksimum stres miktarları birbirlerine çok yakın olduğunu ve sonlu elemanlar çalışmalarının gerçek fiziksel duruma yakın tahmini veriler ortaya koyduğunu göstermişlerdir. Bu sonuçlar, sonlu elemanlar çalışmamızın TME biyomekaniğine uygun bir şekilde modellendiği hipotezini desteklemektedir. Çeşitli disk pozisyonları ile yaptığımız bu çalışma klinikte uygulanacak BTX işlemlerinde bir rehber olarak kullanılarak gelecekte buna yönelik yapılacak araştırmaların temeli niteliğindedir.

Yurttutan ve ark. yaptıkları bir çalışmada bruksizme bağlı miyofasyal ağrısı olan hastaları ısırma plağının kullanıldığı (Grup A) , masseter ve temporal kaslara BoNT uygulandığı (Grup B) ve her iki tedavi yönteminin de kullanıldığı hastalar (Grup C) olarak üç

gruba ayırmışlar, tüm hastaları tedavi öncesi ve tedaviden 6 ay sonra için TMD Ağrı Tarama Cihazı, Dereceli Kronik Ağrı Skalası, Oral Davranış Kontrol Listesi, Çene Fonksiyonu Sınırlama Skalası ve çiğneme kaslarının palpasyonu ile görsel analog skalasıyla (VAS) değerlendirmişlerdir. İstatistiksel analizler ısırma plağı kullanımının hastalara fayda sağladığını, ancak BoNT enjeksiyonunun ve kombine tedavinin daha etkili olduğunu göstermiştir²³⁹. Çalışmamızda Yurttutan ve arkadaşları gibi BTX enjeksiyonu ve ısırma plağı kullanımının TME üzerinde oluşturduğu stresler değerlendirilmiştir ancak sonlu elemanlar analizi metodu kullanılmıştır. Çalışmamızda Yurttutan ve ark.'dan farklı olarak modellerimiz TME'de diskin konumuna göre modellenmiş, bu modeller üzerinde BTX ve ısırma plağı kullanımının yükleme senaryoları simüle edilmiş, botoks grupları masseter/temporal/lateral pterygoid kasları üzerinden yapılmıştır. Yükleme senaryoları sonucu Yurttutan ve ark. gibi kombine tedavinin TME üzerinde stresleri azaltmada en etkin tedavi olduğu bulunmuştur ($A7 < B7 < C7$) Yine bu çalışmaya benzer şekilde A, B ve C modellerimizde kondil, disk ve glenoid fossadaki gerilimler masseter-temporal botoks uygulaması yapıldığında, ısırma plağı kullanılan duruma göre daha fazla düşüş göstermiştir (disk-fossa-kondil için $A2 < A4$, $B2 < B4$, $C2 < C4$). Ayrıca yapılan yükleme senaryolarımız göstermiştir ki A, B ve C modellerimizde diskte oluşan stresler masseter botoks ve ısırma plağı uygulamasında, masseter ve temporal kas botoksuna göre daha düşük stres değerleri göstermiştir (disk için; $A5 < A2$, $B5 < B2$, $C5 < C2$). Bu nedenle bizim çok çeşitli yükleme senaryolarıyla yaptığımız bu çalışmamız, Yurttutan ve ark.'nın sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Literatürde buna benzer ısırma plaklarının kullanımı ve botoks uygulamasının ağrıyı azaltmada farklarının istatistiksel olarak değerlendirildiği çalışmalar olmasına karşın, çalışmaların çoğu subjektif incelenmiştir. Bu nedenle bu konuda yapılacak çalışmaların doğruluğunun artması açısından objektif bir yaklaşım sunan EMG ve PSG kayıtlarından yararlanılması ve sonlu elemanlar modelleriyle çalışmaların desteklenmesi gerekmektedir^{78, 240, 241}.

Long ve ark. BoNT'un bruksizm üzerine etkinliğini incelediği kanıta dayalı bir derlemede ise ısırma plağı ile BoNT enjeksiyonu karşılaştırıldığında, iki tedavi yönteminin de bruksizm üzerine eşit derecede etkili olduğunu bildirmişlerdir ¹³². Kaya ve ark.'nın 40 hasta üzerinde yaptıkları bir çalışmada ise hastalar iki gruba ayrılmış, ilk gruba ısırma plağı, ikinci gruba masseter kas BoNT enjeksiyonu yapılmıştır. Hastalar 2. hafta, 6. hafta, 3. ay ve 6. ayda ağrı, çene fonksiyonları ve maksimum ısırma kuvveti değişimi parametreleri üzerinden değerlendirilmiştir. Ağrı için iki yöntemin de ağrıyı azalttığı, ısırma plağı kullanımının ağrıyı azaltmada daha fazla etkili olduğu ancak iki yöntem arasında fark olmadığı görülmüştür. BoNT uygulanan hastalarda maksimum ısırma kuvveti 2. ve 6. haftalarda azalmış, 3. ve 6. Aylarda tekrar yükselmiştir, ısırma plağı kullanan hastalarda ise 3. aya kadar değişiklik görülmezken, 6. Ayda maksimum ısırma kuvvetinde artış izlenmiştir. Ancak iki yöntem arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle çalışmada düşük doz BoNT ve ısırma plağı kullanımının diş sıkkan hastalarda ağrıyı gidermede etkili olduğu ancak birbirine üstünlüğü olmadığı görülmüştür ²⁴². Yaptığımız sonlu elemanlar analizi çalışmasında ise diskin anteriora deplase olduğu ve normal konumda olduğu disk modelleri oluşturulmuş ve BTX ve ısırma plağı uygulamaları simüle edilmiştir. Kaya'nın çalışmasına benzer şekilde disk deplasmanı olmayan A modelimizde stresleri azaltmada masseter botoksun ısırma plağı kullanımına karşı belirgin bir üstünlüğü izlenmemiş, kondil, disk ve fossada oluşan gerilimlerde A0 modeline göre A1 ve A4 gruplarında yaklaşık aynı oranlarda düşüş gözlenmiştir (A1≈A4). Bu da çalışmamızın klinik verilerle örtüştüğünü göstermektedir. Diskin anteriora deplase olduğu durumlarda ise BoNT enjeksiyonu ve ısırma plağının kullanımın klinik olarak karşılaştırıldığı daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Sayed ve ark. yaptığı bir çalışmada lateral pterygoid kasa BoNT enjeksiyonunun ısırma plağı tedavisine karşı TME klikingi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmaya iki eşit gruba ayrılan kırk hasta alınarak birinci gruba BTX uygulanırken ikinci gruba ısırma plağı

kullanılmıştır. Çalışmaya MRG ile doğrulanan ADD'yle ilişkili kas hassasiyeti ile birlikte ağırlı bir TME klickinginden şikâyet eden hastalar dahil edilmiştir. BoNT enjeksiyonu EMG cihazının rehberliğinde ipsilateral LPK'ya uygulanmıştır. Grup 1'in, istatistiksel olarak anlamlı en düşük ortalama ağrı skorlarını gösterdiği rapor edilirken, 12 ay sonra ortalama maksimum ağız açıklığında, iki grupta da istatistiksel olarak anlamlı olacak derecede artış bildirilmiştir. Grup 1'in tedavi sonrası hiç klicking göstermediği, Grup 2'nin ise en yüksek klicking prevalansını gösterdiği rapor edilmiştir. Tedavi başlangıcından takip süresinin sonuna kadar iki grupta da ağız açıklığında anlamlı artış izlendiği, ağrı ile ilgili olarak VAS değerlerinde azalma olduğu ve postoperatif klik sesinin 1. grupta 1. haftadan sonra düzeldiği, radyografik değerlendirmede MRG görüntülerinde değişiklik olmayan ikinci grupta 1. aydan sonra düzeldiği bildirilmiştir. Bu sonuçlar, LPK'nın hiperaktivitesinin disk yer değiştirmesinde rol oynayabileceğini ve klik sesindeki azalmanın LPK'ya uygulanan BoNT'a bağlı olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, olumlu tedavi sonucunun arkasındaki kesin mekanizmalar belirsizdir ²⁴³.

Von Mises stres değerlerini incelediğimiz sonlu elamanlar çalışmamızda ise ısırma plağıyla birlikte BTX uygulamasının kondil, disk ve fossa üzerindeki stresleri azalttığı görülmüştür. Bu sonucun ağrının azalmasında ve semptomlara yönelik tedaviyle ağız açıklığında artışta rol oynadığı öngörülüp Sayed'in çalışmasındaki bilgileri destekler nitelikte olduğunu düşünmekteyiz. Ancak çalışmamızda Sayed'den farklı olarak bruksizm sırasında kondilin diskin arka bandını atlama (klik) sesi simüle edilmemiş, anterior deplasman olan modellerde disk redüksiyonuz bir şekilde kondilin önünde pozisyonlandırılmıştır. Her üç modelde de masseter-temporal-lateral pterygoid botoks uygulanan durumda kondil-disk-fossada oluşan stresler, masseter-temporal botoks ile ısırma plağının kullanıldığı durumda oluşan streslerden daha büyük bulunmuştur. (A6<A3, B6<B3, C6<C3, A6<B6<C6) Sonuçlarımız hem LPK'a enjeksiyonun anatomik sınırları ve kör enjeksiyon gibi zorlukları nedeniyle hem de tedavide masseter-temporal botoks ile ısırma plağı kullanımının; masseter-

temporal-lateral pterygoid kaslara botoks uygulamasından çok daha kolay ve stresleri azaltmada çok daha etkili olması nedeniyle öncelikli tedavi seçeneği için klinik kullanımda endişeli hastalar ve hekimler için kılavuzluk edebileceğini göstermiştir.

Barrientos ve ark. diş sıkma gibi parafonksiyonel alışkanlıkları, LPK da dahil olmak üzere çiğneme kaslarının disfonksiyonel hiperaktivitesi ile ilişkilendirmiştir. TME’de ortaya çıkan yüklem, kemik, kıkırdak ve diskin bozulmasına sebep olur. Çalışmada diş sıkma yönünün TME'deki stres dağılımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çizgide, parafonksiyonda yer alan asimetrik kenetlenmenin, TME diskinin yanı sıra kondiler ve temporal eklem yüzeylerinde artan streslere neden olabileceğini varsayıp, çeşitli yönlü yüklemeler (-20° den $+20^{\circ}$ ye kadar) için üç boyutlu sonlu eleman modeli kullanılarak stres dağılımlarını analiz etmiştir. Sayısal sonuçlar, yük yönünün disk yüzeylerindeki gerilimlerin miktarını ve dağılımını etkilediğini ortaya koymuştur. Ancak elde edilen sonuçlar yüklem yönünün viskoelastik disk tepkisi üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermiştir çünkü disk stres enerjisi yayma kapasitesini ortaya çıkaran önemli bir stres gevşemesi göstermiştir, böylece diskin yüklem yönünden bağımsız olarak enerji dağıtımı için önemli bir kapasiteye sahip olduğunu ve bunun diski perforasyonlardan koruyacağı belirtilmiştir. Yüklemelerde diskin lateral bölgesi daha yüksek stres değerlerine maruz kalmıştır. Bu çalışmaya göre uzun süreli diş sıkma sırasında, yüksek streslerin lateral bölgede yoğunlaştığı tespit edilmiş, disk ve kondiler kıkırdakta hasar veya aşınma ile ilgili TME bozukluklarının, genelde lateral disfonksiyonlu yer değiştirmeler sebebiyle ortaya çıktığı gösterilmiştir ¹⁷⁵.

Çalışmamızda ise diş sıkma sırasında kasların uyguladığı kuvvetler ve yönleri Koriotoh ve Tanaka 'nın çalışmasına benzer şekilde planlanmış, tüm kasların kuvvet yüklemeleri aynı anda uygulanmıştır ^{190, 191} Barrientos'un çalışmasından farklı olarak dinamik değil statik lineer analizlerle stresler incelenmiştir. Barrientos'un çalışmasında önem verdiği gibi araştırmamızda

bruksizme bağılı LPK'nın aktivitesinin etkinliğini incelemek istenmiş ve bu nedenle araştırmamıza dahil edilmiştir. A modelimizde diskteki stresler orta bölgede, B ve C modellerimizde diskin anteriora deplase olduğu durumlarda posteriorda stres yoğunlaşması izlenmiştir. Barrientos'un çalışmasında ise diskteki streslerin lateralde toplandığı görülmüştür. Bu farklılığı Barrientos'un çalışmasında diş sıkma sırasında mediolateral yönde yükleme yapılmasına, asimetrik kenetlenmeyle kondili farklı açılarla hareket ettirerek çenenin lateral disfonksiyonlu yer değiştirmelerinin mevcut olmasına ve parafonksiyonda kasların kuvvet yönlerinin farklı simüle edilmesine bağılı olduğunu düşünmekteyiz.

Beek ve ark. üç boyutlu sonlu elemanlar analizi ile ilgili yaptığı bir çalışmada manyetik tracking cihazı rehberliğinde eklem diskinin bir sonlu eleman ağı oluşturulmuş, kondil ve kafatası üzerindeki eklem yüzeyleri rijit kabul etmiş ve eklem kapsülünü çalışmaya dahil etmemişlerdir. Ayrıca çalışmada eklem diski ile eklem yüzeyleri arasında sürtünme uygulanmamıştır. Kapalı çene pozisyonunda statik eklem yüklemesinin simülasyonu, stres ve gerinim dağılımlarının birincil olarak artiküler diskin orta bölgesinde yer aldığını ve en yüksek değerlerin bu kısmın çevresinde olduğunu bildirmişlerdir. Yükleme sırasında disk her zaman normal pozisyonunda fossada kalmıştır. Yükleme yönünün 60° üzerindeki değişimi, stres dağılımlarında yalnızca küçük değişikliklere yol açmıştır. Dolayısıyla diş sıkma sırasında en yüksek deformasyonların hep aynı bölgede (ortada) olduğu sonucuna varmışlardır ²⁴⁴.

Yaptığımız çalışmada ise disk üzerine gelen kuvvet yönleri oluşturulan derecelere göre değil, simüle ettiğimiz dokuz kasın çekiş yönleri ve kuvvet değerlerine göre belirlenmiştir. Beek'in çalışmasına benzer şekilde bruksizm hasta modelinde normal temporomandibular ilişkideki diskte oluşan en yüksek ve yoğun stres değerleri diskin ortasında gözlenmiştir. Ancak bizim çalışmamızda diskin her zaman fossada kaldığı durum dışında anteriora deplase olduğu durum da simüle edilmiştir. Diskte orta bölgede oluşan stresler, diskin anteriora deplasmanıya posteriora doğru yer değiştirmiştir. Kaslara BTX uygulaması ve/veya ısırma plağı kullanılması

sonucunda stres değerleri azalmıştır. Ayrıca Beek'in çalışmasından farklı olarak bu çalışmada eklem kapsülü için elastik modül ve possion değerleri belirlenerek kapsül simüle edilmiş, ayrıca eklem yapan yüzeyler arasına sürtünme katsayısı atanmıştır.

Riley ve ark. ısırma plaklarının TMD ve bruksizm tedavisinde kullanımı ile ilgili 2020 yılında yaptıkları sistematik derlemede ise teşhis kriterleri, plak tipleri ve başarı değerlendirmeleri arasındaki aşırı çeşitlilik nedeniyle tüm alt gruplar tek bir başlık altında toplanırsa plakların ağrıyı azalttığıının ve bruksizmi olanlarda da plakların diş aşınmasını azalttığıının yeterli kanıtının bulunmadığı bildirmişlerdir ²⁴⁵. Tran ve ark.'nın TMD için çok çeşitli farklı tedavi modaliteleri üzerine 62 sistematik incelemeyi bir araya getirerek yaptığı çalışma ısırma plaklarının TMD tedavisinde kullanımını destekleyecek net bir kanıt olmadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, ısırma plaklarının etkinliğine dair güçlü kanıtlar ortaya çıkmadıkça, ısırma plağı tedavisinin TMD'nin rutin tedavisinde kullanılmamasını önermektedirler ve konservatif tedaviler başarısız olduğunda, miyospazm veya kas hiperaktivitesi ile ilişkili miyalji vakalarında kas içi BoNT uygulamasının düşünülmesine yönelik tedaviyi desteklemektedirler ²⁴⁶. Riley ve Tran TMD'lerin tedavisinde ısırma plağının kullanımının ağrıyı ve bruksizmi azaltmada etkili olmadığını ve daha fazla kanıta ihtiyaç duyulduğu görüşünü savunurken yaptığımız çalışma ısırma plağının TME'de kondil-disk-fossaya gelen stresleri azaltığını kanıtlar niteliktedir. Örneğın; diskin anteriora deplase olduğu modellerimizde ısırma plağı kullanımıyla yaptığımız yükleme senaryosunda ısırma plağının eklemdeki stresleri azaltmada tek başına uygulanan masseter botoks işleminden daha etkili olduğu bulunmuştur (B4<B1, C4<C1). Ayrıca A, B ve C modellerimizde masseter-temporal botoks uygulaması ve ısırma plağı kullanılan yükleme senaryosu (A6, B6, C6), masseter-temporal-lateral pterygoid kaslara botoks uygulamasının yapıldığı yükleme senaryosuyla (A3, B3, C3) karşılaştırıldığında, kondil-disk-fossada izlenen streslerde masseter-temporal kas botoks uygulamasıyla beraber ısırma plağı kullanımının daha etkin bir düşüş gösterdiği

izlenmiştir ($A6 < A3$, $B6 < B3$, $C6 < C3$). Bu da ısırma plağı kullanımının eklemdeki stresleri azaltmada lateral pterygoid botoksa üstünlüğünü kanıtlar niteliktedir. Yaptığımız çok çeşitli yükleme senaryoları da ısırma plağı kullanımının ve/veya botoks uygulamasının kondil disk ve glenoid fossada oluşturduğu von Mises streslerinde belirgin bir düşüşü göstermektedir. Eklemdeki bu stres değişiminin de klinik olarak ağrıyı azaltacağı ve bruksizmin etkilerini hafifleteceği görüşündeyiz.

Liu ve ark. 2016'da yaptığı bir çalışmada sağlıklı TME'lerle karşılaştırmak için stres dağılımlarını TMD'lerle değerlendirmişlerdir. Tomografi görüntülerine göre mandibula ve normal TME modeli geliştirilmiş, diskler ve eklem kıkırdakları arasındaki arayüzler, temas elemanları olarak ele alınmıştır. Disk ligamentlerini simüle etmek için doğrusal olmayan kablo elemanları kullanılmıştır. Bu modele dayanarak, TMD'lerin yedi modeli oluşturulmuştur. Anterior disk deplasman modelinin maksimum stresleri, normal diskin 12.09 katı büyüklüğünde bulunurken, posterior artiküler eminensin maksimum stresi normal modele göre 21 kat daha fazla bulunmuştur¹⁷⁷.

Liu'nun çalışmasına benzer şekilde çalışmamızda eklemde kartilajlara yer verilmiştir ve kartilajlar arasına $\mu=0.001$ katsayılı nonlinear sürtünme kontağı tanımlanmıştır. Çalışmamızda anterior deplasmanlı modellerdeki stres normal TME ilişkisindeki modellerden fazla bulunmuştur. A modelinde diskte orta bölgede oluşan maksimum stres, C modelinde diskin posterior bölgesinde izlenmiştir. Temporal kartilajda oluşan stresler bu çalışmaya benzer şekilde posterior ve medialde bulunmuştur. B ve C modellerimizde diskin ve glenoid fossanın posteriorunda görülen stresler A modeline göre yaklaşık iki fazla şeklinde izlenmiştir. Liu'nun çalışmasından farklı olarak çalışmamızda tüm eklem ligamentlerinin modellenmesi yerine sadece eklem kapsülü ve retrodiskal dokulara yer verilmiştir. Sonuçlarımız Liu'nun çalışmasıyla benzer şekilde TMD'lerin disklerde ve posterior artiküler eminenslerde artan streslere neden olabileceğini göstermiştir.

Palomar ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada farklı patolojik durumlarda ağız açma sırasında TME üzerinde oluşan stresleri sonlu eleman analizi yöntemiyle incelemişlerdir. Araştırmacılar, retrodiskal doku hasarında kompresyon şiddetinin diskin arka bandında biriktiğini, lateral diskal ligament hasarında ise lateral tarafa gelen stres miktarının artmış olduğunu bildirmişlerdir. Sağlıklı diskte ise ağız açılırken en çok stres diskin orta lateral tarafında oluştuğunu rapor etmişlerdir ²⁴⁷. 2007’de aynı araştırmacılar TME internal düzensizlikleri için redüksiyonlu ve redüksiyonsuz disk deplasman modellerini geliştirmişlerdir. Disk deplasmanının TME komponentleri üzerinde yarattığı etkiyi gerçeğe yakın yansıtabilen bu modeller üzerinde yaptıkları stres analizi çalışmasında diskin deplasman sürecinde diskin uğradığı deformasyon ve şekil değişiklikleri, diskin kondil başını atlaması yani “klik” sesi simule edilmiş, diskal ve kollateral ligamentler de modele dahil edilmiştir. Çalışmada, redüksiyonlu ve redüksiyonsuz disk deplasmanı modellerinde eklem diskinde en fazla stres birikiminin arka bantta meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Arka bantta oluşan stres miktarını en fazla redüksiyonsuz modelde izlemişlerdir. Redüksiyonlu modelde stresleri redüksiyonsuza göre biraz daha az gözlemlemişler ve en az stresin sağlıklı TME’de oluştuğunu rapor etmişlerdir ²⁰⁶.

Çalışmamızda ise anterior deplasmanlı disk modeli sadece diskin öne konumlandırılması ile simule edilmiş, kondilin arka bandı atlaması (klik) simule edilmemiştir. Ayrıca Palomar’ın aksine kollateral ve diskal ligamentler çalışmamızda modellenmemiş, retrodiskal doku ve eklem kapsülü çalışmamıza dahil edilmiştir. Bu farklılıklara rağmen çalışma sonuçlarımız Palomar’ın çalışmasıyla benzer özellikler göstermiştir. Palomar çalışmalarında retrodiskal doku hasarında diskin arka bandında kompresyon streslerinin arttığını bildirirken, bizim çalışmamızda benzer şekilde anterior deplasmanlı disk modelinde maksimum von Mises streslerini diskin posteriorunda yer aldığını göstermiştir. Bu benzerlik eklemden ligamentlerin yapıyı korumada önemli rol üstlenirken gerilmeye müsait bir yapıları

olmadığı ve eklem fonksiyonlarına aktif olarak katılmak yerine, ancak pasif sınırlayıcı olarak görev aldığını kanıtlar niteliktedir ¹¹.

2013 yılında Cheng ve ark. TME’de çene kapatma ve maksimum açma içeren iki taraflı bir mandibula modeli kullanarak stres dağılımını incelemek amacıyla sonlu elemanlar analizi çalışması yapmışlardır. Kontrol grubu ve TMD grubu olarak 3 semptomsuz gönüllü ve 3 semptomatik hasta seçilmiştir. TMD grubu için veri analizi, kondilin çene kapanması sırasında asimetrik olduğunu, çene açılması sırasında ise hem kondil hem de diskin hafif asimetrik olduğunu göstermiştir. Bu yüzden araştırmacılar her iki taraftaki eklemden birbirinden farklı stres değerleri için asimetrik indeks oluşturmuşlar, kondil, disk ve glenoid fossadaki stresleri değerlendirmişlerdir. Modeller elde edilen tomografi görüntüleri ile oluşturulmuştur. Sadece ağız kapatan üç kas (massater, temporal, medial pterygoid) modellenmiştir. Semptomatik eklemler için stresler asemptomatik olanlara göre daha yüksek bulunmuştur. Diskte von Mises stresin çene açıldığında diskte %45, kondilde çenenin kapanması sırasında yaklaşık %20 oranında azaldığını ve semptomatik hastalar için maksimum streslerin çoğunun lateral bölgede olduğu gözlenmiştir. Asemptomatik hastalarda stres dağılımı daha uniform gözlenmiştir. Çenenin açılması sırasında kondildeki en yüksek von Mises stresi asemptomatik eklem grubunda semptomatik gruba göre <%30 daha az bulunmuştur ve bu diskteki stresin yaklaşık yarısı olarak belirlenmiştir. Asemptomatik eklemler için, maksimum stresler posterior ve medial alanlarda gözlenirken, semptomatik eklemlerde en büyük streslerin %58’i lateral bölgede izlenmiştir. Eklem grupları arasında maksimum streslerde göze çarpan bir fark olmamasına rağmen, semptomatik eklemlerde en yüksek von Mises ve kesme streslerinde çene hareketi sırasında artış gözlenmiştir ²⁴⁸.

Bu çalışmada ise brüksizm hastalarında diş sıkma esnasında eklem diski, kondil ve artiküler fossada oluşan von Mises stresleri değerlendirilmiştir. Cheng ve ark.’nın yaptığı çalışmada sadece çeneyi kapatan çiğneme kasları dahil edilirken bizim çalışmamızda 9 çift kas

kuvveti çalışmaya dahil edilmiştir. Cheng ve ark.'nın çalışmasında olduğu gibi diskin normal TME ilişkisinde bulunduğu ve anterior deplasmanlı olduğu durumlar simüle edilmiş, Cheng ve ark.'nın çalışmasından farklı olarak BTX uygulamasıyla kasların kuvvetlerinin %40 oranında azaltılmasıyla ve ısırma plağı kullanılmasıyla streslerdeki değişimler izlenmiştir. Normal TME ilişkisindeki diskte streslerin Cheng ve ark.'nın çalışmasındaki gibi merkezde toplandığı, diskin anterior deplasmanlı olduğu durumlarda streslerin posteriora yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. En yüksek 22 MPa stres değeri ise çift taraflı anterior deplasman varlığında diskin posteriorunda izlenmiştir. BTX uygulamaları ve ısırma plağı kullanımıyla kondil-disk-fossa üzerindeki streslerde düşüş görülmüştür. Glenoid fossadaki stresler ise modeller arasında çok fazla değişmemiştir. Diskte oluşan stresler, kondilde oluşan streslerin 2 katı kadar bulunmuştur.

2010'da Mori ve ark. uzun süreli diş sıkmanın TME komponentleri üzerinde oluşturduğu stresleri sonlu elemanlar analizi çalışması ile değerlendirmişler, başlangıçta von Mises stresleri diskin altında orta ve arka bandında en yoğun 6.18 MPa, diskin üstünde ise 3.47 MPa civarında rapor etmişlerdir. 5 dakikalık diş sıkma periyodundan sonra von Mises streslerinin ve kondile gelen principle stresin azaldığını, diş sıkma sırasında en yoğun birikim diskin üstünde orta kısmında izlendiğini bildirmişlerdir. Diş sıkma sonrasında stres dağılımının, disk üzerinde yoğunlaştığını, stresin diskin tüm kısımlarına yayıldığını, kondil ve temporal yüzeylerdeki stresin azaldığını rapor etmişler, bu durumu TME diskinin stresleri absorbe etme ve dağıtma fonksiyonu ile açıklamışlardır¹⁹².

Çalışmamızda ise principle streslere bakılmamış, ısırma periyodunun süresi belirlenmemiştir, yüklemeler statik lineer analiz çerçevesinde yapılmıştır. Ancak çalışmaya benzer şekilde deplasman olmayan durumda diskin intermediate zonunda streslere rastlanmış, BTX ve ısırma plağı uygulamalarıyla diskte, kondilde ve glenoid fossada streslerde azalma görülmüştür.

Hattori-Hara ve ark. TME'deki tek taraflı disk yer değiştirmesinin, diş sıkma sırasında normal konumlanmış bir diskle kontralateral eklemdaki stres üzerindeki etkisini araştırmak için yaptıkları bir çalışmada tek taraflı disk deplasmanı modelinin etkilenmemiş eklemde, diş sıkmanın başlangıcındaki en büyük von Mises gerilimi diskin alt yüzeyinde bildirmiş ve diş sıkma sırasında stresin %30 arttığını belirtmişlerdir. Bağ dokusunda, etkilenmemiş eklemde, en büyük stres (1.16 MPa) diş sıkma sırasında bildirmiştir. Etkilenen eklemde, diş sıkma boyunca en büyük stresin temporal kıkırdakta olduğu görölmüş, çevreleyen bağ dokusunda, en büyük stres (1.42 MPa) diş sıkma sırasında neredeyse hiç değişmemiştir, bunun nedenini de stres gevşemesinin olmamasına veya ihmal edilebilir düzeyde olmasına bağlamışlardır ²³².

Çalışmamızda ise tek taraflı disk deplasmanı olan model oluşturulmuş, bruksizm sırasında diskteki stresler Hara ve ark.'nın çalışmasına benzer şekilde etkilenmemiş eklem tarafında diskin alt yüzeyinde ve ortasında izlenmiştir. Etkilenen tarafta ise diskin posteriorunda stresler yoğunlaşmıştır. Bu çalışmadan farklı olarak etkilen tarafta en az stres glenoid fossada oluşmuştur. Bu stresler BTX ve/veya ısırma plağı kullanımıyla azalmıştır. A modeliyle karşılaştırdığımızda kondil-disk-fossa üzerindeki stresler, B modelinin deplasmandan etkilenmemiş tarafında daha yüksek izlenmiştir. Bu sonuçlar da tek taraflı bir disk deplasmanın, diş sıkma sırasında etkilenmemiş (kontralateral) eklemdeki gerilmeleri etkileyebileceğini ve burada diski kondil üstünde tutan dokuların zayıflamasına yol açabileceğini göstermiştir. Sonuçlar, bozukluğun gelecekteki olası gelişmeleri hakkında fikir verdiğinden hastalara danışmanlık yapmada yardımcı olabilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmamızdan elde edilen bulgulara dayanarak, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Disk deplasmanı olan ve olmayan durumlarda masseter-temporal-lateral pterygoid kas botoksu ile ısırma plağı kullanımı stresleri azaltmada en etkili sonuçları vermiştir.
2. Normal disk pozisyonunda ve anterior disk deplasmanı varlığında masseter-temporal botoks uygulamasıyla ısırma plağı kullanımı kondil-disk-fossa üzerindeki stresleri azaltmada masseter-temporal-lateral pterygoid kaslara botoks uygulamasından daha etkilidir.
3. Tek taraflı disk deplasmanı varlığında bruksizme bağlı kondil-disk-fossada oluşan gerilmeler diskin normal konumlandığı taraftaki stresleri etkiler.
4. Lateral pterygoid kasa botoks uygulamasının anatomik zorluğu, kılavuzsuz kas içi enjeksiyonun zorluğu nedeniyle kör enjeksiyon yapılmasının komplikasyonları nedeniyle bruksizm için deplasman olan ve olmayan durumlarda öncelikli tedavi seçeneği eklem içi stresleri azaltmada daha iyi sonuçlar veren masseter ve temporal kaslara botoks enjeksiyonuyla birlikte ısırma plağı kullanımı olabilir.
5. İç düzensizliklerde disk deplasmanı oluşurken diskin genellikle öne ve bir miktar mediale deplase olduğu bilinmektedir. Bizim çalışmamızda disk sadece öne deplase edilmiştir. Ayrıca çalışmada anterior disk deplasmanlı disk modeli sadece diskin öne konumlandırılması ile simüle edilmiş, kondilin arka bandı atlaması (klik) simüle edilmemiştir. Disk yer değiştirdiğinde sinoviyal sıvının kalitesinin ve miktarının değiştiğini, bunun da TME sürtünme katsayısında bir artışa neden olduğu bilinmektedir. Bizim çalışmamızda sürtünme katsayısı disk deplasmanı olan ve olmayan tarafta aynı tutulmuştur. Bu nedenle sonlu elemanlar analizi çalışmalarında gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilmesi için daha gelişmiş ve daha çok anatomik oluşumu taklit edebilen modeller tasarlanmalıdır. Gelecekte yapılacak sonlu elemanlar analizi çalışmalarında, redüksiyonlu ve redüksiyonsuz disk deplasmanı modellerinde bu ayrıntılar göz önünde bulundurulmalıdır.

6. Eklemde ligamentlerin yapıyı korumada önemli rol üstlenirken gerilmeye müsait bir yapıları olmadığı ve eklem fonksiyonlarına aktif olarak katılmak yerine, ancak pasif sınırlayıcı olarak görev aldığı unutulmamalıdır.

7. Kas içi botoks enjeksiyonunun etkinliği temporomandibular düzensizlik konusunda daha ileri klinik çalışmalar gerekmektedir.

8. Multifaktöryel bir hastalık olan bruksizmin tedavisinde de klinikte multidisipliner bir yaklaşım gereklidir. Tedavide belli standartlara erişmek için ileri randomize klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

Bu sonuçlar, kas içi botoks tedavisine ek olarak ısırma plağı kullanımının temporomandibular eklem hastalarında ağrının azalmasına olumlu katkı sağlayacağını, tedavi sürecini hızlandırabileceği ve hastaların daha erken dönemde şikayetlerinin ortadan kalkabileceğini göstermektedir.

Bu çalışma ile, noninvaziv bir yöntem olan ısırma plağı kullanımının kas içi botoks uygulaması ile desteklenerek etkinliğinin artırılabilirliği sonucuna varılmıştır. Özellikle lateral pterygoid kasın fonksiyonu ve bu kasa botoks uygulamanın zorlukları düşünüldüğünde, , TMD'si olan ve olmayan hastalarda masseter-temporal botoks ile ısırma plağı kullanımının masseter-temporal-lateral pterygoid kaslara botoks uygulamasına göre eklemdeki stresleri azaltmada çok daha üstün bir yöntem olduğu görülmüştür. Benzer çalışmaların literatürde yer alması sebebiyle gelecekte daha fazla hasta üzerinde randomize klinik çalışmaların yapılması bu çalışmanın sonuçlarını destekleyecek ve bu konuda belki de yeni bir tedavi algoritması oluşturulmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Haskin CL, Milam SB, Cameron IL. Pathogenesis of degenerative joint disease in the human temporomandibular joint. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 1995, 6: 248-277.
2. Sierwald I, John MT, Schierz O, Hirsch C, Sagheri D, Jost-Brinkmann P-G, Reissmann DR. Association of temporomandibular disorder pain with awake and sleep bruxism in adults. 2015.
3. Güler E. Temporomandibular Rahatsızlıkları Oluşturan Etyolojik Faktörler. Protetik Diş Tedavisi. İstanbul Üniversitesi, 2022.
4. Reißmann DR, John MT, Schierz O, Wassell RW. Functional and psychosocial impact related to specific temporomandibular disorder diagnoses. *Journal of dentistry*, 2007, 35: 643-650.
5. Poveda Roda R, Bagán JV, Díaz Fernández JM, Hernández Bazán S, Jiménez Soriano Y. Review of temporomandibular joint pathology: Part I: Classification, epidemiology and risk factors. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal (Internet)*, 2007, 12: 292-298.
6. Suvinen T, Reade P, Hanes K, Könönen M, Kempainen P. Temporomandibular disorder subtypes according to self-reported physical and psychosocial variables in female patients: a re-evaluation. *Journal of oral rehabilitation*, 2005, 32: 166-173.
7. Murphy GJ. Physical medicine modalities and trigger point injections in the management of temporomandibular disorders and assessing treatment outcome. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 1997, 83: 118-122.
8. Özel HBU, Aslan YU, Sancaklı E. Temporomandibular Rahatsızlıkların Tedavisinde Botulinum Toksin Kullanımı. *European Journal of Research in Dentistry*, 2022, 6: 46-57.
9. de Bont LG. Temporomandibular joint degenerative diseases: pathogenesis. İçinde: *Management of Temporomandibular Joint Degenerative Diseases*, Springer, 1996: 3-11.
10. Dimitroulis G. Temporomandibular disorders: a clinical update. *Bmj*, 1998, 317: 190-194.
11. Okeson JP. *Management of temporomandibular disorders and occlusion-E-book*. Baskı. Elsevier Health Sciences, 2019.
12. Baş B, Duran H. Temporomandibular eklem bozukluklarının tedavisinde düşük doz lazer uygulamasının yeri. *Ondokuz Mayıs Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2012, 13: 48-54.
13. Lexomboon D, Trulsson M, Wårdh I, Parker MG. Chewing ability and tooth loss: association with cognitive impairment in an elderly population study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 2012, 60: 1951-1956.
14. Pedersen A, Bardow A, Jensen SB, Nauntofte B. Saliva and gastrointestinal functions of taste, mastication, swallowing and digestion. *Oral diseases*, 2002, 8: 117-129.
15. Tümen DS, Arslan SG. Çiğneme kas aktivitesi ve ölçüm yöntemleri. 2007.
16. Ow R, Carlsson G, Karlsson S. Relationship of masticatory mandibular movements to masticatory performance of dentate adults: a method study. *Journal of oral rehabilitation*, 1998, 25: 821-829.
17. Xu W, Bronlund J, Potgieter J, Foster K, Röhrle O, Pullan A, Kieser J. Review of the human masticatory system and masticatory robotics. *Mechanism and Machine Theory*, 2008, 43: 1353-1375.
18. Koolstra JH. Dynamics of the human masticatory system. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 2002, 13: 366-376.
19. Arslan SS. Çiğneme fonksiyonu: anatomi, fizyoloji ve nörolojik kontrol. *Anatolian Clinic the Journal of Medical Sciences*, 27: 95-102.
20. Shaw SM, Martino R. The normal swallow: muscular and neurophysiological control. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 2013, 46: 937-956.
21. Tomokiyo A, Wada N, Maeda H. Periodontal ligament stem cells: regenerative potency in periodontium. *Stem cells and development*, 2019, 28: 974-985.
22. Lund JP. Mastication and its control by the brain stem. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 1991, 2: 33-64.
23. van Eijden T. Biomechanics of the mandible. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 2000, 11: 123-136.
24. Edgar W. Saliva: its secretion, composition and functions. *British dental journal*, 1992, 172: 305-312.
25. Bosma JF. Sensorimotor examination of the mouth and pharynx. İçinde: *Physiology of oral tissues*, Karger Publishers, 1976: 78-107.

26. Singh V. *Textbook of Anatomy Head, Neck, and Brain; Volume III*. Baskı. Elsevier Health Sciences, 2014.
27. Küçüküven A. Temporomandibular Eklem İnnervasyonu: Anatomik Çalışma ve Klinik Yansımaları. 2021.
28. Orhan K. 1. Temporomandibuler eklem anatomisi.
29. Bell WE. Understanding Temporomandibular Biomechanics: An Explanation. *Journal of Craniomandibular Practice*, 1983, 1: 27-33.
30. Griffin C. The prevalence of the lateral subcondylar tubercle of the mandible in fossil and recent man with particular reference to Anglo-Saxons. *Archives of Oral Biology*, 1977, 22: 633-639.
31. Scapino RP. Morphology and mechanism of the jaw joint. *Science and practice of occlusion*, 1997: 23-40.
32. Hylander WL. Functional anatomy and biomechanics of the masticatory apparatus. *Temporomandibular disorders: an evidenced approach to diagnosis and treatment*. New York: Quintessence Pub Co, 2006: 3-34.
33. Alomar X, Medrano J, Cabratosa J, Clavero J, Lorente M, Serra I, Monill J, Salvador A In *Anatomy of the temporomandibular joint*, Seminars in Ultrasound, CT and MRI, (editör).^(editörler). Elsevier: 2007; 170-183.
34. kenhub. Anatomy Head and neck Infratemporal region and pterygopalatine fossa. <https://www.kenhub.com/en/start/anatomy>.
35. Nickel J. Effect of the physical environment on growth of the temporomandibular joint. *Science and practice of occlusion*, 1997.
36. Mahan PE. TMJ Disorders and Orofacial Pain. The role of dentistry in a multidisciplinary diagnostic approach. 2003.
37. Rees LA. The structure and function of the mandibular joint. *Br Dent, J*, 1954, 96: 125-133.
38. Griffin C, Sharpe C. The structure of the adult human temporomandibular meniscus. *Australian Dental Journal*, 1960, 5: 190-195.
39. Molinari F, Manicone PF, Raffaelli L, Raffaelli R, Pirronti T, Bonomo L In *Temporomandibular joint soft-tissue pathology, I: Disc abnormalities*, Seminars in Ultrasound, CT and MRI, (editör).^(editörler). Elsevier: 2007; 192-204.
40. Tunç SK, Mızrak YR. Temporomandibular Eklem Hastalıkları ve Güncel Tedavi Yaklaşımları. *International Researches in Health Sciences*.
41. Cascone P, Fonzi L, Aboh I. Hyaluronic acid's biomechanical stabilization function in the temporomandibular joint. *Journal of Craniofacial Surgery*, 2002, 13: 751-754.
42. Nitzan D, Etsion I. Adhesive force: the underlying cause of the disc anchorage to the fossa and/or eminence in the temporomandibular joint—a new concept. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 2002, 31: 94-99.
43. Nitzan DW, Kreiner B, Zeltser R. TMJ lubrication system: its effect on the joint function, dysfunction, and treatment approach. *Compendium of Continuing Education in Dentistry (Jamesburg, NJ: 1995)*, 2004, 25: 437-438, 440, 443.
44. Nitzan D. 'Friction and adhesive forces'—possible underlying causes for temporomandibular joint internal derangement. *Cells Tissues Organs*, 2003, 174: 6-16.
45. Osborn J. The temporomandibular ligament and the articular eminence as constraints during jaw opening. *Journal of oral rehabilitation*, 1989, 16: 323-333.
46. Varol A. Tme Artroskopisi Uygulanan Dejeneratif Temporomandibuler Eklem Hastalarında Eklem Hastalarında Sinoviyal Mikrovaskülarizasyonun Power Doppler Ultrasonografi Ile Değerlendirilmesi. Marmara Üniversitesi (Turkey), 2007.
47. Yalçın S, Aktaş İ. Dişhekimliğinde temporomandibular eklem hastalarına yaklaşım. *Vestiye Yayın Grubu İstanbul*, 2010.
48. Yengin E. Temporomandibular rahatsızlıklarda teşhis ve tedavi. *İstanbul: Dilek Matbaacılık*, 2000: 14-22.
49. Ash M, Ramfjord S. Initial treatment of occlusal disorders. *Occlusion*. 4th ed. Philadelphia: WB Saunders Company, 1995: 271-290.
50. Posselt U. Studies in the mobility of the human mandible. *Acta Odontol Scand*, 1952, 10: 126-129.

51. Schwartz L. *Disorders of the temporomandibular joint: diagnosis, management, relation to occlusion of teeth*. Baskı. Saunders, 1959.
52. Katzberg RW. Diagnosis of the temporomandibular joint. *Pathology*, 1994.
53. Fernandes PR, de Vasconsellos HA, Okeson JP, Bastos RL, Maia ML. The anatomical relationship between the position of the auriculotemporal nerve and mandibular condyle. *Cranio®*, 2003, 21: 165-171.
54. Tanaka T. TMJ Microanatomy: An Approach to Current Controversies (Videotape). *San Diego, CA*, 1992.
55. Widmalm S, Lillie J, Ash Jr M. Anatomical and electromyographic studies of the lateral pterygoid muscle. *Journal of oral rehabilitation*, 1987, 14: 429-446.
56. Meyenberg K. Relationships of the muscles of mastication to the articular disc of the temporomandibular joint. *Helv. Odontol. Acta.*, 1986, 30: 1-20.
57. Ide Y, Nakazawa K. *Muscles of Temporomandibular joint, Anatomical atlas of Temporomandibular joint*. Baskı. Tokyo, Japan, Quintessence Publishing Co, Ltd., 1991.
58. Aksoy S, Orhan K. Temporomandibular eklemin disk deplasmanları. *Gazi Üniversitesi Dış Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2010, 27: 65-73.
59. Yıldız S. Temporomandibular eklemden redüksiyonlu disk deplasmanı olan hastalarda vitamin D seviyesinin hastalığa etkisinin biyokimyasal ve genetik yöntemlerle değerlendirilmesi.
60. Yaltırık M, Palancıoğlu A, Koray M, Turgut CT. Temporomandibular eklemin bozuklukları ve teşhisi. 2017.
61. Boyd RL, Gibbs CH, Mahan PE, Richmond AF, Laskin JL. Temporomandibular joint forces measured at the condyle of Macaca arctoides. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1990, 97: 472-479.
62. Kumar R, Pallagatti S, Sheikh S, Mittal A, Gupta D, Gupta S. Suppl 2: M4: Correlation Between Clinical Findings of Temporomandibular Disorders and MRI Characteristics of Disc Displacement. *The open dentistry journal*, 2015, 9: 273.
63. Mansour RM, Reynik RJ. In vivo occlusal forces and moments: I. Forces measured in terminal hinge position and associated moments. *Journal of Dental Research*, 1975, 54: 114-120.
64. Peterson MM. *Peterson's Principles of Oral and Maxillofacial Surgery* -Third Edition. 2011.
65. A.Baumann U. (TMJ Disorders and Orofacial Pain The Role of Dentistry in a Multidisciplinary Diagnostic Approach). *Color Atlas of Dental Medicine*, 2002.
66. Miloro M, Ghali G, Larsen PE, Waite PD. *Peterson's principles of oral and maxillofacial surgery*. Baskı. Springer, 2004.
67. Clark R, Wyke B. Contributions of temporomandibular articular mechanoreceptors to the control of mandibular posture: an experimental study. *Journal of dentistry*, 1974, 2: 121-129.
68. Villamil MB, Nedel LP, Freitas CM, Macq B. Simulation of the human TMJ behavior based on interdependent joints topology. *Computer methods and programs in biomedicine*, 2012, 105: 217-232.
69. Clark GT, Ram S. Four oral motor disorders: bruxism, dystonia, dyskinesia and drug-induced dystonic extrapyramidal reactions. *Dental Clinics*, 2007, 51: 225-243.
70. Bader G, Lavigne G. Sleep bruxism; an overview of an oromandibular sleep movement disorder. *Sleep medicine reviews*, 2000, 4: 27-43.
71. Kuloglu M. Psikotrop ilaçlar ve bruksizm/ Psychotropic drugs and bruxism. *Anadolu Psikiyatri Dergisi*, 2009, 10: S18.
72. Bulut AC, Saadet A. Bruksizm tanısı ve tedavisinde güncel yaklaşımlar. *Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi*, 2012, 14: 20-25.
73. Winocur E, Gavish A, Voikovitch M, Emodi-Perlman A, Eli I. Drugs and bruxism: a critical review. *Journal of orofacial pain*, 2003, 17.
74. Milosevic A, Agrawal N, Redfearn P, Mair L. The occurrence of toothwear in users of Ecstasy (3, 4 MethyleneDioxyMethAmphetamine). *Community dentistry and oral epidemiology*, 1999, 27: 283-287.
75. Pierce CJ, Chrisman K, Bennett ME, Close JM. Stress, anticipatory stress, and psychological measures related to sleep bruxism. *Journal of orofacial pain*, 1995, 9.

76. Cosme DC, Baldisserotto SM, Canabarro SdA, Shinkai RS. Bruxism and voluntary maximal bite force in young dentate adults. *International Journal of Prosthodontics*, 2005, 18.
77. Karabekiroğlu S, Şener S, Ünlü N. Genç yetişkin bireylerde bruksizm farkındalığı ve ilişkili değişik faktörlerin değerlendirilmesi. 2014.
78. Özgür ME, Arifağaoğlu Ö, Karabekmez D. Bruksizm teşhis ve tedavisi üzerine güncel yaklaşımlar: Derleme. *Turkish Journal of Clinics and Laboratory*, 2019, 10: 251-258.
79. Lobbezoo F, Naeije M. Bruxism is mainly regulated centrally, not peripherally. *Journal of oral rehabilitation*, 2001, 28: 1085-1091.
80. Çekemez P, Güven Y. Çocuklarda bruksizmin etyolojisi ve tedavisinin değerlendirilmesi.
81. Eren S, Arıkan HK, Tamam C, Kasapoğlu Ç. Bruksizm ve güncel tedavi yaklaşımları. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 2015, 25: 241-258.
82. Mengatto CM, Coelho-de-Souza FH, de Souza Junior OB. Sleep bruxism: challenges and restorative solutions. *Clinical, cosmetic and investigational dentistry*, 2016, 8: 71.
83. Demjaha G, Kapusevska B, Pejkovska-Shahpaska B. Bruxism unconscious oral habit in everyday life. *Open access Macedonian journal of medical sciences*, 2019, 7: 876.
84. Antunes LAA, Castilho T, Marinho M, Fraga RS, Antunes LS. Childhood bruxism: related factors and impact on oral health-related quality of life. *Special Care in Dentistry*, 2016, 36: 7-12.
85. Nadler SC. Bruxism, a classification: critical review. *The Journal of the American Dental Association*, 1957, 54: 615-622.
86. Laberge L, Tremblay RE, Vitaro F, Montplaisir J. Development of parasomnias from childhood to early adolescence. *Pediatrics*, 2000, 106: 67-74.
87. Dauvilliers Y, Maret S, Tafti M. Genetics of normal and pathological sleep in humans. *Sleep medicine reviews*, 2005, 9: 91-100.
88. Rintakoski K, Ahlberg J, Hublin C, Broms U, Madden P, Könönen M, Koskenvuo M, Lobbezoo F, Kaprio J. Bruxism is associated with nicotine dependence: a nationwide Finnish twin cohort study. *Nicotine & Tobacco Research*, 2010, 12: 1254-1260.
89. Michalowicz BS, Pihlstrom BL, Hodges JS, Bouchard Jr TJ. No heritability of temporomandibular joint signs and symptoms. *Journal of Dental Research*, 2000, 79: 1573-1578.
90. Huynh N, Kato T, Rompré P, Okura K, Saber M, Lanfranchi P, Montplaisir J, Lavigne G. Sleep bruxism is associated to micro-arousals and an increase in cardiac sympathetic activity. *Journal of sleep research*, 2006, 15: 339-346.
91. Clark G, Rugh J, Handelman S. Nocturnal masseter muscle activity and urinary catecholamine levels in bruxers. *Journal of Dental Research*, 1980, 59: 1571-1576.
92. Madrid G, Madrid S, Vranesh JG, Hicks RA. Cigarette smoking and bruxism. *Perceptual and motor skills*, 1998, 87: 898-898.
93. Patroğlu AM, Didinen S, Tuğba E. Çocuklarda tüm yönleriyle bruksizm. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2016: 114-119.
94. Lavigne GJ. Sleep bruxism. *Principles and practice of sleep medicine*, 2005.
95. Mısırlıoğlu M, zahit Adışen M. Bruksizmin tanısı, tedavisi ve görüntülenmesi üzerine yeni görüşler. *European Annals of Dental Sciences*, 39: 93-101.
96. Aydın N. Bruksizm tanısı ve tedavisi. *DİŞ HEKİMLİĞİNDE GÜNCEL BİLGİLER*, 2022: 51.
97. Sperber GH. Dental wear: attrition, erosion, and abrasion—a palaeo-odontological approach. *Dentistry journal*, 2017, 5: 19.
98. Hoz Aizpurua JLDL, Díaz Alonso E, LaTouche Arbizu R, Mesa Jiménez J. Sleep bruxism. Conceptual review and update. 2011.
99. Alfaya TdA, Tannure PN, Barcelos R, Dıp EC, Uemoto L, Gouvea CVD. Clinical management of childhood bruxism. *RGO-Revista Gaúcha de Odontologia*, 2015, 63: 207-212.
100. Menapace SE, Rinchuse DJ, Zullo T, Pierce CJ, Shnorhokian H. The dentofacial morphology of bruxers versus non-bruxers. *The Angle Orthodontist*, 1994, 64: 43-52.
101. Sapiro SM. Tongue indentations as an indicator of clenching. *Clinical Preventive Dentistry*, 1992, 14: 21-24.
102. de Oliveira Reis L, Ribeiro RA, Martins CC, Devito KL. Association between bruxism and temporomandibular disorders in children: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Paediatric Dentistry*, 2019, 29: 585-595.

103. Toscano P, Defabianis P. Clinical evaluation of temporomandibular disorders in children and adolescents: a review of the literature. *European Journal of Paediatric Dentistry*, 2009, 10: 188-192.
104. Palinkas M, De Luca Canto G, Rodrigues LAM, Bataglioni C, Siéssere S, Semprini M, Regalo SCH. Comparative capabilities of clinical assessment, diagnostic criteria, and polysomnography in detecting sleep bruxism. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 2015, 11: 1319-1325.
105. Lobbezoo F, Ahlberg J, Glaros A, Kato T, Koyano K, Lavigne G, De Leeuw R, Manfredini D, Svensson P, Winocur E. Bruxism defined and graded: an international consensus. *Journal of oral rehabilitation*, 2013, 40: 2-4.
106. Koyano K, Tsukiyama Y, Ichiki R, Kuwata T. Assessment of bruxism in the clinic. *Journal of oral rehabilitation*, 2008, 35: 495-508.
107. Yamamura M, Takahashi A, Aoki H, Takeuchi N, Endo Y, Tamaki K, Sano Y, Fujiwara S, Fujita T, Kusunoki S. A study on display and accuracy of occlusal contacts by means of T-Scan System. *Kanagawa shigaku. The Journal of the Kanagawa Odontological Society*, 1990, 25: 236-241.
108. Kara MI, Ertas ET, Ozen E, Atıcı M, Aksoy S, Erdogan MS, Kelebek S. BiteStrip analysis of the effect of fluoxetine and paroxetine on sleep bruxism. *Archives of Oral Biology*, 2017, 80: 69-74.
109. Rodrigues-Bigaton D, Berto R, Oliveira AS, Bérzin F. Does masticatory muscle hyperactivity occur in individuals presenting temporomandibular disorders? *Brazilian Journal of Oral Sciences*, 2008, 7: 1497-1501.
110. Çekirge Ö. Uyku brüksizminin EMG analiziyle otomatik tespiti.
111. Ikeda T, Nishigawa K, Kondo K, Takeuchi H, Clark GT. Criteria for the detection of sleep-associated bruxism in humans. *Journal of orofacial pain*, 1996, 10.
112. Bulut DG, Avci F, Özcan G. Ultrasonographic evaluation of jaw elevator muscles in young adults with bruxism and with and without attrition-type tooth wear: A pilot study. *Cranio®*, 2018.
113. Lobbezoo F, Van Der Zaag J, Van Selms M, Hamburger H, Naeije M. Principles for the management of bruxism. *Journal of oral rehabilitation*, 2008, 35: 509-523.
114. de-la-Hoz JL. Sleep bruxism: review and update for the restorative dentist. *Alpha Omegan*, 2013, 106.
115. Geniş B, Hocaoglu Ç. Temporomandibular Bozukluklar ve Bruksizmde Eşlik Eden Psikiyatrik Bozukluklar ve Tedavi Seçenekleri. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, 2020, 12: 205-231.
116. Kaplan AS, Assael LA. *Temporomandibular disorders: diagnosis and treatment*. Baskı. Saunders, 1991.
117. Gezer İA, Levendoğlu F. Temporomandibular Eklem Rahatsızlıklarının Sınıflandırılması, Tanı ve Tedavisi. *Genel Tıp Dergisi*, 2016, 26.
118. Abdelkareem A. Clostridium botulinum toksininin kantitatif olarak saptanmasında kullanılacak kanatlı immunoglobulinlerine (IGY) dayalı bir immuno real-time pcr testinin geliştirilmesi.
119. Park K-S, Lee C-H, Lee J-W. Use of a botulinum toxin A in dentistry and oral and maxillofacial surgery. *Journal of Dental Anesthesia and Pain Medicine*, 2016, 16: 151-157.
120. Kedlaya D. Botulinum toxin: overview. *eMedicine Word Medical Library*, 2006.
121. Dolly J, Aoki K. The structure and mode of action of different botulinum toxins. *European Journal of Neurology*, 2006, 13: 1-9.
122. Dressler D, Saberi FA. Botulinum toxin: mechanisms of action. *European neurology*, 2005, 53: 3-9.
123. Majid O. Clinical use of botulinum toxins in oral and maxillofacial surgery. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 2010, 39: 197-207.
124. Gazerani P. How Does Botulinum Toxin Inhibit Itch? *Toxins*, 2022, 14: 701.
125. Nilesh K, Patil M. The Application of Botulinum Toxin in Oral and Maxillofacial Surgery. 2022.
126. Fedorowicz Z, van Zuuren EJ, Schoones J. Botulinum toxin for masseter hypertrophy. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2013.
127. Kim N-H, Park R-H, Park J-B. Botulinum toxin type A for the treatment of hypertrophy of the masseter muscle. *Plastic and reconstructive surgery*, 2010, 125: 1693-1705.
128. Schwartz M, Freund B. Treatment of temporomandibular disorders with botulinum toxin. *The Clinical journal of pain*, 2002, 18: S198-S203.
129. Bakke M. Botulinum Toxin, a Drug with Potential Interest for Dentists—An Introduction. *Toxins*, 2022, 14: 667.

130. Van Zandijcke M, Marchau M. Treatment of bruxism with botulinum toxin. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1990, 53: 530.
131. Ondo WG, Simmons JH, Shahid MH, Hashem V, Hunter C, Jankovic J. Onabotulinum toxin-A injections for sleep bruxism: A double-blind, placebo-controlled study. *Neurology*, 2018, 90: e559-e564.
132. Long H, Liao Z, Wang Y, Liao L, Lai W. Efficacy of botulinum toxins on bruxism: an evidence-based review. *International dental journal*, 2012, 62: 1-5.
133. Pidcock FS, Wise JM, Christensen JR. Treatment of severe post-traumatic bruxism with botulinum toxin-A: case report. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 2002, 60: 115-117.
134. Nayyar P, Kumar P, Nayyar PV, Singh A. Botox: broadening the horizon of dentistry. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, 2014, 8: ZE25.
135. Ivanhoe CB, Lai JM, Francisco GE. Bruxism after brain injury: successful treatment with botulinum toxin-A. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 1997, 78: 1272-1273.
136. Juniper RP. Temporomandibular joint dysfunction: a theory based upon electromyographic studies of the lateral pterygoid muscle. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 1984, 22: 1-8.
137. Bakke M, Møller E, Werdelin LM, Dalager T, Kitai N, Kreiborg S. Treatment of severe temporomandibular joint clicking with botulinum toxin in the lateral pterygoid muscle in two cases of anterior disc displacement. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 2005, 100: 693-700.
138. Aquilina P, Vickers R, McKellar G. Reduction of a chronic bilateral temporomandibular joint dislocation with intermaxillary fixation and botulinum toxin A. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 2004, 42: 272-273.
139. Pons M, Meyer C, Euvrard E, Weber E, Sigaux N, Louvrier A. MR-guided navigation for botulinum toxin injection in the lateral pterygoid muscle. First results in the treatment of temporomandibular joint disorders. *Journal of stomatology, oral and maxillofacial surgery*, 2019, 120: 188-195.
140. İLGÜN A, KORKMAZ HH, MALKOÇ S, BAŞÇİFTÇİ FA. İnsan Mandibulasında Sonlu Elemanlar Metodu Kullanılarak Gerilme Analizi Yapılması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2004, 19: 29-38.
141. Nanda R. *Biomechanics and esthetic strategies in clinical orthodontics*. Baskı. Elsevier Health Sciences, 2005.
142. Küçük Kurt S. Sonlu elemanlar stres analizi yöntemi ve dental implantoloji alanında yapılan araştırmalar. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2019, 29: 701-710.
143. Boschian Pest L, Guidotti S, Pietrabissa R, Gagliani M. Stress distribution in a post-restored tooth using the three-dimensional finite element method. *Journal of oral rehabilitation*, 2006, 33: 690-697.
144. Combe EC. *Notes on dental materials*. Baskı. Churchill Livingstone, 1986.
145. Budynas RG, Nisbett JK. *Shigley's mechanical engineering design*. Baskı. McGraw-Hill New York, 2011.
146. Geng J-P, Tan KB, Liu G-R. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. *The Journal of prosthetic dentistry*, 2001, 85: 585-598.
147. Sakaguchi RL, Powers JM. *Craig's restorative dental materials-e-book*. Baskı. Elsevier Health Sciences, 2012.
148. Adıgüzel Ö. Sonlu elemanlar analizi: derleme Bölüm I: dişhekimliğinde kullanım alanları, temel kavramlar ve eleman tanımları. *Dicle Dişhekimliği Dergisi*, 2010, 11: 18-23.
149. Skinner EW, Phillips RW. *Skinner's Science of dental materials*. Baskı. WB Saunders Company, 1982.
150. Rho JY, Ashman RB, Turner CH. Young's modulus of trabecular and cortical bone material: ultrasonic and microtensile measurements. *Journal of biomechanics*, 1993, 26: 111-119.
151. Zaimoğlu A, Can G, Ersoy E, Aksu L. Diş hekimliğinde maddeler bilgisi. *AÜ Basımevi, Ankara*, 1993, 515.
152. Ahmed DA. XYF 3 (X= Ag, K ve Y= Mg, Ni, Zn, Co, Mn) Malzemelerinin Yapısal ve Elastik Özelliklerinin Teorik Olarak İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi (Turkey), 2019.
153. DeTolla DH, Andreana S, Patra A, Buhite R, Comella B. The role of the finite element model in dental implants. *Journal of Oral Implantology*, 2000, 26: 77-81.

154. Borens AP, Schmidt RJ, Sidebottom OM. *Advanced mechanics of materials*. Baskı. Wiley New York, 1985.
155. Rennie R. *The Facts on File dictionary of atomic and nuclear physics*. Baskı. 2003.
156. Erdik A. Portal Kren Gövdesinin Sonlu Elemanlarla Modellenmesi Ve Statik Gerilme Analizi. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
157. Taşkınsel E, Gümüş H. Sonlu elemanlar stres analizi ve restoratif diş hekimliğinde kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2014, 24: 131-135.
158. Nicholson DW. *Finite element analysis: thermomechanics of solids*. Baskı. CRC press, 2008.
159. Borchers L, Reichart P. Three-dimensional stress distribution around a dental implant at different stages of interface development. *Journal of Dental Research*, 1983, 62: 155-159.
160. Akça K, Çehrelî MC, İplikçioğlu H. A comparison of three-dimensional finite element stress analysis with in vitro strain gauge measurements on dental implants. *International Journal of Prosthodontics*, 2002, 15.
161. Dally JW, Riley WF, Kobayashi A. Experimental stress analysis. 1978.
162. Ulusoy M, Aydın K. Diş Hekimliğinde Hareketli Bölümlü Protezler Cilt 1-2, 3. *Baskı, Ankara Üniversitesi Diş Hekimliği Yayınları, Ankara*, 2010.
163. Geng J, Yan W, Xu W. *Application of the finite element method in implant dentistry*. Baskı. Springer Science & Business Media, 2008.
164. Bathe KJ. Finite element method. *Wiley encyclopedia of computer science and engineering*, 2007: 1-12.
165. Güler M, Sadri Ş. Sonlu elemanlar yöntemi hakkında genel bilgiler. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2015, 5: 56-66.
166. De Vree J, Peters M, Plasschaert A. A comparison of photoelastic and finite element stress analysis in restored tooth structures. *Journal of oral rehabilitation*, 1983, 10: 505-517.
167. Baylan C. Segmental mandibular defektlerinin tamirinde farklı rekonstruksiyon plaklarının biomekanik değerlendirilmesi. 2019.
168. Siegle D, Soltesz U. Numerical investigations of the influence of implant shape on stress distribution in the jaw bone. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 1989, 4.
169. Trivedi S. Finite element analysis: A boon to dentistry. *Journal of oral biology and craniofacial research*, 2014, 4: 200-203.
170. Hsu M-L, Chang C-L. Application of finite element analysis in dentistry. *Finite Element Analysis*, 2010, 5: 43-46.
171. İnan Ö, Sevimay M, Eraslan O, Eskitaşçıoğlu G. Comparison of finite element and photoelastic stress analysis methods. *Türkiye Klinikleri J Dental Sci*, 2009, 15: 93-101.
172. Gümürükçü Z, Sevda K. Sonlu elemanlar stres analizi yönteminin implant cerrahisinde kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2019, 29: 534-541.
173. Reddy MS, Sundram R, Abdemagyd HAE. Application of finite element model in implant dentistry: a systematic review. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 2019, 11: S85.
174. Erkin M. DD11 ve DD13 çeliklerinin farklı akım türleri ile kaynağında ısı transferinin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2020.
175. Barrientos E, Pelayo F, Tanaka E, Lamela-Rey MJ, Fernández-Canteli A, de Vicente JC. Effects of loading direction in prolonged clenching on stress distribution in the temporomandibular joint. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2020, 112: 104029.
176. Liu Z, Fan Y, Qian Y In *Biomechanical simulation of the interaction in the temporomandibular joint within dentate mandible: a finite element analysis*, 2007 IEEE/ICME International Conference on Complex Medical Engineering, (editör).[^](editörler). IEEE: 2007; 1842-1846.
177. Liu Z, Qian Y, Zhang Y, Fan Y. Effects of several temporomandibular disorders on the stress distributions of temporomandibular joint: a finite element analysis. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 2016, 19: 137-143.
178. Ulusoy Ç, Darendeliler N. Çenelik uygulamasının mandibula üzerinde oluşturduğu gerilmenin üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*, 2008, 25: 25-32.
179. Tanaka E, Rodrigo D, Miyawaki Y, Lee K, Yamaguchi K, Tanne K. Stress distribution in the temporomandibular joint affected by anterior disc displacement: a three-dimensional analytic approach with the finite-element method. *Journal of oral rehabilitation*, 2000, 27: 754-759.

180. Tanaka E, Del Pozo R, Tanaka M, Asai D, Hirose M, Iwabe T, Tanne K. Three-dimensional finite element analysis of human temporomandibular joint with and without disc displacement during jaw opening. *Medical engineering & physics*, 2004, 26: 503-511.
181. Beek M, Koolstra J, Van Ruijven L, Van Eijden T. Three-dimensional finite element analysis of the cartilaginous structures in the human temporomandibular joint. *Journal of Dental Research*, 2001, 80: 1913-1918.
182. Teke A, Keçeci A, Sonlu elemanlar analizi-Bölüm I. Stres analiz yöntemleri, diş hekimliğinde kullanım alanları ve temel kavramlar. *Roots 1_2012*, syf: 10-14.
183. Kwon K-H, Shin KS, Yeon SH, Kwon DG. Application of botulinum toxin in maxillofacial field: part I. Bruxism and square jaw. *Maxillofacial plastic and reconstructive surgery*, 2019, 41: 1-13.
184. Ahn KY, Kim ST. The change of maximum bite force after botulinum toxin type a injection for treating masseteric hypertrophy. *Plastic and reconstructive surgery*, 2007, 120: 1662-1666.
185. Park H, Kim B, Kang S, Kim S, Choi J, Ahn H. Changes in masticatory function after injection of botulinum toxin type A to masticatory muscles. *Journal of oral rehabilitation*, 2013, 40: 916-922.
186. Pardo NB, Kerstein RB, Júnior MC, Ferreira LS, Abrahão M. Botulinum toxin type A for controlling bruxism assessed with computerized occlusal analysis: A pilot study. *Cranio®*, 2022, 40: 207-216.
187. Freund B, Schwartz M. Temporal relationship of muscle weakness and pain reduction in subjects treated with botulinum toxin A. *The Journal of Pain*, 2003, 4: 159-165.
188. Kim KS, Byun YS, Kim YJ, Kim ST. Muscle weakness after repeated injection of botulinum toxin type A evaluated according to bite force measurement of human masseter muscle. *Dermatologic Surgery*, 2009, 35: 1902-1907.
189. Karataş M. Dişlerini Sıkan Bir Hastanın Temporomandibular Eklemine Gelen Kuvvetlerin Oklüzal Splint Varken Ve Yokken Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemiyle İncelenmesi. *Profitez Anabilimdalı, İstanbul Üniversitesi, İstanbul*, 2006: 114.
190. Koriath TW, Hannam AG. Mandibular forces during simulated tooth clenching. *Journal of orofacial pain*, 1994, 8.
191. Tanaka E, Tanne K, Sakuda M. A three-dimensional finite element model of the mandible including the TMJ and its application to stress analysis in the TMJ during clenching. *Medical engineering & physics*, 1994, 16: 316-322.
192. Mori H, Horiuchi S, Nishimura S, Nikawa H, Murayama T, Ueda K, Ogawa D, Kuroda S, Kawano F, Naito H. Three-dimensional finite element analysis of cartilaginous tissues in human temporomandibular joint during prolonged clenching. *Archives of Oral Biology*, 2010, 55: 879-886.
193. Luo D, Qiu C, Zhou R, Yu W, Li X, Yang J. MRI-based observation of the size and morphology of temporomandibular joint articular disc and condyle in young asymptomatic adults. *Dentomaxillofacial Radiology*, 2022, 51: 20210272.
194. Bagis B, Ayaz EA, Turgut S, Durkan R, Özcan M. Gender difference in prevalence of signs and symptoms of temporomandibular joint disorders: a retrospective study on 243 consecutive patients. *International journal of medical sciences*, 2012, 9: 539.
195. Katranji A, Misch K, Wang HL. Cortical bone thickness in dentate and edentulous human cadavers. *Journal of periodontology*, 2007, 78: 874-878.
196. He J, Ran J, Zheng B, Algahefi A, Liu Y. Finite element analysis of various thickness occlusal stabilization splint therapy on unilateral temporomandibular joint anterior disc displacement without reduction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2022, 161: e277-e286.
197. Bumann A, Lotzmann U, Mah J. *TMJ disorders and orofacial pain: the role of dentistry in a multidisciplinary diagnostic approach*. Baskı. Thieme Medical Publishers, 2002.
198. Pullinger A, Baldiaceda F, Bibb C. Relationship of TMJ articular soft tissue to underlying bone in young adult condyles. *Journal of Dental Research*, 1990, 69: 1512-1518.
199. Jonsson G, Eckerdal O, Isberg A. Thickness of the articular soft tissue of the temporal component in temporomandibular joints with and without disk displacement. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 1999, 87: 20-26.
200. Okeson JP. Joint intracapsular disorders: diagnostic and nonsurgical management considerations. *Dental Clinics*, 2007, 51: 85-103.

201. Murakami S, Takahashi A, Nishiyama H, Fujishita M, Fuchihata H. Magnetic resonance evaluation of the temporomandibular joint disc position and configuration. *Dentomaxillofacial Radiology*, 1993, 22: 205-207.
202. Yoshida H, Hirohata H, Onizawa K, Niitsu M, Itai Y. Flexure deformation of the temporomandibular joint disk in pseudodynamic magnetic resonance images. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 2000, 89: 104-111.
203. Wajima K, Sannta M, Yazaki A, Ikawa M, Sumii Y, Kogai H, Suzuki A, Nakagawa H, Nomoto T. Analysis on deformity of disk associated with internal derangement of TMJ. *Nihon Ago Kansetsu Gakkai Zasshi*, 1989, 1: 139-150.
204. AGRAWAL PA, SHAH NS, GANDOTRA RA, PANCHAL KV, SHAH RN. A Morphometric Analysis of Intra-Articular Disc of Temporomandibular Joints-In Cadavers. *Journal of Clinical & Diagnostic Research*, 2021, 15.
205. Tanaka E, Rodrigo D, Tanaka M, Kawaguchi A, Shibazaki T, Tanne K. Stress analysis in the TMJ during jaw opening by use of a three-dimensional finite element model based on magnetic resonance images. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 2001, 30: 421-430.
206. Del Palomar AP, Doblaré M. An accurate simulation model of anteriorly displaced TMJ discs with and without reduction. *Medical engineering & physics*, 2007, 29: 216-226.
207. Heffez L, Jordan S, Going Jr R. Determination of the radiographic position of the temporomandibular joint disk. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*, 1988, 65: 272-280.
208. Kurita H, Ohtsuka A, Kobayashi H, Kurashina K. Is the morphology of the articular eminence of the temporomandibular joint a predisposing factor for disc displacement? *Dentomaxillofacial Radiology*, 2000, 29: 159-162.
209. Tasaki MM, Westesson P-L, Isberg AM, Ren Y-F, Tallents RH. Classification and prevalence of temporomandibular joint disk displacement in patients and symptom-free volunteers. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 1996, 109: 249-262.
210. Nagahara K, Murata S, Nakamura S, Tsuchiya T. Displacement and stress distribution in the temporomandibular joint during clenching. *The Angle Orthodontist*, 1999, 69: 372-379.
211. Meyer C, Kahn J-L, Lambert A, Boutemy P, Wilk A. Development of a static simulator of the mandible. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 2000, 28: 278-286.
212. Aynalı G, Yener M. Temporomandibular eklem bozukluklarında tedavi secenekleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2012, 3: 150-154.
213. Fallah HM, Currimbhoy S. Use of botulinum toxin A for treatment of myofascial pain and dysfunction. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 2012, 70: 1243-1245.
214. Patel J, Cardoso JA, Mehta S. A systematic review of botulinum toxin in the management of patients with temporomandibular disorders and bruxism. *British dental journal*, 2019, 226: 667-672.
215. Serrera-Figallo M-A, Ruiz-de-León-Hernández G, Torres-Lagares D, Castro-Araya A, Torres-Ferrerrosa O, Hernández-Pacheco E, Gutierrez-Perez J-L. Use of botulinum toxin in orofacial clinical practice. *Toxins*, 2020, 12: 112.
216. von Lindern JJ, Niederhagen B, Bergé S, Appel T. Type A botulinum toxin in the treatment of chronic facial pain associated with masticatory hyperactivity. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 2003, 61: 774-778.
217. Muñoz Lora V, Del Bel Cury A, Jabbari B, Lacković Z. Botulinum toxin type A in dental medicine. *Journal of Dental Research*, 2019, 98: 1450-1457.
218. Blanco-Rueda JA, López-Valverde A, Márquez-Vera A, Méndez-Sánchez R, López-García E, López-Valverde N. Preliminary findings of the efficacy of botulinum toxin in temporomandibular disorders: uncontrolled pilot study. *Life*, 2023, 13: 345.
219. Pihut M, Ferendiuk E, Szewczyk M, Kasprzyk K, Wieckiewicz M. The efficiency of botulinum toxin type A for the treatment of masseter muscle pain in patients with temporomandibular joint dysfunction and tension-type headache. *The Journal of Headache and Pain*, 2016, 17: 1-6.
220. Chikhani L, Dichamp J In *Bruxism, temporo-mandibular dysfunction and botulinum toxin*, Annales de réadaptation et de médecine physique: revue scientifique de la Société française de rééducation fonctionnelle de réadaptation et de médecine physique, (editör).^(editörler). 2003; 333-337.

221. Hosgor H, Altindis S. Efficacy of botulinum toxin in the management of temporomandibular myofascial pain and sleep bruxism. *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 2020, 46: 335-340.
222. Patel AA, Lerner MZ, Blitzer A. IncobotulinumtoxinA injection for temporomandibular joint disorder: a randomized controlled pilot study. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 2017, 126: 328-333.
223. Benli M, Özcan M. Short-term effect of material type and thickness of occlusal splints on maximum bite force and sleep quality in patients with sleep bruxism: a randomized controlled clinical trial. *Clinical oral investigations*, 2023: 1-10.
224. Holmgren K, Sheikholeslam A, Riise C. An electromyographic study of the immediate effect of an occlusal splint on the postural activity of the anterior temporal and masseter muscles in different body positions with and without visual input. *Journal of oral rehabilitation*, 1985, 12: 483-490.
225. Dahlström LH, Torgny. Immediate electromyographic response in masseter and temporal muscles to bite plates and stabilization splints. *European Journal of Oral Sciences*, 1989, 97: 533-538.
226. Zhang S-H, He K-X, Lin C-J, Liu X-D, Wu L, Chen J, Rausch-Fan X. Efficacy of occlusal splints in the treatment of temporomandibular disorders: a systematic review of randomized controlled trials. *Acta Odontologica Scandinavica*, 2020, 78: 580-589.
227. Dalewski B, Chruściel-Nogalska M, Frączak B. Occlusal splint versus modified nociceptive trigeminal inhibition splint in bruxism therapy: a randomized, controlled trial using surface electromyography. *Australian Dental Journal*, 2015, 60: 445-454.
228. Harada T, Ichiki R, Tsukiyama Y, Koyano K. The effect of oral splint devices on sleep bruxism: a 6-week observation with an ambulatory electromyographic recording device. *Journal of oral rehabilitation*, 2006, 33: 482-488.
229. Hegab AF, Youssef AH, Abd Al Hameed HI, Karam KS. MRI-based determination of occlusal splint thickness for temporomandibular joint disk derangement: a randomized controlled clinical trial. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*, 2018, 125: 74-87.
230. Derwich M, Pawlowska E. Do the mandibular condyles change their positions within glenoid fossae after occlusal splint therapy combined with physiotherapy in patients diagnosed with temporomandibular joint disorders? A prospective case control study. *Journal of Personalized Medicine*, 2022, 12: 254.
231. Tanaka E, Hirose M, Inubushi T, Koolstra JH, van Eijden TM, Suekawa Y, Fujita R, Tanaka M, Tanne K. Effect of hyperactivity of the lateral pterygoid muscle on the temporomandibular joint disk. 2007.
232. Hattori-Hara E, Mitsui SN, Mori H, Arafurue K, Kawaoka T, Ueda K, Yasue A, Kuroda S, Koolstra JH, Tanaka E. The influence of unilateral disc displacement on stress in the contralateral joint with a normally positioned disc in a human temporomandibular joint: an analytic approach using the finite element method. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 2014, 42: 2018-2024.
233. Hirose M, Tanaka E, Tanaka M, Fujita R, Kuroda Y, Yamano E, Van Eijden TM, Tanne K. Three-dimensional finite-element model of the human temporomandibular joint disc during prolonged clenching. *European Journal of Oral Sciences*, 2006, 114: 441-448.
234. Osborn J. The disc of the human temporomandibular joint: design, function and failure. *Journal of oral rehabilitation*, 1985, 12: 279-293.
235. Scapino RP. Histopathology associated with malposition of the human temporomandibular joint disc. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology*, 1983, 55: 382-397.
236. Dolwick MF, Riggs RR. Diagnosis and treatment of internal derangements of the temporomandibular joint. *Dental Clinics of North America*, 1983, 27: 561-572.
237. Blackwood H. Pathology of the temporomandibular joint. *The Journal of the American Dental Association*, 1969, 79: 118-124.
238. DeVocht JW, Goel VK, Zeitler DL, Lew D. Experimental validation of a finite element model of the temporomandibular joint. *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 2001, 59: 775-778.
239. Yurttutan ME, Sancak KT, Tüzüner AM. Which treatment is effective for bruxism: Occlusal splints or botulinum toxin? *Journal of oral and maxillofacial surgery*, 2019, 77: 2431-2438.
240. Guarda-Nardini L, Manfredini D, Salamone M, Salmaso L, Tonello S, Ferronato G. Efficacy of botulinum toxin in treating myofascial pain in bruxers: a controlled placebo pilot study. *Cranio®*, 2008, 26: 126-135.

241. Gu W, Yang J, Zhang F, Yin X, Wei X, Wang C. Efficacy of biofeedback therapy via a mini wireless device on sleep bruxism contrasted with occlusal splint: a pilot study. *Journal of Biomedical Research*, 2015, 29: 160.
242. Kaya D, Ataoğlu H. Botulinum toxin treatment of temporomandibular joint pain in patients with bruxism: A prospective and randomized clinical study. *Nigerian journal of clinical practice*, 2021, 24: 412-417.
243. Sayed AA, Elsholkamy MA, Abdelmabood AA, Al Sharawy E. Clinical randomized trial to compare the efficacy of Botulinum toxin injection versus occlusal splint for management of anterior disc displacement. *Dental Science Updates*, 2022, 3: 215-220.
244. Beek M, Koolstra J, Van Ruijven L, Van Eijden T. Three-dimensional finite element analysis of the human temporomandibular joint disc. *Journal of biomechanics*, 2000, 33: 307-316.
245. Riley P, Glenny A-M, Worthington HV, Jacobsen E, Robertson C, Durham J, Davies S, Petersen H, Boyers D. Oral splints for temporomandibular disorder or bruxism: a systematic review. *British dental journal*, 2020, 228: 191-197.
246. Tran C, Ghahreman K, Huppa C, Gallagher J. Management of temporomandibular disorders: a rapid review of systematic reviews and guidelines. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 2022.
247. del Palomar AP, Doblare M. 3D finite element simulation of the opening movement of the mandible in healthy and pathologic situations. 2006.
248. Cheng H-Y, Peng P-W, Lin Y-J, Chang S-T, Pan Y-N, Lee S-C, Ou K-L, Hsu W-C. Stress analysis during jaw movement based on vivo computed tomography images from patients with temporomandibular disorders. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 2013, 42: 386-392.



T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ

Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurul Başkanlığı



Sayı : E-40465587-050.01.04-570
Konu : Etik Kurul

10.01.2023

Sayın Dr. Öğr. Üyesi EMRE BALABAN

Üniversitemiz Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kuruluna yapmış olduğunuz **“Bruksizm Hastalarında Masseter, Temporal, Lateral Pterygoid Kaslarına Botoks Uygulaması ve Isırma Plağı Kullanımının Temporomandibular Eklem Üzerinde Oluşturduğu Gerilimlerin Değerlendirilmesi: Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Analizi”** isimli başvurunuz etik kurulumuz yönergesine göre 05.01.2023 tarihinde yapmış olduğu toplantıda incelenmiş olup, 2023/01 karar numarası ile bilimsel ve etik yönden uygun bulunmuştur. Bilgilerinizi ve gereğini saygılarımla rica ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Tahsin Gökhan TELATAR
Başkan

Bu belge güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Belge Doğrulama Kodu : fab9a3ff39dc **Belge Takip Adresi: <http://ebys.erdogan.edu.tr/EBYS/eimzadogrulama>**

Fener Mah. Zihni Derin Yerleşkesi 53100 Rize / TÜRKİYE
Telefon No :+90 (464) 223 61 26 Faks No :+90 (464) 223 53 76
e-Posta : İnternet Adresi:<http://www.erdogan.edu.tr/>
Kep Adresi:

Bilgi için : BURAK HANKAYA
Bilgisayar İşletmeni

