



T.C.
SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
GÜLHANE TIP FAKÜLTESİ
GÜLHANE EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ

3D BASKILI KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ KESİ KILAVUZU
YARDIMLI YÜKSEK TİBİAL OSTEOTOMİ:
İN VİTRO ÇALIŞMA

Dr. Serhat Uzun

TIPTA UZMANLIK TEZİ

ANKARA/2022



T.C.
SAğLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
GÜLHANE TIP FAKÜLTESİ
GÜLHANE EğİTİM VE ARAşTIRMA HASTANESİ

3D BASKILI KİşİSELLEşTİRİLMİş KESİ KILAVUZU
YARDIMLI YÜKSEK TİBİAL OSTEOTOMİ:
İN VİTRO ALIşMA

Dr. Serhat Uzun

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Cemil Yıldız

TIPTA UZMANLIK TEZİ

ANKARA/2022

TEŞEKKÜR

Beş yıllık asistan eğitiminin ardından Gülhane EAH Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği'ndeki eğitim sürecimin sonuna gelmiş olmanın mutluluğunu yaşamaktayım. Tezimin başından sonuna kadar her fırsatta ilgisini ve emeğini tezime yoğunlaştıran, her adımda akademik bilgi ve becerisiyle bana destek olan sayın tez hocam Prof.Dr. Cemil Yıldız'a, asistanlığımın ilk gününden itibaren hastalara ve biz asistanlara olan yaklaşımı, etik davranışları, eğitici kişiliği ve cerrahisi ile kendime örnek aldığım Eğitim sorumlumuz sayın Prof.Dr. Doğan Bek'e, kliniğimize çalışkanlığı ile dinamizm katan, kliniğin ve bizlerin her türlü sorununu çözmek ve daha iyi koşullar sağlayabilmek için gece gündüz çalışan sayın Klinik sorumlumuz Doç.Dr. Yusuf Erdem'e, vertebra cerrahisini asistanlar için sıkıcı olmaktan çıkarıp eğitici ve öğretici cerrahi ortam sunan sayın Doç.Dr. Tolga Ege'ye, yine vertebra cerrahisinde ve diğer herhangi bir konuda asistanlar için akademik itici güç olan, her zaman kapısını çalabildiğimiz sayın Doç.Dr. Ömer Erşen'e, gerek hoca gerek abi olarak her zaman yanımızda olan sayın Doç.Dr. Çağrı Neyişçi'ye, cerrahideki sakinliği ve akademik alandaki çalışkanlığıyla bize yol gösteren sayın Doç.Dr. Deniz Çankaya'ya, el cerrahisindeki bilgi ve tecrübeleriyle asistanlık eğitimime katkıda bulunan sayın Doç.Dr. Harun Yasin Tüzün'e teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Travma konusundaki bilgi, becerisi ve güncel tedavi yaklaşımlarıyla bizlere örnek olan abim Uzm.Dr. Ahmet Burak Bilekli'ye ve her türlü cerrahide ortopedi alanında gelişimimde ve kendime olan güvenimi kazanmamda çok büyük emeği olan uzman abilerim Uzm.Dr. Necmettin Salar'a, Uzm.Dr. Sönmez Sağlam'a, Uzm.Dr. Barış Kafa'ya, Uzm.Dr. Uğur Yüzügüldü'ye, Uzm.Dr. Ali Murat Başak'a, Uzm.Dr. Mustafa Aydın'a teşekkürlerimi sunarım.

Asistanlığımın ilk gününden itibaren kaliteli kişiliği ve insanlığıyla bana yol gösteren, tezimin başlangıcından sonuna kadar her adımda emeği olan, her koşulda bana desteğini esirgemeyen sevgili kıdemlim ve abim Uzm.Dr. Ahmet Metin Özsezen'e sonsuz teşekkür ederim.

Çizimleriyle tezimin orjinalliğine katkıda bulunan arkadaşım Alican Açıkalın'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Klinik için yüksek performans ve özveriyle çalışan, saygı ve sevgiden hiçbir zaman taviz vermeyen, omuz omuza çalıştığım başta Dr.Ali Aydilek olmak üzere değerli asistan arkadaşlarım Dr.Nisa Selin Kılınç'a, Dr.Şevket Kılıç'a, Dr.Begüm Aslantaş'a, Dr. İsmail Işık'a, Dr. Anıl Özgür'e, Dr. Denizhan Sivri'ye, Dr.Levent Karadamar'a, Dr.Cavidan Aliyev'e, Dr.Bahadır Doğu'ya, DrEda Yıldırım'a, Dr.Enes Keleş'e, Dr.Bariş Çakmak'a, Dr.Senan Amirov'a, Dr.Muhammet Ümit Gedik'e, Dr. Erdi Şenyüz'e, Dr. Onur Kurt'a, Dr.Tarık Özdin'e, Dr.Emre Demir'e, Dr. Eren Serkan Bahadır'a teşekkürü borç bilirim.

Beni yetiştirip her türlü zorluğa rağmen bugünlere gelmemde sonsuz emeği olan anneme, babama ve ablama, her durumda olduğu gibi tez aşamamda da desteğini esirgemeyen her koşulda yanımda olan sevgili eşim ve meslektaşım Dr. Yağnur Uzun'a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimle.

Dr. Serhat Uzun

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xii
GİRİŞ VE AMAÇ	1
GENEL BİLGİLER	3
A. TARİHÇE	3
B. DİZİN ANATOMİSİ	4
C. DİZ EKLEM BİYOMEKANİĞİ	11
D. ALT EKSTREMİTE DEFORMİTE ANALİZİ VE PLANLAMA.....	15
E. YÜKSEK TİBİAL OSTEOTOMİ	24
GEREÇ VE YÖNTEMLER.....	40
BULGULAR.....	53
TARTIŞMA	62
SONUÇ	70
KAYNAKLAR	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

AB	: Anterior boşluk
AÇB	: Arka çapraz bağ
aLDFA	: anatomik lateral distal femoral aç
aMNSA	: anatomik medial neck-shaft angle
aMPFA	: anatomik medial proksimal femoral aç
BT	: Bilgisayarlı Tomografi
KKK	: Kişiselleştirilmiş kesi kılavuzu
LCL	: Lateral kollateral ligament
LKKYTO	: Lateral kapalı kama yüksek tibial osteotomi
MAKYTO	: Medial açık kama yüksek tibial osteotomi
MCL	: Medial kollateral ligament
METÜM	: Medikal Tasarım ve Üretim Merkezi
mLDFA	: mekanik lateral distal femoral aç
mLDTA	: mekanik lateral distal tibial aç
mLPFA	: mekanik lateral proksimal femoral aç
mMPTA	: mekanik medial proksimal tibial aç
OA	: Osteoartrit
ÖÇB	: Ön çapraz bağ
PACS	: Picture Archiving and Communication Systems (Görüntü Saklama ve İletişim Sistemleri)
PB	: Posterior boşluk
PTS	: Posterior tibial slope
PTSA	: Posterior tibial slope açısı
SİAS	: Spina iliaka anterior superior
STL	: Stereo litografi
TDP	: Total diz protezi
TPAA	: Tibia proksimal anatomik aksı
VKİ	: Vücut kitle indeksi
YTO	: Yüksek tibial osteotomi

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1: YTO endikasyonları ve kontrendikasyonları.....	27
Tablo 2: Hernigou'nun trigonometrik tablosu	31
Tablo 3: Hastaların özellikleri.....	53
Tablo 4: Tibialara ilişkin mMPTA değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri	54
Tablo 5: Hedef mMPTA ile postoperatif mMPTA değerleri arasındaki uyum	54
Tablo 6: Hedef mMPTA ile Postop mMPTA ölçümlerinin Bland & Altman yöntemine göre uyumu.....	55
Tablo 7: Tibianın preoperatif ve postoperatif PTSA ve preoperatife göre postoperatif PTSA değişim değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri	56
Tablo 8: Tibianın preoperatif ve postoperatif PTSA değerlerinin karşılaştırılması...	56
Tablo 9: Düzeltme açısı değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri	57
Tablo 10: Hesaplanan düzeltme açısı ile postoperatif düzeltme açısı değerleri arasındaki uyum	57
Tablo 11: Hesaplanan düzeltme açısı ile postoperatif düzeltme açısı ölçümlerinin Bland & Altman yöntemine göre uyumu	58
Tablo 12: Hesaplanan medial açıklık yüksekliği ile postoperatif medial açıklık yüksekliği değerlerinin karşılaştırılması	59
Tablo 13: Anteromedial-posteromedial açıklık oranı değerleri ile PTSA değişim değerleri arasındaki korelasyon.....	60
Tablo 14: PTSA ile kesi hattı arasındaki açının anteriora ya da posteriora eğimli olma dağılımları	60
Tablo 15: PTSA ile kesi hattı arasındaki açının anterior ya da posteriora eğimli olma durumu ile preop-postop PTSA değişim değerlerinin karşılaştırılması.....	60
Tablo 16: Anteromedial açıklık, posteromedial açıklık, açıklık oranı ve menteşe açılarının tanımlayıcı istatistikleri.....	60
Tablo 17: Menteşe açısı değerleri ile PTSA değişim değerleri arasındaki korelasyon	61
Tablo 18: Anteriora ve posteriora eğimli olan kesi hattı ile PTSA arasındaki açıların tanımlayıcı istatistikleri.....	61

Tablo 19: Anterior ve posteriora eğimli olan kesi hattının PTSA ile arasındaki açıların Δ PTSA ile korelasyonu	61
Tablo 20: YTO komplikasyonları	63



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: YTO’da kullanılan implantlar. U çivisi (A), Giebel plağı (B), Puddu plağı (C), ContourLock sistem (D), Tomofix plağı (E)	4
Şekil 2: Diz eklemi görüntüsü.....	4
Şekil 3: Femur distalinin anteriordan ve posteriordan görünümü.....	6
Şekil 4: Tibia proksimalinin anteriordan ve posteriordan görünümü	7
Şekil 5: Menisküslerin görünümü	8
Şekil 6: ÖÇB ve AÇB görünümleri	9
Şekil 7: Femoral roll-back ve kayma mekanizması	12
Şekil 8: Bağlaşık dört bar sistemi (AB: ÖÇB, CD: AÇB, AD: Tibia eklem yüzü, CB: İnterkondiler çentik).....	13
Şekil 9: Dizin anlık hareket merkezleri.....	13
Şekil 10: Hvid’in Q açısı.....	14
Şekil 11: Kalça eklem merkezi belirleme yöntemleri.....	16
Şekil 12: Diz eklem merkezi belirleme yöntemleri	17
Şekil 13: Ayak bileği eklem merkezi belirleme yöntemleri.....	17
Şekil 14: Femurun anatomik (A) ve mekanik aksı (B)	18
Şekil 15: Tibianın anatomik ve mekanik aksı	18
Şekil 16: Femur proksimal eklem oryantasyon çizgileri.....	19
Şekil 17: Tibia proksimal (A) ve distal eklem (B) oryantasyon çizgileri	20
Şekil 18: mLPFA açısı	21
Şekil 19: aMPFA açısı	21
Şekil 20: aMNSA açısı.....	22
Şekil 21: aLDFA açısı (A), mLDFA açısı (B)	22
Şekil 22: mMPTA açısı.....	23
Şekil 23: mLDTA açısı	23
Şekil 24: PTSA ölçüm teknikleri	24
Şekil 25: Coventry’nin anatomik aksa göre düzeltme miktarı analizi	29
Şekil 26: Fujisawa’nın tarif ettiği nokta %30 (A), Noyes’in tarif ettiği nokta %62 (B)	30

Şekil 27: Mekanik aksa göre düzeltme miktarı hesaplama.....	30
Şekil 28: Miniaci yöntemi ile düzeltme miktarı hesaplama. Mekanik aks çizimi (A), düzeltilmiş mekanik aks çizimi (B), menteşe noktasından ayak bileği seviyesinde mekanik aksa ve düzeltilmiş mekanik aksa çizilen çizgilerle düzeltme derecesinin belirlenmesi (C).....	32
Şekil 29: Lateral kapalı kama YTO	33
Şekil 30: Medial açık kama YTO	35
Şekil 31: Tibia proksimal anteromedial korteks eğimi	35
Şekil 32: Biplanar MAKYTO	37
Şekil 33: Maquet tipi YTO.....	38
Şekil 34: Alt ekstremit mekanik aksı	41
Şekil 35: mL DFA, mMPTA ve PTSA ölçümleri.....	41
Şekil 36: Düzeltme açısının hesaplanması.....	42
Şekil 37: Hedef mMPTA açısı ölçümü	43
Şekil 38: Medial açıklık yüksekliğinin hesaplanması.....	44
Şekil 39: Tibia modeli ve kesi kılavuzunun tasarlanması.....	45
Şekil 40: Kesi kılavuzu	46
Şekil 41: 3D yazıcıda basım işlemleri.....	47
Şekil 42: Metal levhanın uygulanması	48
Şekil 43: Guide fiksasyonu ve osteotomi yapılması	48
Şekil 44: Osteotomi hattının açılması ve yüksek tibial osteotomi plağı (Normmed, Türkiye) ile fiksasyon	49
Şekil 45: 20 tibia modeline ait postoperatif görüntüler.....	49
Şekil 46: Postoperatif AP (A) ve lateral (B) grafiler.....	50
Şekil 47: Postoperatif mMPTA ölçümü.....	50
Şekil 48: Postoperatif düzeltme açısı (A) ve medial açıklık yüksekliği (B) ölçümü .	51
Şekil 49: Postoperatif PTSA (A), AB/PB (B), osteotomi hattının tibia medial eklem yüzüne göre eğimi (C), menteşe açısı (D) ölçümlerinin yapılması.....	52
Şekil 50: Hastaların cinsiyet dağılımı	53
Şekil 51: Uygulanan osteotomi taraf dağılımı	54
Şekil 52: Postoperatif mMPTA ölçümü için Bland & Altman grafiği.....	55
Şekil 53: Preoperatif ve postoperatif PTSA değerleri.....	57

Şekil 54: Postoperatif Düzeltme açısı ölçümü için Bland & Altman grafiği.....	58
Şekil 55: Hesaplanan medial açıklık yüksekliği ve postoperatif medial açıklık yüksekliği.....	59



ÖZET

Yüksek tibial osteotomi erken evre medial gonartrozların tedavisinde son yıllarda artan önemi ve uygulama sıklığı ile dikkat çekmektedir. Diz eklemine gelen yüklerin yeniden düzenlenmesinin amaçlandığı bu teknikte ameliyat öncesi planlama ve uygulanan cerrahi teknik sonuçları etkileyen en önemli unsurlar olarak görülmektedir.

Konvansiyonel yöntemlerle yapılan cerrahilerdeki zorluklar nedeniyle yetersiz veya aşırı deformite düzeltme gibi durumlarla karşılaşılması cerrahları daha yüksek doğrulukla yapılan cerrahi tekniklere itmektedir. Bu çalışmamızda kişiye özel 3D olarak tasarladığımız kesi kılavuzlarının deformite düzeltmedeki doğruluğunu göstermeyi amaçladık.

2016-2022 tarihleri arasında Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde herhangi bir nedenle alt ekstremité tomografisi çekilen 20 hasta çalışmaya dahil edildi. Preoperatif grafileri üzerinden mekanik aks, mLDFA, mMPTA, PTSA'ları ölçüldü ve hedef mMPTA ile hedef medial açıklık miktarları hesaplandı. BT görüntüleri ile Materialise Mimics programında tibianın 3D modelleri oluşturuldu. Tibia modelleri üzerine tam oturacak şekilde hesaplanan düzeltme derecesini sağlamaya izin veren kesi kılavuzları tasarlandı. Tasarlanan tibia modeli ve kesi kılavuzları 3D yazıcıda yazdırıldı. Osteotomiler uygulandıktan sonra medialden tibia proksimal osteotomi plakları ile fiksasyon sağlandı. Postoperatif grafiler üzerinden mMPTA, PTSA, düzeltme açısı, medial osteotomi yüksekliği, anteromedial ve posteromedial açıklık oranları, PTS ile osteotomi hattının sagittal planda aralarındaki açı ve menteşe açısı ölçümleri yapıldı.

Hastaların 3'ü erkek 17'si kadındı. 12 sağ, 8 sol tibia kullanıldı. Hastaların yaş ortalaması 65.30 ± 10.67 idi. Preoperatif mMPTA 85.26 ± 1.85 , hedef mMPTA 96.25 ± 3.52 , postoperatif mMPTA 96.40 ± 3.25 ve ortalama mMPTA değişimi 0.15 ± 1.09 olarak ölçüldü istatistiksel olarak uyumlu bulundu ($p < 0.001$). Preoperatif PTSA 7.43 ± 3.89 , postoperatif PTSA 7.66 ± 3.71 ve PTSA değişimi ortalama 0.23 ± 0.78 olarak ölçüldü istatistiksel olarak anlamlı fark bulunamadı ($p > 0.05$). Hesaplanan ortalama düzeltme açısı 12.49 ± 4.94 , postoperatif düzeltme açısı 12.42 ± 4.70 ve farkların ortalaması 0.07 ± 0.82 olarak ölçüldü ve istatistiksel olarak

uyum saptandı ($p<0.001$). Preoperatif hesaplanan medial açıklık yüksekliği $12.10\pm4.66^\circ$ ve postoperatif elde edilen medial açıklık yüksekliği $12.27\pm4.49^\circ$ olup aralarındaki fark ortalama 0.17° olarak hesaplandı ve bu fark istatistiksel açıdan anlamlı değildi ($p>0.05$). Postoperatif ölçülen anteromedial açıklık ve posteromedial açıklık oranları 67.17 ± 8.17 olarak ölçüldü. Ortalama menteşe açısı 92.17 ± 17.64 olarak hesaplandı. Kesi hattı açısı 12 hastada PTS'ye göre anteriora, 8 hastada posteriora eğimli olarak hesaplandı. Anteromedial açıklık-posteromedial açıklık oranı, osteotomi hattının anteriora ya da posteriora eğimli olması ve menteşe açısı ile PTSA değişimi arasında istatistiksel olarak korelasyon bulunmadı ($p>0.05$).

3D kişiselleştirilmiş kesi kılavuzlarıyla uyguladığımız in vitro osteotomilerde düzeltme miktarının doğruluğunun yüksek olduğunu ve PTSA'da minimal değişikliklere neden olduğunu gözlemledik.

Yeni gelişen teknolojilerin kliniğe uygun translasyonunu sağlayarak ameliyatlarımızı klasik yöntemlere göre daha kusursuz yapabileceğimiz bir gelecek bizi beklemektedir.

Anahtar kelimeler: Gonartroz, genu varum, yüksek tibial osteotomi, kişiselleştirilmiş cerrahi, 3D deformite planlama, katmanlı üretim, 3D baskı, hastaya spesifik kesi kılavuzu

ABSTRACT

High tibial osteotomy as a surgical treatment option for early-staged medial compartment gonarthrosis is remarkable as it had been applied with increasing frequency. The load beared with knee joint are redistributed with this technique and preoperative planning and preparation and surgical execution are regarded as most important factors determining the success of surgery.

Surgerons are having been considered surgical techniques which allow them to operate more precisely since conventional methods are more likely to result with under or over correction of deformity. In this study, we designed individually-based 3D cutting guides to demonstrate more accurate deformity correction with the aid of them.

20 patients whom had undergone lower extremity CT scanning for any reason between 2016-2022 were included in the study. Mechanical axis, mLDFA, mMPTA and PTSA were measured on preoperative radiograms and target medial opening value was calculated. Tibial 3D models were developed with Materalise Mimics programme using CT images and afterwards cutting guides which firmly fits on top of tibia models and ensuring to achieve calculated correction degree were designed. Tibia models and cutting guides were printed with 3D printer. After osteotomies had been done on tibia models, proximal osteotomy plate fixation were performed over the medial side of the model. mMPTA, PTSA, correction angle, height of medial osteotomy, anteromedial and posteromedial opening rates, angle between PTS and osteotomy line on sagittal plane and hinge angle were calculated

3 of the patients were male and 17 of were female. 12 right-sided and 8 left –sided tibia were modeled. Mean age of patients were 65.30 ± 10.6 . Preoperative mMPTA was 85.26 ± 1.85 , target mMPTA was 96.25 ± 3.52 , postoperative mMPTA was 96.40 ± 3.25 and mean alteration of mMPTA was 0.15 ± 1.09 , which all were statistically significant ($p < 0.001$). Preoperative PTSA 7.43 ± 3.89 , postoperative PTSA was 7.66 ± 3.71 and mean PTSA alteration was

0.23±0.78, which were not statistically significant ($p>0.05$). Mean correction angle was calculated as 12.49±4.94, postoperative correction angle was 12.42±4.70 and mean difference was 0.07±0.82, which was statistically compatible ($p<0.001$).

Height of medial opening was calculated as 12.10±4.66° preoperatively while it was measured as 12.27±4.49 postoperatively and the mean difference between them was 0.17°, which was not statistically significant ($p>0.05$).

Anteromedial and posteromedial opening rates were measured as 67.17±8.17, postoperatively. Mean hinge angle was calculated as 92.17±17.64. Angle of cutting line were evaluated as inclined to anterior regarding PTS in 12 patients and inclined to posterior in 8 patients. Anteromedial opening-posteromedial opening rates, whether osteotomy line is inclined to anterior or posterior and hinge angle did not show statistical correlation with PTSA variation ($p>0.05$).

We observed that in vitro osteotomies performed with individualized 3D cutting guides demonstrated more accurate deformity correction with minimal changes in PTSA. Appropriate clinical translation of developing technology will yield better surgical results in future compared with classical methods.

Keywords: Gonarthrosis, genu varum, high tibial osteotomy, personalized surgery, 3D deformity planning, additive manufacturing, 3D printing, patient specific cutting guide

GİRİŞ VE AMAÇ

Diz eklemının en sık gözlenen hastalığı gonartrozdur. Toplumdaki sıklığı, sedanter yaşamın artması, obezitede artış ve tıbbi alanlarda meydana gelen gelişmelere sekonder artan yaşam süresi nedeniyle gittikçe artmaktadır. Yaşam süresinin uzamasıyla yaşlı birey sayısının artması sonucu OA (osteoartrit) giderek daha önemli bir halk sağlığı problemi olmuştur [1]. Ayrıca daha aktif ve hareketli yaşam isteğı ile birlikte erken dönemlerde eklem kıkırdak hasarlarının ve dejenerasyonlarının da görülme sıklığı artmıştır. Hayat kalitesinde artış sağlamak ve sonrasında oluşabilecek deformitelerden bireyleri korumak güncel tedavilerin temel amaçlarını oluşturmaktadır. Erken dönem diz OA tedavisinde konservatif ve cerrahi birçok tedavi uygulanmaktadır.

Varus gonartroz patogeneğinde sorumlu yolaklardan birisi alt ekstremitte diziliminde gelişen dengesiz yük dağılımıdır. Yüksek Tibial Osteotomi (YTO) diz eklemındaki yük dağılımını tekrardan düzenleyerek patolojinin ilerlemesini yavaşlatmakta veya durdurmaktadır. YTO cerrahisi sonrası ağrıdaki azalma, subkondral kemik üzerinde mevcut olan aşırı yükün azalması, kemik içi venöz basınçta azalma ve subkondral kemik içerisinde oluşan mikrokırıkların üstündeki streste azalmaya dayandırılmaktadır [2].

YTO erken dönem diz OA tedavisinde özellikle genç ve aktif popülasyonda uzun yıllardır tercih edilen bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Ancak yapılan çalışmalarda bu ameliyat öncesi planlama sırasında veya ameliyat sırasında teknik olarak yapılan hatalar ameliyat başarısını düşüren en önemli sorunlar arasında görülmektedir. Dizilim ve aksın düzeltilmesi sırasında aşırı korreksiyon yapılması veya yeterli korreksiyon sağlanamaması ameliyatın kusursuz yapılmasını engellemektedir [3]. Örneğın tibial eğimin ameliyat sırasında değışmesi instabiliteye ve ön çapraz bağa (ÖÇB) olan yükün artmasına sebep olarak özellikle genç hastalarda ciddi komplikasyonlara yol açabilmektedir.

YTO ameliyatının başarısı çok iyi bir ameliyat öncesi planlama yapılması ve ameliyat sonrasında bu planın kusursuz bir şekilde uygulanması ile artacaktır.

Bu amaç ile çalışmamızda üç boyutlu (3D) planlama yapıldıktan sonra ortaya çıkarılan deformite modeline uygun katmanlı üretim yöntemiyle basılan kişiye özel

kesi rehberleri kullanılarak yapılan ameliyat ile teknik hataların önlenmesi ve hatasız bir düzeltme sağlanması hedeflenmektedir.



GENEL BİLGİLER

A. TARİHÇE

Günümüzde diz çevresi osteotomileri birçok patolojinin tedavisinde kullanılmaktadır. 19. yüzyıldan 21. yüzyıla osteotomi ameliyatlarının yaygınlaşmasında yeni görüntüleme yöntemlerinin kullanılması, anesteziye gelişmeler ve daha az kanamayla yapılan yeni cerrahi teknikler etkili olmuştur. Bunların sonucunda osteotomi endikasyonlarında da değişiklikler meydana gelmiştir. 19. yüzyıl ve daha öncesinde osteotomiler daha sıklıkla travmatik deformitelerde, ciddi genu valgumda ve raşitizm gibi rahatsızlıklarda kullanılırken günümüzde ise tek kompartman artrozlarında kullanılmaktadır [4, 5].

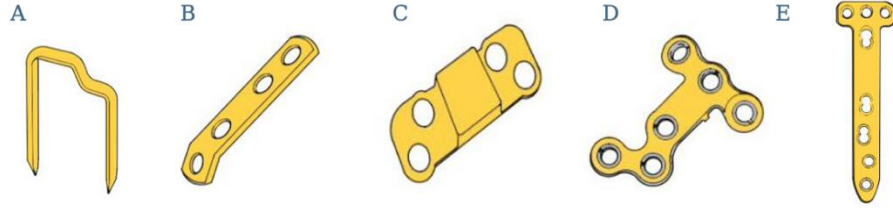
YTO ‘kapalı kama’ tekniğini ilk kez 1854 yılında Langenbeck uygulamış ve osteotomi fiksasyonu için alçı tespiti kullanmıştır [6]. 1875 yılında Wolkman YTO ile ilgili cerrahi sonuçlarını yayınlamıştır. YTO’yu gonartroz tedavisinde ilk kez kullanan ise 1940 senesinde Steindler olmuştur [7].

1951 senesinde ilk kez tibia medialinde tibial tüberkülün proksimalinden YTO uygulaması Debeyre tarafından gerçekleştirilmiş [8-10] ve bu teknik 1987 senesinde Hernigou ve ark tarafından popülerize edilmiştir [11]. Daha sonra Jackson 1958 senesinde YTO vakalarını yayınlamıştır [12]. Puddu ise kendi adıyla anılan osteotomi hattının çökmesini engelleyen metal çıkıntıya sahip ‘Puddu’ plağını kullanarak medial açık kama yüksek tibial osteotomi (MAKYTO) tekniğini gerçekleştirmiştir [13].

1965 yılında Coventry daha stabil bir teknik olarak öne sürdüğü lateral kapalı kama yüksek tibial osteotomi (LKKYTO) tekniğini tanımlamış ve yaygınlaşarak en sık kullanılan teknik haline gelmiştir [14]. Son zamanlarda plak-vida teknolojisinin gelişmesiyle MAKYTO uygulamasındaki stabilite sorunlarının önüne geçilebilmiş ve böylelikle MAKYTO uygulamaları tekrar popüler hale gelmiştir [15].

1976 yılında Maquet kendi ismiyle anılan ve ‘barrel-vault, dome, kubbe’ isimleriyle de bilinen osteotomi tekniğini yayınlamıştır [16]. Son olarak da Staubli ve

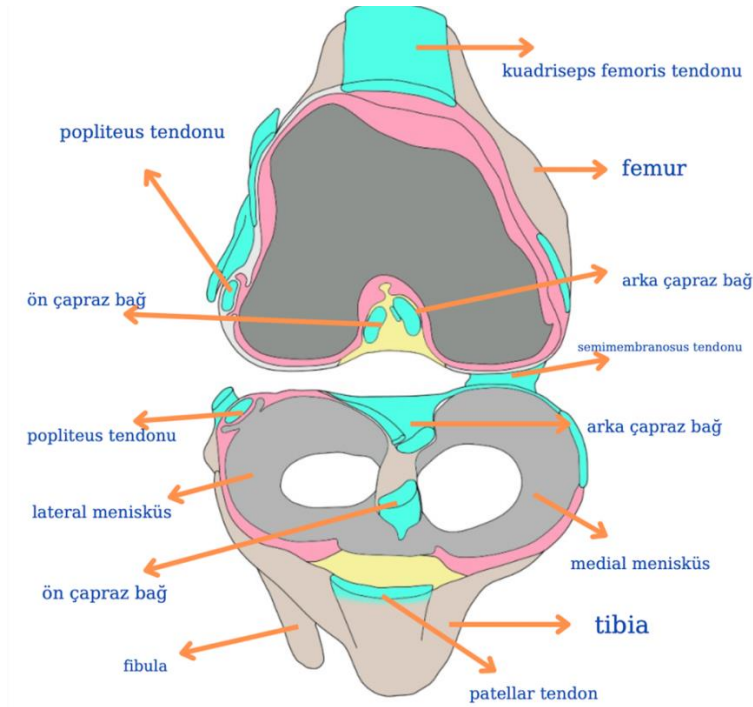
DeSimoni'nin geliştirdiği ve akabinde Lobenhoffer ve ark. alışmalarıyla geniş kullanım alanı bulan '*Tomofix plağı*' ortaya çıkmıştır (şekil 1) [15].



şekil 1: YTO'da kullanılan implantlar. U ivisi (A), Giebel plağı (B), Puddu plağı (C), ContourLock sistem (D), Tomofix plağı (E)

B. DİZİN ANATOMİSİ

Diz eklemi femur, tibia ve patella kemiklerinden oluşan insan vudundaki en büyük eklemdir. Femur ve tibia arasındaki eklem *bikondiler eklem* iken femur distali ve patella arasında ise *sellar tip eklem* bulunur. Diz eklemi bu üç eklemi içeren temel olarak fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerine olanak sağlayan *menteşe* (*gingylymus*) *tipi* sinovyal bir eklemdir (şekil 2).



şekil 2: Diz eklemi görüntüsü

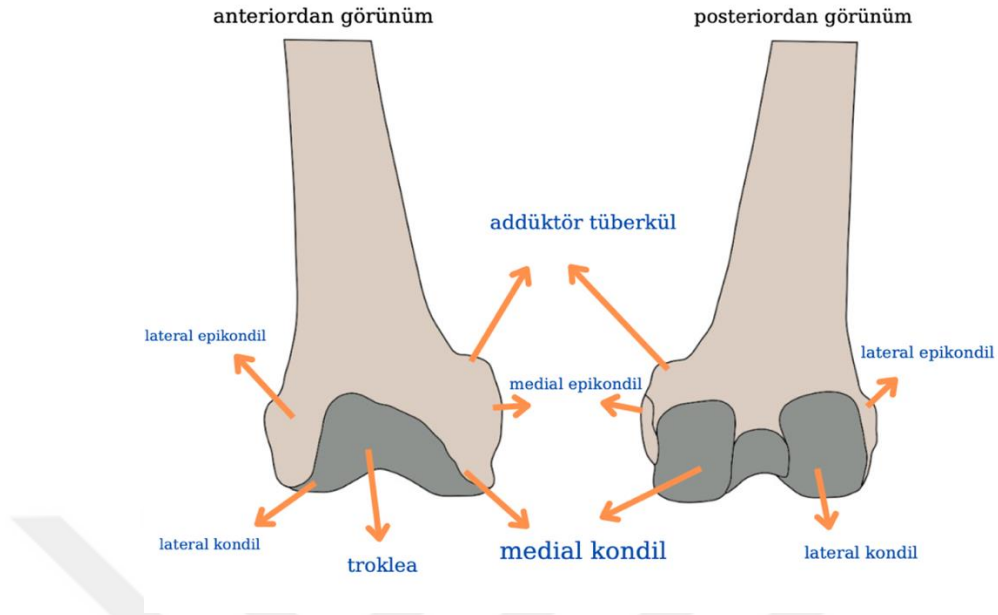
Diz eklemi fleksiyon pozisyonunda bir miktar iç-dış rotasyon ve abdüksiyon-addüksiyon hareketlerine izin verir. Tam ekstansiyon pozisyonunda tibial eminensiyanın kondiller arası çentiğe yerleşmesi ve bağların gergin olması neticesinde diz kilitlenir ve rotasyonel hareketlere izin vermez. Diz ekleminin stabilitesi kemik, kapsül, bağ ve menisküs gibi *statik* ve kas ve tendonlar gibi *dinamik* yapılar yardımıyla sağlanır [16-18].

B.1) Kemik yapılar

Diz eklemi üstte femur kondilleri, altta tibia platosu ve önde femur distaliyle eklemleşen patelladan oluşurken tibia lateralinde yerleşen fibula kemiği diz eklemi oluşturur yapılar arasında değildir.

B.1.1) Femur

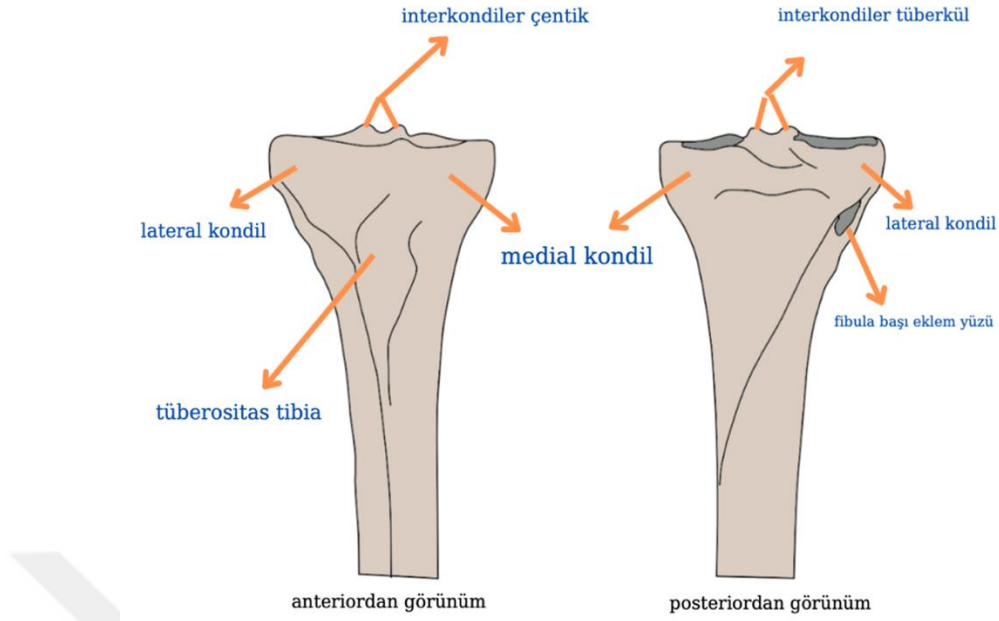
Femurun distali interkondiler çentik ile birbirinden net bir şekilde ayrılan medial ve lateral kondilden oluşur. Bu medial ve lateral kondiller tibia proksimaliyle eklemleşirler. Medial kondil ön-arka ve yan pozisyonlarda lateral kondilden daha büyüktür ve bu durum dizin valgus pozisyonuna katkıda bulunur. Kondillerin bu boyut farkından dolayı rotasyon merkezleri de farklılık gösterir. Bu farkla birlikte medial kondil üç ekseninde de rotasyon yaparken ön-arka planda az miktarda translasyon yapabilir. Bununla birlikte lateral kondil ön-arka ekseninde daha rahat translasyon gerçekleştirebilirken, frontal planda tam ekstansiyon durumuna yaklaşırken rotasyon yapabilir. Her iki kondil arasında bulunan ve interkondiler çentik olarak adlandırılan bölgenin lateraline ÖÇB, medialine ise arka çapraz bağ (AÇB) tutunur. Her iki kondil arasında anteriorda mevcut olan oluğa troklea denmektedir ve bu oluğa patella kemiği hareketi boyunca oturur (Şekil 3) [19, 20].



Şekil 3: Femur distalinin anteriordan ve posteriordan görünümü

B.1.2) Tibia

Tibia proksimalinde femur kondillerinin yerleşebileceği medial ve lateral kondiller bulunur ve bu kondiller *eminensiya* adı verilen çıkıntı ile birbirinden ayrılır. Tibia proksimalinin medial ve lateral kompartmanları birbirinden farklı anatomik özelliklere sahiptir. Medial eklem yüzü diz eklemine gelen yükün %60'ını taşıyan bölüm olup lateral eklem yüzünden daha büyüktür ve konkav yapıdadır. Lateral tibial plato ise medial platoya göre daha yüksek ve konveks yapıdadır. Tibia platosu düz değildir ve anteriordan posteriora doğru ortalama 10°'lik azalan bir eğim mevcuttur. Bu posterior tibial slope (eğim) açısı (PTSA) olarak adlandırılmaktadır ve varus dizlerde bu açı ortalama 1.5° daha düşüktür. Eklem içerisinde bulunan medial ve lateral menisküsler tibia eklem yüzeyindeki derinliği arttırarak femur ve tibia arasındaki eklem yüzünün daha uyumlu olmasını sağlayan önemli yapılardır. Her iki tibial plato arasında bulunan interkondiler eminensiyanın anterior kısmına menisküslerin anterior boynuzları ve ÖÇB yapışırken, posterior kısmında menisküslerin posterior boynuzlarının ve AÇB'ın yapışma yeri mevcuttur (Şekil 4) [21].



Şekil 4: Tibia proksimalinin anteriordan ve posteriordan görünümü

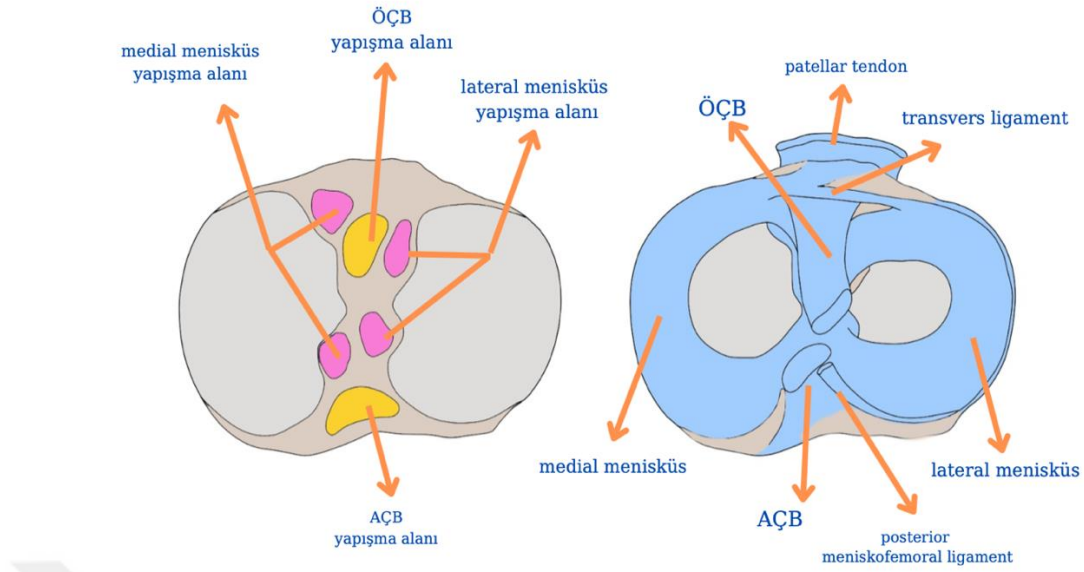
B.2) Kemik dışı yapılar

B.2.1) Eklem içi yapılar

B.2.1.1) Menisküsler

Diz eklemindeki, tibia ve femur eklem yüzeyleri arasındaki uyumsuzluk sonucu oluşan küçük temas alanı eklem içerisinde yerleşmiş olan fibrokartilaj yapıya sahip menisküsler sayesinde arttırılır. C şekline benzeyen ve koronal kesiti üçgen şeklinde olan bu yapılar koronal bağlar ile tibiaya, meniskofemoral bağ ile femura ve intermeniskal ligament ile birbirlerine bağlanırlar (Şekil 5).

Menisküsler ekstrasinovyal yapılar olmakla birlikte beslenmeleri lateral ve medial geniküler arterlerin inferior ve süperior dalları tarafından sağlanır. Menisküslerin innervasyonu ile ilgili yapılan araştırmalar menisküslerin propriyosepsiyonda önemli rol aldığını göstermektedir [22].



Şekil 5: Menisküslerin görünümü

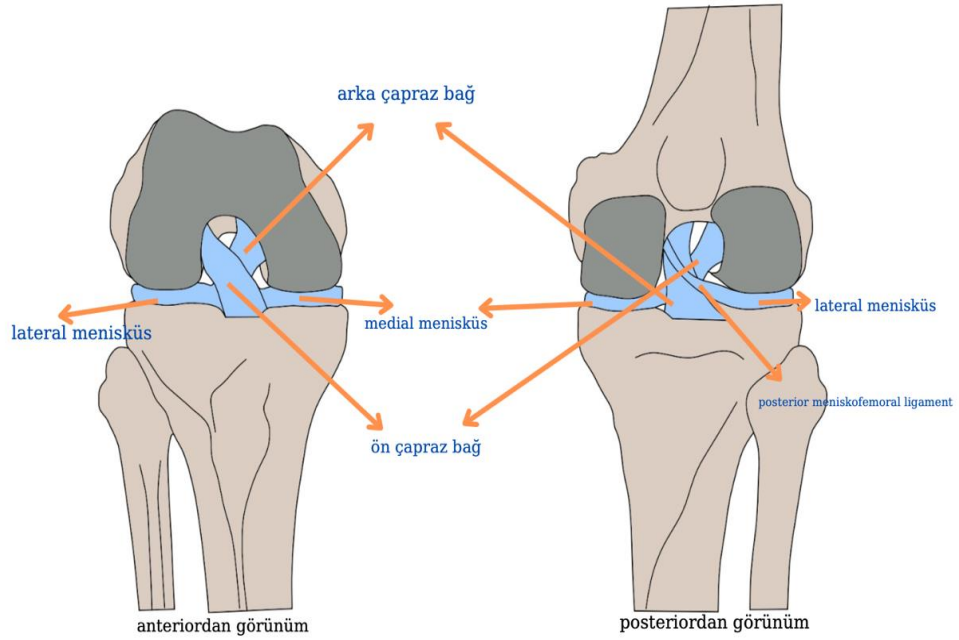
B.2.1.2) Çapraz bağlar

B.2.1.2.1) Ön çapraz bağ

Lateral femoral kondilin medial yüzünün posterioruna yapışan bağın uzunluğu ortalama 38 mm, kalınlığı 11 mm'dir. Femurda bulunan yapışma alanı yer düzlemiyle yaklaşık 25°'lik bir açı meydana getirir. Tibia proksimal eklem yüzünde ise anterior eminensiyanın anterolateralinde bulunan fossaya tutunur. Bir kısım lifleri lateral menisküsün ön boynuzu ile karışabilir. ÖÇB'yi oluşturan lifler tibia'da ki yapışma yerlerine göre *anteromedial* ve *posterolateral* olarak adlandırılır. Bu lifler femur lateralinden tibia medialine eklemi çaprazlar ve tibia'daki yapışma alanı femura göre daha geniş ve kuvvetlidir. Fleksiyon durumunda posterolateral bandı gevşerken anteromedial bandı gerilir, ekstansiyon durumunda posterolateral bandı gerilirken anteromedial bandı gevşek olarak gözlenir. Primer görevi tibianın femura göre öne translasyonuna engel olmakla beraber tam ekstansiyon durumunda rotasyon hareketlerini de kısıtlamaktadır [16, 18].

B.2.1.2.2) Arka çapraz bağ

Medial femoral kondilin lateral yüzünde posteriora yapışan bağın ortalama uzunluğu 38 mm, kalınlığı 13 mm'dir. Femoral yapışma yeri tibia yapışma yerine göre daha geniştir. Tibianın posteriorunda eklem yüzeyinin 1-2 cm distaline yapışır. Yine bu bağda da lifler iki demet (bant) halinde seyreder; *anterolateral* ve *posteromedial*. Posteromedial bant ekstansiyonda gergin iken anterolateral bant fleksiyonda gergindir. AÇB'nin primer görevi tibianın femura göre posteriora translasyonuna engel olmakla birlikte tibianın dış rotasyonunu da kısıtlamaktır. Dizin fleksiyon hareketi esnasında meydana gelen '*femoral yuvarlanma (rollback)*' hareketi AÇB sayesinde meydana gelir (Şekil 6) [18, 23].



Şekil 6: ÖÇB ve AÇB görünümü

B.2.2) Eklem dışı (ekstraartiküler) yapılar

Eklem kapsülü femura eklem kıkırdağının 2 cm proksimalinde yapışan ve birçok katmanlar içeren fibröz bir membrandır. Medial ve lateral epikondil kapsül dışında kalırlar [18]. Dizin anteriorunda yerini patella alt kutbundan başlayan, ortalama

uzunluğu 6 cm olan patellar tendon alır. Posterior eklem kapsülü femoral kondillerden ve interkondiler çentiğin (notchun) kenarlarından çıkan liflerden meydana gelmiştir ve bu lifler oblik popliteal ligaman ile desteklenmektedir. Patellar tendonun anteromedial ve anterolateralindeki zayıf kapsül alanı medial ve lateral retinakulumlar sayesinde güçlendirilmiştir. Lateral retinakulum vastus lateralisin distal aponevrozundan oluşurken medial retinakulum ise vastus medialisin oblik aponevrozundan meydana gelir. Kapsül lateralde ve medialde kalınlaşarak lateral ve medial kollateral bağların yapısına katılmaktadır [24, 25].

Warren ve Marshall yaptıkları çalışmalar sonucu diz eklemine medial ve lateralindeki yumuşak dokuları yüzeyelden derine doğru 3 tabakaya ayırmışlardır [26, 27].

Medialde;

- 1. Tabaka:** Hemen cilt altında bulunan, cilt insizyonundan sonra karşımıza çıkan m.sartoriusu saran derin fasyadır. Bu fasyanın fibrillerinden oluşan ağa sartorius kası tutunur. Bu tabaka posteriorda popliteal fossa ve gastrokinemius kasını örter.
- 2. Tabaka:** Yüzeyel medial kollateral ligamentin (MCL) bulunduğu tabakadır. Bu ligamentin ön lifleri paralel, arka lifleri oblik seyredecek şekilde femur epikondilinden başlar. MCL 45° fleksiyon durumunda en uzun halini almaktadır. 30° fleksiyonda gevşer ve bu sayede tibial rotasyona izin verir. Fleksiyonda bağın anterior lifleri ekstansiyonda ise posterior lifleri gergindir. Bu tabakanın bir diğer önemli yapısı ise *posterior oblik ligamandır* ve bu bağ dizin posteromedial stabilitesinde görevlidir.
- 3. Tabaka:** Eklem kapsülünün bulunduğu katmandır ve eklem kapsülü burada medial menisküse sıkıca tutunmuştur. Yüzeyel MCL'nin alt hizasında kalınlaşarak derin MCL'yi meydana getirir.

Lateralde;

- 1. Tabaka:** En yüzeyel olan tabakadır ve bu tabakayı lateral retinakulum oluşturur. Lateral retinakulum vastus lateralis kasının fibröz uzantısının patella laterale ve patellar tendona yapışması ile meydana gelir.
- 2. Tabaka:** Bu katmanda dizin varus streslerine karşı primer kısıtlayıcı olan lateral kollateral ligament (LCL) bulunur. Femurun lateral epikondilinden başlar ve lateral retinakulumun altından geçerek biceps femoris tendonu ile birlikte fibula proksimaline yapışır.
- 3. Tabaka:** Eklem kapsülünün bulunduğu katmandır. Eklem kapsülü ekstansiyonda gergin iken fleksiyonda gevşeyerek dizin fleksiyon durumunda daha kolay iç rotasyon ve varusa gelmesine yardımcı olur [18, 24, 28].

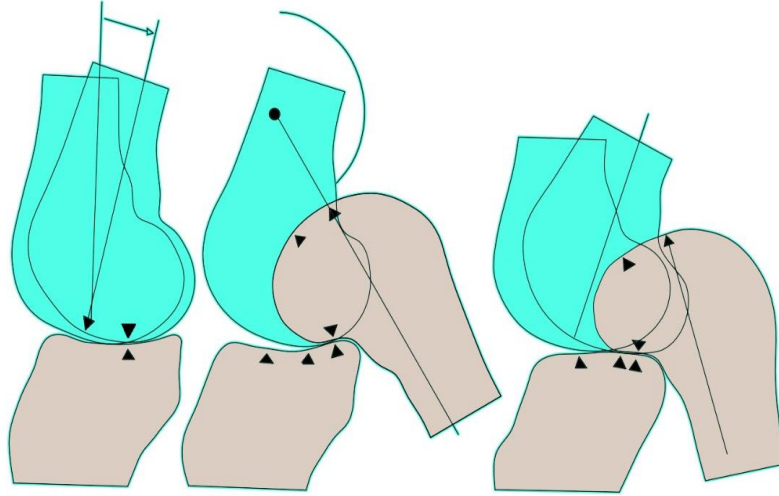
Diz ekleminin en güçlü ekstansör kası kuadriseps femoristir ve rektus femoris, vastus medialis, vastus lateralis ve vastus intermedius kaslarından oluşur. Posteriorıda ise bulunan hamstring kasları (sartorius, gracilis, semitendinosus), gastrokinemius kası, semimembranöz kası, biceps femoris kası ve plantaris kasları bulunur.

C. DİZ EKLEM BİYOMEKANİĞİ

Diz eklemi *menteşe tipi* bir eklem olmasına rağmen her üç planda ve değişik akslarda hareket kabiliyetine sahiptir. Femur ve tibia kondillerinin yapısı nedeniyle diğer menteşe tipi eklemlerin aksine medio-lateral plandaki hareketi kısıtlıdır. Eklem temel hareketi fleksiyon-ekstansiyon olmakla birlikte rotasyon hareketi sınırlı da olsa vardır. Çapraz bağların ve kollateral bağların stabilite durumuna göre eklemde ön-arka planda translasyon ve abdüksiyon-addüksiyon gibi hareketler gözlenebilir. Eklem stabilitesi eklem içerisinde ve çevresinde bulunan bağlar, menisküsler, eklem kapsülü ve kaslar aracılığıyla sağlanır. Bu eklemde yürüme, koşma, merdiven inme-çıkma gibi aksiyel yük aktarımının söz konusu olduğu aktiviteler gerçekleştirildiğinden bu eklem patolojilerinin kalça ve ayak bileği eklemleri ile beraber değerlendirilmesi gerekmektedir [29]. Normal bir diz eklemi yürüme için 63°, merdiven inmek için 90°, merdiven çıkmak için 83° ve sandalyeden kalkabilmek için 93°lik fleksiyon hareketine ihtiyaç duyar.

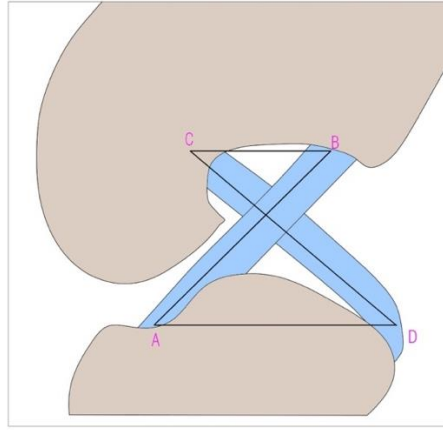
Diz ekleminin hareketi yuvarlanma, kayma ve rotasyon hareketlerinin birlikte uyum içerisinde çalışması neticesinde gerçekleşir [30]. Dizin ilk 20°lik fleksiyon hareketi esnasında kayma olmaksızın yuvarlanma hareketi gerçekleşirken, 20°den sonraki fleksiyon derecelerinde yuvarlanmayla beraber kayma da gerçekleşir. Artan fleksiyon derecelerinde ise yuvarlanma hareketinin yerini kayma hareketi alır. Diz eklemindeki ilk 20°lik fleksiyon hareketinde her 1°lik fleksiyon için tibiada 0.5°lik internal rotasyon gözlenir ve bu burgu hareketine ‘screw-home’ adı verilir. Dizin tam ekstansiyonunda rotasyon hareketi yapılamazken, fleksiyon hareketiyle beraber rotasyon kabiliyeti artar ve 90° fleksiyonda en yüksek değerine ulaşır. Bu değer dış rotasyon için 45° iken iç rotasyon için 30°yi bulabilmektedir [31].

Diz fleksiyonu esnasında femurun posteriora doğru yuvarlanma-kayma hareketi gerçekleştirmesine ‘*femoral yuvarlanma (rollback)*’ denir ve bu hareket AÇB sayesinde gerçekleştirilir (Şekil 7).



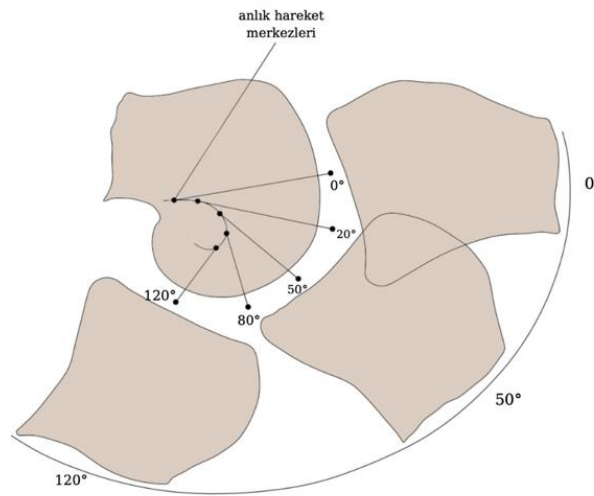
Şekil 7: Femoral roll-back ve kayma mekanizması

Dizin tam ekstansiyon durumundan 90° fleksiyona gelmesi esnasında femur tibia üzerinden 14 mm posteriora doğru yer değiştirir. ‘Bağlaşık dört bar sistemi’ olarak adlandırılan mekanizma sayesinde fleksiyon esnasında femurun tibia posteriorundan disloke olması engellenir (Şekil 8).



Şekil 8: Bağlaşık dört bar sistemi (AB: ÖÇB, CD: AÇB, AD: Tibia eklem yüzü, CB: İnterkondiler çentik)

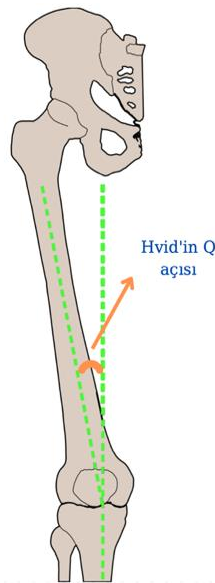
Femur kondillerindeki bir noktanın fleksiyon hareketi esnasında tibia proksimal eklem yüzeyine göre hareketine ‘*yuvarlanma hareketi*’ denir. Femur kondillerinin ise tibia proksimal eklem yüzeyindeki sabit bir noktaya göre hareketine ‘*kayma hareketi*’ ismi verilir [32]. Dizin yapmış olduğu fleksiyon-ekstansiyon hareketi esnasındaki dönme merkezi tek bir nokta olmayıp sagittal ekseninde bir ‘J’ şekli çizecek şekilde olmaktadır ve buna ‘*anlık hareket merkezleri*’ adı verilmektedir (Şekil 9). Bu değişen hareket merkezleri sayesinde ekleme her zaman etki eden yükler dik bir açıyla etki etmiş olur ve böylece eklemdaki bağlar üzerine aşırı yük binmesi engellenir [33].



Şekil 9: Dizin anlık hareket merkezleri

Diz eklemine aralarında menteşe tipi eklem olan konveks ve konkav iki ayrı kolon olarak tanımlamak mümkündür. Eğer vücut ağırlığını P olarak adlandıracak olursak ve P kuvvetinin bu kolonların tam orta noktasına etkiğini düşünürsek sistemi dengeleyecek herhangi ikinci bir kuvvete ihtiyaç duyulmazdı. Ancak P harfi ile anılan vücut ağırlığı vertikal olarak dizin her zaman medialinden geçer. Bu nedenle P kuvvetini dengelemek için dizin lateralinde bir kuvvete ihtiyaç vardır [34]. Sağlıklı bir kişide ayakta durma esnasında ön-arka planda yük aktarımı medial kompartmandan geçerken lateralde bulunan kas kuvvet kolu sayesinde tibia medial ve lateral kolonlarına orantılı bir şekilde yük dağılımı gerçekleştirilmesi sağlanır [29].

Patellanın patellofemoral eklemdaki ana görevi kuadriceps kası için kaldıraç kolunu arttırmaktır. Kaldıraç kolunun uzunluğu dizin fleksiyon derecesi ve trokleanın anatomik yapısına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu kol uzunluğu 20° fleksiyonda iken en uzun değere sahiptir [35]. Patella eklem yüzünün superior kenarı 90°, ortası 60° ve inferior kenarı 20° fleksiyon değerlerinde trokleayla eklem yaparken, ilerleyen fleksiyon derecelerinde sadece medial ve lateral kondiller ile eklemleşir. Spina iliaca anterior superior (SIAS)'dan patellanın ortasına çizilen çizgiyle patellanın ortasından tibial tüberküle çizilen çizgilerin arasında kalan açı Hvid tarafından tanımlanmış ve 'Q açısı' adı verilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10: Hvid'in Q açısı

Bu açının normal değer aralığı erkeklerde 8° – 14° , kadınlardaysa 11° – 20° aralığındadır. Q açısının artış gösterdiği durumlarda patella laterale sublukse olma eğilimindedir ve bu medialde vastus medialis oblikus kası ile engellenmeye çalışılır [33].

D. ALT EKSTREMİTE DEFORMİTE ANALİZİ VE PLANLAMA

Alt ekstremitte deformiteleri doğumsal, metabolik hastalıklara bağlı ya da travmaya sekonder gelişebilmektedir. Bu deformitelerde kullanılan fiksasyon yöntemleri değişiklik gösterebilirken deformitenin belirlenme prensipleri genel olarak değişmemektedir. Mevcut olan deformiteyi düzeltmekteki en önemli amaç eklemlerde gelişebilecek olan artroz bulgularının önüne geçmek, sağlıklı bir yürüyüş ve görünüm sağlamaktır.

Mevcut olan deformiteyi düzeltebilmek için deformiteyi anlamak ve iyi analiz edebilmek gerekmektedir. Bunun için alt ekstremitenin normal dizilimini, akslarını ve eklem oryantasyonlarını iyi bilmek zaruridir.

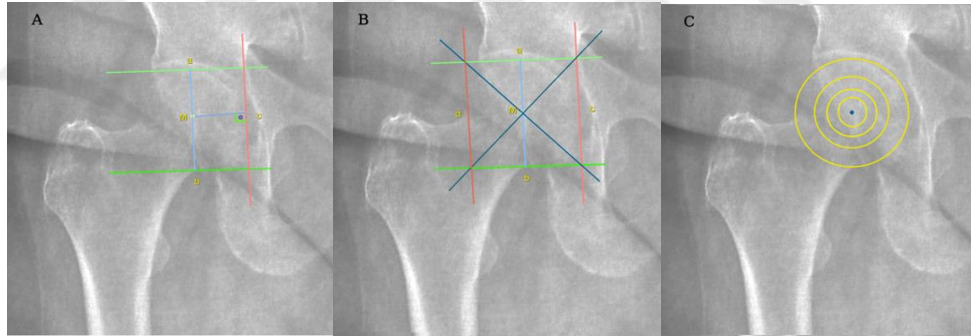
Alt ekstremitte deformite analizinde her üç eksen (frontal, sagittal, transvers) planlama yapılmalıdır [36].

Alt ekstremitte kemiklerinden femur ve tibianın kendisine ait anatomik ve mekanik aksları bulunmaktadır. Bu akslardan '*anatomik aks*' uzun kemik diafizinin orta noktalarının birleştirilmesiyle oluşurken '*mekanik aks*' ise uzun kemiklerin proksimal ve distal eklem merkezlerini birleştiren çizgi olarak tanımlanmıştır.

Femurun anatomik özelliğinin bir sonucu olarak anatomik ve mekanik aksları arasında ortalama 7° lik bir valgus açısı oluşmaktadır. Tibiada ise böyle bir fark olmayıp anatomik ve mekanik aksları aynı kabul edilir.

Mekanik aks çizgileri alt ekstremitte eklemlerinin merkezinden geçer ve bu merkezlerin belirlenmesi için bazı yöntemler tanımlanmıştır. '*Kalça eklemi merkezi*' femur başının merkezi olarak kabul edilir ve 4 farklı yöntemle belirlemek mümkündür;

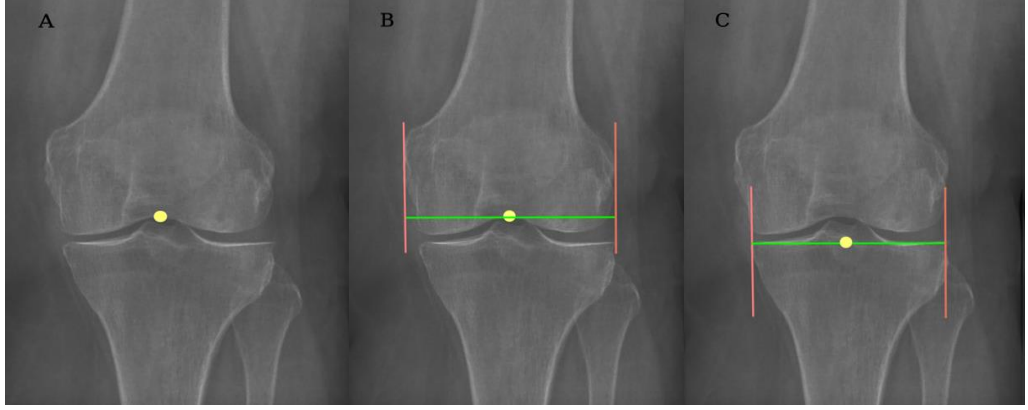
1. Femur başının üstünden ve altından geçen birbirine paralel iki teğet çizilir. Bu teğetlerin femur başına dokundukları noktalar birleştirilerek dairenin çapı belirlenmiş olur ve medialden bu teğetlere dik olacak şekilde bir teğet daha çizilir. Medialden çizilen teğetten dairenin çapına bir dikme indirilir. Bu iki çizginin kesişim noktası dairenin yani kalça eklemine merkezidir (Şekil 11A).
2. Bir önceki yöntemdeki gibi femur başının üstünden, altından ve medialinden çizilen teğetlere lateralden çizilen bir teğet daha eklenerek şekil bir kare haline getirilir. Bu kare şeklin köşelerinden karşı köşelere çizilen çizgilerin ortada birleştikleri nokta kalça eklemine merkezi olarak kabul edilir (Şekil 11B).
3. Mose'un halkaları kullanılarak kalça eklem merkezi belirlenebilir (Şekil 11C).
4. Gonyometrenin dairesel kısmı kullanılarak femur başı merkezi bulunabilir [37].



Şekil 11: Kalça eklem merkezi belirleme yöntemleri

'Diz eklemi merkezi' ise 3 ayrı şekilde belirlenebilmektedir;

1. Femoral çentik (notch) tepe noktası (Şekil 12A).
2. Femur kondilleri arasındaki mesafenin orta noktası (Şekil 12B).
3. Tibia platosunun orta noktası (Şekil 12C).



Şekil 12: Diz eklem merkezi belirleme yöntemleri

Ayak bileğinde ise 4 farklı şekilde eklem merkezi belirlenebilmektedir;

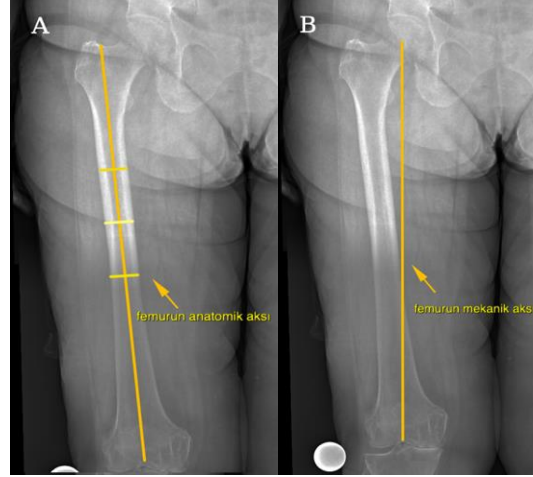
1. Plafondun orta noktası (Şekil 13A).
2. Talus eklem yüzeyinin orta noktası (Şekil 13B).
3. Tibia ve fibula kemiklerinin orta noktası (Şekil 13C).
4. Yumuşak dokuların orta noktası (Şekil 13D) [36, 38].



Şekil 13: Ayak bileği eklem merkezi belirleme yöntemleri

D.1) Femurun anatomik ve mekanik eksen

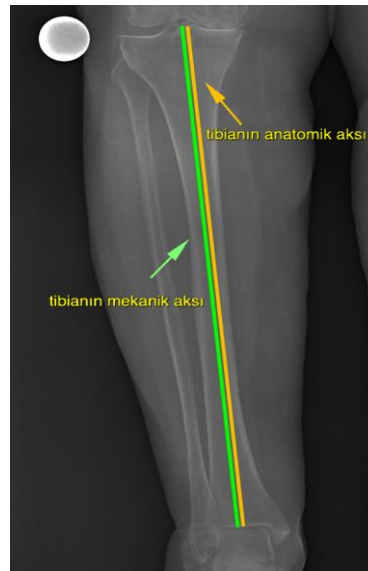
Femurun belirlenen proksimal ve distal eklem merkez noktalarının birleştirilmesi sonucu oluşan hatta mekanik aks, femur diafizinin 2 veya 3 yerinde diafize çizilen diğmelerin orta noktalarının birleştirilmesi ile oluşan hatta ise anatomik aks ismi verilmektedir (Şekil 14).



Şekil 14: Femurun anatomik (A) ve mekanik aksı (B)

D.2) Tibianın anatomik ve mekanik eksen

Tibiada da proksimal ve distal eklemlerin merkezleri birleştirilerek mekanik aks, tibia diafizinin 2 veya 3 yerinde diafize çizilen dikmelerin orta noktalarının birleştirilmesiyle anatomik aks belirlenir. Tibiada mekanik ve anatomik akslar birbirlerine paralellik gösterir. Her iki aks arasında yalnızca birkaç milimetre bulunmaktadır. İki eksenin birbirine paralel olmasından dolayı pratikte anatomik ve mekanik aks aynı kabul edilmektedir (Şekil 15) [37].



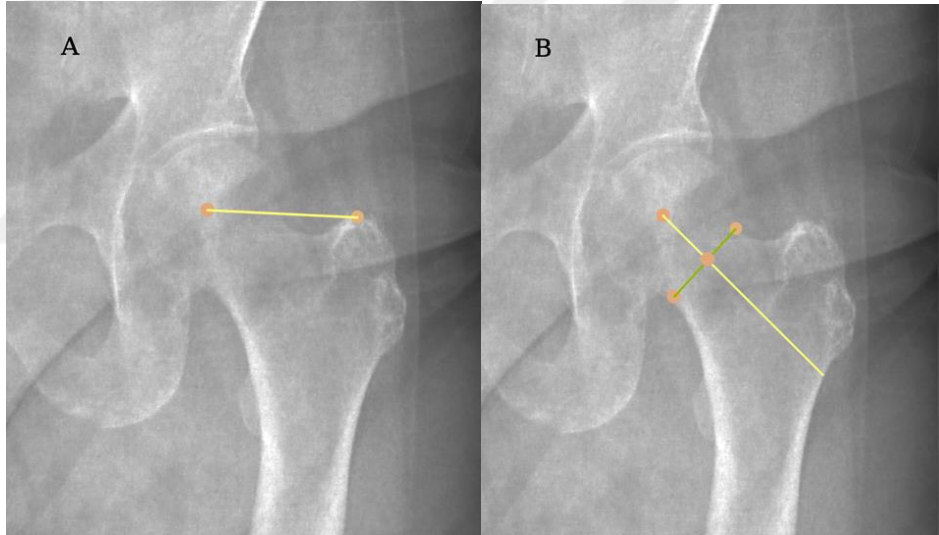
Şekil 15: Tibianın anatomik ve mekanik aks

D.3) Eklem oryantasyon çizgileri

Femurun proksimal oryantasyon çizgileri için ön-arka ve lateral planda üç ayrı çizgi kullanılır.

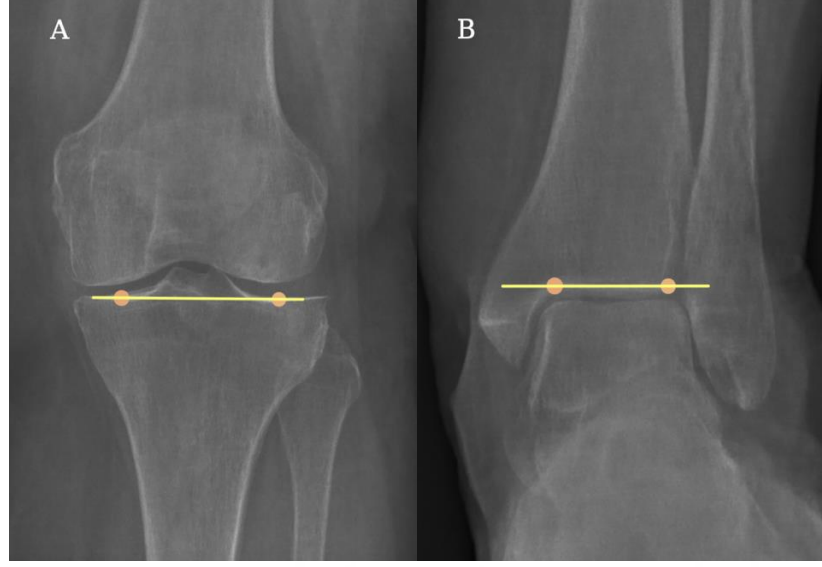
1. Ön-arka planda trokanter majör tepe noktasından femur başı merkezine çizilen çizgi (Şekil 16A).
2. Ön-arka planda femur başı merkezini femur boynu orta noktası ile birleştiren çizgi (Şekil 16B).
3. Lateral planda trokanter majörün iki tepesini birleştiren çizgi

Femurun distal oryantasyon çizgileri için lateral ve medial kondillerin subkondral bölgelerini birleştiren çizgi kullanılır.



Şekil 16: Femur proksimal eklem oryantasyon çizgileri

Tibia proksimalindeki eklem oryantasyon çizgisi için medial ve lateral platoların subkondral alanlarının iç bükey olan kısımları birleştirilerek elde edilirken distal eklem oryantasyon çizgisi ise distal tibianın subkondral yüzü boyunca çizilen çizgidir (Şekil 17) [37].

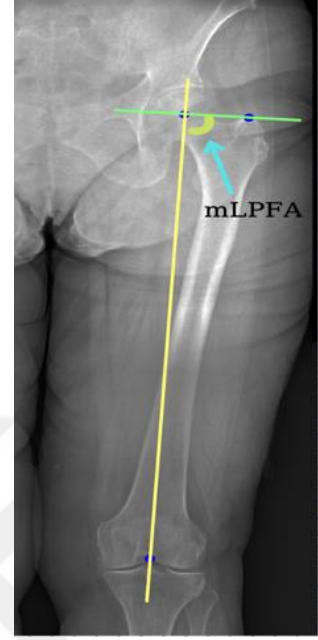


Şekil 17: Tibia proksimal (A) ve distal eklem (B) oryantasyon çizgileri

D.4) Eklem oryantasyon açıları

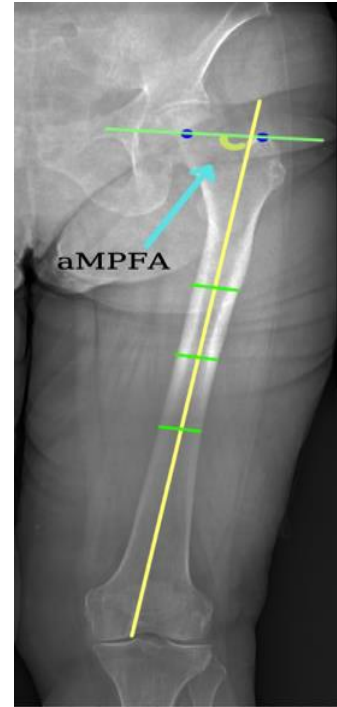
Eklem oryantasyon açıları mekanik veya anatomik aks ve bu aksların eklem oryantasyon çizgileri ile arasında oluşan açılardır. Oluşan bu açıları isimlendirirken birisi küçük diğerleri büyük harfle olmak üzere 5 harf kullanılır. Küçük harf en başta yer alan ‘a’ veya ‘m’ harfidir. ‘a’ harfi çizginin anatomik aksa göre çizildiğini, ‘m’ harfiyse çizginin mekanik aksa göre çizildiğini belirtmektedir. Diğer 4 büyük harften ilki açının yönünü, ikinci harf açının proksimalde mi distalde mi oluştuğunu, üçüncü harf açının ait olduğu kemiği, dördüncü ve son harf ise bütün isimlendirmelerde ortak olan açı kelimesini simgeleyen ‘A’ harfidir. Bir örnekle anlatacak olursak mL DFA kısaltmasındaki ‘m’ harfi açının mekanik aksa göre çizildiğini, ‘L’ harfi açının lateralde oluştuğunu, ‘D’ harfi açının kemiğin distal eklem çevresinde oluştuğunu, ‘F’ harfi açının femura ait olduğunu belirtir [36, 37].

1.mLPFA: Femur proksimal eklem oryantasyon çizgisi ile femur mekanik aksı lateralde $90 \pm 5^\circ$ lik bir açı oluşturur. Bu açı mekanik Lateral Distal Femoral Açı (mLPFA) olarak adlandırılır (Şekil 18).



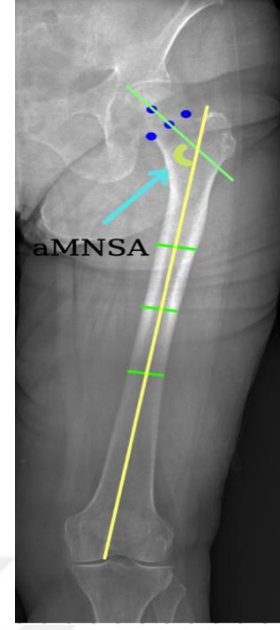
Şekil 18: mLPFA açısı

2.aMPFA: Femur proksimal eklem oryantasyon çizgisi ile femur anatomik aksı medialde $84 \pm 5^\circ$ lik bir açı oluşturur. Bu açı anatomik Medial Proksimal Femoral Açı (aMPFA) olarak adlandırılır (Şekil 19).



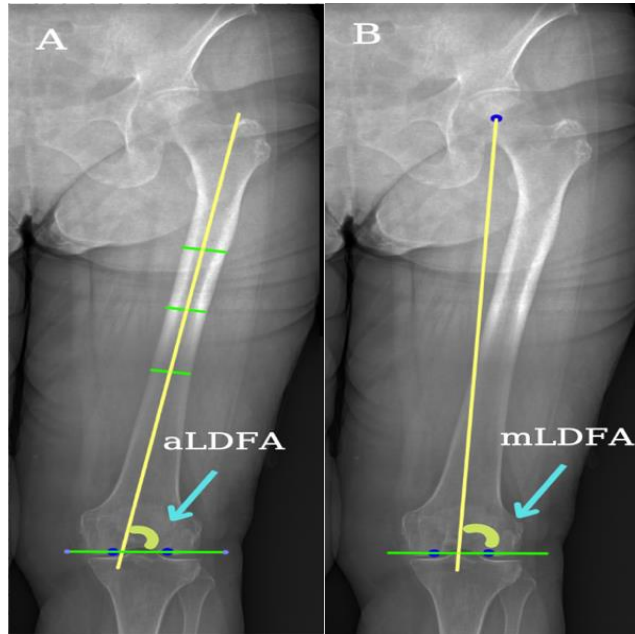
Şekil 19: aMPFA açısı

3.aMNSA: Femur başı merkezi ile femur boynu merkezi arasında çizilen çizgi femurun anatomik eksenini oluşturur. Bu açı Medial Neck-Shaft Angle (Anatomik Medial Boyun Şaft Açısı-aMNSA) olarak adlandırılır (Şekil 20).



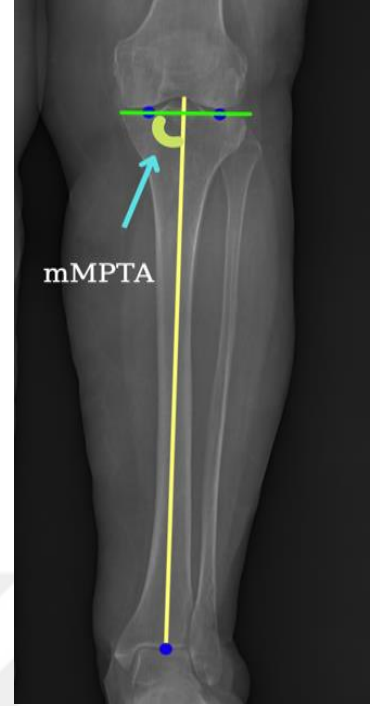
Şekil 20: aMNSA açısı

4.aLDFA ve mL DFA: Distal femur eklem oryantasyon çizgisi ile femur anatomik aksı lateralde $81 \pm 2^\circ$ lik açı oluşturur ve anatomik Lateral Distal Femoral Açı (aLDFA) olarak adlandırılırken (Şekil 21A), aynı eklem oryantasyon açısı ile femur mekanik eksenini arasında lateralde $87 \pm 2^\circ$ lik açı oluşturur ve mekanik Lateral Distal Femoral Açı (mLDFA) olarak adlandırılır (Şekil 21B).



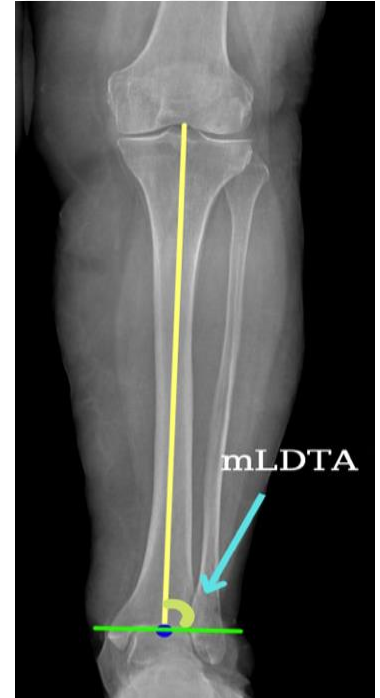
Şekil 21: aLDFA açısı (A), mL DFA açısı (B)

5.mMPTA: Tibianın proksimal eklem oryantasyon çizgisi ile tibianın mekanik eksenini arasında medialde $87 \pm 2^\circ$ lik bir açı oluşur. Bu açı mekanik Medial Proksimal Tibial Açı (mMPTA) olarak adlandırılır (Şekil 22).



Şekil 22: mMPTA açısı

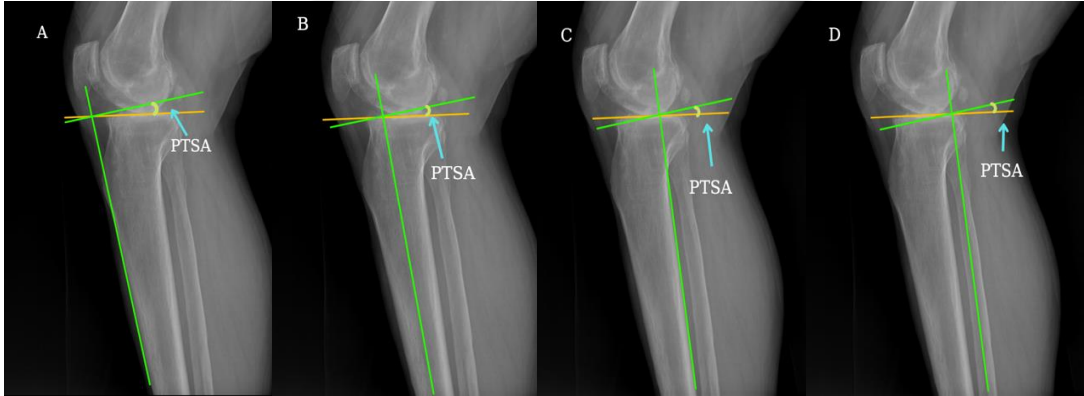
6.mLDTA: Tibianın distal eklem oryantasyon çizgisi ile tibianın mekanik eksenini arasında lateralde $89 \pm 3^\circ$ lik bir açı oluşur. Bu açı mekanik Lateral Distal Tibial Açı (mLDTA) olarak adlandırılır (Şekil 23).



Şekil 23: mLDTA açısı

D.5) Posterior tibial slope (eğim) açısı ölçümü

Proksimal tibial slope (eğim) açısı 4 farklı şekilde ölçülebilmektedir. Bunlardan ilki tibia proksimalini içeren lateral bir grafide eklem hattından 15 cm ve tibial tüberkülden 5 cm distalde tibia'nın orta noktası olan iki nokta belirlenir ve bu noktalar birleştirilerek tibia proksimal anatomik aksı (TPAA) belirlenir. Daha sonra medial tibial platodan çizilen çizgi ile TPAA arasındaki açı hesaplanır ve 90°den çıkarılarak Tibial Slope (eğim) Açısı belirlenmiş olur. Yine lateral grafilerde tibia anterior korteksi ile medial platodan çizilen çizgi arasında kalan açı, tibia posterior korteksinden çizilen çizgi ile medial tibial plato arasında kalan açı ve son olarak da fibula anatomik aksıyla medial platodan çizilen çizgi arasında kalan açı olarak PTSA ölçümü yapılabilmektedir. Bu açının normal değeri ortalama 10° (6°-13° arası) dir (Şekil 24) [39].



Şekil 24: PTSA ölçüm teknikleri

E. YÜKSEK TİBİAL OSTEOTOMİ

E.1) Genel bilgiler

YTO günümüzde dizin medial kompartmanını ilgilendiren erken evre artroz varlığında sık kullanılan bir tekniktir [40]. Bu teknikte daha medialden geçen alt ekstremité mekanik aksı lateralize edilerek dizin medial eklem yüzeyine gelen yükü

azaltmak hedeflenmektedir [14]. Normal sağlıklı kişilerde de dize gelen kuvvetlere bir tolerans eşiği bulunmaktadır ve bu eşik yaşla birlikte azalır. Yaşla birlikte azalan bu eşik neticesinde varus deformitesi meydana gelir ve medial tibial platoya binen yükte artış olur. YTO cerrahisini anlayabilmek için bu diz eklemi tahrip edici kuvvetlerin mekanizmasını anlamak gerekmektedir.

İnsanlar ayakta durma pozisyonundayken S3'ten geçtiği varsayılan ve vertikal olarak etki eden vücut ağırlığı pelvis kemiklerinden kalça eklemine aktarılır. Kalça ekleminden femur aracılığıyla diz eklemine aktarılan vücut ağırlı burdan da ayak tabanına iletilir. Yürüyüş sırasında vücut kütle merkezi değişirken tek ayak üzerinde duruşlarda vücut kütle merkezi yerde olan ayak tarafına kayar ve o taraf dize binen yük vücut kütlelerinin %93'üne denk gelir [41]. Diz medialine etki eden bu aşırı kuvvetleri tolere etmek ve bir denge sağlamak üzere uyluk lateralinde gluteus maximus, tensor fasya lata ve iliotibial banttan oluşan '*pelvik deltoid*' olarak isimlendirilen kas grubu etkindir. Bu kuvvetlerin bileşke vektörü diz eklemi merkezinin medialinde yer almaktadır [42].

Bu kuvvetlerin diz eklemi üzerindeki etkisini anlayabilmek için dizdeki kompartmanlara binen yükleri analiz etmek konunun anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Diz eklemi tam ekstansiyonda iken tibianın proksimal eklem yüzeyinde yükle temas eden bölge 18.2-21.9 cm² iken 110° fleksiyon durumunda ise temas yüzeyi 11.6 cm² olmaktadır [41]. Total menisektomi uygulanarak yapılan araştırmalarda ise yükün etki ettiği temas yüzeyinde ciddi bir azalma ve bunun sonucu olarak etki eden yüklerde ciddi bir artış olduğu bildirilmiş [43].

Vücut kütlesinin artması, uyluk lateralindeki dengeleyici kuvvetlerin yetersiz kalması veya kemiksel yapılarda gelişen deformiteler sonucu dizilimin bozulması dize binen kuvvetlerin medial kompartmana doğru kaymasına neden olmaktadır [44]. Tibia medial kompartmanındaki bu yük artımı sekonder olarak medial menisküs ve kondral yapılarda dejenerasyon artışına neden olurken bu artış sonucu medial eklem aralığında daralma gözlenir. Bu daralmayla beraber mekanik aks daha medialden geçer ve mediale etki eden kuvvetler daha da artarak medial eklem artrozu adı verilen patolojiyi oluşturur [45].

YTO'nun amacı bahsedilen bu patolojik yük dağılımını düzenlemek ve tibia medial kompartmanına binen yükleri lateralize ederek mekanik aksı yeniden oluşturmaktır [46]. YTO tekniği ile birlikte var olan medial kompartman artrozunun ilerlemesi durdurulabilirken total diz protezi (TDP) cerrahisi gerekliliği de ertelenebilmektedir [47, 48].

E.1.1) YTO endikasyonları ve kontrendikasyonları

YTO cerrahisinde en önemli konulardan biri YTO uygulanacak olan hastaya cerrahin mevcut tedavi süresi ile ilgili yeterli bilgiyi vermesi ve hastanın da bu sürece uyum sağlayabilecek mental yetkinlikte olmasıdır. Aksi durum varlığında cerrah endikasyonunu yeniden değerlendirmelidir [49]. YTO da hasta seçiminde yaş tartışmalı bir konu olmakla beraber birçok literatürde yaşı 65 olarak gösterilmektedir [50]. 65 yaş üstü olup fiziksel olarak aktif olan bireylerde bu endikasyonun genişletilebileceği de söylenmektedir.

Hastanın vücut kitle indeksi (VKİ) YTO için tartışmalı olan konulardan bir diğeridir. VKİ yüksek olan hastalarda cerrahi esnasında daha çok zorlanılırken VKİ normal olan bireylerde YTO sonuçlarının daha yüz güldürücü olduğunu ve daha yüksek olanlarda ise cerrahi sonuçlarının daha kötü olduğunu beyan eden araştırmalar bulunmaktadır [51, 52].

İzole medial kompartman artrozu olması ve lateral kompartman ile patellofemoral kompartmanda artroz bulgularının olmaması YTO endikasyonları arasında yerini almaktadır. Lateral menisküs patolojisi bulunmaması yine YTO endikasyonlarından biridir [53].

Diz ekleminde 120° < fleksiyon ve 5° > ekstansiyon kontraktürü bulunan hastalarda YTO endikasyonu vardır. Bu değerler dışında deformitesi bulunan hastalarda ameliyat öncesi deformite analizi zorluğu ve ameliyat sonrası başarısızlık için yüksek risk bulunmaktadır [54].

Mevcut olan varus deformitesinin miktarı 10° ve altında olanlar genel kabul gören aralıktır. Bir kısım çalışmalarda bu 10° lik sınırın 15° olabileceği söylenirken 20°

üzeri deformitelerde eklem stabilitesi bozulacağından YTO uygulanması kontrendike olarak görülmektedir (Tablo 1) [55].

Diz ekleminde bağ hasarına bağlı instabilitesi olan hastalarda detaylı deformite incelemesi gerekir ve gerekirse eş zamanlı veya çift zamanlı olarak bağ tamiriyle beraber YTO planlanabilir [56]. Diz ekleminde yaygın dejeneratif artrit bulguları olan hastalarda YTO yerine TDP'ye doğru kaymak daha doğru bir seçim olacaktır [57].

E.1.2) Düzeltme miktarının analizi

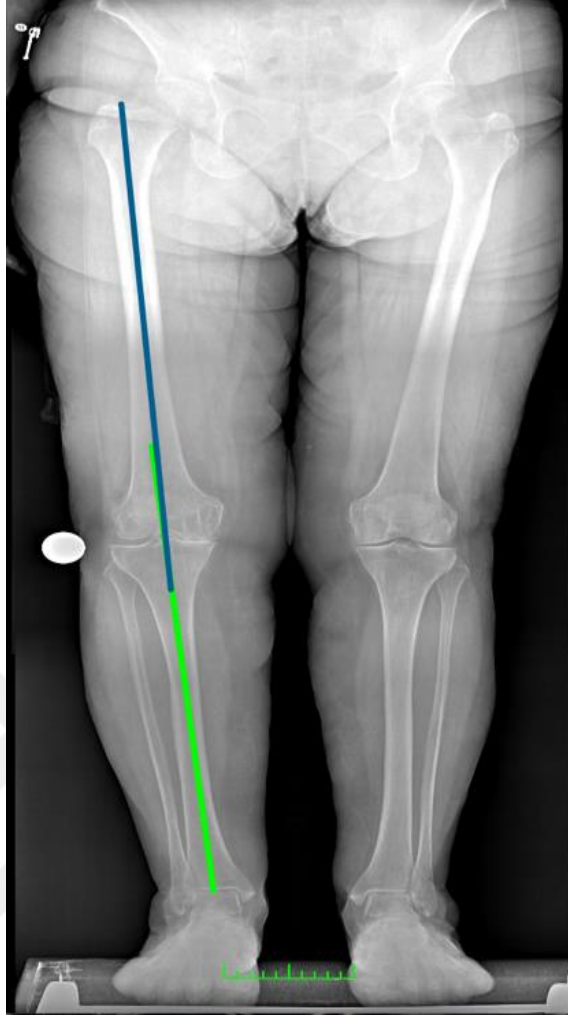
Varus açılanması olan dizde varusun şiddeti ve bu varus deformitesini düzeltmek için gerekli olan düzeltme miktarı 4 farklı yöntemle hesaplanabilmektedir.

Tablo 1: YTO endikasyonları ve kontrendikasyonları

Endikasyonlar	Kontrendikasyonlar	Göreceli kontrendikasyonlar
Aktif ve tedaviye uyum sağlayabilecek hasta	Yaygın eklem dejenerasyonu bulunan hastalar	Patellofemoral eklemden şiddetli şikayeti olanlar
65 yaş altı olan aktif hastalar	İnflamatuvar eklem artritli mevcut olanlar	Yüksekte veya alçakta patellası olanlar
5° ile 15° arasında varus dizilim bozukluğu olan hastalar	Diz eklemi instabil veya sublukse olan hastalar	VKİ 30'un üzerinde olan obez hastalar
90° ila 120° arasında diz fleksiyonu yapabilen hastalar	90°den az diz fleksiyonu yapabilen hastalar	65 yaş üzeri olan hastalar
5° daha fazla olmayan ekstansiyon kontraktürü mevcut olan hastalar	20°den daha çok varus deformitesi olan hastalar	Sigara
Hareket sonrası agreve olan sadece medial kompartmanı ilgilendiren ağrı şikayeti olan hastalar	Damar patolojisi mevcut olan hastalar	
Erken evre artrozu olan hastalar	Lateral menisküsü total çıkarılmış olan hastalar	

1. Coventry'nin anatomik aks ile analizi

Alt ekstremitenin dizilim değeriendirilmesinde tibia ve femurun anatomik akslarının oluşturduğu '*femorotibial açı*' son zamanlarda tercih edilmektedir ve ayakta basarak çekilen antero-posterior (AP) grafilerde ölçülmelidir. Normal değeri 5° ila 9° valgus açısıdır. Bu valgus açısı kişiden kişiye değışiklik göstermekle beraber uzun boya sahip kişilerde azalırken kısa boya sahip olan kişilerde ise artmaktadır. YTO sonrası 5° ila 9° derece arası anatomik valgus açısını sağlamak yeterli olmakla beraber, cerrahi sonrası nüks oranını azaltmak için fazladan düzeltmede (*over correction*) önerilmektedir [58]. Örnek olarak hastaların anatomik akslarına göre analiz yapıldığında 6° varus deformitesi varlığında 7°lik valgus elde etmek için 13°lik bir düzeltme miktarı gerekmektedir. Ancak anatomik aksı normal değerine getirmek yeterli olmadığı için buna fazladan 5°lik bir düzeltme miktarı eklenerek toplamda 18°lik bir valgizasyon yapılmış olacaktır (Şekil 25) [59].

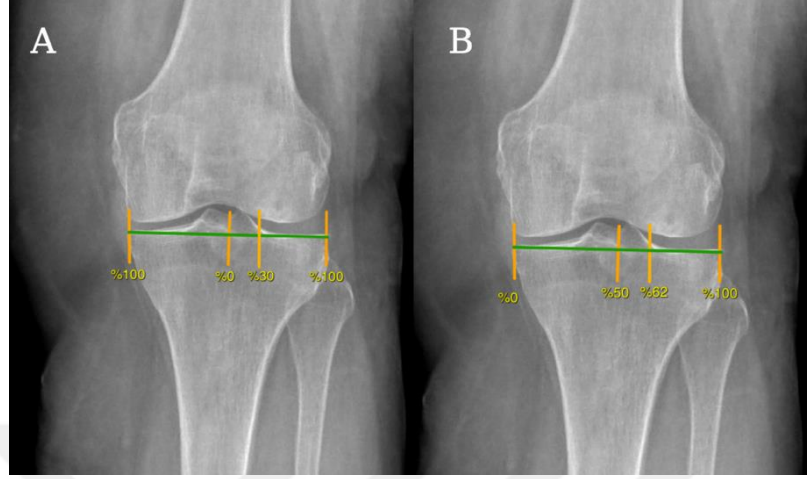


Şekil 25: Coventry'nin anatomik aksa göre düzeltme miktarı analizi

2. Mekanik aks ile analiz

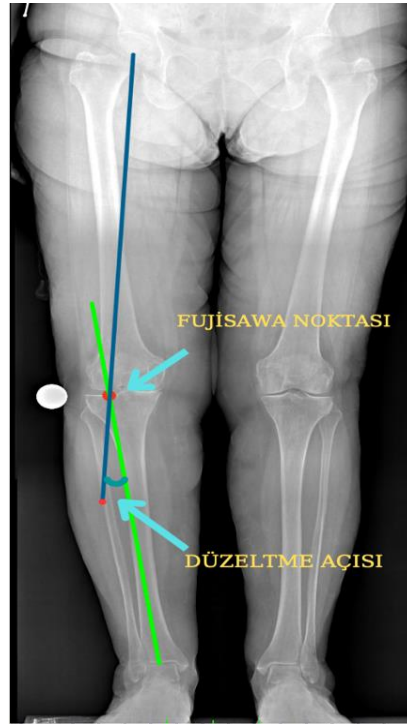
Dugdale ile Noyes'in tariflemiş olduğu bir yöntemdir ve uygulayabilmek için Fujisawa ve Noyes tarafından tanımlanan noktaların bilinmesi gerekmektedir. Fujisawa tibianın ortasında bulunan her iki eminentianın orta noktasını %0 olarak kabul ederken lateral tibial platonun en lateralini %100 olarak belirlemiştir. Osteotomiyle gerçekleştirilen düzeltme sonrası yeni oluşacak alt ekstremité mekanik aksının %0 ve %100 olarak belirlenen mesafenin %30'undan geçmesi gerektiğini belirtmiştir [60]. Noyes ise tibial platonun medialini %0, lateralini ise %100 olarak

tanımlanmış ve düzeltilmiş mekanik aksın %62' ye tekabül eden noktadan geçmesi gerektiğini belirtmiştir (Şekil 26).



Şekil 26: Fujisawa'nın tarif ettiği nokta %30 (A), Noyes'in tarif ettiği nokta %62 (B)

Fujisawa veya Noyes'in belirttiği noktalardan geçecek şekilde çizilen femur ve tibianın mekanik aksları arasında kalan açı bizim düzeltme derecemizi vermektedir (Şekil 27) [61].



Şekil 27: Mekanik aksa göre düzeltme miktarı hesaplama

3. Bilgisayar destekli analiz

Ticari yazılımlar kullanılarak hastaların grafileri programa yüklenerek deformite analizi, düzeltme miktarının hesaplanması ve simülasyonları yapılabilirken ekonomik nedenlerden dolayı kullanımları kısıtlanmaktadır.

4. Miniaci tekniğiyle analiz

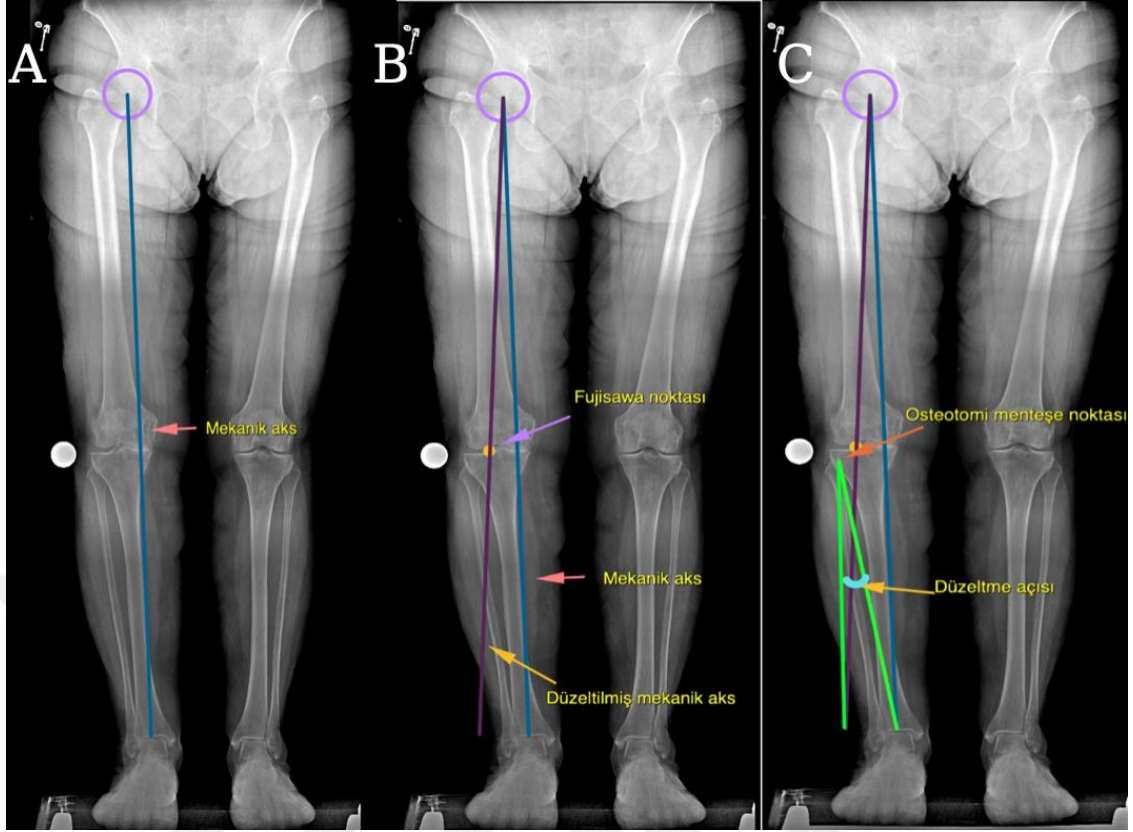
İlk adımda 3 ayrı çizgi çizilir. Birincisi femur başı merkezinden Fujisawa'nın tariflediği noktaya çizilen çizgidir ve ayak bileği eklemi hizasına kadar distale doğru uzatılır. İkinci çizgi ise tibia distal eklem merkezinden proksimalde osteotominin menteşesi olacak lateraldeki nokta arasında çizilir. Üçüncü çizgi de bu belirlenen menteşeyle ilk çizginin ayak bileği eklemi seviyesinde ki noktasının birleştirilmesiyle oluşturulur. 2. ve 3. çizgiler arasında oluşan açı *düzeltilme açısıdır* [62, 63].

MAKYTO'de tibia medialindeki açıklığın düzeltme sonrası ne kadar olacağını belirlemek için *Hernigou'nun trigonometrik tablosu* kullanılabilir (Tablo 2).

Tablo 2: Hernigou'nun trigonometrik tablosu

B	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
M																
50	3	4	5	6	7	8	9	10	10	11	12	13	14	15	16	16
55	4	5	6	7	8	9	10	10	11	12	13	14	15	16	17	18
60	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20
65	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21
70	5	6	7	8	10	11	12	13	15	16	17	18	20	21	22	23
75	5	6	8	9	10	12	13	14	16	17	18	20	21	22	24	25
80	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	19	21	22	24	25	26

Bu tabloya göre hesaplama yapabilmek için tibiada belirlenen osteotomi hattı boyunca tibia genişliği belirlenir ve bu genişlik ile daha önceden belirlenen açı cinsinden düzeltme miktarıyla osteotomi sonrası tibia medialinde oluşması gereken osteotomi yüksekliği hesaplanabilir (Şekil 28) [64, 65].



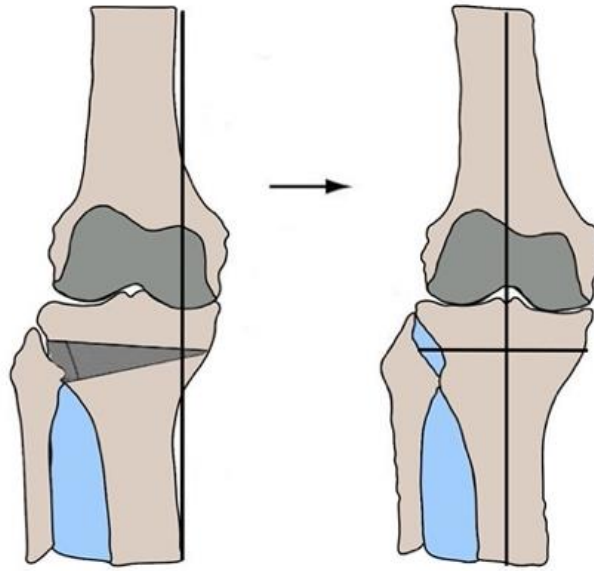
Şekil 28: Miniaci yöntemi ile düzeltme miktarı hesaplama. Mekanik aks çizimi (A), düzeltilmiş mekanik aks çizimi (B), menteşe noktasından ayak bileği seviyesinde mekanik aksa ve düzeltilmiş mekanik aksa çizilen çizgilerle düzeltme derecesinin belirlenmesi (C).

E.2) YTO teknikleri

E.2.1) Lateral kapalı kama YTO

Tibial tüberkülün proksimalinden uygulanan LKKYTO Coventry tarafından 1965 yılında tarif edilerek popülerize edilmiştir [14]. Bu teknikte tibial proksimali lateralinde *ters L* şeklindeki bir insizyon ile tibia laterale ulaşılır. Ameliyat öncesi yapılan hesaplama uygun olarak tibia proksimal eklem yüzeyinden yaklaşık 2 cm distalde olan, taban kenarı lateral tarafta, tepe noktası medial tarafta bulunan üçgen şeklindeki kama çıkarılarak mevcut varus deformitesi düzeltilir [66]. Çıkarılan kamanın boyutları tibia proksimal osteotomi hattının 56 mm olması durumunda her 1°'lik düzeltme için 1 mm'lik kama yüksekliği olarak hesaplanmalıdır [67]. Bu teknikte osteotomi esnasında proksimal osteotomi hattı koronal planda ekleme paralel iken distaldeki osteotomi hattı ekleme oblik olarak seyreder ve bu kesiler

medial tibial kortekste kırık geliştirmeden birleştirilmedir. Kırık oluşmaması osteotomi bölgesinin stabilizasyonu ve kaynama durumu açısından önemlidir. Osteotomi hatlarının sagittal planda da birbirine ve ekleme paralel olması sağlanmaya çalışılmalıdır [68]. Fibula kemiğinin diz eklemindeki stabilizatör özelliğini ortadan kaldırmak bu osteotomi tekniği için önemlidir. Bu kuvvet ortadan kaldırılmaz ise fibula kemiği osteotomi hattının kapanmasına engel olan bir güç olmaya devam edecektir. Bu nedenle fibula kemiğine yönelik farklı müdahale şekilleri mevcuttur. Bunlar; fibula şaftından bir iki cm'lik parça çıkarılması [69], boyunun osteotomize edilmesi [63], fibula başının total veya parsiyel çıkarılması [70, 71] ve tibia ile fibula arasındaki eklemin bozulması tekniklerini içermektedir (şekil 29) [68].



şekil 29: Lateral kapalı kama YTO

Avantajları:

1. 15°nin altındaki deformitelerde düzeltmenin kolaylıkla yapılabilmesi.
2. Osteotomi hattının kapalı olması ve osteotomi hattında tam temas sağlanabilmesi nedeniyle fiksasyonun stabil olması ve kaynamama riskinin az olması.
3. Cerrahi sonrası erken dönemde harekete ve yk vermeye izin verilebilmesi.

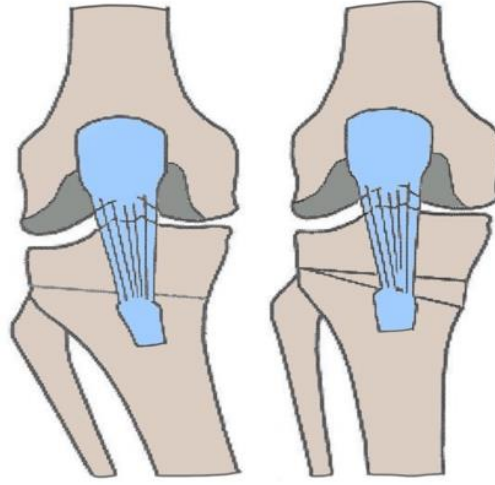
4. Osteotomi hattında açıklık kalmaması nedeniyle greft kullanmaya gerek olmaması ve d n r saha morbiditesinin olmaması.
5. Diz eklemine fleksiyon ve rotasyon hatası oluşma riskinin düşük olması.
6. Gerekli durumlarda patella ile femur arasındaki eklem patolojilerine müdehale imkanı vermesi.

Dezavantajları:

1. Fibulaya uygulanan osteotomi işlemi kapalı kama osteotomisinin en önemli komplikasyonlarından biri olan peroneal sinir arazına neden olabilmektedir. Fibular rezeksiyonların neden olduğu en önemli komplikasyonlardan biri ise LCL hasarıdır [72].
2. Cerrahi olarak tibia laterale ulaşmanın teknik olarak daha zor olması.
3. Tibianın proksimalinde kemik stoğu azalma meydana gelmesi.
4. Total alt ekstremit  uzunluğuunda osteotomi uygulanan tarafta kısıalma meydana gelmesi.
5. Patella infera gelişebilmesi [73].
6. Geniş diseksiyon gerekmesi ve fibular osteotominin de eklenmesiyle kompartman sendromu gelişme riskinin artması.

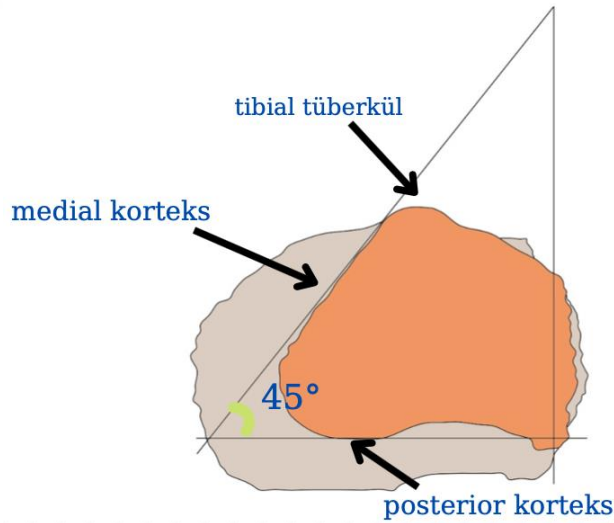
E.2.2) Medial açık kama YTO

Sabit açılı kilitli plak ve vida teknolojilerinin gelişmesiyle MAKYTO popülerliği kapalı kama YTO'dan alarak günümüzde en popüler teknik haline gelmiştir [74, 75]. Bu osteotomi tekniğinde osteotomi tibianın medialinden uygulanır ve tabanı medialde tepesi lateralde olan kama şeklinde bir boşluk yaratılır. Osteotomi tibial tüberkülün üstünde kalacak şekilde medialde eklemden 3-4 cm distalden başlayarak fibulanın üst ucuna yönlendirilmelidir. Lateral korteks kırığı geliştirmemek adına kortekse 1 cm kala osteotomi durdurulmalıdır. Osteotomi uygulandıktan sonra ameliyat öncesi hesaplanan miktar kadar osteotomi hattında açıklık elde edilir ve kilitli plak-vida sistemiyle fiksasyon sağlanır. Medialdeki açıklığın büyüklüğüne ve oluşan boşluğa göre greft ihtiya ı belirlenerek osteotomi bölgesi allogreft veya otogreft ile doldurulabilir (şekil 30).



Şekil 30: Medial açık kama YTO

Tibianın proksimali anatomik olarak aksiyel kesitte üçgen bir yapıdadır (Şekil 31) ve bu özelliğinden dolayı PTSA'da herhangi bir bozulma olmaması için osteotomi sonrası medial açıklığı sağlarken posterior tibiadaki açıklığın anteriordaki açıklıktan daha büyük olması gerekmektedir [76, 77].



Şekil 31: Tibia proksimal anteromedial korteks eğimi

Osteotomi sonrası uygulanan plağın konumuna göre tibial eğim (slope) etkilenmektedir. Osteotomi hattının sagittal planda posteriorunda kalacak şekilde uygulanan bir plak sonrası tibial eğim (slope) azalması beklenirken, anteriora

uygulanan plak sonrası ise tibial eğimde artma beklenmektedir [54]. MAKYTO' un olumlu özelliklerinden birisi de PTSA'nın hastanın diz eklem biyomekaniğine ve bağ yapılarının durumuna göre düzenlenmesine olanak sağlamasıdır. PTSA'da meydana gelen bir artma sonrası tibianın femurun altında arkaya subluksasyonu azalacaktır. Bu etkiden dolayı AÇB yırtığı durumunda PTSA'da bir artış gerçekleştirerek tibianın femur altında arkaya translasyonunun önüne geçilebilir. ÖÇB yırtığı durumunda ise PTSA'da bir azalma sağlayarak tibianın femur altında öne kayması önlenmiş olunur [78].

Avantajları:

1. Fibulaya müdahale gerektirmemesi nedeniyle peroneal sinir arazi riskinin olmaması [79].
2. Aynı seansta ÖÇB'ye yönelik girişimde bulunabilmesi ve PTSA'nın revize edilebilmesi [13].
3. Alt ekstremitede kısılığa neden olmaması.
4. Osteotomi sonrası her üç planda deformite düzeltilmesine olanak sağlaması.
5. Çok fazla yumuşak doku diseksiyonu gerekmediği için kompartman riskinin düşük olması.
6. Kemik rezervinde azalmaya yol açmaması.
7. Rijid fiksasyon uygulanması nedeniyle erken hareket ve yük verilebilmesi [11].

Dezavantajları:

1. Osteotomi hattında bir boşluk yaratılması nedeniyle kaynamama sorunlarıyla karşılaşılması.
2. Otograft kullanılan vakalarda donör saha morbiditesi riski.
3. Alt ekstremitte uzunluğunda artışa neden olabilmesi.
4. Patella baja gelişebilmesi [53].

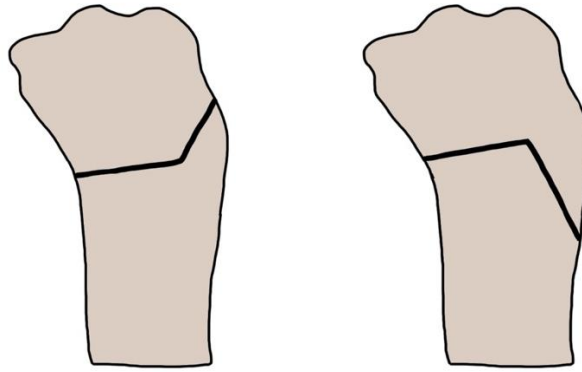
MAKYTO uniplanar ve biplanar olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilmektedir.

1. Uniplanar MAKYTO

Tibia medial eklem yüzeyinden 3 ila 4 cm aşağıdan başlayarak tibial tüberkülün proksimalinden lateral eklem yüzeyinin 1 ila 1.5 cm distalini hedefleyen, lateral korteksten 1 cm medialde sonlanan bir osteotomi yapılmaktadır.

2. Biplanar MAKYTO

Osteotomi hattı başlangıç ve bitiş noktaları uniplanardaki anlatılan teknikle aynı olmakla beraber bu tekniğe ek olarak tüberositas tibianın distal ya da proksimal fragmanda bırakılabileceği iki düzlemli bir osteotomi uygulanır. Tibial tüberkülün distal fragmanda bırakılması durumunda medialdeki osteotomi hattına proksimalde 130° lik açı yapan retrotüberküler ikinci bir osteotomi hattı eklenir [80]. Diğer teknikte ise distalde yaklaşık 110°-120° açı oluşturan ikinci bir osteotomiyle tibial tüberkülün proksimal fragmanda kalmasını sağlayan bir osteotomi yapılır [53]. Bu teknik patella baja gelişmesine bağlı olarak gelişebilen patellofemoral eklem patolojilerini ortadan kaldırmak amacıyla yaygınlaştırılmıştır (Şekil 32).



Şekil 32: Biplanar MAKYTO

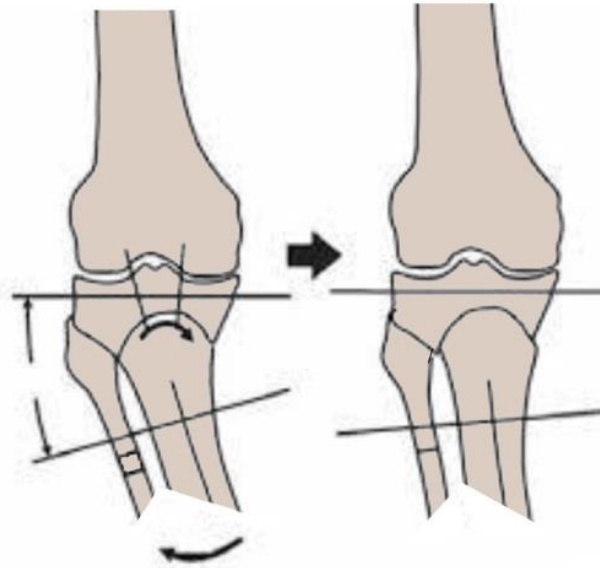
E.2.3) Hemikallotazis ile MAKYTO

MAKYTO uygulaması sonrası osteotomi hattı akut olarak açılmayıp, bir uniplanar veya sirküler eksternal fiksator yardımı ile hedeflenen düzeltme miktarının tedrici distraksiyon uygulanarak sağlanmasına dayanan bir tekniktir. Otograft veya allograft gereksinimi olmaması ve deformite düzeltilmesinin milimetrik yapılabilmesi en

önemli avantajıdır. Dezavantajları ise pin diplerinde gelişen enfeksiyon ve hastaların eksternal fiksatöre yeterli uyumu gösterememesidir [79].

E.2.4) Maquet tipi (kubbe-dome) YTO

İlk olarak kullanılan osteotomi tipidir. Paul Maquet tarafından popülerize edildiğinden dolayı onun adı ile de anılmaktadır. Bu teknikte tibia proksimal eklem çizgisinden yaklaşık 5 mm aşağıdan ekleme paralel bir Steinman çivisi gönderilir. Daha sonra bu çivinin 8 cm aşağısından ikinci bir çivi önceden hesaplanmış düzeltme derecesi kadar bir valgizasyona imkan verecek açıda gönderilir. Tibial osteotomiyi yapmadan önce tibianın rotasyonuna izin verebilmek amacıyla fibula kemiği osteotomize edilerek 1 cm kemik eksize edilir. Patella alt ucundan başlayıp tibial tüberkülde sonlanan ikinci bir kesi ile tibia proksimaline ulaşım sağlanır. Tibia proksimalinde 1. çivi ile tibial tüberkül arasında kalacak şekilde kubbe şeklinde ilk önce drilleme yapılır ve daha sonra bu delikler osteotomi yapılarak birleştirilir. Osteotomi tamamlandıktan sonra eksternal fiksatör kurulur ve atılan çivilerin paralel hale geldiği pozisyonda sistem kilitlenir (Şekil 33) [41].



Şekil 33: Maquet tipi YTO

Avantajları:

1. Kemik eksizyonu gerekmediğinden stok korunur.
2. Kaynamama sorunlarıyla karşılaşma oranı düşüktür.
3. 20°nin üzerindeki ciddi düzeltme miktarı gerektiren deformitelerde kullanıma uygundur.
4. Stabil ve güvenli bir fiksasyon sağlanabildiğinden ameliyat sonrası erken dönemde rehabilitasyona başlanabilmektedir.

Dezavantajları:

1. Teknik olarak daha zordur.
2. Fibular kemik osteotomisi ve rezeksiyonu gerektirir.
3. Patellar tendonun etrafında fibröz doku oluşabilir.
4. Deformite düzeltilmesi sonrası tibiada translasyon gerçekleşebilir.
5. Eksternal fiksatörlere bağlı pin dibi enfeksiyonlar gelişebilir [81].

GEREÇ VE YÖNTEMLER

Projemiz Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi klinik araştırmalar etik kurulundan 11.05.2022 tarihinde 2022/44 nolu karar ile etik kurul onayı alındıktan sonra Sağlık Bilimleri Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri biriminden 2022/086 proje numarası ile desteklenme kararı alınmıştır. Bu çalışmada 2016-2022 tarihleri arasında Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde herhangi bir nedenle alt ekstremité tomografisi çekilen hastalar PACS (Picture Archiving and Communication Systems- Görüntü Saklama ve İletişim Sistemleri) sistemi üzerinden retrospektif olarak değerlendirilerek kriterleri sağlayan 20 hastanın alt ekstremitésine ait radyolojik tetkikler çalışmaya dahil edildi.

Çalışmaya dahil edilme kriterleri

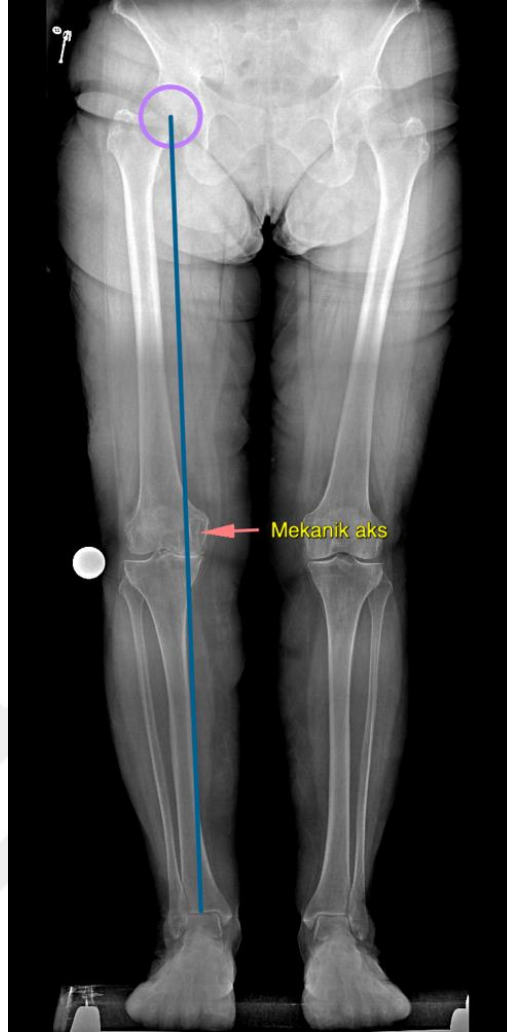
20°den az 5°den fazla varus deformitesi, deformitenin tibia kaynaklı olması, mevcut grafileri doğru deformite ölçümlerine imkan verecek şekilde optimum çekilmiş olanlar, alt ekstremité dizilim grafisi ve alt ekstremité tomografisi aynı anda mevcut olan hastalar çalışmaya dahil edilmiştir.

Çalışmaya dahil edilmeme kriterleri

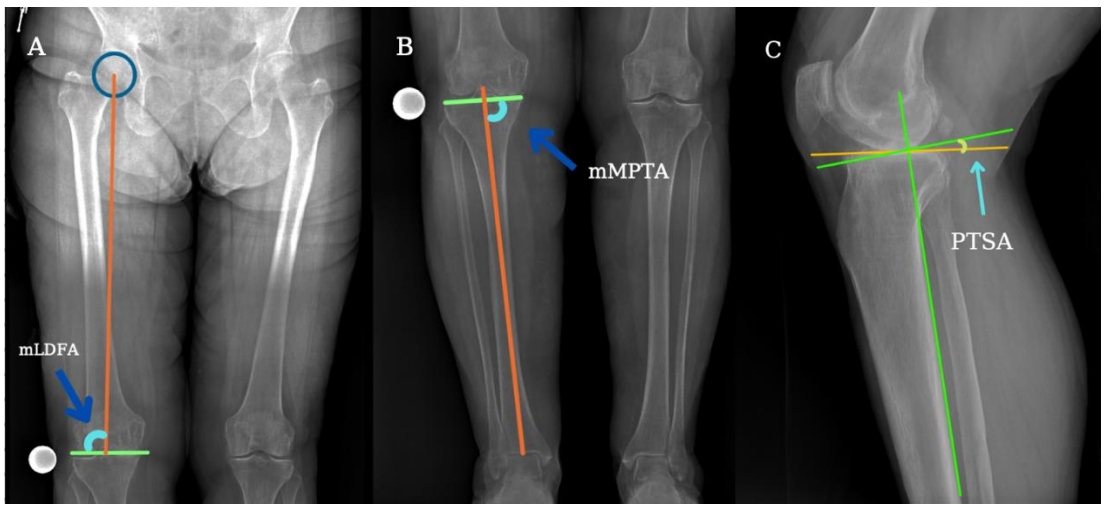
Travma sonrası alt ekstremitéde kırık mevcut olan hastalar, 20°den fazla 5°den az varus deformitesi olan hastalar, valgus deformitesi olanlar, bikompartmantal veya trikompartmantal artrozu olan hastalar çalışmaya dahil edilmemiştir.

Deformite analizi

PACS sisteminde alt ekstremité dizilim grafileri üzerinde mekanik akslar (Şekil 34), tibia AP grafilerinde mL DFA, mMPTA ve lateral diz grafilerinde PTSA'ları ölçülerek deformite analizleri yapıldı (Şekil 35).

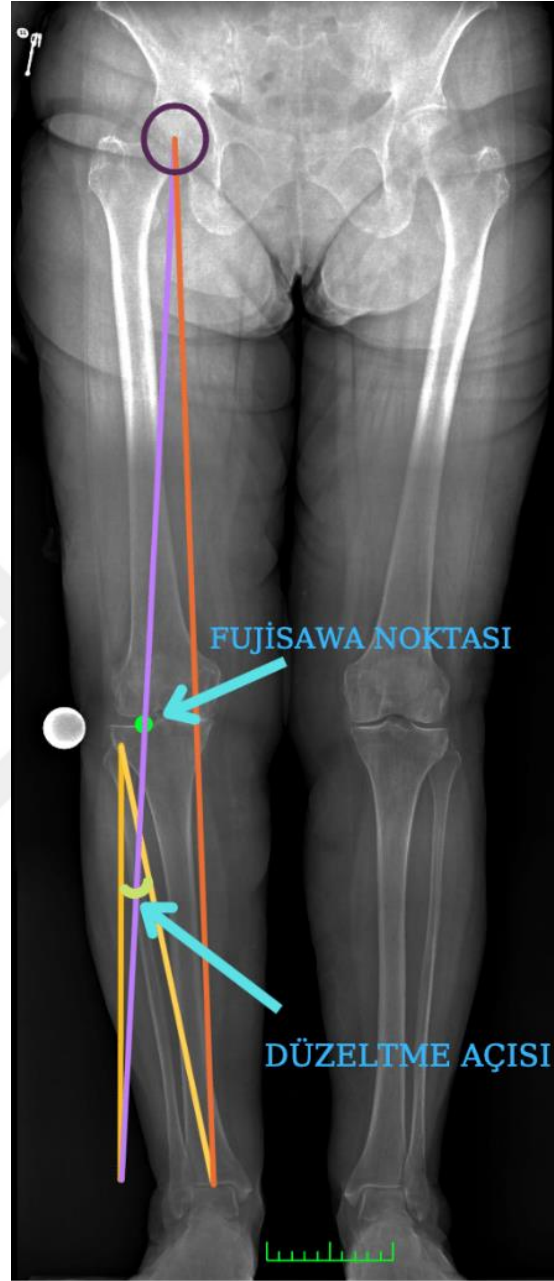


Şekil 34: Alt ekstremitte mekanik aksı



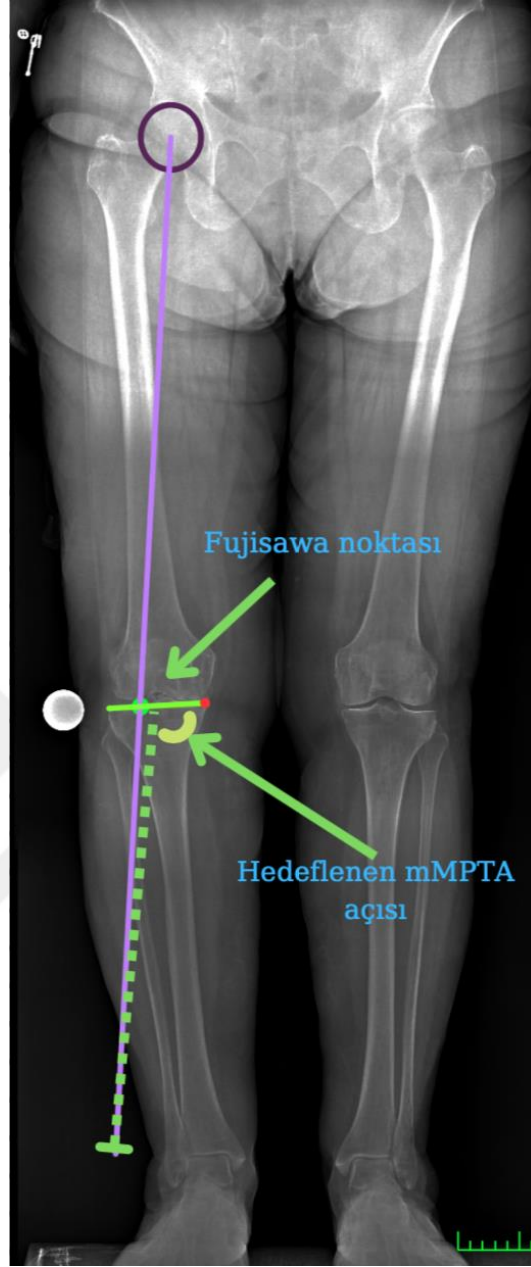
Şekil 35: mLDFA, mMPTA ve PTSA ölçümleri

Miniaci'nin deformite analiz yöntemi kullanılarak gerekli olan düzeltme açısı miktarları hesaplandı (Şekil 36).



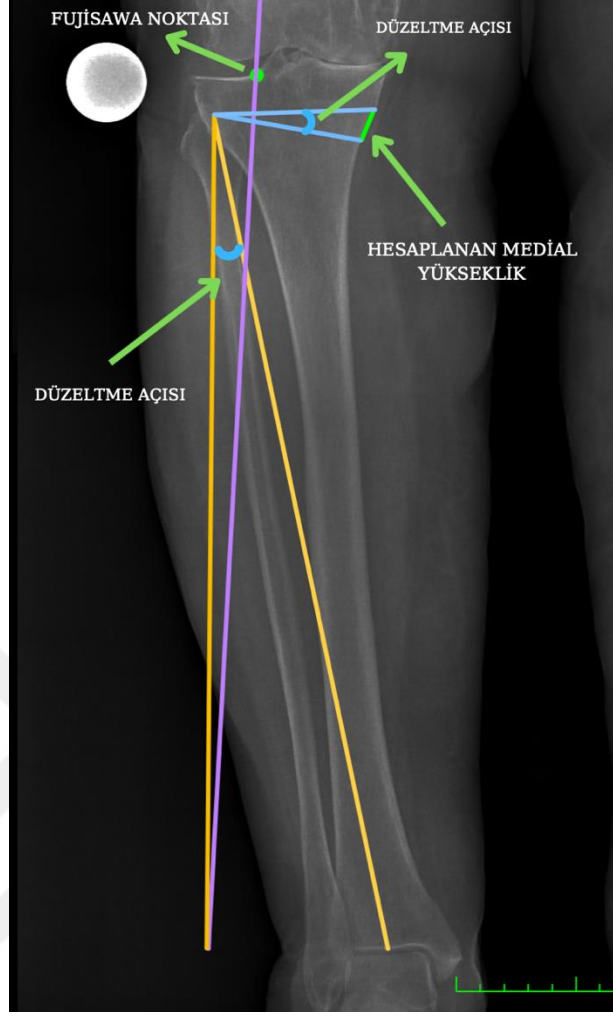
Şekil 36: Düzeltme açısının hesaplanması

Osteotomi sonrası hedeflenen mMPTA değerleri alt ekstremité mekanik aksı Fujisawa noktasından geçecek şekilde çizilerek hesaplandı (Şekil 37).



Şekil 37: Hedef mMPTA açısı ölçümü

Osteotomi sonrası oluşan medial açıklık osteotominin tibiadaki mediolateral genişliğine ve planlanan düzeltme açısına bağlıdır. Açılan boşluğun boyutlandırılması için Miniaci yöntemi ile belirlenen düzeltme açısına denk gelen medial osteotomi yüksekliği hesaplandı ve hedeflenen medial açıklık miktarı olarak tanımlandı (Şekil 38).

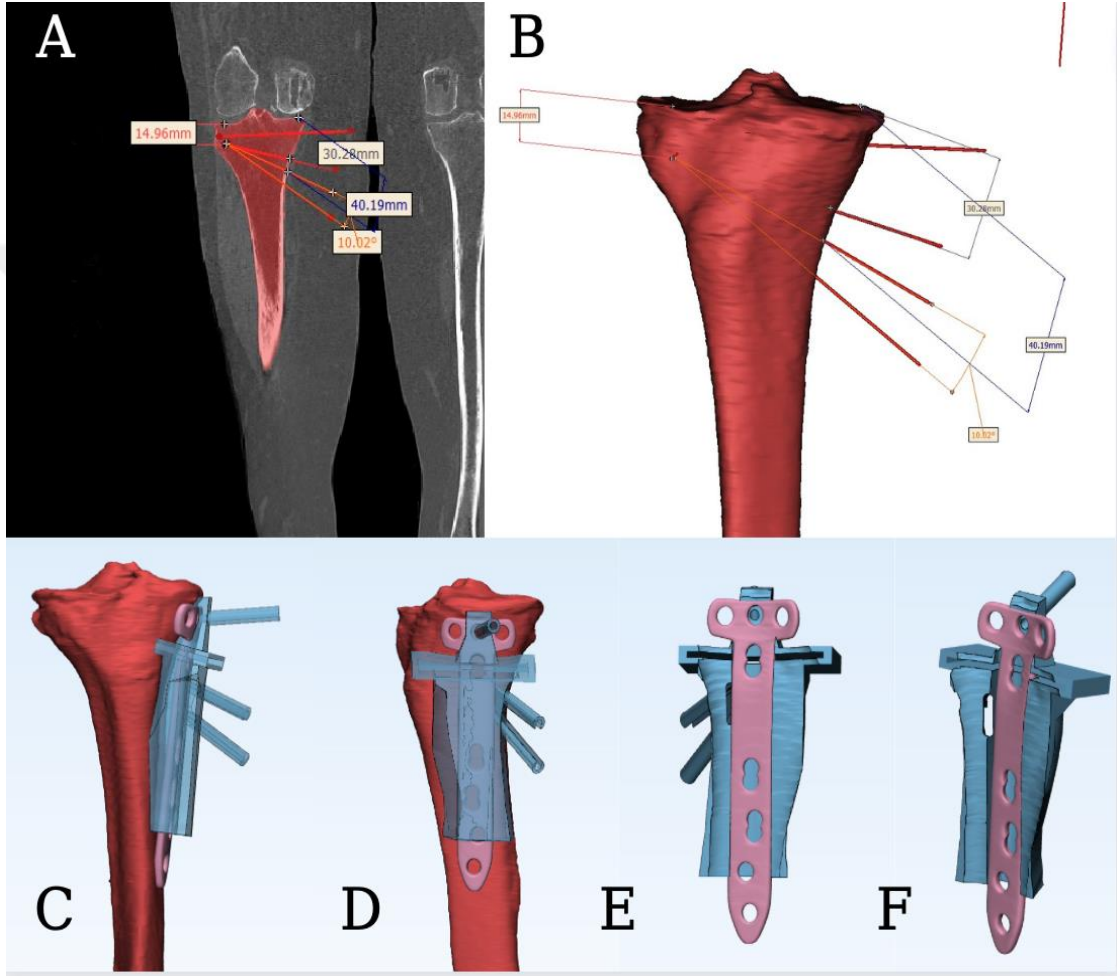


Şekil 38: Medial açıklık yüksekliğinin hesaplanması

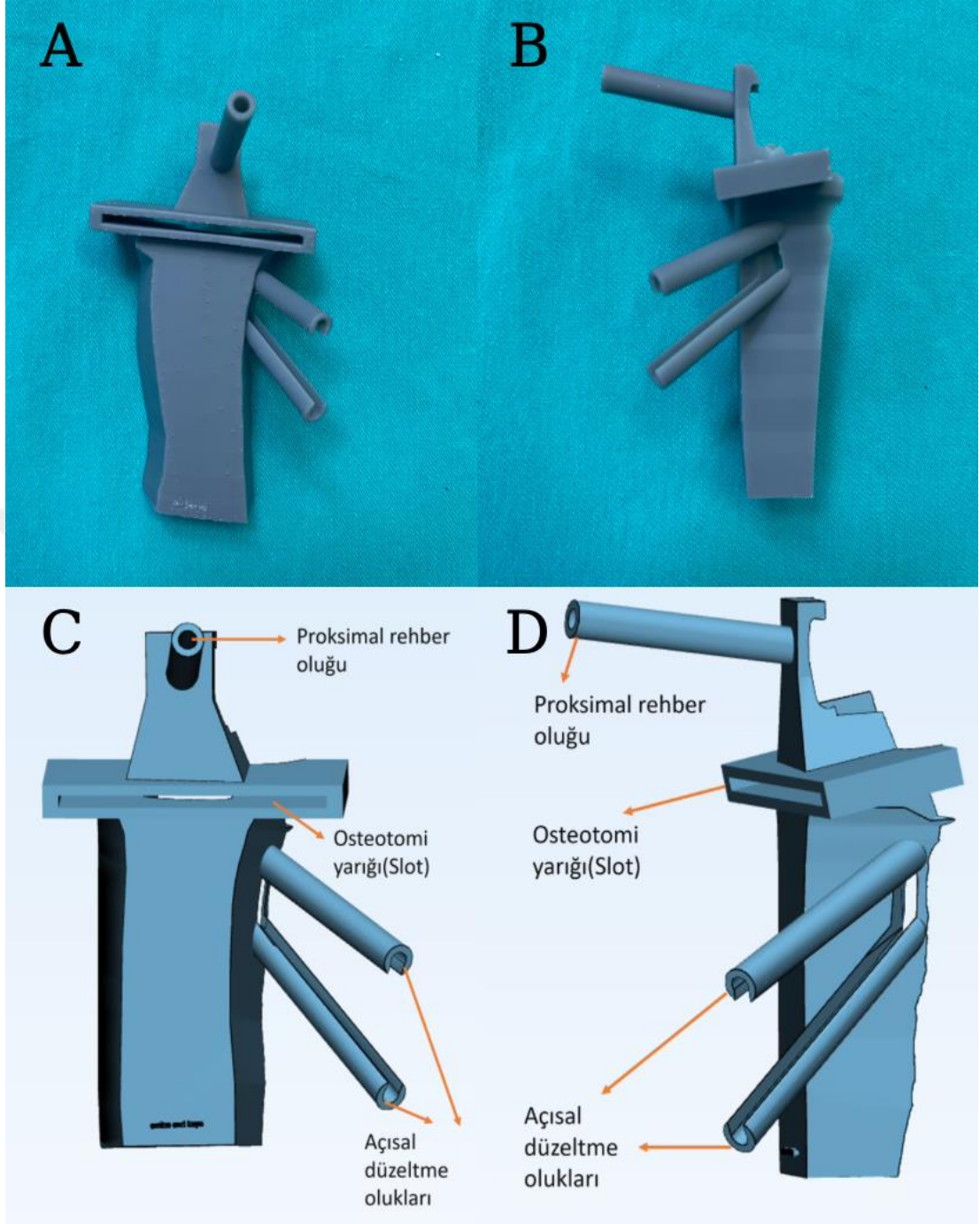
Tibia modeli ve osteotomi kılavuzunun tasarımı

Düzeltilme dereceleri hesaplandıktan sonra hastaların tomografi görüntüleri PACS sisteminden DICOM (Tıpta Dijital Görüntüleme ve İletişim) formatında alınarak bilgisayar ortamında Materialise Mimics (Materialise, Leuven, Belçika) programına aktarıldı ve alt ekstremitenin 3 boyutlu modelleri oluşturuldu. Oluşturulan model yardımı ile tibia anteromedialine tam uyum sağlayacak yüzeye sahip olan osteotomi kılavuzu tasarlandı. Bu kılavuz üzerinde oluşturulan osteotomi hattı tibia medial eklem yüzeyinden 3 cm distalden başlayarak lateralde eklem yüzeyinin 1.5 cm altında ve lateral tibial kortekste 0.5 cm menteşe bırakacak şekilde planlandı (Şekil 39 A-B). Osteotomi kılavuzu üzerinde hesaplanan düzeltme derecesi miktarında osteotomi hattında açılma sağlayacak vertikal bir oluk oluşturuldu (Şekil 40).

Osteotomi sonrası tibia medialinden uygulanacak olan proksimal tibia osteotomi plağının tomografisi çekildi ve 3 boyutlu modeli yine aynı program kullanılarak oluşturuldu. Bu 3 boyutlu olarak oluşturulan plak modeli ile plağın kesi kılavuzu iç yüzüne oturacak şekilde tasarlandı. Kesi kılavuzu tasarımları Uzm.Dr. Ahmet Metin Özsezen tarafından gerçekleştirildi (Şekil 39 C-D-E-F).



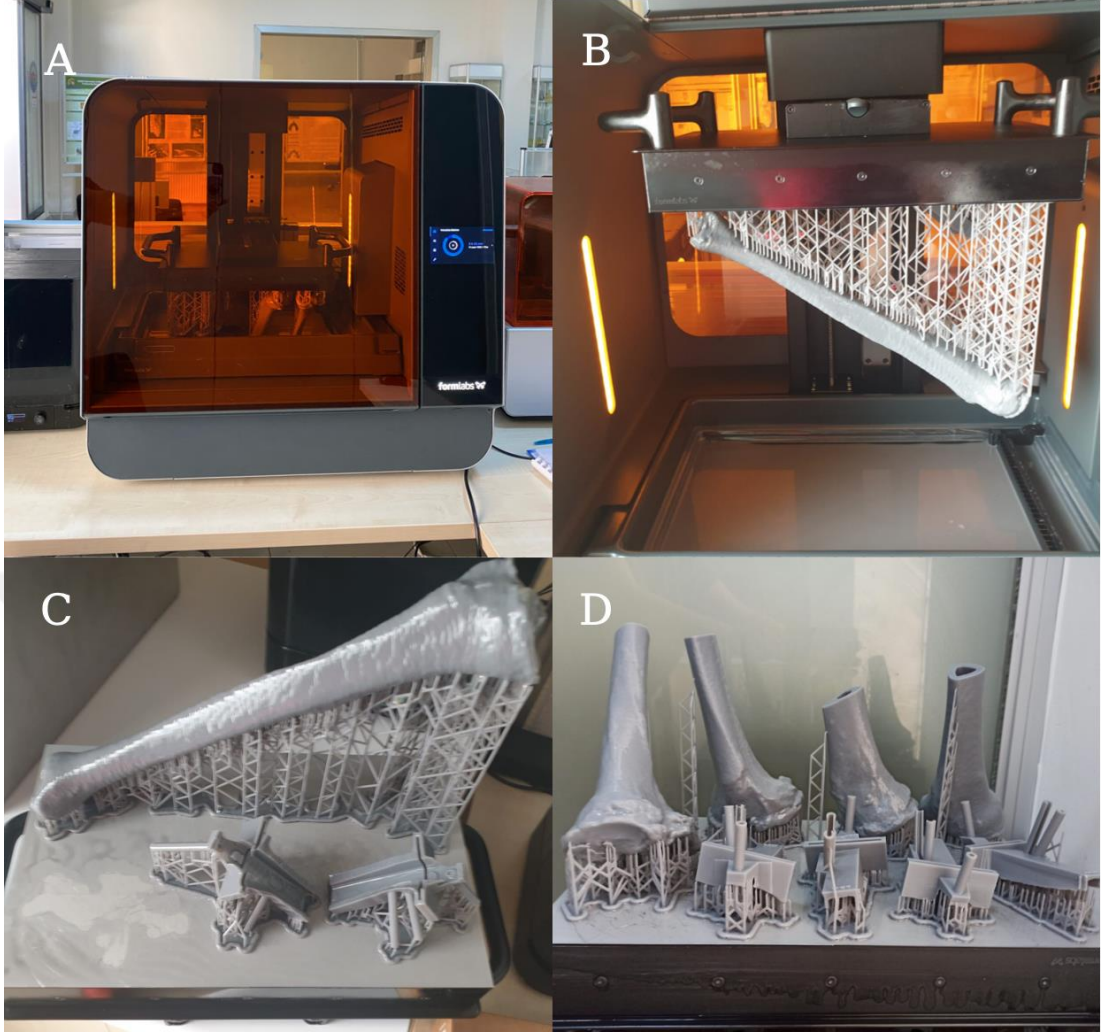
Şekil 39: Tibia modeli ve kesi kılavuzunun tasarlanması



Şekil 40: Kesi kılavuzu

Tibia modelinin ve osteotomi kılavuzunun 3D yazıcıda basımı

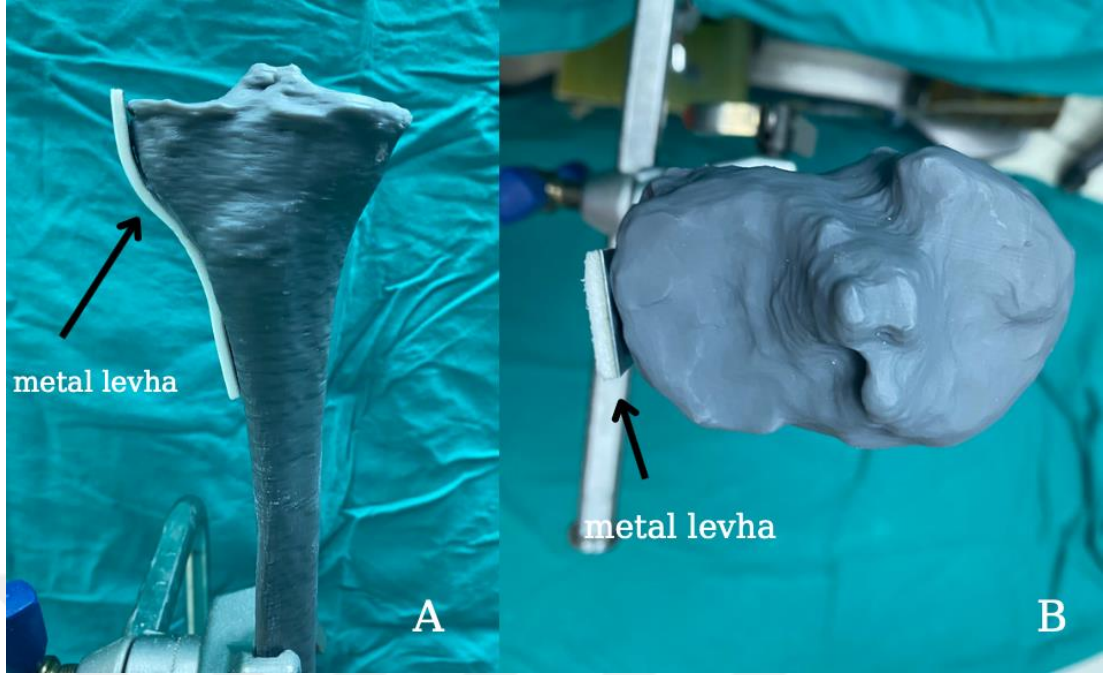
Oluşturulan tibia modeli ve osteotomi kılavuzunun STL (Stereo litografi) dosyaları Gülhane Tıp Fakültesi bünyesinde bulunan METÜM (Medikal Tasarım ve Üretim Merkezi) 'de Formlabs - Form 3L model 3D yazıcılar kullanılarak basıldı (Şekil 41).



Şekil 41: 3D yazıcıda basım işlemleri

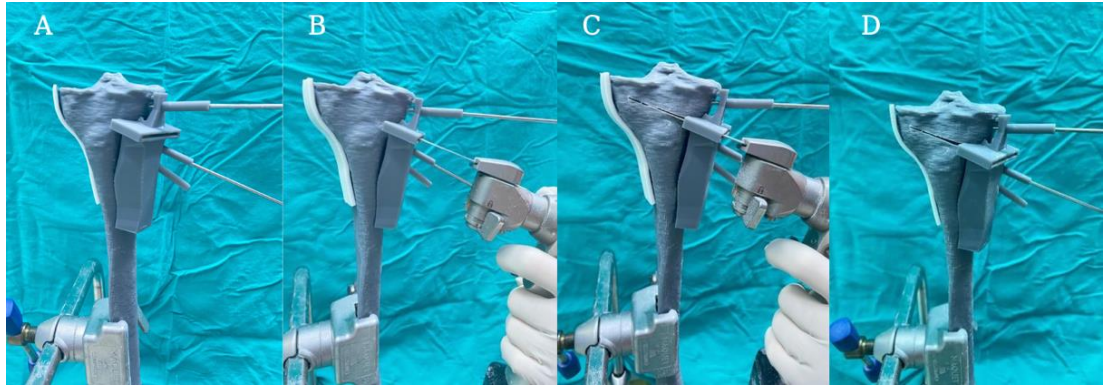
Osteotomilerin yapılması

Basımdan çıkan tibia modellerinin lateral korteksine periostu taklit etmek amacıyla geliştirdiğimiz ince metal levhalar monte edildi (Şekil 42).



Şekil 42: Metal levhanın uygulanması

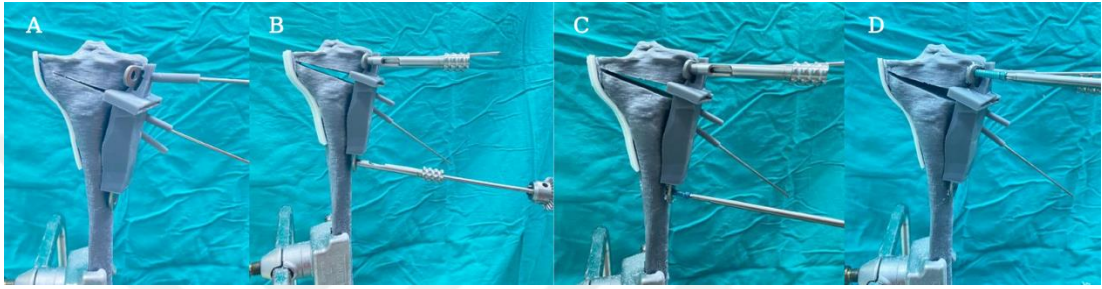
Tibia modelleri bir mengene düzeneğine yerleştirildi. Osteotomi kılavuzu tibia modelinin medialinde yüzeye tam oturacak şekilde konumlandırılıp K telleri ile sabitlendi. Kesi kılavuzu sabitlendikten sonra bir kesici motor yardımıyla osteotomi yapıldı (Şekil 43).



Şekil 43: Guide fiksasyonu ve osteotomi yapılması

Osteotominin ardından kesi kılavuzu çıkarıldı ve içerisinde bulunan oluğa yüksek tibial osteotomi plağı (Normmed, Türkiye) yerleştirilerek tekrar kılavuz yerine konuldu. Osteotomi aralığını genişletmek için osteotomlar sıralı olarak yerleştirildi.

Distraktör ile osteotomi hattının açılımı sağlandı. Kesi kılavuzu üzerinde hesapladığımız açıklığı sağlayacak oluğun proksimalinde bulunan K-teli distalde bulunan oluğuna oturduğunda gerekli açılma sağlanmış olarak kabul edildi. Açıklık sağlandıktan sonra kesi kılavuzu distalinde bulunan plağın distal deliğine bir adet ve proksimalde açıkta bulunan plak deliklerine iki adet olmak üzere toplamda 3 adet kilitli vida gönderildi. Kesi kılavuzu çıkarılarak bu pozisyonda proksimale 2 ve distale 3 adet daha kilitli vida uygulanarak fiksasyon sağlanmış oldu (Şekil 44).



Şekil 44: Osteotomi hattının açılması ve yüksek tibial osteotomi plağı (Normmed, Türkiye) ile fiksasyon

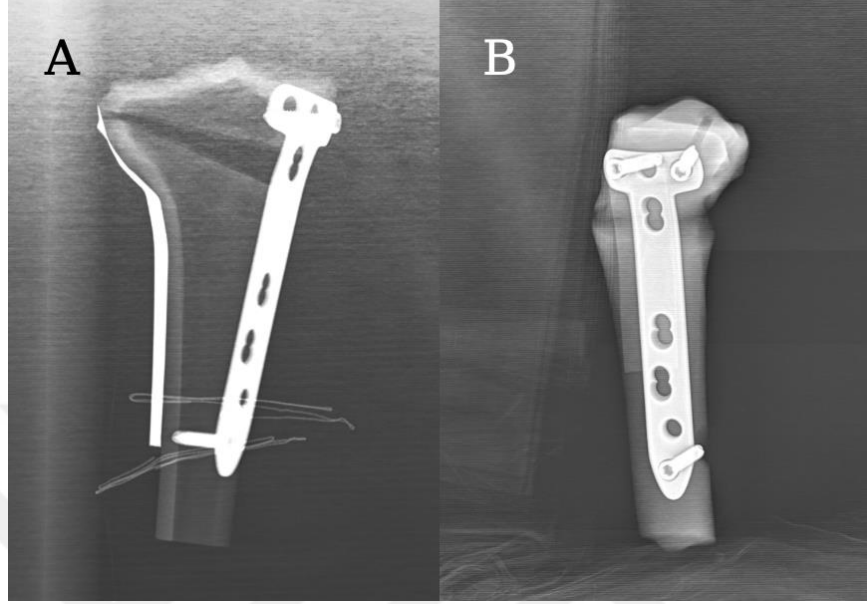
Toplam 20 adet tibia modeli üzerinde osteotomiler tamamlandı (Şekil 45) ve ardından postoperatif ölçümlere başlandı.



Şekil 45: 20 tibia modeline ait postoperatif görüntüler

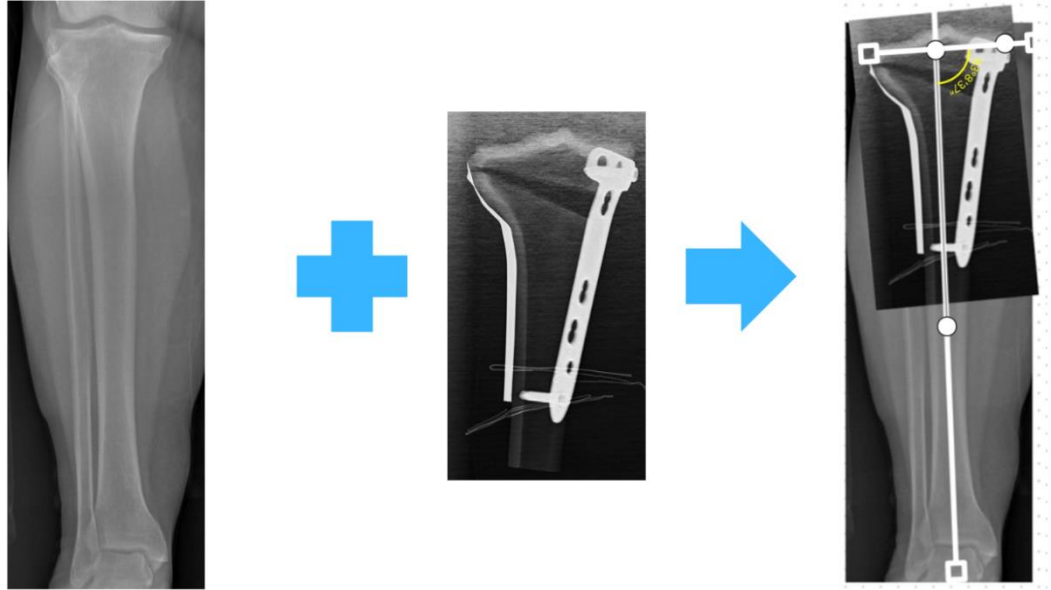
Osteotomi sonrası ölçümlerin yapılması

Osteotomi sonrası fiksasyonu tamamlanan tibia modellerinin AP-L grafileri çekildi (Şekil 46).



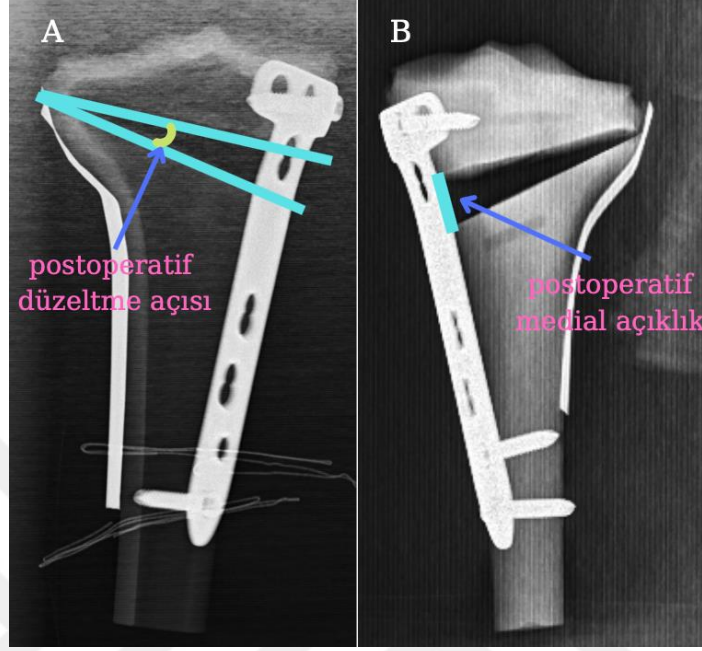
Şekil 46: Postoperatif AP (A) ve lateral (B) grafilер

Bu grafilерde tibia modelleri kısa segment olmasından dolayı mMPTA açısını ölçebilmek için Canva programının deneme sürümü kullanılarak postoperatif AP grafileri hastaların mevcut tüm tibia grafileri üzerine bindirilerek mMPTA açıları ölçüldü (Şekil 47).



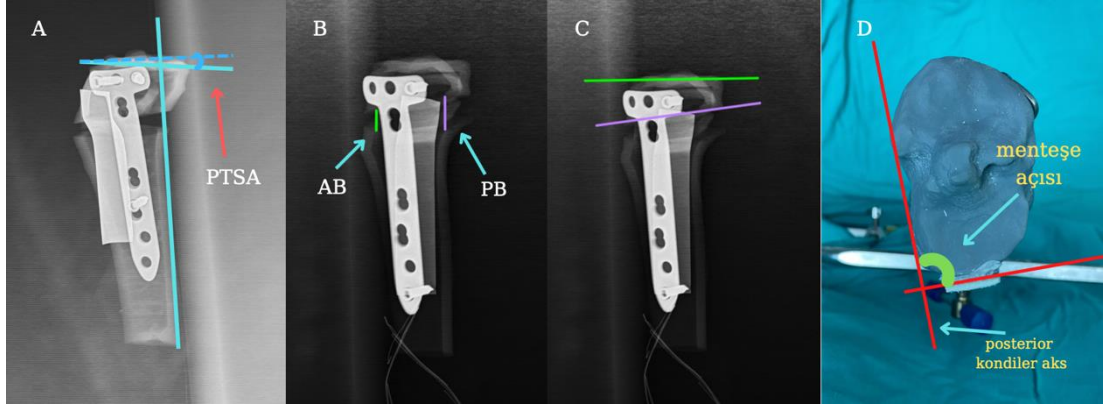
Şekil 47: Postoperatif mMPTA ölçümü

Yine AP grafilere üzerinden postoperatif düzeltme açısı ve medial açıklık yüksekliği ölçüldü (Şekil 48).



Şekil 48: Postoperatif düzeltme açısı (A) ve medial açıklık yüksekliği (B) ölçümü

Postoperatif lateral grafilere üzerinden PTSA'ları tekrar ölçüldü (Şekil 49A). Bu açılara ek olarak osteotomi hattının anteromedialindeki (tüberositas tibianın hemen mediali) açıklık ve posteromedialindeki açıklıklar ölçüldü ve anteromedial boşluk (AB) ile posteromedial boşluk (PB) oranları AB/PB hesaplandı (Şekil 49B). Sagittal plandaki osteotomi hattı ile tibianın medial eklem yüzü arasında açı hesaplandı ve anteriora ya da posteriora doğru eğimli olup olmaması not edildi (Şekil 49C). Tibia lateralinden uygulanan metal levhalar menteşe görevi gördüğü için bu metal levhalar ile posterior kondiler aks arasındaki açı hesaplandı ve menteşe açısı olarak adlandırıldı (Şekil 49D).



Şekil 49: Postoperatif PTSA (A), AB/PB (B), osteotomi hattının tibia medial eklem yüzüne göre eğimi (C), menteşe açısı (D) ölçümlerinin yapılması

İstatistiksel analiz

Sürekli verilere ilişkin tanımlayıcı istatistiklerde Ortalama Standart Sapma, Ortanca, (Min-Maks), kesikli verilerde ise sayı ve yüzde değerleri verildi. Sürekli verilerin normal dağılıma uygunluğunun incelenmesinde Shapiro-Wilk testinden yararlanıldı.

Normal dağılıma uyan verilerde preoperatif ve postoperatif ölçümlerinin karşılaştırılmasında Bağımlı gruplarda t test (Paired Samples t test) kullanıldı.

Preoperatif-postoperatif PTSA değişim değerleri ile anteromedial-posteromedial açıklık oranı, menteşe açısı değerleri arasındaki ilişkiler Spearman's Korelasyon Katsayısı ile incelendi.

Hedef mMPTA ile Postoperatif mMPTA ve hesaplanan düzeltme açısı ile postoperatif düzeltme açısı değerleri için uyum düzeyleri Bland & Altman uyum sınırları ve Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı (ICC) kullanılarak incelendi.

Değerlendirmelerde IBM SPSS version 20 (Chicago, IL, USA) programı kullanıldı ve istatistiksel anlamlılık sınırı olarak $p < 0,05$ kabul edildi.

BULGULAR

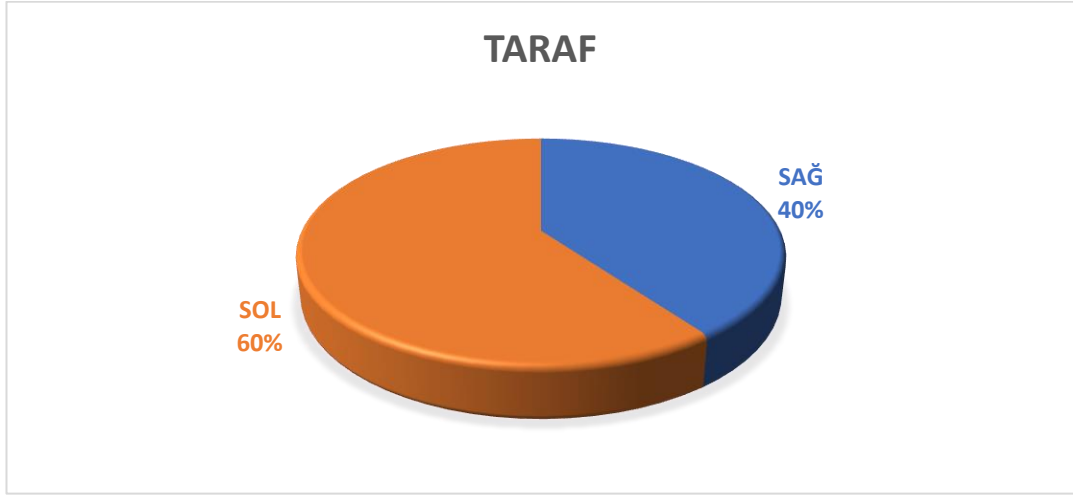
Çalışmaya dahil edilen 20 hastanın yaş ortalaması 65.30 ± 10.67 yıl olup en düşük hasta yaşı 47 en yüksek ise 84 idi. Hastaların %85'i kadın, %15'i erkekti ve %60'ının sağ, %40'nın sol tibiasına osteotomi yapıldı.

Tablo 3: Hastaların özellikleri

	Mean $\pm$ SD Median (Min-Max) n (%)
Yaş (yıl)	65.30 ± 10.67 64.5 (47-84)
Cinsiyet	
Erkek	3 (15)
Kadın	17 (85)
Taraf	
Sağ	12 (60)
Sol	8 (40)



Şekil 50: Hastaların cinsiyet dağılımı



Şekil 51: Uygulanan osteotomi taraf dağılımı

Tablo 4: Tibialara ilişkin mMPTA değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	Mean±SD	Median (Min-Max)
Preop mMPTA	85.26°±1.85°	85.3° (82-88.4)
Hedef mMPTA	96.25°±3.52°	95.7° (90-102.7)
Postop mMPTA	96.40°±3.25°	96.9° (90.4-103.4)
Δ PTS mMPTA	0.15°±1.09°	0.4° (-2.4 – 1.8)

NOT: Fark mMPTA değeri postoperatif mMPTA değerinden hedef mMPTA çıkarılarak hesaplandı

Osteotomi öncesi mMPTA değerleri 85.26°±1.85° ve hedeflenen mMPTA değerleri 96.25°±3.52° iken osteotomi sonrası hesaplanan mMPTA değerleri 96.40°±3.25 ° olarak ölçülmüştür. Osteotomi öncesi hedeflenen mMPTA değerleri ile osteotomi sonrası hesaplanan mMPTA değerleri arasında ortalama 0.15°±1.09°lik bir fark olduğu bulundu.

Tablo 5: Hedef mMPTA ile postoperatif mMPTA değerleri arasındaki uyum

	ICC	p	95% Güven Aralığı	
			Alt Sınır	Üst Sınır
mMPTA	0.948°	<0.001	0.874	0.979

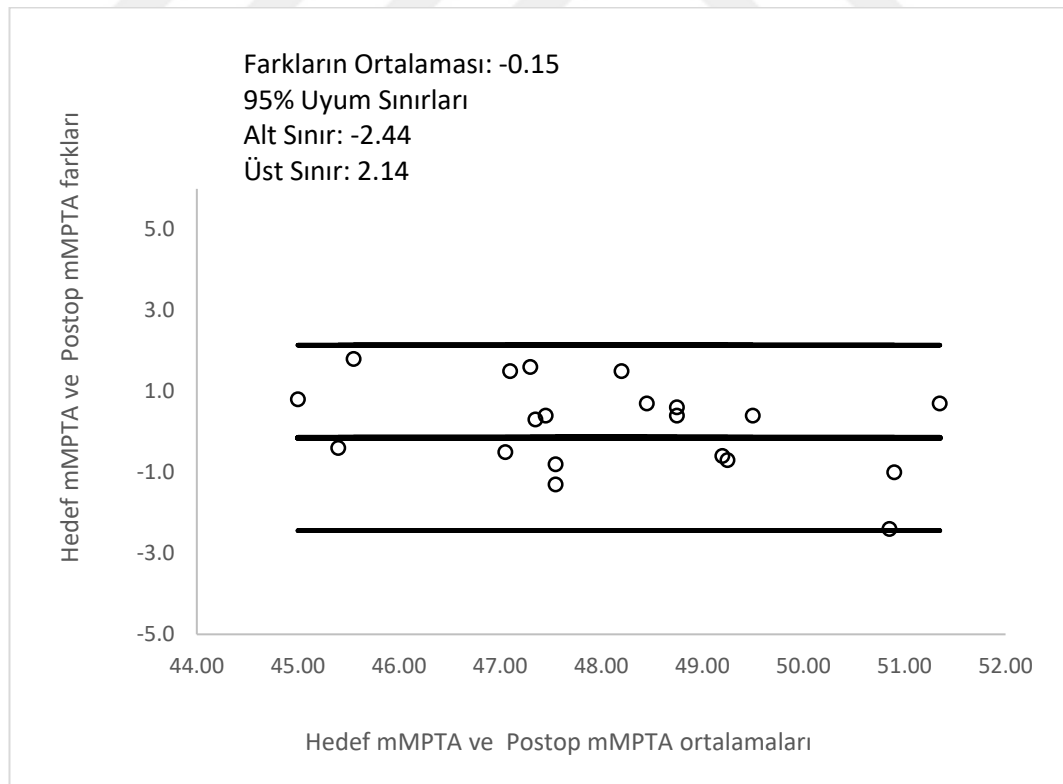
ICC: Sınıf içi korelasyon Katsayısı

Hedef mMPTA ile postoperatif mMPTA değerleri arasında uyum saptandı ($p<0.001$). ICC katsayısı 0.948 olarak bulundu.

Tablo 6: Hedef mMPTA ile Postop mMPTA ölçümlerinin Bland & Altman yöntemine göre uyumu

	Farkların			Limits of Agreement(95%)	
	N	Ortalama	S.Sapma	Lower	Upper
Hedef mMPTA & Postop mMPTA	20	-0.15	1.094	-2.44	2.14

Postoperatif mMPTA değerlerinin hedef mMPTA değerlerine göre 2.14° daha küçük, 2.44° daha büyük olduğu bulundu.



Şekil 52: Postoperatif mMPTA ölçümü için Bland & Altman grafiği

Tablo 7: Tibianın preoperatif ve postoperatif PTSA ve preoperatife göre postoperatif PTSA değişim değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	Mean±SD	Median (Min-Max)
Preop PTSA	7.43°±3.89°	7.4° (0.1-15.2)
Postop PTSA	7.66°±3.71°	7.9° (0.8-15.6)
Δ PTSA	0.23°±0.78°	0.24° (-1.66 – 1.62)

Δ PTS: Preoperatife göre postoperatif değişim (fark): Postoperatif PTSA değerinden preoperatif PTSA çıkarılarak hesaplandı

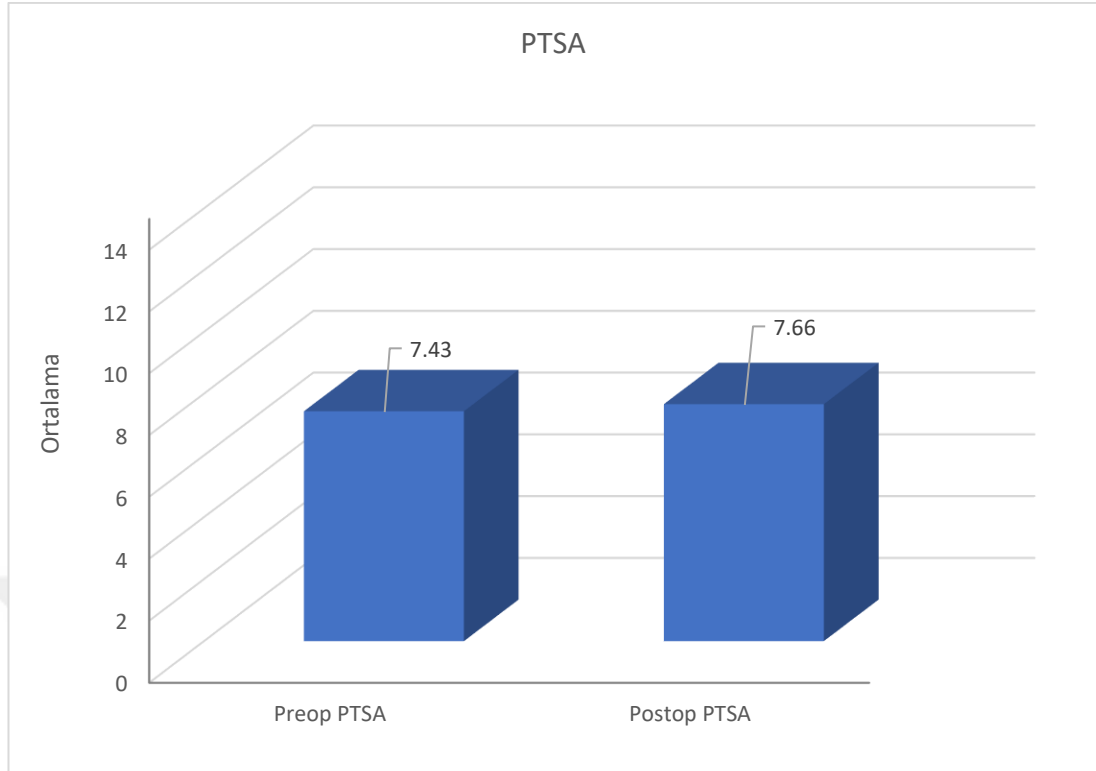
Preoperatif hesaplanan PTSA değerleri ortalama 7.43°±3.89° iken postoperatif PTSA değerleri 7.66°±3.71° idi ve fark ortalama 0.23°±0.78° olarak hesaplandı.

Tablo 8: Tibianın preoperatif ve postoperatif PTSA değerlerinin karşılaştırılması

	Preop PTSA	Postop PTSA	p
	Mean ± SD Median (Min-Max)	Mean ± SD Median (Min-Max)	
PTSA	7.43°±3.89° 7.4° (0.1-15.2)	7.66°±3.71 7.9° (0.8-15.6)	0.193*

* Paired Samples t test

Preoperatif ve postoperatif PTSA ölçümleri arasında fark bulunmadı (p>0.05).



Şekil 53: Preoperatif ve postoperatif PTSA değerleri

Tablo 9: Düzeltme açısı değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

	Mean±SD	Median (Min-Max)
Hesaplanan Düzeltme açısı	12.49°±4.94°	11.2° (6.4-22.7)
Postop Düzeltme açısı	12.42°±4.70°	10.3° (6.3-21.1)
Fark Δ Düzeltme açısı	0.07°±0.82°	0.06° (-1.6 – 1.01)

Preoperatif hesaplanan düzeltme açısı değerleri ortalama 12.49°±4.94°, postoperatif düzeltme açısı değerleri ortalama 12.42°±4.70° olarak ölçüldü ve fark 0.07°±0.82° olarak hesaplandı.

Tablo 10: Hesaplanan düzeltme açısı ile postoperatif düzeltme açısı değerleri arasındaki uyum

	ICC	p	95% Güven Aralığı	
			Alt Sınır	Üst Sınır
Düzeltme açısı	0.986	<0.001	0.964	0.994

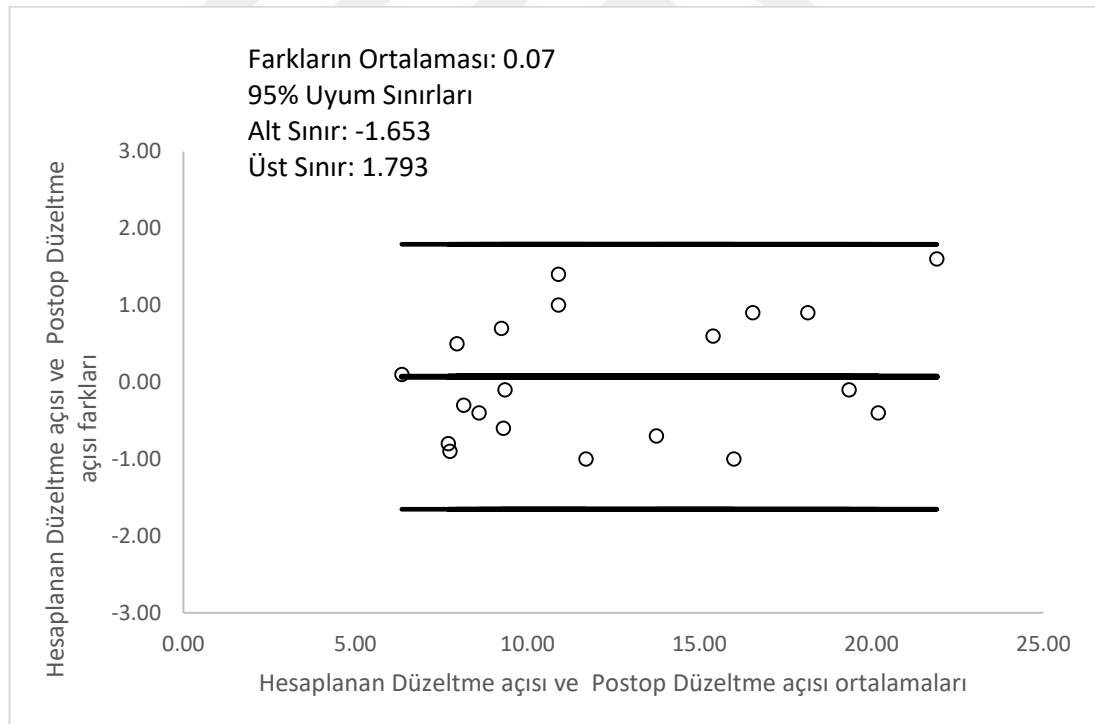
ICC: Sınıf içi korelasyon Katsayısı

Hesaplanan düzeltme açısı ile postoperatif düzeltme açısı değerleri arasında uyum saptandı ($p<0.001$). ICC katsayısı 0.986 olarak bulundu.

Tablo 11: Hesaplanan düzeltme açısı ile postoperatif düzeltme açısı ölçümlerinin Bland & Altman yöntemine göre uyumu

	Farkların			Limits of Agreement(95%)	
	N	Ortalama	S.Sapma	Lower	Upper
Hesaplanan Düzeltme açısı & Postop Düzeltme açısı	20	0.070	0.823	-1.653	1.793

Postoperatif düzeltme açısı değerleri hesaplanan düzeltme açısı değerlerine göre 1.793° daha küçük, 1.653° daha büyük olduğu bulundu.



Şekil 54: Postoperatif Düzeltme açısı ölçümü için Bland & Altman grafiği

Tablo 12: Hesaplanan medial açıklık yüksekliği ile postoperatif medial açıklık yüksekliği değerlerinin karşılaştırılması

	Hesaplanan medial açıklık yüksekliği	Postop medial açıklık yüksekliği	p
	Mean $\pm$ SD Median (Min-Max)	Mean $\pm$ SD Median (Min-Max)	
AÇIKLIK	12.10 $\pm$ 4.66° 10.5° (7-21)	12.27 $\pm$ 4.49° 10.2° (7.5-21)	0.201*

* Paired Samples t test

Preoperatif hesaplanan medial açıklık yüksekliği 12.10 $\pm$ 4.66° ve postoperatif elde edilen medial açıklık yüksekliği 12.27 $\pm$ 4.49° olup aralarındaki fark ortalama 0.17° olarak hesaplandı.

Hesaplanan medial açıklık yüksekliği ve postoperatif medial açıklık yüksekliği ölçümleri arasında fark bulunmadı (p>0.05).



Şekil 55: Hesaplanan medial açıklık yüksekliği ve postoperatif medial açıklık yüksekliği

Tablo 13: Anteromedial-posteromedial açıklık oranı değerleri ile PTSA değişim değerleri arasındaki korelasyon

	Açıklık oranı	
	r*	p
Δ PTSA	0.234	0.321

*Spearman's Korelasyon Katsayısı

Açıklık oranı ile preop-postop PTSA değişim değerleri arasında korelasyon bulunmadı. ($p>0.05$)

Tablo 14: PTSA ile kesi hattı arasındaki açının anteriora ya da posteriora eğimli olma dağılımları

	n (%)
PTS ile kesi hattı arasındaki açının eğimi	
Anterior	12 (60)
Posterior	8 (40)

Kesi hattı açısı 12 hastada PTS'ye göre anteriora, 8 hastada posteriora eğimli olarak hesaplandı.

Tablo 15: PTSA ile kesi hattı arasındaki açının anterior ya da posteriora eğimli olma durumu ile preop-postop PTSA değişim değerlerinin karşılaştırılması

	Anteriorda Açıklık	Posteriorda açıklık	
	Mean ± SD Median (Min-Max)	Mean ± SD Median (Min-Max)	p
Δ PTSA	0.10±0.55 0.13 (-0.80 – 0.80)	0.43±1.05 0.70 (-1.66 – 1.62)	0.218*

* Mann Whitney U testi

Kesi hattı açısı anteriora ya da posteriora eğimli olan hastaların ile preop-postop PTSA değişim değerleri arasında fark bulunmadı.

Tablo 16: Anteromedial açıklık, posteromedial açıklık, açıklık oranı ve menteşe açılarının tanımlayıcı istatistikleri

	Mean±SD	Median (Min-Max)
Anteromedial açıklık	8.37±3.38	7.5 (4-15)
Posteromedial açıklık	12.27±4.49	10.2 (7.5-21)
Açıklık oranı	67.17±8.17	68.3 (50-77.7)
Menteşe açısı	92.17±17.64	94.2 (46.6-127)

Postoperatif ölçülen anteromedial açıklık ve posteromedial açıklık oranları 67.17 ± 8.17 olarak ölçüldü. Ortalama menteşe açısı 92.17 ± 17.64 olarak hesaplandı.

Tablo 17: Menteşe açısı değerleri ile PTSA değişim değerleri arasındaki korelasyon

	Menteşe Açısı	
	r	p
Δ PTSA	0.229	0.332

Menteşe açısı değerleri ile preop-postop PTSA değişim değerleri arasında korelasyon bulunmadı ($p > 0.05$).

Tablo 18: Anteriora ve posteriora eğimli olan kesi hattı ile PTSA arasındaki açıların tanımlayıcı istatistikleri

	Mean $\pm$ SD	Median (Min-Max)
Anterior PTSA kesi hattı arasındaki açı (n=12)	$4.80^\circ \pm 2.52^\circ$	4.5° (0.1-8.3)
Posterior PTSA kesi hattı arasındaki açı (n=8)	$2.44^\circ \pm 2.41^\circ$	1.5° (0.2-6.2)

Tablo 19: Anterior ve posteriora eğimli olan kesi hattının PTSA ile arasındaki açıların Δ PTSA ile korelasyonu

	Δ PTS	
	r*	p
Anterior PTSA kesi hattı arasındaki açı	0.039	0.905
Posterior PTSA kesi hattı arasındaki açı	0.000	1.000

*Spearman's Korelasyon Katsayısı

Anterior ve posteriora eğimli olan kesi hattı ile PTSA arasındaki açılar ile Δ PTSA değerleri arasında fark bulunmadı ($p > 0.05$).

TARTIŞMA

Diz eklemünde özellikle genç-erişkin kişilerde varus deformitesi zemininde meydana gelen erken evre gonartrozların tedavisinde son yıllarda YTO tekniği giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır. YTO tekniğiyle varus gonartrozu sonrası tibia medial eklem yüzeyinde meydana gelen orantısız yük artışının tibia lateral kompartmanına aktararak kompartmanlar arasında bir yük dengelemesi sağlanması ve böylelikle ağrısız, fonksiyonel bir diz eklemi elde edilmesi amaçlanmaktadır [82].

YTO tekniği 1960'larda sıklıkla kapalı kama şeklinde tibia lateralinden uygulanırken son zamanlarda kilitli plak-vida teknolojisindeki gelişmeler ve medial açık kama tekniğinin daha az komplikasyon ve daha doğru düzeltme dereceleri elde etmek gibi avantajlarının ortaya konulması ile MAKYTO tekniği daha popüler hale gelmiştir [83].

YTO cerrahisi sonrası başarı; doğru hasta seçimine, doğru cerrahi teknik uygulanmasına, ameliyat öncesi titiz bir planlama ile koronal ve sagittal planlardaki deformite analizlerinin doğru yapılabilmesine bağlıdır [11, 84]. Cerrahi endikasyonlarının yanlış konulması, ameliyat öncesi yapılan deformite analizlerinin ve seçilen cerrahi tekniğin hatalı olması gibi nedenlerle tedaviler başarısızlıklarla sonuçlanmaktadır [84] (Tablo 20).

Sadece anatomik işaretleri ve cerrahi içinde floroskopiye kullanarak (konvansiyonel yöntem) tibial eğim (slope) ve ekstansör mekanizmayı etkilemeden ideal deformite düzeltme miktarını elde edebilmek bu teknikte cerrahlar için en büyük problemidir [85, 86]. Konvansiyonel yöntemlerde osteotomi hattını ideal seviyede açabilmek için medial açıklık yüksekliğinin ameliyat sırasında cetvel ile ölçümü, kablo yöntemi kullanılarak mekanik aksı tibia platosunda istenilen noktadan geçirmeye çalışmak gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu standart enstrümantasyonlar kullanılarak hem frontal hem de sagittal planda deformite düzeltmenin kontrolü oldukça zordur [87-89]. Seong-Dae Yoon ve ark yaptıkları çalışmalarında intraoperatif kablo yöntemiyle deformite düzeltimi sağladıkları konvansiyonel MAKYTO tekniğiyle ile Miniaci metodunu kullandıkları 32 hastanın sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Her iki grupta da

Tablo 20: YTO komplikasyonları

Yazar	Yayın	Yılı	Komplikasyon
Sung-Sahn Lee	Avoiding Overcorrection to Increase Patient Satisfaction After Open Wedge High Tibial Osteotomy	2022	Aşırı düzeltme
Christoph B Marti	Accuracy of frontal and sagittal plane correction in open-wedge high tibial osteotomy	2004	Yetersiz düzeltme PTSA artışı
Maxim Van den Bempt	How accurately does high tibial osteotomy correct the mechanical axis of an arthritic varus knee? A systematic review	2016	Yetersiz düzeltme
Seong-Dae Yoon	Comparison of Cable Method and Miniaci Method Using Picture Archiving and Communication System in Preoperative Planning for Open Wedge High Tibial Osteotomy	2016	Yetersiz düzeltme
Christian Konrads	Iatrogenic ischiofemoral impingement due to high tibial osteotomy with overvalgization: a case report	2022	Aşırı düzeltme (iskiofemoral sıkışma)
Matthias Jacobi	Factors influencing posterior tibial slope and tibial rotation in opening wedge high tibial osteotomy	2014	Slope artışı Rotasyon
Dong Won Suh	Biplane Medial Opening-Wedge High Tibial Osteotomy Increases Posterior Tibial Slope more than Uniplane Osteotomy	2022	Slope artışı
Metin Özalay	The correlation of correction magnitude and tibial slope changes following open wedge high tibial osteotomy	2008	Slope artışı
J. Robert Giffin	Effects of increasing tibial slope on the biomechanics of the knee	2004	Slope artışı
Seung-Suk Seo	Complications and Short-Term Outcomes of Medial Opening Wedge High Tibial Osteotomy Using a Locking Plate for Medial Osteoarthritis of the Knee	2016	Lateral menteşe kırığı
Hiroyasu Ogawa	Effect of Wedge Insertion Angle on Posterior Tibial Slope in Medial Opening Wedge High Tibial Osteotomy	2016	Slope artışı
A. Ducat	Posterior tibial slope changes after opening- and closing-wedge high tibial osteotomy: A comparative prospective multicenter study	2011	Slope artışı
Matthias Jacobi	Factors influencing posterior tibial slope and tibial rotation in opening wedge high tibial osteotomy	2013	Slope artışı Rotasyon
Takahiro Sasaki	Rotational Changes in the Distal Tibial Fragment Relative to the Proximal Tibial Fragment at the Osteotomy Site after Open-Wedge High-Tibial Osteotomy	2020	Rotasyon
Wenru Ma	Use of a suspended and straightened knee joint position when fixing steel plates can prevent the increase in postoperative posterior tibial slope after open-wedge high tibial osteotomy	2021	Slope artışı

ağırlık taşıma çizgisinin ameliyat sonrasında tibia platosunun %62,5'lik kısmına denk gelecek şekilde olmasını hedeflemişlerdir. Konvansiyonel grupta ağırlık taşıma çizgisinin tibia platodaki ameliyat öncesi ortalama 11 ± 7 'den ameliyat sonrası ortalama $47 \pm 7,4$ 'e, Miniaci grubunda ise ameliyat öncesi $12,7 \pm 4,9$ 'dan ameliyat sonrası ortalama $59.5 \pm 5,3$ olarak düzeltildiğini göstermişlerdir. Yetersiz düzeltme, kabul edilebilir düzeltme ve aşırı düzeltme sayıları konvansiyonel grupta sırasıyla 8:11:1 olarak, Miniaci grubunda ise sırasıyla 3:23:6 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre Miniaci metodu kullanılarak yapılan osteotomilerin konvansiyonel gruba göre daha doğru bir deformite düzeltme sağladığını savunmuşlardır [90]. Van den Bempt ve ark. yaptıkları bir sistematik derleme çalışmasında konvansiyonel yöntemle navigasyon sistemini karşılaştırmışlar ve konvansiyonel yöntemle yapılan MAKYTO'nun doğruluğunun 14 kohorttan 8'inde %75'in altında olduğunu göstermişlerdir [91]. R. Iorio ve ark kablo yöntemi kullanarak yaptıkları YTO cerrahisinde %23 hastada kabul edilebilir aralıkta düzeltme elde etmişken [92], Justin Chang ve ark kablo yöntemi kullandıkları YTO cerrahilerinde %66.2 oranında kabul edilebilir aralıkta düzeltme sağlamışlardır [93].

Deformite düzeltmek bu hatalar ve eksikliklerden dolayı konvansiyonel yöntemle uygulanan YTO teknikleri sorgulanır hale gelmiştir [94]. Bizim çalışmadaki amacımız tasarlamış olduğumuz 3D baskılı kişiselleştirilmiş kesi kılavuzu yardımıyla daha mükemmel ve hatasız bir düzeltme elde etmek ve bu teknikle yaptığımız MAKYTO ile frontal düzlemdeki deformite düzeltmedeki doğruluğunu ve sagittal düzlemdeki PTSA'ya olan etkisini araştırmaktır.

Literatürdeki benzer çalışmalara baktığımızda Yunhe Mao ve ark 19 konvansiyonel yöntemle yapılan MAKYTO ile 18 kişiselleştirilmiş kesi kılavuzu (KKK) ile yapılan MAKYTO tekniği karşılaştırmışlar. Her iki grup arasında preoperatif hedeflenen mMPTA değerlerini postoperatif mMPTA değerleriyle karşılaştırmışlardır. Preoperatif hedeflenen mMPTA değerleri ile postoperatif elde edilen mMPTA değerleri arasında KKK grubunda $0.1^\circ \pm 0.4^\circ$, konvansiyonel grupta $1.2^\circ \pm 1.4^\circ$ fark bulmuşlardır. mMPTA değerlerine bakıldığında KKK kullanılan grubun

konvansiyonel gruba göre daha küçük bir deformite düzeltme hatasına sahip olduğunu göstermişlerdir [95]. Mathias Donnez ve ark KKK kullanarak 10 taze donmuş kadavra üzerinde MAKYTO cerrahisi uyguladıkları çalışmalarında hedef mMPTA ve postoperatif mMPTA arasında $0.2^{\circ} \pm 0.3^{\circ}$ fark bulmuşlardır [96].

Wouter Van Genechten ve ark'nın çalışmasında hastanın deformitesini düzeltecek ölçüde tasarladıkları ve 3D olarak ürettikleri kamaları kullanarak 10 hastaya MAKYTO uygulamışlardır. Hedef mMPTA değerlerini postoperatif mMPTA değerleriyle karşılaştırdıkları çalışmalarında mMPTA için $1.3^{\circ} \pm 1.1^{\circ}$ fark bulmuşlardır [97].

Maximilian Jörgens ve ark 13 kadavraya BT çekmiş ve bu BT görüntüleri üzerinden tibia modeli oluşturup 3D yazıcıda basım sonrası elde ettikleri tibia modelleri üzerinden MAKYTO tekniğini uygulamışlardır. Sadece osteotomi hattını belirleyen bir kesi kılavuzu tasarlayıp operasyonu bu kılavuz yardımıyla uygulamışlardır. Hedef mMPTA ve postoperatif mMPTA değerleri arasında $0.57^{\circ} \pm 0.27^{\circ}$ fark bulmuşlardır [98].

Biz de çalışmamızda koronal düzlemdeki düzeltme miktarını ölçmek ve postoperatif düzeltme doğruluğumuzu hesaplayabilmek için preoperatif mMPTA, hedeflenen mMPTA ve postoperatif mMPTA değerleriyle Miniaci metodu'nu kullanarak hesapladığımız hedeflenen düzeltme açısını ve postoperatif elde ettiğimiz düzeltme açısı değerlerini ölçtük. Koronal düzeltme miktarımızı istatistiksel olarak anlamlandırabilmek için postoperatif mMPTA değerlerinden hedeflenen mMPTA değerlerini ve hesaplanan düzeltme açısı değerlerinden postoperatif düzeltme açısı değerlerini çıkararak ortalamasını aldık. Biz sonuçlarımızda hedeflenen mMPTA ile postoperatif mMPTA değerleri arasında $0.15^{\circ} \pm 1.09^{\circ}$ fark bulduk ve hedef mMPTA ile postoperatif mMPTA değerleri arasında istatistiksel olarak uyum saptadık ($p < 0.001$). ICC katsayısını 0.948 olarak bulduk. Düzeltme açısı değerlerinde ise $0.07^{\circ} \pm 0.82^{\circ}$ gibi bir fark bulduk ve bu sonuçların mMPTA değerleriyle uyumlu olduğunu gördük.

Bizim elde ettiğimiz sonuçlar ile Yunhe Mao ve ark ile Mathias Donnez ve ark yapmış olduğu çalışmaların sonuçlarının uyumlu olduğunu gözlemledik. Bunun

sebebi olarak da çalışmalarında tasarladıkları kesi kılavuzunun hem planlanan osteotomi hattına sadık kalarak osteotomi yapmaya izin vermesi hem de hesaplanan düzeltme miktarını sağlamaya yardımcı olması gibi görünmektedir. Sonuçlarımızın Wouter Van Genechten ve ark ile Maximilian Jörgens ve ark yapmış oldukları çalışmalardan ise daha iyi olduğunu gördük. Bunun sebebi ise Wouter Van Genechten ve ark çalışmalarında osteotomiyi konvansiyonel yöntemle uygulayıp düzeltme derecesini preoperatif hazırladıkları medial kamalarla sağlamaya çalışmaları, Maximilian Jörgens ve ark'nın ise oluşturdukları kesi kılavuzunun sadece osteotomiyi yapmaya uygun olması ve düzeltme derecesinin sağlayabilmek için yine önceden hazırlanmış medial kama kullanmaları gibi iki aşamalı cerrahi uygulamaları sonuçlarda fark yaratmış olabilir.

YTO uygulamalarında PTSA'da değişim meydana gelmesi en önemli komplikasyonlardan birisidir [86, 99]. YTO sonrası PTSA'da kasıtsız bir değişim olması diz biyomekanikini olumsuz yönde etkileyebilir. PTSA'da meydana gelen bir artış tibianın femura göre öne translasyonuna, ÖÇB üzerinde artan bir strese, ekstansiyonda azalmaya ve tibial platodaki yük dağılımının posteriora doğru kaymasına neden olur. PTSA'da meydana gelen bir azalma durumunda ise tibial platonun posteriora translasyonu, AÇB üzerinde stres artışı ve dizde rekurvatum meydana gelir [100]. Gi Beom Kim ve arkadaşları 164 hastayla osteotomi öncesi artroskopik bakı yaptıkları MAKYTO cerrahilerinde PTSA değişimini ve bu değişimle 2 yıl sonrasında yaptıkları ikinci bakı artroskopisi ile ACL'de meydana gelen dejenerasyon durumunu araştırmışlardır. PTSA'nın postoperatif değişimini ortalama 1.1° olarak bulmuşlardır. İkinci artroskopik bakıda birinciye göre ilerlemiş ACL dejenerasyonu olan dizlerde ki PTSA artışının ACL dejenerasyon artışı olmayan dizlere oranla daha fazla olarak bulmuşlardır [101].

YTO sonrası PTSA'daki değişim medial açık kama osteotomilerde artma, lateral kapalı kama osteotomilerde PTSA'da azalma olarak bildirilmektedir [102, 103]. Dong Won Suh ve ark 34 uniplanar osteotomi ve 27 biplanar osteototomi ile yaptıkları MAKYTO'lerde ki tibial slope değişimlerini karşılaştırmış ve uniplanar osteotomilerde biplanar osteotomilere kıyasla posterior slope açısının daha iyi korunduğunu bulmuşlardır [104]. Ozalay ve ark 34 diz ile yaptıkları MAKYTO

cerrahisinde PTSA değişim değerlerine bakmışlardır. Ameliyat öncesi ortalama PTSA değerleri $9.0^{\circ} \pm 5.1^{\circ}$ den ameliyat sonrası $11.7^{\circ} \pm 5.7^{\circ}$ ye yükselmiştir. Hastaların 17'sinde PTSA'da artış, 7'sinde azalma gözlenirken 10 dizde PTSA'da değişim olmamıştır. Ortalama ameliyat öncesi ve ameliyat sonrası PTSA değerleri karşılaştırıldığında istatistiksel açıdan anlamlı olarak artış gözlenmiştir [105]. Giffin ve ark yaptıkları kadavra çalışmasında PTSA değişimini araştırmışlar ve preoperatif ortalama $8,8^{\circ} \pm 1,8^{\circ}$ olan PTSA değerlerini postoperatif $13,2^{\circ} \pm 2,1^{\circ}$ olarak bulmuşlardır [106].

YTO sonrası PTSA'da meydana gelen bu değişimler için literatürde çeşitli teoriler öne sürölmüştür. Bunlar içinde en kabul gören teorilerden biri ise tibia proksimalinin aksiyel plandaki anatomik yapısı üzerinedir. Proksimal tibianın anteromedial korteksi posterior korteks ile 45° lik bir açı oluşturduğundan, lateral korteks tibianın posterior düzlemine dik olduğundan, eşit anteromedial ve posteromedial boşluklara sahip bir açık kama PTSA'yı artırma eğiliminde olacaktır. Bu istem dışı posterior tibial eğimden kaçınmak için anteromedial boşluğun, posteromedial boşluğun boyutundan daha az olması gerektiğini düşöndürür [89]. Bu açıdan yola çıkarak Song ve ark 40 hastayla yapmış oldukları çalışmada osteotomi hattının anteromedialinde oluşan boşluğun posteromedialde oluşan boşluğa oranının %67 olması durumunda PTSA'da değişiklik olmayacağını savunmuşlardır [107]. Noyes ve ark ise yaptıkları çalışmada bu oranın % 50 olması durumunda PTSA'da artış olmayacağını savunmuşlardır [89]. Mitsuru Hanada ve ark yaptıkları bilgisayarlı simölasyon çalışmasında PTSA'da değişikliğe sebep olmayan osteotomi açılışlarında anteromedial ve posteromedial boşluk oranına bakmışlar ve bu oranı 0.645 (0.190, 0.846) olarak bulmuşlardır [108]. Hiroyasu Ogawa ve ark'nın çalışmalarında ise anteromedial ve posteromedial boşluk oranı 0.86 ± 0.11 bulunmuş ve bunun neticesi olarakta PTSA'da ortalama 4.7° lik bir artış gerçekteşmiştir [109]. Biz de çalışmamızda ostetomi sonrası tibia anteromedial boşluğun posteromedial boşluğa oranını değerlendirdik ve 67.17 ± 8.17 olarak bulduk. Bizim çalışmamızda PTSA'daki değişimin $0.23^{\circ} \pm 0.78^{\circ}$ gibi küçük bir değer olmasını göz önüne alırsak boşluk oranı sonuçlarımız literatürle uyumlu gözökmektedir.

Osteotominin sagittal düzlemdeki eğiminin PTS'ye paralel olması durumunda PTSA'da değişiklik olmayacağı yönünde çalışmalar mevcuttur [110]. Bunun aksine osteotomi hattıyla PTS'nin paralel olmamasının PTSA'da bir değişime neden olmadığını ortaya koyan çalışmalarda mevcuttur [111]. Seung-Yup Lee ve ark çalışmalarında osteotomi hattının proksimal kenarının sagittaldeki PTS'ye göre anteriora veya posteriora olan açılanmalarında PTSA'da değişiklik olup olmadığını araştırmışlardır. Anteriora eğimli osteotomilerde PTSA'da bir artış olduğunu saptamışlardır [112]. Yine benzer şekilde yapılan bir diğer araştırmada Jai Hyun Chung ve ark anteriora eğimli osteotomilerde PTSA'nın arttığını, posteriora eğimli osteotomilerde PTSA'nın azaldığını göstermişlerdir [113]. Sang Won Moon ve ark yaptıkları deneysel kolon modeli çalışmasında (-) dereceler anteriora eğimli, (+) dereceler posteriora eğimli olarak tanımlanmış şekilde -10° , 0° , $+10^{\circ}$, $+20^{\circ}$ lik osteotomi hattının PTS'ye göre eğimini simüle etmişlerdir. Sonuçlarında PTS'ye paralel yapılan osteotomilerde PTSA'da değişiklik gözlenmezken, anteriora eğimli osteotomilerde PTSA'da azalma, posteriora eğimli osteotomilerde PTSA'da artma gözlemlenmiştir [114]. Sonuç olarak sagittal osteotomi hattı ile PTS arasındaki açısal ilişkiyle ilgili literatürlerde fikir birliği bulunmamaktadır. Bizde çalışmamızda sagittal osteotomi hattı ile PTS arasındaki ilişkiyi incelediğimizde 12 osteotomide anterior, 8 osteotomi de posteriora olmak üzere ort $4.80^{\circ} \pm 2.52^{\circ}$ eğim olduğunu gördük. Ancak PTSA ile bu eğimler arasındaki ilişki istatistiksel açıdan anlamlı değildi. Açık farkının küçük aralıkta kalmış olmasının bize bu sonucu vermiş olabileceği şeklinde yorumladık.

Bir diğer teori ise osteotomideki menteşe konumudur. Menteşenin lateral pozisyonu dışında yerleştirilmesinin PTSA'yı değiştireceği bildirilmektedir. Anterolateral bir menteşe konumu PTSA'da bir azalmaya neden olurken, posterolateral bir menteşe konumu olması durumunda PTSA'nın artacağı belirtilmektedir [115]. Ho-Seung Jo ve ark 16 kadavra ile yaptıkları çalışmada 8 dize osteotomi menteşesini lateralde olacak şekilde, diğer 8 dize ise menteşeyi posterolaterale yerleştirecek şekilde YTO cerrahisi uygulamışlardır. Lateral menteşe grubunda postoperatif PTSA artışı $5.6^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$ olurken, posterolateral menteşe grubunda PTSA artışının $11.2^{\circ} \pm 3.0^{\circ}$ olarak istatistiksel açıdan anlamlı derecede fazla olduğunu bulmuşlardır [116]. Yuanjun Teng ve ark menteşe ekseninin sadece aksiyel planda değil aynı zamanda sagittal

planda da dikkate alınması gerektiğini savunmuşlar ve bu düşünceleri üzerinden sanal osteotomi yaptıkları bir çalışma planlamışlardır. Akagi çizgisine paralel bir lateral menteşe konumlandırmışlar ve bunu standart menteşe olarak adlandırmışlar. Bu standart menteşeyi 0 noktası kabul ederek aksiyel planda -30° , -20° , -10° , $+10^{\circ}$, $+20^{\circ}$, $+30^{\circ}$ olmak üzere 6 adet menteşe ve sagittal planda da yine aynı açılarda 6 farklı menteşe konumlandırıp toplamda 13 osteotomi simüle etmişlerdir. Menteşe konumu posterolateral olan ve anteriora eğimli olan gruplarda postoperatif PTSA'da artış olurken, anterolateral ve posteriora eğimli menteşe gruplarında PTSA'da azalma meydana geldiğini bulmuşlardır [117]. Sang Won Moon ve ark menteşe pozisyonunun PTSA üzerine olan etkisini araştırdıkları navigasyon destekli yaptıkları YTO çalışmalarında posterolateral yerleşimli bir menteşe konumu olması durumunda PTSA'da artış meydana geldiğini göstermişlerdir [118]. Yine bir sanal osteotomi gerçekleştirilerek 10 örnekle yapılan çalışmada Claire D. Eliasberg ve ark menteşe pozisyonunun PTSA üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Tüm örneklerde menteşe eksenini açısını posterior tibial kondiler aks ile osteotomi menteşesi arasında oluşan açı olarak tanımlamışlardır. Bu çalışmalarında PTSA'da değişiklik gerçekleştirilmeyen ideal menteşe açısını tanımlamışlar ve bu değeri $102^{\circ} \pm 8.3^{\circ}$ olarak bulmuşlardır [119]. Bizde çalışmamızda menteşe olarak bir metal levha kullandık. Çünkü tibia'yı 3D yazıcıda elde ettiğimiz madde kırılmalı ve bir kemik menteşe gibi görev göremiyordu. Menteşe açısını Claire D. Eliasberg ve ark'nın tarif etmiş olduğu gibi hesapladık. Biz çalışmamızda ortalama menteşe açısını $92.17^{\circ} \pm 17.64^{\circ}$ olarak bulduk ve bu menteşe açısıyla PTSA arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulamadık. Bu durum bizim menteşe konumumuzun lateral yerleşimli olması nedeniyle PTSA'da bir değişikliğe neden olmadığını düşündürmektedir.

SONUÇ

Diz eklemine erken evre medial artrozunda kullanılan YTO tekniği etkinliği kanıtlanmış bir tedavi seçeneğidir. Bu teknikte alt ekstremitenin frontal ve sagittal düzlemlerdeki düzeltme doğruluğu cerrahinin başarısı için önemlidir. YTO için floroskopi altında kablo yönteminden bilgisayar destekli navigasyonlu YTO'ya kadar birçok intraoperatif ve postoperatif teknik tariflenmiştir. Literatür incelendiğinde konvansiyonel yöntemlerle yapılan YTO'ların her iki plandaki düzeltme doğruluğunun KKK ile yapılan YTO'lara göre düşük olduğu görölmektedir.

Biz bu çalışmada 3D baskılı KKK kullanarak yaptığımız YTO tekniğini araştırdık. Bu yöntem preoperatif planlama ile frontal planda deformite düzeltilmesi için gerekli olan düzeltme açısının ve medial açıklık yüksekliğinin bilinmesini sağlamaktadır. Tekniğimiz daha öncede bahsedildiği gibi literatürdeki çalışmalar gözönüne alındığında konvansiyonel yöntemlerle yapılan YTO tekniklerinden kaynaklanan ölçüm hatası ve manuel düzeltmeden kaynaklanan hataların üstesinden gelmiştir. Çalışmada tasarladığımız 3D baskılı KKK düşük sapma dereceleri ile deformite düzeltilmesine olanak sağlamıştır. Hassas 3D baskılı KKK'nın kullanımı planlamadan uygulamaya daha doğru bir geçiş sağlanmasına katkıda bulundu. Ayrıca bu teknik kama açıklığının hassas bir şekilde açılması ve korunmasına, PTSA değerlerinde meydana gelen değişimlerin minimize edilmesine katkıda bulunmuştur.

Çalışmamızda elde ettiğimiz veriler sonucunda 3D kesi kılavuzları YTO cerrahisini optimize etmek ve tekniği kolaylaştırmak açısından umut vericidir. Bu çalışma bize MAKYTO ile 3D baskılı KKK'ları birlikte uygulamanın hem frontal hemde sagittal düzlemlerde düzeltme elde etmek için etkin bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Çalışmamızın bazı kısıtlamaları mevcuttur. Bunlardan birincisi in vitro bir çalışma olması ve 3D yazıcıda sadece tibialar basılarak bu tibia modelleri üzerinde osteotomi yapılması nedeniyle örneklerin postoperatif WBL açıları ölçülememiş ve düzeltme doğruluğunun tespitinde alt ekstremitte mekanik aksı yerine mMPTA kullanılmak durumunda kalınmıştır. Bir diğer kısıtlama ise örnek sayımızın az olması, cerrahilerin tibia modelleri üzerinde yapılıp gerçekte hastalar üzerinde kullanılamamış olmasıdır. 3D baskılı KKK'nın kemiğe uygulanmasına izin vermek için daha büyük

bir cerrahi ekspozur gereklidir. Kesi kılavuzunun ameliyat öncesi tasarımı ve üretimi hastalar için zaman alıcı ve daha pahalıdır.

Yeni gelişen teknolojilerin kliniğe uygun translasyonunu sağlayarak ameliyatlarımızı klasik yöntemlere göre daha kusursuz yapabileceğimiz bir gelecek bizi beklemektedir.



KAYNAKLAR

1. Kaçar, C., et al., *The prevalence of symptomatic knee and distal interphalangeal joint osteoarthritis in the urban population of Antalya, Turkey*. Rheumatol Int, 2005. **25**(3): p. 201-4.
2. OSMAN AYNACI, H.A., AHMET TURHAN, *High tibial osteotomy in the treatment of varus gonarthrosis*. Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica, 2001. **35**: p. 342 - 346.
3. Dowd, G.S., H.S. Somayaji, and M. Uthukuri, *High tibial osteotomy for medial compartment osteoarthritis*. Knee, 2006. **13**(2): p. 87-92.
4. A., M., *The osteotomy as a new orthopaedic operation method*. . Verhandlungen der physikalisch-medizinischen Gesellschaftin Würzburg., 1851.
5. A., M., *Reports from German clinics and hospitals-Historical and statical notes about the osteotomies performed by Dr A Mayer in Würzburg German clinics*, 1856.
6. Langenbeck, B., *Die subkutane osteotomie*. . Dtsch Klinik, 1854. **6**: p. 327.
7. Erginer R, E.a.F., *Diz çevresi osteotomileri.*, in *Diz cerrahisi ve sorunları*, E. R., Editor. 1998: Ankara. p. 1158-1164
8. Debeyre, J. and J.M. Artigou, *[Long term results of 260 tibial osteotomies for frontal deviations of the knee]*. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1972. **58**(4): p. 335-9.
9. Debeyre, J. and J.M. Artigou, *[Indications and results of tibial osteotomy. Influence of laxity]*. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1973. **59**(8): p. 641-56.
10. Debeyre, J. and D. Patte, *[The place of corrective osteotomies in the treatment of gonarthrosis]*. Acta Orthop Belg, 1961. **27**: p. 374-83.
11. Hernigou, P., et al., *Proximal tibial osteotomy for osteoarthritis with varus deformity. A ten to thirteen-year follow-up study*. J Bone Joint Surg Am, 1987. **69**(3): p. 332-54.
12. JP, J., *Osteotomy for osteoarthritis of the knee*. J Bone Joint Surg Br 1958. **40**: p. 826.
13. Franco V, C.G., Cipolla M, Gianni E, Puddu G, *Open wedge high tibial osteotomy.*, in *Tech Knee Surg*. 2002. p. 43-53.
14. Coventry, M.B., *OSTEOTOMY OF THE UPPER PORTION OF THE TIBIA FOR DEGENERATIVE ARTHRITIS OF THE KNEE. A PRELIMINARY REPORT*. J Bone Joint Surg Am, 1965. **47**: p. 984-90.
15. Lobenhoffer, P., C. De Simoni, and A.E. Staubli, *Open-Wedge High-Tibial Osteotomy With Rigid Plate Fixation*. Techniques in Knee Surgery, 2002. **1**: p. 93-105.
16. R., E., *Diz sorunları*. 1998. p. 27-54.
17. DJ., M., *Orthopedic Physical Assessment*. Knee, Fourth Edition. Vol. 12. 2002. 661- 764.

18. AT, A., *Diz ekleminin anatomisi*, in *Diz Cerrahisi*. 1999: Ankara. p. 5-19.
19. Goldblatt JP, R.J., *Anatomy and biomechanics of the knee*, in *Operative Techniques in Sports Medicine* 2003. p. 172-86.
20. Martelli S, P.V., *The shapes of the tibial and femoral articular surfaces in relation to tibiofemoral movement.*, in *J Bone Joint Surg [Br]* 2002. p. 607-13.
21. Ali Firat Esmer, K.B., Mehmet Binnet, *Diz ekleminin cerrahi anatomisi (Surgical anatomy of knee joint)* TOTBİD Dergisi, 2011. **10(1)**: p. 38-44.
22. S, S. Gray's anatomy. 39th edition. 2005: Edinburgh: Elsevier Churchill Livingstone.
23. TP, A., *Knee joint: Anatomy and biomechanics*, in *Orthopaedic Knowledge Update: Hip and Knee Reconstruction. 1st ed.* 2000, Rosemont: American Academy of Orthopaedic Surgeons. p. 239-248.
24. JN, C.H.S.W.I., *Anatomy*, in *Surgery of the knee. Third edition.* 2001: Livingstone.
25. S, M.e.l., *Ön çapraz bağ anatomisi*. Ön Çapraz bağ Cerrahisi. Vol. 1. 2002.
26. Warren, L.A., J.L. Marshall, and F. Girgis, *The prime static stabilizer of the medial side of the knee*. J Bone Joint Surg Am, 1974. **56(4)**: p. 665-74.
27. Warren, L.F. and J.L. Marshall, *The supporting structures and layers on the medial side of the knee: an anatomical analysis*. J Bone Joint Surg Am, 1979. **61(1)**: p. 56-62.
28. Grood, E.S., et al., *Ligamentous and capsular restraints preventing straight medial and lateral laxity in intact human cadaver knees*. J Bone Joint Surg Am, 1981. **63(8)**: p. 1257-69.
29. F, K., *Diz biyomekanik özellikleri*, in *Diz Cerrahisi ve Sorunları*, E. R, Editor. 1998: Ankara. p. 91.
30. Roaas, A. and G.B. Andersson, *Normal range of motion of the hip, knee and ankle joints in male subjects, 30-40 years of age*. Acta Orthop Scand, 1982. **53(2)**: p. 205-8.
31. NR, T.a., *Klinik Diz Biyomekaniği*, in *Diz Cerrahisi*, A.A. Tandoğan NR, Editor. 1999, Haberal Eğitim Vakfı: Ankara. p. 19-28.
32. Tandoğan R, A.M., in *Diz Cerrahisi*, A.A. Tandoğan NR, Editor. 1999, Haberal Eğitim Vakfı: Ankara. p. 5-18.
33. JL, G., *Arthroplasty of ankle and knee*, in *Campbell's Operative Orthopaedics. 9th edition.* 1998, Mosby-year Book St Louis. p. 232-95.
34. Kuster, M.S., et al., *Joint load considerations in total knee replacement*. The Journal of bone and joint surgery. British volume, 1997. **79(1)**: p. 109-113.
35. Grood, E.S., et al., *Biomechanics of the knee-extension exercise. Effect of cutting the anterior cruciate ligament*. The Journal of Bone and Joint surgery. American Volume, 1984. **66(5)**: p. 725-734.
36. Paley, D., *Normal lower limb alignment and joint orientation*, in *Principles of deformity correction*. 2002, Springer. p. 1-18.
37. Çakmak, M. and K. Özkan, *Alt Ekstremité Deformite Analizi (I)*. TOTBİD dergisi, 2005. **4(1-2)**: p. 50-62.
38. Paley, D., *Frontal plane mechanical and anatomic axis planning*, in *Principles of deformity correction*. 2002, Springer. p. 61-97.

39. Jn., I., *Osteotomy*, in *Surgery Of The Knee*, 2nd Edition, K.M. Windsor Re, Scott Wn, Aglietti P, Insall Jn Editor. 1993: Churcill Livingstone. p. 635-676
40. Elmali, N., et al., *Monoplanar versus biplanar medial open-wedge proximal tibial osteotomy for varus gonarthrosis: a comparison of clinical and radiological outcomes*. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 2013. **21**(12): p. 2689-2695.
41. PGJ, M., *Biomechanics of the Knee*. 1984, Berlin,heidelberg, Newyork, Tokyo: Springer-Verlag.
42. Chao, E., et al., *Normative data of knee joint motion and ground reaction forces in adult level walking*. Journal of biomechanics, 1983. **16**(3): p. 219-233.
43. Duda, G.N., E. Schneider, and E.Y. Chao, *Internal forces and moments in the femur during walking*. Journal of biomechanics, 1997. **30**(9): p. 933-941.
44. Erdem, Y., C. Neyisci, and C. Yıldız, *Mid-term Clinical and Radiological Results of Oxford Phase 3 Medial Unicompartmental Knee Arthroplasty*. Cureus, 2019. **11**(9): p. e5674.
45. Kummer, B., *Basics of Pauwels' theory of the functional adaptation of bones*. Der Orthopade, 1995. **24**(5): p. 387-393.
46. Amendola, A. and L. Panarella, *High tibial osteotomy for the treatment of unicompartmental arthritis of the knee*. Orthop Clin North Am, 2005. **36**(4): p. 497-504.
47. BW, C.K., *Nonarthroplasty Surgical Treatment of the knee*. AAOS Compr. 2009.
48. Ersen, O., et al., *Long-term Functional Difference between the First and Second Knees in Simultaneous Bilateral Total Knee Arthroplasty*. J Coll Physicians Surg Pak, 2021. **31**(11): p. 1320-1324.
49. Bombacı, H., *Diz çevresi osteotomilerinin biyomekanik prensipleri*.
50. Gürsan, O., A.E. Açıkan, and H. Tatari, *Diz çevresi osteotomilerinde modern endikasyonlar, kontrendikasyonlar ve hasta seçimi*.
51. Giagounidis, E. and S. Sell, *High tibial osteotomy: factors influencing the duration of satisfactory function*. Archives of orthopaedic and trauma surgery, 1999. **119**(7): p. 445-449.
52. Trieb, K., et al., *Age predicts outcome of high-tibial osteotomy*. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 2006. **14**(2): p. 149-152.
53. *Diz Çevresi Osteotomileri*, ed. M.ö. irfan E, yavuz kocabey, hasan bombacı, özkan köse 2018, İstanbul: istanbul tip kitabevleri.
54. Brinkman, J.-M., et al., *Osteotomies around the knee: patient selection, stability of fixation and bone healing in high tibial osteotomies*. The Journal of bone and joint surgery. British volume, 2008. **90**(12): p. 1548-1557.
55. Puddu, G., et al., *Osteotomies: the surgical treatment of the valgus knee*. Sports Medicine and Arthroscopy Review, 2007. **15**(1): p. 15-22.
56. Herman, B.V. and J.R. Giffin, *High tibial osteotomy in the ACL-deficient knee with medial compartment osteoarthritis*. Journal of Orthopaedics and Traumatology, 2016. **17**(3): p. 277-285.

57. Floerkemeier, S., et al., *Outcome after high tibial open-wedge osteotomy: a retrospective evaluation of 533 patients*. Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy, 2013. **21**(1): p. 170-180.
58. Insall, J., H. Shoji, and V. Mayer, *High tibial osteotomy. A five-year evaluation*. J Bone Joint Surg Am, 1974. **56**(7): p. 1397-405.
59. Brown, G.A. and A. Amendola, *Radiographic evaluation and preoperative planning for high tibial osteotomies*. Operative Techniques in Sports Medicine, 2012. **20**(1): p. 93-102.
60. Fujisawa, Y., K. Masuhara, and S. Shiomi, *The effect of high tibial osteotomy on osteoarthritis of the knee. An arthroscopic study of 54 knee joints*. The Orthopedic clinics of North America, 1979. **10**(3): p. 585-608.
61. Dugdale, T.W., F.R. Noyes, and D. Styer, *Preoperative planning for high tibial osteotomy. The effect of lateral tibiofemoral separation and tibiofemoral length*. Clinical orthopaedics and related research, 1992(274): p. 248-264.
62. Billings, A., et al., *High tibial osteotomy with a calibrated osteotomy guide, rigid internal fixation, and early motion. Long-term follow-up*. JBJS, 2000. **82**(1): p. 70-9.
63. Miniaci, A., et al., *Proximal tibial osteotomy. A new fixation device*. Clinical orthopaedics and related research, 1989(246): p. 250-259.
64. Hernigou, P., *Open wedge tibial osteotomy: combined coronal and sagittal correction*. The Knee, 2002. **9**(1): p. 15-20.
65. Hernigou, P. and W. Ma, *Open wedge tibial osteotomy with acrylic bone cement as bone substitute*. The knee, 2001. **8**(2): p. 103-110.
66. HARRIS, W.R. and J.P. KOSTUIK, *High tibial osteotomy for osteo-arthritis of the knee*. JBJS, 1970. **52**(2): p. 330-336.
67. Hunziker, E., H.-U. Stäubli, and R. Jakob, *Surgical anatomy of the knee joint, in The knee and the cruciate ligaments*. 1992, Springer. p. 31-47.
68. Akgün I, K.H., Haklar U, *Gonartroz Tedavisinde Kapalı Kama Osteotomileri, in Gonartrozda Artroplasti Dışı Tedavi Yöntemleri*. 2003, Türkiye Spor Yaralanmaları Artroskopi Ve Diz Cerrahisi Derneği: Ankara. p. 83-101.
69. Kirgis, A. and S. Albrecht, *Palsy of the deep peroneal nerve after proximal tibial osteotomy. An anatomical study*. JBJS, 1992. **74**(8): p. 1180-1185.
70. Hagstedt, B., et al., *Technical accuracy in high tibial osteotomy for gonarthrosis*. Acta Orthopaedica Scandinavica, 1980. **51**(1-6): p. 963-970.
71. Myrnerets, R., *Knee instability before and after high tibial osteotomy*. Acta Orthopaedica Scandinavica, 1980. **51**(1-6): p. 561-564.
72. Paley, D., J.E. Herzenberg, and D.C. Maar, *New concepts in high tibial osteotomy for medial compartment osteoarthritis*. Orthopedic Clinics of North America, 1994. **25**(3): p. 483-498.
73. Mont, M.A., et al., *Total knee arthroplasty after failed high tibial osteotomy*. The Orthopedic clinics of North America, 1994. **25**(3): p. 515-525.
74. Franco, V., *Open wedge high tibial osteotomy*. Techniques in knee surgery, 2002. **1**: p. 43-53.

75. Stoffel, K., G. Stachowiak, and M. Kuster, *Open wedge high tibial osteotomy: biomechanical investigation of the modified Arthrex Osteotomy Plate (Puddu Plate) and the TomoFix Plate*. Clinical biomechanics, 2004. **19**(9): p. 944-950.
76. Noyes, F.R., S.X. Goebel, and J. West, *Opening wedge tibial osteotomy: the 3-triangle method to correct axial alignment and tibial slope*. The American journal of sports medicine, 2005. **33**(3): p. 378-387.
77. Teng, Y., et al., *Axial but not sagittal hinge axis affects posterior tibial slope in medial open-wedge high tibial osteotomy: A 3-dimensional surgical simulation study*. Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery, 2021. **37**(7): p. 2191-2201.
78. Novaretti, J.V., et al., *The role of osteotomy for the treatment of PCL injuries*. Current Reviews in Musculoskeletal Medicine, 2018. **11**(2): p. 298-306.
79. Weale, A., A. Lee, and A. MacEachern, *High tibial osteotomy using a dynamic axial external fixator*. Clinical Orthopaedics and Related Research (1976-2007), 2001. **382**: p. 154-167.
80. Murphy, S.B., *Tibial osteotomy for genu varum. Indications, preoperative planning, and technique*. The Orthopedic Clinics of North America, 1994. **25**(3): p. 477-482.
81. Sur, H., *Kubbe osteotomileri: Maquet tibi yüksek tibial osteotomi*, in *Yüksek Tibial Osteotomi*, H. Sur, Editor. 2014, TOTBİD: Ankara. p. 43-47.
82. Agneskirchner, J.D., et al., *Effect of high tibial flexion osteotomy on cartilage pressure and joint kinematics: a biomechanical study in human cadaveric knees. Winner of the AGA-DonJoy Award 2004*. Arch Orthop Trauma Surg, 2004. **124**(9): p. 575-84.
83. Jackson, J.P. and W. Waugh, *Tibial osteotomy for osteoarthritis of the knee*. Acta Orthop Belg, 1982. **48**(1): p. 93-6.
84. Smith, J.O., A.J. Wilson, and N.P. Thomas, *Osteotomy around the knee: evolution, principles and results*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2013. **21**(1): p. 3-22.
85. Brouwer, R.W., et al., *Patellar height and the inclination of the tibial plateau after high tibial osteotomy. The open versus the closed-wedge technique*. J Bone Joint Surg Br, 2005. **87**(9): p. 1227-32.
86. LaPrade, R.F., et al., *Patellar height and tibial slope after opening-wedge proximal tibial osteotomy: a prospective study*. Am J Sports Med, 2010. **38**(1): p. 160-70.
87. Hernigou, P., *Open wedge tibial osteotomy: combined coronal and sagittal correction*. Knee, 2002. **9**(1): p. 15-20.
88. Hinterwimmer, S., et al., *Control of posterior tibial slope and patellar height in open-wedge valgus high tibial osteotomy*. Am J Sports Med, 2011. **39**(4): p. 851-6.
89. Noyes, F.R., S.X. Goebel, and J. West, *Opening wedge tibial osteotomy: the 3-triangle method to correct axial alignment and tibial slope*. Am J Sports Med, 2005. **33**(3): p. 378-87.
90. Yoon, S.D., et al., *Comparison of Cable Method and Miniaci Method Using Picture Archiving and Communication System in Preoperative Planning for*

- Open Wedge High Tibial Osteotomy*. Knee Surg Relat Res, 2016. **28**(4): p. 283-288.
91. Van den Bempt, M., et al., *How accurately does high tibial osteotomy correct the mechanical axis of an arthritic varus knee? A systematic review*. Knee, 2016. **23**(6): p. 925-935.
 92. Iorio, R., et al., *Open-wedge high tibial osteotomy: comparison between manual and computer-assisted techniques*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2013. **21**(1): p. 113-9.
 93. Chang, J., et al., *Comparing the accuracy of high tibial osteotomies between computer navigation and conventional methods*. Comput Assist Surg (Abingdon), 2017. **22**(1): p. 1-8.
 94. Jones, G.G., et al., *3D printing and high tibial osteotomy*. EFORT Open Rev, 2018. **3**(5): p. 254-259.
 95. Mao, Y., et al., *3D-Printed Patient-Specific Instrumentation Technique Vs. Conventional Technique in Medial Open Wedge High Tibial Osteotomy: A Prospective Comparative Study*. Biomed Res Int, 2020. **2020**: p. 1923172.
 96. Donnez, M., et al., *Are three-dimensional patient-specific cutting guides for open wedge high tibial osteotomy accurate? An in vitro study*. J Orthop Surg Res, 2018. **13**(1): p. 171.
 97. Van Genechten, W., et al., *Feasibility and 3D Planning of a Novel Patient-Specific Instrumentation Technique in Medial Opening-Wedge High Tibial Osteotomy*. J Knee Surg, 2021. **34**(14): p. 1560-1569.
 98. Jörgens, M., et al., *3D osteotomies-improved accuracy with patient-specific instruments (PSI)*. Eur J Trauma Emerg Surg, 2022.
 99. El-Azab, H., et al., *Patellar height and posterior tibial slope after open- and closed-wedge high tibial osteotomy: a radiological study on 100 patients*. Am J Sports Med, 2010. **38**(2): p. 323-9.
 100. Ozel, O., et al., *Changes in posterior tibial slope angle in patients undergoing open-wedge high tibial osteotomy for varus gonarthrosis*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2017. **25**(1): p. 314-318.
 101. Kim, G.B., et al., *Increased Posterior Tibial Slope After Medial Open-Wedge High Tibial Osteotomy May Result in Degenerative Changes in Anterior Cruciate Ligament*. J Arthroplasty, 2019. **34**(9): p. 1922-1928.
 102. El-Azab, H., et al., *The effect of closed- and open-wedge high tibial osteotomy on tibial slope: a retrospective radiological review of 120 cases*. J Bone Joint Surg Br, 2008. **90**(9): p. 1193-7.
 103. Nha, K.W., et al., *Change in Posterior Tibial Slope After Open-Wedge and Closed-Wedge High Tibial Osteotomy: A Meta-analysis*. Am J Sports Med, 2016. **44**(11): p. 3006-3013.
 104. Suh, D.W., et al., *Biplane Medial Opening-Wedge High Tibial Osteotomy Increases Posterior Tibial Slope more than Uniplane Osteotomy*. J Knee Surg, 2022. **35**(11): p. 1229-1235.
 105. Ozalay, M., et al., *The correlation of correction magnitude and tibial slope changes following open wedge high tibial osteotomy*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2008. **16**(10): p. 948-51.

106. Giffin, J.R., et al., *Effects of increasing tibial slope on the biomechanics of the knee*. Am J Sports Med, 2004. **32**(2): p. 376-82.
107. Song, E.K., J.K. Seon, and S.J. Park, *How to avoid unintended increase of posterior slope in navigation-assisted open-wedge high tibial osteotomy*. Orthopedics, 2007. **30**(10 Suppl): p. S127-31.
108. Hanada, M., K. Hotta, and Y. Matsuyama, *A computer simulation study for preserving the tibial posterior slope in open-wedge high tibial osteotomy*. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2020. **30**(7): p. 1285-1291.
109. Ogawa, H., et al., *Effect of Wedge Insertion Angle on Posterior Tibial Slope in Medial Opening Wedge High Tibial Osteotomy*. Orthop J Sports Med, 2016. **4**(2): p. 2325967116630748.
110. Miller, B.S., et al., *Complications after medial opening wedge high tibial osteotomy*. Arthroscopy, 2009. **25**(6): p. 639-46.
111. Akamatsu, Y., et al., *Should sagittal osteotomy line be parallel to tibial posterior slope in high tibial osteotomy?* BMC Musculoskelet Disord, 2018. **19**(1): p. 338.
112. Lee, S.Y., et al., *Sagittal osteotomy inclination in medial open-wedge high tibial osteotomy*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2017. **25**(3): p. 823-831.
113. Chung, J.H., et al., *Effect of the Osteotomy Inclination Angle in the Sagittal Plane on the Posterior Tibial Slope of the Tibiofemoral Joint in Medial Open-Wedge High Tibial Osteotomy: Three-Dimensional Computed Tomography Analysis*. J Clin Med, 2021. **10**(18).
114. Moon, S.W., et al., *The effect of the sagittal plane osteotomy inclination on the posterior tibial slope in medial open wedge HTO: experimental study with a square column model*. BMC Musculoskelet Disord, 2021. **22**(1): p. 89.
115. Wang, J.H., et al., *Medial open wedge high tibial osteotomy: the effect of the cortical hinge on posterior tibial slope*. Am J Sports Med, 2009. **37**(12): p. 2411-8.
116. Jo, H.S., et al., *The effects of different hinge positions on posterior tibial slope in medial open-wedge high tibial osteotomy*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2018. **26**(6): p. 1851-1858.
117. Teng, Y., et al., *Axial But Not Sagittal Hinge Axis Affects Posterior Tibial Slope in Medial Open-Wedge High Tibial Osteotomy: A 3-Dimensional Surgical Simulation Study*. Arthroscopy, 2021. **37**(7): p. 2191-2201.
118. Moon, S.W., et al., *The Effect of Hinge Position on Posterior Tibial Slope in Medial Open-Wedge High Tibial Osteotomy*. Arthroscopy, 2015. **31**(6): p. 1128-33.
119. Eliasberg, C.D., et al., *Extreme Hinge Axis Positions Are Necessary to Achieve Posterior Tibial Slope Reduction With Small Coronal-Plane Corrections in Medial Opening Wedge High Tibial Osteotomy*. Orthop J Sports Med, 2022. **10**(5): p. 23259671221094346.