

T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
MERAM TIP FAKÜLTESİ  
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI

**MEDİAL AÇIK KAMA YÜKSEK TİBİAL  
OSTEOTOMİDE LATERAL MENTEŞEYE YERLEŞTİRİLEN  
K-TELLERİNİN LATERAL KORTEKS KIRIĞI ÜZERİNE  
ETKİSİ**

UZMANLIK TEZİ

DR. TURGUT EMRE ERDEM

ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI

**KONYA-2022**



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
MERAM TIP FAKÜLTESİ  
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI

**MEDİAL AÇIK KAMA YÜKSEK TİBİAL  
OSTEOTOMİDE LATERAL MENTEŞEYE YERLEŞTİRİLEN  
K-TELLERİNİN LATERAL KORTEKS KIRIĞI ÜZERİNE  
ETKİSİ**

UZMANLIK TEZİ

DR. TURGUT EMRE ERDEM

ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI

Danışman : DOÇ. DR. FAİK TÜRKMEN

**KONYA-2022**

# ÖZET

T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
MERAM TIP FAKÜLTESİ

Medial Açık Kama Yüksek Tibial Osteotomi Lateral Menteşeye Yerleştirilen K-Tellerinin Lateral Korteks Kırığı Üzerine Etkisi

Dr. Turgut Emre Erdem

Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı

UZMANLIK TEZİ / KONYA-2022

**Amaç:** Yüksek tibial osteotomi (YTO); diz eklemi medial kompartmanında osteoartriti mevcut özellikle genç-orta yaş ve aktif bireylerin tedavisinde sık kullanılan bir cerrahi tekniktir. Bu teknikle, devamlı yüke maruz kalan eklem bölgesinden geçen yük hattının yönünü değiştirerek, yük dağılımını yeniden düzenlemek hedeflenmektedir. YTO esnasında oluşan lateral korteks kırığının etkileri çok defa araştırılmış ve uzun dönem sonuçları ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada amaç, medial açık kama yüksek tibial osteotomi tekniği esnasında oluşabilen lateral korteks kırığına lateral menteşeye yerleştirdiğimiz k-tellerinin etkisini incelemektir.

**Yöntem:** Bu çalışma sonlu eleman analiziyle oluşturulmuş biyomekanik nümerik bir çalışmadır. Çalışma bilgisayar üzerinden laboratuvar ortamında yürütülmüştür. Çalışmada veri toplama aracı olarak, bilgisayarlı tomografi sonrası elde edilmiş tibiadan katı model oluşturulmuştur. Lateral menteşeye birinci grupta k-tel yerleştirilmemiş, ikinci grupta tek k-tel, üçüncü grupta ise iki k-tel yerleştirilerek üç grup oluşturulmuştur. Ardından sonlu eleman analiziyle osteotomi hattı açılarak lateral menteşeye binen gerilmeler ölçülmüş, k telinin lateral menteşe gerilmesine ve direncine etkisi karşılaştırılmıştır.

**Bulgular:** Her üç gruba da 10 N.' dan başlayarak 500 N.' a kadar kuvvet uygulandı. 500 N kuvvete ulaşıldığında kontrol grubu olan (k tel bulunmayan) grupta 12,6 derece açılma ve 13,3 mm gap mesafesi ölçülürken, tek k tel bulunan grupta 10,5 derece açılma ve 11,2 mm gap mesafesi, iki k tel bulunan grupta 8,8 derece açılma ve 9,6 mm gap mesafesi ölçüldü. Bu sonuçlar bize lateral menteşeye gönderilen k tellerinin osteotomi hattında daha yavaş ve kontrollü bir açılma sağladığını gösterdi. K tel bulunmayan grupta kortikal kemik gerilmesinin k telli gruplara göre daha hızlı yükseldiğini gördük. K tel bulunmayan grupta direnci 122 N/mm, tek k tel bulunan grupta 132 N/mm, iki k tel bulunan grupta 142 N/mm şeklinde hesapladık. Lateral menteşeye gönderdiğimiz k-teller menteşede kuvvete direnç gösteren eleman görevini üstlendiğini ve lateral menteşe direncini artırdığını gözlemledik.

**Sonuç:** Lateral kortekse eklediğimiz k-tellerinin aynı kuvvette lateral korteksteki gerilmeleri azalttığını, lateral korteksteki direnci artırdığını gösterdik. Lateral menteşeye eklenen teller sayesinde osteotomi hattında aynı yer değiştirmeyi sağlamak için daha fazla kuvvete ihtiyaç olduğu sonucuna ulaştık. Kontrolsüz uygulanabilecek kuvveti tellerin absorbe ederek daha kontrollü bir açılma sağladığını ve lateral kortekste kırık oluşumunun önüne geçebileceğini gördük.

**Anahtar kelimeler:** Lateral menteşe; sonlu elemanlar analize; medial açık kama yüksek tibial osteotomi; lateral korteks kırığı

## ABSTRACT

T.C.  
NECMETTIN ERBAKAN UNIVERSITY  
MERAM FACULTY OF MEDICINE

Medial Open Wedge High Tibial Osteotomy Effect of K-Wires Placed on Lateral Hinge on Lateral Cortex Fracture

Dr.Turgut Emre Erdem  
Department of Orthopedics and Traumatology

SPECIALIZATION THESIS / KONYA-2022

**Purpose:** High tibial osteotomy (HTO) is a surgical technique commonly used in the treatment of young to middle-aged and active individuals with osteoarthritis in the medial compartment of the knee joint. The purpose of this technique is to reorganize the load distribution by redirecting the load line passing through the joint area that is subjected to continuous load. The effects of lateral cortical fracture during HTO have been investigated in several studies; in addition, its long-term effects have been examined. The aim of the present study was to investigate the effect of k-wires placed in the lateral hinge on lateral cortical fractures that may occur during medial open-wedge HTO technique.

**Method:** The current study is an experimental finite-element study with biomechanical and numerical components. The study was conducted using a computerized method in a laboratory environment. As a data collection tool in the study, solid models were created from the tibia obtained after computed tomography; k-wires were then applied to the solid models to divide them into three groups. The first group included models without k-wires, the second group those with one k-wire, and the third group those with two k-wires. Infinite element analysis was performed in all three groups and a force starting from 10 N up to 500 N was subsequently applied from the distal face of the osteotomy line. The displacement (mm), correction angle ( $^{\circ}$ ), and cortical and cancellous bone stresses (MPa) in the lateral hinge that occurred simultaneously with the applied force (N) were recorded instantaneously. A curve was constructed using the variation data of the applied force–gap distance. The slope of the linear section of this curve was used to individually determine the stiffness (N/mm) value of each model.

**Results:** At 500 N of applied force, the control group (no k-wire) had  $12.6^{\circ}$  of opening and 13.3 mm of gap distance, the group with one k-wire had  $10.5^{\circ}$  of opening and 11.2 mm of gap distance, and the group with two k-wires had  $8.8^{\circ}$  of opening and 9.6 mm of gap distance. These results showed that the k-wires mounted onto the lateral hinge provided a more controlled opening of the osteotomy line. The cortical bone stress increased faster in the group without k-wire than in the groups with k-wire. The stiffness value was 122 N/mm in the group with no k-wire, 132 N/mm in the group with one k-wire, and 142 N/mm in the group with two k-wires. The k-wires applied onto the lateral hinge resisted the applied force in the hinge and increased the stiffness of the lateral hinge.

**Conclusion:** The k-wires added to the lateral cortex decreased the stresses in the lateral cortex and increased the stiffness in the lateral cortex at the same force. Addition of wires to the lateral hinge demonstrated that more force is needed to achieve the same displacement at the osteotomy line than without k-wire. The wires absorbed the potentially uncontrolled forces, and provided a more controlled opening and prevented fractures that may occur in the lateral cortex.

**Keywords:** Lateral hinge; medial open-wedge high tibial osteotomy; lateral cortical fracture

## TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim boyunca çok büyük katkıları olan başta anabilim dalı başkanımız Prof. Dr. Onur BİLGE hocama; Bu çalışmayı hayata geçirmemde yol gösteren ve çalışmanın her safhasında bana destek olan, diz cerrahisine dair bilgi ve tecrübelerini her daim paylaşan tez danışman hocam Doç. Dr. Faik TÜRKMEN'e; Omuz ve dirsek cerrahisine dair tecrübelerinden faydalandığım Doç. Dr. Mustafa ÖZER hocama; Pediatrik ortopediye dair öğrendiğim her şeyde katkısı olan Dr. Öğt. Üyesi İsmail Hakkı KORUCU hocama; Ortopedik tümörler konusunda bilgi ve tecrübesini bizlerle paylaşan, her zaman desteğini hissettiğim Dr. Öğt. Üyesi Tahsin Sami ÇOLAK hocama; Omurga, pelvis, ayak cerrahisi ve ortopedik travma konusunda çok şey öğrendiğim saygıdeğer hocam Dr. Öğt. Üyesi Ahmet Fevzi KEKEÇ'e;

Çok zor ve ağır zamanları birlikte geçirdiğimiz eş kıdemlilerim Dr. Hasan Güven TATAR, Dr. Ahmet DEMİREL, Dr. Mehmet DEMİRYÜREK başta olmak üzere tüm asistan arkadaşlarıma;

Ortopedi ve Travmatoloji Kliniğinde beraber çalıştığım hemşire, sekreter ve personel arkadaşlara;

Hayatın her anında her zaman desteğini hissettiğim bugünlere gelmemde büyük emekleri olan canım annem Perihan ERDEM, babam Emin ERDEM, abim Oğuz ERDEM'e, biricik oğlum ve adaşım Doruk Emre ERDEM'e çok teşekkür ediyorum.

Bu zorlu ve yorucu eğitim sürecinin her anında destek olan en yakın dostum, arkadaşım, yoldaşım ve meslektaşım sevgili eşim Feyza KOLSUZ ERDEM'e sonsuz teşekkürler.

Turgut Emre ERDEM

KONYA/2022

# İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ .....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	xi
1.GİRİŞ VE AMAÇ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	2
2.1. TARİHÇE.....	2
2.2.OSTEOARTRİT .....	3
2.3.ANATOMİ .....	6
2.3.1. Diz Eklemi .....	6
2.3.2. Kemik Yapılar .....	6
2.3.3. Menisküsler.....	8
2.3.4.Eklem Kapsülü ve Ligamanlar .....	10
2.3.5.Kaslar ve tendonlar .....	13
2.3.6.Diz eklemi damar ve sinir yapıları.....	14
2.4. DİZ BİYOMEKANİĞİ .....	16
2.5. ALT EKSTREMİTE AKSLARI .....	18
2.5.1. Eklem Oryantasyon Çizgileri ile Mekanik ve Anatomik Eksenler Arası İlişkiler:.....	20
2.5.2. Frontal Plan Malalignment(Dizilim Bozukluğu).....	23
2.6.YÜKSEK TİBİAL OSTEOTOMİ.....	26
2.6.1.Düzeltilme Derecesinin Hesaplanması .....	27
2.6.2. Yüksek Tibial Osteotomi Teknikleri .....	30
2.7.SONLU ELEMANLAR ANALİZİ.....	40
3. GEREÇ VE YÖNTEM .....	41
3.1.Araştırmanın Tipi, Yapıldığı Yer ve Tarih.....	41
3.2.Araştırmanın Evren ve Örneklemi.....	41
3.3.Yüklenme Şartları.....	47
4.BULGULAR.....	49
4.1. Kuvvet – Yerdeğiştirme Davranışı.....	49
4.2. Kuvvet – Lateral Menteşe Kortikol ve Trabeküler Kemik Gerilmeleri .....	51

4.3.Yer Değiştirme-Kortikal Kemik Gerilimi .....	54
4.4. Yer Değiştirme-Direngelik.....	55
5.TARTIşMA .....	57
6.SONUÇ .....	633
7.KAYNAKLAR .....	64
8.EKLER.....	71

## **ŞEKİLLER DİZİNİ**

**Şekil 2.3.2.1-** Lateral kondil mediale göre daha proksimalde sonlanmaktadır ve daha küçüktür. (LK: Lateral kondil, MK : Medial kondil, TT : Tuberositas tibia )

**Şekil 2.3.2.2** Tibia proksimal eklem yüzeyi; L, lateral tibia platosu; M, medial tibia platosu

**Şekil 2.3.2.3** Patella eklem yüzleri medial ve lateral fasetler

**Şekil 2.3.3.1-** Medial ve lateral menisküsün aksiyel görüntüsü

**Şekil 2.3.4.1:** Diz eklem kapsülünde fibroz ve sinovyal membranların yapışma alanları

**Şekil-2.3.4.2 :** Diz eklemi bağlarının önden görüntüsü

**Şekil-2.3.4.3 :** Anterolateral ligament ait bir kadavra görüntüsü

**Şekil-2.3.5.1 :** Diz eklemi kas yapılarının önden ve arkadan görünümü

**Şekil-2.3.5.2 :** Diz eklemi kas yapılarının medialden görünümü ve pes anserinus

**Şekil 2.3.6.1 :** Diz eklemine damarları

**Şekil 2.3.6.2 :** Diz eklemi sinir yapılarının anterior ve posterior görünümü

**Şekil 2.4.1. :** Diz eklemi eksenleri ve hareketleri

**Şekil 2.4.2 :** Femurun fleksiyonda posteriora yer değiştirmesi ‘femoral roll-back’

**Şekil 2.5.1 :** Femurun mekanik ve anatomik aksları

**Şekil 2.5.2. :** Tibia anatomik ve mekanik aksları

**Şekil 2.5.3 :** Alt ekstremiten normal mekanik aksı ve deformateli aksları

**Şekil 2.5.4. :** Alt ekstremiten anatomik (A) ve mekanik aksları(B)görünümü

**Şekil 2.5.5. :** Tibia proksimal eklem oryantasyon çizgisinin, tibianın anatomik ve mekanik eksenini ile ilişkisi

**Şekil 2.5.6.** : Frontal planda tibiadistal eklem osryantasyon çizgisinin tibiannın anatomik ve mekanik ekseni ile ilişkisi

**Şekil 2.5.7a.b.** : Frontal planda femur proksimal eklem oryantasyon çizgisinin ilişkisi, a, femurun mekanik ekseni ile ilişkisi; b, femurun anatomik ekseni ile ilişkisi

**Şekil 2.5.8** : Ön planda femur proksimal eklem oryantasyon çizgisinin femurun anatomik ekseni ile ilişkisi

**Şekil 2.5.9a.b.** : Frontal planda femurdistal eklem oryantasyon çizgisinin ilişkisi; a, femurun mekanik ekseni ile ilişkisi; b, femurun anatomik ekseni ile ilişkisi

**Şekil 2.5.10.:**a: Femur mekanik aksı ve mL DFA b: Femur distali valgus deformitesi c: Femur distali varus deformitesi

**Şekil 2.5.11:**a:Tibia mekanik aksı ve mMPTA b:Tibia proksimal valgus deformitesi c:Tibia proksimal varus deformitesi

**Şekil 2.6.1** : Normal, varus ve valgus dizilimindenki alt ekstremitelerin mr ve klinik görüntüleri

**Şekil 2.6.2.** : Fujisawa noktası

**Şekil 2.6.3:** Mekanik aksa göre düzeltme derecesinin belirlenmesi (CFH : central femoral head CTTJ : central talotibial joint)

**Şekil 2.6.4.** : Lateral kapalı kama yüksek tibial osteotomide preoperatif planlama (alfa açısı: femur ve tibia mekanik eksenleri arasında kalan düzeltme açısı, kesikli çizgiler : proksimal ve distal osteotomi hatları)

**Şekil 2.6.5.** : Kubbe osteotomisi tekniğinin basamaklarını anlatan diyagram

**Şekil 2.6.6:** Kılavuz olarak gönderilen k teller

**Şekil 2.6.7:** Monoplanar yüksek tibial osteotomi

**Şekil : 2.6.8.** : Tuberositas tibiannın osteotomi distalinde bırakıldığı biplanar osteotomi

**Şekil 2.6.9.** : Retrotüberkül osteotomisinin yandan görünümü

**Şekil 2.6.10.** : Kablo testine ait skopi görüntüleri

**Şekil 2.6.11** : Takeuchi lateral korteks kırığı sınıflaması

**Şekil 3.1.** : Bilgisayarlı tomografi görüntüsünde kortikal kenaların çizilmesi

**Şekil 3.2.** : Tibia katı modelinin oluşturulması

**Şekil 3.3.** : Tibia geometrisinin anterior posterior lateral ve medialden görünümü

**Şekil 3.4. :** Tibia proksimal eklem yüzünün yukarıdan görünümü

**Şekil 3.5. :** Kesi hattının görünümü

**Şekil 3.6. :** K telsiz, tek k-telli ve iki k-telli örnek grupları

**Şekil 3.7. :** K-tellerin lateral korteks ve lateral tibia plato ile mesafeleri

**Şekil 3.8. :** Kortikal ve trabeküler kemikte çözüm ağının görünümleri

**Şekil 3.9. :** Kortikal, trabeküler kemik ve k telinin çözüm ağının görünümleri

**Şekil 3.10. :** Tibia proksimal eklem yüzünün sabitlenmesi ve uygulanan yükün görünümü

**şekil 4.1. :** Uygulanan kuvvet-açılan gap açısı(1.k telsiz grup, 2.tek k tel grubu,3.iki k tel grubu)

**şekil 4.2. :** Uygulanan kuvvet-açılan gap mesafesi(1.k telsiz grup, 2.tek k tel grubu,3.iki k tel grubu)

**Şekil 4.3. :** Uygulanan kuvvet-lateral kortekste oluşan gerilmeler(1.k telsiz grup, 2.tek k tel grubu,3.iki k tel grubu)

**Şekil 4.4. :** K-tel bulunmayan grupta oluşan kortikal gerilme dağılımı

**Şekil 4.5. :** K-tel bulunan grupta oluşan kortikal kemik dağılımı

**Şekil 4.6. :** K-tel bulunmayan grupta oluşan direngenlik grafiği

**Şekil 4.7. :** Tek k-tel bulunan grupta oluşan direngenlik grafiği

**Şekil 4.8. :** İki k-tel bulunan grupta oluşan direngenlik grafiği

**Şekil 5.1. :** Takeuchi sınıflaması

## **TABLolar DİZİNİ**

**Tablo 3.1.** : Üç model için kullanılan eleman sayıları

**Tablo 3.2.** : Kullanılan malzeme özellikleri

**Tablo 4.1.** : Uygulanan kuvvet sonrası açılan gap mesafeleri ve dereceleri

**Tablo 4.2.** : Uygulanan kuvvet sonrası açılan kortikal ve trabeküler kemiklerde oluşan gerimler

**Tablo 4.3.** : Üç grup için açılan gap açısına karşın oluşan kortikal ve trabeküler kemik gerilmeleri

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

- AÇB:** Arka Çapraz Bağ  
**aLDFA:** Lateral Distal Femoral Açık  
**aMNSA:** Medial Boyun Şaft Açığı  
**aMPFA:** Medial Proksimal Femoral Açık  
**AP:** Anterior-Posterior  
**FShA:** Femoral şaft anatomik ekseni  
**IGF:** İnsülin benzeri büyüme faktörleri  
**JLCA:** Diz Eklem Uyum Açığı  
**LCL:** Lateral Kollateral Ligament  
**LCP:** Klitli sıkıştırma vidası  
**LCWO:** Lateral Kapalı Kama Osteotomisi  
**LDFA:** Lateral Distal Femoral Açık  
**MAD:** Mekanik Aks Deviasyonu  
**MAKO:** Medial Açık Kama Osteotomisi  
**mLDFA:** Mekanik Lateral Distal Femoral Açık  
**mLDTA:** Lateral Distal Tibial Açık  
**mLPFA:** Lateral Proksimal Femoral Açık  
**mMPTA:** Medial Proksimal Tibial Açık  
**MPTA:** Medial Proksimal Tibial Açık  
**MTA:** Mekanik tibia ekseni  
**OA:** Osteoartrit  
**sMCL:** Medial Kollateral Bağ  
**TNF:** Tümör Nekrozu Faktör  
**TShA:** Tibial şaft ekseni  
**WBL:** Ağırlık Taşıyan Çizgi  
**YTO:** Yüksel Tibial Osteotomi

## 1.GİRİŞ VE AMAÇ

Osteoartrit (OA) eklem kıkırdağı ve subkondral kemiğin yapımı ile yıkımı arasındaki ilişkinin bozulmasıyla meydana gelen ilerleyici bir hastalıktır. Eklem kıkırdağında yumuşama ve bozulma, subkondral kemikte artmış osteoblastik aktivite, vasküler konjesyon, eklem kenarındaki kıkırdak ve kemikte büyüme gibi reaktif hadiseler ve kapsüler fibrozis ile ilişkili kronik bir hastalıktır.(Felson 2013)

Yakın zamanın önemli sorunlarından vücut kitle indeksindeki artış, yaşam sürelerinin artması diz osteoartritini (OA) çağımızın sık görülen hastalıkları arasına sokmuştur. İleri yaşta kadın popülasyonunda %13, erkek popülasyonunda ise %10 olarak görülmektedir.(Felson 2013)

Mekanik aks kaynaklı sorunlar genellikle tek kompartman osteoartritine neden olur.(Sharma 2010) Diz eklemının medial kompartmanının artrozu, laterale göre 10 kat sık görülür.(Andriacchi 1994) Medial kompartman artrozu genellikle varus dizlerde görülür, mekanik aks eklemının medial kompartmanından geçer.

Bu patolojinin giderilmesi için medial kompartmana binen yükün laterale yer değiştirmesini amaçlayan yüksek tibial osteotomi(YTO) tekniği gündeme gelmiştir. Orta yaş erişkin ve aktivite seviyesi yüksek kişilerde izole medial kompartman artrozunun tedavisinde günümüzde sıkça uygulanmaktadır. 19.yüzyıl ortalarında Langenback tarafından alçı ile uygulanmaya başlanmıştır(Langenback 1854). Bugüne kadar teknik gelişerek ortopedistlerin sık uyguladığı bir cerrahi prosedür olmuştur. Cerrahi prosedür olarak medial açık kama, lateral kapalı kama ve kubbe osteotomisi gibi teknikler uygulanabilir.(Naudie DD 2004)

Bu çalışma, yüksek tibial osteotomi tekniğinde lateral menteşeye gönderilen k-tellerinin lateral menteşe kırığı üzerine etkisini incelemeyi amaçlamıştır. Birinci grup k-telsiz, ikinci grupta lateral menteşeye tek k-tel, üçüncü grupta ise lateral menteşeye iki k-tel yerleştirilerek üç grup oluşturulmuştur. Ardından sonlu eleman analiziyle osteotomi hattı açılarak lateral menteşeye binen gerilmeler ölçülmüş, k telinin lateral menteşe gerilmesine ve direncine etkisi karşılaştırılmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. TARİHÇE

Alt ekstremite mekanik aks problemleri 19. Yüzyıl sonlarında ilk olarak Jan Mikulicz-Radecki'nin yaptığı çalışmalarla konuşulmaya başlanmıştır. Yüksek tibial osteotomiye ilk tanımlayan ise 1854 yılında Langenbeck olmuştur.(Langenback 1854)

Diz artrozu için yüksek tibial osteotomiye ise ilk kez 1940 senesinde Steindler tariflemiştir. YTO'nun popülaritesinin artmasında 1960'lı yıllarda kapalı kama tekniğini uygulayan Coventry'nin payı büyüktür. Fakat o yıllarda plak teknolojileri gelişmemiş olduğundan ve uzun immobilizasyonla kaynama beklenmesinden ötürü eklem kontraktürlerinin sık olması sebebiyle çok yüz güldürücü sonuçlar alınmamıştır. (Erginer 1998)

1950 yılında medialden yapılan medial açık kama osteotomi(MAKO) prosedürü ilk defa Debeyre tarafından yayınlanmıştır. Redüksiyon kayıplarının sık yaşanması nedeniyle Goutallier ve ark. uyguladıkları osteotomilerde boşluğa sement(çimento) yerleştirip desteklemek için plak kullanmıştır(Goutallier 1992). Puddu, bu prosedürü kullanarak kendi adını verdiği olası kollapsı (çökmeyi) engellemek için üzerinde osteotomi yüzeylerini içeriden destekleyen özel plağı da ekleyerek tekniğin gelişmesini sağlamıştır.(Debeyre 1961,1972) Daha sonra Staubli ve DeSimoni'nin çalışmalarıyla geliştirilen ve sonrasında Lobenhoffer ve ark. sayesinde yaygın kullanım alanı bulan Tomofix plağı ortaya çıkmıştır.(Lobenhoffer 2002). Kilitli vidalar sayesinde internal fiksator olarak çalışan bu plak MAKO'nun yaygın hale gelmesine yardımcı olmuştur.

1980 – 1990'lı yıllarda diz protezlerinin başarısı sebebiyle eklem çevresi osteotomilerin popülarlığı azalmıştır. 2000 yılından sonra açısız stabilitesi yüksek plakların gündeme gelmesiyle eklem çevresi osteotomiler tekrardan popülarleşmiştir. Kilitli vida ve plak teknolojisinin gelişmesi, deformiteye istenen oranda düzeltme yapılabilmesi, sinir hasarı riskinin düşüklüğü, proksimal tibiadaki kemik stoğunu koruması nedeniyle uygulama kolaylığı olan medial açık kama osteotomi medial artrozlu genç orta yaş aktif hastalarda sık uygulanan bir cerrahi teknik olmuştur.

## 2.2.OSTEOARTRİT

Osteoartrit (OA) kelime olarak eklemin inflamasyonu şeklinde tanımlanabilir. Bu hastalıkta inflamatuvar sürece dejenerasyon da eşlik eder. Osteoartrit tüm eklemleri tutabilmektedir fakat bizim için önemli olan diz osteoartriti olduğundan diz haricindeki eklemlerden bahsedilmeyecektir.

Diz eklemi osteoartritin en çok tuttuğu eklemdir. Yaş, cinsiyet, ırk, aşırı kilo, meslek, kemik ile eklem patolojileri, enfeksiyöz veya enfeksiyöz olmayan inflamatuvar hastalıklar, vasküler nekroz, nöropati, metabolik hastalıklar, travma, genetik ve gelişimsel patolojiler bu hastalığın ortaya çıkmasında rol sahibidir. Gençlerde ise meniskal yaralanmalar, osteokondral yaralanmalar, bağ yaralanmaları, tibia ve femurda ki deformiteler osteoartrit gelişimine zemin hazırlar. Medial femorotibial, lateral femorotibial veya patellofemoral kompartmanlardan biri veya daha fazlası tutulur. Hareketle artan istirahatla azalan ağrı, uzamış istirahattan sonra ortaya çıkan tutukluk, krepitasyon, diz etrafında hassasiyet, pasif veya aktif hareketle meydana çıkan ağrı bu hastalığın önemli semptomlarıdır. Diz OA'inde eklem ağrısı genellikle ilk semptomdur. Başlangıçta ağrı hareketle meydana gelirken ilerleyen dönemlerde bu ağrı daha devamlı ve şiddetli bir şekile dönüşür. Eklem kıkırdağının duyusal innervasyonu olmadığından ağrı kıkırdak haricindeki eklem içi ve dışındaki bileşenlerden kaynaklanır. Ağrı çoğunlukla birden çok etmenin birleşimine bağlıdır ve marjinal kemik proliferasyonlarının periostu kaldırması, subkondral kemiğin basınca maruz kalması, trabeküler mikro fraktürler, eklem içi bağların tutulumu, sinovyal villusların sıkışması ve aşınmasından kaynaklanıyor olabilir. Hastalığın ilerleyen dönemlerinde ise kapsüler fibrozis, eklem kontraktürü ve adele güçsüzlüğü de şikayetlerin artmasına neden olur. Eklem tutukluğu genellikle hareketsizlik ardından görülür, hareket ile açılır ve genellikle yarım saatten uzun sürmez. Eklem yüzeylerinin bozulması, kas spazmı, kapsüler fibrozis veya osteofit ve serbest cisimlerin mekanik engellemesine bağlı olarak eklem hareket açıklığında azalma meydana gelebilir. Bu sebeple özellikle merdiven inerken, çıkarken ve çömelme gibi hareketlerde zorluk yaşanabilir.

Osteofitler düzensiz, sert genişlemeler olarak muayenede elle hissedilebilir. Diz osteoartritinde sinovit ve efüzyon artışına diğer eklem osteoartritlerinden daha çok karşılaşılmaktadır. Kuadriseps kas atrofi hareketlerde azalmaya bağlı olarak kısa

zamanda görülebilir. Eklem instabilitesi ve subluksasyonlar özellikle medial ve lateral kompartmanın orantısız tutulumu ile ilişkilidir.

Muayene bulguları osteoartritin derecesine ve etkilenen anatomik bölgeye göre farklılık gösterir. Krepitasyon ve krakman, ağrılı diz fleksiyon kısıtlılığı, eklem şişliği, instabilite, kilitleme, kas atrofisi ve güçsüzlüğü muayene ile farkedilebilir. Başlangıç dönemindeki değişiklikleri bulmada standart radyolojik tetkikler yeterli olmayabilir. Eklem aralığındaki daralmayı, kistleri, subkondral skleroz ve osteofitleri farkedebilmek için eklem yük altında iken çekiken grafiler ve tünel grafisi daha kıymetlidir. Hastalıkta genellikle medial femorotibial kompartman ve/veya patellofemoral kompartman etkilenir. Subkondral skleroz, femur distalinde tibia proksimalinden daha nadir görülür. Subkondral kistlere kalça eklemine dizden daha sık rastlanır. Travma, dize uygulanan cerrahi tedaviler, açısız deformiteler, osteonekroz, osteokondritis dissekans, aşırı kilo, menisküs patolojileri gibi sebepler eklemdeki basınç maruziyetini arttırarak, osteoartrit gelişimini hızlandırır. Diz osteoartrisinde eklem aralığında veya zedelenmiş menisküste vakum fenomeni ve meniskal kalsifikasyon görülebilir. Varus deformitesi valgus deformitesinden daha sık görülür

**Radyolojik Bulgular:** Radyolojik tetkikler hastalığın tanısının konmasında ve evresinin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Diz osteoartrisinde grafide eklem aralığında daralma, osteofitler, subkondral kemik sklerozu, subkondral kemik kistleri, kemik kollapsı, eklem içi kemiksi cisimler, deformite ve subluksasyon izlenebilir.

**Laboratuvar Bulguları:**Diz eklemi osteoartrite özgü spesifik bir labotuar tetkik yoktur. Sedimentasyon, kan biyokimyası, tam kan sayımı ve tam idrar tetkiki normaldir. RF ve ANA negatiftir. Eğer mevcutsa sinovyal sıvıda spesifik olmayan inflamatuvar bulgular görülebilir.

**Tedavi Yaklaşımları:** Diz osteoartritinin tedavisinde hedef ağrı ve kontraktürün yok edilerek hayat kalitesinin arttırılması, diz hareketlerinin korunması ve arttırılması, adale kuvvetinin korunması ve arttırılması, sakatlıkları önüne geçmektir. Hissedilen ağrı ve hareket kaybı hastaları farklı tedavi alternatiflerine yönlendirmektedir, fakat hastalardaki eklem kıkırdağındaki dejeneratif süreci engelleyen ve tıbbi olarak geçerliliği tam olarak ispat edilmiş medikal ya da fiziksel bir tedavi henüz bulunamamıştır. Bu nedenle bütün tedavi protokolleri analjezinin

sağlanması ve hareket kayıplarının mümkün olduğunca korunmasını amaçlamaktadır. Ağrının azalmasında düzenli egzersizin kayda değer bir önemi vardır. Adele güçsüzlüğü ve buna bağlı eklem maruz kaldığı yükün artışı hastaların ağrılarında artışa neden olur. Diz osteoartritinde kuadriseps kas grubunun güçsüzlüğü hızlı gelişir. Bu kas grubu eklem ana stabilizatörüdür. İzometrik egzersizler inflamasyon ve ağrıyı daha az artırırken tekrarlı eklem hareketleri ve dizin tam hareket açıklığına zorlandığı egzersizler eklemdaki ağrıyı ciddi derecede artırır. İzometrik egzersizler eklem çevresi kasları kuvvetlendirmenin haricinde dizde eklem kontraktürü oluşumunun da önüne geçer. Düz bir zeminde yumuşak tabanlı bir ayakkabıyla yapılan düzenli yürüyüşler hastanın ağrısının azaltıp ve fonksiyonel durumunun düzeliş sosyal bir çevreye girmesini sağlar. Hastanın sağlam tarafına bir baston verilmesi eklem binen yükü azaltarak egzersiz kapasitesini arttırabilir. Eklem içi basınç eklem 60 derece fleksiyondayken en minimal durumdadır. Diz osteoartritli hastalarda genellikle yapılan egzersizler dirençli egzersizler, eklem hareket açıklığı egzersizleri, germe egzersizleri ve aerobik egzersizlerdir.

Genellikle tavsiye edilen tedavi şeması şu şekildedir:

1. Hazırlayıcı etmenlerin iyileştirilmesi
2. Hastaların bilinçlenmesi
3. İstirahat
4. Eklem koruma teknikleri
5. Obez hastaların kilo vermesi
6. Çevresel nedenlerin önlenmesi
7. Medikal tedavi
8. Uygun egzersizler ve cihazlar
9. Eklem içi enjeksiyon tedavileri
10. Cerrahi tedavi : Cerrahi tedaviler içinde total diz artroplastisi, unikompartmantal diz artroplastisi ve yüksek tibial osteotomi bulunmaktadır. Tüm kompartmanların etkilendiği hastalarda total diz artroplastisi uygun seçenek iken, özellikle 60 yaş üstü medial veya lateral kompartman artrozu olan düşük aktivite düzeyli hastalarda unikompartmantal diz protezi uygun seçenek olabilir. Yüksek tibial osteotomi için en uygun hasta grubu tek kompartman tutulumu olan, aktivite seviyesi yüksek, genç ve kemik kalitesi iyi olan hastalardır.

## 2.3.ANATOMİ

### 2.3.1. Diz Eklemi

Diz eklemi distal femur, proksimal tibia ve patella olmak üzere üç kemikle oluşan vücudumuzun en büyük eklemidir. Tibiofemoral ve patellofemoral olarak iki eklem bulunduğu kompleks bir eklemdir. Tibiofemoral eklem ise medial ve lateral kompartman olarak ikiye ayrılır.

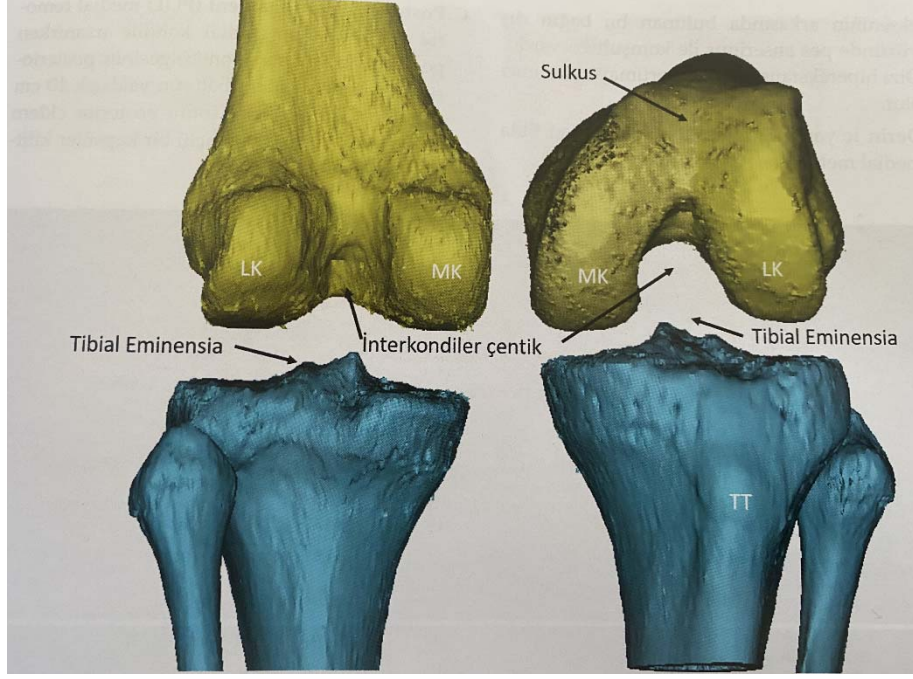
Diz eklemi femur ve tibia arasında ‘kondiler tip’, femur ile patella arasında ise ‘sellar tip’ eklem içerir. Bütün olarak ise ‘ginglymus tip’(menteşe) bir eklem oluşturmaktadır. Bu menteşe tipi eklem tek eksenli harekete olanak sağlamaktadır.

Eklem temel hareketi fleksiyon ve ekstansiyondur. Aktif olarak 0 ° - 120 ° arasında fleksiyon ekstansiyon yapabilirken pasif olarak 160 ° ye kadar fleksiyon elde edilebilir. Diz eklemi 30 ° fleksiyonda iken bir miktar internal ve eksternal rotasyona, abduksiyon ve adduksiyona izin verebilir.

Kemik yapılar nedeniyle instabilite riski olan diz eklemine iç yan bağ, dış yan bağ, ön çapraz bağ, arka çapraz bağ, menisküsler ve çevre kas dokuları stabilite için destek olurlar. Kemik yapılar, bağlar ve menisküsler statik stabilite sağlarken çevre kaslar dinamik stabiliteye katkı sağlar.

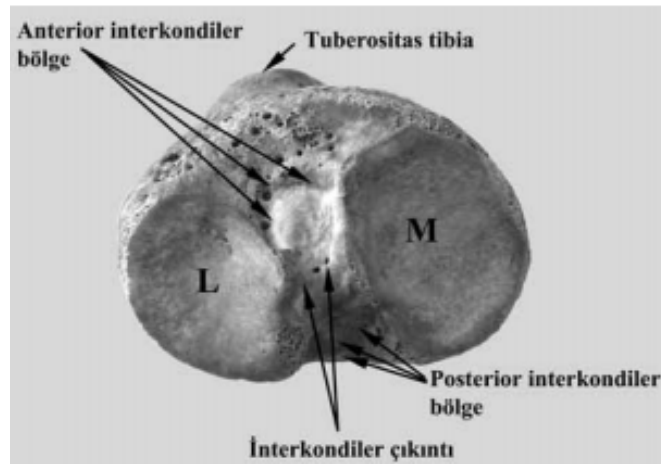
### 2.3.2. Kemik Yapılar

**Femur :** Femur proksimalde kalça eklemine distalde ise diz eklemine katılan vücudumuzun en uzun kemiğidir. Femur distali medial ve lateral olmak üzere iki adet kondilden oluşmaktadır. Lateral kondil medial kondile göre daha proksimalde sonlanır. Medial kondilin anterior-posterior ve yan ekseninde lateral kondilden büyük olması eklem anatomik valgus dizilimini sağlamaktadır. Femoral troklea (patellar eklem yüzeyi) femurun distal anteriorunu ikiye bölen oluğa verilen isimdir. Patella femur anteriorunda bu oluk içinde hareket eder. (Şekil 2.3.2.1)



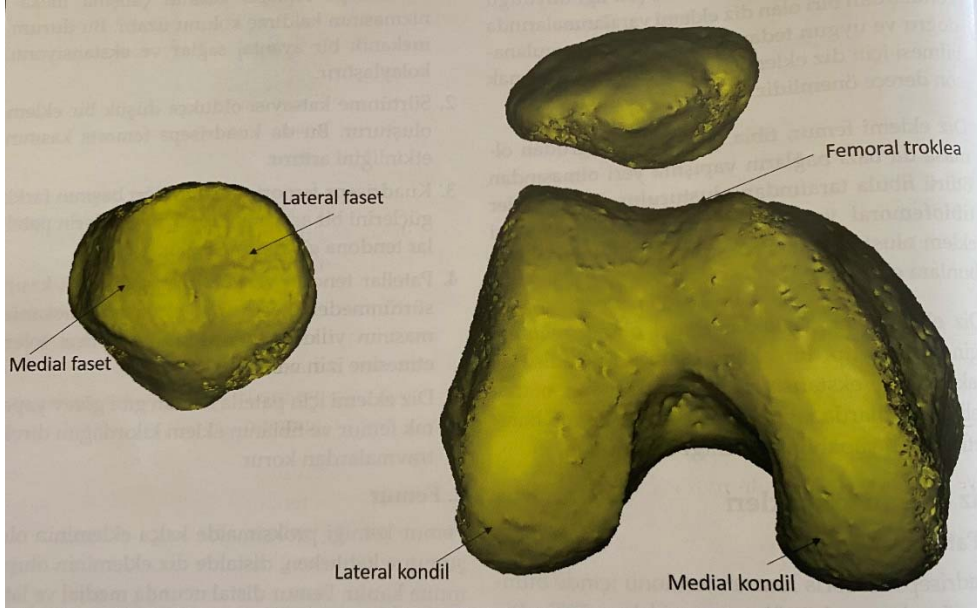
**Şekil 2.3.2.1-** Lateral kondil mediale göre daha proksimalde sonlanmaktadır ve daha küçüktür. ( LK: Lateral kondil, MK : Medial kondil, TT : Tuberositas tibia )

**Tibia :** İskeletin en uzun ikinci kemiğidir. Tibia proksimalinde bulunan medial ve lateral platolar diz eklemine katılır. Medial tibia platosu oval, iç büküye ve büyüktür. Lateral plato medialden daha küçük ve posteriora doğru daha fazla uzamıştır. Platoların iç kısımları femur kondilleriyle eklem yaparken periferleri menisküslerle örtülüdür. Tibial eminensia isimli çıkıntı platoları ikiye ayırmaktadır. Tibia proksimalinin anteriorunda bulunan tüberositas tibia adı verilen çıkıntı ise patellar tendonun yapışma yeridir.



**Şekil 2.3.2.2** Tibia proksimal eklem yüzeyi; L, lateral tibia platosu; M, medial tibia platosu

**Patella :** İskeletin en büyük sesamoid kemiği olan patella quadriceps femoris tendonu içinde bulunur ve bu tendon patellanın alt polünden itibaren patellar tendonu oluşturarak devam eder. Medial ile lateral fasetler şeklinde eklem yüzü ikiye ayrılır. Ekstensör mekanizmanın kuvvet kolunu uzatarak mekanik avantaj sağlar ve hareketleri kolaylaştırır. Uyluk anteriorundaki kas kuvvetlerini patellar tendona iletir. Ayrıca eklem anteriorunda bir kalkan görevi görerek eklem harabiyetini anteriordan gelecek travmalara karşı muhafaza eder.



Şekil 2.3.2.3 Patella eklem yüzleri medial ve lateral fasetler

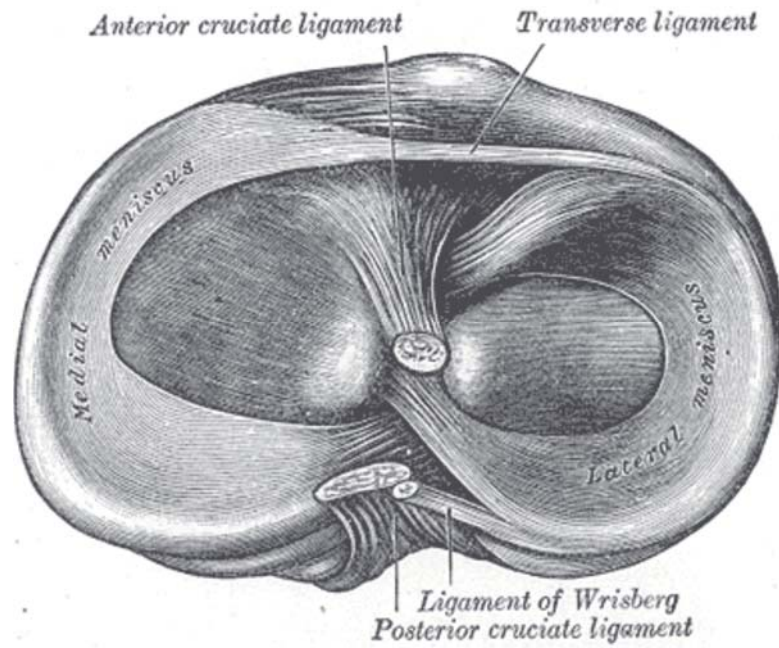
### 2.3.3. Menisküsler

Diz ekleminde medial ve lateral olmak üzere iki adet menisküs bulunmaktadır. Menisküsler tibia platosunun %65' ini örten hilal şeklindeki pürüzsüz fibrokartilaj yapılarıdır. Menisküsler tibia ve femur arasındaki uyumsuz ilişkinin arasına girerek eklem uyumunu, kayganlığını, beslenmesini ve stabilitesini sağlar. Eklemde oluşan ani kuvvetleri absorbe ederek eklem koruyucu bir görev de üstlenir.

Menisküsler periferde kalın iken santrale doğru incilir. Periferde kapsüle tutunurken anteriorda medial ve lateral menisküsler lig. transversum genus ile

bağlanır. Bu ligament diz hareketleri esnasında menisküs hareketine olanak verir. Ayrıca anterior ve posterior meniskofemoral ligamentlerin arka çapraz bağı destek olduğu ve fleksiyon esnasında lateral menisküsün hareketini sınırladığı görülmüştür. Posterior stabilitenin sağlanmasında da meniskofemoral bağların rolleri olduğu kanıtlanmıştır ve arka çapraz bağ rekonstrüksiyonunda dikkat edilmesi tavsiye edilmektedir.(Clark 1983)

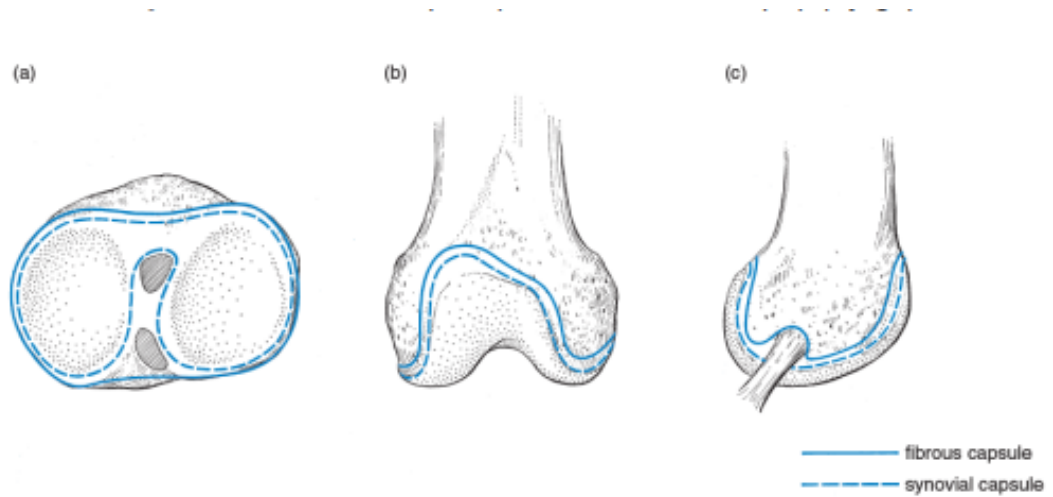
Yarım daire şeklinde olan medial menisküs lateral menisküse göre daha az hareketlidir ve daha uzundur. Lateral menisküs boyut, şekil ve kalınlık açısından medial menisküse oranla daha çok farklılık göstermektedir. Lateral menisküs tibia eklem yüzeyinin yaklaşık %70 ini örterken, medial menisküste bu oran %50 ile 70 arasında değişiklik göstermektedir.(Danzig 1983)



Şekil 2.3.3.1- Medial ve lateral menisküsün aksiyel görüntüsü

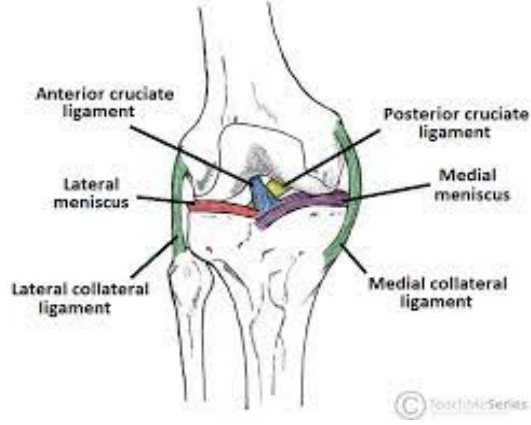
#### 2.3.4.Eklem Kapsülü ve Ligamanlar

**Eklem kapsülü :** Diz eklem kapsülü femur distali ile tibia proksimalini içine alan sinovyal ve fibröz iki katmandan oluşan değişken kalınlığa sahip olan bir yapıdır. Kapsül tibiada eklem yüzü sınırlarına yapışık devam eder sadece sinovyal membran posteriora daha içeri girerek ön çapraz bağ önünde bir düğüm oluşturur. Femurda ise birkaç ayrıntı dışında kapsül eklem yüzlerini takip eder. Anterior kapsül eklem yüzeyinin hemen proksimaline yapışır ve bu sayede suprapatellar boşluğu oluşturur. Ayrıca femur lateralinde fibröz kapsül popliteal kasın proksimaline yapıştığından popliteal tendon eklem içi kalır.( Şekil 2.3.4.1)



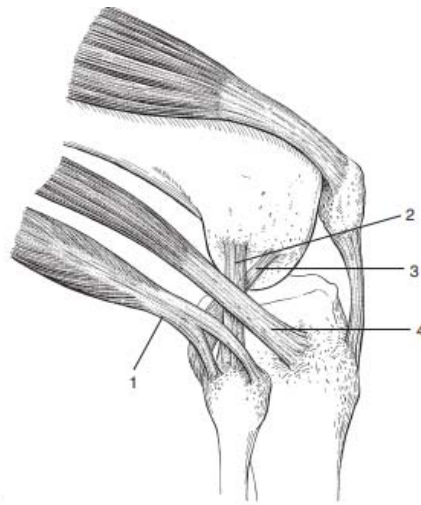
Şekil 2.3.4.1: Diz eklem kapsülünde fibroz ve sinovyal membranların yapışma alanları

**Medial kollateral ligament (iç yan bağ) :** Medial ligamentöz kompleksin derin ve yüzeysel olmak üzere iki katmanı vardır. Femur medial epikondili ile tibia medial kondili arasındaki yassı bir bağıdır. Medial menisküse sıkıca yapışır bu bağın yaralanmasında medial menisküs yırtıklarına rastlanabilir. Eklemde medial stabilizatörü olarak ilk sıradadır. Ekstansiyonda gergin olup eklemde abduksiyon ve ekstansiyon hareketlerini sınırlandırır. (Şekil-2.3.4.2)



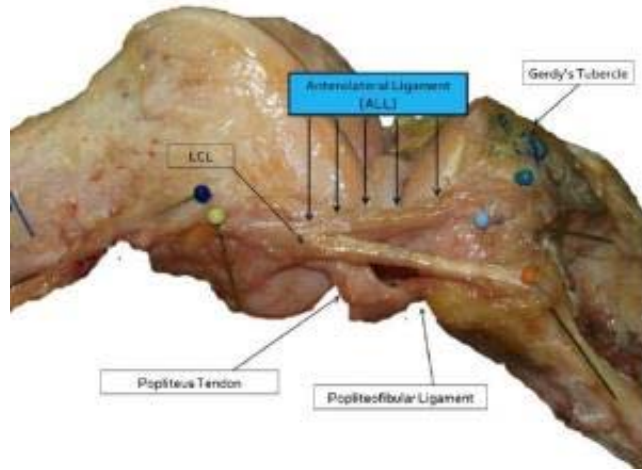
Şekil-2.3.4.2 : Diz eklemi bağlarının önden görüntüsü

**Lateral kollateral ligament (dış yan bağ-LKL):** Eklem kapsülü ile ilişkisiz bir ligamenttir dolayısıyla menisküslerle bağlantısı yoktur. Femur lateral epikondilinden fibula başına uzanır. Dış yan bağ, lateral dörtlü kompleks (biceps tendonu, iliotibial trakt, popliteus ve LKL) şeklinde adlandırılan bir kompleksin parçasıdır ve eklem lateral stabilitesinden sorumludur. Eklem internal rotasyonunu kısıtlayan temel yapıdır. Lateral kollateral ligament yaralanmalarına genellikle ön çapraz bağ hasarları birliktelik eder.(Kanatlı 2020). Nervus fibularis communis ile komşuluk ettiği için dış yan bağ yaralanmalarında sinir hasarlanmaları da eşlik edebilmektedir.



Şekil-2.3.4.3 : Diz eklemine lateralden görüntüsü 1, m.biceps femoris; 2, dış yan bağ 3, popliteus; 4, iliotibial tract

**Anterolateral Ligament (ALL) :** Femur lateral epikondilinden tibiada gerdy tüberkülüne doğru uzanan bu bağın önemi günümüzde giderek artmaktadır. 1800 ‘ lü yılların sonunda segond tarafından tanımlanan bu bağ ön çapraz bağ yaralanmaları ile sık görülen avülsiyon kırığı olan ‘segond kırığı’ na neden olan bağıdır. Dizin anterolateral stabilitesinde önemli olduğu düşünülmektedir.(Standring 2015)( Şekil-2.3.4.3)



Şekil-2.3.4.3 : Anterolateral ligament ait bir kadavra görüntüsü

**Ön çapraz bağ :** Femurda lateral kondilin iç yüzünün posterioruna tibiada ise lateral menisküsün ön kökünün posteriorunda medial eminentianın anterioruna yapışır. Anteromedial ve posterolateral olmak üzere iki adet demetten oluşur. Fleksiyonda posterior demet, ekstansiyonda ise anterior demet gergindir.(Roberts 2000) Dizin ekstansiyonunu kontrol edip tibianın femur üzerinde anteriora doğru kaymasını(veya femurun posteriora kaymasını) engelleyip eklemin hiperekstansiyona gitmesinin önüne geçer. Dizin hiperekstansiyona maruz kaldığı durumlarda yırtılabilir.

**Arka çapraz bağ :** Ön çapraz bağdan daha kısa, daha geniş ve güçlüdür. Femur medial kondilinin iç yüzeyinden başlar tibiada area intercondyleris posterioruna

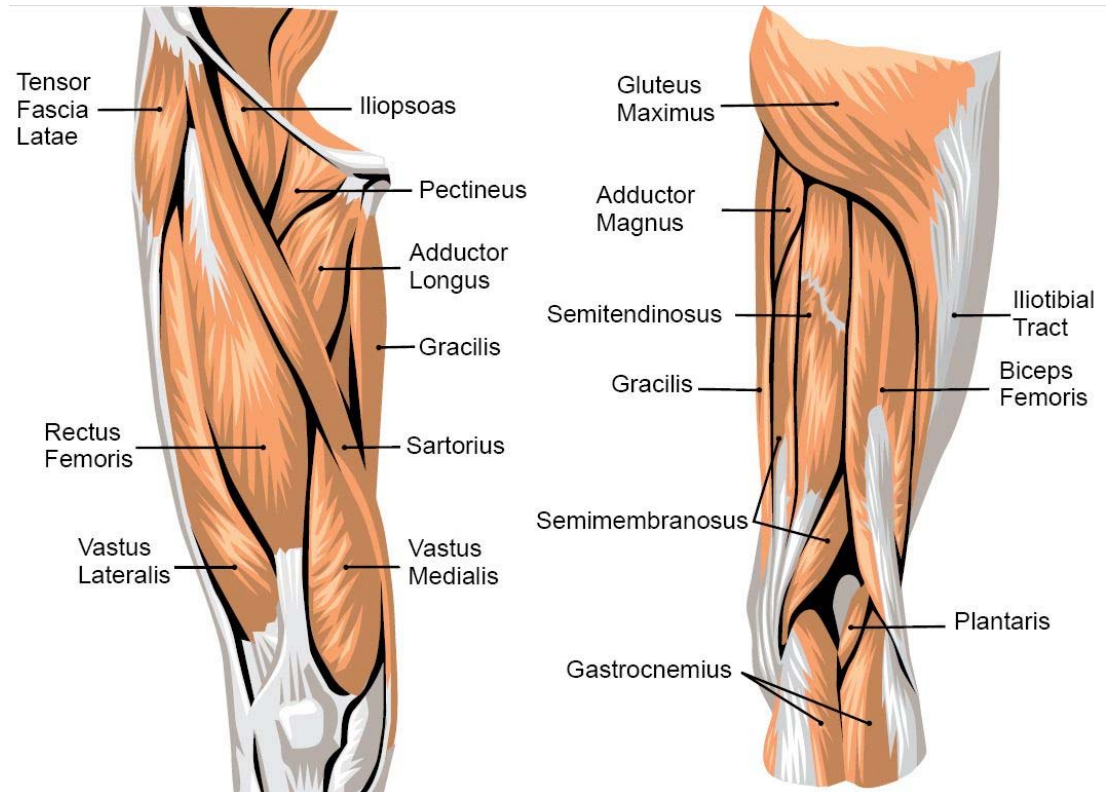
yapıştır. Ön çapraz bağ gibi iki demetten oluşmuştur. Arka çapraz bağ tibia'nın femurun arkasına kaymasına engel olur. Özellikle eklem yük bindiğinde stabilite sağlayan esas yapıdır. Eklem hiperfleksiyonunu kısıtlar fleksiyonda gergin, ekstansiyonda gevşektir.(Freeman 1967)

### 2.3.5.Kaslar ve tendonlar

**Kuadriceps femoris;** eklem en güçlü ekstansör kasıdır. Rektus femoris, vastus medialis, vastus lateralis ve vastus intermedius olmak üzere dört kasın birleşimiyle oluşmaktadır. Bu dört kas distalde bir araya gelerek kuadriceps tendonunu oluşturmaktadır. Patellayı çepeçevre saran bu tendon ekstansör mekanizmayı oluşturmaktadır. Patella distalinde ise patellar tendon şeklinde isimlendirilmekte olsa bile bunun tek bir tendon olduğu unutulmamalıdır.

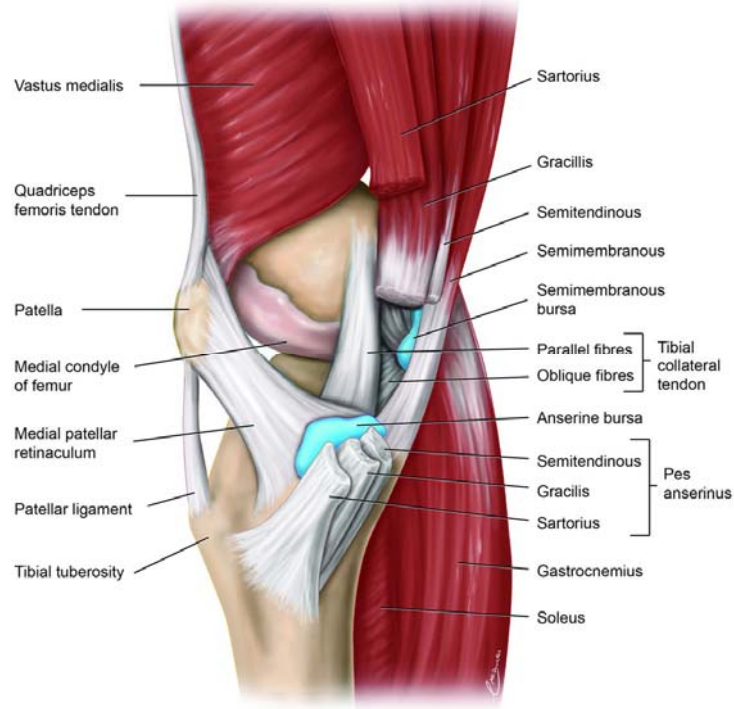
**Hamstring kasları;** Biceps femoris, semimembranosus, semitendinosus kaslarıdır. Bu üç kas dizin fleksiyonunu sağlamaktadır. Biceps femoris kası diz eklemine güçlü bir fleksör ve aynı zamanda eksternal rotatördür. (şekil 2.3.5.1)

Sartorius, gracilis, popliteus ve gastrocnemius kasları diz fleksiyonuna yardımcı diğer kas gruplarıdır.



Şekil-2.3.5.1 : Diz eklemi kas yapılarının önden ve arkadan görünümü

Semitendinosus, gracilis ve sartorius kaslarının tendonları distalde bir araya gelerek pes anserinus diye isimlendirdiğimiz yapıyı oluşturur. Tibia medial kondilinde medial kollateral ligamanın anterioruna yapışan bu yapı dizin fleksiyon ve iç rotasyonunda önemli katkı sağlamaktadır.(şekil-2.3.5.2)



Şekil-2.3.5.2 : Diz eklemi kas yapılarının medialden görünümü ve pes anserinus

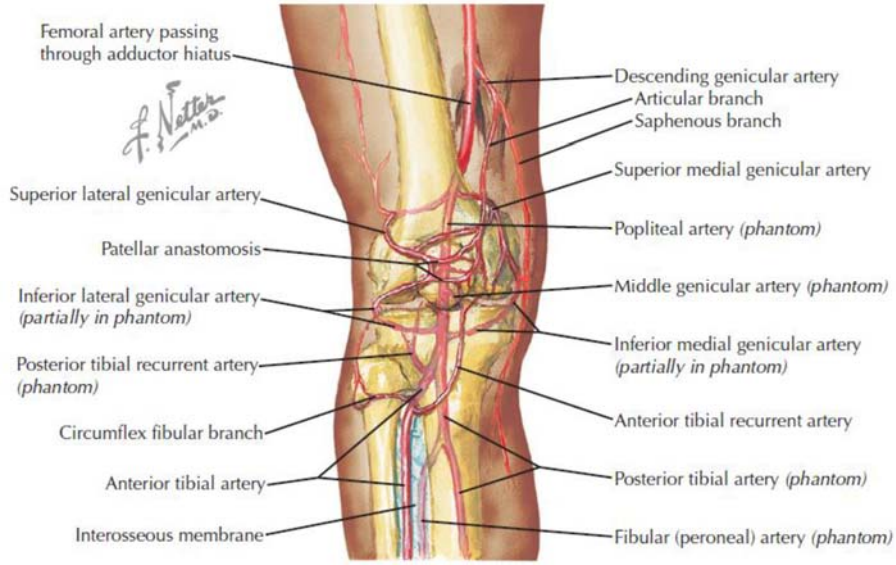
Gastrocnemius kası, soleus kası ile birleşerek distalde aşil tendonunu oluşturur. Diz eklemine zayıf katkısı olan bu kas ayak bileğinin en güçlü fleksörüdür.

### 2.3.6.Diz eklemi damar ve sinir yapıları

Femoral arter distalde adduktor kanalı(hunter kanalı) geçtikten sonra popliteal arter adını alarak ilerler ve popliteal fossaya giriş yapar. Popliteal arter superior lateralis ve medialis, inferior lateralis ve medialis, genu media şeklinde beş dala ayrılır. (Şekil 2.3.6.1)

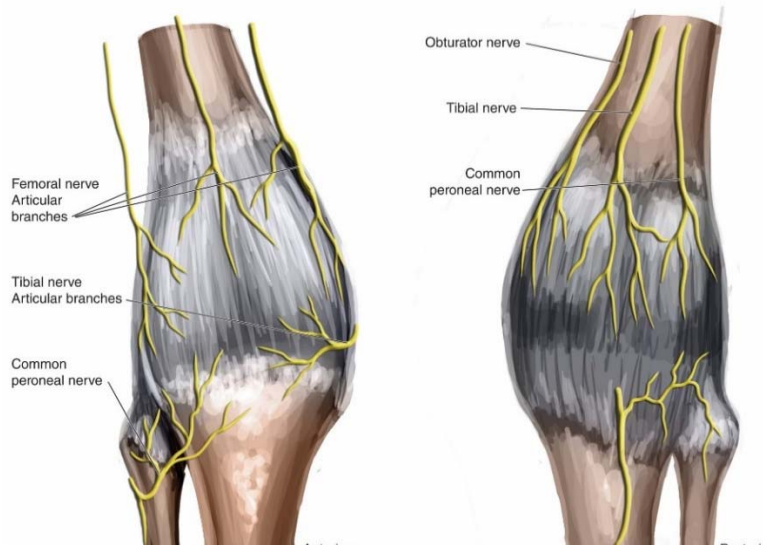
Eklem esas olarak superior, inferior ve media genuculat arterler beslenmektedir bunlara ek olarak femoral arterin inen geniküler dalı, lateral sirkumfleks femoral

arterin inen dalı, sirkumfleks fibuler arter, anterior ve posterior tibial reküren arterlerin de eklem kanlanmasında az da olsa payı vardır.



Şekil 2.3.6.1 : Diz eklemine damarları

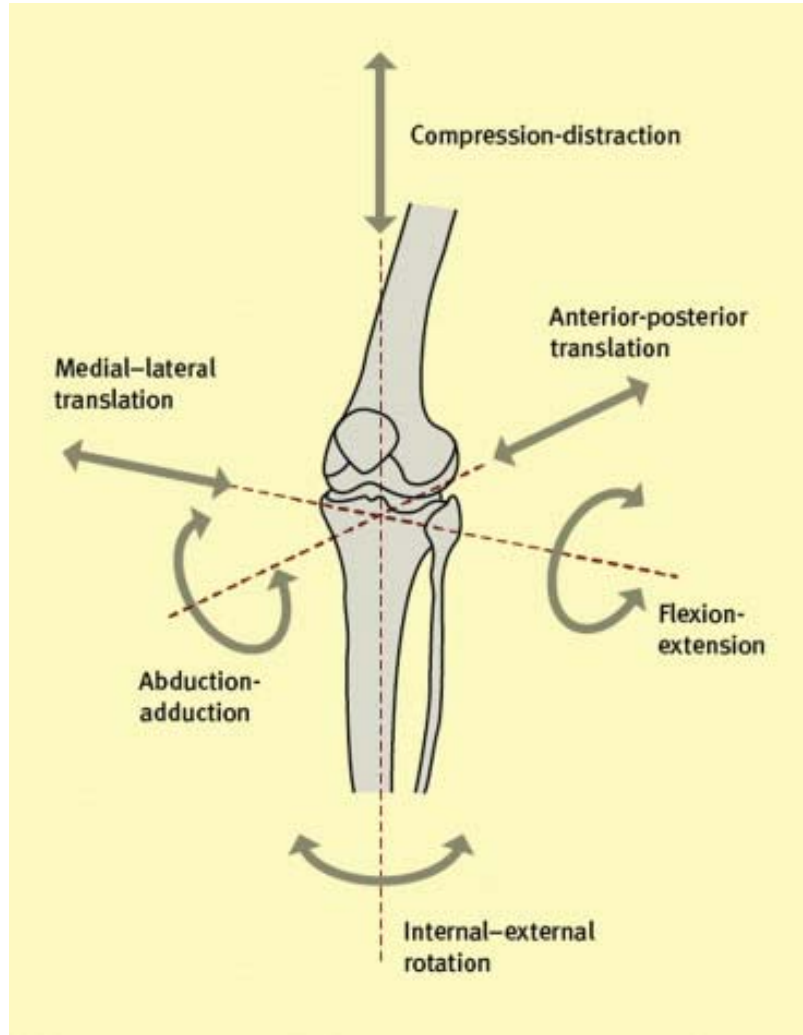
Femoral, obturator, tibial ve fibularis communis sinirleri eklem innervasyonunu sağlamaktadır.(18).Eklem proksimalinde posteriorda siyatik sinir tibial ve commun peroneal şeklinde iki demete ayrılır. Tibial sinir gastrocnemius, soleusa motor dallar verir. Peroneal sinir ise biceps femoris kasıyla beraber devam edip fibula proksimalinde kemiği anteriora doğru çaprazlar ve distale doğru uzanır. Fibuler ve tibial sinirlerin dalları, geniküler arterleri takip ederek dizin innervasyonunda görev alırlar (Şekil 2.3.6.2).



Şekil 2.3.6.2 : Diz eklemi sinir yapılarının anterior ve posterior görünümü

## 2.4. DİZ BİYOMEKANİĞİ

Diz eklemi iskeletimizin en uzun ve komplike eklemidir.(19) İnsan vücudunun en uzun kaldıraç kolu olan femur ile tibiayı içinde barındıran menteşeli bir eklemdir. Eklemden sabit bir hareket yoktur bundan dolayı menteşe tipi eklemlerle farklılık gösterir. Transverse, vertikal ve bu akslara dik anteroposterior olmak üzere üç aksı vardır. Temel hareketi fleksiyon ekstansiyon olsa dahi, vertikal aks transvers düzlemde internal eksternal rotasyon hareketi, anteriorposterior aks koronal düzlemde diz fleksiyondayken abduksiyon adduksiyon hareketlerini yapabilmektedir.(20) (Şekil2.4.1)



Şekil 2.4.1. : Diz eklemi eksenleri ve hareketleri



## 2.5. ALT EKSTREMİTE AKSLARI

Vücudumuzda ki tüm uzun kemiklerde anatomik ve mekanik olmak üzere iki adet aks vardır. Deformitenin nerede ve ne kadar olduğunu anlamak için başlıca bazı terimleri bilmek gerekir.

**Mekanik eksen:** Bir uzun kemikte proksimal ile distal eklemlerinin orta noktasını birleştiren eksendir.

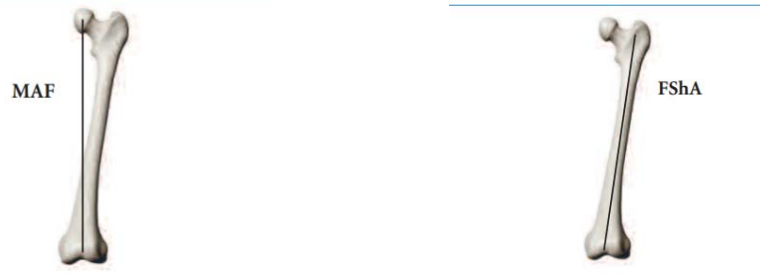
**Anatomik eksen:** Uzun kemiklerin shaftının ortasından geçen çizgidir. Bulmak için en az diafizün üç yerinde orta hattı belirlemek gerekir. Bu işaretlenen noktaların birleşmesiyle oluşur.

**Malalignment (Kötüdizilim-Dizilim Bozukluğu):** Çekilen ortoröntgenogramda kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin orta noktalarının belirlenen mekanik aksların dışında kalmasına denir.

**Oryantasyon (Yönelim):** Bir uzun kemiğin (femur veya tibia) eklem yüzeyinin aynı kemiğin anatomik veya mekanik eksenine göre fizyolojik konumuna denir.

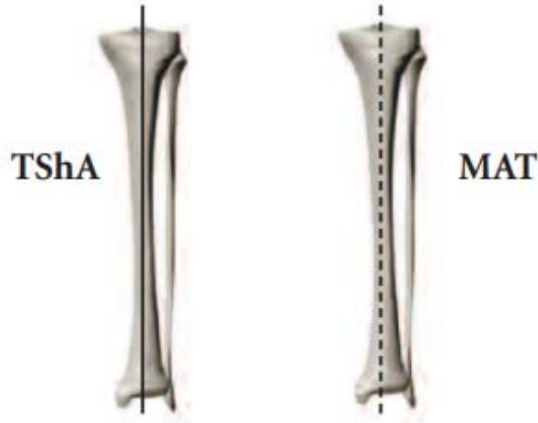
**Maloryantasyon (Kötüyönelim):** Bir uzun kemiğin eklem yüzeyinin aynı kemiğin anatomik veya mekanik eksenine göre fizyolojik konumunun bozulmasına denir.

Femur başı merkezinden femur distal eklem yüzü merkezine çekilen çizgi femurun mekanik aksını(MAF) oluştururken, proksimal femur merkezinden femur distal eklem yüzünün merkezine çekilen çizgi ise femurun anatomik aksını(FShA)oluşturur.(şekil 2.5.1)



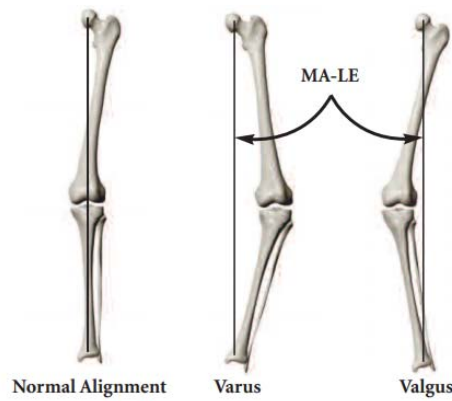
Şekil 2.5.1 : Femurun mekanik ve anatomik aksları

Tibianın anatomik eksenini(TShA) ve mekanik eksenini(MAT) aynı hattadır. Tibia proksimal eklem yüzü merkezinden ayak bileği merkezine çekilen hat tibianın anatomik ve mekanik aksını göstermektedir.



Şekil 2.5.2. : Tibia anatomik ve mekanik aksları

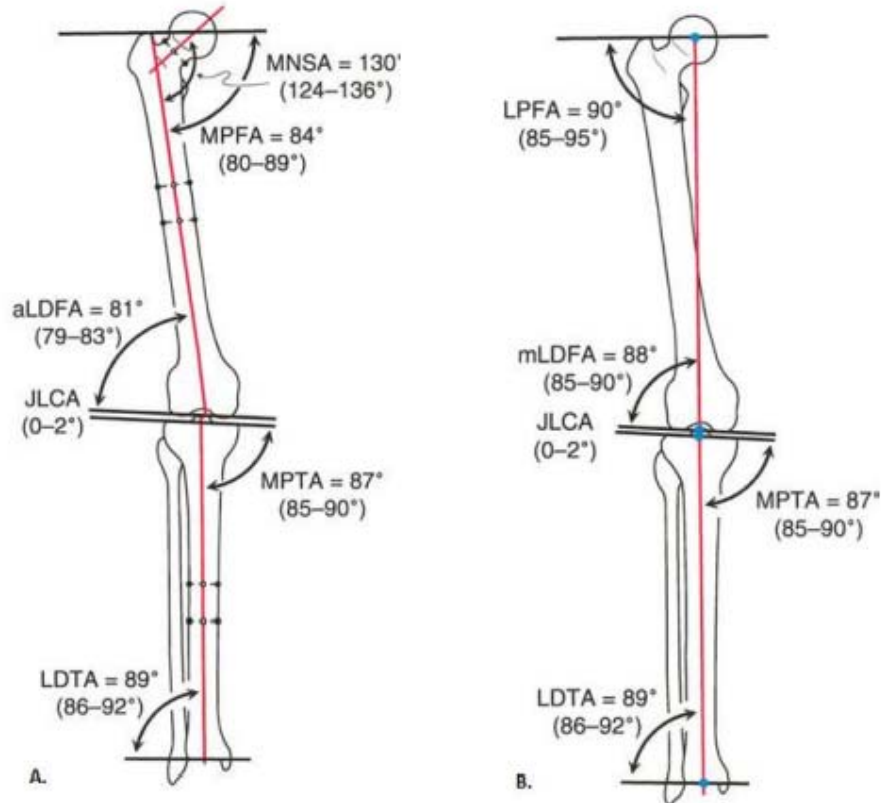
Anatomik dizilim için ön arka çekilmiş bir bacak uzunluk grafisinde femur başı merkezinden ayak bileği orta hattına uzanan çizgi alt ekstremitenin mekanik aksı(mikulicz çizgisi) şeklinde adlandırılır. Eğer diz eklemi bu çekilen hattın lateralinde kalırsa 'genu varus', medialinde kalırsa 'genu valgus' deformitesi olduğu söylenebilir. (şekil 2.5.3)(Kürklü 2020)



Şekil 2.5.3 : Alt ekstremiten normal mekanik aksı ve deformiteli aksları

### 2.5.1. Eklem Oryantasyon Çizgileri ile Mekanik ve Anatomik Eksenler Arası İlişkiler:

Akslar arasındaki ilişkiyi anlatmak için ölçülen açılar çoğunlukla dört harfle tanımlanır. İlk harf açının yönünü gösterir. Eğer açı frontal ekseninde ise açı yönü ya lateral ya da medial olur. Eğer sagittal planda ise ya anterior ya da posterior olur. Bu nedenle birinci harf yön kelimelerinin baş harfleri olan L, M, A veya P harflerinden biridir. İkinci harfte anlatılmak istenen açının kemiğin proksimalinde mi distalinde mi olduğudur eğer açı kemiğin proksimalinde ise P distalinde ise D harfiyle tanımlanır. Üçüncü harf bize açının hangi kemiğe ait olduğunu anlatmaktadır femurda ki bir açıysa F, tibiada ki bir açıysa T harfiyle tanımlanır. Dördüncü harf hepsinde aynıdır ve açı kelimesinin baş harfi olan A'dır. Bu harflere ek olarak, 4 büyük harfin önüne küçük harfle a veya m yazılabilir. 'a' harfi açının anatomik eksene göre çizildiğini, 'm' harfi ise mekanik eksene göre çizildiğini gösterir.

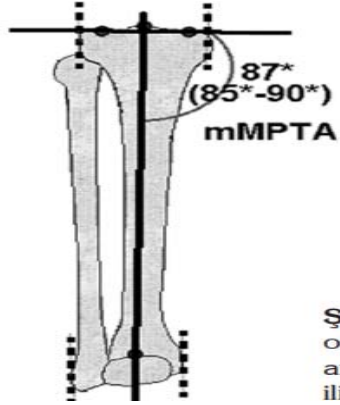


Şekil 2.5.4. : Alt ekstremitenin anatomik (A) ve mekanik aksları(B)görünümü

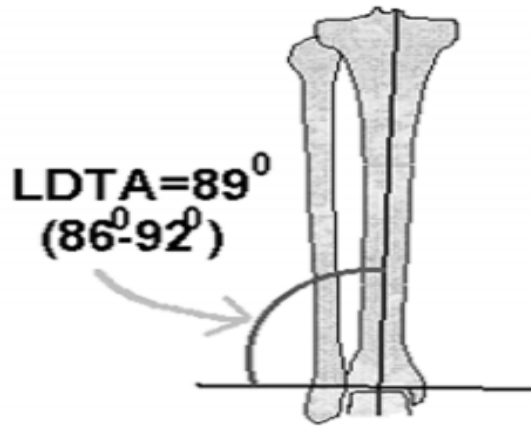
**mMPTA:** Proksimal tibia eklem oryantasyon çizgisi, tibia mekanik aksıyla medialde ortalama 87° (en az 85°, en fazla 90°) açılır (Şekil 2.5.5). Bu açılanmaya,

Medial Proksimal Tibial Açı (mMPTA) denir. Bu çizgi, anatomik aksla medialde benzer şekilde açı yapar. Çünkü, tibia'nın anatomik ve mekanik aksı aynı kabul edilir.

**mLDTA:** Distal tibia eklem oryantasyon çizgisi, tibia anatomik ve mekanik eksenini ile lateralde ortalama  $89^\circ$  (en az  $86^\circ$ , en çok  $92^\circ$ ) açı yapar (Şekil 2.5.6.). Bu açılanmaya, Lateral Distal Tibial Açısı (mLDTA) adı verilir.



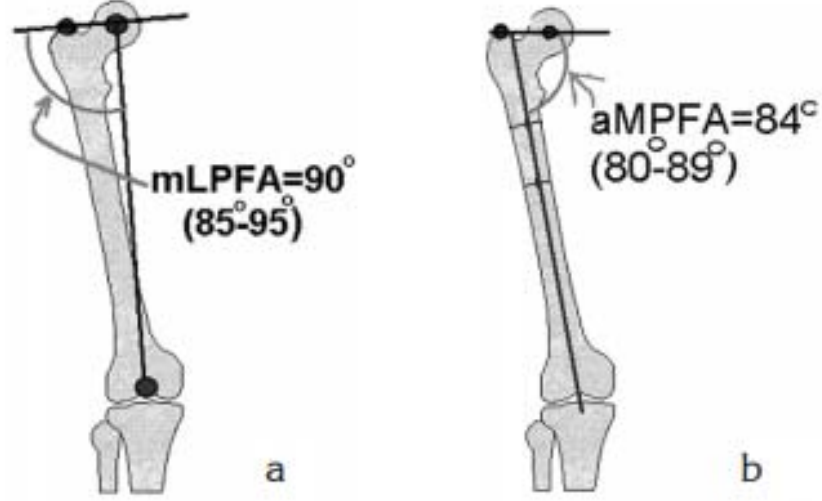
Şekil 2.5.5. : Tibia proksimal eklem oryantasyon çizgisinin, tibia'nın anatomik ve mekanik eksenini ile ilişkisi



Şekil 2.5.6. : Frontal planda tibiadistal eklem oryantasyon çizgisinin tibia'nın anatomik ve mekanik eksenini ile ilişkisi

**mLPFA:** Femur başı merkezi ve trokanter apeksini birleştiren sanal çizgi, femurun mekanik ekseniniyle birleştiren çizgiye, lateral olarak ortalama  $90^\circ$  (en az  $85^\circ$ , en çok  $95^\circ$ ) olan açıdır. Bu açı, Lateral Proksimal Femoral Açısı (mLPFA) olarak adlandırılır (Şekil 2.5.7a.).

**aMPFA:** Trokanter tepesi ile femur başı merkezini birleştiren bu hat, anatomik aksla medialde ortalama  $84^\circ$  (en az  $80^\circ$ , en çok  $89^\circ$ ) açı yapar. Bu açı da, Medial Proksimal Femoral Açısı (aMPFA) olarak adlandırılır (Şekil 2.5.7b).



Şekil 2.5.7a.b. : Frontal planda femur proksimal eklem oryantasyon çizgisinin ilişkisi, a, femurun mekanik eksenini ile ilişkisi; b, femurun anatomik eksenini ile ilişkisi

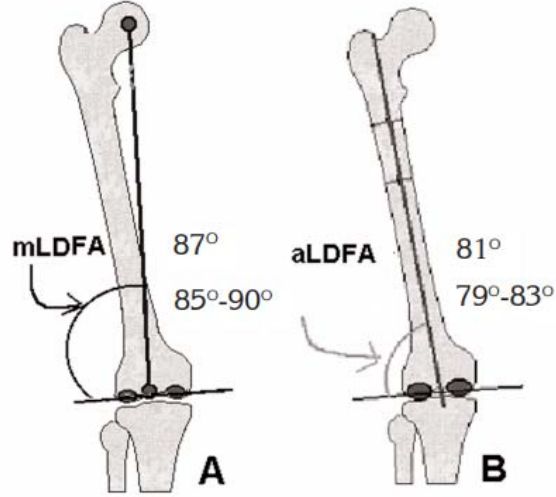
**aMNSA:** Femur boyununun orta noktası ile femur başı merkezini anatomik eksenle birleştiren çizgi, medial tarafta ortalama  $130^\circ$  (en az  $124^\circ$ , en çok  $136^\circ$ ) açı yapar. Bu açıya Medial Boyun Şaft Açısı (aMNSA) denir (Şekil 2.5.8).



Şekil 2.5.8 : Ön planda femur proksimal eklem oryantasyon çizgisinin femurun anatomik eksenini ile ilişkisi

**mLDFA ve aLDFA:** Femur mekanik eksenini ile distal femur eklem oryantasyon çizgisini, lateralde ortalama  $87^\circ$  (en az  $85^\circ$ , en çok  $90^\circ$ ) açı yapar (Şekil 2.5.9a). Bu açı, Mekanik Lateral Distal Femoral Açısı (mLDFA) olarak

adlandırılır. Bu hat anatomik aks ile lateralde ortalama  $81^{\circ}$  (en az  $79^{\circ}$ , en fazla  $83^{\circ}$ )derece açı yapar (Şekil 2.5.9b). Bu açığa, Anatomik Lateral Distal Femoral Açı (aLDFA) adı verilir.



Şekil 2.5.9a.b : Frontal planda femurdistal eklem oryantasyon çizgisinin ilişkisi; a, femurun mekanik eksenini ile ilişkisi; b, femurun anatomik eksenini ile ilişkisi

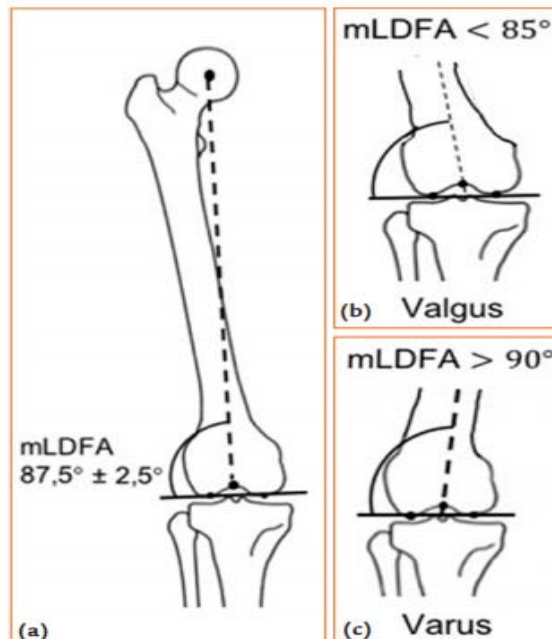
### 2.5.2. Frontal Plan Malalignment(Dizilim Bozukluğu)

Dizilim bozukluğu yani malalignment anterior posterior planda kalça, diz ve ayak bileği ekleminde dizilimin yanlış olduğu durum şeklinde tariflenebilir. Dışarıdan bakıldığında deformite varlığı gözlemlense dahi bilateral orthoröntgenogram nerede, hangi kemikten kaynaklı olduğu ve kaç derece olduğu bulunmalıdır. Bu dizilim bozukluğu mekanik aksın normal sınırların dışında olmasıdır ve buna mekanik aks deviasyonu(MAD) denmektedir. Frontal eksende dört anatomik noktadaki deformiteler mekanik aks deviasyonuna neden olmaktadır; femurdaki frontal eksen deformiteleri, tibiadaki frontal eksen deformiteleri, diz eklemindeki frontal plan laksitesi, femur ve tibiadaki kondil yetmezlikleri.(Kürklü 2020)

**Malalignment test 1 :** Bu testin hedefi "Deformite var mı?" sorusuna cevap bulmaktır. Femur başının ve ayak bileğinin santrali bulunduktan sonra bu iki nokta birleştirilerek alt ekstremitenin mekanik aksı oluşturulur. Bu aks eklemin merkezinin ortalama  $8\pm 7$  mm medialinden geçer. Alt ekstremiten mekanik aksının eklemin merkezinden 15 mm'ye kadar medialden geçmesi normal kabul edilir. Fakat mekanik

aks 15 mm'den daha fazla medialden veya lateralden geçmesine Mekanik Aks Deviasyonu=sapması (MAD) denir. MAD medialde ve 15mm'den büyükse varus deformitesi söz konusudur. Alt ekstremitenin mekanik eksenini dizin merkezine lateral geçiyorsa valgus deformitesi vardır.

**Malalignment test 2 :** 'Deformite nerede; femurda mı?' sorusunun cevabı bu test ile verilir. Bunun için Lateral Distal Femoral Açısı (mLDFA) ölçülür. Femur başı merkezi, femur distal eklem yüzü santrali birleştirilip femur mekanik aksı çizilir. Sonra femoral kondillerin en alt subkondral noktaları birleştirilerek distal femur oryantasyon hattı çizilir. Bu iki hat ile femur lateralinde bir açı (mLDFA) oluşturur. Bu açı normalde  $87,5 \pm 2,5$  derecedir. Bu açı 90 dereceden fazlaysa femurda deformite vardır ve varus deformitesi olduğu söylenirken, açı 85 dereceden küçükse femurda valgus deformitesi olduğu söylenebilir. (Şekil 2.5.10)



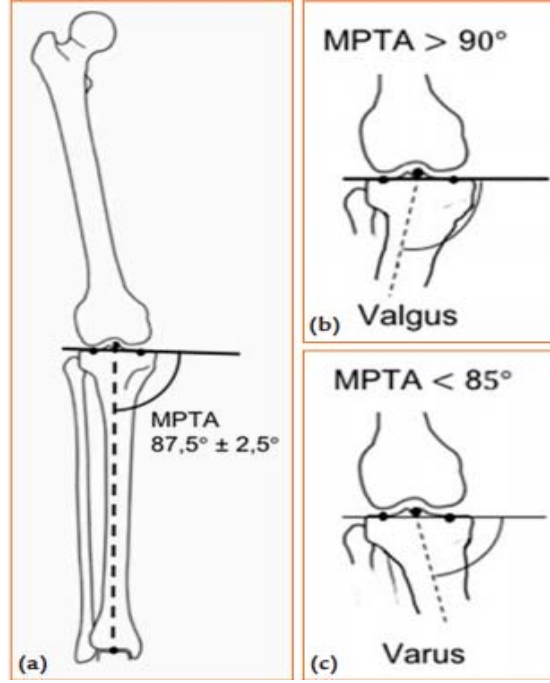
Şekil 2.5.10.:a: Femur mekanik aksı ve mLDFA

b: Femur distali valgus deformitesi

c: Femur distali varus deformitesi

**Malalignment test 3 :** 'Deformite nerede; tibiada mı?' sorusunun cevabı bu test ile verilir. Bunun için Medial Proksimal Tibial Açısı (MPTA) ölçülür. Tibia proksimal eklem yüzü merkezi, tibia distal eklem yüzü merkezi ile birleştirilip tibia mekanik aksı oluşturulur. Ardından tibial platoların en alt subkondral noktaları birleştirilerek proksimal tibia oryantasyon hattı çekilir. Bu iki hat tibia medialinde bir

açı (MPTA) oluşturur. Bu açı normalde  $87,5 \pm 2,5$  derecedir. Bu açı 85 dereceden küçükse tibiada deformite vardır ve bu varus deformitesidir. Eğer açı 90 dereceden büyükse tibiada deformite vardır ve bu valgus deformitesidir. (Şekil 2.5.11)



Şekil 2.5.11. : a:Tibia mekanik aksı ve mMPTA  
b:Tibia proksimal valgus deformitesi  
c:Tibia proksimal varus deformitesi

**Malalignment test 4 :** ‘Deformite nerede; diz ekleminde mi?’ sorusunun cevabı bu test ile verilir. Bu sorunun yanıtı için, femur ve tibia diz eklem çizgileri arasında JLCA (Joint line convergence angle) ölçülür. Femur kondillerin en distalde subkondral noktaları birleştirilerek distal femur oryantasyon hattı oluşturulur. Ardından tibia proksimal eklem yüzünün en alt subkondral noktaları birleştirilerek proksimal tibia oryantasyon hattı oluşturulur. Bu iki hat birbirine paraleldir. Aralarında 2 dereceye kadar açı olabilir. 2 dereceden daha büyük açı olması deformitenin diz ekleminde olduğunu gösterir. Bu açı 2 dereceden büyükse ve medialde ise diz ekleminde valgus deformitesi vardır. Eğer JLCA açısı 2 dereceden büyükse ve lateralde ise diz ekleminde varus deformitesi vardır. Akslar çizilip deformitenin yeri belirlenir. Eğer deformite proksimal tibiada ise yüksek tibial osteotomi(YTO) için uygun hasta grubudur. (Paley 2000, Wolcott 2010)

## 2.6.YÜKSEK TİBİAL OSTEOTOMİ

İnsan iskeletinde diz eklemi yaklaşık 5-6 derece valgus dizilimindedir. Bu dizilim şeklinde dizin maruz kaldığı yükün %60 ı eklem medialine, %40 ı eklem lateraline biner.(Casey 2009) Bu aks bozulduğundan bir tarafa binen yük artmaya başlar ve kıkırdağın dejeneratif süreci hızlanır. Diz ekleminde meydana gelen bu varus veya valgus dizilim bozukluklarında yüksek tibial osteotomi önemli bir cerrahi tedavi seçeneğidir. Bu yöntemle hem dizilim bozukluğu düzeltilmiş olur hemde orantısız olan yük dağılımı yeniden sağlanmış olur ve artroplastiye olan gereksinim ertelenmiş olur.(Dettoni 2010)

Bu cerrahi teknik diz eklemının aksı bozulmuş, genç-orta yaşta sadece bir kompartmanda tutulumu olan hastalarda tercih edilmektedir. Osteoartrit genellikle karşımıza medial kompartman artrozuyla çıkar ve buda eklemde varus deformitesiyle beraberdir.

Uygun hasta grubu; tedaviye uyum sağlayabilecek, fiziksel olarak aktif, 65 yaşın altında, hareketle şikayetleri artan, 5 dereceden az fleksiyon kısıtlılığı olan, 5 ila 15 derece arasında varus dizilim bozukluğu olan diğer eklem kompartmanlarında patolojisi olmayan ve bağ instabilitesi olmayan, lokalize medial kompartman ağrısı olan hastalar olarak tanımlanabilir. (Andriacchi 1994) Tedavi başarısında hasta seçimi çok büyük önem taşır.

Cerrahiden önce mutlaka ayrıntılı fizik muayane yapılmalı eklem ait bütün bulgular incelenmelidir. Hasta ayakta iken eklem eksternal rotasyona geçip geçmediğine bakılmalıdır(lateral trust). Bu bize varus deformitesinin 15 dereceden fazla olduğunu ve tüm eklem kompartmanlarında dejenerasyon olduğu konusunda fikir verir ve bu hasta grubu YTO için doğru hasta grubu değildir.(Andriachhi 1994) Medial kompartmandaki dejenerasyondan dolayı medio-lateral gevşeklik diz osteoartritinde sık karşımıza çıkar ve deformite ilerledikçe LKL esnekliği artar eğer bu laksitite çok ilerlemez ise bir probleme neden olmaz fakat çok ileri boyuttaki laksiteteler farkedilmez ise ameliyat sonrasında düzeltme yetersizliği ile karşımıza çıkabilir.

Eğer hastanın dizinde bir ön çapraz bağ lezyonu var ve antero-posterior instabilite varsa hastaya ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu yapmak cerrahi sonrası hasta memnuyetini artırabilir.(Noyes 1993)

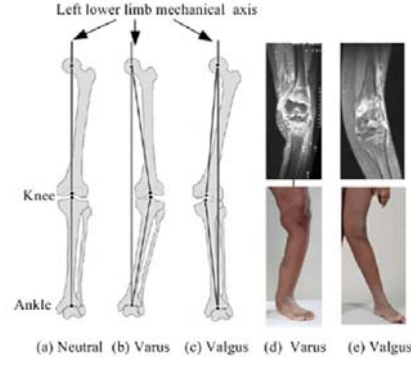
Yüksek tibial osteotomi kontrendikasyonları:

1. İnflamatuar artritler
2. Lateral kompartmanda veya patellofemoral eklemdede ileri derecede artroz
3. Lateral menisektomi
4. 5.15 derece üzeri fleksiyon kısıtlılığı

Naudi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre diz ekleminde 120 derece üzerindeki fleksiyon başarılı sonuç gereklidir bu nedenle 15 ila 100 dereceden az eklem hareket açıklığı olan hastalara YTO yu çok önermemişlerdir.(Naudie 1999)

#### 2.6.1. Düzeltme Derecesinin Hesaplanması

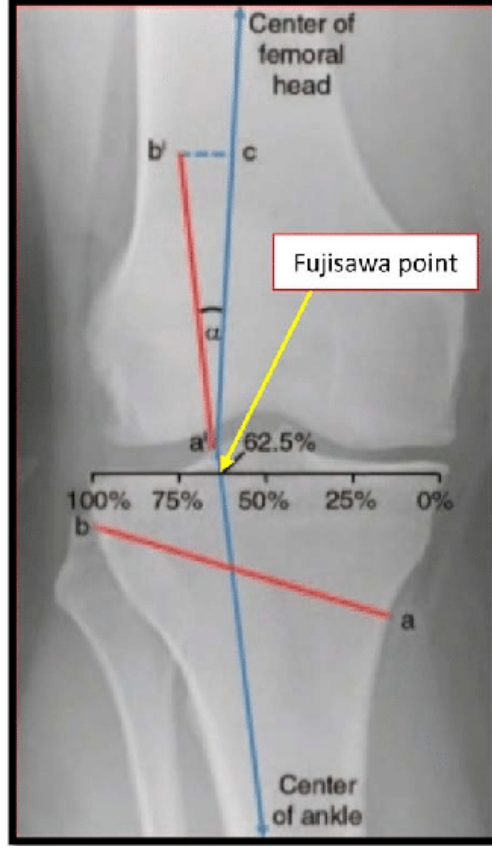
Deformiteli bir dizde ne kadar düzeltme yapacağımızı en iyi alt ekstremitenin mekanik aks ölçümlerini yaparak bulabiliriz. Alt ekstremitenin mekanik aksında femur başı merkezinden başlayan hat diz ve ayak bileği eklemlerinin orta noktasından geçer. Dizilim bozukluğu bulunmayan bir alt ekstremitede femur ile tibianın mekanik aksları arasında 180 derecelik bir açı bulunur. Bu açının 180 dereceden fazla olması eklemdede valgus, az olması ise varus dizilim bozukluğu olduğunu gösterir. Varus dizilimindeki bir hastada amaç deformiteyi düzelt bir miktarda valgus dizilimine çevirmektir. Bu nedenle tibia femur mekanik aksları arasındaki açının 183-186 derece olması uygun bir düzeltme olarak kabul görmektedir.(Kalaycı 2009) Bu şekilde bir düzeltme yaptığımızda alt ekstremitenin mekanik aksı tibia eminentiası lateralinden lateral tibia platosundan geçecektir. (şekil 2.6.1)



Şekil 2.6.1 : Normal, varus ve valgus dizilimindenki alt ekstremitelerin mr ve klinik görüntüleri

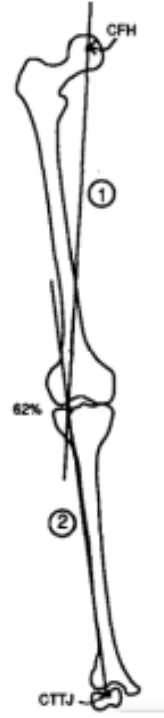
Femur ve tibia'nın mekanik aksları çizildikten sonra iki çizginin kesişim noktası bize deformitenin rotasyon merkezini(CORA:Center Of Rotation and Angulation)gösterir. Femur ile tibia'nın mekanik aksları arasında kalan bu açı bize varus dizilim bozukluğunun kaç derece olduğunu gösterir. Eğer biz osteotomi ardından burada elde ettiğimiz açı kadar düzeltme yaparsak alt ekstremitenin mekanik aksı tibia eminentiasından geçer. Yük maruziyeti eklem medialinden lateraline kaydırılmak istediğinden dolayı daha fazla düzeltmeye ihtiyaç duyulur bu nedenle mekanik akslar arasında kalan bu açığa yaklaşık 5 derecelik ekstra bir düzeltme yapılır.(Fujisawa 1979)

Fujisawa'ya göre varus deformiteli bir dizde oluşturulacak yeni aks lateral tibial platonun medial 1/3 lük kısmından geçmelidir. Yani tibia platosunun medial köşesi % 0 , lateral köşesi % 100 olarak düşünüldüğünde bu nokta %62,5 a tekabül eder. Dugdale ve arkadaşları da bu şekilde fujisawayla aynı noktayı işaret etmişlerdir.(Dugdale 1992)(şekil 2.6.2)



Şekil 2.6.2. : Fujisawa noktası

Mekanik aksa göre belirlenen deformite düzeltme hesaplamasından femur başı merkezinden lateral tibia platosunun %62 sine yani fujisawa noktasına uzanan bir çizgi çekilir ardından ayak bileği merkezinden fujisawa noktasına bir hat çekilir. Bu iki hattın arasında kalan açı mekanik aksa göre gerekli olan düzeltme derecesini gösterir.(Müller 2008) Bu planlamayı uyguladığı kapalı kama osteotomilerde kullanan dugdale bu seçeneği preoperatif planlamada en hassas planlama seçeneği olarak görmüştür. (şekil 2.6.3)



Şekil 2.6.3: Mekanik aksa göre düzeltme derecesinin belirlenmesi (CFH : central femoral head CTTJ : central talotibial joint)

### 2.6.2. Yüksek Tibial Osteotomi Teknikleri

Yüksek tibial osteotomiden önce tedavi başarısı artırmak için menisküs ve kondral dokulardaki patolojilere yönelik artroskopi ile başlanması önerilmektedir. (Insall 1984)

Deformitenin düzeltilip alt ekstremitenin yeniden hizalandırılması için üç teknik sıklıkla tercih edilmektedir. Bu teknikler lateral kapalı kama YTO, kubbe osteotomisi ve medial açık kama YTO dir.

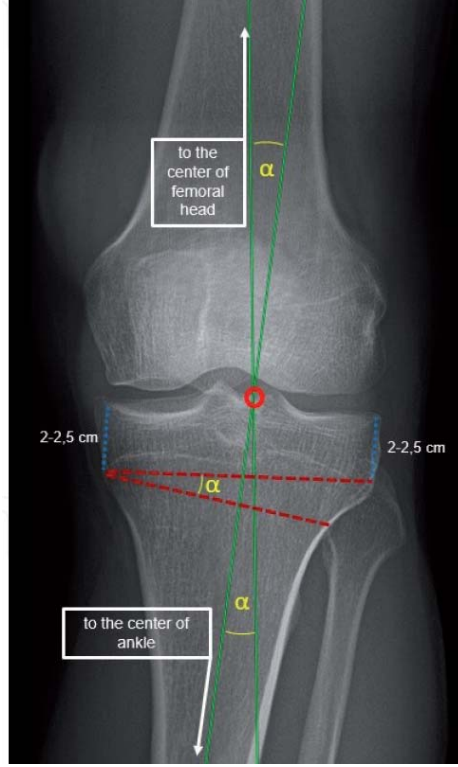
#### **Lateral kapalı kama yüksek tibial osteotomi :**

Varus deformiteli dizde uygulanan bu teknikte diz ekleminin 1.5 cm distalinden ters L şeklinde bir insizyon uygulanır. L insizyonun aşağı inen bacağı tuberositas tibianın lateral sınırından yaklaşık 10 cm. aşağı doğru inerken yatay hattı ekleme paralel şekilde uzatılır. Bu osteotomi için fibula proksimalinde posteriordan anteriora doğru ilerleyen peroneal siniri ortaya çıkarmak ve korumak gerekir. Peroneal

sinir görünüp korunduktan sonra baldır anterolateralindeki kaslar subperioste edilerek yükseltilir.(Insall 1979) Tendonlar ile tibia anterioru arası görüntülenir bu aşamada patellar tendonun yaralanmamasına dikkat etmek gerekir. Ardından fibulaya fibula cisim rezeksiyon, fibula boyun osteotomisi veya proksimal tibiofibular eklem ayrıştırılması seçeneklerinden biriyle proksimal lateral görüntülenmesi artırılır. Daha sonra tibia lateral eklem yüzünün 2 cm distalinden ilk kesi ekleme paralel ikinci kesi medial köşede birleşecek şekilde oblik kesiyse tabanı lateralde tepesi medialde olan bir üçgen kama şeklinde kemik çıkarılıp osteotomi dudakları biraraya getirilip varus deformitesi düzeltilir.(Böhler 1987)(şekil 2.6.4) Osteotomi esnasında kesilerin medial kortekse uzanmaması önemlidir çünkü medial menteşenin stabilize edici bir etkisi vardır. Kesilerin sagittal eksende paralel olması hem iki parçanın teması hemde kaynama açısından önemlidir. Paralel olmayıp tam örtünümün olmaması durumunda tibial eğimde değişim olup diz hareket açıklığı etkilenmektedir.(Hernigou 1987)

Bu tekniğin avantajları arasında daha fazla düzeltmeye olanak sağlaması, hızlı kaynama ve erken yük verebilmeyi sayabiliriz. Ayrıca patellofemoral artrozu olan hastalarda tibial tüberkülün anteriora doğru taşınmasına olanak tanıyıp patellofemoral eklemi de rahatlatma şansını verir.

Dezavantajları arasında fibular sinirle çok ilişkili bir teknik olduğundan fibular sinirin yaralanma riski vardır. Proksimalde kalan kemik stoğunun az olması fiksasyonu zorlaştırmaktadır. Patella baja ve artmış Q açısı diğer dezavantajları arasında sayılabilir. Ayrıca ilerleyen dönemde gerekebilecek olan total diz artroplastisi cerrahisinde patellanın laterale deviye edilmesini zorlaştırmaktadır.



**Şekil 2.6.4. :** Lateral kapalı kama yüksek tibial osteotomide preoperatif planlama (alfa açısı: femur ve tibia mekanik eksenleri arasında kalan düzeltme açısı, kesikli çizgiler : proksimal ve distal osteotomi hatları)

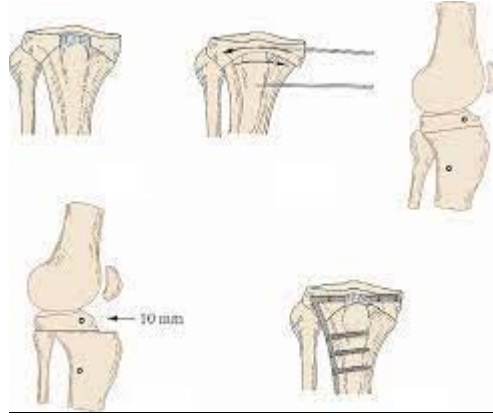
### **Kubbe(dome) Osteotomisi :**

Bu osteotomi kubbe(dome) tibi yüksek tibial osteotomi veya Barrel-Vault osteotomisi şeklinde isimlendirilir. Bu teknikle ileri boyutta ki deformiteler(20 derece üzeri)düzeltilmektedir. Daha sık olarak kullanılan teknikte osteotomi tibial tüberkülüm proksimalinden yapılır bu teknik Blainmont tarafından ilk kez uygulanmıştır ve eksternal fiksator ile tespit yapılmıştır.

Tibial tüberkülün distalinden eğilim bir şekilde anterior posterior eksenle matkapla delikler açılıp ardından posterior korteks osteotomize edilir. Daha sonra proksimal ve distal fragmanlara steinmann pinleri gönderilir ve distal parça anteriora transle edilir. Ardından istenilen düzeltme sağlanıp fiksasyon yapılır.(Şekil 2.6.5.)

Avantajları olarak daha geniş bir osteotomi hattına sahip olduğundan daha kolay ve hızlı bir kaynama beklenir. Kemik kaybı olmayan ve daha fazla deformite düzeltilmesine olanak sağlayan bir tekniktir.

Dezavantajları arasında tekniğin diğer tekniklere göre zor olması, tibial platoda eklem içi kırık riski oluşturması, peroneal sinirin yaralanması, patellar tendon çevresinde skar dokusu oluşma ihtimali ve buna bağlı olarak eklem hareketlerinde kısıtlılık oluşması, tespit esnasında eksternal fiksator kullanıma bağlı pin dibi enfeksiyonu riski sayılabilir.



Şekil 2.6.5. : Kubbe osteotomisi tekniğinin basamaklarını anlatan diyagram

### **Medial açık kama osteotomi (MAKO) :**

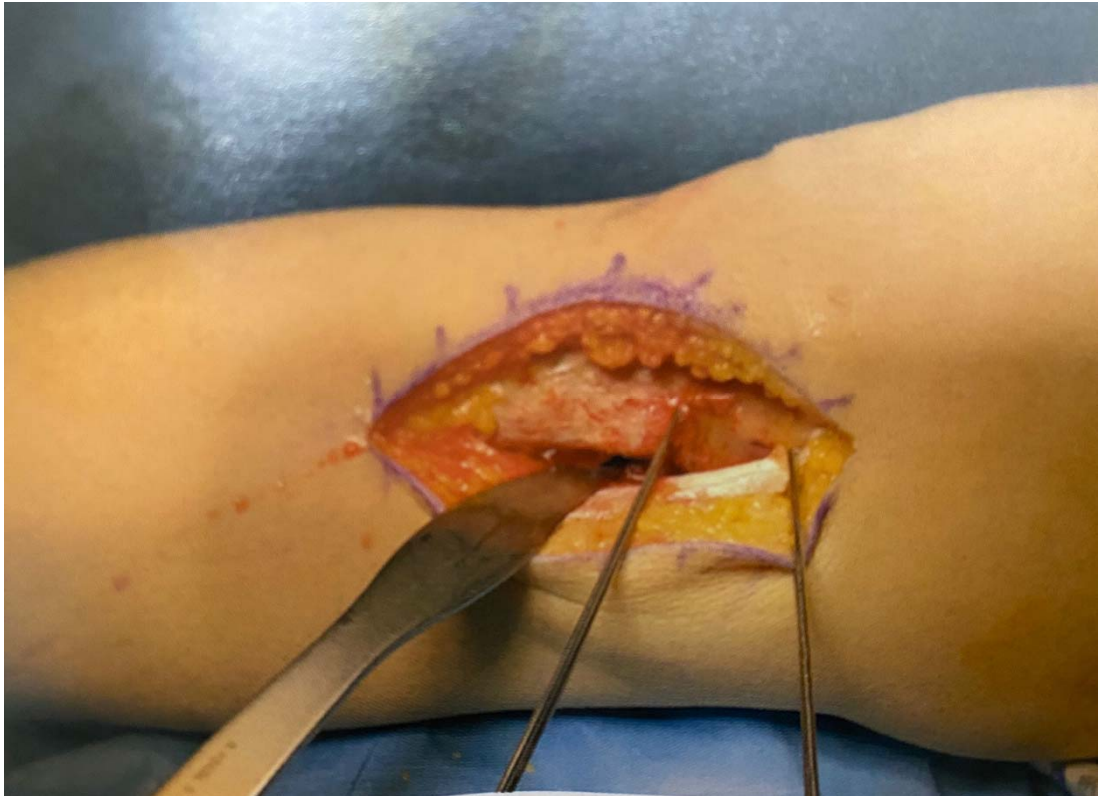
Debeyre 1950 yılında medial açık kama osteotomiyi ilk kez tanımlamıştır fakat popülerite kazanması 1980 sonlarında Hernigou ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarla olmuştur.(Hernigou 1987)

Deformitenin üç boyutlu düzelmesine olanak sağlaması, fibula osteotomisine ihtiyaç olmaması, fibular sinir yaralanma riskinin olmaması MAKO nun popülerliğini artırmıştır.

Tuberositas tibia ile medial tibia kenarı arasından eklem hattının 2 cm distalinden başlayıp distale doğru yaklaşık 5 cm lik bir insizyonla devam edilir. Ters L şeklinde sartorial fasya ayrıldıktan sonra pes anserinus ve yüzeyel MCL lifleri uzaklaştırılıp subperiostal diseksiyon ile tibia mediali ortaya çıkarılır. MCL uzaklaştırılmaz ise osteotomi sonrası kama açılırken distraksiyon aşamasında MCL lifleri gerilir ve medial basınçlar yükselir.(Amendola 2010) Anteriyorda patellar tendonu korumak için anteriora geniş bir ekartör yerleştirilir. Posterior nörovasküler

yapıları korumak için, subperiostal diseksiyon yapıp posteriora geniş bir ekartör yerleştirmek çok önemlidir.

Ardından tibia eklem yüzüne paralel şekilde medialden laterale doğru 2 tane 1.8 mm.'lik k teli fibula başını hedefleyecek şekilde skopi yardımıyla gönderilir. Bu k telleri bize hem tibia eğiminde oluşan değişiklikleri anlamada hem de oluşabilecek lateral menteşe kırığını engellemede yardımcı olur. Daha sonra tibia medial eklem yüzünün yaklaşık 4 cm. distalinden başlayarak fibula başını hedefleyecek şekilde 2 tane 1.8 mm'lik k teli gönderilir.(şekil 2.6.6.)



**Şekil 2.6.6:** Kılavuz olarak gönderilen k teller

Ardından nörovasküler yapıları da korumak amacıyla dize yaklaşık 20 derece fleksiyon verilir. Tibial tüberkülün 1 cm posterioruna kadar ince keskin bir testereyle k tellerinin superiorundan posterior, medial kortekslere kesi yapılır. Eğer osteotomi monoplanar olarak planlandıysa patellar tendon arkasına bir ekartör konularak tibial tüberkül proksimalinde kalacak şekilde anterior keside tamamlanır.(şekil 2.6.7.)



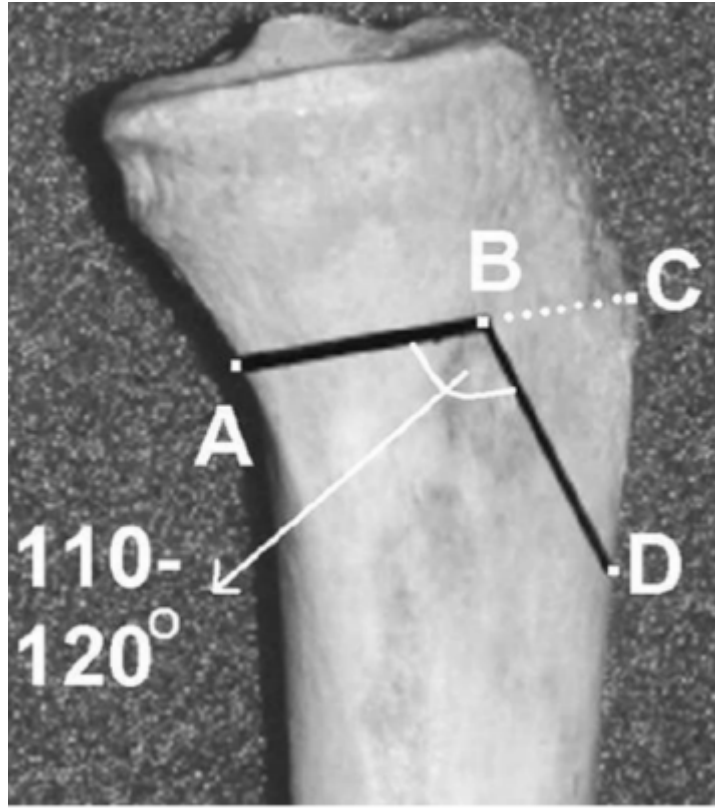
**Şekil 2.6.7:** Monoplanar yüksek tibial osteotomi

Eğer osteotomi biplanar olarak planlandıysa tuberositas tibiyanın 1.5 cm. posteriorundan yaklaşık 120 derecelik bir açıyla anterosuperiora doğru kesi yapılarak osteotomi tamamlanır.(Şekil 2.6.8.)



**Şekil : 2.6.8. :** Tuberositas tibiyanın osteotomi distalinde bırakıldığı biplanar osteotomi

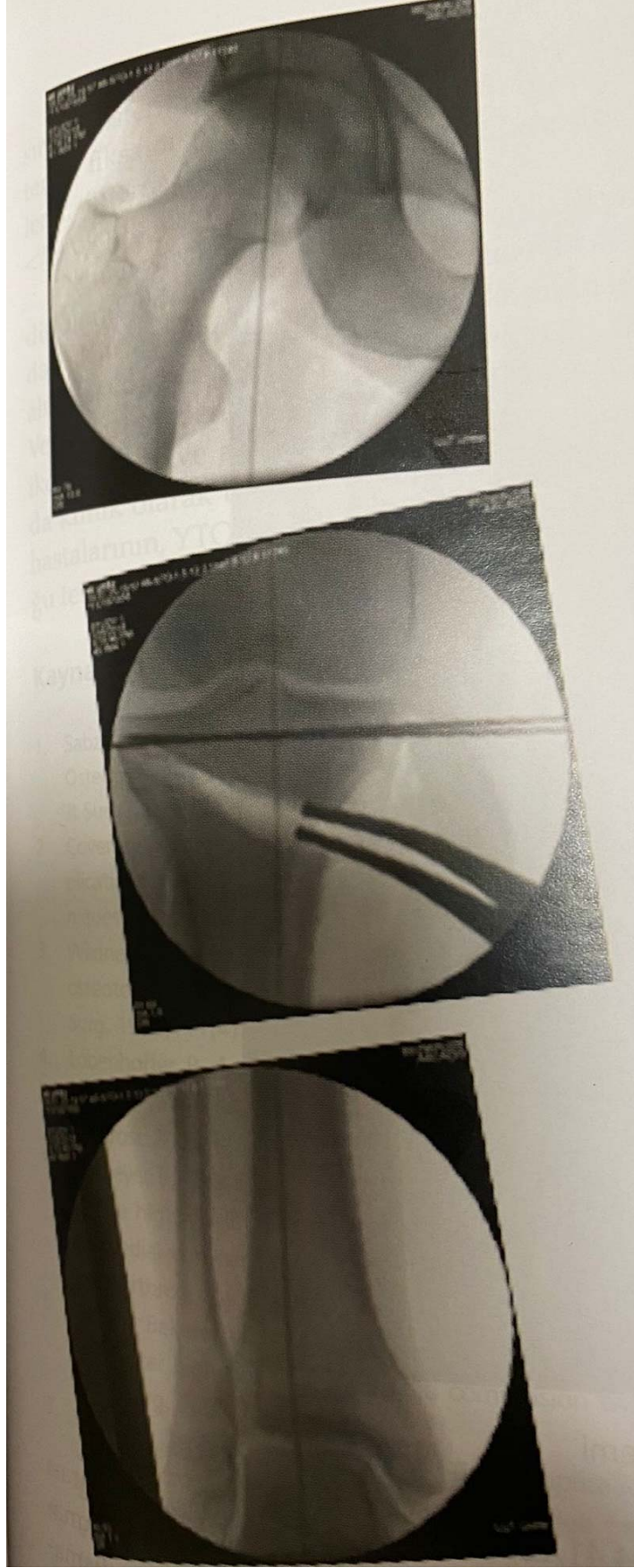
Retrotüberkül osteotomisinde ise yaklaşık 120 derecelik kesi anteroinferioru yönlendirilerek anterior kesi ve osteotomi tamamlanır.(şekil 2.6.9)



Şekil 2.6.9. : Retrotüberkül osteotomisinin yandan görünümü

Tibianın lateral korteksine 1.5 cm. kalana kadar kesi yapıldıktan sonra uzun ve geniş osteotomlar ile lateral korteksi kırmayacak şekilde kibar bir şekilde osteotomi hattı genişletilir. Osteotomi hattında istenen genişleme sağlandıktan sonra laminar sprader osteotomi hattı posterioruna koyularak preoperatif planlanmış düzeltme miktarı kadar distraksiyon yapılır. Osteotominin posteriorundaki açılma anteriordaki açılmanın yaklaşık olarak 2 katı olmalıdır. Ekleme paralel gönderilen tellerle, osteotomi distalinde kalan tellerin eğiminin bozulmaması görmek tibial eğimin kontrolü açısından önemlidir.

Kablo testi ile alt ekstremitte aksı kontrolü önemlidir. Kablo olarak koter kablosu kullanılabilir. Femur başı merkezi skopi ile bulunup kablo yerleştirildikten sonra ayak bileği merkezinden geçecek şekilde kablo uzatılır. Daha sonra diz ekleminde kablonun fujisawa noktasından geçip geçmediği kontrol edilir. Eğer kablo medialde kaldıysa osteotomi hattı daha fazla açılırken, lateralde kaldıysa açılma azaltılır.(şekil 2.6.10.)



Şekil 2.6.10. : Kablo testine ait skopi görüntüleri

Eksternal fiksator ile yapılan tespitte oranla internal fiksasyonun başarı oranının yüksek olduğu Zhim ve arkadaşları tarafından gösterilmiştir.(Zhim 2005) Plak ile yapılan fiksasyon bize rijit bir stabilite sağlar. Postop erken dönemde yük vermeye ve mobilizasyon sağlarken posterior tibial eğimin korunmasında katkı sağlar.(Staubli 2003) Tomofix(Synthes, West Chester, PA) ve Puddu(Arthrex, Naples, FL) plakları biyomekanik açıdan yeterli stabiliteyi sağlarken, lateral menteşede meydana gelen bir kırıkta TomoFix plağının başka bir tespitte gereksinim ihtiyacı bırakmadığı gösterilmiştir.(Golovakha 2014)

Medial açık kama osteotomide kamaya greft doldurulması konusu tartışmalıdır. İliak kanattan otogreft, allogreft daha sık tercih edilirken sentetik kemik greftleri de kullanılabilir. Kimi yazarlar 7.5 mm altındaki kimi yazarlar ise 12 derece altındaki düzeltmelerde greft kullanımına ihtiyaç olmadığını belirtmişlerdir.(Elmalı 2013) Lobbenhoffer vertikal hatta 13 mm den fazla düzeltme yapıldığında greft kullanımının gerekli olduğunu söylemiştir.(Agneskircher 2006)

### **Yüksek Tibial Osteotomi Komplikasyonları**

Belli bir tecrübe gerektiren bu tekniğin komplikasyon oranı %7 ile %55 oranında bildirilirken deneyimle beraber %8 ile %15 e düşmektedir.(Amendola 2010)

YTO komplikasyonlarını sıralayacak olursak

- Düzeltme kaybı/aşırı düzeltme
- Enfeksiyon
- Kaynamama
- Lateral korteks kırılması
- Derin ven trombozu
- Peroneal sinir yaralanması
- Damar yaralanması
- Kompartman sendromu
- İmplant irritasyonu
- Fibula psödoartrozu

## **Lateral Menteşe Kırıkları ve Etkileri**

Medial açık kama yüksek tibial osteotomi esnasında lateral korteks kırığı belki de en dikkat edilecek noktadır. Bu bölgenin korunması gecikmiş kaynama, kaynamama, erken mobilizasyon ve yüklenme, stabilite açısından oldukça önemlidir.

Sawbonelerde yapılan bir çalışmada lateral menteşede kırık oluşup kısa plak kullanılan örneklerde aksiyel yüklenmede ciddi yetmezlik riski olduğunu ve instabilite geliştiği gösterilmiştir.(Agneskircher 2008)

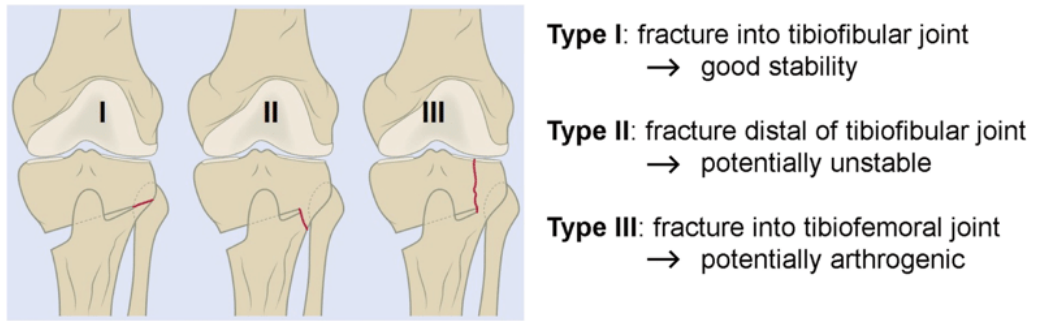
Yine başka bir çalışmada lateral kortekste oluşan kırıkların instabiliteyi önemli derecede artırdığı ve hastaların %12 sinda deformiteye geri dönüşe neden olduğu gösterilmiştir.(Hernigou 1987)

Miller ve arkadaşlarının 2005 yılında yaptığı bir çalışmada cerrahi esnasında oluşan lateral korteks kırığı sonrası mikrohareketler geliştiği ve buna bağlı kaynamanın geciktiği ifade edilmiştir.(Miller 2005) Bu mikrohareketleri engellemek ve stabiliteyi artırmak amaçlı stoffel ve arkadaşları yaptıkları çalışmada lateral korteksin kırıldığı durumlarda kortikal vidalar yerine açısız stabil plaklar kullanmanın stabiliteyi artırdığını belirtmişlerdir.(Stoffel 2004) Yine bir başka çalışmada açısız stabil plaklara ek olarak spacer kullanımının stabiliteye katkı sağladığını göstermiştir.(Spahn 2006)

Türkmen ve arkadaşları sentetik tibia modellerinde 2020 yılında yaptığı çalışmada biplanar osteotominin monoplanar osteotomiye oranla lateral korteks kırığı riskini azalttığını ve osteotomi hattını biplanar osteotomi de daha fazla açabildiklerini göstermişlerdir.(Türkmen 2017)

Yine Türkmen ve arkadaşları 2022 yılında yaptıkları bir çalışmada lateral kortekse 5, 10 ve 15mm yaklaşacak şekilde osteotomilerini yapmış ve bu modeller arasında kırık oluşumuna neden olan gapleri ölçmüşlerdir lateral kortekse yakınlaştıkça kırık oluşmadan açabildikleri açının daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.(Türkmen 2022)

Takeuchi ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptığı bir çalışmada lateral korteks kırıklarını ayrıntılı bir şekilde incelemiş ve kırık uzanım şekline göre üçe ayırmıştır. Birinci grupta kırık osteotomi hattından laterale doğru uzanırken, ikinci grupta osteotomi hattı distaline, üçüncü grupta osteotomi hattından proksimale doğru uzanım görülmüştür. 104 hastanın incelendiği bu çalışmada 19 hastada tip 1, 5 hastada tip 2 ve 2 hastada tip 3 kırık tespit edildi. Tip 2 kırıklı beş hastanın ikisinde 3 ve 7 derece olmak üzere düzeltme kaybı gözlemlendi.(Takeuchi 2011)(Şekil 2.6.11)



Şekil 2.6.11 : Takeuchi lateral korteks kırığı sınıflaması

## 2.7.SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Sonlu elemanlar metodu, yapı statikliği, gerilme analizi, ısı transferi, akışkanlar dinamiği gibi pek çok alandaki mühendislik problemlerinin çözümlerini yaklaşık olarak elde etmede kullanılan nümerik bir yöntemdir. 1970 senesinde ortopedik alanda ilk defa kemik gerilmelerini görmek amacıyla kullanılmıştır.(Zysset 2013)

Basitçe anlatmak gerekirse, sonlu elemanlar metodunda bu karmaşık geometrili cisim çok sayıda sonlu boyutlu elemana bölünür. Kuvvet etkisi altında olan karmaşık geometrili üç boyutlu bir cismin mekanik davranışı incelenir. Eleman sayısı küçüldükçe sonuç gerçek çözüme yaklaşır.

Bu metotta, malzeme özellikleri bilinen bu sonlu elemanların her biri için çözüm matrisi çıkartılır ve genel çözümü elde etmek için bu elemanların çözüm matrisleri toplanır. Sınır ve yükleme koşullarının uygulanması ile genel çözüm matrisi çözülür ve her bir düğüm noktasında (d.n.) yer değiştirme değerleri hesaplanır. Buradan gerilme ve gerinme değerleri hesaplanabilir.

### 3. GEREÇ VE YÖNTEM

#### 3.1.Araştırmanın Tipi, Yapıldığı Yer ve Tarih

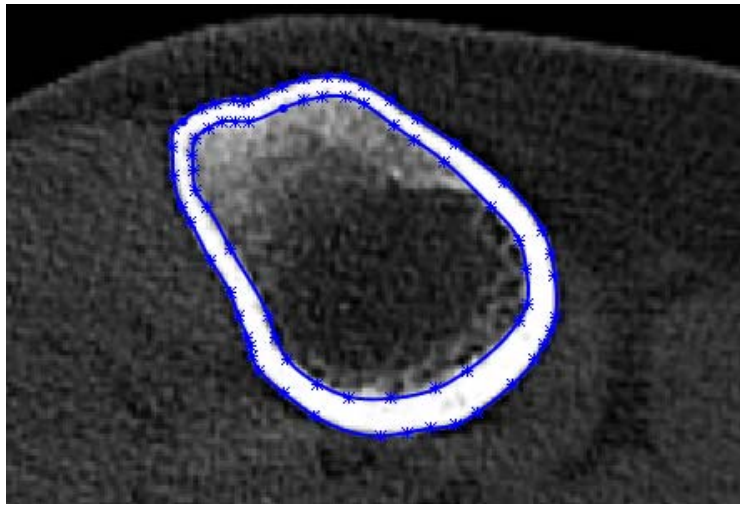
Bu çalışma sonlu elemanlar analizi kullanılarak yapılan biyomekanik nümerik bir çalışmadır. Çalışma Ağustos 2022 tarihinde Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı ile Karatay Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı araştırma laboratuvarında yapılmıştır.

#### 3.2.Araştırmanın Evren ve Örneklemi

Çalışmada bilgisayarlı tomografi sonrası elde edilmiş tibiadan katı model oluşturulup katı modellere k- teller gönderilerek üç grup elde edilmiştir.

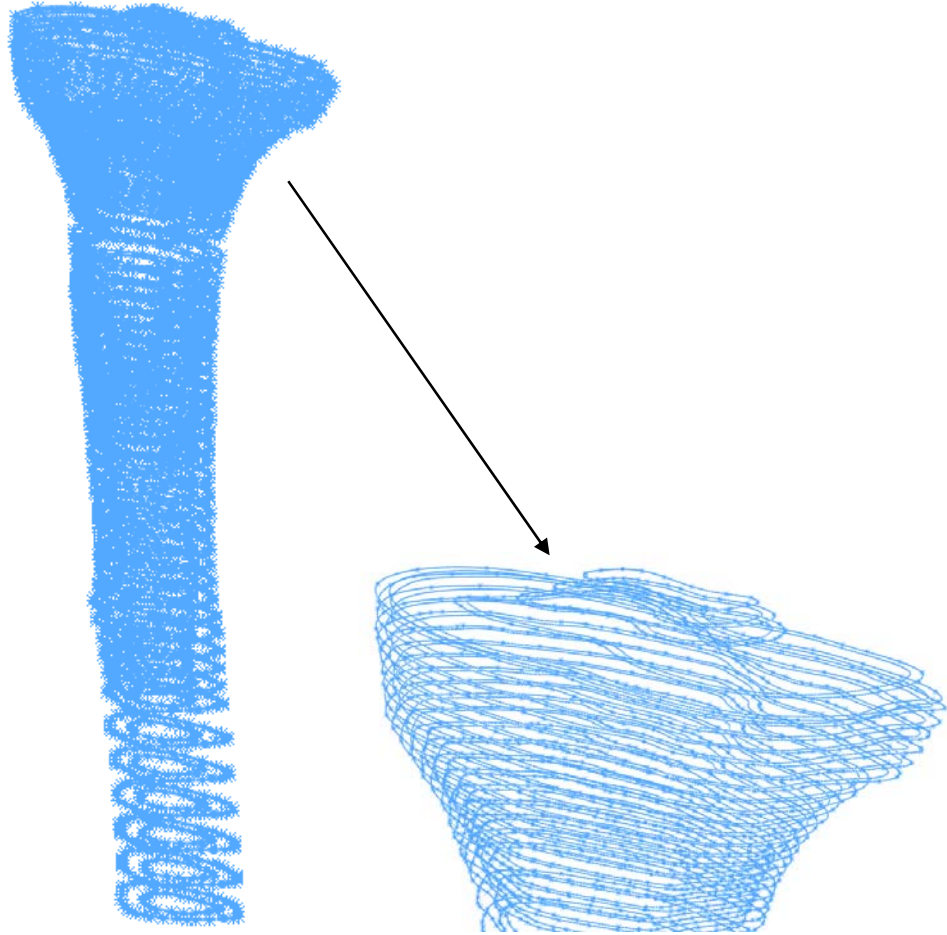
##### Örneklerin hazırlanması :

Tibia modelinin BT (Bilgisayarlı tomografi) görüntüleri DICOM (Digital imaging and communications in medicine) formatında kaydedildi. Tibia eklem proksimalinden başlayarak çekilen bilgisayarlı tomografi kesitleri JPEG(Joint Photographic Experts Group) formatında Enlil HBYS kayıt sisteminden alındı. Alınan bu görseller bir katı modelleme programı olan Solidworks (Dassault Systems SolidWorksCorp., Waltham MA) yazılımına, aralarındaki mesafeler BT'deki aralıklarla aynı olacak şekilde katman katman atıldı. Kortikal kemik sınırları bu programda her bir katman için çizildi.(şekil 3.1)



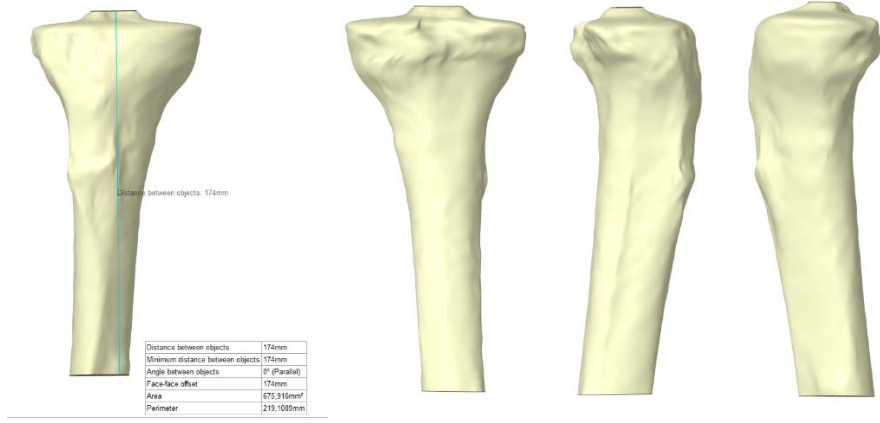
Şekil 3.1. : Bilgisayarlı tomografi görüntüsünde kortikal kenarların çizilmesi

Proksimalde 2 mm aralıklarla, distale inildikçe bu aralık artırılarak 4 mm ve nihayetinde 10 mm aralıklarla görseller alındı. Toplamda 65 adet görsel kullanıldı. Kortikal ve trabeküler kemiğin sınırları kullanılarak «loft» komutu ile 2 adet içi dolu katı oluşturuldu. Trabeküler kısım kortikal kemikten çıkartılarak içi boş kortikal kemik elde edildi.(Şekil 3.2)

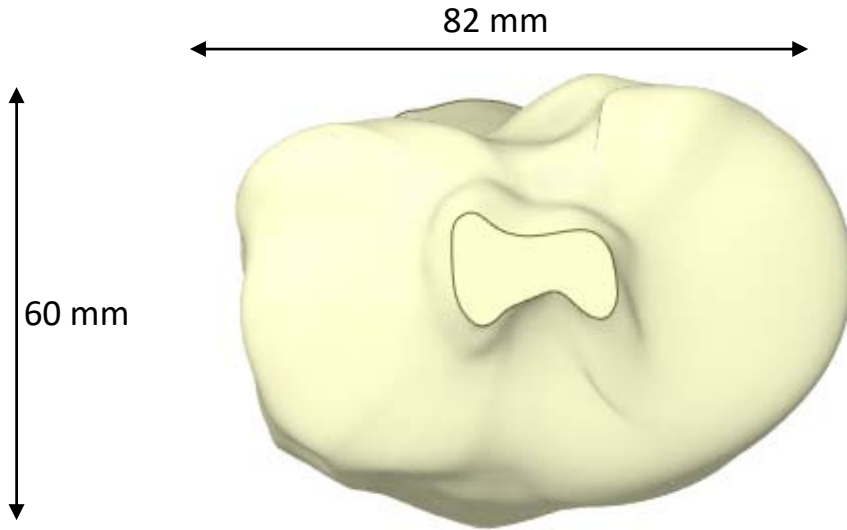


**Şekil 3.2. :** Tibia katı modelinin oluşturulması

Tibia modeli oluşturulduktan sonra analiz sürelerini kısaltmak amacıyla tibiannın proksimalden 175 mm.'lik kısmını çalışmaya dahil edilerek tibia geometrisi oluşturuldu.(Şekil 3.3.) Tibia proksimal eklem yüzü lateral medial aksta 82mm., anterior posterior aksta 60 mm. olarak kayıt edildi (Şekil 3.4)

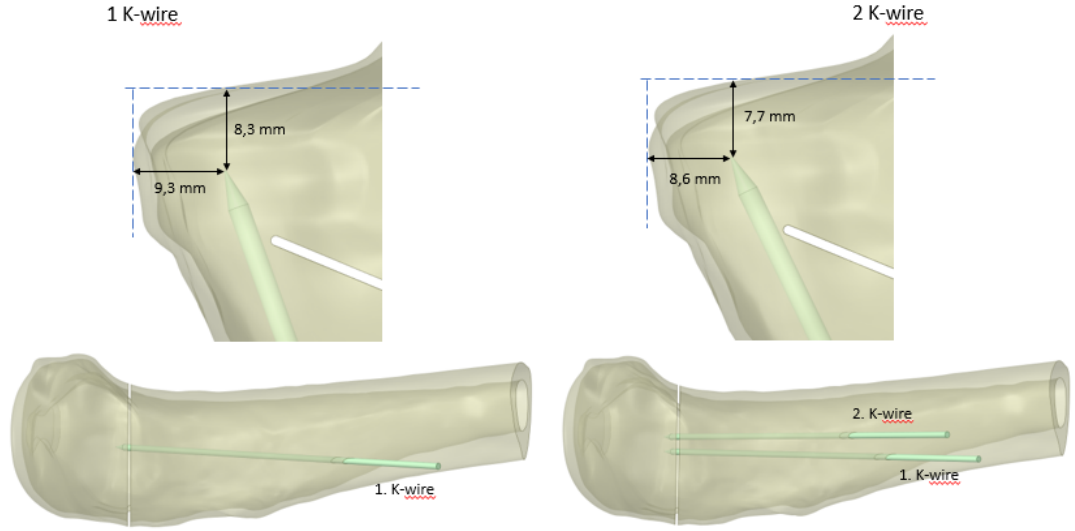


Şekil 3.3. : Tibia geometrisinin anterior posterior lateral ve medialden görünümü



Şekil 3.4. : Tibia proksimal eklem yüzünün yukarıdan görünümü

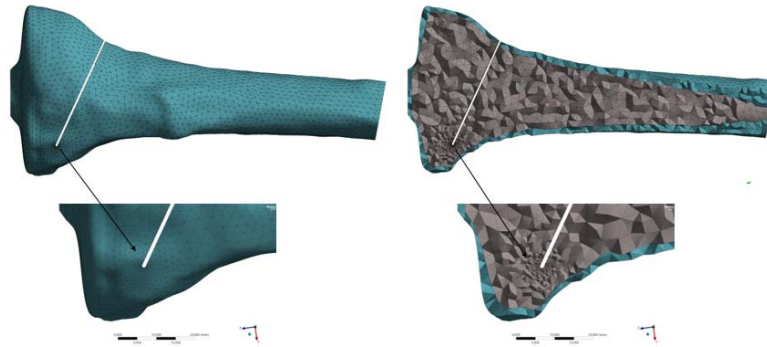




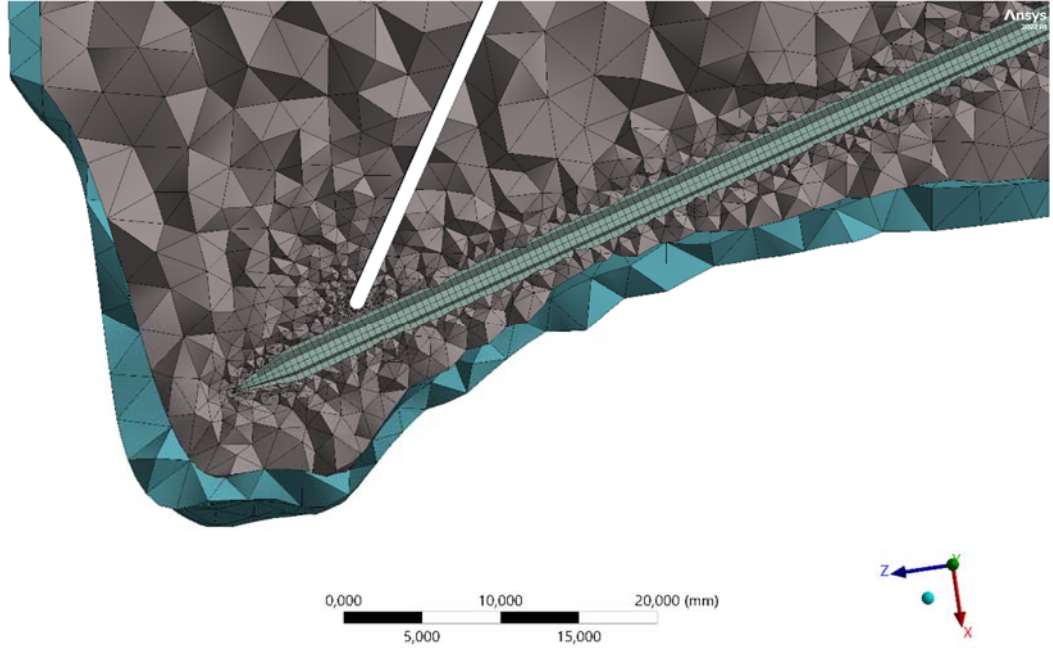
**Şekil 3.7. :** K-tellerin lateral korteks ve lateral tibia plato ile mesafeleri

Ardından çözüm ağı oluşturuldu. Çözüm ağlarında 2. dereceden tetrahedron (10 d.n.), hegzahedron (20 d.n.) ve pentahedron (15 d.n.) sonlu elemanlar kullanıldı. 2. derece elemanların avantajları, fazla düğüm noktasına sahip olmaları sebebi ile deneysel sonuçlara daha iyi yakınsamaları, dezavantajları ise düğüm noktası sayısının artması sebebi ile analiz sürelerini artırmalarıdır.

Çözüm ağında, yüksek gerilmenin oluşması beklenen bölgelerde eleman boyutları küçültülerek elemanlar sıklaştırıldı ve bu şekilde daha doğru sonuçların alınması amaçlandı.(Şekil 3.8.ve 3.9) Böylece, çözüm ağında eleman boyutları trabeküler kemikte 4mm., kortikal kemikte 3mm., k-telde 0,7 mm.,k-telle temas eden kemikte 0,5 mm., lateral menteşe bölgesinde 0,2 mm. olacak şekilde atandı. Üç grup için oluşturulan çözüm ağlarındaki eleman sayıları tablo 3.1 'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.8. :** Kortikal ve trabeküler kemikte çözüm ağının görünümüleri



**Şekil 3.9.** : Kortikal, trabeküler kemik ve k telinin çözüm ağının görünüşleri

Model	Eleman sayısı
Kontrol	182727
1 K-tel	215890
2 K-tel	245983

**Tablo 3.1.** : Üç model için kullanılan eleman sayıları

Modellere malzeme özellikleri atanırken literatürden yararlanıldı ve malzeme özellikleri atandı. Kortikal ve trabeküler kemik için bilinear izotropik pekleşme (bilinear isotropic hardening) malzeme modeli atanırken, k-teller için multilineer izotropik pekleşme (multilineer isotropic hardening) malzeme modeli atanmıştır. Malzemeler için kullanılan malzeme özellikleri aşağıdaki tablo 3.2. de gösterilmiştir. (Mohammed 2009, David 1998, Blanford 2007) Kortikal ve trabeküler kemikte

bilineer izotropik pekleşme modelinin plastik kısmı akma dayanımı ve tanjant modülü ile tanımlanmıştır.

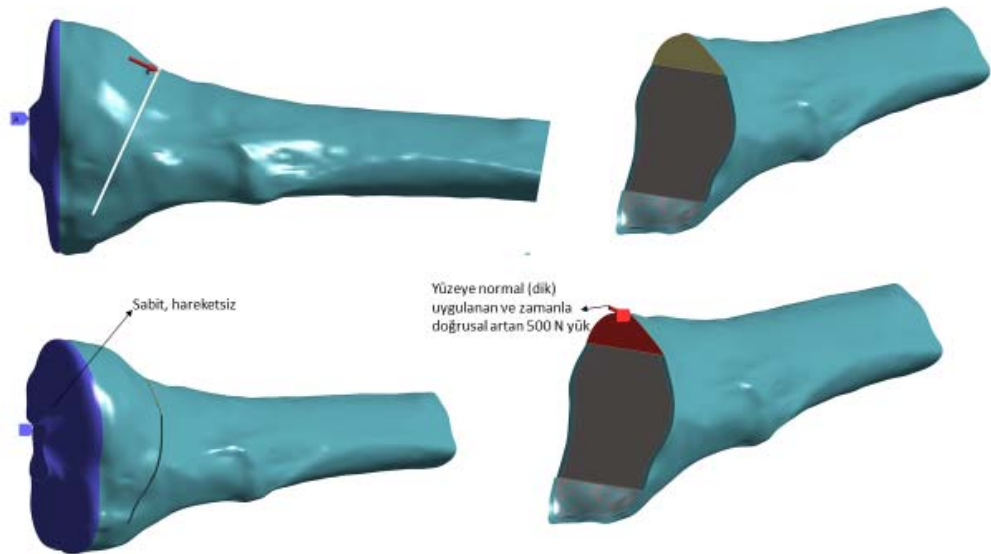
Model	Elastik modülü (MPa)	Poisson's oranı	Akma dayanımı (MPa)	Tanjant modülü (MPa)
Kortikal kemik	18160	0,26	84,52	685,37
Trabeküler kemik	372	0,3	2,19	61,03
K-tel (316L paslanmaz çelik)	190000	0,31	-	-

**Tablo 3.2. :** Kullanılan malzeme özellikleri

Modellerde kortikal, trabeküler ve k-teller arasında bağlantılar atanırken bonded(birbirine bağlı)bağlantı modeli kullanıldı.

### 3.3.Yüklenme Şartları

Tibia proksimal eklem yüzü tamamen sabitlenmiş olup osteotomi hattının distal yüzünden yüzeye dik şekilde ve zamanla doğrusal olarak artacak şekilde 500 N'luk yük uygulandı.(Şekil 3.10)



**Şekil 3.10. :** Tibia proksimal eklem yüzünün sabitlenmesi ve uygulanan yükün görünümü

Eş zamanlı olarak uygulanan kuvvetle beraber her üç grup için ;

- Uygulanan kuvvet-oluşan gap açıklığı
- Uygulanan kuvvet -korreksiyon açısı
- Uygulanan kuvvet -lateral menteşede oluşan kortikal kemik gerilimi
- Uygulan kuvvet -lateral menteşede oluşan spongioz kemik gerilimi
- Oluşan gap açıklığı- lateral menteşede oluşan kortikal kemik gerilimi
- Oluşan gap açıklığı -lateral korteks direnci(direngenlik)

değerleri kayıt alındı.

## 4.BULGULAR

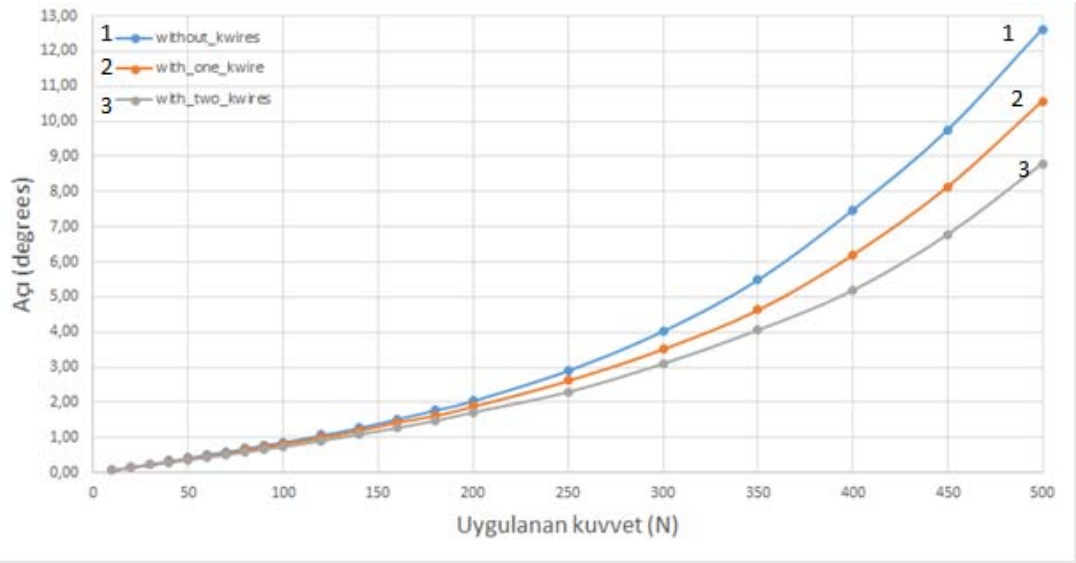
### 4.1. Kuvvet – Yerdeğiştirme Davranışı

Osteotomi hattı distaline 10 N.’ dan başlayarak artacak şekilde kuvvet uygulayıp her 10 N’ da osteotomi hattında oluşan açı ve mesafeyi kayıt altına aldık.(tablo 4.1)

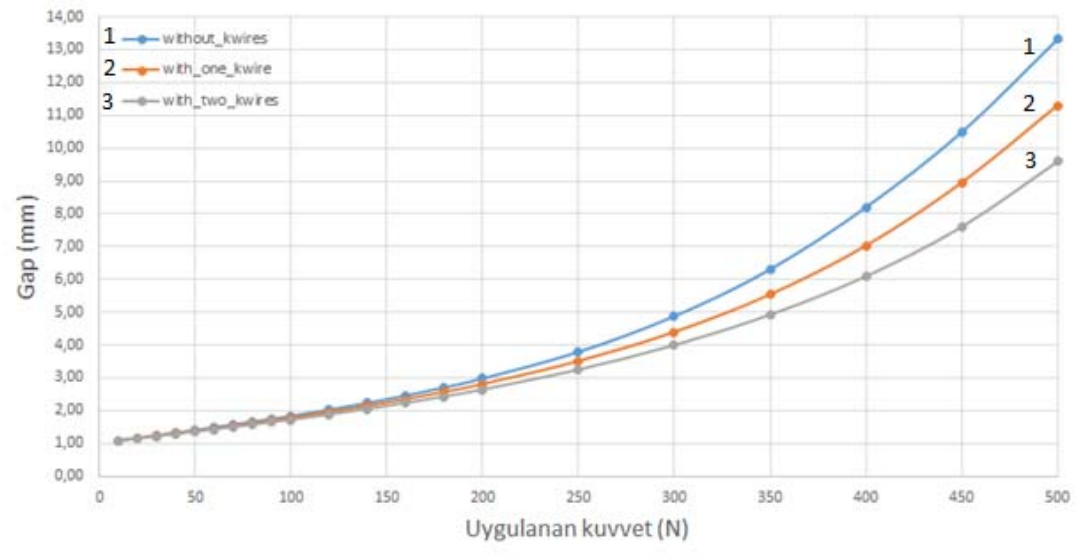
	zaman (s)	uygulanan kuvvet (N)	Kontrol			1 k-wire			2 k-wire		
			Açı (derece)	Gap (mm)	Gapteki değişim (mm)	Açı (derece)	Gap (mm)	Gapteki değişim (mm)	Açı (derece)	Gap (mm)	Gapteki değişim (mm)
1	0,020	10	0,08	1,087	0,0805	0,08	1,0823	0,0758	0,07	1,0767	0,0702
2	0,040	20	0,17	1,1669	0,1604	0,16	1,1572	0,1507	0,15	1,1461	0,1396
3	0,060	30	0,25	1,2467	0,2402	0,24	1,2322	0,2257	0,22	1,2154	0,2089
4	0,080	40	0,34	1,3268	0,3203	0,32	1,3071	0,3006	0,29	1,2847	0,2782
5	0,100	50	0,42	1,4079	0,4014	0,4	1,3826	0,3761	0,37	1,3542	0,3477
6	0,120	60	0,52	1,49	0,4835	0,48	1,4591	0,4526	0,44	1,4244	0,4179
7	0,140	70	0,6	1,5737	0,5672	0,56	1,5368	0,5303	0,51	1,4958	0,4893
8	0,160	80	0,69	1,659	0,6525	0,65	1,6162	0,6097	0,59	1,5685	0,562
9	0,180	90	0,79	1,7465	0,74	0,73	1,6975	0,691	0,67	1,643	0,6365
10	0,200	100	0,87	1,8366	0,8301	0,83	1,7809	0,7744	0,74	1,7193	0,7128
11	0,220	110									
12	0,240	120	1,07	2,0266	1,0201	1	1,9557	0,9492	0,91	1,8788	0,8723
13	0,260	130									
14	0,280	140	1,28	2,2344	1,2279	1,2	2,1435	1,137	1,09	2,0491	1,0426
15	0,300	150									
16	0,320	160	1,53	2,4575	1,451	1,44	2,3466	1,3401	1,28	2,2317	1,2252
17	0,340	170									
18	0,360	180	1,78	2,7049	1,6984	1,63	2,5671	1,5606	1,48	2,4283	1,4218
19	0,380	190									
20	0,400	200	2,05	2,9772	1,9707	1,89	2,8076	1,8011	1,72	2,6404	1,6339
21	0,420	210									
22	0,440	220									
23	0,460	230									
24	0,480	240									
25	0,500	250	2,91	3,7892	2,7827	2,62	3,5064	2,4999	2,3	3,249	2,2425
26	0,520	260									
27	0,540	270									
28	0,560	280									
29	0,580	290									
30	0,600	300	4,03	4,8743	3,8678	3,52	4,394	3,3875	3,1	3,9944	2,9879
31	0,620	310									
32	0,640	320									
33	0,660	330									
34	0,680	340									
35	0,700	350	5,49	6,3034	5,2969	4,63	5,5368	4,5303	4,06	4,9276	3,9211
36	0,720	360									
37	0,740	370									
38	0,760	380									
39	0,780	390									
40	0,800	400	7,48	8,1954	7,1889	6,2	7,0245	6,018	5,19	6,0989	5,0924
41	0,820	410									
42	0,840	420									
43	0,860	430									
44	0,880	440									
45	0,900	450	9,76	10,4841	9,4776	8,14	8,9449	7,9384	6,78	7,6111	6,6046
46	0,920	460									
47	0,940	470									
48	0,960	480									
49	0,980	490									
50	1,000	500	12,63	13,3129	12,3064	10,58	11,2985	10,292	8,8	9,6042	8,5977

Tablo 4.1. : Uygulanan kuvvet sonrası açılan gap mesafeleri ve dereceleri

Her üç gruba da 10 N.' dan başlayarak aynı zaman diliminde 500 N.' a kadar benzer şekilde kuvvet uygulandı. 500 N kuvvete ulaşıldığında kontrol grubu olan (k tel bulunmayan) grupta 12,6 derece açılma ve 13,3 mm gap mesafesi ölçülürken, tek k tel bulunan grupta 10,5 derece açılma ve 11,2 mm gap mesafesi, iki k tel bulunan grupta 8,8 derece açılma ve 9,6 mm gap mesafesi ölçüldü. Bu sonuçlar bize lateral menteşeye gönderilen k tellerinin osteotomi hattında daha yavaş ve kontrollü bir açılma sağladığını gösterdi.(Şekil 4.1-şekil 4.2)



şekil 4.1. : Uygulanan kuvvet-açılan gap açısı(1.k telsiz grup, 2.tek k tel grubu,3.iki k tel grubu)



şekil 4.2. : Uygulanan kuvvet-açılan gap mesafesi(1.k telsiz grup, 2.tek k tel grubu,3.iki k tel grubu)

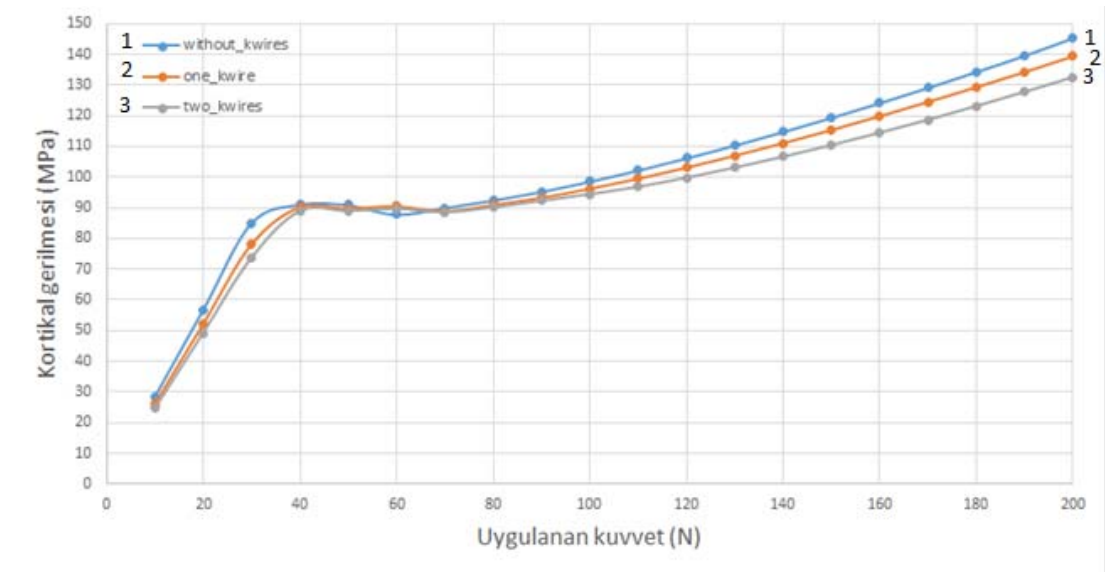
## 4.2. Kuvvet – Lateral Mentеше Kortikal ve Trabeküler Kemik Gerilmeleri

Osteotomi hattı distaline 10 N.' dan başlayarak artacak şekilde kuvvet uygulayıp her 10 N' da lateral menteşede kortikal ve spongiöz kemiklerde oluşan gerimler kayıt altına alındı.(tablo 4.2)

	zaman (s)	uygulanan kuvvet (N)	k telsiz grup		tek k tel		iki k tel	
			kortikal gerilme (von-mises) (MPa)	trabecular gerilme (von-mises) (MPa)	kortikal gerilme (von-mises) (MPa)	trabecular gerilme (von-mises) (MPa)	kortikal gerilme (von-mises) (MPa)	trabecular gerilme (von-mises) (MPa)
1	0,02	10	28,38	1,09	26,07	1,6156	24,601	1,6334
2	0,04	20	56,71	2,18	52,108	2,1909	49,17	2,2746
3	0,06	30	85	2,38	78,11	2,6112	73,695	2,5471
4	0,08	40	91,12	2,59	90,214	2,9757	88,957	2,8999
5	0,1	50	90,95	2,87	89,793	3,3299	89,019	3,3925
6	0,12	60	87,85	3,17	90,564	3,6795	89,7	3,9021
7	0,14	70	90,02	3,49	88,902	4,0466	88,613	4,4277
8	0,16	80	92,45	3,82	90,997	4,5005	90,205	4,9616
9	0,18	90	95,28	4,16	93,326	4,9687	92,277	5,5129
10	0,2	100	98,57	4,56	96,23	5,4659	94,466	6,1205
11	0,22	110	102,22	5,03	99,515	5,9836	96,838	6,7663
12	0,24	120	106,17	5,53	103,13	6,517	99,802	7,4286
13	0,26	130	110,36	6,07	107	7,0657	103,09	8,1002
14	0,28	140	114,77	6,63	111,09	7,6274	106,63	8,7818
15	0,3	150	119,39	7,22	115,39	8,2011	110,42	9,4771
16	0,32	160	124,17	7,84	119,89	8,79	114,45	10,19
17	0,34	170	129,13	8,49	124,52	9,4444	118,69	10,929
18	0,36	180	134,3	9,17	129,31	10,143	123,14	11,69
19	0,38	190	139,58	9,87	134,26	10,867	127,77	12,478
20	0,4	200	145,29	10,6	139,36	11,615	132,54	13,287
21	0,42	210	151,39	11,39	144,58	12,359	137,49	14,112
22	0,44	220	157,67	12,21	149,95	13,131	142,56	14,955
23	0,46	230	164,19	13,05	155,45	13,929	147,76	15,805
24	0,48	240	170,93	13,91	161,1	14,763	153,1	16,68
25	0,5	250	177,9	14,78	166,87	15,629	158,57	17,55
26	0,52	260	185,3	15,679	172,96	16,53	164,2	18,436
27	0,54	270	192,97	16,593	179,4	17,461	169,99	19,289
28	0,56	280	201,15	17,544	186,23	18,44	175,95	20,185
29	0,58	290	210,6	18,505	193,31	19,423	182,11	21,081
30	0,6	300	221,15	19,507	200,76	20,473	188,53	22,138
31	0,62	310	231,91	20,508	208,4	21,558	195,17	22,991
32	0,64	320	243,1	21,522	216,3	22,648	202,12	23,926
33	0,66	330	255,19	22,586	224,5	23,803	209,23	25,086
34	0,68	340	267,3	23,637	233,98	24,984	216,56	26,436
35	0,7	350	279,69	24,693	244,15	26,164	224,52	27,593
36	0,72	360	293,13	25,819	254,59	27,494	233,56	28,482
37	0,74	370	306,34	26,912	265,63	28,812	242,91	29,834
38	0,76	380	319,53	27,988	276,63	30,069	252,53	31,898
39	0,78	390	333,02	29,072	287,82	31,44	262,57	32,789
40	0,8	400	348,11	30,253	300,98	32,882	272,75	33,921
41	0,82	410	364,04	31,391	313,99	34,354	283,17	35,696
42	0,84	420	381,05	32,489	327,02	35,777	294,14	37,136
43	0,86	430	398,01	33,573	341,4	37,322	305,3	38,843
44	0,88	440	415,1	34,66	355,53	38,824	316,64	40,083
45	0,9	450	432,46	35,761	370,17	40,326	328,1	41,134
46	0,92	460	450,15	36,875	386,48	41,805	341,38	42,732
47	0,94	470	468,12	38,002	402,95	43,249	354,77	44,207
48	0,96	480	489,22	39,306	419,58	44,803	368,54	45,732
49	0,98	490	507,38	40,44	436,3	46,418	382,47	47,463
50	1	500	525,19	41,556	453,08	48,042	397,49	49,096

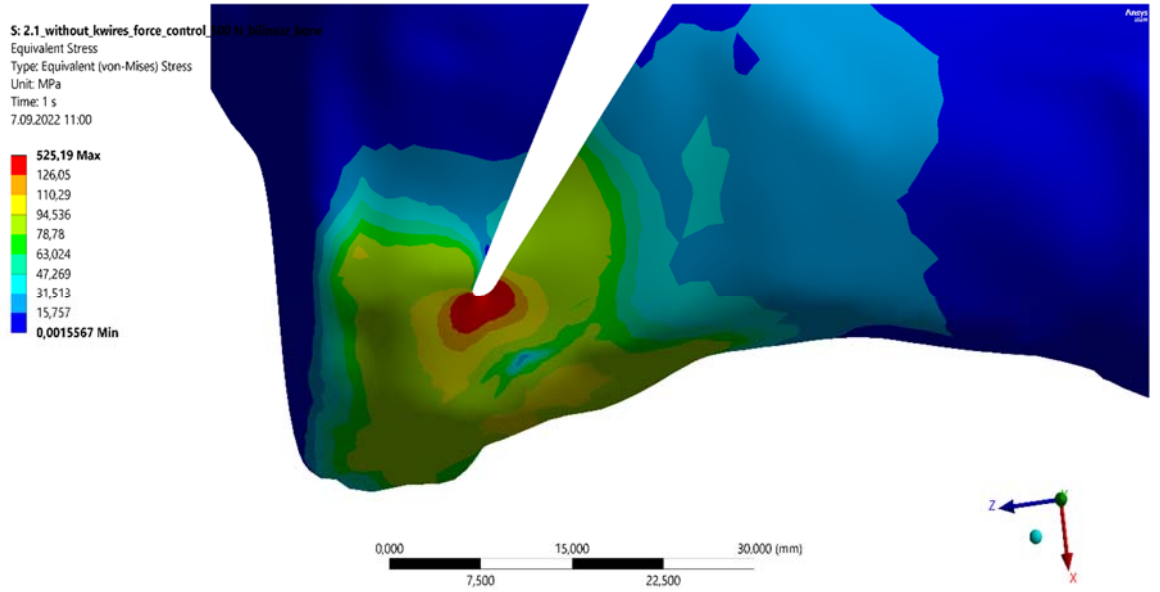
**Tablo 4.2. :** Uygulanan kuvvet sonrası açılan kortikal ve trabeküler kemiklerde oluşan gerimler

Osteotomi hattına uygulanan kuvvet ile beraber lateral korteks gerilmeleri ölçüldüğünde 80 N ‘ a kadar gerilmeler benzer şekilde 90 MPa(megapascal) ulaşırken, 90 N dan sonra k tel bulunmayan grupta kortikal kemik gerilmesinin k telli gruplara göre daha hızlı yükseldiğini gördük. Benzer şekilde k tel bulunan gruplarımız içinde de tek k tel bulunan grupta iki k tel bulunan gruba göre kortikal kemik gerilmesinin daha hızlı yükseldiğini gördük.(şekil 4.3.)

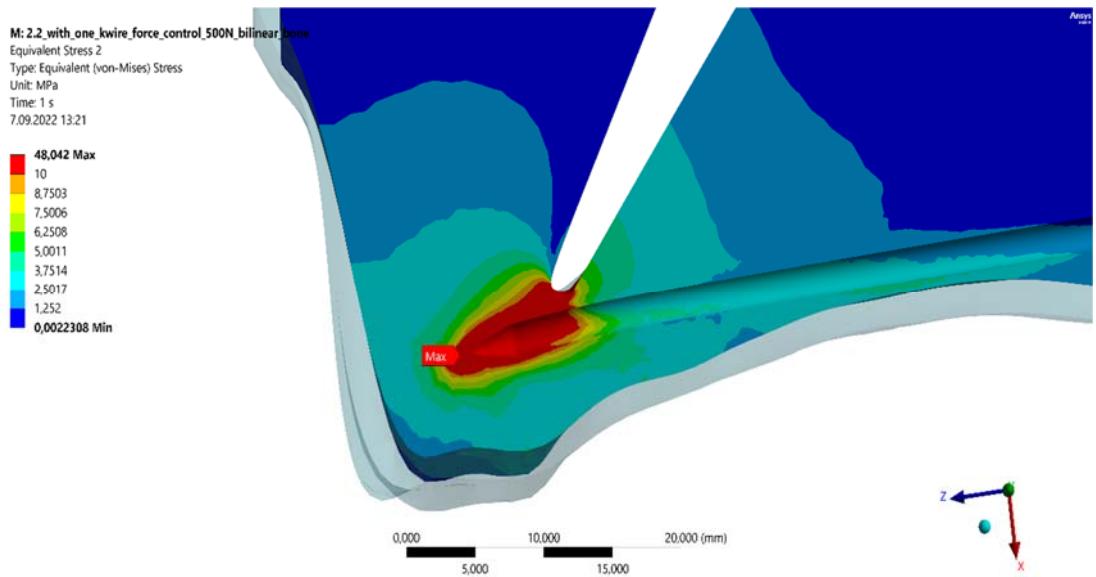


Şekil 4.3. : Uygulanan kuvvet-lateral kortekste oluşan gerilmeler(1.k telsiz grup, 2.tek k tel grubu,3.iki k tel grubu)

Deney ortamının gerilim haritasını detaylı incelediğimizde kontrol grubunda en yüksek gerilmenin osteotominin lateral köşesinin çevresinde biriktiğini görürken, tel bulunan gruplarda en yüksek gerilmelerin tel çevresine yansıdığını gözlemledik. (şekil 4.4.- şekil 4.5)



Şekil 4.4. : K-tel bulunmayan grupta oluşan kortikal gerilme dağılımı



Şekil 4.5. : K-tel bulunan grupta oluşan kortikal kemik dağılımı

Trabeküler kemik gerilmelerine baktığımızda k tel bulunan gruplarda bulunmayan gruba göre daha yüksek gerilmeler görmekteyiz. K tellerinin trabeküler kemikte sonlanmış olması nedeniyle gerilmenin bu bölgede yüksek seyrettiğini gördük.

Lateral menteşeye gönderilen k tellerinin kortikal kemiklerdeki gerilmeleri azalttığını, trabeküler kemikteki gerilmeleri artırdığını gördük. Gerilme değerlerinden yola çıkarak k tellerinin lateral korteksi koruyucu nitelikte olduğu sonucuna ulaştık.

### 4.3.Yer Değiştirme-Kortikal Kemik Gerilimi

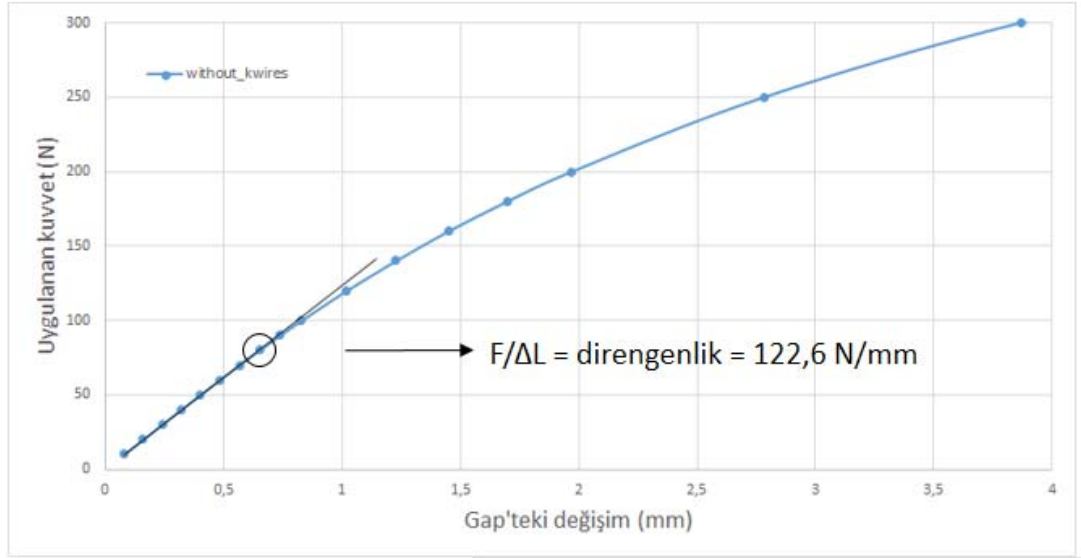
Üç grupta osteotomi hattında aynı yer değiştirme olduğu andaki kortikal kemik gerilmelerine baktığımızda kortikal kemik gerilmelerinde benzer değerler olduğu gözlemlendi. Çalışmamızda kırık oluşumunu modellemediğimizden aynı şekil değişikliğine maruz kalan eleman da benzer gerilim olduğu sonucuna vardık.(Tablo 4.3.)

Displacement (mm)	Without k-wire group		One k-wire group		Two k-wire group	
	Cortical von-mises stress (MPa)	Cancellous von-mises stress (MPa)	Cortical von-mises stress (MPa)	Cancellous von-mises stress (MPa)	Cortical von-mises stress (MPa)	Cancellous von-mises stress (MPa)
0.5	90	3.49	88.9	4	90.2	4.9
2	145.2	10.6	144.6	12.3	147.7	15.8
3	185.3	15.7	186.2	18.4	188.5	22.1
4	224.2	19.5	224.5	22.6	224.5	27.5
6	306.3	26.9	301	32.8	305.3	38.8

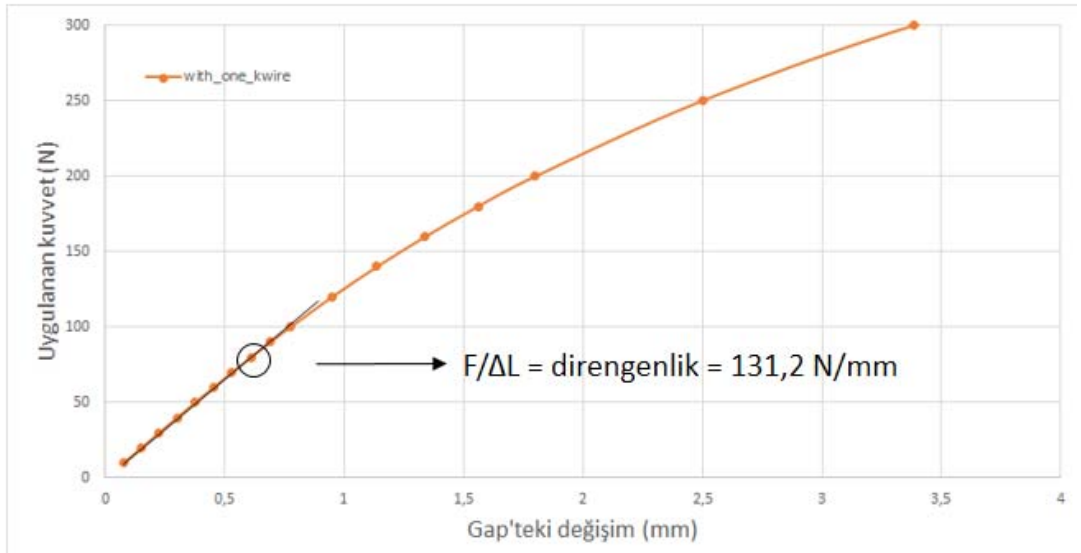
**Tablo 4.3. :** Üç grup için açılan gap açısına karşın oluşan kortikal ve trabeküler kemik gerilmeleri

#### 4.4. Yer Değiştirme-Direngelik

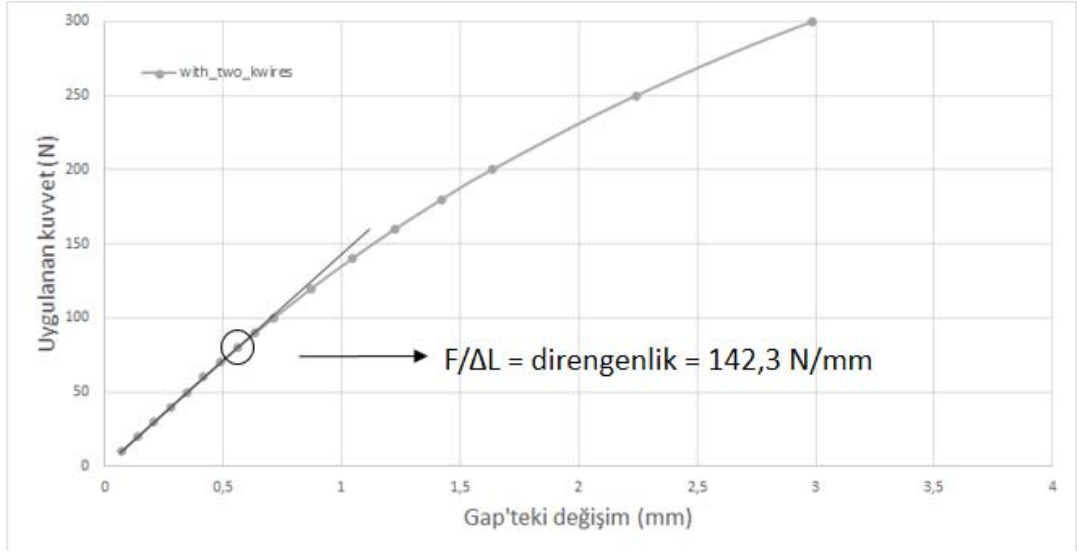
Kuvvet-yer değiştirme grafiğinden yola çıkarak  $F/\Delta L$ =direngelik formülüyle üç grup için direngelikleri karşılaştırdık.(şekil 4.6-4.7-4.8)



Şekil 4.6. : K-tel bulunmayan grupta oluşan direngelik grafiği



Şekil 4.7. : Tek k-tel bulunan grupta oluşan direngelik grafiği



Şekil 4.8. : İki k-tel bulunan grupta oluşan dirençlik grafiği

K tel bulunmayan grupta direnci 122 N/mm, tek k tel bulunan grupta 132 N/mm, iki k tel bulunan grupta 142 N/mm şeklinde hesapladık. Lateral menteşeye gönderdiğimiz k-teller menteşede kuvvete direnç gösteren eleman görevini üstlendiğini ve lateral menteşe direncini artırdığını gözlemledik.

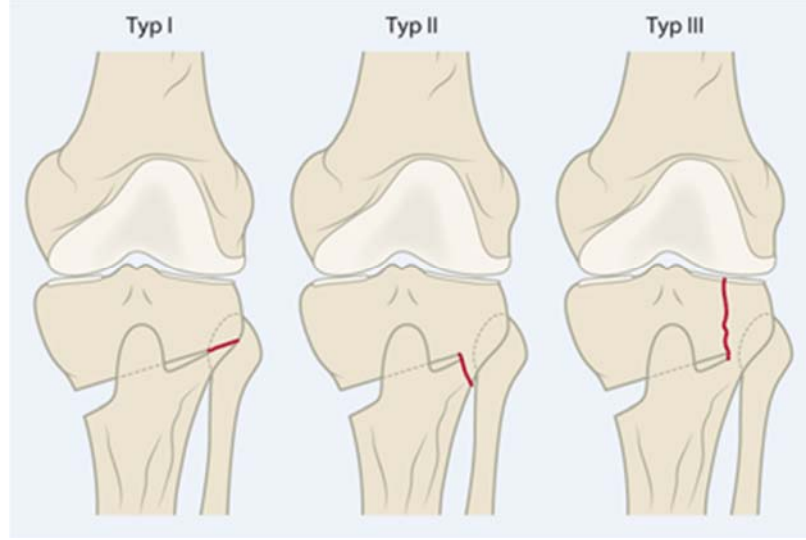
## 5.TARTIŞMA

Biyolojik bir tedavi seçeneği olan yüksek tibial osteotomi tariflendiği ilk zamanlardan itibaren cerrahların ilgi kaynağı olmayı başarmıştır. Aktif, genç hastalarda uygulanabilmesi, kemik kaybına neden olmaması, diz protezi seçeneğini ötelemesi ve erken mobilizasyon imkanı sunması nedeniyle günümüzde cerrahların sık tercih ettiği bir teknik olmuştur.

Yüksek tibial osteotominin ilk tanımlandığı yıllarda daha çok lateral kapalı kama tekniği tercih edilmiştir. Zamanla avantajlarından dolayı medial açık kama yüksek tibial osteotomi daha yaygın kullanılan bir teknik olmuştur. Bu avantajları anterior kompartmanı koruması, fibular osteotomi gereği olmaması, peroneal sinir yaralanması riski olmaması, kemik kaybı yaratmaması, bacak boyunda kısalma olmaması şeklinde sayılabilir.

Medial açık kama yüksek tibial osteotomi popüler bir cerrahi teknik olsa da önemli komplikasyonları vardır. Lateral korteksin korunması ve düzeltme yapılırken bu bölgede elastik bir deformasyon elde etmek son derece önemlidir. Lateral korteksin kırılması bu bölgede artmış mikroharekete ve instabiliteye neden olur. Buna bağlı olarak korreksiyon kaybı ile tekrarlayan varus deformitesi, kaynama gecikmesi, kaynamama gibi komplikasyonlar gelişebilir. İmplant yetmezliği de lateral korteks kırığı sonrası görülebilecek önemli bir komplikasyondur.(Agneskircher 2006)

Takeuchi ve arkadaşları lateral menteşe kırıklarını ayrıntılı olarak ele almışlardır. Postop ilk gün çekilen röntgenleri değerlendirilip üç gruba ayırmışlardır. Birinci grupta oluşan fraktür osteotomi hattının laterale uzanması şeklinde ve tibiofibular eklemde ya proksimaline ya da direk üzerine ilerler. İkinci grupta fraktür hattı tibiofibular eklemde distal ucuna doğru ilerlemiştir.(şekil 5.1) Üçüncü grupta ise tibia plato kırığı mevcuttur. Bu grupların postop 3. ay grafileri incelendiğinide Tip 1 kırık olan grupta tüm hastalarda kaynama görölürken, tip 2 kırık oluşan iki hastada uzamış kaynama ve korreksiyon kaybı gözlenmiştir. Tip 3 kırık gözlenen iki hastada korreksiyon kaybı gözlenmiş ve ayrı rehabilitasyon grubuna aldıklarını belirtmişlerdir.(Takeuchi 2011)



Şekil 5.1. : Takeuchi sınıflaması

Takeuchi ve arkadaşları bu çalışmada lateral menteşede gelişen kırık hattının osteotomi hattında ki açılmayla yakın ilişkili olduğunu belirtmiştir. Lateral menteşede fraktür gelişen grupta açılma miktarını  $14,0 \pm 2,0$  mm. ölçerlerken, fraktür görülmeyen grupta ki açılma miktarını  $12,3 \pm 2,2$  mm. ölçmüşlerdir.(Takeuchi 2011)

Nakamura ve arkadaşları da takeuchi sınıflamasını değerlendirmek için yaptıkları çalışmada 74 hastaya medial açık kama yüksek tibial osteotomi uygulamış bunların 15'inde lateral menteşede kırık görmüşlerdir. 7 hastada tip I, 2 hastada tip II, 6 hastada ise tip III kırık ile karşılaşmışlardır. Takeuchinin belirttiği gibi tip I kırıkların takibinde herhangi bir sorunla karşılaşmamıştır. Tip II kırık gözlenen iki vaka da kaynama gecikmesi, tip III kırık gözlenen altı hastada ise korreksiyon kaybı ve kaynama gecikmesi gördüklerini belirtmişlerdir. (Nakamura 2015)

Medial açık kama yüksek tibial osteotomi esnasında lateral korteks kırığı gelişimi tamamiyle önlenilecek bir komplikasyon değildir.(Kazımoğlu 2008) Miller ve arkadaşları yaptığı çalışmada medial açık kama yüksek tibial osteotomi uyguladıkları hastalarında %8,7 lateral korteks kırığı ile karşılaştıklarını bildirmişlerdir.(Miller 2009) Hernigou ve arkadaşları ise medial açık kama yüksek tibial osteotomi uyguladıkları hastalarda %12 oranında lateral menteşe kırığıyla karşılaştıklarını belirtmişlerdir.Bu grupta kaynama gecikmesi ve düzeltme kaybıyla karşılaştıklarını bildirmişlerdir.(Hernigou 1987)

Spahn ve arkadaşları ise yaptıkları çalışmada %18 oranında lateral korteks kırığıyla karşılaştıklarını, kırığın trabeküler kemikten başladığını, düzeltme açısının 12 dereceyi geçmesi halinde bu kırıktan kaçınmanın çok zor olabileceğini ve kırığın skopi altında görülebileceğini bildirmişlerdir.(Spahn 2004)

Lobbenhoffer ve Agneskirscher lateral korteksi sağlam olan bir osteotomide fiksasyon için kullanılan implant seçeneklerinden bağımsız aksiyel yüklenmenin iyi tolere edildiğini göstermişlerdir. Lateral kortekste kırık oluştuğunda aksiyel yüklenmeye karşı % 58, torsiyonel yüklenmeye karşı %68 dayanımın azaldığını ifade etmişlerdir.(Lobenhoffer 2006)

Coventry ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kortikal kemiğin lateral kortekste sınırlı plastitesi nedeniyle düzeltme açısı 8 dereceyi aştığı zaman yüksek olasılıkla kırık oluşabileceğini bildirmişlerdir.(Coventry 1993)

Kang ve arkadaşları lateral korteks kırığını yaptığı sonlu eleman analizinde biyomekanik olarak incelemişlerdir. Takeuchi sınıflamasına göre tip 1(osteotomi lateralinde kırık),2(osteotomi proksimalinde kırık),3(osteotomi distalinde kırık) şeklinde üç grup oluşturmuş ve aksiyel yüklenme altında plak ve kemik streslerini ve mikrohareketleri kayıt altına almışlardır. Tip 2 ve 3 kırıklarda plak stresinin önemli derecede arttığını ve kemik stresinin azaldığını ve yine tip 2,3 kırıklarda mikrohareketlerin oluştuğunu bu nedenle kaynamanın gecikebileceğini bildirmişlerdir.(Kang 2020)

Lateral menteşe kırığı sonrası görülen korreksiyon kaybı, kaynamama, gecikmiş kaynama gibi önemli sonuçlar araştırmacıları bu durumu önlemeye yönelik çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Bu konunun önemine binaen çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Türkmen ve arkadaşları 2017 yılında yaptığı çalışmada monoplanar ve biplanar osteotomilerde lateral menteşenin davranışını incelemiş ve biplanar osteotomi ile lateral korteks kırılmadan daha büyük gap oluşturabildiklerini ve lateral korteksin kırılması için gereken yükün daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.(Türkmen 2017)

Morito ve arkadaşları ise tamamlanmayan posterior osteotomiyle lateral korteks kırığının ilişkisini sonlu eleman analiziyle incelemişlerdir. Yetersiz yapılan

posterior osteotominin lateral platoya ulaşan dikey kırıklara neden olduğunu göstermişlerdir. %70 ve fazlası posterior kesilerin kırık oluşumunun önüne geçtiğini bildirmişlerdir.(Morita 2022)

Türkmen ve arkadaşları medial açık kama yüksek tibial osteotominin lateraldeki bitiş noktasının lateral korteks kırığı ile ilişkisini sentetik tibia modellerinde incelemişlerdir. Lateral kortekse daha yakın biten osteotomilerin daha esnek olduğu, daha az kuvvetle açılabilirdiği ve korteks kırılmadan daha fazla gap açılabilirdiği sonucuna ulaşmışlardır.(Türkmen 2022)

Boström ve arkadaşları medial açık kama yüksek tibial osteotomide lateral menteşeye apikal ekseninde 2-4-6 mm çaplarında olmak üzere delik açarak lateral menteşe kortikal kemik gerilimlerini ölçen bir sonlu eleman çalışması yapmışlardır. Lateral korteks gerilmelerinde 2 mm delikle %6 azalma; 4 mm %35 azalma; ve 6 mm %55 azalma olduğunu kaydetmişlerdir.(Boström 2020)

Kaze ve arkadaşları da sonlu eleman analiziyle lateral menteşeye 5 mm. çapında bir apikal delik yerleştirerek bir çalışma yapmışlardır. Apikal delik olan grupta daha düşük lateral kortikal gerilmeler elde etmişlerdir. Ayrıca apikal delik olan grupta kritik kırılma değerine kadar daha fazla gap açabildiklerini bildirmişlerdir.(Kaze 2017)

Gülağacı ve arkadaşları 120 hastayı dahil ederek yaptıkları retrospektif çalışmada 60 hastada lateral menteşeye k-tel ekleyerek osteotomi hatlarını açmıştır.Vakaların %30'unda lateral menteşe kırığıyla karşılaşmış, karşılaştıkları kırıkların %72 sinin k-tel bulunmayan grupta olduğunu bildirmişlerdir.K-tel bulunmayan grupta lateral menteşe kırığı %43 oranın gözlenirken, k-tel eklenen grupta lateral menteşe kırığının %16 olarak ölçmüşlerdir. Lateral menteşeye gönderilen k-tellerinin kırık oluşumuna engel olduğu sonucuna varmışlardır.(Gulagaci 2019)

Dessyn ve arkadaşları beş çift kadavrada yaptıkları çalışmada her çiftin birinde lateral menteşeye k-tel eklemiş gruplar arasında lateral menteşe kırılana kadar uygulanan maksimum yük ve izin verilen maksimum yer değiştirmeleri karşılaştırılmıştır. K-tel eklenen grupta lateral korteks kırılmadan %880 maksimum yük uygulayabildiklerini, %220 maksimum yer değiştirme sağladıkları sonucuna ulaşmışlardır.(Dessyn 2020)

Didier ve arkadaşları 2022 yılında termoplastik-polimer (ABS) tibia modelleri üzerinde bir deneysel çalışma yapmış iki hipotezi incelemişlerdir. İlk hipotezlerinde lateral menteşeye yerleştirilen k-telleri sayesinde kırık oluşmadan daha fazla gap açabildikleri sonucuna ulaşmışlardır. İkinci hipotezlerinde ise osteotomi hattını yavaş ve hızlı açmayı karşılaştırmış ama anlamlı bir fark bulmadıklarını bildirmişlerdir.(Didier 2022)

Biz de çalışmamızda Gülağacı ve Dessyn'in çalışmalarından yola çıkarak lateral menteşeye ekleyeceğimiz k-tellerinin lateral kortekste ki etkisini sonlu eleman analiziyle görmeyi amaçladık.

Gülağacı'nın retrospektif yaptığı çalışmada kuvvete karşı lateral kortekste oluşan gerilmeler, oluşan gap açıklığı ölçülmemiş sadece k-tellerinin kırık oluşumunu engellediği sonucuna varılmıştır. Biz ise çalışmamızda kuvvete karşı oluşan kortikal gerilmeler, oluşan gap açıklığı ve direnci hesapladık. Bu sayede daha hassas ve objektif sonuçlara ulaşmış olduk.(Gulagaci 2019)

Dessyn'in yaptığı kadavra çalışmasında ise deney düzeneğinde yük cerrahi teknikte ki gibi osteotomi hattından uygulanmamış tibianın distalinden uygulanmıştır. Bunun sonuçları farklı şekilde etkileyebileceğini düşünmekteyiz. Çünkü beş kadavra arasında uygulanan yükler ve oluşan yer değiştirmeler arasında belirgin farklar mevcuttur. Örneğin 2 numaralı kadvrasında k-tel yok iken maksimum 1 N yüklenme uygulayabilirken, k-tel eklediğinde 47 N maksimum yüklenme uygulanabilmiştir. 2 numaralı kadvrada bu fark 47 kat iken 4 ve 5 numaralı kadvralarında k-tel ekleyerek maksimum yüklenmeyi 2 kat artırabilmişlerdir.(Dessyn 2020)

Çalışmamızda aynı kemik modelini her üç grup için kullanmış olduğumuzdan yaş, kemik kalitesi, çevresel faktörler gibi sınırlayıcı etmenler ortadan kaldırılmış ve daha objektif sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Sonlu eleman analizi sayesinde kuvvet, gap açıklığı, kortikal ve trabeküler gerilmeler, lateral korteks direnci daha hassas bir şekilde kayıt altına alınabilmiştir.

Lateral kortekse eklediğimiz k-tellerinin aynı kuvvette lateral kortekste ki gerilmeleri azalttığını, lateral kortekste ki direnci artırdığını gördük.

Lateral menteşeye eklenen teller sayesinde osteotomi hattında aynı yer değiştirmeyi sağlamak için daha fazla kuvvete ihtiyaç olduğu sonucuna ulaştık. Aynı gap açıklığına ulaştığımızda üç grup için lateral korteks gerilme değerlerinin birbirine yakın olduğunu gördük.

## 6.SONUÇ

Medial açık kama yüksek tibial osteotomi esnasında karşılaşılan lateral korteks kırığını önlemek için menteşeye gönderdiğimiz k-tellerinin sonuçlarını değerlendirdiğimiz biyomekanik sonlu eleman çalışmamızda menteşeye eklenen k-tellerinin aynı kuvvet altında ;

1. Lateral korteks gerilmesini azalttığı
2. Lateral korteks direncini artırdığı
3. Daha kontrollü bir açılma sağladığı sonucuna ulaştık.

Bu sonuçlar neticesinde lateral menteşeye yerleştirilecek k-tel ile lateral korteks gerilmesinin azalması, direncinin artması sağlanıp lateral korteks kırığı riskinin azaldığını düşünmekteyiz.

## 7.KAYNAKLAR

Agneskircher J D, Freiling D, Hurschler C, Lobenhoffer P. Primary stability of four different implants for opening wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006; 14: 291-300.

Amendola A, Bonasia DE. Results of hightibialosteotomy: review of the literature. *International Orthopaedics*. 2010;34:160-155.

Andriacchi 1994 Dynamics of knee malalignment orthop clin North am 1994

Beynonn BD,Johnson Rj. Knee. Relevant biomechanics IN : deLae Jc, Drez D. Eds Orthopedics Sports Medicine Principles and Practice Philadelphia WB Saunders 1996:1113-1133

Boström A, Amin AK, Macpherson GJ, Pankaj P, Scott CEH. Hinge location and apical drill holes in opening wedge high tibial osteotomy: A finite element analysis. *J Orthop Res*. 2021 Mar;39(3):628-636. doi: 10.1002/jor.24704. Epub 2020 May 7. PMID: 32352597.

Böhler M, Fuss F K, Schachinger W, Wölfl G, Knahr K. Loss of correction after lateral closing wedge high tibial osteotomy: A human cadaver study. *Arch Orthop Trauma Surg* 1999; 119: 232-5

Casey KM, Bugbee W. Nonarthroplasty Surgical Treatment of the knee AAOS Comprehensive Orthopaedic Review 2nd Ed AAOS 2009 p1011-6

Clark CR, Ogden JA. Development of the menisci of the human knee joint. Morphological changes and their potential role in childhood meniscal injury. *J Bone Joint Surg Am*. 1983;65:538-47.

Coventry MB, Ilstrup DM, Wallrichs SL. Proximal tibial osteotomy. A critical long-term study of eighty-seven cases. *J Bone Joint Surg Am* 1993;75(2):196–201.

Çakmak M, Özkan K. Alt ekstremite deformite analizi. *TOTBİD Derg*. 2005;4(1-2):61-50.

Çetin İ, Erdemli B. Diz Artroplastisinde Teknik Uygulama Özellikleri, Diz Sorunları, Ed. Ege R, Bizim Büro Basımevi, syf: 411-431, Ankara, 1998

Danzig L, Resnick D, Gonsalves M, Akeson WH. Blood supply to the normal and abnormal menisci of the human knee. *ClinOrthop*. 1983;172:271.

David L. Kopperdahl, Tony M. Keaveny, Yield strain behavior of trabecular bone, *Journal of Biomechanics* 31 (1998) 601-608

Debeyre J, Artigou JM: Long-term results of 260 tibial osteotomies for frontal deviations of the knee. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1972; 58:335

Debeyre J, Patte D: Place des osteotomies de correction dans le traitement de la gonarthrose. *Acta orthop belg* 1961; 27:374

Dessyn, E., Sharma, A., Donnez, M. *et al.* Adding a protective K-wire during opening high tibial osteotomy increases lateral hinge resistance to fracture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* **28**, 751–758 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05404-7>

Dettoni F 2010 HTO vs UKA for medial osteoarthritis Iowa ort 2010;30: 131-40

Dickschas J, Staubli A, Harrer J. Osteotomies around the Knee. *Zeitschrift fur Orthopadie und Unfallchirurgie*. 2019.

Didier A, Favreau H, Ollivier M, Jmal H, Bonnomet F, Bahlouli N, Martz P, Ehlinger M. Experimental investigation of the risk of lateral cortex fracture during valgus tibial osteotomy. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2022 Oct 3:103428. doi: 10.1016/j.otsr.2022.103428. Epub ahead of print. PMID: 36202319.

Diffo Kaze A, Maas S, Hoffmann A, Pape D. Mechanical strength assessment of a drilled hole in the contralateral cortex at the end of the open wedge for high tibial osteotomy. *J Exp Orthop*. 2017 Dec;4(1):23. doi: 10.1186/s40634-017-0098-0. Epub 2017 Jun 23. PMID: 28646430; PMCID: PMC5482795.

Dugdale TW, Noyes FR, Styer D. Preoperative planning for high tibial osteotomy. The effect of lateral tibiofemoral separation and tibiofemoral length. *Clin Orthop Relat Res*. 1992;274:248–64

Erginer R, Erdoğan F. Bölüm 33, Diz çevresi osteotomileri. Ege R. Diz cerrahisi ve sorunları, 80. kitap, Ankara, 1998:1158-1164

Felson DT, McLaughlin S, Goggins J, LaValley MP, Gale ME, Totterman S, Li W, Hill C, Gale D. Bone marrow edema and its relation to progression of knee osteoarthritis. *Ann Intern Med.* 2003;139:330-36.

Freeman MA, Wyke B. The innervation of the knee joint. An anatomical and histological study in the cat. *J Anat.* 1967;101:505-32.

Fujisawa Y, Masuhara K, Shiomi S. The effect of high tibial osteotomy on osteoarthritis of the knee. An arthroscopic study of 54 knee joints. *Orthop Clin North Am.* 1979 Jul;10(3):585-608.

Golovakha ML, Orljanski W, Benedetto KP, Panchenko S, Büchler P, Henle P, Ağayev E. Comparison of theoretical fixation stability of three devices employed in medial opening wedge high tibial osteotomy: A finite element analysis. *BMC Musculo skeletal Disorders.* 2014;15:230.

Goutallier D, Julieron A, Hernigou P: [Cement wedge replacing iliac graft in tibial wedge osteotomy] *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1992, 78(2):138-44

Gulagaci F, Jacquet C, Ehlinger M, Sharma A, Kley K, Wilson A, Parratte S, Ollivier M. A protective hinge wire, intersecting the osteotomy plane, can reduce the occurrence of perioperative hinge fractures in medial opening wedge osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020 Oct;28(10):3173-3182. doi: 10.1007/s00167-019-05806-7. Epub 2019 Nov 26. PMID: 31773202.

Hernigou P, Medevielle D, Debeyre J, Goutallier D. Proximal tibial osteotomy for osteoarthritis with varus deformity. A ten to thirteen-year follow-up study. *J Bone Joint Surg (Am)* 1987; 69: 332-54.

Insall, J N; Joseph, D M; Msika, C. High tibial osteotomy for varus gonarthrosis. A long-term follow-up study. *Journal of Bone & Joint Surgery - American* Volume: September 1984

Insall, J. N., Shoji, H., and Nayer, V.: High tibial osteotomy. A 5-year evaluation. *J. Bone Joint Surg.* 56A:1397, 1979

Johal P, Williams A, Wragg P, Hunt D, Gedroyc W. Tibio-femoral movement in the living knee, a study of weight bearing and non-weight bearing knee kinematics using 'interventional' mri. *J Biomech.* 2005;38:269-76.

Kalaycı A, Sarpel Y, Tan İ. Diz Biyomekaniği ve Sağaltımın Biyomekanik İlkeleri, Kasİskelet Sistemi Biyomekaniği, Ed. Akçalı İD, Gülşen M, Ün K. Güneş Tıp Kitabevleri, Adana, 2009, Syf:985-1048

Kang KT, Koh YG, Lee JA, Lee JJ, Kwon SK. Biomechanical effect of a lateral hinge fracture for a medial opening wedge high tibial osteotomy: finite element study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research.* 2020;15(1):10-1.

Kazımoğlu C, Akdoğan Y, Sener M, Kurtulmus, A, Karapınar H, Uzun B (2008) Which is the best fixation method for lateral cortex disruption in the medial open wedge high tibial osteotomy? A biomechanical study. *Knee* 15(4):305–308

Kpandji IA. The physiology of the joints. Annotated diagrams of the mechanics of the human joints. New York : Churchill Livingstone, 1970 : 72 – 135.

Kürklü M, Başbozkurt M, Abay B. Deformite analiz ve planlama prensipleri. *TOTBID Derg.* 2020;

Langenbeck, B. (1854). Die subkutane Osteotomie, *Dtsch Klin*, Vol.6, pp.327-330.

Lobenhoffer P, De Simoni C, Staubli AE: Open-wedge high tibial osteotomy with rigid plate fixation. *Tech Knee Surg* 2002, 1:93-105. Gupte CM, Bull AM, Thomas RD, Amis AA. Themeniscofemoral ligaments: secondary restraints to the posterior drawer, analysis of anteroposterior and rotatory laxity in the intact and posterior-cruciate-deficient knee. *J Bone Joint Surg.* 2003;85:765-73.

Miller B S, Dorsey W O P, Bryant C R, Austin J C. The effect of lateral cortex disruption and repair in the stability of the medial opening wedge high tibial osteotomy. *Am J Sports Med* 2005; 33: 1552-7.

Miller BS, Downie B, McDonough EB, Wojtys EM (2009) Complications after medial opening wedge high tibial osteotomy. *Arthroscopy* 25(6):639–646

Mohammad J.Mirzaali et al, Mechanical properties of cortical bone and their relationships with age, gender, composition and microindentation properties in the elderly, *Bone* 93 (2016) 196–211

Morita, Y., Kuriyama, S., Maeda, T. *et al.* Hinge fractures reaching the tibial plateau can be caused by forcible opening of insufficient posterior osteotomy during open-wedge high tibial osteotomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2022). <https://doi.org/10.1007/s00167-021-06816-0>

Muller M, Strecker W. Arthroscopy prior to osteotomy the knee? *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 2008;128:1221-1217.

N Elmalı İE. Proksimal Tibia Medial Açık Kama Osteotomisi. *Turkiye Klin J 73 Orthop Traumatol Spec Top*. 2013

Nakamura R, Komatsu N, Murao T, Okamoto Y, Nakamura S, Fujita K, et al. The validity of the classification for lateral hinge fractures in open wedge high tibial osteotomy. *Bone Joint J* 2015;97-B(9):1226–31.

Naudie D, survivorship of HTO 10-20 year follow up study *CORR* 1999

Naudie DD, Amendola A, Fowler PJ. Opening wedge high tibial osteotomy for symptomatic hyperextension-varus thrust. *The American Journal of Sports Medicine*. 2004;32(1):70-60.

Noyes 1993 HTO and ligament rekons in varus angulated ACL deficient knee *Am j sports medicine* 1993

Paley D, Pfeil J. [Principles of deformity correction around the knee]. *Orthopade*. 2000 Jan;29(1):18–38.

R. K. Blandford et al, Tensile Stress-Strain Results for 304L and 316L Stainless Steel Plate at Temperature, 2007 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, July 20-26, 2007, San Antonio, Texas

Roberts DM, Stallard TC. Emergency department evaluation and treatment of knee and leg injuries. *Emerg Med Clin North Am.* 2000;18:84-67.

Sharma L, Song J, Dunlop D, Felson D, Lewis CE, Segal N, et al. Varus and valgus alignment and incident and progressive knee osteoarthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases.* 2010;69(11):1940–5.

Spahn G: Complications in high tibial (medial opening wedge) osteotomy. *Arch Orthop Trauma Surg* 2004, 124(10):649-53

Standring S. *Gray's anatomy.* 39th ed. 2005, Elsevier Churchill Livingstone, Edinburgh.

Staubli AE, De Simoni C, Babst R, Lobenhoffer P. TomoFix: a new lcp-concept for open wedge osteotomy of the medial proximal tibia—early results in 92 cases. *Injury.* 2003;34:62-55.

Stoffel K, Stachowiak G, Kuster M. Open wedge high tibial osteotomy: biomechanical investigation of the modified Arthrex Osteotomy Plate (Puddu Plate) and the TomoFix Plate. *Clin Biochem* 2004; 19: 944-50

Takeuchi R, Ishikawa H, Kumagai K, Yamaguchi Y, Chiba N, Akamatsu Y, Saito T. Medial bir açıklık-kama yüksek tibial osteotomi sonrası lateral kortikal menteşe çevresindeki kırıklar: lateral menteşe kırığının yeni bir sınıflandırması. *Artroskopi.* 2012 Ocak;28(1):85-94. doi: 10.1016/j.arthro.2011.06.034. Epub 2011 Ekim 7. PMID: 21982387.

Tamaki M, Tomita T, Watanabe T, Yamazaki T, Sugomoto K. In vivo kinematic analysis of high flexion, posterior stabilized, mobile-bearing knee prosthesis in deep knee bending motion. *J Arthroplasty* 2009;23:972-978

Türkmen F, Kaçira BK, Özer M, Elibol FKE, Bilge O, Demir T. Medial açıklık-kama yüksek tibial osteotomide osteotomi ile lateral korteks bitiş noktası arasındaki mesafenin lateral kortikal menteşe kırığı üzerine etkisi. *Yaralanma.* 2022 Ağu 31:S0020-1383(22)00633-7. doi: 10.1016/j.injury.2022.08.071. Baskıdan önce Epub. PMID: 36116961.

Türkmen F, Kaçıra BK, Özkaya M, Erkoçak ÖF, Acar MA, Özer M, Toker S, Demir T. Comparison of monoplanar versus biplanar medial opening-wedge high tibial osteotomy techniques for preventing lateral cortex fracture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017 Sep;25(9):2914-2920. doi: 10.1007/s00167-016-4049-6. Epub 2016 Feb 20. PMID: 26897136.

Kanatlı Ulunay, Diz Artroskopisi, sf. 9 ; 2020,US akademi/Ankara

Wolcott M, Traub S, Efid C. High tibial osteotomies in the young active patient. *Int. Orthop* 2010;34(2): 161-6

Zhim F, Laflamme GY, Viens H, Saidane K, Yahia LH. Biomechanical stability of high tibial opening wedge osteotomy: internal fixation versus external fixation. *Clinical Biomechanics.* 2005;20:876-871.

Zysset P, Dall'Ara E, Varga P, et al. Finite element analysis for prediction of bone strength. *Bonekey Rep* 2: 386. 2013

## 8.EKLER

### EK-A

T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
İLAÇ VE TIBBİ CİHAZ DIŞI ARAŞTIRMALAR ETİK KURUL KARARI

<b>Toplantı Sayısı:163</b>	<b>Toplantı Tarihi: 04 Kasım 2022</b>
----------------------------	---------------------------------------

**Karar Sayısı:2022/4025:(11684)N.E.Ü.** Meram Tıp Fakültesi Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç. Dr. Faik TÜRKMEN'in "Medial açık kama yüksek tibial osteomide lateral menteşeye yerleştirilen k tellerinin lateral korteks kırığı üzerine etkisi" başlıklı uzmanlık tez çalışması ile ilgili 18.10.2022 tarihli dilekçesi ve ekleri görüşüldü, Arş. Gör. Dr. Turgut Emre ERDEM'in uzmanlık tez çalışmasının N.E.Ü. Meram Tıp Fakültesi Cerrahi Tıp Bilimleri Bölümü Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç. Dr. Faik TÜRKMEN'in sorumluluğunda yürütülmesinin uygun olduğuna oybirliği ile karar verilmiştir.

Not: Çalışma ile ilgili gerekli izinlerin alınması ve yasal sorumluluk araştırmacılara aittir.

Sorumlu Araştırmacı: Doç. Dr. Faik TÜRKMEN

Yardımcı Araştırmacı: Arş. Gör. Dr. Turgut Emre ERDEM

ASLI GİBİDİR

04.11.2022

Prof. Dr. Saim AÇIKGÖZOĞLU

İlaç ve Tıbbi Cihaz Dışı Araştırmalar Etik Kurul Başkanı

