T.C.
Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi
Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı

PEDİATRİK YAŞ GRUBU UZUN KEMİK DEFORMİTELERİNİN DÜZELTME PROSEDÜRLERİNDE HAREKET SENSÖRÜ KULLANIMI

Dr. Abdullah NAVRUZ

UZMANLIK TEZİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Muhammed Çağatay ENGİN

ERZURUM-2024

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ TEZ SINAVI TUTANAĞI

I. UZMANLIK ÖĞRENCİSİ ve TEZİ İLE İLGİLİ BİLGİLER

Adı, Soyadı : Abdullah NAVRUZ

Anabilim Dalı : Ortopedi ve Travmatoloji

Tez Danışmanı ve Atanma Tarihi: Doç. Dr. Muhammed Çağatay ENGİN

Sınav tarihi: 03/ 10 / 2024

Tezin Konusu ve Başlığı : Pediatrik Yaş Grubu Uzun Kemik Deformitelerinin Düzeltme Prosedürlerinde Hareket Sensörü Kullanımı

Belirlenme Tarihi : 01.07.2022

Tezin Niteliği : ☒ Tıpta Uzmanlık Tezi
☒ Klinik Çalışmalar (x) Prospektif ( ) Retrospektif ( ) Kesitsel
☐ Laboratuvar Çalışmaları ( ) Invitro (Cansız) Çalışmaları ( ) Hayvan Çalışmaları

Tez Sınavının Nasıl Yapıldığı: ☒ Yüz yüze katılım sağlanarak ☐ Online (Jürinin teşkil edilmesinde kurum dışından belirlenecek olan jüri üyesi, aynı il sınırları içerisinde bulunmadığından, tez sınavı dijital ortamda yapılmıştır.)

II. KARAR

Tıpta ve Diş Hekimliğinde Uzmanlık Eğitimi Yönetmeliğinin 19. maddesi gereğince yapılan tez savunma sınavının tamamlanması sonucunda adı geçenin tezinin, jüri üyelerince "Tıpta Uzmanlık Tezi" olarak;

☒ Kabulüne

1.Tez Sınavı ☐ Reddine (Eksikliklerin tamamlanması ve gerekli düzeltmelerin yapılması için uzmanlık öğrencisine, TUEY'nin 19. Maddesinin 6. fıkrası gereğince altı aylık ek bir süre verilmesine)

2.Tez Sınavı ☐ Reddine (TUEY'nin 19. Maddesinin 7. fıkrası gereğince, uzmanlık öğrencisinin uzmanlık öğrenciliği ile ilişiğinin kesilmesine)

☒ Oy birliği ☐ Oy çokluğu ile karar verilmiştir.

III. AÇIKLAMALAR

Lütfen, tezin reddi durumunda gerekçeli açıklamalarınızı buraya yazınız

IV. JÜRİ ÜYELERİ

	Unvanı Adı Soyadı	Uzmanlık Dalı	Kurum Bilgisi	İmza
Jüri Başkanı	Prof. Dr. Orhan KARSAN	Ortopedi ve Travmatoloji	Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Sinan YILAR	Ortopedi ve Travmatoloji	Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi	
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Muhammed Çağatay ENGİN	Ortopedi ve Travmatoloji	Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi	

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER ..... **i**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **iii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **iv**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **viii**
TEŞEKKÜR ..... **ix**
ÖZET ..... **x**
ABSTRACT ..... **xi**
1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**
2. GENEL BİLGİLER **3**
2.1. Tarihçe 3
2.2. Anatomi 3
2.3. Biyomekanik 7
2.4. Pediatrik Ortopedide Deformite Analizi ve Temel Kavramlar 7
2.4.1. Eklem Uyum Çizgilerinin Mekanik Aks ve Anatomik Aks Çizgileri İle İlişkileri 13
2.4.2. Deformitenin Anatomik Aks ile Planlanması 18
2.4.3. Deformitenin Mekanik Aks ile Planlanması 19
2.5. Rotasyonel Deformiteler 20
2.5.1. Terminoloji 21
2.5.2. Normal Gelişim 21
2.5.3. Değerlendirme 22
2.5.3.1. Ayak İlerleme Açısı 22
2.5.3.2. Kalça Rotasyonları 23
2.5.3.3. Uyluk Ayak Açısı ve Transmalleoler Aks Açısı 24
2.5.3.4. Ön Ayak Dizilimi 26
2.5.4. Alt Ekstremite Rotasyonel Profillerinin Yorumlanması 26
2.6. Translasyonel Deformiteler 29
2.7. Açısal Deformiteler 31
2.7.1. Diz Fleksiyon Kontraktürleri 32
2.8. Kısalık 34
2.8.1. Değerlendirme ve Tanı 36

2.8.2. Klinik Değerlendirme 36
2.8.3. Tedavi 37
3. MATERYAL VE METOD 40
3.1. Hasta Seçimi 40
3.2. Hastaların Çalışmaya Dahil Edilme Kriterleri 41
3.3. Hastaların Çalışmadan Dışlanma Kriterleri 41
3.4. Çalışma Grupları ve Araştırma Planı 42
3.5. Cerrahi Uygulama 42
3.5.1. Operasyon Öncesi Hazırlık 42
3.5.1.1. Ekstansiyon Osteotomisi Yapılan Grup 42
3.5.1.2. Rotasyonel Deformite Düzeltilen Grup 45
3.5.2. İntraoperatif Uygulama 50
3.5.2.1. Ekstansiyon Osteotomisi Yapılan Grup: 51
3.5.2.2. Rotasyonel Deformite Düzeltilen Grup 52
3.5.3. Operasyon Sonrası Bakım ve Takip 54
3.5.4. Geleneksel Yöntem 55
3.5.5. Sensörlü Yöntem 55
3.6. Sensörlü Yöntemde Kullanılmak Üzere Tasarlanan Cihaz 55
3.6.1. Cihaz Materyal 55
3.6.2. Cihaz Metot 57
3.7. İstatistiksel Analiz 62
4. BULGULAR 63
5. TARTIŞMA 74
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 80
KAYNAKÇA 81
EKLER 87
EK 1. ETİK KURUL 87
EK 2. TİTCK ONAY BELGESİ 88
EK 3. BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU EBEVEYN 89
EK 4. BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU ÇOCUK 91
EK 5. OLGU RAPOR FORMU 92

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Ekstremitelerde Deformitelerin Sınıflaması 8
Tablo 2.2. Bacak Uzunluğunda Artmaya ve Azalmaya Neden Olan Sebepler 35
Tablo 4.1. Ekstansiyon Osteotomisi ve Rotasyonel Deformite Gruplarında Geleneksel Yöntem ve Sensörlü Yöntemlerin Birbirleriyle Süre Açısından Karşılaştırılması 63
Tablo 4.2. Ekstansiyon Osteotomisi Yapılan Hastaların Geleneksel Yöntem ve Sensörlü Yöntem Gruplarının Karşılaştırılması 64
Tablo 4.3. Ekstansiyon Osteotomisi Yapılan Hastalardan Kemik Kısaltma İşlemi Yapılan Hastalar Çıkarıldıktan Sonra Kalan Hastaların Karşılaştırılması 66
Tablo 4.4. Rotasyonel Deformitesi Olan Hastaların Geleneksel ve Sensörlü Yöntemler Açısından Kıyaslanması 68
Tablo 4.5. Femur ve Tibia Rotasyonel Deformitelerinin Açılara ve Sürelere Göre Kıyaslanması 70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Femur proksimali ossifikasyon merkezleri 4
Şekil 2.2. Femur anterior ve posterior görünümleri 4
Şekil 2.3. Tibia ve fibula anterior ve posteriordan görünüm 5
Şekil 2.4. Alt ekstremite arteryel dolanımı 6
Şekil 2.5. Anatomik aks ve mekanik aks referans noktaları 7
Şekil 2.6. Ortoröntgenogram çekim tekniği 10
Şekil 2.7. Alt ekstremite mekanik ekseni 11
Şekil 2.8. Alt ekstremite anatomik ekseni 11
Şekil 2.9. Femur ve tibianın mekanik ve anatomik eksenleri 12
Şekil 2.10. Mekanik aks deviasyonu (MAD), varus ve valgus deformitesi 12
Şekil 2.11. Eklem uyum açıları 14
Şekil 2.12. Eklem uyum açıları belirleyici anatomik noktalar 15
Şekil 2.13. Femur sagital plan mekanik ekseni ve rotasyon noktaları 16
Şekil 2.14. Sagital plan deformite analizi 17
Şekil 2.15. Bilateral femur iç rotasyon deformitesi patellalar içe dönük ve negatif ayak ilerleme açısı 23
Şekil 2.16. Pron pozisyonda kalça iç ve dış rotasyonu 24
Şekil 2.17. Uyluk ekseni ve transmalleoler eksen 24
Şekil 2.18. Uyluk ayak açısı 24
Şekil 2.19. Uyluk ayak açısı bilgisayar programı yardımıyla ölçülen hasta 25
Şekil 2.20. Transmalleolar aks açısı bilgisayar programı yardımıyla ölçülen hasta .. 25
Şekil 2.21. Ön ayak adduktusu 26
Şekil 2.22. Ayak lateralinin C şeklinde görünmesi 26
Şekil 2.23. Ekstansiyon kısıtlılığı ve rotasyon deformitesi bulunan hastada distal femurdan yapılan osteotomi sonrası plak-vida ile tespit 29
Şekil 2.24. Coxa vara deformitesi ve rotasyonel deformitesi bulunan hastada proksimal femurdan yapılan osteotomi sonrası varus düzeltme ve derotasyon sonrası plak-vida fiksasyonu 29
Şekil 2.25. Sagital planda anterior ve posterior translasyon deformiteleri 30
Şekil 2.26. Frontal planda lateral ve medial translasyon deformiteleri 30

Şekil 2.27. Angulasyon-translasyon deformitelerinde translasyon büyüklüğünün ölçülmesi. İlk şekilde kısalık yokken ikinci şekilde kısalık varken ölçüm yöntemi gösterilmiştir. 32
Şekil 2.28. Popliteal açı ölçümü 33
Şekil 2.29. Gerçek ekstremite uzunluğu ölçümü 36
Şekil 2.30. Görünen ekstremite uzunluğu ölçümü 37
Şekil 2.31. Femurda kısalık bulunan 9 yaş kız çocuğunda 4 cm uzatma sonrası kallus dokusuna zarar vermeden plak vida fiksasyonu (uzatma sonrası plaklama = PAL tekniği) 38
Şekil 2.32. Uzun ekstremitenin epifizyodez uygulaması ile uzamasının bloklanması 39
Şekil 2.33. Fiksatör yardımlı çivileme (FAN = Fixator Assisted Nailing) ve çivi üzerinden uzatma (LON = Lengthening Over Nailing) tekniği 39
Şekil 3.1. Çalışma için yapılan power analiz grafiği 41
Şekil 3.2. Preoperatif ekstansiyon kısıtlılığının gonyometre ile ölçülmesi 43
Şekil 3.3. Popliteal açı ölçümü 43
Şekil 3.4. PDFA ve PPTA ölçümü 44
Şekil 3.5. Ekstansiyon osteotomisi yapılacak olan hastaların preoperatif değerlendirilen açıları 45
Şekil 3.6. Transmalleolar aks ve ayak uzun aksı. Patellaların etrafının çizilmesi 46
Şekil 3.7. Uyluk ekseni ve ayak uzun aksı kırmızı çizgiler ve açının rahat ölçülebilmesi için uyluk eksenine paralel çizilen sarı çizgi 46
Şekil 3.8. Uyluk eksenine paralel çizilen sarı çizgi ile ayak uzun aksı arasındaki açının bilgisayar ortamında ölçülmesi (+3 derece uyluk ayak açısı mevcut olan hasta) 47
Şekil 3.9. Uyluk ekseni, ayak uzun aksı ve transmalleolar aks çizgilerinin çizilmesi 47
Şekil 3.10. Uyluk ekseni ve transmalleolar aks arasındaki açının bilgisayar ortamında ölçülerek bulunması. 48
Şekil 3.11. Başka bir hastanın transmalleolar aks açısının bilgisayar programı yardımıyla ölçülmesi 48
Şekil 3.12. Kalça iç rotasyonunun fotoğraflanması 49

Şekil 3.13. Kalça iç rotasyonu bilgisayar ortamında 80 derece ölçülen hasta 49
Şekil 3.14. Kalça dış rotasyonunun fotoğraflanması 49
Şekil 3.15. Ayak ilerleme açısının belirlenmesi 50
Şekil 3.16. Sensörlü yöntemde femur distale fizis hattına zarar vermeden kishner tellerinin iki adet atılması. Sensörün stabilitesi ve tek tel üzerinde dönmemesi için iki adet tel atıldı. 52
Şekil 3.17. Ekstansiyon osteotomisi yapıldıktan sonra uygun plak ve vidalar ile tespit işlemi yapılması, vaka içi skopi görüntüleri 52
Şekil 3.18. Skopi eşliğinde fizis korunarak iki adet kişner teli atılıp sensörler teller üzerine vidalarla tespit edildikten sonra insizyon açılarak kemiğe ulaşılması 53
Şekil 3.19. Uygun plak ayarlandıktan sonra plak proksimalinin iki adet vida ile tespit edilmesi ve tespit sonrası cihaz başlatıldıktan sonra osteotomi aşamasına geçilmesi 54
Şekil 3.20. Osteotomi sonrası rotasyonel deformitenin düzeltilmesi ve tespit işlemi sonrası skopi görüntüsü. Rotasyon sonrası sensörlerin birbirine göre konumuna dikkat ediniz. 54
Şekil 3.21. Arduino Mega 2560 Kartı 56
Şekil 3.22. MPU6050 İvme Ölçer- Gyro Kartı 56
Şekil 3.23. 3,2” TFT LCD Ekran Modülü 57
Şekil 3.24. TFT LCD Mega Shield 57
Şekil 3.25. Tasarlanan cihazın dış görüntüsü 58
Şekil 3.26. Cihaz bilgilendirme ekranı 59
Şekil 3.27. Cihaz operasyon bilgilendirme ekranı 59
Şekil 3.28. İvme modülleri görüntüsü 60
Şekil 3.29. Operasyon aşaması ekran görüntüsü 60
Şekil 3.30. Cihaz test ekran görüntüsü-1 61
Şekil 3.31. Cihaz test ekran görüntüsü-2 61
Şekil 4.1. Ekstansiyon osteotomisi geleneksel yöntem ve sensörlü yöntem süre farkı 63

Şekil 4.2. Ekstansiyon osteotomisi yapılan hastaların preop fiziksel HDA-postop fiziksel DM ve preop fiziksel HDA-postop radyolojik DM arasındaki açı farkı 65
Şekil 4.3. Ekstansiyon osteotomisi yapılan hastalardan kemik kısaltma işlemi yapılan hastalar çıkarıldıktan sonra kalan hastaların preop fiziksel HDA- postop fiziksel DM ve preop fiziksel HDA- postop radyolojik DM arasındaki açı farkı 68
Şekik 4.4. Rotasyonel deformitelerin geleneksel ve sensörlü yöntemlere göre süre farkları 69
Şekil 4.5. Rotasyonel deformitelerin geleneksel ve sensörlü yöntemlere göre HDA-DM açı farkları 70
Şekil 4.6. Femur rotasyonel deformitelerinin geleneksel ve sensörlü yöntemlere göre açı farkları 71
Şekil 4.7. Femur rotasyonel deformitelerinin geleneksel ve sensörlü yöntemlere göre süre farkları 72
Şekil 4.8. Tibia rotasyonel deformitelerinin geleneksel ve sensörlü yöntemlere göre açı farkları 72
Şekil 4.9. Tibia rotasyonel deformitelerinin geleneksel ve sensörlü yöntemlere göre süre farkları 73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AMA	**:**	Anatomik Mekanik Açı
MAD	**:**	Mekanik Aks Deviasyonu
mLPFA	**:**	Mekanik Lateral Proksimal Femoral Açı
aMPFA	**:**	Anatomik Medial Proksimal Femoral Açı
aMNSA	**:**	Anatomik Medial Neck-Shaft Angle
mLDFA	**:**	Mekanik Lateral Distal Femoral Açı
aLDFA	**:**	Anatomik Lateral Distal Femoral Açı
mMPTA	**:**	Mekanik Medial Proksimal Tibial Açı
mLDTA	**:**	Mekanik Lateral Distal Tibial Açı
ANSA	**:**	Anterior Neck-Shaft Angle
aPDFA	**:**	Anatomik Posterior Distal Femoral Açı
aPPTA	**:**	Anatomik Posterior Proksimal Tibial Açı
aADTA	**:**	Anatomik Anterior Distal Tibial Açı
CORA	**:**	Center of Rotation of Angulation
aJCD	**:**	Anatomic axis to joint center distance
ACA	**:**	Angulation correction Axis
MRG	**:**	Manyetik rezonans görüntüleme
PAL	**:**	Plating after lengthening
FAN	**:**	Fixator Assisted Nailing
LON	**:**	Lengthening Over Nailing
KTA	**:**	Diz üçgen açısı
LCD	**:**	Liquid Crystal Display
postop DM	**:**	Postoperatif düzeltme miktarı
preop HDA	**:**	Preoperatif hedeflenen düzeltme açısı

TEŞEKKÜR

Uzmanlık sürecimin her aşamasında, değerli bilgi ve katkıları ile her zaman yanımda olan, bana her konuda güvenen, her şeyi öğretmeye çalışan kıymetli hocam Doç. Dr. Muhammed Çağatay ENGİN'e,

Bilime ve tıbba bakış açımı değiştiren ve her zaman desteklerini hissettiğim, çok şey öğrendiğim saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Orhan KARSAN'a, Prof. Dr. Naci EZİRMİK'e, Prof. Dr. Ömer Selim YILDIRIM'a, Prof. Dr. Ali AYDIN'a, Doç. Dr. Sinan YILAR'a, Doç. Dr. Mehmet Köse'ye, Doç. Dr. Kutsi TUNCER'e, Doç. Dr. Ahmet Emre PAKSOY'a, Dr. Öğr. Üyesi Eyüp ŞENOCAK'a, Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Cenk TURGUT'a ve Dr. Öğr. Üyesi Ömer AYIK'a

Uzmanlık süresince aynı yolda olmaktan onur duyduğum, güzel anılar paylaştığım ve beraber çalışmaktan keyif aldığım kıymetli ortopedi ve travmatoloji bölümü asistan arkadaşlarıma,

Çocukları olmaktan çok büyük gurur duyduğum sevgili anneme, babama ve akademik katkılarından dolayı ablam Doç.Dr. Semra NAVRUZ VARLI' ya,

Hayatımın her alanında olduğu gibi tez dönemimde de desteğini eksik etmeyen, fedakarlık gösterip her konuda bana yardımcı olan kıymetli eşim Uzm. Dt. Çiğdem YILDIRIM NAVRUZ'a ve bu tez döneminde heyecanla beklediğimiz kızımız ASYA NİL'e,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Dr. Abdullah NAVRUZ

ÖZET

Pediatrik Yaş Grubu Uzun Kemik Deformitelerinin Düzeltme Prosedürlerinde Hareket Sensörü Kullanımı

Amaç: Bu çalışmada, pediatrik deformitelerin cerrahi tedavisinde optimum sonuçlar alınabilmesi için, intraoperatif açı ölçümlerindeki hassasiyetin artırılması, bilgisayar destekli sensörler yardımıyla kompleks açısal düzeltmelerin yapılabilmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot: Prospektif, randomize, kontrollü ve tek kör olarak planlanan çalışmamızda, intraoperatif açı ölçümü için bilgisayar destekli sensörler kullanılarak cihaz tasarımı yapılmıştır. Uzun kemiklerde, transvers plan deformitelerinden rotasyonel deformiteleri ve sagital plan deformitelerinden diz ekleminde ekstansiyon kısıtlılığı olan hastalar belirlenmiştir. Hastalar geleneksel ve sensörlü yöntemlerle (tasarlanan cihazla) opere edilmiştir. Preoperatif deformiteler fizik muayene yöntemleri ve direkt grafilerle ölçülerek hedeflenen düzeltme açıları (HDA) belirlenmiştir. İntraoperatif, geleneksel yöntemde gonyometre, sensörlü yöntemde tasarlanan cihaz kullanılarak açı ölçümleri yapılmıştır. Postoperatif açısal düzeltme miktarları (DM) belirlenmiştir.

Bulgular: Rotasyonel deformiteleri düzeltilen hastalarda, geleneksel yöntem ve sensörlü yöntem arasında preoperatif HDA- postoperatif DM (geleneksel yöntemde 4.47 ± 1.8), (sensörlü yöntemde 1.57 ±1.2) kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($P < 0.0001$).

Sonuç: Özellikle femur kaynaklı rotasyonel deformitesi bulunan hastalarda, cerrahi süreyi kısaltması ve geleneksel yöntemlere göre açı ölçümünde daha doğru sonuçlar alınması açısından sensörlü yöntemin kullanımının yaygınlaştırılması önerilir.

Anahtar Kelimeler: rotasyonel deformiteler, ekstansiyon osteotomisi, intraoperatif açı ölçümü, pediatrik ortopedi

ABSTRACT

Use of Motion Sensors in Correction Procedures of Long Bone Deformities in the Pediatric Age Group

Objective: In this study, we aimed to increase the precision of intraoperative angle measurements and to perform complex angular corrections with the help of computer-aided sensors in order to obtain optimum results in the surgical treatment of pediatric deformities.

Materials and Methods: In our prospective, randomized, controlled and single-blinded study, the device was designed using computer-assisted sensors for intraoperative angle measurement. Patients with rotational deformities from transverse plane deformities and knee extension limitation from sagittal plane deformities in long bones were identified. Patients were operated by conventional and sensorized methods (using the designed device). Preoperative deformities were measured by physical examination methods and direct radiographs and targeted correction angles (TCA) were determined. During the operation, angle measurements were made using a goniometer in the traditional method and the designed device in the sensorized method. Postoperative angular correction amounts (ACA) were determined.

Results: In patients whose rotational deformities were corrected, a statistically significant difference was found between preoperative TCA and postoperative CA (4.47 ± 1.8 in the traditional method) and 1.57 ± 1.2 in the sensor method ($P < 0.0001$).

Conclusion: Especially in patients with rotational deformity originating from the femur, it is recommended to expand the use of the sensor method in terms of shortening the surgical time and obtaining more accurate results in angle measurement compared to traditional methods.

Keywords: rotational deformities, extension osteotomy, intraoperative angle measurement, pediatric orthopedics

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Deformite ‘şekil bozukluğu’ ya da ‘normal anatomiden sapma’ anlamına gelmektedir. Deformiteler konjenital, gelişimsel, nörojenik ya da post-travmatik sebeplere bağlı ortaya çıkabilir. Ortaya çıkış sebeplerinden bağımsız olarak koronal, sagital ya da transvers planlar olmak üzere üç ayrı düzlemde görülebilir. Bu düzlemlerde izole deformiteler olarak görülebileceği gibi birden çok düzlemde komplike deformiteler olarak da görülebilir. Deformiteler bütün bu planlarda; angulasyon, translasyon, rotasyon ve kısalık şeklinde ortaya çıkabilir.

Pediatrik yaş grubunda görülen ‘şekil bozuklukları’ ya da içe basma, dışa basma gibi ‘anormal olarak görülen durumlar’ ebeveynleri kaygılandırarak tedavi arayışına itmektedir. Anormal olduğu düşünülen bu durumlar, çocukların normal büyüme gelişmesi sırasında görülen fizyolojik sınırlar göz önünde bulundurularak, fizik muayene ve radyolojik tanı yöntemleri ile değerlendirilir. Deformitenin yeri, sebebi ve derecesi net şekilde ortaya konulur. Hastanın yaşına, deformitenin yerine ve derecesine göre tedavi seçenekleri belirlenerek düzeltme prosedürleri uygulanır. Deformitelerin düzeltilmesi sırasında intraoperatif açı ölçümleri kritik öneme sahiptir. Mevcut deformite cerrahisi sırasında, düzeltme işlemleri yapılırken intraoperatif açı ölçümü için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır [1]. Gonyometre ile ölçümler yapıldığı gibi [2], uzunluk birimlerinin dairesel hesaplamalarla açıya dönüştürüldüğü ölçümler [3] ya da cerrahın deneyimine göre subjektif açı ölçümleri [4] tanımlanmıştır. Yapılan cerrahi işlemlerin başarı düzeyi, cerrahi işlem sırasında kullanılan açı ölçüm yönteminin kalitesiyle doğru orantılı olarak değişebilmektedir [5]. Günümüzde deformite cerrahilerinde, intraoperatif açı ölçüm yöntemi olarak, kullanım kolaylığından dolayı sıklıkla gonyometre kullanılmaktadır [2]. İntraoperatif olarak gonyometre kullanımı sırasında, farklı düzlemler arasında ölçüm yapılması gerektiği durumlarda yöntemin yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Günümüz teknolojisine uygun şekilde objektif ölçüm değerleri sunabilen, bilgisayar destekli sensörlerin intraoperatif açı ölçümü yaparak cerrahi prosedürleri kolaylaştırabileceği görülmüştür.

Çocuk ortopedi ve deformite cerrahisi alanında daha önce intraoperatif açı ölçümü için üç boyutlu yazıcılardan faydalanılmış [6], ancak bilgisayar destekli

sensörler kullanılmamıştır. Kalça ve diz artroplasti prosedürlerinde kullanılan, bilgisayar destekli robotik teknolojilerin cerrahi başarıyı önemli ölçüde artırdığı, hassas ölçümlerle mükemmele yakın sonuçlar alındığı bildirilmiştir [7, 8]. Bu çalışmalar ışığında, çocuk ortopedi ve deformite cerrahisi sırasında kullanılan intraoperatif açı ölçüm yöntemlerinin, günümüz teknolojisi kullanılarak uyarlanması gerekliliği düşünülmüş ve bilgisayar destekli, üç boyutlu açı ölçümü yapabilen sensörler kullanılarak cihaz tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan bu cihazla öncelikle çocuk ortopedi ve deformite alanında optimum intraoperatif açı ölçüm yöntemi geliştirilmek istenmiş ve deformite alanında gelişen teknoloji ile robotik cerrahiye öncülük etmesi planlanmıştır.

Bu çalışmada, pediatrik deformitelerin cerrahi tedavisinde optimum sonuçlar alınabilmesi için, intraoperatif açı ölçümlerindeki hassasiyetin artırılması, bilgisayar destekli sensörler yardımıyla kompleks açısal düzeltmelerin sağlanabilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Tarihçe

Deformite cerrahisi alanında önemli gelişmeler son 20 yıl içinde ilerleme kaydetmiştir. Nicholas Andry 1741 yılında "Orthopédie"[9] adlı kitabı yazarak ortopedinin temellerini atmıştır. Dr Gavril Abramovitch İlizarov (1921-1992) ilizarov metodunu geliştirmiştir [10]. Friedrich Pauwels biyomekanik ile ilgili kitaplar yazmış, Wolff's kanununu revize etmiştir. Pauwels 1927 yılında kalçada varus deformitesi olan hasta gruplarında valgus osteotomisi için prensipleri belirlemiş, uygulamış ve yayınlamıştır [11].

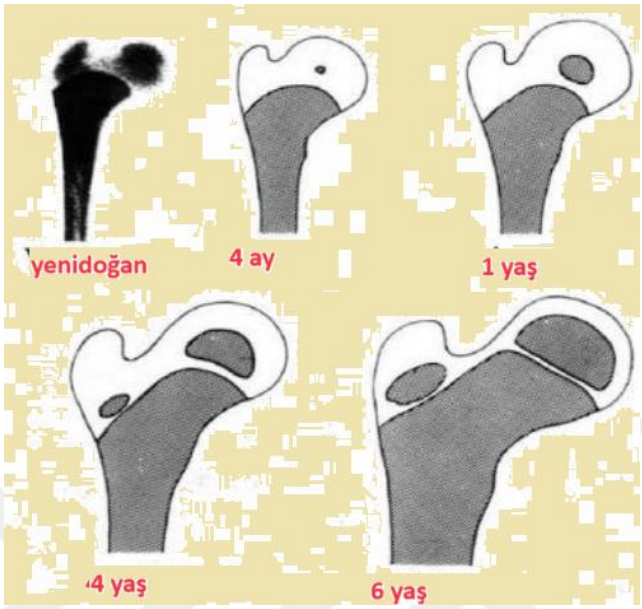
Tibiada torsiyon açılarını 1903 yılında Le Damany tanımlamıştır [12]. Hotter ve Scott 1949 yılında tibial torsiyonu direkt grafi yardımıyla ölçme yöntemini yayınlamışlardır [13]. Shatelli ve Engel 1972 yılında trigonomotrik yöntemlerle tibiofibular torsiyonel ölçümler yapmışlardır [14]. Jakop 1980 yılında ilk defa bilgisayarlı tomografi ile tibial torsiyon ölçüm metodu yayınlamıştır [15]. Shatelli 1985 yılında rotasyonel açıları fizik muayene ile ölçtüğü yöntemlerini yayınlamıştır [16]. Benzer ölçümleri Schneider 1997 yılında manyetik rezonans görüntüleme yöntemleri ile yapmıştır [17].

Dr. Dror Paley deformite cerrahisi konusunda en önemli adımları atan cerrah olarak literatüre girmiştir. Deformite cerrahisinde kullanılan birçok terminoloji Dr. Paley tarafından tanımlanmıştır [18].

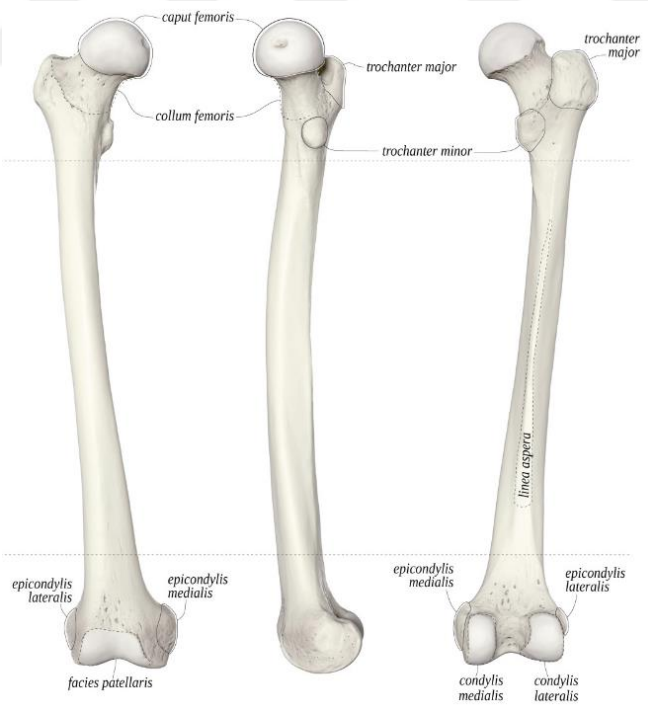
2.2. Anatomi

Vücudumuzda bulunan en uzun kemik femurdur. Fetal dönemin 7. haftasında femurun birincil kemikleşme merkezi oluşur. Yenidoğan döneminde femur başı henüz kemikleşmemiştir. Femurun kemikleşme merkezlerinden trokanter major 5 yaş civarlarında ve trokanter minör 9 yaş civarlarında oluşur. Trokanter majör ve minör 15-16 yaş civarlarında kemikleşerek tamamen kapanır. Femurun distal fizisi

doğumdan itibaren mevcuttur ve 19-20 yaşına kadar uzamanın merkezlerindendir. Femur uzamasının yaklaşık %70' i distal fizisten gerçekleşir [19].



Şekil 2.1. Femur proksimali ossifikasyon merkezleri



Şekil 2.2. Femur anterior ve posterior görünümleri (görsel https.//anatomytool.org sitesinden alınmıştır.)

Koronal planda femurun boynu ile şaftı arasında yenidoğanlarda ortalama 140 derece açı görülürken, yetişkin yaşlarda bu açı ortalama 125 derecelere kadar düşebilir. Femur başının aksiyel planda yaklaşık 15 derece anteversiyonu vardır. Femur distalinde 2 adet kondil görülmektedir ve bu kondillerden medial kondil lateral kondile göre daha büyüktür [20].

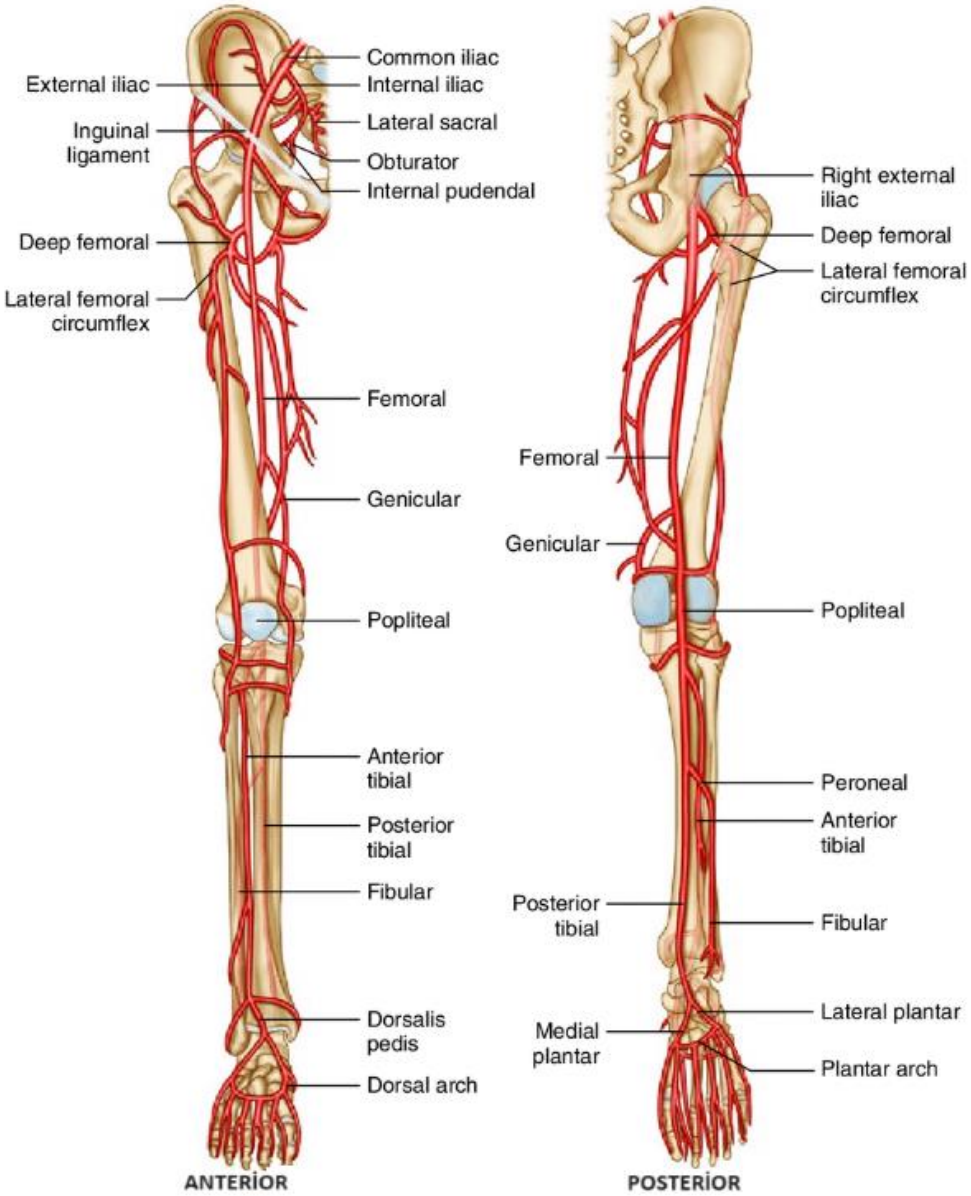
Tibianın 3 adet kemikleşme merkezi bulunmaktadır. Tibianın diafiz bölümü gebeliğin 7. haftalarında kemikleşmeye başlar. Tibianın proksimal epifizi doğumdan sonra birkaç ay içinde, distal epifizi ise 2 yaş civarında belirginleşmeye başlar. Tibianın distal ve proksimal fizleri yaklaşık olarak 16 yaş civarında kapanır [19, 20].



Şekil 2.3. Tibia ve fibula anterior ve posteriordan görünüm (görsel https.//anatomytool.org sitesinden alınmıştır.)

Alt ekstremite arteryel dolaşımında eksternal iliak arterler inguinal ligamanı geçtikten sonra femoral arter ismini alır ardından, yüzeyel ve derin femoral arterlere ayrılır. Derin femoral arter medial ve lateral sirkümfleks arterlere ayrılıp, femur başının beslenmesini sağlar. Femur başının beslenmesinde ana görevi medial femoral sirkümfleks arter üstlenmektedir. Derin femoral arter diafize doğru uzanarak femur

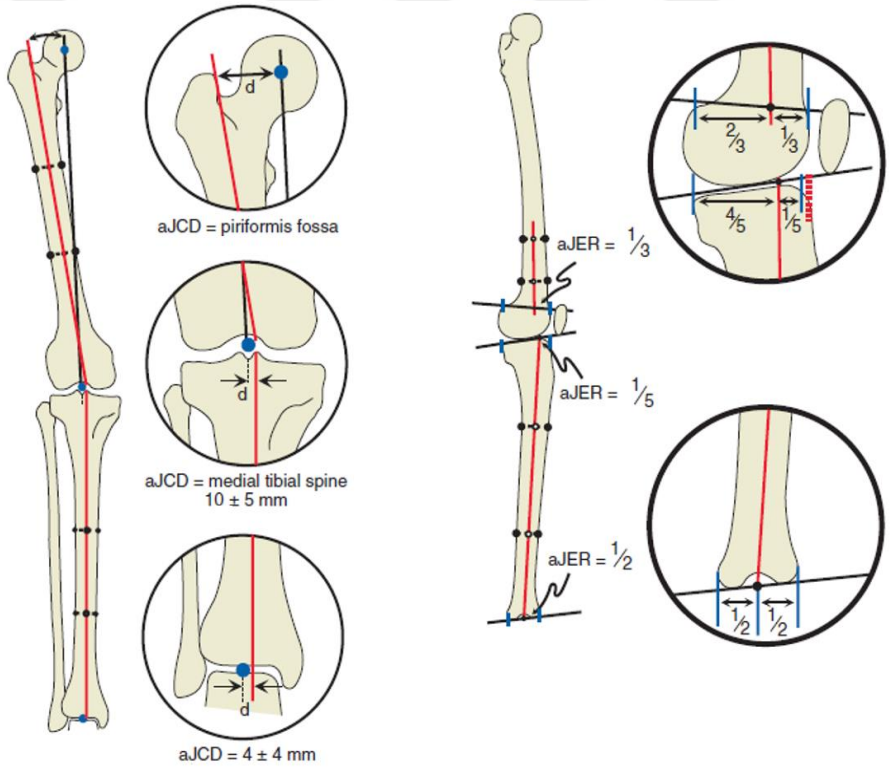
diafizini besleyen perforan dallar verir. Yüzeyel femoral arter ise adduktor hiatusa kadar seyreder ve adduktor hiatustan sonra popliteal arter adını alır. Popliteal arter popliteal fossadan sonra gastroknemius kasının medial ve lateral başı arasında tibialis anterior ve tibialis posterior dallarını verir. Bu dallardan posterior tibial arter daha sonra peroneal dalını vererek medial malleolün arkasından seyredip medial ve lateral plantar arterler olarak sonlanır [20].



Şekil 2.4. Alt ekstremite arteryel dolanımı (görsel https.//www.researchgate sitesinden alınmıştır.)

2.3. Biyomekanik

Alt ekstremitede bulunan akslar; anatomik ve mekanik aks olarak isimlendirilir. Alt ekstremitede mekanik aks femur başının merkez noktasından ayak bileği orta noktasına çizilen çizgi ile belirlenir. Femur koronal planda oblik şekilde durduğu için femurun anatomik aksı ile mekanik aksı arasında yaklaşık 7 derecelik fark vardır. Femur kondilleri ve tibia platosu yere paralel olarak durmaktadır. Oblik pozisyonda bulunan femurda kondillerin yere paralel olması metafizin diafize göre valgusta olması ile sağlanmaktadır. Tibiada anatomik ve mekanik akslar birbirine paraleldir [21].



Şekil 2.5. Anatomik aks ve mekanik aks referans noktaları [18]

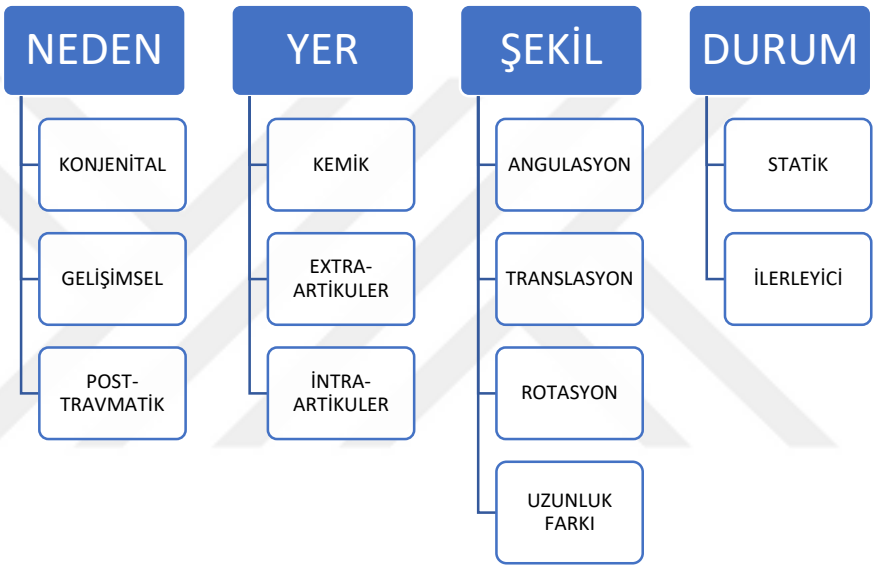
2.4. Pediatrik Ortopedide Deformite Analizi ve Temel Kavramlar

Deformite kelimesi ‘şekil bozukluğu’ ya da ‘normal fizyolojik anatomiden sapma’ anlamlarına gelmektedir. Deformiteleri doğru şekilde analiz etmek için,

deformitenin ölçüm yöntemlerinin, anatomik referans aralıklarının ve elde ettiğimiz ölçüm değerlerinin nasıl yorumlanacağının bilinmesi gereklidir.

Alt ekstremitede deformiteler değerlendirilirken yapılacak analizlerin bugün kullanılan şekli Paley tarafından tanımlanmıştır [18]. Ölçümde kullanılacak yöntemler ve kullanılacak yöntemlerin sırası, dizilim bozukluğu testi (Malalignment Test) adı altında toplanmıştır.

Tablo 2.1. Ekstremitelerde Deformitelerin Sınıflaması



Deformiteler izole tek bir deformite olarak karşımıza çıkabileceği gibi birden fazla deformite aynı hastada görülerek kombine deformiteler olarak da karşımıza çıkabilmektedir.

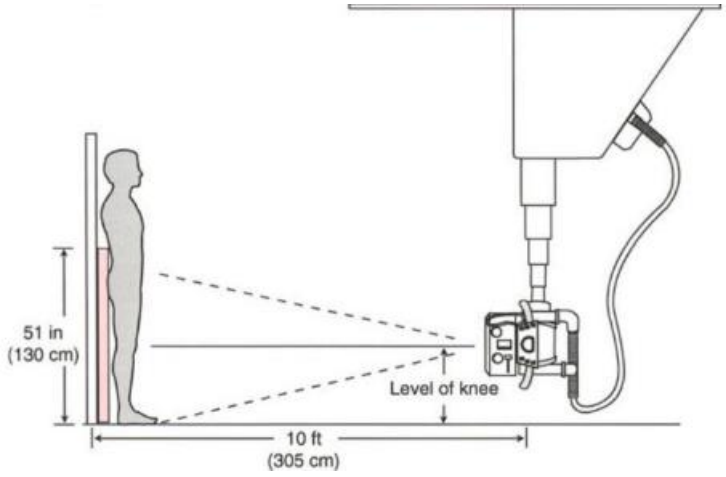
Deformiteler doğumsal, kazanılmış, nörojenik ve travmaya bağlı oluşan deformiteler olarak dört farklı oluşum mekanizması ile karşımıza çıkmaktadır [18].

Deformite analizi yapmak; basit bir femur kırığına bağlı ortaya çıkan patolojiyi ya da konjenital tibia yokluğu nedeniyle ortaya çıkan komplike bir patolojiyi, aynı prensiplere dayanarak değerlendirmek ve tedavi etmektir.

Deformite analizi yapmak için hastalara öncelikle radyolojik görüntülemeler yapılırken aynı zamanda ayrıntılı klinik değerlendirmeler de yapılması gereklidir. Radyolojik görüntülemelerin yanı sıra ayrıntılı klinik muayene özellikle rotasyonel deformitelerde oldukça fazla veri sunmaktadır. Klinik değerlendirmeler ve yürüme analizi deformitelerde tanı koymada ve tedavide oldukça yol göstericidir [22].

Deformite analizinde kullanılan radyolojik görüntülerin standardize edilmesi ve tekrarlanabilir olması oldukça önemlidir. Alt ekstremite ortoröntgenogramı çekilirken kurallara uygun çekilmesi, tanı ve tedavide yanılma payını azaltır. Ortoröntgenogram çekilirken dikkat edilmesi gereken kurallar [23]:

- İki ortogonal görüntü olmalıdır (anteroposterior ve lateral görüntüler).
- Hasta ve tüp arasındaki mesafe 305 cm olmalıdır.
- Patella orta hatta alınmalı, femoral kondillerin ortasında konumlanmalıdır. Eğer patella düzeltilemiyorsa ekstansiyon fleksiyon aksı anteroposterior (AP) düzleme alınmalıdır.
- Kalçadan ayak bileğine kadar tüm alt ekstremite görüntülenmelidir.
- Ayakta basarak çekilmelidir.
- Ekstremite uzunluk farkı var ise pelvis bloklar ile eşitlenmeli ve o şekilde grafi çekilmelidir.
- X ışını çekilen eklemin merkezine yönlendirilmelidir.
- Grafi yetersiz ise kabul edilmemeli ve tekrarlanmalıdır.
- Gerekirse hekim eşliğinde bu kurallara uyularak tekrar grafi çekilmelidir.



Şekil 2.6. Ortoröntgenogram çekim tekniği [18]

Radyolojik ve klinik değerlendirmeler sonrasında mevcut deformiteyi anlamak, tedavi planını daha iyi yapmak ve tedavi sonrası süreci değerlendirmek için temel kavramları ve deformite prensiplerini tam olarak kavramış olmak gereklidir. Deformitenin ne olduğunu anlamak için öncelikle normal dizilim (alignment) ve normal yönelimin (oryantasyon) ne olduğunun tam olarak bilinmesi şarttır [18].

Alignment (dizilim): Kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin uzunlamasına yerleşiminin aynı düzlemden geçtiği fizyolojik konumunda olmasına alignment denir.

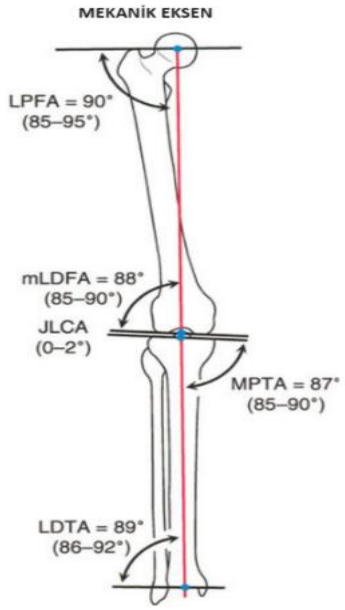
Oryantasyon (yönelim): Bir uzun kemiğin femur veya tibia gibi eklem yüzeylerinin aynı kemiğin anatomik veya mekanik eksenine göre fizyolojik konumunda olmasına oryantasyon denir. Her eklemin bir adet eklem oryantasyon çizgisi vardır.

Malalignment (Dizilim bozukluğu): Kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin uzunlamasına yerleşiminin tek düzlemde yani fizyolojik pozisyonlarında olmamasıdır.

Maloryantasyon (Kötü yönelim): Uzun kemiklerde eklem yüzeyinin aynı kemiğin mekanik ya da anatomik aksına göre normalde olması gereken konumunda olmamasına kötü yönelim denir.

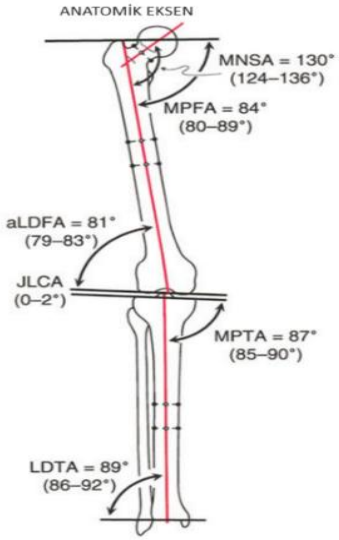
Her uzun kemiğin anatomik aks ve mekanik aks olmak üzere toplam iki adet aksı vardır.

Mekanik eksen (mekanik aks): Bir uzun kemiğin proksimal ve distal eklemlerinin merkezi noktalarını birleştiren düz çizgiye denir.



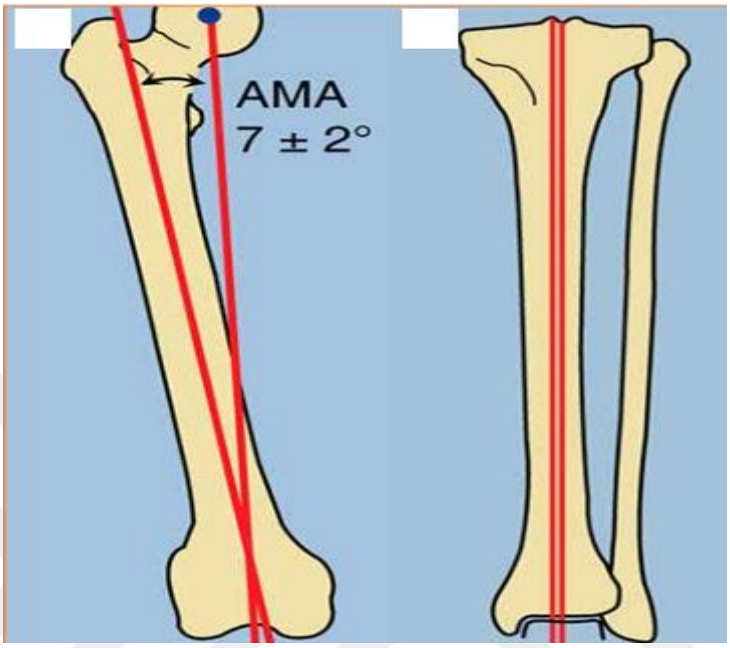
Şekil 2.7. Alt ekstremite mekanik ekseni [18]

Anatomik eksen (anatomik aks): Bir uzun kemik diafizinin orta noktalarını birleştiren çizgidir.



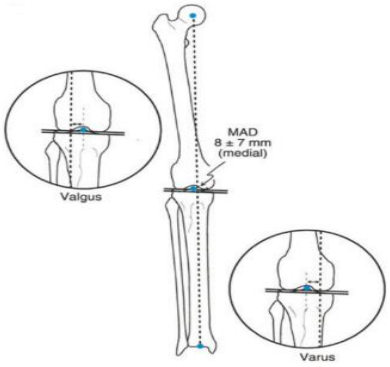
Şekil 2.8. Alt ekstremite anatomik ekseni [18]

Femurda mekanik eksen ve anatomik eksen arasında (Anatomic-Mechanic Angle=AMA) 7° fark varken, tibiada her iki eksen birbirine paraleldir ve aynı çizgi olarak kabul edilir.



Şekil 2.9. Femur ve tibianın mekanik ve anatomik eksenleri (Anatomic-Mechanic Angle=AMA) [18]

MAD = Mekanik aks deviasyonu (mekanik eksen sapması): Alt ekstremite mekanik aksının dizin orta noktası ile arasındaki mesafeye mekanik aks deviasyonu denir. Mekanik aks normalde bu noktanın 8±7 mm medialinden geçer. Mekanik eksenin normalin medialinden geçmesine 'varus' deformitesi, lateralinden geçmesine 'valgus' deformitesi denir.



Şekil 2.10. Mekanik aks deviasyonu (MAD), varus ve valgus deformitesi [18]

2.4.1. Eklem Uyum Çizgilerinin Mekanik Aks ve Anatomik Aks Çizgileri İle İlişkileri

Eklem oryantasyon çizgileri ile mekanik ve anatomik akslar arasındaki ilişkiyi göstermek için ölçülen açılar dört büyük harfle sembolize edilir. Bu harflerden ilki açının yönünü tanımlar, eğer açı frontal planda ölçülüyorsa açı yönü ya lateral olarak ya da medial olarak belirlenir, eğer açı sagital planda ölçülüyorsa ya anterior olarak ya da posterior olarak belirlenir. Bundan dolayı ilk harf yön kelimelerinin baş harfleri olan A, P, M veya L harflerinden biridir. İkinci harf ise açının kemiğin distalinde mi yoksa proksimalinde mi ölçüldüğünü gösterir, ikinci harf distalde ise D, proksimalde ise P harfi ile gösterilir. Üçüncü harf hangi kemiğe (tibia, femur) ait açının ölçüldüğünü gösterir. Üçüncü harf açı tibiaya ait ise T, femura ait ise F harfi ile gösterilir. Dördüncü harf açı (angle) kelimesinin baş harfi olan A'dır. Dört büyük harflik açı tanımı önüne küçük harflerle "a" harfi yazılırsa açının anatomik eksene göre çizildiğini, "m" harfi yazılırsa açının mekanik eksene göre çizildiğini gösterir [18]. Bu açılar:

mLPFA (mekanik Lateral Proksimal Femoral Açı): Femur başının merkezi noktası ile trokanterin tepesini birleştiren düzlem ile femurun mekanik ekseninin lateralde oluşturduğu açıdır. Ortalama 90°'dir (en az 85°, en çok 95°).

aMPFA (anatomik Medial Proksimal Femoral açı): Femur başının merkezi noktası ile trokanter tepesini birleştiren düzlemin anatomik eksenle medialde oluşturduğu açıdır. Ortalama 84°'dir (en az 80°, en çok 89°).

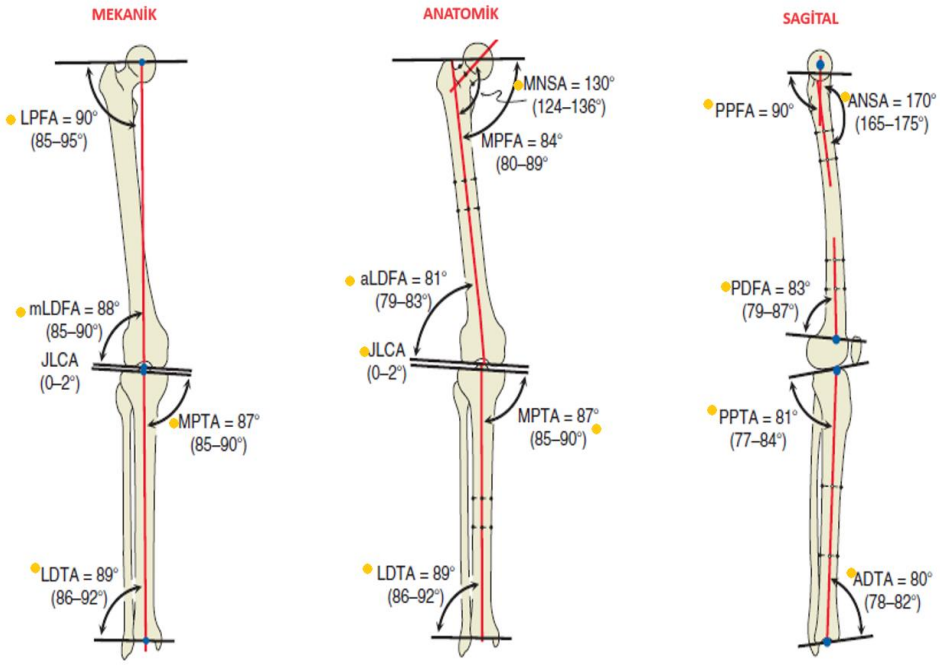
aMNSA (anatomik Medial Neck-Shaft Angle (Medial Boyun Şaft Açısı)): Femur başının merkezi noktasını femur boynu orta noktası ile birleştiren düzlemin anatomik eksenle medialde yaptığı açıdır. Ortalama 130°'dir (en az 124°, en çok 136°).

mLDFA (mekanik Lateral Distal Femoral Açı): Distal femur eklem uyum çizgisinin femur mekanik ekseni ile lateralde oluşturduğu açıdır. Ortalama 87°'dir (en az 85°, en çok 90°).

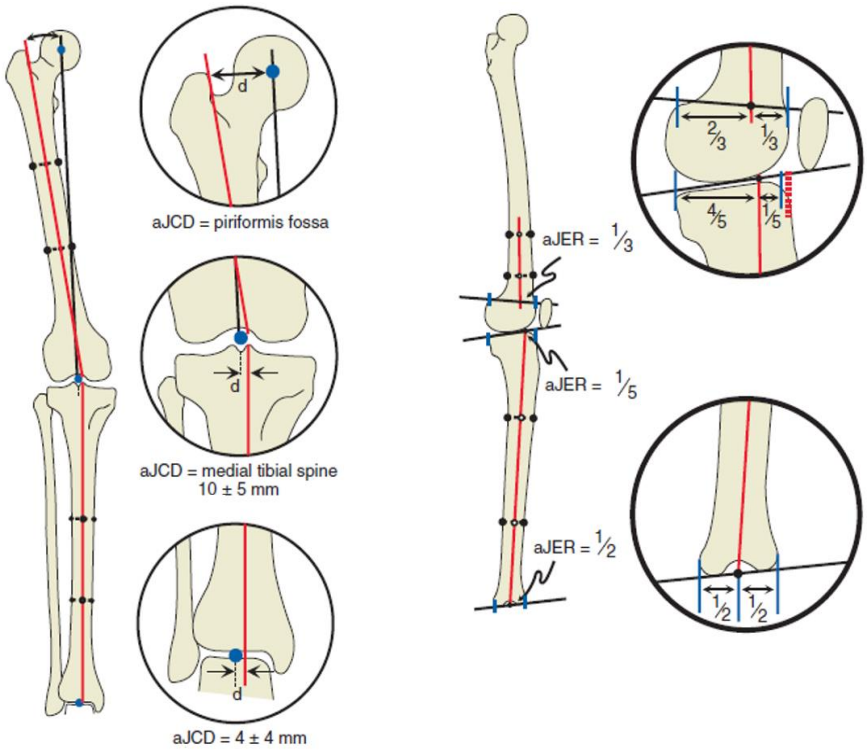
aLDFA (anatomik Lateral Distal Femoral Açı): Distal femur eklem uyum çizgisinin femur anatomik ekseni ile lateralde oluşturduğu açıdır. Ortalama 81°'dir (en az 79°, en çok 83°).

mMPTA (mekanik Medial Proksimal Tibial Açı): Proksimal tibia eklem uyum çizgisinin tibia mekanik ekseni ile medialde oluşturduğu açıdır. Ortalama 87°'dir (en az 85°, en çok 90°). Tibianın anatomik ve mekanik ekseni aynı kabul edildiği için bu çizgi anatomik eksenle de medialde aynı derecede açı oluşturur.

mLDTA (mekanik Lateral Distal Tibial Açı): Distal tibia eklem uyum çizgisinin, tibianın anatomik ve mekanik eksenlerinin lateralde oluşturduğu açıdır. Ortalama 89°'dir (en az 86°, en çok 92°).



Şekil 2.11. Eklem uyum açıları [18]

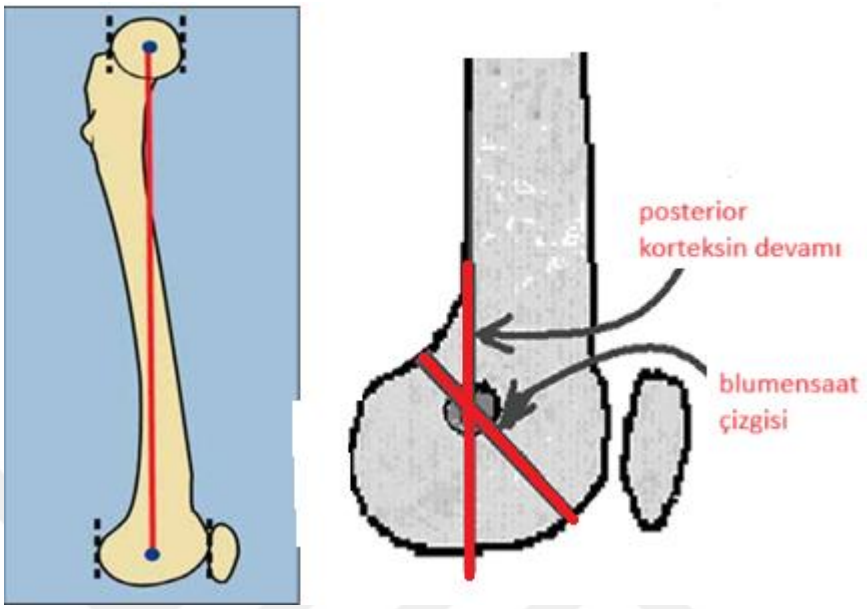


Şekil 2.12. Eklem uyum açıları belirleyici anatomik noktalar [18]

Alt ekstremitenin kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinde sagital planda eklem hareket açıları oldukça geniş aralığa sahip olduğu için sagital plan deformiteleri frontal plan deformitelerine oranla daha fazla tolere edilebilir. Özellikle diz ekleminde bulunan hiperekstansiyon deformitesi (rekurvatum) yine diz ekleminde bulunan fleksiyon deformitesine (prokurvatum) göre daha iyi tolere edilir. Frontal plan deformitelerinde olduğu gibi sagital plan deformitelerinin de analizini yapabilmek için sagital planda anatomik ve mekanik eksenleri çizmek ve sagital plan özelinde normal açıları bilmek oldukça önemlidir. Bütün bu özelliklerin yanı sıra sagital plandaki deformitelerde yumuşak doku komponentlerinin frontal plan deformitelerine göre daha fazla etkisi olduğuna da dikkat etmek gerekir.

Sagital planda femurun mekanik ekseni, kalça eklemi ve diz ekleminin rotasyon merkezlerini birleştiren çizgidir. Kalça ekleminin rotasyon merkezi: Lateral grafide femur başının merkezi noktasıdır. Diz ekleminin rotasyon merkezi: Lateral grafide tek bir çizgi olarak görünen femurun posterior korteksinin oluşturduğu çizginin, Blumensaat çizgisiyle kesiştiği nokta olarak kabul edilir. Kalça ekleminin ve

diz ekleminin rotasyon merkezleri birleştirilerek femurun sagital planda mekanik ekseni çizilmiş olur.



Şekil 2.13. Femur sagital plan mekanik ekseni ve rotasyon noktaları [18]

Kalça eklemi rotasyon merkezi ile ayak bileği ekleminin rotasyon merkezleri birleştirilerek alt ekstremitenin, sagital planda mekanik ekseni çizilmiş olur.

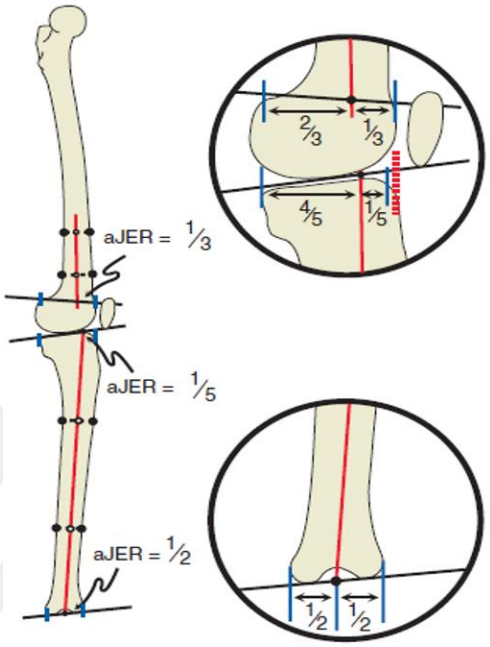
Sagital Planda eklem uyum çizgileri ile Anatomik ve Mekanik akslar Arasındaki İlişki ;

ANSA (Anterior Neck-Shaft Angle): Kalça eklem oryantasyonunu gösteren açıdır ve ortalama 170°'dir. (165-175°)

aPDFA ve aPPTA; diz eklem oryantasyonunu gösteren açılardır. Femur anatomik aksı, distal femur eklem uyum çizgisini 2/3 anteriorda keser.

aPDFA (anatomik Posterior Distal Femoral Açı): Distal femur ekleminin uyum çizgisinin, femur anatomik aksı ile posteriorda yaptığı açıdır. Ortalama 83°'dir (en az 79°, en çok 87°).

aPPTA (anatomik Posterior Proksimal Tibial Açı): Sagital planda tibia eklem oryantasyon hattını, tibia anatomik ekseni proksimal tibia eklem oryantasyon hattının 1/5 anteriorundan keser. aPPTA bu iki çizgi arasında oluşan açıdır. Ortalama 81°'dir (en az 77°, en çok 84°).



Şekil 2.14. Sagital plan deformite analizi [18]

aADTA (anatomik Anterior Distal Tibial Açı): Ayak bileği oryantasyonunu gösteren açıdır. Bu açı ortalama 80°'dir (en az 78°, en çok 82°).

Frontal planda deformite analizi yaparken takip edilmesi gereken aşamalar;

1. Öncelikle alt ekstremitenin mekanik aksı çizilerek başlanır,
2. Mekanik aks deviasyonu olup olmadığı belirlenir, varsa miktarı ölçülür,
3. Femurun ve tibianın mekanik aksları ayrı ayrı çizilir,
4. Femur ve tibia için eklem uyum çizgileri çizilerek değerlendirilir,
5. Son olarak açılar ölçülerek kayıt edilir; mLDFA, mMPTA, mLDTA, mLPFA.

Sagital planda deformite analizi yaparken takip edilmesi gereken aşamalar;

1. Öncelikle alt ekstremitenin sagital planda mekanik aksı çizilerek başlanır,
2. Femur ve tibianın anterior kortikal çizgileri belirlenir,
3. Femurun modifiye mekanik aksı çizilir (distal'de 1/3 anteriordan geçer),
4. Tibianın modifiye mekanik aksı çizilir (proksimalde 1/5 anterior, distalde 1/2 anteriordan geçer),
5. Sagital planda femur ve tibia için eklem uyum çizgileri belirlenir,
6. Son olarak açılar ölçülerek kayıt edilir; aPDFA, aPPTA, aADTA

Akslar çizildikten ve açılar belirlendikten sonraki aşamada deformitenin tepe noktası ya da birden çok deformite varsa tepe noktaları belirlenir. Bunun için anatomik aks ya da mekanik aksın kullanılabildiği iki farklı yöntem izlenebilir.

2.4.2. Deformitenin Anatomik Aks ile Planlanması

Anatomik aks ile planlama, basit deformiteler için daha sık kullanılan bir yöntemdir. Diyafizer deformitelerde, deformitenin distal ve proksimalinde bulunan segmentin anatomik aksları alınarak, bu aksların kesiştiği nokta deformitenin tepesi, 'Center of Rotation of Angulation (CORA)' olarak adlandırılır.

Metafizer deformitelerde ise eklem tarafında kalan segment anatomik aksın çizilemeyeceği kadar kısadır. Bu segmentlerde eklem oryantasyon çizgisi ve bu çizginin anatomik aks ile iliskisi kullanılarak planlanması yapılır. Burada femur ve tibia için anatomik aksın eklem orta noktasından geçmediği akılda tutulmalıdır (Anatomic axis to joint center distance, aJCD). Bu açının popülasyondaki geniş dağılımı nedeniyle, mümkünse kişinin normal ekstremitesi referans alınmalıdır. Eklem oryantasyon çizgisinin uygun noktasından, normal açıda çıkılan anatomik aks çizilir. Kesişme noktaları CORA olarak belirlenir. Proksimal tibia için aMPTA, distal tibia için aLDTA, proksimal femur için aMPFA ve distal femur için aLDFA kullanılır [18].

2.4.3. Deformitenin Mekanik Aks ile Planlanması

Tibia için mekanik ve anatomik akslar paralel olması nedeniyle bu iki planlama yöntemi arasında belirgin bir farklılık yoktur. Ancak femurda yaklasık 7° açı farkı mevcuttur. Proksimal femurun anatomik özellikleri nedeniyle biraz daha karmaşık gibi görünse de temelde aynı yöntemin uyarlaması yapılır:

- Distal femur eklem orta noktasından, referansa göre normal olan distal femur mekanik aksı çizilir.
- Karşı tarafın mekanik ve anatomik aksları arasındaki açı (AMA) ölçülerek normal değer elde edilir. Karşı taraf deforme ise AMA, 7° kabul edilir. Femur diyafiz orta noktasına çizilen çizgi (anatomik aks), açısal ilişkisini bozmadan kalça rotasyon merkezinden geçecek şekilde kaydırılır. Bu doğrudan, kalça rotasyon merkezinden geçecek sekilde AMA kadar mediale açılanan doğru çizilir.
- Bu 3. doğru proksimal femurun mekanik aksını olusturmaktadır. Distal femur mekanik aksı ile kesiştiği nokta CORA'yı verir. Deformite, proksimal femur anatomik aksı çizilemeyecek kadar proksimalde ise, bu durumlarda referans olarak mLPFA kullanılabilir. CORA'nın bulunduğu nokta belirlendikten sonra yerleşimi değerlendirilmelidir. Kemik dışında ya da deformiteye göre beklenmedik bir noktada çıkması, bu deformitenin multiapikal olduğunu gösterir [18].

2.4.4. Deformitelerde Osteotomi Kuralları

İki tip osteotomi vardır:

- Yalnızca açısal,
- Açısal ve translasyonel.

Açısal osteotomiler de kendi içerisinde kapalı ve açık kama osteotomiler olarak ayrılmaktadır. ACA (Angulation correction Axis, ACA), osteotomi sonrası düzeltmenin yapıldığı aksı ifade etmektedir. CORA, ACA ve osteotomi yeri

birbirlerinden bağımsızdır. Hepsi bir noktada olabildiği gibi, birbirlerinden farklı yerleşimde de olabilirler. ACA üzerinde yapılacak osteotomiler sadece açısal düzelme sağlarken, bu aksın dışında kalan osteotomiler, kemik segmentlerinin birbirlerine göre transle olmasına sebep olacaktır [24].

3 osteotomi kuralı tanımlanmıştır:

- **Osteotomi Kuralı 1:** ACA ve osteotomi aynı CORA üzerinde yer almaktadır. Kemik fragmanları arasında yanlızca açısal düzelme oluşurken, translasyon gerçekleşmez.
- **Osteotomi Kuralı 2:** ACA, CORA üzerinde yer almaktadır ancak osteotomi farklı bir noktadan yapılmıştır. Bu durumda kemik uçları hem açısal olarak düzelecek, hem de transle olacaktır.
- **Osteotomi Kuralı 3:** ACA, CORA'dan geçmemektedir. Kemik fragmanları arasındaki açısal ilişki düzelir ancak proksimal ve distal fragmanlar transle kalacaktır.

Kubbe (*Dome*) Osteotomisi: Merkezi ACA üzerinde olan bir çemberin kemiği kestiği noktaların birleşimi şeklinde yapılan osteotomidir. Açısal deformitelerde düzeltme kolaylığı sağlarken, rotasyonel deformitelerde kullanılamaması dezavantajıdır [24].

Deformiteler dört başlıkta toplanmaktadır [25]:

1. Rotasyonel deformiteler
2. Translasyonel deformiteler
3. Açısal deformiteler
4. Kısalık

2.5. Rotasyonel Deformiteler

Rotasyonel deformiteler, çocukların içe veya dışa basma gibi şikayetleri nedeniyle ebeveynlerini endişelendirir ve tedavileri için çözüm arayışına girmelerine

neden olur. Bu tür sorunların tedavisine başlamadan önce, problemin net bir şekilde anlaşılması ve deformitenin objektif olarak belirlenmesi gerekmektedir. Deformitenin tam olarak anlaşılabilmesi için çocuklardaki fizyolojik büyümenin ve normal sınırların bilinmesi önemlidir [16, 26].

2.5.1. Terminoloji

- **Versiyon:** Bacak rotasyonunun fizyolojik varyasyonlarını ifade eder. Alt ekstremite yaşla birlikte dış rotasyon yapar. Hem femur hem de tibia zamanla dışa döner. Yaş ilerledikçe femurda anteversiyon azalırken, tibial versiyon artar.
- **Tibial Versiyon:** Diz ekseni ile ayak bileğinde transmalleoler aks arasındaki açı farkını ifade eder. Normalde tibia hafifçe dışa dönüktür.
- **Femoral Versiyon:** Transservikal ve transkondiler eksenler arasındaki açı farkını ifade eder. Normalde femur anteverttir.
- **Torsiyon:** Alt ekstremitenin transvers plandaki açısal patolojilerine torsiyonel deformite denir. Normal fizyolojik sınırlardan +2 standart sapmadan fazla rotasyonel fark deformite olarak kabul edilir. Femurda iç rotasyon (internal femoral torsiyon) ve dış rotasyon (eksternal femoral torsiyon) olarak, tibiada ise iç rotasyon (internal tibial torsiyon) ve dış rotasyon (eksternal tibial torsiyon) olarak tanımlanır.

Rotasyonel deformiteler tek seviyede ya da birden fazla seviyede ortaya çıkabilir. Birden fazla seviyede görülen deformiteler, üst üste eklenerek kompleks deformiteler oluşturabileceği gibi, birbirlerini kompanse de edebilirler. Örneğin, internal femoral torsiyon ve internal tibial torsiyon bir arada görüldüğünde deformitenin şiddeti artarken; internal femoral torsiyon ile birlikte eksternal tibial torsiyon bir arada görüldüğünde bu iki deformite birbirini dengeleyebilir [27].

2.5.2. Normal Gelişim

Alt ekstremite, intrauterin dönemde 7. haftada içe dönüp, ayağın 1. parmağını orta noktaya getirir. Doğumda 30 derece olan femoral anteversiyon, ergenlik

döneminde 10 dereceye kadar iner. Bazı ailelerde, özellikle kadınlarda ve kız çocuklarında anteversiyon değerleri daha yüksek olabilir. Doğumda 5 derece olan tibial dış rotasyon, ergenlik döneminde 15 dereceye kadar artar. Büyüme sırasında tibia ve femurdaki dış rotasyon, tibial iç rotasyon ve femoral anteversiyon deformitelerinin zamanla düzelmesine katkıda bulunur. Ancak tibial dış rotasyon deformitesi genellikle büyüme ile kötüleşir [28].

2.5.3. Değerlendirme

Alt ekstremite transvers plan deformiteleri, sagital ve frontal plan deformiteleri gibi direkt grafilerle belirlenemez. Rotasyonel deformitelerin değerlendirilmesinde, radyasyon riski taşıyan tomografi veya çocuklarda çekimi zor olan MR gibi yöntemler yerine, fizik muayene ve klinik ölçümler öncelikli tercih edilmelidir [29].

Torsiyonel deformiteler genellikle fizik muayene ile teşhis edilir ve çocuğun öyküsü incelenerek olası diğer patolojiler dışlanabilir. Yürümede gecikme, nöromüsküler hastalıkları düşündürürken; rotasyonel problemler genellikle kalıtsal olduğundan aile öyküsü de sorgulanmalıdır [30].

Hasta genel bir muayeneden geçirilip, gelişimsel kalça displazisi ve serebral palsi gibi nörolojik sorunlar dışlanır. Rotasyon profili her iki taraf için değerlendirilerek ayrı ayrı not edilir.

Torsiyonel deformiteler ayak ilerleme açısında değişimlere sebep olabilir. Ayak ilerleme açısındaki değişimler ailelerin içe basma ya da dışa basma şikayetlerinin temelini oluşturur. Ayak ilerleme açısındaki değişimler genellikle yumuşak dokulardan değil kemiklerden kaynaklanan patolojilere bağlı ortaya çıkar [16].

2.5.3.1. Ayak İlerleme Açısı

Ayak ilerleme açısı, vücut ilerleme çizgisi ile ayak izleri arasındaki açıdır. Normalde, ayak ilerleme açısı yaklaşık 5-6 derece dış rotasyondadır [31].

Değerlendirme yapılırken, içe ve dışa basmanın yanı sıra patellaların yönü de dikkate alınmalıdır. Ayak ilerleme açısı dış rotasyonda ise dışa dönük yürüme, iç rotasyonda ise içe dönük yürüme olarak adlandırılır ve sırasıyla pozitif veya negatif değerlerle ifade edilir.

Ayak ilerleme açısının ölçümü sırasında hata payını azaltmak için, 6 kez ölçüm yapılır ve ortalaması alınır. Ayak ilerleme açısının normal değeri +10 derece (-3 ile +20 derece) olarak kabul edilir. İlk 5 yaşta bu açı önemli değişiklikler gösterebilir, ancak çocuğun yürüyüş şekli yetişkin yürüyüşüne ulaştıktan sonra sabit kalır [16].



Şekil 2.15. Bilateral femur iç rotasyon deformitesi patellalar içe dönük ve negatif ayak ilerleme açısı

2.5.3.2. Kalça Rotasyonları

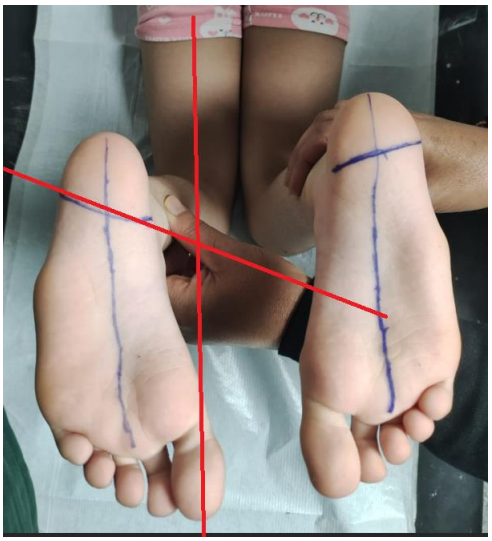
Femoral anteversiyon açısına bağlı olarak kalçanın iç ve dış rotasyon açılarında değişiklikler olabilir. Ölçümler, hasta yüzüstü yatarken gonyometre ile yapılabileceği gibi, fotoğraflanarak bilgisayar ortamında da yapılabilir. Normalde kalçaların iç ve dış rotasyonları eşittir [32]. Dış rotasyon için normal değer 40 derece (25-65 derece), iç rotasyon için ise 45 derecedir (15-60 derece). Bebeklerde kalça dış rotasyonu daha yüksek olabilir (yaklaşık 70 derece) [29].



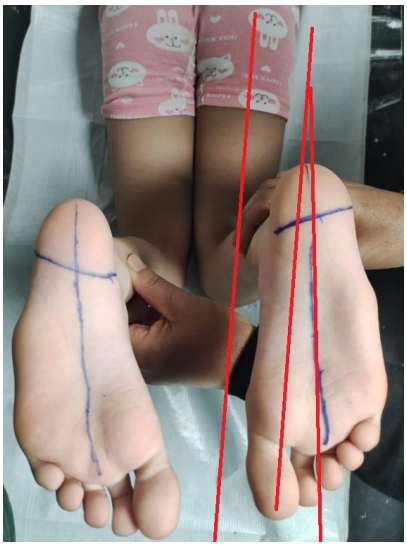
Şekil 2.16. Pron pozisyonda kalça iç ve dış rotasyonu

2.5.3.3. Uyluk Ayak Açısı ve Transmalleoler Aks Açısı

Uyluk ayak açısı ve transmalleoler aks açısı klinik ve fotoğrafik olarak ölçülebilir. Hasta yüzüstü pozisyonda yatarken, dizler 90 derece fleksiyona getirilerek ayak bilekleri nötral pozisyonda olacak şekilde tutulur. Ayak uzun ekseni (topuk ve 2. parmak arası) ile uyluk arasındaki açı gonyometre yardımıyla ya da çekilen fotoğraflardan bilgisayar ortamında ölçülür. Uyluk ayak açısının normal değeri bebeklerde -5 derece, 8 yaşındaki çocuklarda ise +10 derece olarak kabul edilir [33].



Şekil 2.17. Uyluk ekseni ve transmalleoler eksen

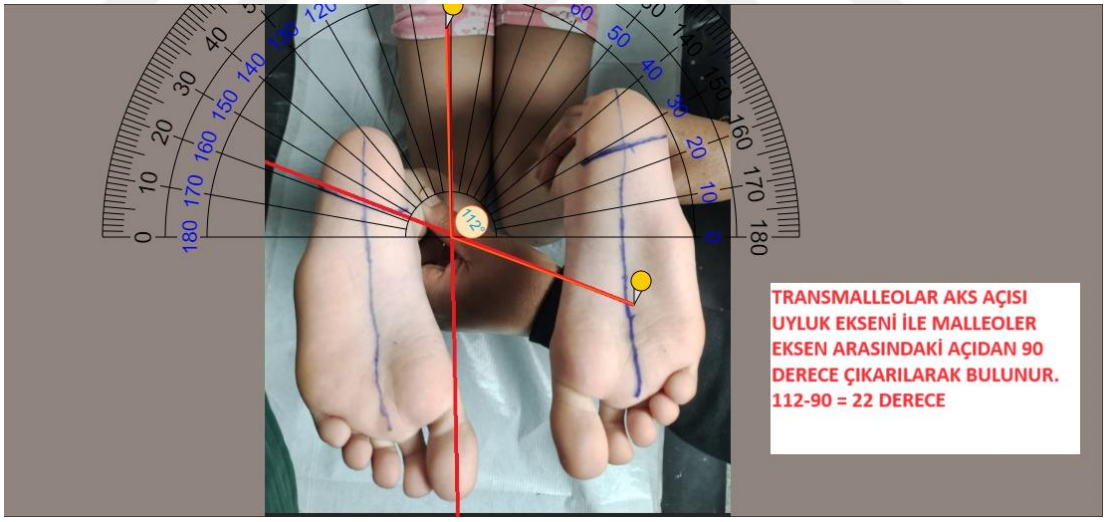


Şekil 2.18. Uyluk ayak açısı



Şekil 2.19. Uyluk ayak açısı bilgisayar programı yardımıyla ölçülen hasta (https.//www.ginifab.com sitesinden ölçüm yapılmıştır)

Transmalleolar aks açısı ölçülürken, lateral ve medial malleollerin en çıkıntılı noktaları ayak tabanından geçen düz bir çizgi ile birleştirilir ve uyluk ekseni çizgisi ile bu çizgi arasındaki açı ölçülerek, bu değerden 90 derece çıkarılır [33].



Şekil 2.20. Transmalleolar aks açısı bilgisayar programı yardımıyla ölçülen hasta (https.//www.ginifab.com sitesinden ölçüm yapılmıştır)

Uyluk ayak açısı ve transmalleolar aks açısı arka ayağın ve tibianın rotasyon kusurlarını gösterir [33].

2.5.3.4. Ön Ayak Dizilimi

Ön ayağın içe dönmesi ve ayağın lateral sınırının C şeklinde olması metatarsus adduktusu gösterir.



Şekil 2.21. Ön ayak adduktusu



Şekil 2.22. Ayak lateralinin C şeklinde görünmesi

Klinik uygulamada, fizik muayene yöntemlerinin yanı sıra bilgisayarlı tomografi ve MR gibi görüntüleme yöntemleri alt ekstremite rotasyonel sorunlarının tedavi planlamasında kullanılabilir. Yürüme bozukluğu şikayeti ile başvuran hastalarda, rotasyonel problemlerin yanı sıra gelişimsel kalça displazisi ve proksimal femur epifiz kayması gibi patolojileri değerlendirmek için ön-arka pelvis grafisi çekilmelidir [33].

2.5.4. Alt Ekstremite Rotasyonel Profillerinin Yorumlanması

Özellikle tek taraflı ve asimetrik rotasyonel problemlerde serebral palsi ve nöroortopedik sorunlar dikkatle değerlendirilmelidir. Bu tür patolojiler genellikle kendiliğinden düzelmez ve tedavi gerektirir [33].

- **İnternal Tibial Torsiyon:** İçe basmanın en yaygın nedenidir. İnternal tibial torsiyon varlığında, kalça rotasyonları ve ayak normalken, ayak ilerleme açısı ve uyluk ayak açısı azalır.
- **İnternal Tibial ve Medial Femoral Torsiyon Birlikteliği:** Bu durumda ayak ilerleme açısı oldukça azalır ve içe basma belirginleşir. Ayrıca kalça iç rotasyonu artar, kalça dış rotasyonu ve uyluk ayak açısı azalır.
- **Medial Femoral Torsiyon:** İçe basarak yürüme şikayeti bulunur ve ayak ilerleme açısı azalır. Kalça iç rotasyonu artarken dış rotasyonu azalır. Uyluk ayak açısı, transmalleolar aks açısı ve ayağın görünümü normaldir.
- **Eksternal Tibial Torsiyon ve Medial Femoral Torsiyon Birlikteliği (Malalingment Sendromu):** Genellikle büyük çocuklarda görülür ve diz önü ağrısına sebep olabilir. İçe veya dışa basma şikayeti bulunmaz, ancak yürüyüş sırasında patellaların içe baktığı fark edilir.
- **Metatarsus Adduktus ve İnternal Tibial Torsiyon veya Medial Femoral Rotasyon Birlikteliği:** Bu patolojilerde ayak ilerleme açısı belirgin şekilde azalır, kalça iç rotasyonu artar ve dış rotasyonu azalır. Uyluk ayak açısı azalır ve ayak tabanında lateralde C şeklinde bir çıkıntı gözlenir.
- **İnfantlarda Lateral Rotasyon:** Bu patoloji, kalçanın lateral kontraktürüne bağlı olarak sadece infantlarda görülür ve kendiliğinden düzelir. Kalça iç rotasyonu azalırken dış rotasyonu artar. Uyluk ayak açısı ve ayak normaldir [33].

2.5.5. Tedavi

Pediatrik hastalarda rotasyonel profilin normal değerleri oldukça geniş bir aralığa sahiptir. Çocukların büyümesi sırasında oluşan fizyolojik değişiklikler genellikle deformitenin düzelmesine katkıda bulunur. Bu nedenle, takip edilen vakaların çoğunda tedaviye gerek kalmaz. Rotasyonel deformitelerde ortezler ve ayakkabı özelliklerinin değiştirilmesi genellikle tedaviye katkı sağlamaz ve gereksiz maliyetlere yol açar [12].

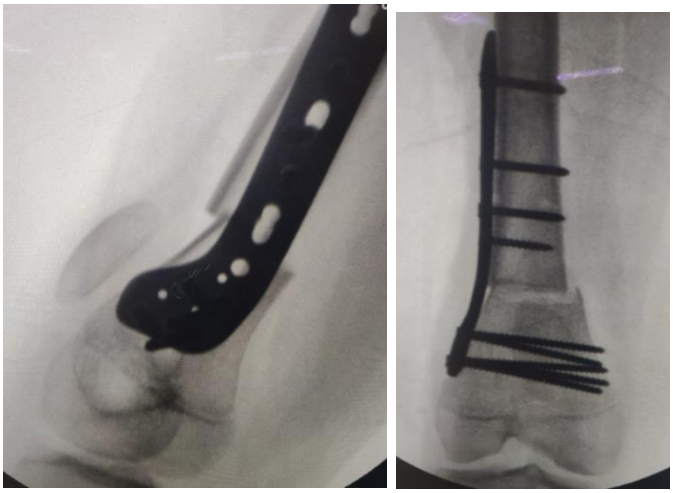
Özellikle 8 yaşın üzerindeki ve fonksiyonel kısıtlılığa neden olan rotasyonel deformitelerde derotasyon osteotomisi etkili bir tedavi seçeneğidir [2].

- **Ayak:** Metatarsus adduktus genellikle intrauterin sıkışma nedeniyle oluşur ve nöroortopedik durumlardan ayırt edilmelidir. Yenidoğan döneminde esnek olan bu deformite germe egzersizleri ile izlenebilir. Egzersizlerin yetersiz kaldığı durumlarda seri alçılama yapılabilir. Alçılama sonrası elde edilen düzeltme, gece splinti ile korunmalıdır. Nüks veya geç başvuran vakalarda cerrahi tedavi gerekebilir [34]
- **Tibia:** Pediatrik hastalarda en sık görülen deformite internal tibial torsiyondur ve genellikle ergenlik dönemine kadar düzelme eğilimindedir. Bunun aksine, lateral tibial torsiyon daha az görülmekle birlikte ilerleyici bir seyir izler ve cerrahi müdahale gerektirebilir. 8 yaşına gelmiş çocuklarda fonksiyonel tibial torsiyon varlığında derotasyon osteotomisi etkili ve gereklidir [2].

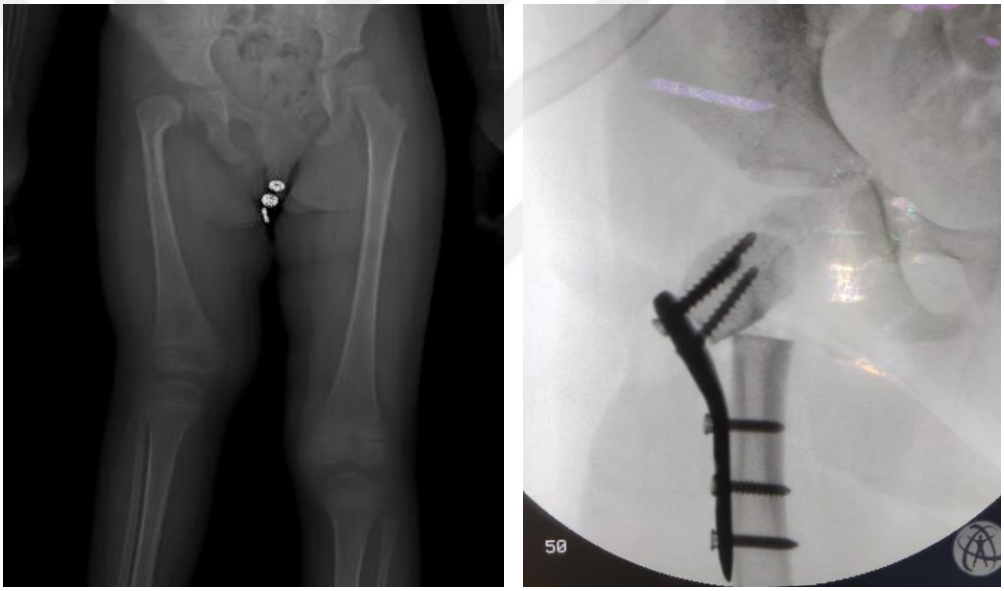
Tibial derotasyon gerekliliği, ayak ilerleme açısının -10 dereceden daha az veya 40 dereceden daha fazla olduğu durumlarda ortaya çıkar. Tibial derotasyon osteotomisi yapılırken, özellikle supramalleoler bölgeden yapılması tavsiye edilir. Osteotomi, tibianın distal fiz hattından 3 cm proksimalde gerçekleştirilir ve kirschner teli ya da plak-vida ile tespit edilir. Daha proksimalde yapılan osteotomiler, nörovasküler yapılar üzerinde hasar riskini artırabilir. Eğer planlanan derotasyon açısı 30 dereceden fazlaysa, fibulaya da osteotomi yapmak gerekmektedir [2].

- **Femur:** Femoral anteversiyon sık görülür ve çoğunlukla kendiliğinden düzelir. Retroversiyon ise daha nadirdir ancak ilerleyici bir deformitedir. Femoral anteversiyonun 50 dereceden fazla olduğu ve femoral dış rotasyonun 10 derecenin altında olduğu durumlarda cerrahi müdahale gerekir [5].

Femoral osteotomi ek deformiteleri de değerlendirecek şekilde her seviyeden uygulanabilir. Fiksasyon için plak vida fiksasyonu veya intramedüller çivileme tercih edilebilir. Intramedüller çivileme, özellikle 9 yaşın üzerindeki çocuklar için uygun bir seçenektir. Trokanterik bölgeden yapılan osteotomiler, bu bölgedeki kaynama yüzeyinin genişliği ve spongiöz kemik dokusunun varlığı nedeniyle diğer bölgelere göre daha avantajlıdır (Ferner ve ark. 2024).



Şekil 2.23. Ekstansiyon kısıtlılığı ve rotasyon deformitesi bulunan hastada distal femurdan yapılan osteotomi sonrası plak-vida ile tespit



Şekil 2.24. Coxa vara deformitesi ve rotasyonel deformitesi bulunan hastada proksimal femurdan yapılan osteotomi sonrası varus düzeltme ve derotasyon sonrası plak-vida fiksasyonu

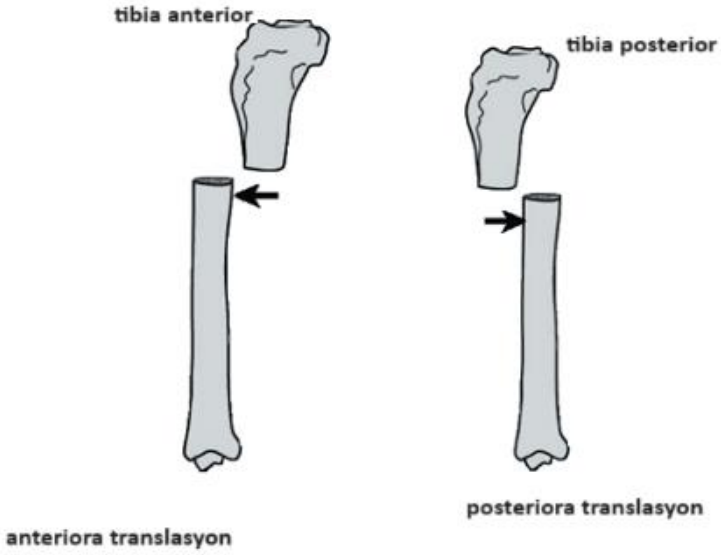
2.6. Translasyonel Deformiteler

Translasyonel deformiteler distalde bulunan parçanın, proksimalde bulunan parçaya göre yer değiştirmesidir. Bu deformiteler tek başına olabileceği gibi, açılanma deformiteleriyle beraber de olabilir. Bu deformitelerin birlikte olduğu duruma angulasyon-translasyon deformitesi denir.

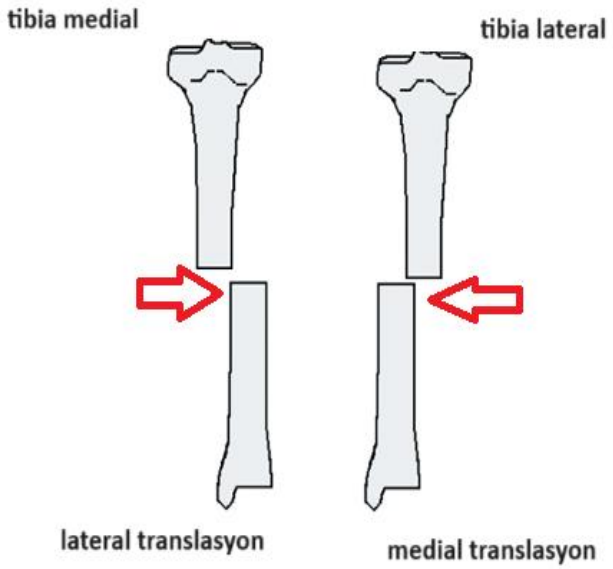
Translasyon deformitelerinde kemik uçları arasındaki temas kaybolabilirken angulasyon deformitelerinde fragmanlar arası temas bozulmaz. Temas bozulduğu için

translasyon deformitelerinde kaynamama görülebilirken, angulasyon deformiteleri genellikle kaynar.

Translasyonel deformitelerde, translasyon miktarı kemik çapından daha büyükse fragman uçları arasında temas ortadan kalkar. Bu durumlarda kasların ve kuvvetlerin etkisiyle ekstremitelerde kısalık da görülebilir.



Şekil 2.25. Sagital planda anterior ve posterior translasyon deformiteleri



Şekil 2.26. Frontal planda lateral ve medial translasyon deformiteleri

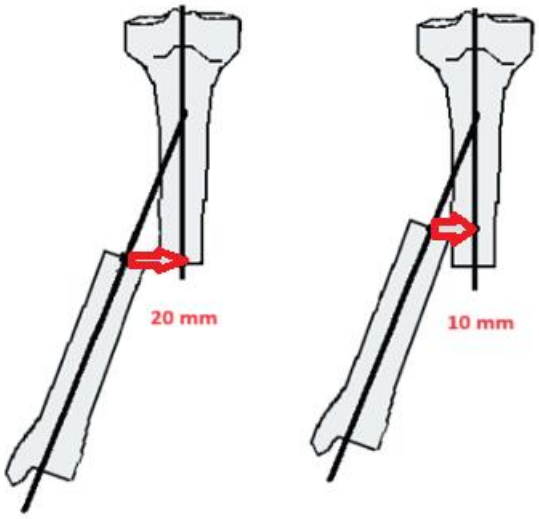
Translasyonel deformiteler dört parametreye göre açıklanabilir;

- Düzlem; sagital, frontal ve oblik plan düzlemlerinde görülür. Hem sagital hem de frontal planda deformite aynı anda görülüyorsa bu deformitelere oblik plan deformitesi denir.
- Yön; translasyonel deformitelerde yön belirlenirken distalde bulunan kemik fragmanın proksimalde bulunan kemik fragmana olan pozisyonuna göre isimlendirilir.
- Büyüklük; translasyonel deformitelerde büyüklük, kemik fragmanların merkezleri arası mesafe ya da korteksleri arası mesafe, milimetre cinsinden ölçülerek bulunur.
- Seviye: translasyon alanının proksimal eklem seviyesine uzaklığı ölçülerek seviye belirlenir.

2.7. Açısal Deformiteler

Uzun kemiklerde bulunan açısal deformiteler genellikle translasyon deformiteleri ile birlikte bulunur ve sıklıkla rotasyon ve kısalık da eşlik edebilir. Açısal deformiteler belirlenirken distal fragmanın ve proksimal fragmanın ayrı ayrı eksenleri çizilerek aradaki açı ölçülür.

Angulasyon-translasyon deformitelerinde kemik eksen çizgileri birbirlerine paralel olmadığı için translasyon büyüklüğünü ölçerken distal fragmanın merkez noktasından proksimal fragmanın merkez noktasına dik uzaklık ölçülür.

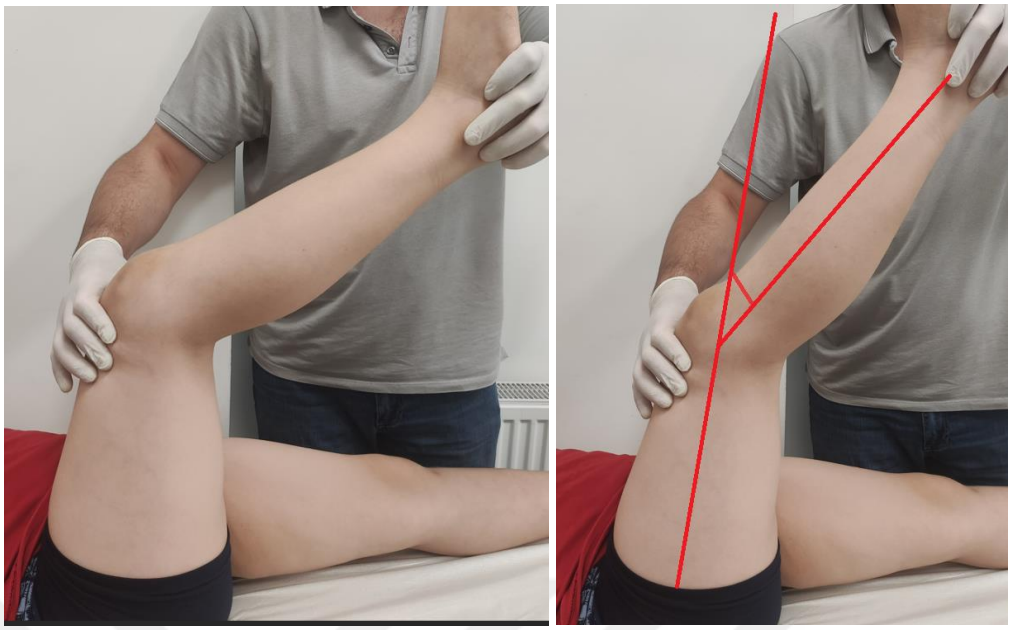


Şekil 2.27. Angulasyon-translasyon deformitelerinde translasyon büyüklüğünün ölçülmesi. İlk şekilde kısalık yokken ikinci şekilde kısalık varken ölçüm yöntemi gösterilmiştir.

Özellikle diz ekleminde görülen açısal deformiteler; fleksiyon kontraktürü, ekstansiyon kontraktürü, genu rekurvatum, varus ve valgus deformiteleridir.

2.7.1. Diz Fleksiyon Kontraktürleri

Fleksiyon deformitesi, sabit veya fonksiyonel olarak iki şekilde görülebilir. Sabit deformitede, hamstring kaslarındaki spastisite ana nedendir ve bu durum, popliteal açı ölçümü ile tespit edilebilir. Popliteal açı ölçülürken, hasta sırt üstü yatar pozisyonda diz ve kalça 90° fleksiyonda tutulur. Diz eklemi, direnç hissedilene kadar ekstansiyona getirilir. Oluşan açı, fleksiyon deformitesinin derecesini gösterir. Normalde bu açının 0–10° arasında olması beklenirken, hamstring spastisitesi olan serebral palsili hastalarda açının 20°'nin üzerinde olduğu görülür [35].



Şekil 2.28. Popliteal açı ölçümü

Daha nadir olarak, sabit fleksiyon deformitesi, kalça fleksiyon kontraktürü veya ayak bileği ekinus deformitesine uyum sağlamak amacıyla da gelişebilir. Fonksiyonel deformite ise genellikle aşırı Aşil tendonu uzatılmasına bağlı olarak, ağırlık merkezindeki dengesizlikten kaynaklanır. Nadir durumlarda, patellar tendonun uzaması, kuadriseps kasında zayıflığa yol açarak fleksiyon deformitesine neden olabilir.

Diz ekleminde görülen fleksiyon kontraktürleri, ekstremiteler arası boy eşitsizliklerine ve yürüyüş bozukluklarına neden olur. Özellikle serebral palsili çocuklarda çömelme yürüyüşünün en önemli sebebi olarak diz fleksiyon kontraktürü gösterilebilir. Fleksiyon kontraktürünün derecesi arttıkça ekstremiteler arasında daha fazla kısalık varmış gibi görünür. Aynı zamanda yüksek derecelerdeki fleksiyon kontraktürlerinde, kuadriseps kasında da yetmezlikler görülür [36].

5 derecenin üzerindeki fleksiyon kontraktürleri semptomatiktir ve tedavi gerektirir. Fleksiyon kontraktürlerinde konservatif ve cerrahi tedavi seçenekleri mevcuttur. Konservatif tedavi olarak; fizik tedavi, splintleme ya da alçılama gibi yöntemler kullanılabilir. Konservatif yöntemlerle tedavi edilemeyen fleksiyon kontraktürlerinde cerrahi yöntemler kullanılabilir. Yumuşak doku gevşetmeleri ya da

kemik prosedürler uygulanabilir. Kemik prosedürlerden önce yumuşak doku gevşetmeleri ile düzeltilebilecek olan patolojiler ayrıntılı incelenerek karar verilmeli ve öncelikle yumuşak doku gevşetmeleri yapılmalıdır [37].

Diz fleksiyon kontraktürlerinde sagital planda PPTA ya da PDFA normalden daha az ise bu durum patolojinin kemik kaynaklı olduğunu gösterir ve patoloji ekstansiyon osteotomisi ile tedavi edilir. Diz fleksiyon kontraktürlerinde osteotominin femurdan yapılması tibiadan yapılmasına göre daha fizyolojiktir. Femurdan yapılan osteotomilerde aşırı düzeltme femur kondillerini sınırlayarak eklemde fleksiyon kaybına neden olabilir. Bu nedenle ileri derece fleksiyon kontraktürlerinde femur osteotomisine ek olarak kemikte kısaltma yapılarak düzeltme gerçekleştirilebilir. Kısaltma ile femur kondilleri ve tibia arasındaki uyum korunur. Eklem hareketlerini, normal aralığına en uygun açılarda tutmamızı sağlar. Herhangi bir nörovasküler komplikasyon yaşamamak, diz ekleminin kondiller arası uyumunu korumak ve deformiteyi optimum şekilde düzeltmek için fleksiyon kontraktürü 30 derece ve üzerinde olan hastalara ekstansiyon osteotomisi ile birlikte kısaltma da yapılması gerekmektedir [38].

Diz ekleminde bulunan fleksiyon kontraktürlerinde kemik deformite varlığında kompleks vakalarda düzeltmenin tamamı kemikten yapılmalıdır. Osteotomi sonrası düzeltme nötral pozisyonda ya da 5 derece fazla yapılmalıdır. Patella pozisyonu da değerlendirilerek gerekli olgularda patellar tendon kısaltma, patellar tendon plikasyonu, insersiyosunu ilerletme ya da patella alta için gergi bandı yöntemleri kullanılabilir [39, 40].

2.8. Kısalık

Pediatrik hastalarda ekstremiteler arasında 1 cm’den fazla boy farkı, biyomekanik dengeyi bozar. Bel ağrısına ve yürüme sorunlarına yol açabilir. Ekstremiteler arası boy eşitsizliği bulunan hastaların değerlendirilmesi ayakta ve yatar pozisyonda yapılmalıdır [41].

Hastaların erişkin yaşta nihai boylarında oluşacak ekstremiteler arası boy farkının doğru tahmin edilmesi, tedavi planlamasında kritik bir öneme sahiptir. Eğer bu farkın 4 cm ya da daha fazla olacağı öngörülüyorsa, cerrahi müdahale gereklidir. 4 cm'den az olan farklarda ise konservatif tedavi yöntemleri tercih edilir [42].

Bacak Boyu Eşitsizlikleri İki Ana Başlıkta İncelenebilir:

- **Fonksiyonel Eşitsizlikler:** Alt ekstremite kemikleri eşit uzunlukta olmasına rağmen, görünüşte asimetrik bir durum mevcuttur. Eklem kontraktürleri, çıkıklar ve ayak patolojileri bu gruba örnek olarak verilebilir.
- **Anatomik Eşitsizlikler:** Yapısal bir patoloji nedeniyle ekstremiteler arasında uzunluk farkı vardır. Konjenital veya sonradan gelişen kemik anomalileri ve eğrilikleri bu grupta yer alır [43].

Ekstremiteler arası boy eşitsizliğinde, altta yatan nedenin belirlenmesi, tedavi seçeneği açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, endokrinoloji ve genetik alanlarıyla iş birliği içinde değerlendirme yapılması faydalıdır.

Tablo 2.2. Bacak Uzunluğunda Artmaya ve Azalmaya Neden Olan Sebepler [44]

Bacak uzunluğunu azaltan nedenler	**Bacak uzunluğunu artıran sebepler**
Konjenital femur eksikliği	Aşırı büyümeye neden olan femur ya da tibia diafiz kırıkları
Tibial hemimelia	Nörofibromatoziste görülen gigantizm
Fibular hemimeli	Klippel-trenaunay sendromu
Nörolojik nedenler	Beckwith-wiedeman sendromu
Büyüme plağı bozukluklarına neden olanlar; travma, enfeksiyon, blount hastalığı, legg-calve-perthes hastalığı, tümörler	Proteus sendromu
Hemiatrofi nedenleri	Hemihipertrofi
Gelişimsel kalça displazisi, coxa vara	İnflamatuvar artrit

2.8.1. Değerlendirme ve Tanı

Ekstremite boy eşitsizliği radyolojik görüntülemeler ya da klinik muayenelerle değerlendirilebilir. Bu değerlendirme yöntemleri arasında ortoröntgenografi, teleröntgenografi, skenogram ve bilgisayarlı tomografi bulunur. Kalça ve dizde kontraktür varsa, hatalı sonuçlardan kaçınmak için bilgisayarlı tomografi ile ölçüm yapılması daha doğru bir seçenektir [45].

2.8.2. Klinik Değerlendirme

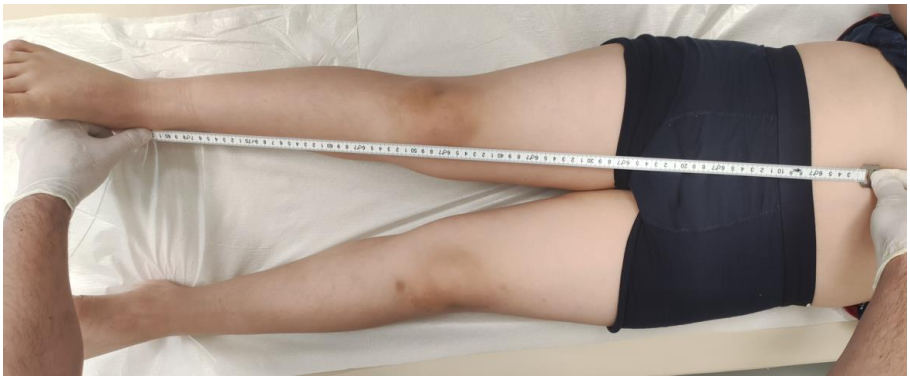
Alt ekstremite eşitsizliği şikayeti ile gelen pediatrik hastalarda, öncelikle ayrıntılı bir anamnez alınmalı ve altta yatan neden araştırılmalıdır. Ardından, klinik olarak bacak boyu eşitsizliği miktarını belirlemek için ölçümler yapılmalıdır. Bu ölçümler şunlardır:

- **Gerçek Ekstremite Uzunluğu:** Spina iliaca anterior superior (SİAS) ile medial malleol arasındaki mesafe ölçülür.



Şekil 2.29. Gerçek ekstremite uzunluğu ölçümü

- **Görünen Ekstremite Uzunluğu:** Göbek deliği (umbilikus) ile medial malleol arasındaki mesafe ölçülerek belirlenir.



Şekil 2.30. Görünen ekstremite uzunluğu ölçümü

Her iki ekstremite arasındaki uzunluk farkı eşit olsa da, pelvik tilt olan hastalarda bu fark değişebilir. Bu nedenle her hastada bu ölçümler ayrı ayrı yapılmalıdır.

Klinik olarak bacak boyu farkını belirlemek için kısa olan ekstremitenin altına, diğer ekstremite ile eşit olana kadar, bilinen uzunluktaki bloklar konularak pelvik tilt düzeltilir [29].

2.8.3. Tedavi

Bacak boy eşitsizliklerinde en uygun tedavi, hastanın yetişkin boyuna ulaştığında oluşacak bacak uzunluk farkının hesaplanmasına dayanır. Bu farkı tahmin etmek için geliştirilen yöntemler şunlardır:

- Moseley düz hat grafi yöntemi
- Paley çarpan yöntemi
- Menalus yöntemi

Bu yöntemler, bilgisayar programları aracılığıyla kolaylıkla kullanılabilir hale getirilmiştir. Eğer hesaplanan fark 4 cm veya daha fazlaysa, cerrahi tedavi düşünülmelidir. 4 cm'den az olan farklarda ise konservatif tedavi tercih edilir [46-48].

- **2 cm'den Az Fark:** Tabanlık kullanımı uygundur.
- **2-4 cm Arası Fark:** Ayakkabı modifikasyonu önerilir.

Cerrahi tedavi tercih edilen hastalarda planlama, en uygun zamanlamayla yapılmalı ve çocuğun eğitim hayatını en az etkileyecek şekilde olmalıdır [49, 50].

Cerrahi Tedavi Seçenekleri:

- Kısa olan ekstremitenin kallus distraksiyonu ile uzatılması
- Uzun olan ekstremitenin epifizyodez ile uzamasının durdurulması
- Nadir durumlarda uzun ekstremitenin kısaltılması

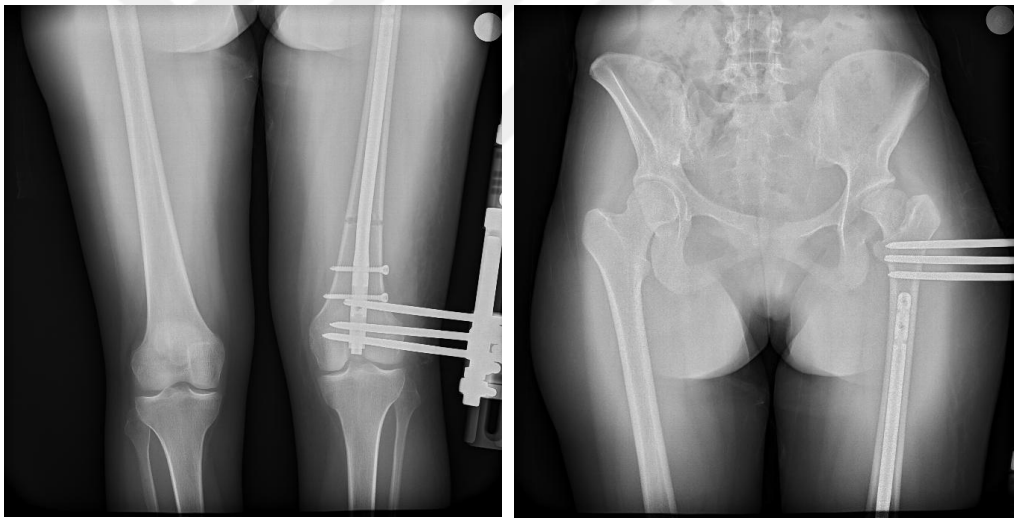
Epifizyodez, uzun tarafın 5 cm'e kadar uzamasının engellenmesi için kullanılabilir. Bu yöntemlere karar verirken, hastanın yetişkin dönemindeki tahmini boy uzunluğu dikkate alınmalı; uzun olan çocuklarda kısaltma, kısa olan çocuklarda ise uzatma yöntemleri tercih edilmelidir. Ailenin boy uzunluğu konusundaki beklentisi de göz önünde bulundurulmalıdır [51].



Şekil 2.31. Femurda kısalık bulunan 9 yaş kız çocuğunda 4 cm uzatma sonrası kallus dokusuna zarar vermeden plak vida fiksasyonu (uzatma sonrası plaklama = PAL tekniği) [52]



Şekil 2.32. Uzun ekstremitenin epifizyodez uygulaması ile uzamasının bloklanması



Şekil 2.33. Fiksatör yardımlı çivileme (FAN = Fixator Assisted Nailing) ve çivi üzerinden uzatma (LON = Lengthening Over Nailing) tekniği [53]

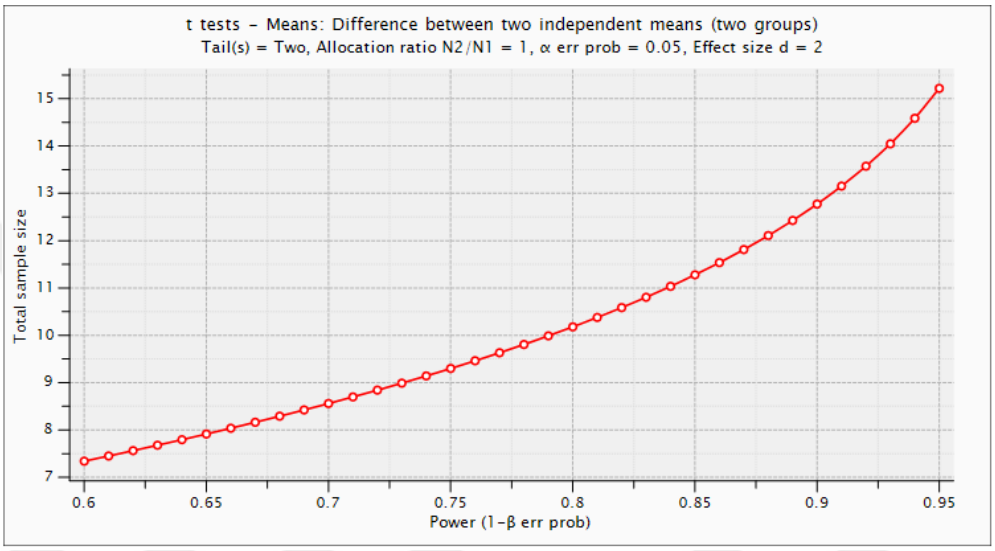
3. MATERYAL VE METOD

Çalışmanın gerçekleştirilebilmesi için Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Etik Kurulu'ndan **06.07.2023 tarihli toplantı no:5; karar no:3** ile onay alınmıştır (EK-2). Ayrıca bu çalışma, Klinik Araştırmalar Hakkında Yönetmelik kapsamında yer aldığı için Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu'ndan izin alınmıştır (EK-3). Çalışmaya dahil edilen tüm hasta ve ebeveynlerine çalışmanın içeriği ve yapılacak işlemler anlatıldıktan sonra hastalardan ve ebeveynlerinden bilgilendirilmiş gönüllü onam formu alınmıştır (EK-4 ve EK-5). Bu çalışma ClinicalTrials.gov'a kaydedilmiştir (NCT06516497).

3.1. Hasta Seçimi

Çalışmamıza, Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim dalına başvuran ekstansiyon kısıtlılığı veya rotasyonel problemi nedeniyle cerrahi ihtiyacı olan hastalardan, çalışmaya katılmayı kabul eden ve çalışma kriterlerine uyan toplam 51 hasta rastgele dahil edilmiştir. Çocuk ortopedi alanında deformite ana başlığı altında çok sayıda alt grup bulunmasından dolayı kliniğimize başvuran hasta yoğunluğunun daha fazla olduğu gruplar arasından, geliştirilen cihazı en anlamlı şekilde değerlendirebilmek adına 2 deformite planı belirlenerek seçim yapılmıştır [54]. Alt ekstremitede iki ayrı deformite planı, transvers ve sagital planlar seçilmiştir. Rotasyonel deformiteler transvers plan deformitesi olarak seçilirken, ekstansiyon kısıtlılığı olan ve ekstansiyon osteotomisi ile tedavi edilen hastalar sagital plan deformitesi olarak seçilmiştir. Rotasyonel deformiteleri veya ekstansiyon kısıtlılığı olan hastalardan iki ayrı alt grup belirlenmiştir. Geliştirilen cihaz kullanılarak cerrahi yapılan grup, 'sensörlü yöntem' olarak isimlendirilmiştir ve geleneksel cerrahi yöntem kullanılan grup 'geleneksel yöntem' olarak isimlendirilmiltir. Alt gruplarda geleneksel yöntem ya da sensörlü yöntem kullanılarak cerrahi işlemler yapılmıştır. Sensör kullanılan gruplarda bulunan hastalarda 3 derece açı farkı [4] ile 1.5 standart deviasyonda %95 gücü olacak şekilde hesaplanıp, alt gruplarda bulunması gereken hasta sayısı istatistiksel veriler ışığında 8 hasta olarak hesaplanmıştır. Çalışmamızda bulunan 4 alt grupta hasta sayıları;

- Geleneksel yöntemle ekstansiyon osteotomisi yapılan grup 10 hasta,
- Sensörlü yöntemle ekstansiyon osteotomisi yapılan grup 11 hasta,
- Geleneksel yöntemle rotasyonel deformite düzeltilen grup 15 hasta ve
- Sensörlü yöntemle rotasyonel deformite düzeltilen grup 15 hasta olacak şekilde ayarlanmıştır.



Şekil 3.1. Çalışma için yapılan power analiz grafiği

3.2. Hastaların Çalışmaya Dahil Edilme Kriterleri

- Diz ekleminde ekstansiyon kısıtlılığı ya da alt ekstremite uzun kemiklerinde rotasyonel patoloji nedeniyle cerrahi tedavi ihtiyacı olması
- Hastanın ve ebeveynlerinin çalışmaya katılmayı kabul ediyor olması
- 18 yaşından küçük olmak

3.3. Hastaların Çalışmadan Dışlanma Kriterleri

- Diz eklemi ekstansiyon kısıtlılığı ya da rotasyonel patoloji dışında kompleks deformitelerinin bulunması
- Hastanın ya da ebeveynlerinin çalışmaya katılmayı kabul etmemesi
- 18 yaşından büyük olmak

- Uyumsuz hastalar

3.4. Çalışma Grupları ve Araştırma Planı

Çalışma tek merkezli, prospektif ve randomize kontrollü bir klinik çalışma olarak planlanmıştır. Çalışmaya dahil edilme kriterlerine uyan ekstansiyon kısıtlılığı olan 21 hasta ve rotasyonel deformitesi olan 30 hasta rastgele gruplara eklenmiştir. Ekstansiyon kısıtlılığı olan 21 hastanın 10 tanesi geleneksel yöntemle cerrahi yapılan 'geleneksel ekstansiyon osteotomisi' ve 11 tanesi de sensörlü yöntemle cerrahi yapılan 'sensörlü ekstansiyon osteotomisi' isimli gruplardan birine rastgele dahil edilmiştir. Alt ekstremite uzun kemiklerinde rotasyonel deformitesi bulunan 30 hastanın 15 tanesi geleneksel yöntemle cerrahi yapılan 'geleneksel rotasyon' ve 15 tanesi de sensörlü yöntemle cerrahi yapılan 'sensörlü rotasyon' isimli gruplardan birine rastgele dahil edilmiştir. Randomizasyon kura yöntemi kullanılarak ayarlanmıştır.

3.5. Cerrahi Uygulama

Çalışmanın sonucunu etkilememesi adına tüm cerrahi işlemler aynı cerrahi ekip tarafından yapılmıştır.

3.5.1. Operasyon Öncesi Hazırlık

Operasyon planlanan ve çalışmaya alınacak olan bütün hastalara tedavi planı, cerrahi süreç ve takipleri ayrıntılı şekilde anlatıldı. Tedavi olmayı ve çalışmaya katılmayı kabul eden hastalara ve hastaların anne ya da babalarına ayrıntılı onam formu verildi. Okuyup anlamadıkları yerler anlatıldıktan sonra imzaları alındı.

3.5.1.1. Ekstansiyon Osteotomisi Yapılan Grup

Diz eklemlerinde ekstansiyon kısıtlılığı nedeniyle cerrahi tedavi endikasyonu olan hastalardan, tedavi sürecini ve çalışmaya katılmayı kabul edenlere operasyon günü planlanarak operasyon öncesinde fizik muayeneleri yapıldı. Fizik muayenelerinde popliteal açıları ve ekstansiyon kısıtlılık miktarları gonyometre ile

ölçüldü ve preoperatif fiziksel hedeflenen düzeltme açısı (preop fiziksel HDA) olarak kaydedildi [55].



Şekil 3.2. Preoperatif ekstansiyon kısıtlılığının gonyometre ile ölçülmesi



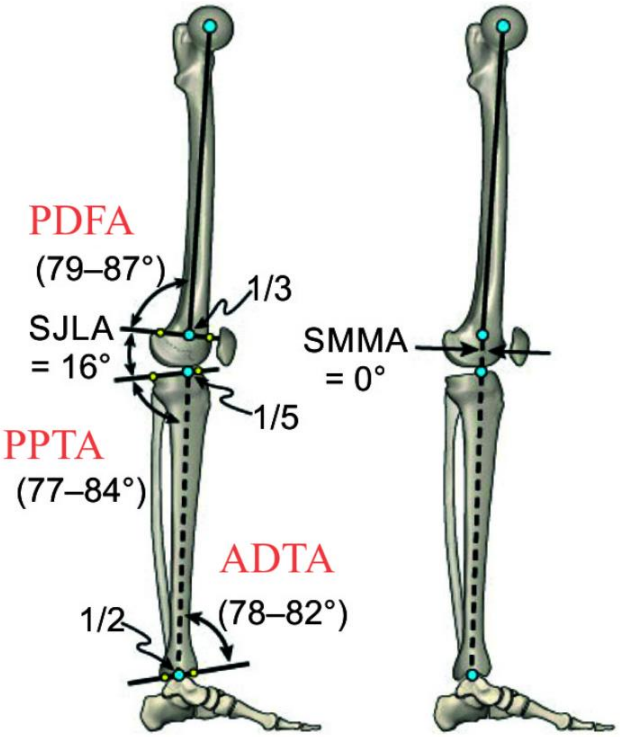
Şekil 3.3. Popliteal açı ölçümü

Ekstansiyon kısıtlılığı bulunan diz eklemi maksimum gelebildiği ekstansiyon açısında tutularak anteroposterior ve lateral ortoröntgenografileri çekildi. Ortoröntgenografi üzerinden ekstansiyon kısıtlılığının açısal miktarı, PPTA, PDFA, aLDFA, MPTA ve KTA açıları ölçülerek olgu rapor formuna (EK-6) kaydedildi.

Ortoröntgenografi üzerinden;

- PPTA (posteior proksimal tibial açı)
- PDFA (posterior distal femoral açı)
- aLDFA (anatomik lateral distal femoral açı),
- MPTA (medial proksimal tibial açı),
- KTA (diz üçgen açısı) [56]

Açıları ölçülerek ek patolojiler ekarte edildi.



Şekil 3.4. PDFA ve PPTA ölçümü [57]

Eğer sagital planda PDFA veya PPTA değerleri normalden düşükse, bu durum deformitenin kemik komponentinin varlığına işaret eder ve bu tür olgular genellikle ekstansiyon osteotomisi ile tedavi edilir [57].



Şekil 3.5. Ekstansiyon osteotomisi yapılacak olan hastaların preoperatif değerlendirilen açıları [18]

3.5.1.2. Rotasyonel Deformite Düzeltilen Grup

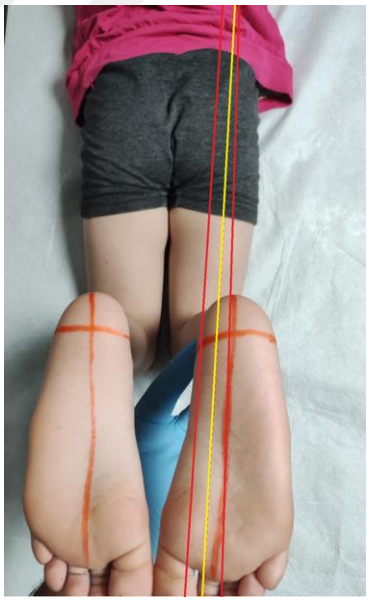
Alt ekstremite kemiklerinden femur ya da tibia rotasyonel deformitesi bulunan hastalardan tedavi sürecini ve çalışmaya katılmayı kabul edenlere operasyon günü planlanarak, operasyondan önce fizik muayeneleri yapıldı, fotoğrafları çekildi ve kayıt edildi. Hastalar anne ve babalarının yanında muayene edildi rotasyonel profilleri ve patolojileri belirlendi.

Hastaların rotasyonel deformiteleri bulunan ekstremitesinde öncelikle medial malleol ve lateral malleollerin en çıkıntılı noktaları ayak tabanına düz indirilen çizgiler birleştirilerek transmalleolar aks çizgisi çizildi. Ayak tabanında topuk ortası ve 2. Web aralığı çizilerek ayak uzun aksı belirlendi. Patellaları belirlenecek şekilde etrafı dairesel olarak çizildi. Hastanın yürümesi video ve fotoğraflarla kayıt altına alındı.

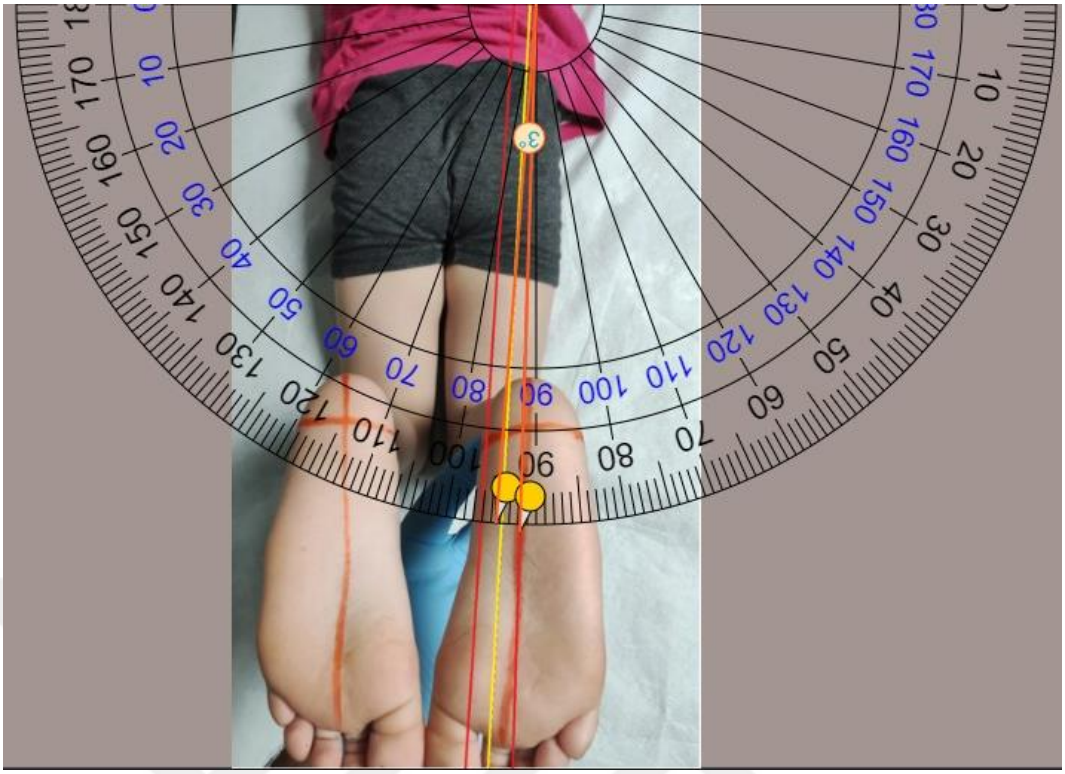


Şekil 3.6. Transmalleolar aks ve ayak uzun aksı. Patellaların etrafının çizilmesi

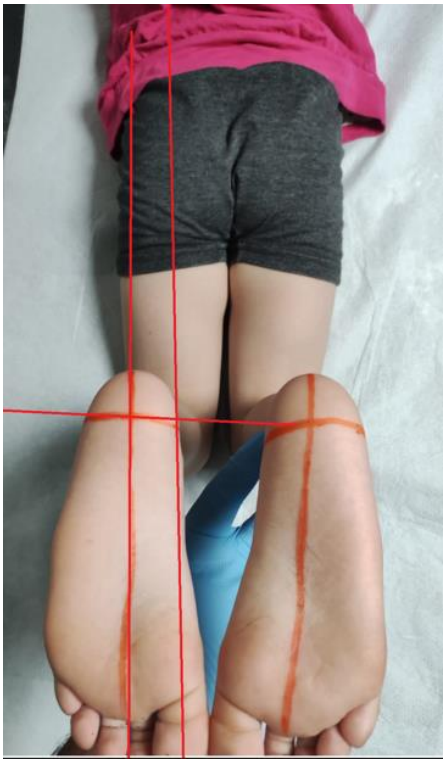
Çizimler yapıldıktan sonra pron pozisyonda yatırılan hastanın uyluk ayak açısı için fotoğrafları çekildi ve bilgisayar ortamında uyluk ayak açısı ölçüldü.



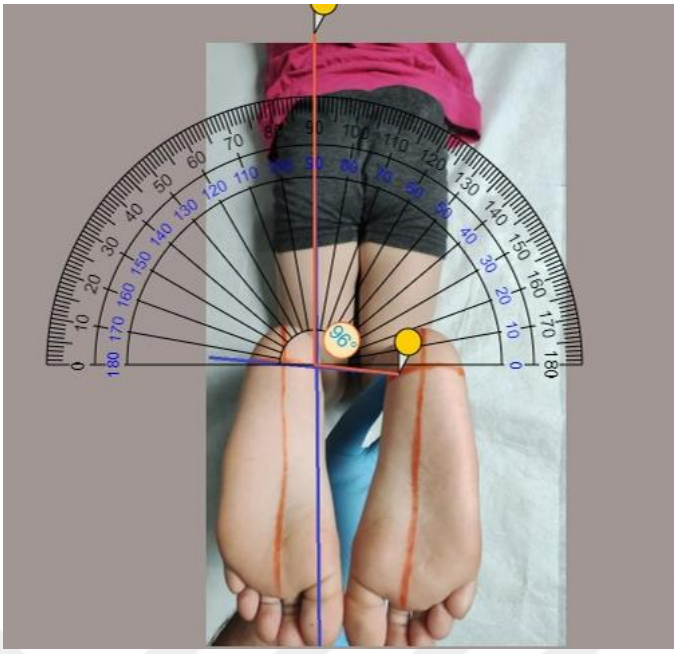
Şekil 3.7. Uyluk ekseni ve ayak uzun aksı kırmızı çizgiler ve açının rahat ölçülebilmesi için uyluk eksenine paralel çizilen sarı çizgi



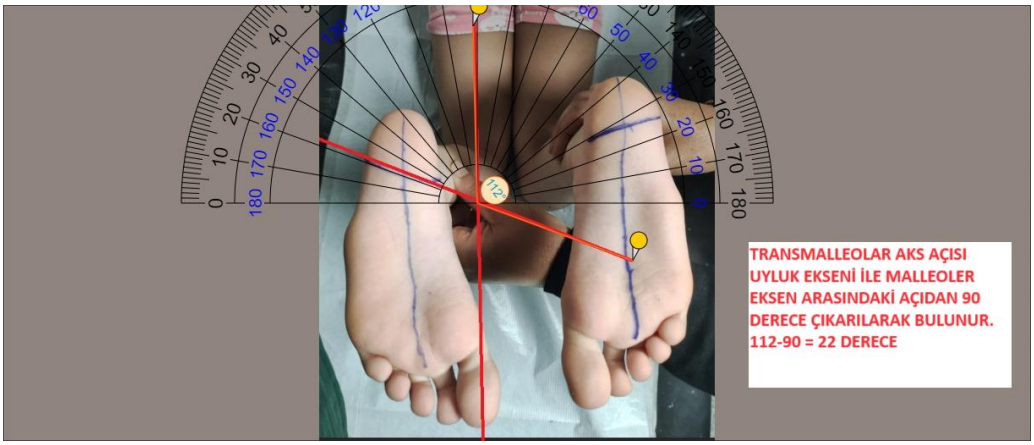
Şekil 3.8. Uyluk eksenine paralel çizilen sarı çizgi ile ayak uzun aksı arasındaki açının bilgisayar ortamında ölçülmesi (+3 derece uyluk ayak açısı mevcut olan hasta) (https.//www.ginifab.com sitesinden ölçüm yapılmıştır)



Şekil 3.9. Uyluk ekseni, ayak uzun aksı ve transmalleolar aks çizgilerinin çizilmesi



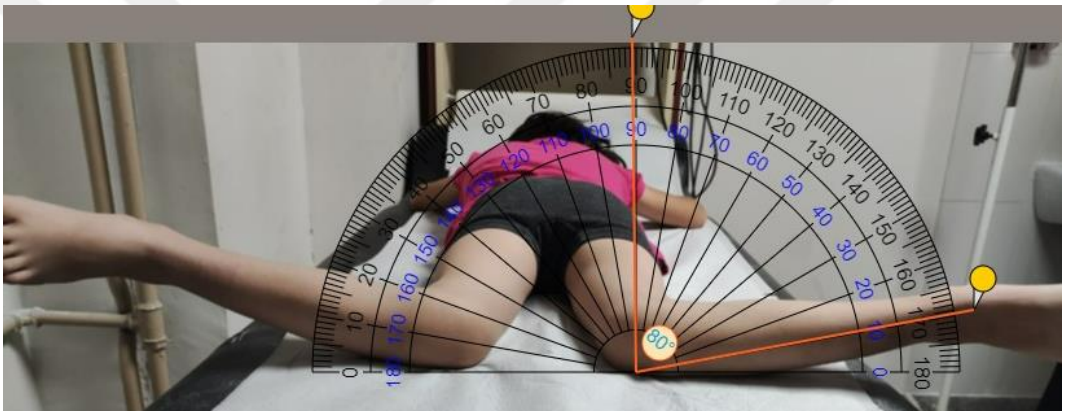
Şekil 3.10. Uyluk ekseni ve transmalleolar aks arasındaki açının bilgisayar ortamında ölçülerek bulunması (https.//www.ginifab.com sitesinden ölçüm yapılmıştır). Transmalleolar aks açısı uyluk ekseni ile malleoler aks arasındaki açıdan 90 derece çıkarılarak bulunur. 96-90= 6 derece transmalleolar aks açısı mevcut olan hasta.



Şekil 3.11. Başka bir hastanın transmalleolar aks açısının bilgisayar programı yardımıyla ölçülmesi (https.//www.ginifab.com sitesinden ölçüm yapılmıştır)



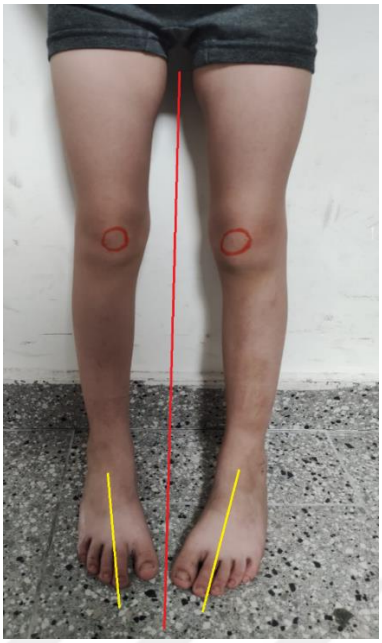
Şekil 3.12. Kalça iç rotasyonunun fotoğraflanması



Şekil 3.13. Kalça iç rotasyonu bilgisayar ortamında 80 derece ölçülen hasta (https.//www.ginifab.com sitesinden ölçüm yapılmıştır)



Şekil 3.14. Kalça dış rotasyonunun fotoğraflanması



Şekil 3.15. Ayak ilerleme açısının belirlenmesi

Ölçümleri yapılan ve fotoğraflarıyla birlikte kayıt altına alınan hastaların deformitelerinin, femurdan mı yoksa tibiadan mı olduğu belirlendi ve deformiteyi düzeltmek için kaç derece içe ya da dışa çevirmek gerektiği hesaplandı. Hesaplanan değer preoperatif hedeflenen düzeltme açısı (preop HDA) olarak kayıt edildi.

Femur kaynaklı olan rotasyonel deformitelerde kalça iç ve dış rotasyon açıları eşitlenecek şekilde hesaplama yapılarak preop HDA belirlendi (kalça iç rotasyon açısı+ kalça dış rotasyon açısı toplamı 2'ye bölünerek hesaplama yapıldı) [26, 32, 33].

Tibia kaynaklı olan rotasyonel deformitelerde uyluk ayak açısı +5 derece olacak şekilde hesaplanarak preop HDA belirlendi [2, 58].

3.5.2. İntraoperatif Uygulama

Çalışmaya dahil edilen bütün hastalarımıza yaşlarına uygun olan, genel ya da spinal anestezi işlemlerinden biri yapılıp cerrahi işleme başlandı. Opere edilecek olan ekstremite 3 kez batikon ile boyandı. 3 kat steril örtülerle örtüldü. Steril cerrahi alan sağlandı. Hastaların tamamında cerrahi süre kaydedildi.

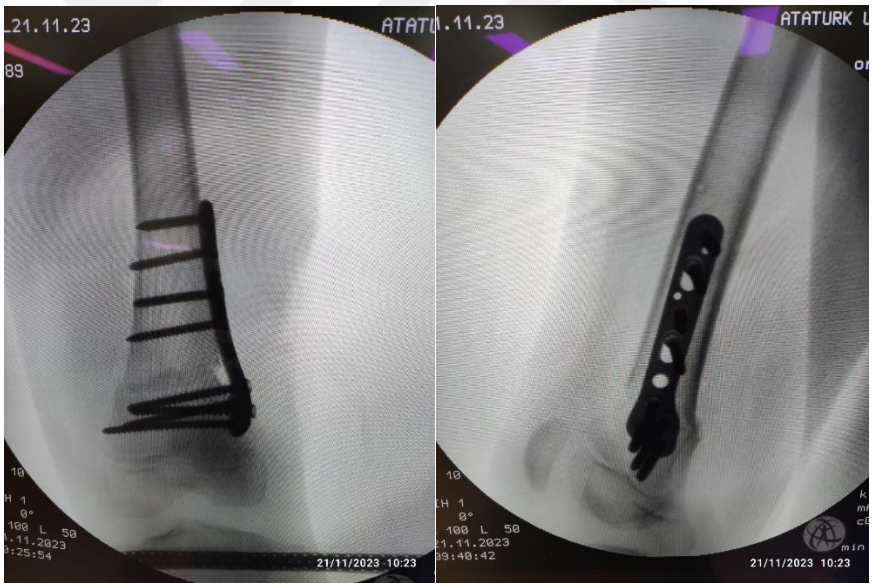
3.5.2.1. Ekstansiyon Osteotomisi Yapılan Grup:

Hastaların ekstansiyon kısıtlılığı olan ekstremitelerinin femur distalinde skopi görüp fiz hattına zarar vermeyecek şekilde kishner teli atılarak operasyona başlandı. İnsizyonun proksimaline, distale atılan kishner teliyle aynı düzlemde bir kishner teli daha atıldı. Daha sonra insizyon yapıldı. Cilt, cilt altı geçilip fasya lata kesilerek vastus lateralis split ayrılarak femur periostuna ulaşıldı. Periost zarar verilmeden kemikten ekartörler yardımı ile sıyrılarak osteotomi yapılacak alan hazırlandı. Skopi eşliğinde, kullanacağımız plak tespitine uygun olan ekleme en yakın noktadan osteotomi yapılıp, preoperatif belirlenen ekstansiyon kısıtlılığı miktarı kadar düzeltme sağlandıktan sonra uygun plak ve vidalar ile tespit edildi. Tespit sonrası kontrol skopi görüntüleri görüldü, cerrahi alan yıkandıktan sonra cilt cilt altı dokular uygun şekilde sütüre edildi. Kalça destekli atel sonrası operasyon sonlandırıldı. Operasyonlar geleneksel yöntemde distale ve proksimale birer adet kishner teli atılarak yapılırken, sensörlü yöntemde fizise zarar vermeyecek şekilde skopi eşliğinde femur distal metafizer bölgeye ve epifize birer adet olmak üzere iki adet kishner teli atılarak yapıldı. Tek tel üzerinde sensörün yeterince stabil olmadığı (cihaz geliştirildikten sonra, maket kemikler üzerinde yapılan denemelerde) görüldü ve kontrol dışı hareket etmemesi için sensörlü yöntemde ikişer adet tel atılarak cerrahi işlemler yapıldı.

Ekstansiyon kısıtlılığı 15-30 derece aralığında olan hastalarda ekstansiyon osteotomisi posterior korteks korunarak yapıldı. 30 dereceden fazla olan hastalarda posterior korteks kesildi ve patellar tendon ilerletme de eklenerek cerrahi işlemler yapıldı [37]. Patellar tendon ilerletme yapılan operasyonlarda bu işlem cerrahi süreye dahil edilmedi.



Şekil 3.16. Sensörlü yöntemde femur distale fizis hattına zarar vermeden kishner tellerinin iki adet atılması. Sensörün stabilitesi ve tek tel üzerinde dönmemesi için iki adet tel atıldı.

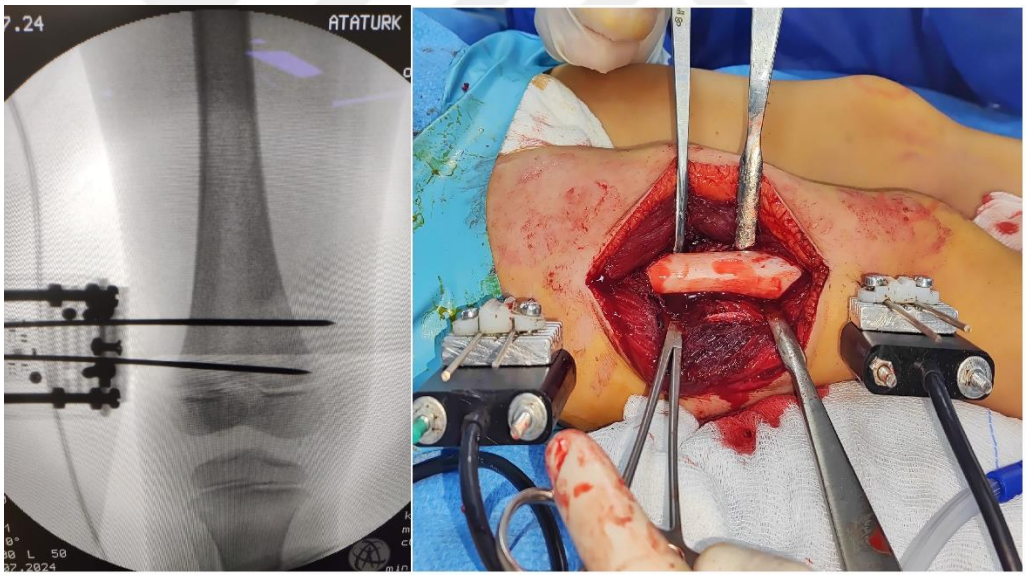


Şekil 3.17. Ekstansiyon osteotomisi yapıldıktan sonra uygun plak ve vidalar ile tespit işlemi yapılması, vaka içi skopi görüntüleri

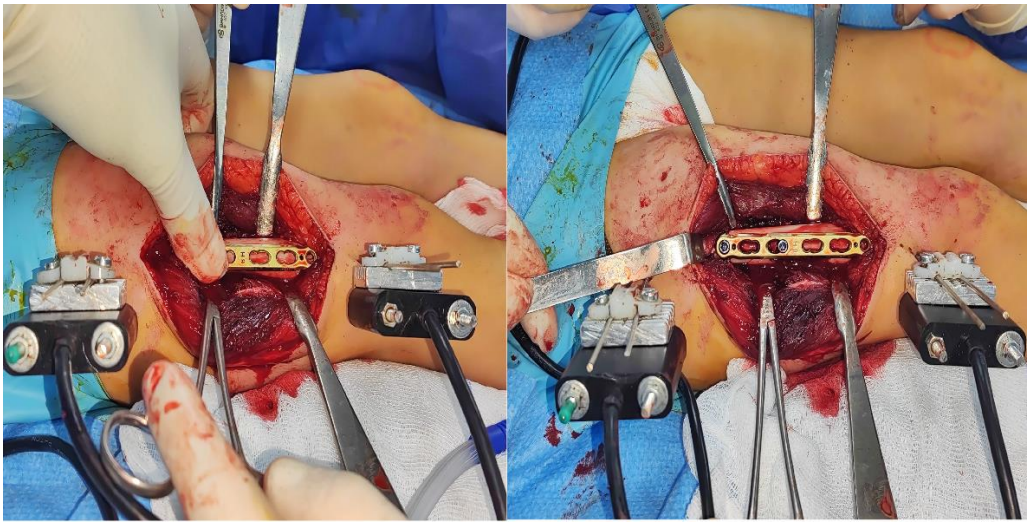
3.5.2.2. Rotasyonel Deformite Düzeltilen Grup

Rotasyonel deformite bulunan ekstremiteler operasyona hazırlandıktan sonra tibiada bulunan rotasyonel deformitelere distal tibiadan osteotomi yapıldı. Femurda

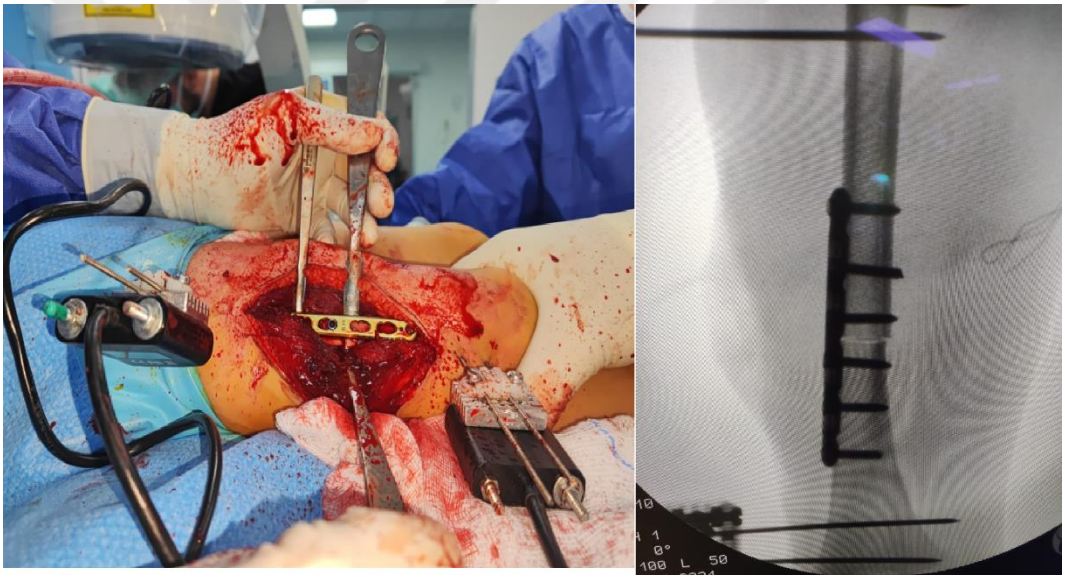
bulunan rotasyonel deformitelerde, ek deformitenin varlığına göre osteotominin yeri belirlendi. Bütün hastalarda fiz hatlarına zarar vermeyecek şekilde insizyonun distalinden ve proksimalinden kişner telleri skopi eşliğinde atılarak operasyonlara başlandı. İnsizyon sonrası kemiğe ulaşılarak skopi ile uygun osteotomi yerine karar verilerek osteotomi yapıldı. Sensörlü yöntemde geleneksel yöntemden farklı olarak osteotomi öncesinde teller üzerine sensörler tespit edildi. Osteotomi yapılmadan önce cihaz başlatılarak tellerin mevcut pozisyonları cihazda birbirine göre sıfırlandı. Osteotomi sonrası rotasyon, preop HDA kadar düzeltildikten sonra uygun plak ve vidalar ile tespit edildi. Geleneksel yöntemde osteotomi sonrası rotasyon düzeltildikten sonra teller arasındaki açı gonyometre ile ölçülerek istenen açıya ulaşıldığında uygun plak ve vidalar ile tespit edildi. Kontrol skopi görüntüleri sonrası operasyona son verildi ve cilt, cilt altı dokular uygun şekilde sütüre edildi. Hastalara operasyon bölgelerine göre uygun atel yapıldı ve ameliyat sonlandırıldı.



Şekil 3.18. Skopi eşliğinde fizis korunarak iki adet kişner teli atılıp sensörler teller üzerine vidalarla tespit edildikten sonra insizyon açılarak kemiğe ulaşılması



Şekil 3.19. Uygun plak ayarlandıktan sonra plak proksimalinin iki adet vida ile tespit edilmesi ve tespit sonrası cihaz başlatıldıktan sonra osteotomi aşamasına geçilmesi



Şekil 3.20. Osteotomi sonrası rotasyonel deformitenin düzeltilmesi ve tespit işlemi sonrası skopi görüntüsü. Rotasyon sonrası sensörlerin birbirine göre konumuna dikkat ediniz.

3.5.3. Operasyon Sonrası Bakım ve Takip

Çalışmaya alınan bütün hastalar, postoperatif 15 gün cerrahi yapılan alana göre uzun bacak ya da kalça destekli ateller ile takip edildi. Postoperatif 15. gün atelleri çıkarıldı ve sütürleri alındı. Operasyon sonrası 45. gün kontrollerinde ortoröntgenografi çekildi. Ameliyat öncesi yapılan ölçümleri hem grafileri üzerinden hem de fizik muayene ile tekrar ölçüldü. Olgu rapor formuna kayıt edildi [6, 59].

3.5.4. Geleneksel Yöntem

Geleneksel yöntemde ekstansiyon osteotomisi yapılırken ve rotasyonel deformiteler düzeltilirken ameliyatın başında skopi eşliğinde distale ve proksimale atılan birer adet kishner tellerinin birbirlerine göre olan konum değişimi gonyometre ile ölçüldü. Bulunan açı postoperatif düzeltme miktarı (postop DM) olarak kaydedildi.

3.5.5. Sensörlü Yöntem

Sensörlü yöntemde ekstansiyon osteotomisi yapılırken ve rotasyonel deformiteler düzeltilirken ameliyatın başında skopi eşliğinde distale ve proksimale atılan ikişer adet kishner telleri üzerine tasarlanan cihazın sensörleri vidalanarak tespit edildi. Preoperatif belirlenen hedeflenen düzeltme açısı cihazın gösterdiği açı ile benzer olduğunda tespit işlemi yapıldı. Düzeltilen açı ölçüsü postoperatif düzeltme miktarı (postop DM) olarak kaydedildi.

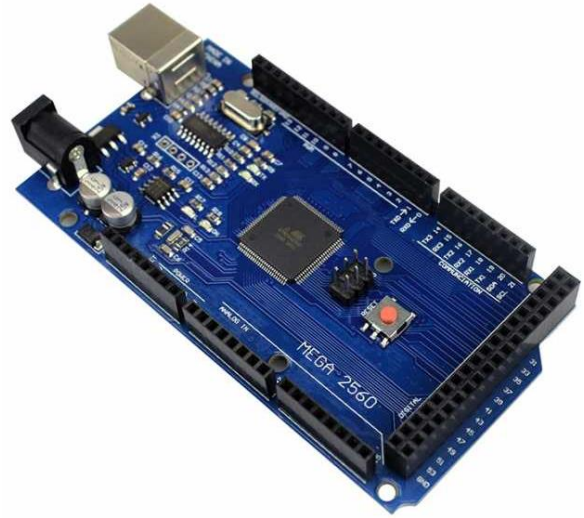
3.6. Sensörlü Yöntemde Kullanılmak Üzere Tasarlanan Cihaz

3.6.1. Cihaz Materyal

Tasarlanan cihaz, donanım modülleri birbirinden bağımsız çalışan iki tane ivme-gyro sensörü ve bu sensörlerden alınan verileri hareket açılarını hesaplayıp göstermek için LCD ekranı olan işlemci modülünden oluşmaktadır.

Ana işlemci olarak Arduino MEGA 2560, ivme-gyro sensörü MPU-6050 ve 3,2” LCD modül ile LCD modülü işlemci ünitesine bağlamak için ek bir kart kullanılmıştır.

Arduino Mega ATmega2560 mikrodenetleyicisini kullanan 16 MHZ 54 tane I/O (giriş/çıkış) pini bulunan arduino tabanlı bir programlanabilir bir işlemci kartıdır. Kartın çalışması için DC 5 ile 12 volt arası bir güç kaynağına bağlamak gerekmektedir [60]. Arduino Mega 2560 kartı Şekil 3.21’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.21. Arduino Mega 2560 Kartı

MPU-6050 modülü, 3 eksenli gyro ve açısal ivme ölçer fonksiyonları olan ve 6 eksenli çoklu bir sensör kartıdır. Modül 3 ile 5 V arası enerji ile çalışabilmektedir. İvmeölçer ve gyro çıkış pinleri ayrı kanallardan seri iletişim protokolü ile veri iletmektedir. Tüm eksenlerde 16 bitlik veri çıkışı sağlamaktadır. Sensör yapısı Şekil 3.22'de gösterilmiştir [61].

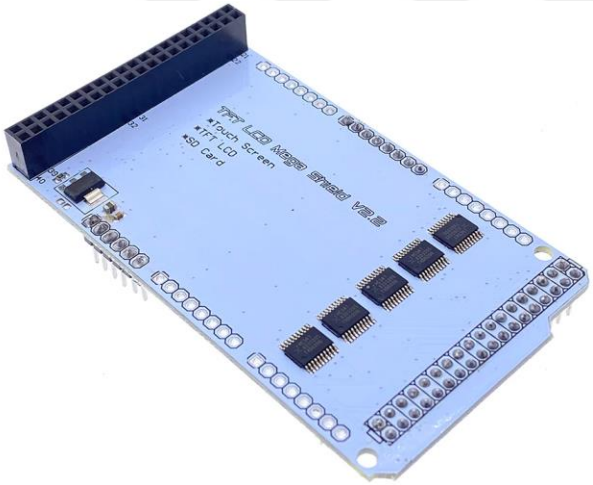


Şekil 3.22. MPU6050 İvme Ölçer- Gyro Kartı

3,2" TFT LCD ekran modülü 320x240 piksel ve 65 bin renk desteklemektedir. Grafik şekillerini, metin ve sayıları destekleyen ILI9341 denetleyiciye sahiptir. 3 ile 5 Volt gibi düşük güç ile çalışabilmektedir ve Şekil 3.24'teki LCD kontrol kartı ile Arduino Mega2560 işlemci kartına bağlanmaktadır. Kullanılan LCD modülün şekli Şekil 3.23'teki gibidir (3,2" TFT LCD Ekran Modülü).



Şekil 3.23. 3,2” TFT LCD Ekran Modülü



Şekil 3.24. TFT LCD Mega Shield

3.6.2. Cihaz Metot

Çalışma kapsamında tasarlanan cihaz iki faklı parçadan oluşmaktadır. Bunlar; MPU-6050 sensörlerin bulunduğu sensör ünitesi ve işlemci ile LCD ekranın bulunduğu kontrol ünitesidir.

Sensör modülleri sterilizasyon işlemine dayanıklı plastik kutular içerisinde oluşturulmuştur. İki sensör birbirine bağlı ve işlemci modülü ile 2 metre uzunluğunda Cat6 kablo ve RJ45 konnektöre sahip sökülüp takılabilir bir kablo ile bağlantı kurmaktadır.

Ekran olarak 3,2’’ TFT LCD dokunmatik ekrana sahiptir ve kullanıcı bilgilendirmeleri de bu ekran üzerinden yapılarak cihazın işlevleri bu ekranın dokunmatik özelliği kullanılarak kontrol edilmektedir.

Proje kapsamında tasarlanan cihazın dış görüntüsü Şekil 3.25’te gösterilmiştir. Cihaz çalışması için gerekli olan enerji, 5 volt enerji sağlayabilen taşınabilir powerbank gibi cihazlardan sağlanabileceği gibi 9-12 volt aralığında bir adaptörden de sağlanabilmektedir. Cihaza ivme sensörleri RC-45 soket ile bağlanmaktadır. Cihaz başlangıç ekranında iki sensörün de bağlantısını kontrol ederek ekranda bağlantı bilgilerini göstermektedir, sensörleri algılayamaması durumunda bağlantıların kontrol edilmesi uyarısı vermektedir.



Şekil 3.25. Tasarlanan cihazın dış görüntüsü

Sensör bağlantıları başarılı olur ise cihaz ikinci ekrana geçip proje ve cihazın kullanımı ile ilgili Şekil 3.26’daki ekranda gösterildiği gibi kısa bilgi vermektedir.



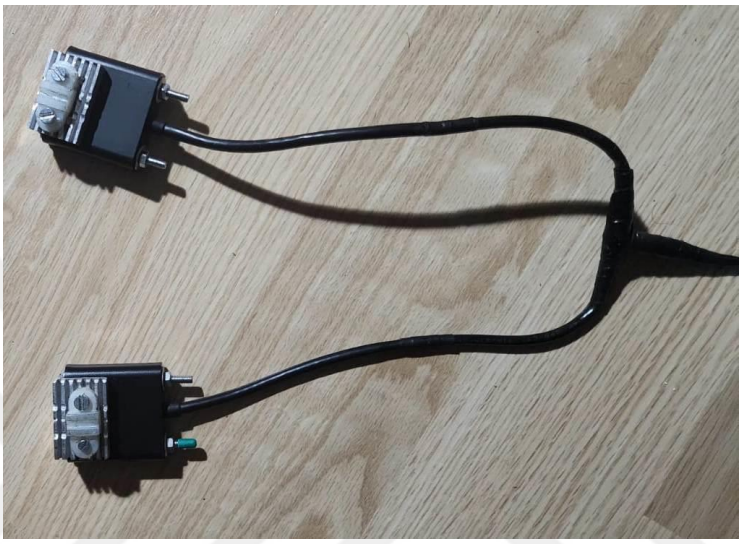
Şekil 3.26. Cihaz bilgilendirme ekranı

Bilgilendirme ekranını okuduktan sonra dokunmatik ekranın sağ alt köşesinde bulunan ileri tuşu tıklanarak operasyonda kullanılacak olan ekran açılmaktadır. Ekran tasarımı Şekil 3.27'de gösterilmiştir ve operasyon aşamasında sensörlerden okunan açı bilgileri, operasyon süresi ve sensörlerden okunan sıcaklık bilgisi bu ekran tasarımında gösterilmektedir. Şekil 3.27'de de görüleceği gibi S-1 ve S-2 alanlarında iki sensörden de alınan X, Y, Z düzlemlerindeki hareket açıları, SURE alanında operasyon süresi gösterilmektedir. Operasyona başlanacağı zaman ekranın sol alt alanındaki BASLA butonuna tıklanarak cihaz operasyon işlevi başlatılmaktadır.



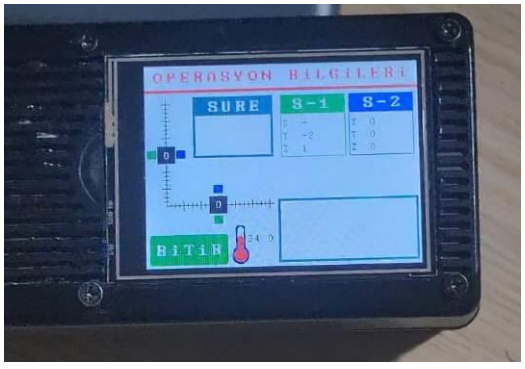
Şekil 3.27. Cihaz operasyon bilgilendirme ekranı

İvme sensörleri Şekil 3.28'de gösterildiği gibidir ve hastanın vücudunda düzeltilecek olan kemik yapısına çelik teller vasıtasıyla sabitlenir. Modüllerin üzerinde, çelik tellerin takılıp vidalar ile sabitleneceği aparatlar tasarlanmıştır ve yapay kemikler üzerinde yapılan denemelerde görülen dönme ihtimaline karşı, her modülde 1'er cm aralıklı 2 çelik sabitleme teli için alan oluşturulmuştur.



Şekil 3.28. İvme modülleri görüntüsü

Başla butonu ile başlatılan operasyon aşaması Şekil 3.29'da gösterilen ve yine sol alt bölümde bulunan BİTİR butonu ile tamamlanmaktadır.



Şekil 3.29. Operasyon aşaması ekran görüntüsü

Operasyon bitince Başla butonu ile sensörlerin konumları sıfır olarak kabul edilip bitir butonu ile bu aşamada algılanan sensörlerin X, Y, Z eksenlerindeki hareket

açıları ve operasyon süresi Şekil 3.30'daki gibi ekranda gösterilmektedir. Şekil 3.30'da uzun bir operasyonda cihazın çalışması test edilmiş ve bu test süresi 8 saat 3 dakika 54 saniye sürmüştür. Bu süre boyunca cihazda herhangi bir ısınma ya da problem ile karşılaşılmamıştır. Bu test cihazın uzun ameliyatlarda da kullanılabileceğinin göstergesidir.



Şekil 3.30. Cihaz test ekran görüntüsü-1

Cihaz operasyon ekranında anlık olarak sensörlerden alınan bilgilere göre her iki sensörün de hareket yönleri ve açıları Şekil 3.31'de gösterildiği gibi kullanıcıya sunulmaktadır.



Şekil 3.31. Cihaz test ekran görüntüsü-2

3.7. İstatistiksel Analiz

Çalışmanın verileri MedCalc (Medcalc sürüm 20.011, Medcalc Software, Ostend, Belçika) istatistik programı kullanılarak analiz edildi. Çalışmadan elde edilen verilerin normal dağılımlarının belirlenmesi amacıyla Shapiro-Wilk testi uygulandı. Gruplar arasındaki farkları belirlemek amacıyla bağımsız örneklem t testi kullanıldı. Çalışmanın verileri ortalama ± standart sapma olarak sunuldu. Çalışma analiz sonuçları değerlendirilirken $P < 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

4. BULGULAR

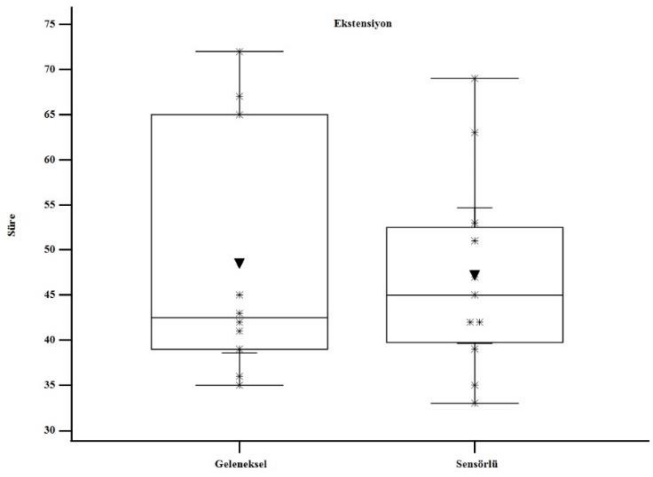
Alt ekstremite uzun kemik deformitesi olan toplam 51 hasta ameliyat edildi. Hastaların 25'i erkek 26'sı kız hastadır. Hastaların ortalama yaşları 9,03 ± 7,97'dir. Uzun kemik deformitesi olan 51 hastanın 21'i ekstansiyon kısıtlılığı nedeniyle, 30'u rotasyonel problemler nedeniyle ameliyat edildi.

Tablo 4.1. Ekstansiyon Osteotomisi ve Rotasyonel Deformite Gruplarında Geleneksel Yöntem ve Sensörlü Yöntemlerin Birbirleriyle Süre Açısından Karşılaştırılması

	Zaman (dakika)
Ekstansiyon geleneksel	48.5 ± 13.9
Ekstansiyon sensörlü	47.2 ± 11.2
P	**0.508**
Rotasyon geleneksel	39.9 ± 5.0
Rotasyon sensörlü	35.9 ± 6.4
P	**0.063**

Geleneksel yöntem ve sensörlü yöntem kullanılarak yapılan operasyonlarda süreler karşılaştırıldığında ekstansiyon kısıtlılığı olup, ekstansiyon osteotomisi yapılan hastalarda istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır (p=0.508) .

Geleneksel yöntem ve sensörlü yöntem kullanılarak yapılan operasyonlarda süreler karşılaştırıldığında rotasyon problemi nedeniyle, rotasyonel deformiteleri düzeltilen hastalarda istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır (p=0.063).



Şekil 4.1. Ekstansiyon osteotomisi geleneksel yöntem ve sensörlü yöntem süre farkı

Tablo 4.2. Ekstansiyon Osteotomisi Yapılan Hastaların Geleneksel Yöntem ve Sensörlü Yöntem Gruplarının Karşılaştırılması

	Geleneksel					**Sensörlü**					
Hasta	Preop fiziksel HDA	Postop Fiziksel DM	Postop radyolojik DM	**Preop fiziksel HDA-postop Fiziksel DM açı farkı**	**Preop HDA-Postop radyolojik DM açı farkı**	Hasta	Preop fiziksel HDA	Postop Fiziksel DM	Postop radyolojik DM	**Preop fiziksel HDA-postop Fiziksel DM açı farkı**	**Preop fiziksel HDA- Postop radyolojik DM açı farkı**
1	15	17	17	**2**	**2**	1	19	20	20	**1**	**1**
2	20	23	21	**3**	**1**	2	20	22	22	**2**	**2**
3	23	19	21	**4**	**2**	3	22	23	24	**1**	**2**
4**	52	47	35	**5**	**17**	4**	34	32	22	**2**	**12**
5	20	18	21	**2**	**1**	5**	56	54	35	**2**	**21**
6**	57	51	28	**6**	**29**	6**	42	40	22	**2**	**20**
7**	51	46	26	**5**	**25**	7**	62	60	40	**2**	**22**
8	30	34	32	**4**	**2**	8	40	41	41	**1**	**1**
9	24	21	23	**3**	**1**	9	42	40	40	**2**	**2**
10	22	19	20	**3**	**2**	10	24	23	23	**1**	**1**
Mean				**3.7 ± 1.3*[a]**	**8.2 ± 11.1***					**1.6 ± 0.5*[b]**	**8.4 ± 9.3***
P				<0.001*						<0.001*	

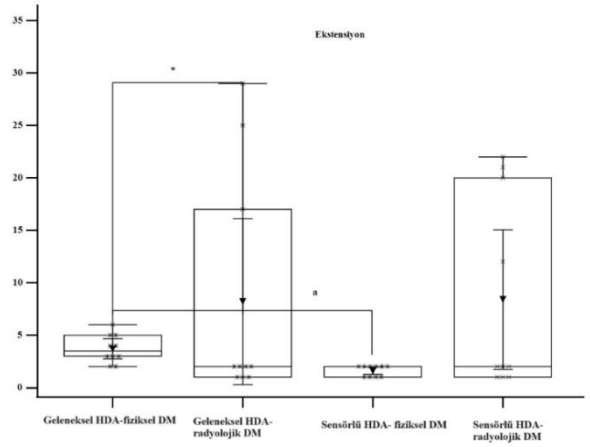
"a ve b" harfi her iki gurubun (geleneksel ve sensörlü) preop radyolojik HDA ve postop fiziksel DM açı ölçümlerinin farkını göstermektedir (p=0.009). * işareti ise geleneksel ve sensörlü grupların kendi içerisindeki Preop fiziksel HDA-postop Fiziksel DM açı farkı ile Preop fiziksel HDA- postop radyolojik DM açı farkı arasındaki istatistiksel farkı göstermektedir (p<0.001). HDA:hedeflenen düzeltme açısı, DM:düzeltme miktarı, * * ile işaretlenmiş olan hastalar kemik kısaltması yapılan hastalardır.

Ekstansiyon kısıtlılığı nedeniyle geleneksel yöntem ve sensörlü yöntemler kullanılarak ekstansiyon osteotomisi yapılan hastalar preoperatif fiziksel olarak belirlenen hedeflenen düzeltme açısı (preop fiziksel HDA) ile postoperatif fiziksel düzeltme miktarları (postop fiziksel DM) arasındaki açı farkları kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p = 0.009$).

Ekstansiyon kısıtlılığı nedeniyle geleneksel yöntem ve sensörlü yöntemler kullanılarak ekstansiyon osteotomisi yapılan hastalar preoperatif fiziksel olarak belirlenen hedeflenen düzeltme açısı ile postoperatif radyolojik düzeltme miktarları arasındaki açı farkları kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.

Geleneksel yöntemde preop fiziksel HDA ile postop fiziksel DM arasındaki açı farkları ile preop fiziksel HDA ile postop radyolojik DM açıları arasındaki farka bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p<0.001$).

Sensörlü yöntemde preop fiziksel HDA ile postop fiziksel DM arasındaki açı farkları ile preop fiziksel HDA ile postop radyolojik DM arasındaki farka bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p<0.001$).



Şekil 4.2. Ekstansiyon osteotomisi yapılan hastaların preop fiziksel HDA-postop fiziksel DM ve preop fiziksel HDA-postop radyolojik DM arasındaki açı farkı

Tablo 4.3. Ekstansiyon Osteotomisi Yapılan Hastalardan Kemik Kısaltma İşlemi Yapılan Hastalar Çıkarıldıktan Sonra Kalan Hastaların Karşılaştırılması

	Geleneksel					**Sensörlü**					
Hasta	Preop fiziksel HDA	Postop Fiziksel DM	Postop radyolojik DM	**Preop fiziksel HDA-postop Fiziksel DM açı farkı**	**Preop fiziksel HDA- Postop radyolojik DM açı farkı**	Hasta	Preop fiziksel HDA	Postop Fiziksel DM	Postop radyolojik DM	**Preop fiziksel HDA-postop Fiziksel DM açı farkı**	**Preop fiziksel HDA- Postop radyolojik DM açı farkı**
1	15	17	17	**2**	**2**	1	19	20	20	**1**	**1**
2	20	23	21	**3**	**1**	2	20	22	22	**2**	**2**
3	23	19	21	**4**	**2**	3	22	23	24	**1**	**2**
-	-	-	-	**-**	**-**	-	-	-	-	**-**	**-**
5	20	18	21	**2**	**1**	-	-	-	-	**-**	**-**
-	-	-	-	**-**	**-**	-	-	-	-	**-**	**-**
-	-	-	-	**-**	**-**	-	-	-	-	**-**	**-**
8	30	34	32	**4**	**2**	8	40	41	41	**1**	**1**
9	24	21	23	**3**	**1**	9	42	40	40	**2**	**2**
10	22	19	20	**3**	**2**	10	24	23	23	**1**	**1**
Mean				**3 ± 0.8*[a]**	**1.6 ± 0.5***					**1.3 ± 0.5[b]**	**1.5 ± 0.5**
P				=0.0022						= 0.5995	

"a ve b" harfi her iki gurubun (geleneksel ve sensörlü) preop fiziksel HDA ve postop fiziksel DM açı ölçümlerinin farkını göstermektedir (p=0.0013). HDA:hedeflenen düzeltme açısı, DM:düzeltme miktarı. – ile gösterilen kutucuklar tablo 4 de bulunan kısaltma yapılan ve * * ile işaretlenen hastaların çıkarıldığı yerler.

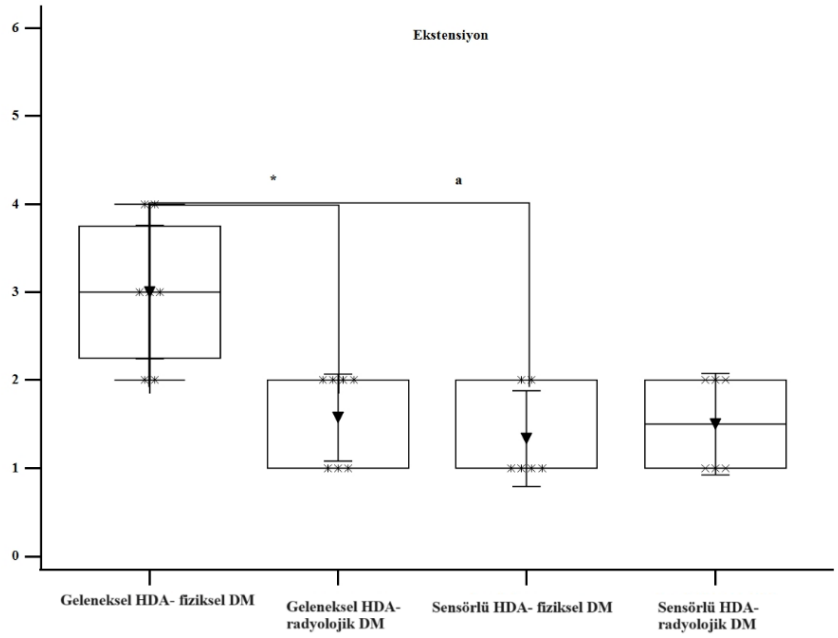
Ekstansiyon kısıtlılığı nedeniyle geleneksel yöntem ve sensörlü yöntemler kullanılarak ekstansiyon osteotomisi yapılan hastalar arasından kemik kısaltma işlemi yapılan hastalar çıkarılarak tekrar karşılaştırılma yapıldı.

Sensörlü yöntemde preop fiziksel HDA ile postop fiziksel DM arasındaki açı farkları ile preop fiziksel HDA ile postop radyolojik DM arasındaki açı farkına bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.

Geleneksel yöntemde preop fiziksel HDA ile postop fiziksel DM arasındaki açı farkları ile preop fiziksel HDA ile postop radyolojik DM arasındaki farka bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.

Ekstansiyon kısıtlılığı nedeniyle geleneksel yöntem ve sensörlü yöntemler kullanılarak ekstansiyon osteotomisi yapılan hastalar preop fiziksel HDA (3 ± 0.8) ile postop fiziksel DM (1.3 ± 0.5) arasındaki açı farkları kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($p=0.0013$).

Ekstansiyon kısıtlılığı nedeniyle geleneksel yöntem ve sensörlü yöntemler kullanılarak ekstansiyon osteotomisi yapılan hastalar preop fiziksel HDA ile postop radyolojik DM arasındaki açı farkları kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.



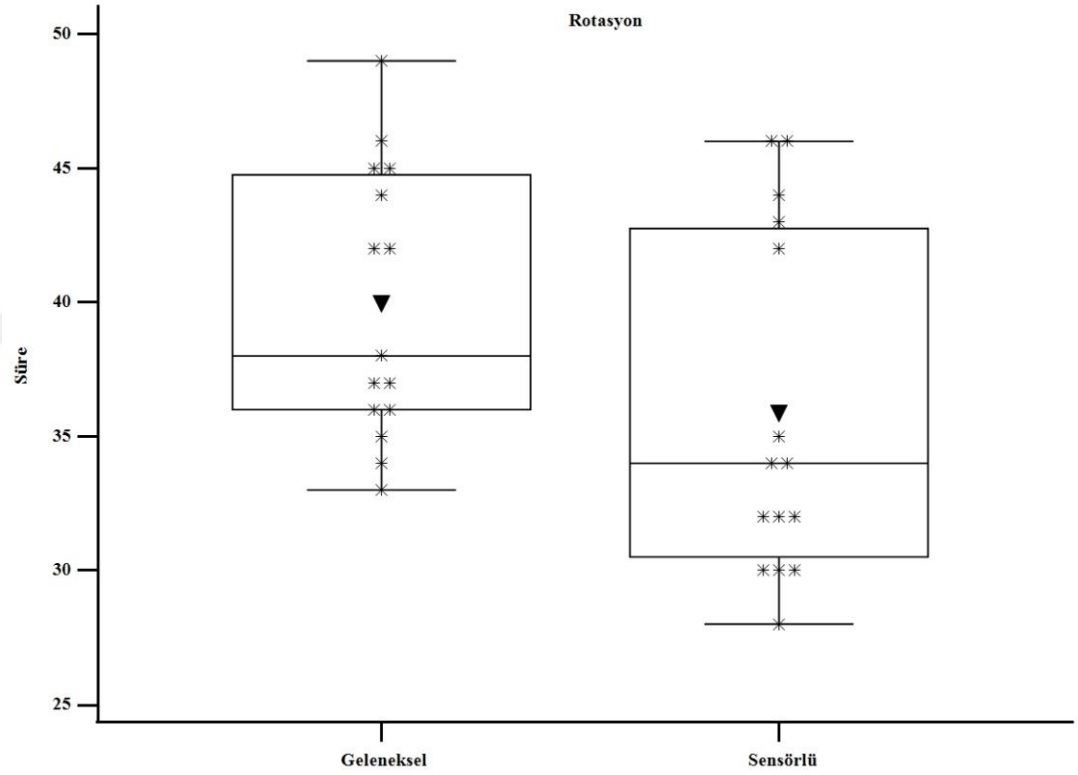
Şekil 4.3. Ekstansiyon osteotomisi yapılan hastalardan kemik kısaltma işlemi yapılan hastalar çıkarıldıktan sonra kalan hastaların preop fiziksel HDA- postop fiziksel DM ve preop fiziksel HDA-postop radyolojik DM arasındaki açı farkı

Tablo 4.4. Rotasyonel Deformitesi Olan Hastaların Geleneksel ve Sensörlü Yöntemler Açısından Kıyaslanması

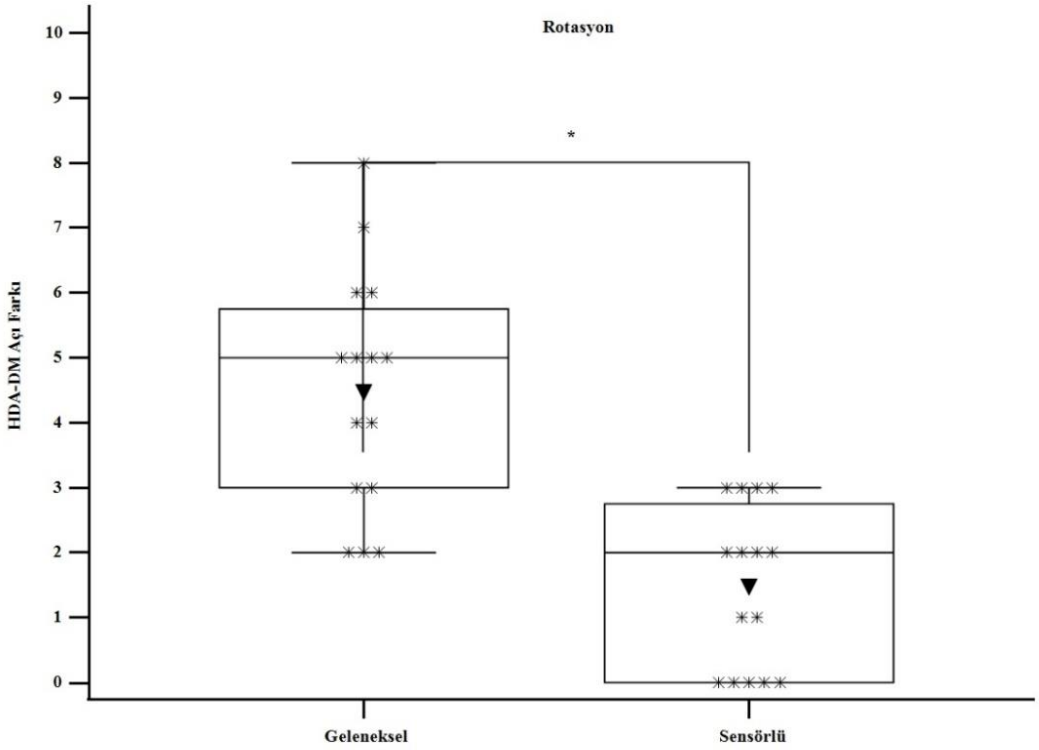
	Geleneksel				Sensörlü			
Hasta	Preop HDA	Postop DM	**HDA-DM açı farkı**	Hasta	Preop HDA	Postop DM	**HDA-DM Açı farkı**	
1	40	34	**6**	1	45	42	**3**	
2	40	36	**4**	2	25	25	**0**	
3	30	25	**5**	3	30	30	**0**	
4	30	26	**4**	4	25	25	**0**	
5	30	24	**6**	5	30	30	**0**	
6	30	28	**2**	6	31	28	**3**	
7	35	28	**7**	7	31	28	**3**	
8	35	27	**8**	8	28	27	**1**	
9	30	25	**5**	9	28	28	**0**	
10	30	25	**5**	10	25	23	**2**	
11	10	8	**2**	11	30	32	**2**	
12	25	22	**3**	12	20	18	**2**	
13	24	19	**5**	13	20	17	**3**	
14	25	27	**2**	14	25	23	**2**	
15	25	28	**3**	15	25	24	**1**	
Mean			**4.47 ± 1.8[a]**				**1.57 ±1.2[b]**	**P<0.0001**

“a ve b” harfi her iki gurubun (geleneksel ve sensörlü) hesaplanan düzeltme açısı ve düzeltme miktarı arasındaki açı farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir (P < 0.0001).

Geleneksel yöntem ve sensörlü yöntem kullanılarak opere edilen rotasyonel deformitesi olan hastaların HDA-DM açı farkları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur ($P < 0.0001$).



Şekil 4.4. Rotasyonel deformitelerin geleneksel ve sensörlü yöntemlere göre süre farkları



Şekil 4.5. Rotasyonel deformitelerin geleneksel ve sensörlü yöntemlere göre HDA-DM açı farkları

Tablo 4.5. Femur ve Tibia Rotasyonel Deformitelerinin Açılara ve Sürelere Göre Kıyaslanması

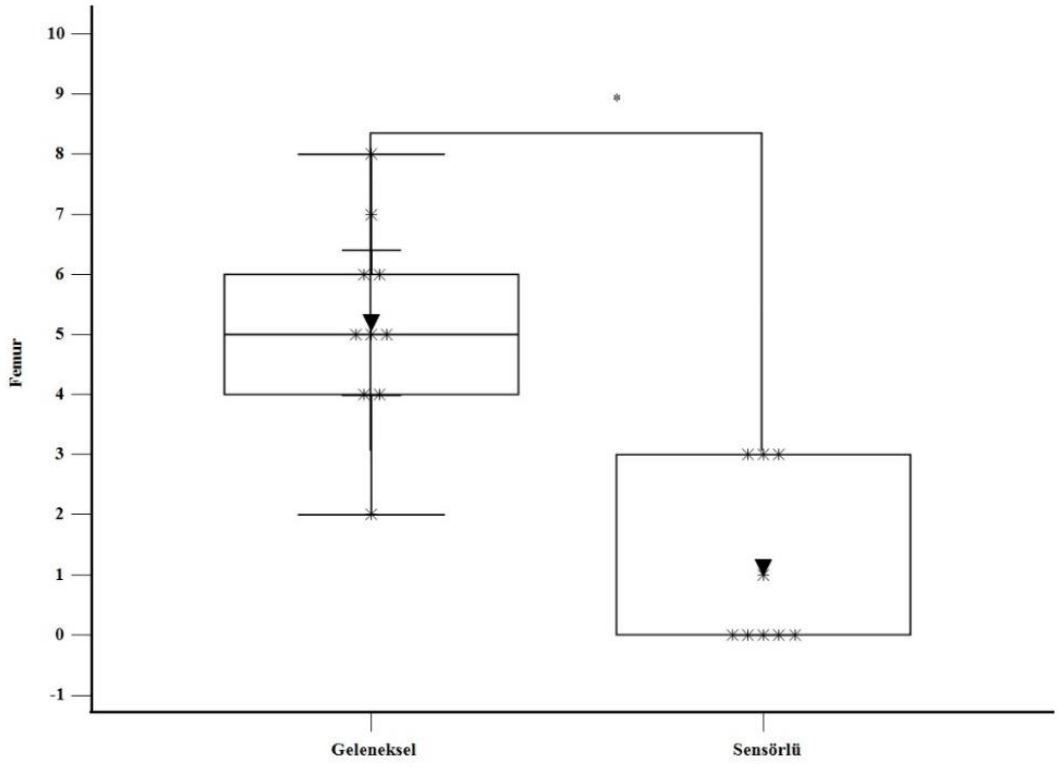
	Açı Farkı		**Süre (dakika)**	
	Femur	**Tibia**	**Femur**	**Tibia**
Geleneksel	5.2 ± 1.7^{a} n = 10	3 ± 1.2 n = 5	39 ± 4.2 n = 10	41.8 ± 6.6 n = 5
Sensörlü	1.1 ± 1.5^{b} n = 9	2 ± 0.6 n = 6	34.6 ± 5.9 n = 9	37.8 ± 7.2 n = 6
P	**<0.001**	**= 0.180**	**= 0.320**	**=0.880**

"a ve b" harfi her iki gurubun (geleneksel ve sensörlü) femurları arasındaki açı ölçümlerinin farklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir (P<0.001). n= hasta sayısı

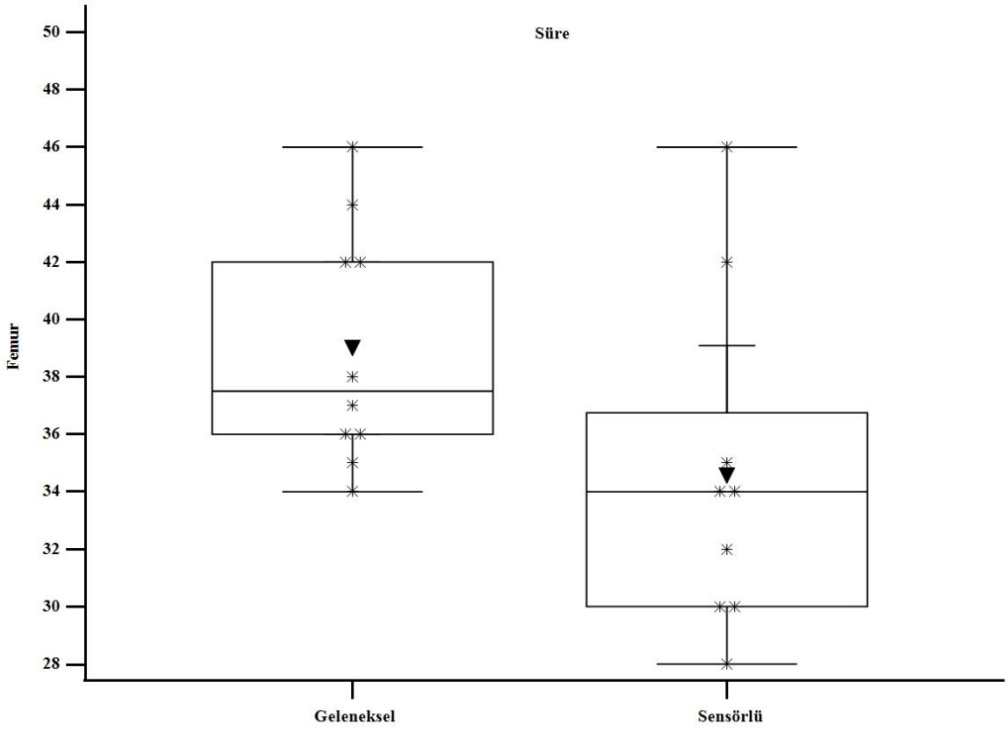
Geleneksel yöntem ve sensörlü yöntemler kullanılarak femurlarında rotasyonel deformiteleri düzeltilen hastalarda açı farklarına bakılarak iki yöntem kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur (P<0.001).

Geleneksel yöntem ve sensörlü yöntemler kullanılarak tibilarında rotasyonel deformiteleri düzeltilen hastalarda açı farklarına bakılarak iki yöntem kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.

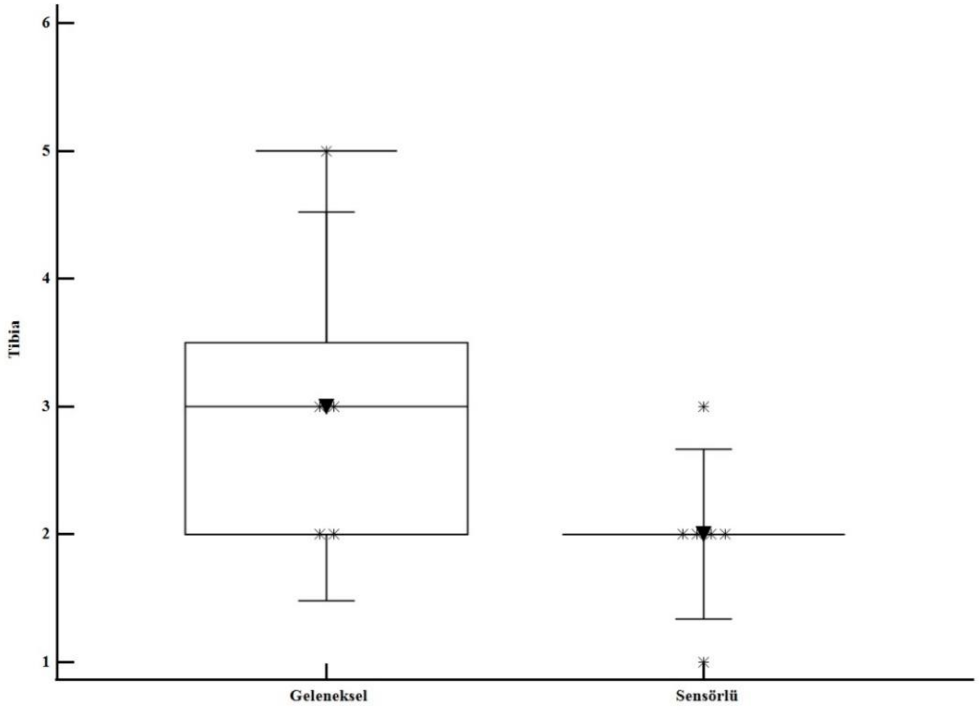
Geleneksel yöntem ve sensörlü yöntemler kullanılarak rotasyonel deformiteleri düzeltilen hastalarda femurlarda ve tibialarda her iki yöntemin sürelerine bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.



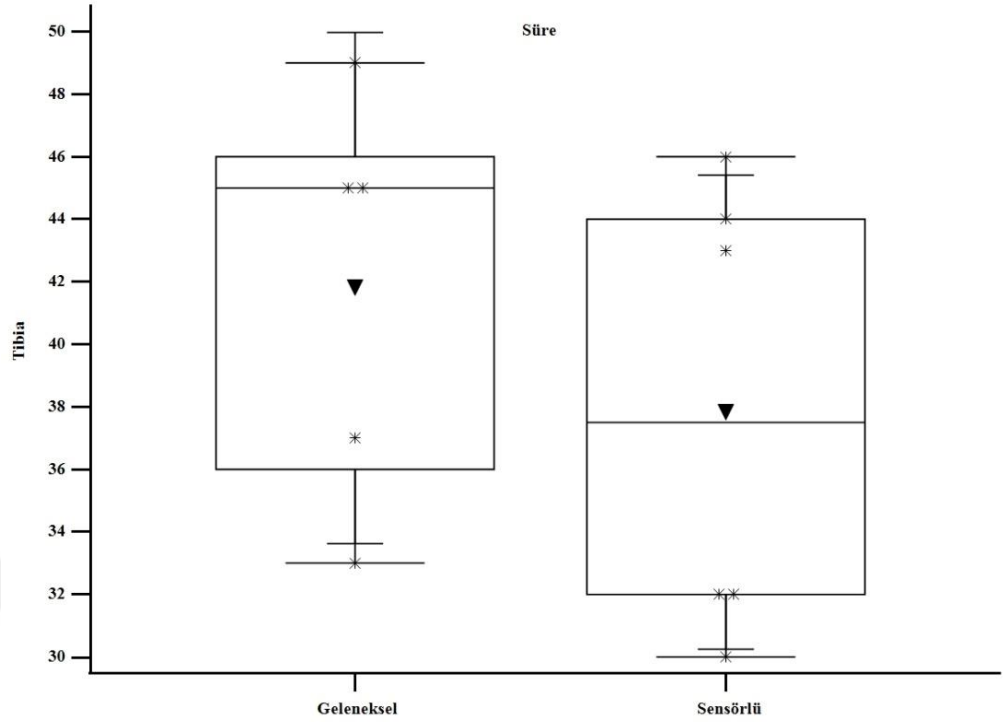
Şekil 4.6. Femur rotasyonel deformitelerinin geleneksel ve sensörlü yöntemlere göre açı farkları



Şekil 4.7. Femur rotasyonel deformitelerinin geleneksel ve sensörlü yöntemlere göre süre farkları



Şekil 4.8. Tibia rotasyonel deformitelerinin geleneksel ve sensörlü yöntemlere göre açı farkları



Şekil 4.9. Tibia rotasyonel deformitelerinin geleneksel ve sensörlü yöntemlere göre süre farkları

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, pediatrik deformitelerin cerrahi tedavisinde optimum sonuçlar alınabilmesi için, intraoperatif açı ölçümlerindeki hassasiyetin artırılması, bilgisayar destekli sensörler yardımıyla kompleks açısal düzeltmelerin yapılabilmesi amaçlanmıştır.

Çocuk hastalarda görülen deformiteler, normalden farklı görünmelerine, yürüme ve hareket etme kabiliyetlerinde azalmaya neden olduğu gibi, bu deformiteler çocukların anne ve babalarının kaygılanmalarına, tedavi arayışlarına girmelerine sebep oluşturur [16]. Alt ve üst ekstremite uzun kemiklerinde çok fazla deformite çeşidi bulunmaktadır [54, 62, 63]. Bu deformite çeşitlerinin tamamı çalışmamıza dahil edilmemiştir. Çalışmamızda geleneksel ve sensörlü yöntemlerin karşılaştırılmasının daha anlaşılır ve anlamlı hale gelmesi için iki ayrı deformite planı ve bu planlarda iki deformite çeşidi belirlenmiştir.

Literatür tarandığında seçilen belirli bir deformite grubunda geleneksel cerrahi yöntemlerle, geliştirilen yeni yöntemler karşılaştırılmıştır [6, 59, 64].Çalışmamızda, içe ve dışa basma şikayetlerine neden olan transvers plan deformitelerinden, alt ekstremite rotasyonel deformiteleri ve çömelme yürüyüşüne neden olan sagital plan deformitelerinden diz eklemi ekstansiyon kısıtlılığı deformitesi seçilmiştir. Her iki deformite grubunda da hastalar geleneksel yöntemle ve tasarlanan cihaz kullanılarak yapılan cerrahi yöntemle opere edilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Literatürde yapılan cerrahi işlemler tek plan deformitelerinde olmasına karşın, bu çalışmada sensörlü yöntemin etkinliğini daha iyi anlayabilmek için iki ayrı deformite planında çalışılmıştır.

Literatür tarandığında intraoperatif açı ölçüm yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda yaş aralığının ve cinsiyetin açı ölçümlerine etkisi olmadığı bildirilmiştir [1, 7]. Çalışmamızda da iyileşme sonuçları takip edilmediği için yaş ve cinsiyet dağılımlarına dikkat edilmedi.

İnan ve arkadaşlarının çalışmasında deformite cerrahisi öncesi fizik muayene ile yapılan ölçümlerle diğer yöntemler arasında belirgin bir üstünlük olmadığı için diğer yöntemlerin dezavantajlarından dolayı fizik muayene tercih edilmiştir. Aynı çalışmada direkt grafinin; deformite ölçüm yöntemleri arasında ilk bulunan teknik olmasından dolayı kıymetli olduğu ancak kısıtlı bilgiler verdiği için kullanımının sınırlı olduğundan bahsedilmiştir [54]. Ultrasonun; standardize edilememesi ve çekim için uygun pozisyonlarda çocuğun uzun süre bekletilememesi tekniğin dezavantajı olarak görülmüştür. Bilgisayarlı tomografinin; özellikle cerrahi geçiren ve kompleks deformitelerde en ideal teknik olmasının yanında, yüksek doz radyasyon maruziyetine neden olması ve küçük çocuklarda çekim sırasında anestezi gerekliliğinin bulunmasından dolayı tercih edilemeyebileceği vurgulanmıştır. Manyetik rezonans görüntülemenin de tomografiye belirgin üstünlüğünün olmaması ve çekim sırasında çocukların anestezi ihtiyaçları olabileceği için tercih edilmediği bildirilmiştir [54]. Çalışmamızda bu bilgilerin ışığında hastaların operasyon öncesi ve operasyon sonrası ölçümleri fizik muayeneler ve direkt grafilerle yapılmıştır.

Hu ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, cubitus varus deformitesi olan çocuklarda kişiselleştirilmiş 3D navigasyon şablonu kullanarak ve geleneksel yöntemle yapılan cerrahilerde, süreleri karşılaştırdıklarında 3D navigasyon kullanılan cerrahi yöntemin süreyi kısalttığını bulmuşlardır [64]. Çalışmamızda rotasyonel deformiteleri ve ekstansiyon kısıtlılıkları, geleneksel ve sensörlü yöntemlerle düzeltilen hastalarda sensörlü yöntemin, geleneksel yönteme göre istatistiksel olarak cerrahi süreyi kısaltmadığı bulunmuştur. Bunun nedeninin, sensörlü yöntemin Hu ve arkadaşlarının çalışmalarında kullandıkları 3D navigasyonlu yöntemle benzer yöntemler olmadığı için çalışmamızda sürenin kısalmadığını düşünüyoruz. Tek bir deformite planında, preoperatif 3D yazıcıdan hazırlanan şablon cerrahi süreyi kısaltsa da, bilgisayar destekli intraoperatif açı ölçüm yöntemi olarak tasarlanmış olan cihazla benzer yöntemler değillerdir. Çalışmamızda geleneksel yöntemde birer adet proksimale ve distale kişner teli atılmasına karşın, sensörlü yöntemde proksimale ve distale ikişer adet kişner teli atılmıştır. Fazla tel atılması zamanı uzatan bir faktördür. Sensörlü yöntemde teller üzerine sensörler vidalanırken de ek süre harcanmıştır.

Sensörlü yöntemde harcanan bu ek sürelere rağmen, sensörlü yöntemin geleneksel yöntemle süreleri karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır.

Li ve arkadaşlarının yapmış oldukları pediatrik hasta grubunda bulunan dirsek deformitelerinde 3 boyutlu yazıcıdan çıkardıkları şablonla yapılan cerrahi yöntem ve geleneksel yöntemin karşılaştırılması ile şablon kullanılan cerrahi yöntem ile postoperatif daha doğru açı değerlerine ulaşıldığını bildirmişlerdir [6]. Çalışmamızda, bu çalışmaya benzer olarak her iki grupta da sensörlü yöntemle yapılan cerrahilerde geleneksel yöntemle yapılan cerrahilere göre açı değerleri kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Çalışmamızda ekstansiyon kısıtlılığı nedeniyle ekstansiyon osteotomisi yapılan hastalar arasında cerrahi işlem sırasında kemikte kısaltma yapıldığında, preop HDA ile postop DM arasında kısaltmadan dolayı çok fazla açısal fark (12-29 derece) olduğu görüldü. Kemik kısaltması yapılan hastalar çıkarılarak tekrar istatistiksel analiz yapılmıştır, bu grup için sensörlü yöntem ve geleneksel yöntemin istatistiksel olarak anlamlı farkı bulunmamıştır. Ekstansiyon kısıtlılığı nedeniyle kemik kısaltması yapılan hastalarda, daha doğru açısal düzeltmeler yapılabilmesi için operasyon öncesinde kısaltma miktarının belirlenmesinin ve bu miktarın ölçülen açılara etkisinin değerlendirildiği farklı çalışmaların yapılması gerektiğini düşünmekteyiz

Rotasyonel deformitelerin sensörlü ve geleneksel yöntemlerle opere edildiği hasta gruplarında, her iki yöntem açısal değerlerin doğruluğuna göre kıyaslandığında aralarında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Rotasyonel deformite düzeltilen alt grupta hastalar, femurda ya da tibiada rotasyonel düzeltme yapılmalarına göre gruplara ayrıldı ve tekrar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Femurda rotasyonel deformiteleri düzeltilen hastalar, sensörlü ve geleneksel yöntemlere göre açısal değerler ve cerrahi süreler kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Aynı değerler tibiada kıyaslandığında sensörlü yöntem ve geleneksel yöntem arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamıştır. Bunun, femurun dairesel, düzgün şekilli [65] olmasının yanında, tibianın düzensiz üçgen şekilli [66] olmasından kaynaklandığını düşünmekteyiz. Femura osteotomi yapıldıktan sonra dairesel olarak daha rahat rotasyon yapıldı ve plak vida fiksasyonu sırasında kayma olmadan tespit edildi. Tibiada ise üçgen ve düzensiz şeklinden dolayı istenen rotasyon

yapıldıktan sonra vidalama sırasında plağın kompresyonu ile sensörün gösterdiği açının değiştiği görüldü. Bundan dolayı preop HDA ayarlanırken daha fazla süre harcandı. Tibiada yapılan cerrahi işlemlerde, geleneksel yöntemde teller arasındaki açı gonyometre ile sensör kadar hassas ölçülemediği için vidalama sırasında plağın kompresyonu ile açı değerinin değiştiği farkedilemedi. Tibia gibi üçgen şekilli kemiklerde, düzensiz yapılan osteotomilerde ya da birden fazla deformitenin düzeltileceği durumlarda, rotasyonel deformite düzeltilip plak vida fiksasyonu yapılırken plağın kompresyonu sırasında istenen rotasyon açısının değişebileceği gözlemlendi.

Skiak ve arkadaşlarının yapmış oldukları, femoral anteverisyon deformitesini harici fiksatörlerle düzelttikleri çalışmada, osteotomi hattı proksimaline ve distaline uygun mesafede attıkları şanz vidalarını preop hesapladıkları düzeltme açısına göre santimetre hesabı yaparak deformiteyi düzeltmişlerdir [3]. Çalışmamızda distale ve proksimale teller atılarak cerrahi işlemlerin yapılma aşaması benzerlik gösterirken açı hesaplamaları farklıdır. Sensörlü yöntemde sensörler birbirlerine paralel atılan tellere sabitlendikten sonra cihaz başlatılarak birbirlerine göre konumları bilgisayarla otomatik olarak sıfırlandı. Sensörler sıfırlandıktan sonra osteotomi yapıldı. Deformite, sensörler yardımıyla preop HDA kadar düzeltilerek tespit edildi. Geleneksel yöntemde osteotomi yapılmadan önce proksimal ve distale aynı düzlemde olacak şekilde, birbirine paralel teller atıldı. Deformite düzeltildikten sonra teller arasındaki açı gonyometre ile ölçülerek postop DM belirlendi. Bu teller ne kadar birbirine paralel de atılsa aralarında açısal fark olabileceği düşünülmektedir. Sensörlü yöntemin geleneksel yönteme göre avantajlarından biri, tellerin başlangıç konumunu sıfırlayarak ölçüme başlamasıdır. Başlangıç konumu sıfırlayabilmesinin, sensörlü yöntemde açısal sonuçların geleneksel yönteme göre daha anlamlı olmasının önemli sebeplerinden biri olduğunu düşünmekteyiz. Aynı zamanda geleneksel yöntemde rotasyon düzeltildikten sonra, proksimal ve distaldeki tellerin aynı düzlemde olmaması gonyometre ile açı ölçümünü olumsuz etkilemektedir.

Liou ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada diz fleksiyon kontraktürü ve çömelme yürüyüşü olan hastalarda yapılan distal femoral ekstansiyon osteotomisinin, genu valgum deformitesine neden olabileceğini bildirmişlerdir [36].

Çalışmamızda benzer cerrahi yöntem kullanılmasına rağmen postoperatif benzer komplikasyonlar görülmemiştir. Bunun nedeninin sensörlü yöntemde açısal düzeltmelere odaklandığımız için takip sürelerini kısa tutmamız olduğunu düşünmekteyiz. Çalışmamız, geliştirilen cihazın etkinliğini değerlendirmek için takip sürelerinin yeterli olduğu ancak kemik iyileşmesi ya da komplikasyonları takip etmek için yeterli olmadığı bilinerek planlanmıştır. Sensörlü yöntemle yapılan cerrahi işlemler sırasında ekstansiyon osteotomisi yapıldıktan sonra deformite düzeltilip tespit işlemi yapılırken rotasyonel kusurlar olabileceği görülmüştür. Sagital planda ekstansiyon osteotomisi yapılan cerrahi işlemlerde, sensörlü yöntemin koronal ve transvers planlarda oluşabilecek deformiteleri gösterebildiği ve engelleyebileceğini düşünüyoruz. Bu alanda daha ileri çalışmalar yapılabilir.

Davids ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, içe basmanın tedavisi olarak tibia derotasyonel osteotomi tekniğinden bahsedilmiştir. Distale ve proksimale atılan steinman pimleri birbirlerine göre düzeltme hedeflenen açı miktarı kadar farklı düzlemlerde yerleştirilerek gonyometre ile ölçüm yapılmış ve birbirleri ile paralel hale getirilerek deformite düzeltilmiştir [2]. Çalışmamızda benzer şekilde geleneksel yöntemde gonyometre ile ölçüm yapılarak cerrahi işlemler yapıldı. Farklı olarak paralel yerleştirilen pimler osteotomi sonrası hedeflenen düzeltme açısı kadar çevrildikten sonra teller arasındaki açı ölçüldü. Her iki durumda da yerleştirilen pimler birbirlerine uzak konumda yerleştirildiği için gonyometre ile yapılan ölçümün hatalı olabileceğini düşünüyoruz. Sensörlü yöntemde ise teller ilk konumunda birbirine göre cihaz tarafından sıfırlanıp bilgisayar yardımıyla da açı ölçülmektedir. Diğer çalışmaların aksine sensörlü yöntemde kullanılan bu ölçüm tekniğinde, tellerin pozisyonu ve teller arası mesafe önemsizdir.

Ogawa ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, total kalça artroplastisi sırasında asetabular kapın yerleşiminde geliştirdikleri açı ölçüm tekniği ile gonyometre ile yapılan ölçümler karşılaştırılmıştır. Geliştirdikleri açı ölçüm tekniğinin (artırılmış gerçeklik sistemi) gonyometreye göre önemli ölçüde doğru sonuçlara ulaştığını bildirmişlerdir [8]. Çalışmamızda benzer şekilde geliştirilen açı ölçüm tekniği ile gonyometre ölçümleri kıyaslandı. Geliştirilen sensörlü ve bilgisayar

destekli ölçüm yönteminde, gonyometre ile yapılan ölçümlere göre daha doğru sonuçlara ulaşıldı.

Hayashi ve arkadaşları total kalça artroplastisinde asetabular kapın yerleşimi sırasında üç boyutlu mini optik taşınabilir navigasyon ve ivmeölçer tabanlı taşınabilir navigasyon sistemlerinin doğruluklarını karşılaştırmışlardır. Her iki yöntemin de birbirlerine karşı üstünlüklerinin olmadığı sonucunu bildirmişlerdir [7]. Çalışmamızda robotik cerrahilerde kullanılan sistemlere göre, daha düşük bütçelerle benzer şekilde 3 düzlemli ivmeölçer sensörler kullanılarak intraoperatif ölçüm yöntemi geliştirildi. Sensörlü ölçüm yöntemlerinin çocuk ortopedi alanında ilk kullanılan çalışma olmasından dolayı yol gösterici olacağını düşünüyoruz. Daha yüksek bütçelerle daha kapsamlı mühendislik hizmetleri alınarak, gelişen teknolojiye paralel çalışmaların yapılacağını öngörüyoruz.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, deformite cerrahisinde intraoperatif açı ölçüm yöntemi olarak bilgisayar destekli sensörler kullanılan ilk çalışmalardan biridir. Tasarlanan cihaz kullanılarak yapılan cerrahi işlemlerde açı ölçümünde, geleneksel yöntemlere göre daha hassas ölçüm yapılabildiği görülmüştür. Özellikle femur kaynaklı rotasyonel deformitesi bulunan hastalarda, cerrahi süreyi kısaltması ve geleneksel yöntemlere göre açı ölçümünde daha doğru sonuçlar alınması açısından sensörlü yöntemin kullanımının yaygınlaştırılması önerilir.

Tibia kaynaklı rotasyonel deformitelerde, birden fazla deformitenin beraber düzeltilmesi gereken durumlarda ya da osteotomi hattının dairesel ve düzgün olmadığı durumlarda rotasyon düzeltildikten sonra plak-vida tespiti sırasında istenen pozisyonun bozulabildiği görülmüştür. Bu tip durumlar için ileri çalışmalara ve yeni yöntemlere ihtiyaç vardır.

Sensörlü ve geleneksel yöntemlerle ekstansiyon osteotomisi yapılan gruplar arasında açısal değerler göz önüne alındığında istatistiksel olarak anlamlı fark olmasa da sensörlü yöntem, operasyon sırasında valgus, varus ya da rotasyonel değişimleri göstermesi açısından değerlidir. Bu konuda ek çalışmalar yapılabilir.

Ekstansiyon osteotomisi yapılan hasta gruplarında, kemikte kısaltma yapılan hastalarda preop planlanan açısal ölçümler ve intraoperatif düzeltme miktarları arasında korelasyon olmadığı görülmüştür. Düzeltilmesi planlanan açı derecesine göre kısaltma miktarının ve sonrasında düzeltme açısının belirlenebileceği çalışmalara ihtiyaç vardır.

Çalışmamızın daha yüksek bütçelerle, her düzlemde hassas ölçümler yapabilen sensörler ve bilgisayar sistemleri kullanılarak geliştirilebileceğini ve deformite cerrahisi ve travmalarda kullanılabilecek robotik cerrahinin başlangıç aşaması olabileceğini düşünüyoruz.

KAYNAKÇA

1. Cruz, J., et al., *Intraoperative Angle Measurement of Anatomical Structures: A Systematic Review.* Sensors, 2024. **24**(5): p. 1613.
2. Davids, J.R., et al., *Surgical management of persistent intoeing gait due to increased internal tibial torsion in children.* Journal of Pediatric Orthopaedics, 2014. **34**(4): p. 467-473.
3. Skiak, E., et al., *Distal femoral derotational osteotomy with external fixation for correction of excessive femoral anteversion in patients with cerebral palsy.* Journal of Pediatric Orthopaedics B, 2015. **24**(5): p. 425-432.
4. Mao, J., et al., *The lesser trochanter profile is an accurate and reliable measure of femoral rotation for intramedullary nailing.* SICOT-J, 2024. **10**: p. 36.
5. Barik, S., et al., *A systematic review and meta-analysis of long-term outcomes of femoral derotation surgery for intoeing gait in cerebral palsy.* Gait & Posture, 2024.
6. Li, J., et al., *3D-printed model and osteotomy template technique compared with conventional closing-wedge osteotomy in cubitus varus deformity.* Scientific Reports, 2022. **12**(1): p. 6762.
7. Hayashi, S., et al., *Comparing the accuracy of three-dimensional mini-optical portable navigation and accelerometer-based portable navigation system for acetabular cup placement during total hip arthroplasty.* Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery, 2023. **143**(7): p. 3759-3766.
8. Ogawa, H., et al., *A pilot study of augmented reality technology applied to the acetabular cup placement during total hip arthroplasty.* The Journal of arthroplasty, 2018. **33**(6): p. 1833-1837.
9. Kara Öngel, S., *Ratlarda kırık iyileşmesinde silimarinin etkisi*. Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
10. Mostofi, S.B., *Gavriil Abramovich Ilizarov 1921–1992.* Who's Who in Orthopedics, 2005: p. 156-157.
11. Pauwels, F. and F. Pauwels, *Pseudarthrosis of the Neck of the Femur.* Biomechanics of the Normal and Diseased Hip: Theoretical Foundation, Technique and Results of Treatment An Atlas, 1976: p. 81-127.

12. Bayrak, A., *Elit sporcularla sedanter yaşam süren kişilerin tibial torsiyon açılarının karşılaştırılması*. 2015, Necmettin Erbakan University (Turkey).
13. Hutter Jr, C.G. and W. Scott, *Tibial torsion.* JBJS, 1949. **31**(3): p. 511-518.
14. Staheli, L.T. and G.M. Engel, *Tibial torsion: a method of assessment and a survey of normal children.* Clinical Orthopaedics and Related Research (1976-2007), 1972. **86**: p. 183-186.
15. Jakob, R., M. Haertel, and E. Stussi, *Tibial torsion calculated by computerised tomography and compared to other methods of measurement.* The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume, 1980. **62**(2): p. 238-242.
16. Staheli, L.T., *Rotational problems in children.* JBJS, 1993. **75**(6): p. 939-949.
17. Hubert, C. and H. Schneider, *Der neue Pauly: Enzyklopädie der Antike, Bd. 2 (Ark-Ci).* Stuttgart, Weimar: Metzler, 1997.
18. Paley, D., *Principles of deformity correction*. 2014: Springer.
19. Ibrahim, S., *Tachdjian's pediatric orthopaedics: from the Texas Scottish Rite Hospital for Children.* Malaysian Orthopaedic Journal, 2015. **9**(1): p. 53.
20. Miller, M.D., S.R. Thompson, and J. Hart, *Review of orthopaedics*. 2012: Elsevier Health Sciences.
21. Jamali, A.A., et al., *Do small changes in rotation affect measurements of lower extremity limb alignment?* Journal of orthopaedic surgery and research, 2017. **12**: p. 1-8.
22. Spiegelberg, B., et al., *Ilizarov principles of deformity correction.* The annals of the royal college of surgeons of England, 2010. **92**(2): p. 101-105.
23. Altun, İ., *Alt ekstremite kısalıklarında ilizarov eksternal fiksatör ile uzatma sonuçları.* 2011.
24. Schröter, S., et al., *Lower limb deformity analysis and the planning of an osteotomy.* The journal of knee surgery, 2017. **30**(05): p. 393-408.
25. Çakmak, M. and F. Bilen, *Menteşe tipleri ve yerleştirilmesi.* İstanbul, 1999: p. 63-78.
26. Staheli, L.T., et al., *Lower-extremity rotational problems in children. Normal values to guide management.* JBJS, 1985. **67**(1): p. 39-47.
27. Jacquemier, M., et al., *Rotational profile of the lower limb in 1319 healthy children.* Gait & posture, 2008. **28**(2): p. 187-193.

28. Cheng, J.C., et al., *Angular and rotational profile of the lower limb in 2,630 Chinese children.* Journal of Pediatric Orthopaedics, 1991. **11**(2): p. 154-161.
29. Lovell, W.W., et al., *Lovell and Winter's pediatric orthopaedics*. Vol. 1. 2006: Lippincott Williams & Wilkins.
30. Mooney, J.F., *Lower extremity rotational and angular issues in children.* Pediatric Clinics, 2014. **61**(6): p. 1175-1183.
31. Verch, R., et al., *Is in-toing gait physiological in children?–Results of a large cohort study in 5910 healthy (pre-) school children.* Gait & posture, 2018. **66**: p. 70-75.
32. Akalın, Y., et al., *Erişkinlerde alt ekstremitenin rotasyonel dizilimi: Diz osteoartritiyle ilişkisi ortaya konamamıştır.* Joint Diseases and Related Surgery, 2011. **22**(2): p. 075-080.
33. Sass, P. and G. Hassan, *Lower extremity abnormalities in children.* American family physician, 2003. **68**(3): p. 461-468.
34. Williams, C.M., A.M. James, and T. Tran, *Metatarsus adductus: Development of a non-surgical treatment pathway.* Journal of Paediatrics and Child Health, 2013. **49**(9): p. E428-E433.
35. Manikowska, F., et al., *The popliteal angle tests in patients with cerebral palsy.* Journal of Pediatric Orthopaedics B, 2019. **28**(4): p. 332-336.
36. Liou, Y.-L., et al., *Genu valgum after distal femur extension osteotomy in children with cerebral palsy.* Journal of Pediatric Orthopaedics, 2022. **42**(4): p. e384-e389.
37. Nabian, M.H., et al., *Distal femoral osteotomy and patellar tendon advancement for the treatment of crouch gait in patients with bilateral spastic cerebral palsy.* Gait & Posture, 2024. **110**: p. 53-58.
38. Park, H., et al., *Distal femoral shortening osteotomy for severe knee flexion contracture and crouch gait in cerebral palsy.* Journal of clinical medicine, 2019. **8**(9): p. 1354.
39. Hanson, A. and S. Rethlefsen, *ANTERIOR DISTAL FEMORAL HEMIEPIPHYSIODESIS WITH AND WITHOUT PATELLAR TENDON ADVANCEMENT FOR FIXED KNEE CONTRACURES IN CHILDREN WITH CEREBRAL PALSY.* Gait & Clinical Movement Analysis Society.

40. Hyer, L.C., et al., *Outcomes of Patellar Tendon Imbrication With Distal Femoral Extension Osteotomy for Treatment of Crouch Gait.* Journal of Pediatric Orthopaedics, 2021. **41**(5): p. e356-e366.
41. Friend, L. and R.F. Widmann, *Advances in management of limb length discrepancy and lower limb deformity.* Current opinion in pediatrics, 2008. **20**(1): p. 46-51.
42. Shailam, R., D. Jaramillo, and J.H. Kan, *Growth arrest and leg-length discrepancy.* Pediatric radiology, 2013. **43**: p. 155-165.
43. Whitaker, A.T. and C. Vuillermin, *Lower extremity growth and deformity.* Current reviews in musculoskeletal medicine, 2016. **9**: p. 454-461.
44. Herring, J.A. and M. Tachdjian, *Pediatric orthopaedics.* Benign Musculoskeletal Tumours Tachdjian's Orthopaedic Journal, Texas WB Saunders Company, 2002. **3**.
45. Poutawera, V. and N.S. Stott, *The reliability of computed tomography scanograms in the measurement of limb length discrepancy.* Journal of Pediatric Orthopaedics B, 2010. **19**(1): p. 42-46.
46. Paley, D., et al., *Multiplier method for predicting limb-length discrepancy.* Jbjs, 2000. **82**(10): p. 1432.
47. Moseley, C., *A straight-line graph for leg-length discrepancies.* JBJS, 1977. **59**(2): p. 174-179.
48. Westh, R.N. and M.B. Menelaus, *A simple calculation for the timing of epiphysial arrest: a further report.* The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume, 1981. **63**(1): p. 117-119.
49. Friberg, O., *Clinical symptoms and biomechanics of lumbar spine and hip joint in leg length inequality.* Spine, 1983. **8**(6): p. 643-651.
50. Herring, J.A., *Tachdjian's Pediatric Orthopaedics: From the Texas Scottish Rite Hospital for Children: 2-Volume Set*. 2020: Elsevier Health Sciences.
51. Gurney, B., *Leg length discrepancy.* Gait & posture, 2002. **15**(2): p. 195-206.
52. Harbacheuski, R., A.T. Fragomen, and S.R. Rozbruch, *Does lengthening and then plating (LAP) shorten duration of external fixation?* Clinical Orthopaedics and Related Research®, 2012. **470**: p. 1771-1781.

53. Horn, J., et al., *Femoral lengthening with a motorized intramedullary nail: a matched-pair comparison with external ring fixator lengthening in 30 cases.* Acta Orthopaedica, 2015. **86**(2): p. 248-256.
54. İnan, M., F. Altıntaş, and İ. Duru, *Beyin felcinde rotasyonel deformitenin değerlendirilmesi ve tedavisi.* Acta Orthop Traumatol Turc, 2009. **43**(2): p. 106-112.
55. Cheewasukanon, S., P. Osateerakun, and N. Limpaphayom, *Recurrence of knee flexion contracture after surgical correction in children with cerebral palsy.* International Orthopaedics, 2021. **45**: p. 1523-1530.
56. Narkbunnam, R. and K. Chareancholvanich, *Effect of patient position on measurement of patellar height ratio.* Archives of orthopaedic and trauma surgery, 2015. **135**: p. 1151-1156.
57. Abalkhail, T.B. and P.K. McClure, *Sagittal Plane Assessment in Deformity Correction Planning: The Sagittal Joint Line Angle.* Strategies in Trauma and Limb Reconstruction, 2022. **17**(3): p. 159.
58. Solaiman, R.H., et al., *Tibial derotational osteotomy for idiopathic tibial torsion: A systematic review of surgical indications based on clinical presentation and measurement technique.* Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 2024.
59. Zhang, Y.-W., et al., *Efficacy evaluation of three-dimensional printing assisted osteotomy guide plate in accurate osteotomy of adolescent cubitus varus deformity.* Journal of Orthopaedic Surgery and Research, 2019. **14**: p. 1-9.
60. Çakır, A., C. Soydan, and E. Arslaner, *Android Tabanli Bluetooth Kontrollü Pixel Led Tabela.* Anka E-Dergi, 2017. **2**(1).
61. Süzen, A.A., Ö. Deniz, and A. Çetin, *Kafa hareketleri ile kontrol edilebilen tekerlekli sandalye.* Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2017. **8**(Özel (Special) 1): p. 66-72.
62. Lincoln, T.L. and P.W. Suen, *Common rotational variations in children.* JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 2003. **11**(5): p. 312-320.
63. Karol, L.A., *Rotational deformities in the lower extremities.* Current opinion in pediatrics, 1997. **9**(1): p. 77-80.

64. Hu, X., et al., *Clinical application of individualized 3D-printed navigation template to children with cubitus varus deformity.* Journal of orthopaedic surgery and research, 2020. **15**: p. 1-9.
65. Chang, A., et al., *Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb: Femur*, in *StatPearls [Internet]*. 2023, StatPearls Publishing.
66. Quintens, L., et al., *Anatomical variation of the tibia–a principal component analysis.* Scientific reports, 2019. **9**(1): p. 7649.

EKLER

EK 1. ETİK KURUL

EK 2. TİTCK ONAY BELGESİ

T.C.
SAĞLIK BAKANLIĞI
Türkiye İlaç ve Tıbbi Cihaz Kurumu

Sayı : E-66175679-514.99-1213729 05.09.2023
Konu : Kapsam Dışı Çalışma [23-AKD-204]

Sayın Doç. Dr. Muhammed Çağatay ENGİN
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ
Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı
ERZURUM

İlgi : 09.08.2023 tarihli, E-85521274-000-2530349 evrak sayılı başvurunuz.

Bilindiği üzere, 3359 sayılı Sağlık Hizmetleri Temel Kanunu ek 10 uncu maddesi hükmünce herhangi bir tedavi yöntemi veya araçlarının veyahut ruhsat veya izin alınmış olsa dahi ilaç ve terkiplerinin, tıbbi ve biyolojik ürünler, bitkisel ürünler, kozmetik ürünler ve hammaddeleri ile tıbbi cihazların bilimsel araştırma amacıyla insanlar üzerinde kullanılabilmesi için Sağlık Bakanlığı veya bağlı kuruluşlarından izin alınması gerekmektedir.

Doç. Dr. Muhammed Çağatay ENGİN sorumluluğunda yapılması planlanan "Pediatrik yaş grubu uzun kemik deformitelerinin düzeltme prosedürlerinde hareket sensörü kullanımı." başlıklı çalışma bahsi geçen kanun maddesi kapsamına girmediğinden ilgili etik kurul onayı doğrultusunda yürütülebilir.

Yazımızın bir örneğinin ilgili etik kurula iletilmesi hususunda bilginizi ve gereğini rica ederim.

Dr. Ecz. Elif İnci ERGÖNÜL
Kurum Başkanı a.
Daire Başkanı

EK 3. BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU EBEVEYN

ÇOCUK HASTALARDA YAPILACAK OLAN
ARAŞTIRMALAR İÇİN
"EBEVEYN" BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU

Araştırma Projesinin Adı: **Pediatrik yaş grubu uzun kemik deformitelerinin düzeltme prosedürlerinde hareket sensörü kullanımı**
Sorumlu Araştırıcının Adı: Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Çağatay Engin
Diğer Araştırıcıların Adı: Araş. Görev. Dr. Abdullah Navruz

Değerli anne ve babalar;

Çocuğunuzun, kliniğimizde yapılması planlanan "**Pediatrik yaş grubu uzun kemik deformitelerinin düzeltme prosedürlerinde hareket sensörü kullanımı**" isimli bir çalışmada yer alabilmesi için sizden izin istiyoruz. Çocuğunuzun bu çalışmaya davet edilmesinin nedeni onda **uzun kemiklerinde deformite** hastalığının görülmüş olmasıdır. Bu çalışma, araştırma amaçlı olarak yapılmaktadır ve katılım gönüllülük esasına dayalıdır. Çocuğunuzun çalışmaya katılması konusunda karar vermeden önce araştırma hakkında sizi bilgilendirmek istiyoruz. Çalışma hakkında tam olarak bilgi sahibi olduktan sonra ve sorularınız cevaplandıktan sonra eğer çocuğunuzun katılmasını isterseniz sizden bu formu imzalamanız istenecektir. Bu araştırma hakkında çocuğunuza da bilgi vereceğiz ve ondan da bu çalışmaya katılması için izin alacağız.

Çalışmanın amaçları ve dayanağı nelerdir, çocuğumdan başka kaç kişi bu çalışmaya katılacak?
Pediatrik alt ekstremite deformitelerinin cerrahi tedavisinde hareket sensörü kullanarak özellikle multiplanar deformitelerde uzay düzleminde (x, y, z düzlemlerinde) preoperatif ölçülen matematiksel değerlere eşit ve ideale yakın sonuç almak ve aynı zamanda intraoperatif deformitelerin düzeltme derecelerinin niceliksel olarak belirlenmesi için cerrahi esnasında hareket sensörü ve uygulama kullanmaktır.
Bu çalışmada çocuk yaş grubunda bulunan hastaların olmasının sebebi deformitelerin daha sıklıkla çocuklarda görülmesi ve bir çoğunun erişkin yaşa gelene kadar cerrahi yöntemlerle düzeltiliyor olmasıdır.

- *Çalışmaya yaklaşık olarak 50 hasta alınması planlanmaktadır.*

Çocuğum bu çalışmaya katılmalı mı?

Çocuğunuzun bu çalışmada yer alıp almaması tamamen size bağlıdır. Eğer katılmasına izin verirseniz bu yazılı bilgilendirilmiş olur formu imzalanmak için size verilecektir. Şu anda bu formu imzalasanız bile istediğiniz herhangi bir zamanda çocuğunuzu çalışmadan çekebilirsiniz. Eğer katılmasını istemezseniz veya çalışmadan ayrılırsanız, doktorunuz tarafından çocuğunuz için en uygun tedavi planı uygulanacaktır. Aynı şekilde çalışmayı yürüten doktor çocuğunuzun çalışmaya devam etmesinin yararlı olmayacağına karar verebilir ve onu çalışma dışı bırakabilir.

Çocuğum bu çalışmaya katılırsa onu neler bekliyor?

Bu araştırma kapsamında çocuğunuza, tedavisi için yapılan rutin işlemlerin dışında herhangi bir girişim yapılmayacaktır. Çalışma yalnızca, tedavisi sırasında zaten rutin yapılan cerrahi yönteme hareket sensörü eklenerek yürütülecektir. Çocuğunuzun bu çalışmada kalma süresi 45 gün olarak düşünülmüştür.

Çalışmanın riskleri ve rahatsızlıkları nelerdir, çocuğumun görebileceği olası bir zarar durumunda ne yapılacak?

Örnek:

1. *Çalışmanın rutin cerrahi tekniğe ek bir riski bulunmamaktadır.*
2. *Araştırmadan dolayı çocuğunuzun göreceği olası bir zararda gerekli her türlü tıbbi müdahale tarafımızdan yapılacaktır; bu konudaki tüm harcamalar da tarafımızdan üstlenilecektir.*

Çocuğumun bu çalışmada yer almasının yararları nelerdir?

Bu çalışma sayesinde ameliyat süresi kısalacak ve üç düzlemli komplekx deformiteler ideale yakın şekilde düzeltilecektir.

Çocuğumun bu çalışmaya katılmasının maliyeti nedir?

Çalışmaya katılmakla parasal yük altına girmeyeceksiniz ve size de herhangi bir ödeme yapılmayacaktır.

Çocuğumun kişisel bilgileri nasıl kullanılacak?

Çalışma doktorunuz çocuğunuz ile ilgili kişisel bilgileri, araştırmayı ve istatiksel analizleri yürütmek için kullanacaktır ancak çocuğunuzun kimlik bilgileri gizli tutulacaktır. Yalnızca gereği halinde, çocuğunuz ile ilgili bilgileri etik kurullar ya da resmi makamlar inceleyebilir. Çalışmanın sonunda, sonuçlar hakkında bilgi istemeye hakkınız vardır. Çalışma sonuçları tıbbi literatürde yayınlanabilecektir ancak çocuğunuzun kimliği açıklanmayacaktır.

Daha fazla bilgi, yardım ve iletişim için kime başvurabilirim?

Çalışma ile ilgili bir sorununuz olduğunda ya da çalışma ile ilgili ek bilgiye gereksiniminiz olduğunuzda aşağıdaki kişi ile lütfen iletişime geçiniz.

ADI : Abdullah NAVRUZ
GÖREVİ : Araştırma görevlisi doktor
TELEFON :

(Katılımcı çocuğun ebeveyninin beyanı)

AUTF ortopedi ve travmatoloji Anabilim dalında, Dr. Abdullah Navruz tarafından tıbbi bir araştırma yapılacağı belirtilerek bu araştırma ile ilgili yukarıdaki bilgiler bana aktarıldı ve ilgili metni okudum.

Çocuğumun araştırmaya katılması konusunda zorlayıcı bir davranışla karşılaşmış değilim. Eğer çocuğumun çalışmaya katılmasını reddedersem, bu durumun çocuğumun tıbbi bakımına ve hekim ile olan ilişkime herhangi bir zarar getirmeyeceğini de biliyorum. Çalışmanın yürütülmesi sırasında herhangi bir neden göstermeden çocuğumu araştırmadan çekebilirim.

Araştırma için yapılacak harcamalarla ilgili herhangi bir parasal sorumluluk altına girmiyorum. Bana da bir ödeme yapılmayacaktır.

Ister doğrudan, ister dolaylı olsun araştırma uygulamasından kaynaklanan nedenlerle meydana gelebilecek herhangi bir sağlık sorununun ortaya çıkması halinde, her türlü tıbbi müdahalenin sağlanacağı konusunda gerekli güvence verildi. (Bu tıbbi müdahalelerle ilgili olarak da parasal bir yük altına girmeyeceğim).

Araştırma sırasında bir sağlık sorunu ile karşılaştığımızda; herhangi bir saatte, Dr. Abdullah NAVRUZ'u ..... numaralı telefondan arayabileceğimi ve ortopedi ve travmatoloji kliniği servisinden ulaşabileceğimi biliyorum.
Bana yapılan tüm açıklamaları ayrıntılarıyla anlamış bulunmaktayım. Bu koşullarla, çocuğumun söz konusu klinik araştırmaya katılmasını gönüllülük içerisinde kabul ediyorum.

İmzalı bu form kağıdının bir kopyası bana verilecektir.

Tarih:

Velisinin adı- soyadı:

Velisinin imzası: Tarih:

Araştırıcının adı-soyadı, ünvanı
Adres:
Tel:
İmza:

EK 4. BİLGİLENDİRİLMİŞ GÖNÜLLÜ OLUR FORMU ÇOCUK

OKUL ÇAĞINDAKİ ÇOCUK HASTALARDA YAPILACAK
"ÇOCUKLAR" IÇIN
BILGILENDIRILMIŞ GONULLU OLUR FORMU

Araştırma Projesinin Adı: **Pediatrik yaş grubu uzun kemik deformitelerinin düzeltme prosedürlerinde hareket sensörü kullanımı**
Sorumlu Araştırıcının Adı: Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Çağatay Engin
Diğer Araştırıcıların Adı: Araş. Görev. Dr. Abdullah Navruz

Sevgili,
Benim adım Dr. Abdullah NAVRUZ Senin şu andaki hastalığın olanuzun kemik deformiteleri konusunda bir araştırma yapıyoruz. Amacımız, bu hastalığın cerrahi tedavisinde yeni bir yöntem geliştirmek ve senin gibi bu hastalığa sahip olan çocukların daha az canı yanarak hastanede izlenmesini sağlamaktır.

Araştırmaya ben, Dr. Abdullah NAVRUZ ve bazı başka doktorlar katılacaklar. Eğer sen de bu araştırmaya katılmayı istersen, sana tedavin için yapılan işlemlerin dışında herhangi bir şey yapılmayacak. Sadece, tedavin sırasında zaten rutin yapılacak olan cerrahi sırasında mevcut deformitenin düzeltilmesi için hareket sensörü kullanılarak bu araştırma yürütülecektir.
Bu araştırmanın sonuçlarını başka doktorlara da söyleyeceğiz ancak senin adın ve tahlil sonuçlarını kimseye açıklamayacağız.

Bu araştırma hakkında anne ve babana bilgi vereceğiz ve senin de bu çalışmaya katılıp katılmaman için onlardan izin alacağız. Sen de bu konuyu anne ve/veya baban ile konuşabilirsin. Eğer katılmak istemezsen hiç kimse sana kızmaz veya küsmez. Doktorlar sana önceden olduğu gibi iyi davranacak, tedavini aynen sürdürecektir.

Aklına şimdi gelen veya daha sonra gelecek soruları bana sorabilirsin. Telefon numaram ve adresim aşağıda yazıyor.

Bu araştırmaya katılmayı kabul ediyorsan lütfen aşağıya adını ve soyadını yazarak imzanı at. Daha sonra bu formun bir kopyası sana ve ailene verilecektir.

Çocuğun adı- soyadı:

Çocuğun imzası: Tarih:

Velisinin adı- soyadı:

Velisinin imzası: Tarih:

Araştırıcının adı-soyadı, Unvanı
Adres:
Tel:
Imza:

EK 5. OLGU RAPOR FORMU

OLGU RAPOR FORMU

Olgu numarası:

Hasta bilgileri **Tarih:**

Adı soyadı:

Yakınlığı:

Yaş:

Boy-kilo-BMİ:

Doğum yeri:

Tel:

Deformite

Deformite düzeltmede kullanılacak yöntem: Geleneksel yöntem☐

Sensör kullanılan yöntem☐

Deformite düzlemi: Frontal plan☐

Saggital plan☐

Transvers plan☐

Yapılan radyolojik görüntülemeler: Direkt grafi ☐

Ortoröntgenogram☐

Bilgisayarlı tomografi☐

Deformite olan kemikteki CORA sayısı:

(CORA: Center of ratation of angulation- açılanmanın merkez noktası)

Ayak ilerleme açısı:

Uyluk ayak açısı:

Kalça rotasyon derecesi:

Transmalleoler aksis açısı:

Ön ayak dizilim deformitesi varlığı:

Ameliyat öncesi deformite açıları:

Ameliyat sonrası deformite açıları:

Deformite olan kemik:

Şekil üzerinde deformite, cora ve açılar:

