

Alt ve üst ekstremité kısalığı olan hastanın değerlendirilmesi

Evaluation of limb length discrepancy in the upper and lower extremities

Ali Baş

Koç Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul

Ekstremité uzunluk farkı, yalnızca kısalığın mutlak miktarıyla değil, eşlik eden açıl/rotasyonel deformiteler, mekanik eksen sapmaları ve fonksiyonel adaptasyonlarla birlikte değerlendirilmesi gereken kompleks bir durumdur. Klinik muayenede gerçek ve fonksiyonel kısalık ayrımı; blok testi, segmental antropometrik ölçümlerle postür ve yürüme analiziyle yapılmalı; pediatrik olgularda yaşa uygun normatif veriler ve büyüme potansiyeli mutlaka dikkate alınmalıdır. Radyolojik doğrulama için endikasyona göre ayakta tam uzunluk grafileri (tele-röntgenogram), *scanogram*/BT-*scanogram* ve düşük doz üç boyutlu iskelet sistemi görüntüleme (EOS) sistemleri birbiriyle tamamlayıcı biçimde kullanılabilir. Ölçümlerde kalibrasyon ve standardize pozisyonlama esastır. Tedavi basamaklandırması kısalık miktarı, yaş, aktivite ve kozmetik beklentiler temelinde planlanır: <10 mm olgular çoğunlukla izleme; 1-2 cm aralığı konservatif yaklaşımlarla (tabanlık); büyüme potansiyeli olan pediatrik olgularda uygun endikasyonda epifizyodez; eşik değerleri aşan vakalarda kısaltma ya da kontrollü uzatma prosedürleriyle yönetilir. Standartlaştırılmış bir değerlendirme ve bireyselleştirilmiş hedeflere dayalı planlama, gereksiz girişimleri azaltır; fonksiyonel sonuçları ve hasta memnuniyetini artırır.

Anahtar sözcükler: ekstremité uzunluk eşitsizliği; alt ekstremité; üst ekstremité; epifizyodez; kemik uzatma; tanısal görüntüleme

Limb length discrepancy (LLD) should be appraised beyond the absolute magnitude of shortening, with a comprehensive analysis of concomitant angular/rotational deformities, mechanical axis deviation, and functional adaptations. Clinical work-up must distinguish true from functional discrepancy using block testing, segmental anthropometric measurements, and posture/gait assessment; in children, age-appropriate normative data and remaining growth potential are essential. Radiologic confirmation relies on complementary use of standing long-leg radiographs, scanogram/CT-scanogram, and low-dose three-dimensional skeletal imaging (EOS), with strict attention to calibration and standardized positioning. Treatment is tiered by discrepancy size, age, activity, and cosmetic expectations: differences <10 mm are commonly observed; 1-2 cm are managed conservatively (shoe lift); guided growth (epiphysodesis) is considered in skeletally immature patients; larger discrepancies may require planned shortening or controlled lengthening. A standardized evaluation pathway with individualized targets reduces unnecessary interventions while improving functional outcomes and patient satisfaction.

Key words: limb length discrepancy; lower extremity; upper extremity; epiphysodesis; bone lengthening; diagnostic imaging

Ekstremité uzunluk farkı (*limb length discrepancy*, LLD), üst veya alt ekstremitéde bir tarafın diğerine göre daha kısa olmasıyla tanımlanır ve klinik yansımaları minör farklılıklardan belirgin fonksiyon kaybına kadar uzanır. Toplumda görülme sıklığı tam olarak bilinmemekle birlikte, genel popülasyonda minör uzunluk farkları çok sık olduğu; prevalansın %70-90 aralığında değiştiği ve bu farklılıkların önemli bir bölümünün 1 santimetre (cm)'nin altında kaldığını belirtilmektedir.^[1,2] Yaklaşık 600 asker üzerinde yapılmış bir çalışmada olguların %32'sinde 0,5-1,5 cm, %4'ünde ise >1,5 cm fark saptanmıştır.^[3]

Uzunluk farkının klinik yansımaları, bu farkın yalnızca mutlak büyüklüğüne değil, aynı zamanda kompensatuvar mekanizmaların etkinliğine, hastanın aktivite düzeyine ve eşlik eden deformitelere bağlıdır. Literatürde, 1 cm'nin altındaki farklılıkların genellikle asemptomatik olduğu ve kompensatuvar mekanizmalarla tolere edilebildiği, buna karşılık uzunluk farkı ≥ 1 cm olduğunda fizyolojik olarak artmış enerji tüketimiyle yürüyüş paterninde bozulma, koşu mekaniğinde değişiklikler, postüral dengesizlik, skolyozla omurga, kalça ve diz ekleminde osteoartrit gelişimi ve alt ekstremité stres kırıklarıyla ilişkili olabileceği bildirilmekle birlikte, hangi eşik kısalık

değerlerinin bu patolojileri belirginleştirdiği konusunda görüş birliği bulunmamaktadır.^[1,2,4]

Üst ekstremité uzunluk farkı, humerus veya ön kol (radius-ulna) segmentlerinin karşı tarafla kıyaslandığında daha kısa olması olarak tanımlanır. Alt ekstremité kısalıklarına kıyasla daha nadir görülür ancak fonksiyonel ve kozmetik açıdan dikkate alınmalıdır. Hafif kısalıklar çoğu zaman tolere edilebilirken belirgin farklar kavrama gücü, ince motor beceriler, el fonksiyonları ve günlük yaşam aktivitelerini olumsuz etkileyerek fonksiyonel bağımsızlık üzerinde belirgin etkiler yaratabilir. Ayrıca fonksiyonel kayıplara eşlik eden estetik kaygılar da hastaların günlük yaşamını ve psikososyal uyumunu etkileyebilir.^[5-9] Özellikle humerus için 5 cm'ye kadar olan farkların sıklıkla konservatif izlemle tolere edilebildiği, bu sınırın aşılmasıyla fonksiyonel ve kozmetik sorunların belirginleştiği bildirilmiştir.^[10,11] Ön kolda radius ve ulna arasındaki uzunluk farkında tolerans eşiği daha düşüktür; özellikle distal radioulnar eklem (DRUE) seviyesinde ulnar (radioulnar) varyansın >4 milimetre (mm) olması belirgin deformite olarak kabul edilir ve el bileği yüklenmeleri ile karpal dizilimi etkileyebilir.^[10] Ayrıca üst ekstremité uzunluk eşitsizlikleri pediatrik yaşta postüral adaptasyonlarla birlikte seyredebilir; bu nedenle yalnızca kozmetik değil, fonksiyonel bağımsızlığı da etkileyen bir durum olarak ele alınmalıdır.^[8,10,12] Dolayısıyla, her iki ekstremitéyi ilgilendiren uzunluk farklarının değerlendirilmesi hem fonksiyonel hem de estetik açıdan önem arz eder.

Kısalık miktarı, lokalizasyonu ve eşlik eden deformiteler günümüzde klinik muayene, radyolojik yöntemler ve fonksiyonel analizlerle güvenilir biçimde saptanabilmektedir. Klinik değerlendirme blok testi ve uzuv segmentlerinin ölçümüyle yapılabilmekle birlikte, ayakta tam uzunluk grafileri, bilgisayarlı tomografi (BT)-*scanogram* ve üç boyutlu iskelet sistemi görüntüleme (EOS) sistemi daha objektif ve tekrarlanabilir sonuçlar sağlamaktadır.^[2,4]

Tedavi kısalık miktarına göre basamaklandırılabilir. 10 mm altındaki farklar çoğunlukla asemptomatik olup izlemle yönetilebilir; 1-2 cm farklarda tabanlık veya breys gibi konservatif seçenekler tercih edilir.^[1,4] Pediatrik olgularda 2-5 cm aralığında büyüme potansiyeli dikkate alınarak epifizyodez uygulanabilirken erişkinlerde seçilmiş vakalarda kısaltma ya da uzatma düşünülebilir.^[7] 5 cm'nin üzerindeki farklarda genellikle uzatma gerekir.^[13]

Bu derlemede, alt ve üst ekstremitéde uzunluk eşitsizliği olan hastaların etiyolojik, klinik ve radyolojik açıdan güncel literatür ışığında değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

ETİYOLOJİ

Ekstremité uzunluk farkları veya kısalığı etiyolojik açıdan gerçek (anatomik) ve fonksiyonel (izafi, görünür) olmak üzere iki ana grupta incelenir.^[1] Etiyoloji hem alt hem de üst ekstremitéde farklılık göstermekle birlikte, bazı patolojiler her iki ekstremitéyi de etkileyebilir. Anatomik uzunluk farkı; konjenital ya da edinsel nedenli gerçek kemik uzunluk farkını ifade eder. Konjenital nedenler arasında fibular hemimeli, proksimal fokal femur yetmezliği, tibial hemimeli ve radioulnar sinostoz sayılabilir.^[14] Ayrıca iskelet displazileri sık bir alt gruptur. Akondroplazi, en sık görülen displazi olup hem alt hem de üst ekstremitelerde rizomelik tipte kısalıkla karakterizedir; spondiloeipfizyal displaziler omurga tutulumuyla birlikte ekstremité uzunluklarını ve gövde yüksekliğini etkileyebilir; multiple epifizyal displazi (MHE) ise epifizleri ve eklem kıkırdaklarını tutarak büyüme geriliği, ekstremité kısalıkları ve erken dejenerasyona eğilim yaratır.^[14-17] Edinsel nedenler arasında travma, enfeksiyon, tümör rezeksiyonları ve metabolik/nörolojik hastalıklar yer alır. Çocukluk çağında büyüme plağı yaralanmaları sık bir mekanizmadır; erişkinlerde ise yüksek enerjili travmalar sonrası gelişen segmenter kemik kaybı belirgin kısalıkla sonuçlanabilir. Enfeksiyöz (osteomyelit, septik artritis sekelleri) ve onkolojik rezeksiyonlara bağlı segmenter kayıplar da benzer biçimde kısalık ve deformiteye zemin hazırlar. Metabolik/nörolojik durumlar (örneğin raşitizm, osteogenezis imperfekta, serebral palsy) eşlik edebilen diğer nedenlerdir.^[14,18,19] Fonksiyonel uzunluk farkı ise kemik uzunlukları eşit olmasına karşın omurga, pelvis, kalça, diz, ayak bileği düzeyindeki deformite veya kontraktürler nedeniyle göreceli bir fark algısı oluşur; bu durumda yaklaşım çoğunlukla altta yatan patolojinin düzeltilmesine yöneliktir.^[1]

ALT EKSTREMİTE KLİNİK DEĞERLENDİRME

Ekstremité kısalıklarının doğru değerlendirilmesi, etiyolojiye yönelik tanısal yaklaşım ve tedavi planlamasının temelini oluşturur. Klinik değerlendirme üç ana basamakta ele alınır; anamnez, fizik muayene ve fonksiyonel analiz.

Anamnezde gebelik-doğum öyküsü, gelişim basamakları ve yürümenin başlangıcı; yakın dönemde veya çocuklukta travma, enfeksiyon ve büyüme plağı yaralanmaları; metabolik/nörolojik hastalıklar; ağrı (lokalizasyon, aktiviteyle ilişkisi), yorgunluk-erken yorulma; topallama veya ayakkabı yükselticisi kullanımı, semptomların başlangıcı-ilerleyişi; sportif/mesleki yüklenme düzeyi; aile öyküsü (iskelet displazileri, konjenital deformiteler) sorgulanmalıdır.^[14,20] Anamnezde bel ağrısı, dengesizlik ve günlük aktivitelerde fonksiyonel kısıtlılık, özellikle

belirgin ekstremiteler uzunluk farklarında sık karşılaşılan yakınmalardır.^[1,20]

Fizik muayene inspeksiyon, palpasyon, blok testi, segmental ölçümleri kapsar. Ayakta inspeksiyonda; pelvik eğim (*tilt*), omurga, pelvis, alt ekstremiteler dizilimi ve kalça, diz, ayak bileği kontraktürleriyle kompensatuvar postür değerlendirilir. Yürüyüş sırasında adım uzunluğu asimetrisi, Trendelenburg, kısa tarafta pelvisi yükselterek yürüme (*vaulting*), parmak ucuna yükselme veya karşı tarafta diz fleksiyonu gibi kompensatuvar değişiklikler not edilir.^[1,2,20] Palpasyon ve eklem hareket açıklığıyla varsa eklem kontraktürleri belirlenir. Mezura ile gerçek ve fonksiyonel kısalık ayırımı yapmak amacıyla spina iliaka anterior superior (SİAS) ile medial malleol ve umbilikus (göbek) ile medial malleol arasındaki mesafelerin her iki alt ekstremitede, supin pozisyonda doğrudan ölçümü yapılır. Segmentlerin değerlendirilmesi için SİAS-diz ortası-medial malleol üçlü ölçümü gerçekleştirilerek, kısalığa femur ve tibia segmentlerinin katkısı ayrı ayrı değerlendirilmeye çalışılır.^[14] Blok testi, kısa tarafın altına yükseklikleri bilinen blokların kademeli yerleştirilerek pelvik iliaka kanatlar eşit seviyeye gelene dek sürdürülür. Fonksiyonel bileşeni ayırt etmede pratik ve güvenilir bir tarama yöntemidir.^[20]

Fonksiyonel testlerde tek ayak duruşu, çömelme-kalkma, topuk-parmak ucunda yürüme, tek ayak sıçrama gibi testlerle dinamik denge, kas gücü ve yorgunluk paterni değerlendirilir; yürüyüşte enerji tüketimi ve patern bozukluğuna yönelik gözlemler tedavi planlamasında yol göstericidir.^[2,20] Pediyatrik olgularda hastanın yaşına uygun fonksiyonel gözlemler ve ebeveynlerin gözlemleri değerlidir.^[21]

Gerçek ve fonksiyonel uzunluk farkı klinikte ayrılmalıdır; blok testi ve eklem kontraktürlerinin dikkatli muayenesi ilk basamaktır.^[1,20] Bu ayırım netleştirilip, kontraktürler gibi yumuşak doku kaynaklı patolojiler belirlendikten sonra görüntüleme yöntemleri ve bu yöntemler üzerinden ölçüm aşamasına geçilir.^[14,20]

ALT EKSTREMİTE GÖRÜNTÜLEME VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Klinik değerlendirme sonrasında artık uzunluk farkının büyüklüğünü ve lokalizasyonunu objektif ve tekrarlanabilir biçimde doğrulamak; buna eşlik edebilecek açısallık veya rotasyonel deformiteleri ve mekanik eksen sapmalarını belirlemek için radyolojik görüntüleme yöntemleri gerçekleştirilir. Bu aşama yalnızca kısalığın ne kadar olduğu sorusunu yanıtlamakla kalmaz; dizilim, rotasyon ve eşlik eden deformitelerin nicel analiziyle endikasyonları ve tedavi (cerrahi/konservatif) planlamasını doğrudan yönlendirir.^[22,23]

Deformite analizi ve sonrasında doğru planlamanın temeli uygun radyolojik görüntülemedir. En doğru sonuca ulaşmak için, deformite ile ilgilenen merkezlerde teknisyenlerin standart pozisyonlama konusunda eğitilmiş olması ve hastanın çekim öncesi kısaca bilgilendirilmesi gerekir. Frontal düzlemde rotasyonel referans her zaman patelladır; patella başparmak-ışaret parmağı arasında palpe edilerek öne baktırılır ve böylece tibia torsiyonuna bağlı hatalar en aza indirilir.^[1,22,23] Bu kuralın istisnası patellanın sabit (fiks) subluksasyonu/çıktığıdır; bu durumda doğru rotasyon dizin fleksiyon-ekstansiyon düzlemine göre belirlenmelidir. Klinik kısalık çoğu hastada karşı kalça-diz fleksiyonu, ipsilateral ekinus, pelvik tilt ve spinal açılanmayla kompanse edildiğinden, kısa tarafta ayak altının bloklarla desteklenmesi ve her iki SİAS'ın aynı düzleme getirilmesi zorunludur.^[22] Sagittal düzlemde ekstremiteler ışın eksenine dik konumlandırılmalı, çekimler yük verdirilerek ve diz ekstansiyon pozisyonunda yapılmalıdır. Diz fleksiyon-ekstansiyon eksenine ile patellanın öne bakışına dik düzlem arasında yaklaşık 3-5° fark olabileceğinden, en uygun pozisyon femoral kondillerin üst üste gelmediği patella-önde ortogonal düzlemdir.^[22,24] Karşı taraf kalçanın çekim sırasında görüntü alanına girmemesi için pelvis 30-45° dış rotasyona getirilmelidir.^[22] Son olarak, ideal görüntüleme yöntemi düşük maliyet ve düşük radyasyon dozuyla birlikte yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlamalıdır.^[22,25,26] Bu bölümde ekstremiteler eşitsizliğinde kullanılabilen görüntüleme yöntemleri güncel bakış açısıyla değerlendirilip, güçlü ve sınırlayıcı yönleri ele alınacaktır.

Direkt Radyografiler

Direkt grafiler, en temel görüntüleme yöntemidir. Kapsamlı bir analiz için hiçbir zaman tek başına yeterli değildir ancak belirli bir kemik segmentinde veya eklemdeki deformiteyi doğru ve tekrarlanabilir biçimde ortaya koyabilir. Standart değerlendirmede iki ortogonal ve yük taşıyan grafi alınmalı, ölçümler karşı tarafın değerleri ya da literatürde bildirilen standartlarla karşılaştırılmalıdır.^[22,27] Direkt radyografiler, yalnızca deformitenin tek bir segmentte sınırlı olduğu ve diğer anatomik bölgelerin önceden değerlendirildiği durumlarda analiz aracı olarak kullanılmalıdır; aksi hâlde kompensatuvar ikincil deformiteler veya eşlik eden patolojiler gözden kaçabilir.^[14,22]

Teleröntgenografi

Ayakta uzunluk grafisi (*standing alignment film, long leg standing radiograph*), alt ekstremitenin kalça-diz-ayak bileğini tam yük verme sırasında tek filmde gösteren genel bir tanımdır; bu görüntülemenin en sık

kullanılan konvansiyonel tekniği teleröntgenografidir. Teleröntgenografi, diz eklemine merkezlenerek 2-3 metre mesafeden tek ekspozisyonla çekilen 35 × 90 cm'lik ayakta uzun kaset grafisidir; kalibrasyon (ölçek işaretleyicisi, metal cetvel veya dijital ölçekleme) ile uzunluk farkı ölçülebilir ve aynı çekimde ekstremitte dizilimi değerlendirilir.^[7] Ancak, ışın diverjansına bağlı büyütme ve merkezleme açısına bağlı paralaks (*parallax*) etkisi nedeniyle ölçüm hataları (~%4-5) olabilir; bu nedenle kalibrasyon önerilir.^[7,22,23]

Her iki alt ekstremitte, toplam uzunluk farkı, mekanik eksen, eklem merkezleri ve dizilim aynı film üzerinde değerlendirilebilir.^[7,22,28] Klinik akışta hızlıdır ve özellikle uzun süre hareketsiz duramayan çocuk hastada ilk basamak görüntüleme olarak ve düşük maliyet-düşük radyasyon dozu profili ile pratik bir yöntemdir.^[7]

Günümüzde dijital radyografi ile büyük filmlerin saklanması sorun olmaktan çıkmıştır. Bazı yazılımlar radyografik cetvel olmadan da ölçüm yapabilir.^[7] Bununla birlikte, büyütme (*magnification*) ve paralaks etkileri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Kalibrasyon kullanılmadığında ölçüm hatası anlamlı olabilir.^[23] Femur ve tibianın uzunluk farkına segmental katkısının ayrımı sınırlı yapılabilmektedir. Eşik değerlere yakın uzunluk farklarında (1-2 cm) ikinci bir yöntemle (*scanogram*, *BT-scanogram*, ortoröntgenogram) doğrulama yapılması uygundur.^[22,23] Ayakta duramayan olgularda supin çekimle uzunluk ölçümlerinin anlamlı fark göstermediği bildirilmiştir.^[7]

Dijital teleröntgenogram ile *scanogram* karşılaştırmalarında, %5 büyütme düzeltmesiyle yöntemler arasında yüksek korelasyon ($r=0,96$) ve ortalama 0,5 cm fark saptanmış; tek çekimin mekanik eksen bilgisini sağlaması ve radyasyon dozunu tek ekspozisyonla sınırlaması nedeniyle tercih edilebileceği vurgulanmıştır.^[7,23] Çok merkezli uygulamada tekrarlanabilirliği yüksek olup tedavi öncesi ve sonrası karşılaştırmalar için pratiktir.^[25] Rotasyon ve kontraktür varlığında pozisyonlama hataları artabileceği için patellanın öne baktırılması, kısa tarafın bloklarla desteklenerek pelvis eğiminin düzeltilmesi ve tam yük verdirilerek çekim yapılması gibi standartlar titizlikle uygulanmalıdır.^[22,23]

Ortoröntgenografi

Ortoröntgenografi tekniği ilk kez Green ve ark. tarafından tanımlanmış, daha sonra Saleh ve Milne tarafından ayakta çekim yöntemi şeklinde modifiye edilmiştir. Ayakta duran hastanın arkasına 105 cm yüksekliğinde, 35 cm genişliğinde ve 5 cm aralıklı grid bulunan kaset yerleştirilir. Kalça, diz ve ayak bileği eklem merkezlerine odaklanan üç ayrı ekspozisyon alınır ve aralarında boşluk

kalmayacak şekilde birleştirilerek tek uzun film elde edilir. Bu yöntem, paralaks ve büyütme hatasını en aza indiren konvansiyonel teknik olarak kabul edilmektedir.^[29] Paralaks hatasını azaltmak için üç eklem ayrı ayrı merkezleme, grid kaset kullanımı ve aynı düzlemde kalibrasyon için yerleştirilen ölçek işaretleyicileri önemlidir.^[23,30] Ayrıca ölçümlerin doğruluğu için patellaların öne baktığı, dizin tam ekstansiyonda ve ayakların nötral pozisyonunda olduğu standart pozisyonlama şarttır. Rotasyon veya kontraktür varlığında hata oranı artabileceğinden gerekirse kesitsel yöntemlerle doğrulama yapılmalıdır.^[23,30] Yöntem sırasında hasta tüm ekspozisyon boyunca hareketsiz kalmalıdır. Bu durum özellikle pediatrik olgularda zorluk yaratabilir.^[7] Ortoröntgenografi, konvansiyonel yöntemler arasında en doğru sonuçları vermesi nedeniyle uzun kemiklerin deformite analizinde yaygın şekilde kullanılmaktadır.^[23,30]

Scanogram

Scanogram, kalça, diz ve ayak bileği eklem merkezlerine odaklanan üç ardışık ekspozisyonla elde edilir; görüntüler birleştirilmez ve her ekspozisyon ilgili eklem merkezlendiği için ışın diverjansına bağlı büyütme ve merkezleme açısına bağlı paralaks hatası minimaldir. Bu sayede femur ve tibia segmentlerinin ayrı ayrı ölçümünde güvenilirlik yüksektir.^[23,30] Çekim genellikle supin pozisyonunda, dizler ekstansiyonda, ayaklar nötral ve patellalar öne bakacak şekilde yapılır; kalibrasyon için radyopak cetvel veya dijital ölçekleme tercih edilebilir.^[23] Düşük doz, yüksek tekrarlanabilirlik ve segmental uzunluk ölçümlerinde doğruluk sağlaması temel üstünlükleridir; ayakta duramayan veya kooperasyonu sınırlı pediatrik olgularda uygulanabilirliği yüksektir.^[7] Epifizyodez zamanlaması ve planlamasında femur-tibia katkısının netleştirilmesi için pratik bir yöntemdir.^[22,23] Bununla birlikte supin pozisyonunda yapıldığı için yük taşıma ilişkisini göstermediği için deformite analizi ve mekanik aks değerlendirmesine olanak vermez.^[7,20]

Bilgisayarlı Tomografi-Scanogram

Bilgisayarlı tomografi (BT)-*scanogram*, BT'nin *scout*/topogram projeksiyonlarını kullanarak kalibre edilebilir referans kullanarak femur ve tibia uzunluğunu milimetrik doğrulukla ölçmeye olanak verir. Kesitsel geometriye dayandığı için büyütme hatası öngörülebilir ve sabittir; rotasyonel deformiteler ve fleksiyon kontraktürü ölçüm doğruluğunu asgari düzeyde etkiler.^[20,23] Metalik implantı bulunan, kompleks deformitesi olan ya da geçirilmiş cerrahi bulunan olgularda kemik segmentlerinin uzunluk tayini güvenilir şekilde gerçekleştirilebilir ve aynı zamanda gerektiğinde aksiyel kesitlerle rotasyonel profil de

değerlendirilebilir.^[23] Temel dezavantajı, supin pozisyon-da yapılması nedeniyle yük taşıma etkisini yansıtamamasıdır.^[7,25] Bu nedenle mekanik aks ve yük taşıma ilişkisi için ayakta çekilebilen yöntemlerle (teleröntgenografi, ortoröntgenografi ya da EOS gibi) tamamlanması uygundur.^[7] Radyasyon dozu, konvansiyonel radyografilere göre daha yüksek olmakla birlikte pediatrik protokoller ve düşük-doz ayarlarıyla azaltılabilir. Aynı zamanda ölçüm tekrarlanabilirliği yüksek bir yöntemdir.^[23,30]

Üç Boyutlu İskelet Sistemi Görüntüleme

Üç boyutlu iskelet sistemi görüntüleme (EOS Imaging, Paris, Fransa), düşük doz biplanar görüntüleme sistemi olarak bilinen, ticari bir görüntüleme platformudur. Bu sistem, Nobel Fizik Ödülü sahibi Georges Charpak'ın geliştirdiği dedektör (gaz mikrostrip dedektör) teknolojisine dayalı olup, ilk kez Dubousset ve ark. tarafından 2007'de ortopedi literatürüne tanıtılmıştır.^[31] Bu yöntem, hasta ayakta ve yük taşıma altında aynı anda iki düzlemde (anteroposterior ve lateral) tüm iskeleti görüntüleyerek uzunluk ve aks değerlendirmesine olanak tanır. Elde edilen iki boyut projeksiyonlardan yazılım tabanlı algoritmalarla üç boyut (3B) rekonstrüksiyon yapılabilir; böylece hem lineer ölçümler hem de deformitenin koronal, sagittal ve rotasyonel bileşenleri aynı seansta incelenebilir.^[31,32] Üç boyutlu iskelet sistemi görüntüleme sisteminde kullanılan ortogonal (90°), biplanar, kalibre edilmiş geometri ve X-ray kaynak-dedektör düzeni sayesinde, klasik uzun kaset grafilerde görülen geometrik bozulmalar (distorsiyon) ve büyütme hataları azalmıştır; ayrıca ölçüm doğruluğunun, karşılaştırmalı kadavra ve klinik çalışmalarda milimetrik düzeyde olduğu gösterilmiştir.^[32] Radyasyon dozu, ayakta uzunluk grafilerine kıyasla anlamlı derecede düşük, BT'ye kıyasla ise çok daha düşüktür. Bu nedenle özellikle pediatrik hastalarda belirgin avantaj sağlar.^[25,31]

Üç boyutlu iskelet sistemi görüntüleme ile aynı seansta tüm ekstremitenin uzunluğu, segment uzunlukları, mekanik aks, pelvis eğimi ve sagittal profil değerlendirilebilir ve bu özellik, planlama sürecini kolaylaştırır.^[1,26] En önemli dezavantajları; çekim sırasında hareket artefaktı oluşabilmesi, patella ve pelvis pozisyonlamasındaki hatalar, 3B rekonstrüksiyonlarda segmentasyonun kullanıcı veya yazılım deneyimine bağlı değişkenliği ve metalik implantlarda artefakt etkisidir.^[25,26] Buna rağmen, ekstremité uzunluk farkı, deformite ve aks analizini tek protokolde birleştirebilmesi sayesinde EOS, klinik uygulamada güçlü bir alternatif görüntüleme yöntemidir.

Manyetik Rezonans Görüntüleme

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG), ekstremité uzunluk farkının doğrudan ölçümünde birincil yöntem değildir; esas kullanım alanı, uzunluk farkına eşlik eden patolojilerin ayrıntılı olarak gösterilmesidir. Özellikle büyüme plağı (fizis) hasarı ve fizis köprüsünün (*physeal bar*) saptanması, kıkırdak, menisküs ve ligament lezyonları, osteonekroz/kemik iliği ödemi ve displazilerin ortaya konmasında üstündür. Bu bilgiler, epifizyodez zamanlaması, fizis köprüsü rezeksiyonunun planlanması ya da uzatma cerrahisi öncesinde risk değerlendirmesine doğrudan katkıda bulunur.^[7,14,23]

Klinik pratikte MRG, segmental uzunluk farkını doğrudan sayısal olarak belirlemekten çok, etiyoloji ve eşlik eden yumuşak doku/kıkırdak patolojilerini ortaya koyarak radyografik ölçümleri tamamlayıcı rol üstlenir. Çocuk hastada henüz ossifiye olmamış yapılar ve kıkırdak modeller MRG ile net seçilir; fizis köprüsünün konum ve uzanımının 3B rekonstrüksiyonla gösterilmesi cerrahi planlamaya katkı sağlar. Ayrıca kalça, diz, ayak bileği eklem içi patolojileri, stres reaksiyonları ve enfeksiyon sekelleri gibi ekstremité uzunluk eşitsizliğine eşlik edebilen durumların ayırıcı tanısında değerlidir. Metalik implant bulunan olgularda metal artefakt azaltma sekansları (MARS/SEMAC) görüntü kalitesini artırabilir.^[14,25]

Manyetik rezonans görüntülemenin başlıca dezavantajları; çekim süresi, maliyet ve küçük yaşlarda sedasyon gereksinimidir; ayrıca supin pozisyonda yapıldığından yük taşıma altındaki mekanik aks ve dizilim değerlendirilemez. Bu nedenle uzunluk farkının nicel ölçümü ve aks analizi için ayakta çekilebilen yöntemler (teleröntgenogram, ortoröntgenogram, EOS) tercih edilmeli; MRG ise yukarıda belirtilen patolojilerden şüphelenildiğinde bu yöntemlerin tamamlayıcısı olarak kullanılmalıdır.^[1,7,23]

Ultrasonografi

Ultrasonografi (USG), iyonizan radyasyon içermemesi, yatak başında uygulanabilmesi ve özellikle yenidoğan-erken infantil dönemde kooperasyon gerektirmeden yapılabilmesi nedeniyle avantajlıdır.^[7,14] Ancak kortikal kemik sınırlarının sınırlı görünürlüğü ve operatör bağımlılığı, uzunluk ölçümünde birincil yöntem olarak kullanımını kısıtlar; bu nedenle klinik ölçümler ve/veya radyografik yöntemlerle korelasyon gerektirir.^[25,30]

Klinik pratikte USG daha çok eşlik eden yumuşak doku ve eklem çevresi patolojilerinin dinamik değerlendirilmesinde, infantil dönemde ossifiye olmamış yapılar ve fizis çevresindeki kıkırdak komponentlerin incelenmesinde yararlıdır.^[1,14] Sonuç olarak, ekstremité eşitsizliğinin nicel ölçümünü tek başına karşılamaktan çok, radyasyonun

azaltılması ve ek patolojilerin gösterilmesinde tamamlayıcı bir yöntemdir.

ÜST EKSTREMİTE KLİNİK DEĞERLENDİRME

Anamnezde konjenital nedenler (longitudinal radial/ulnar defisit, iskelet displazileri, MHE vb.) ile edinsel etiolojiler (travma sonrası fizis hasarı/segmenter kemik kaybı, enfeksiyon, malign ve benign tümör/tümör-benzeri lezyon rezeksiyonu) net biçimde ayrılmalıdır.^[8,9,33] Yaş, kalan büyüme potansiyeli ve olası büyüme atağı dönemi, semptomların başlama zamanı, baskın el, fonksiyonel kısıtlılık (günlük yaşam, okul/iş), kozmetik beklentiler ve önceki girişimler (immobilizasyon, osteotomi/uzatma, epifizyodez, implantlar, fizik tedavi) ayrıntılı biçimde sorgulanır.^[8,10]

Üst ekstremité uzunluk farklarının değerlendirilmesinde ilk basamak inspeksiyon ve palpasyonla başlar; karşı ekstremité ile eş zamanlı karşılaştırma zorunludur.^[10] İnspeksiyonda omuz kuşağı simetrisi, skapulotorasik kompensasyon, kol-ön kol çevresi ölçüm farklılıkları, dirsek fleksiyon kontraktürü, el bileği deviasyonu ve el duruşu sistematik olarak değerlendirilir; ekstremité çevre/uzunluk farklarında karşı taraf ekstremité güvenilir referans kabul edilir.^[10,12] Humerus kısalıklarında, omuz abduksiyonunu ve/veya fleksiyonunu telafi etmek için skapulotorasik hareket artışı gözlenebilir; bu durum başlangıçta fonksiyon kaybını maskeleyebilse de uzun vadede yorgunluk ve postür alometri ile ilişkili olabilir.^[8,10]

Fonksiyonel değerlendirmede omuz aktif-pasif eklem hareket açıklığı, dirsek fleksiyon ve ekstansiyonu, ön kol pronasyon-supinasyon aralığı ve DRUE stabilitesi karşı tarafla eşzamanlı ve standart pozisyonda sistematik olarak ölçülür; kavrama gücü ve ince motor beceriler günlük yaşama etkisiyle birlikte not edilir.^[8,10] Güncel derlemelerde üst ekstremitéde kısalmanın kas fonksiyonu üzerine etkileri (örneğin distal humerus kısalması sonrası triseps kuvvetinde model-temelli %11-63 düşüş) ve ön kol uzunluk farkı ile pronasyon-supinasyon kaybını vurgulanmaktadır.^[6] Hafif humerus kısalıkları sıklıkla tolere edilebilirken, ön kol düzeyindeki uzunluk uyumsuzlukları (örneğin distal radyoulnar seviyede *ulna-plus* ya da *ulna-minus*) el bileği biyomekaniğini bozarak el bileği deviasyonu, karpal dizilimin bozulması ve pronasyon-supinasyon kısıtlılığı ile seyredebilir. Bu nedenle sadece toplam ön kol kısalığı değil, radius-ulna relatif uzunluk farkı da mutlaka değerlendirilmeli ve kaydedilmelidir.^[9,10]

Özellikle posttravmatik ya da fizis hasarlı olgularda uzunluk farkına eşlik edebilen nörovasküler bulgular, duyu ve motor muayeneyi kapsayan periferik sinir muayenesi ve cilt skarları, kas kontraktürleri gibi yumuşak

doku sorunları muayenede sistematik biçimde belgelenmelidir.^[8,10] Bu eşlik eden durumlar kısalığın klinik etkisini artırabilir ve sonraki aşamada yapılacak tedavi planlamasını etkileyebilir.^[8,9]

Blok testi, alt ekstremitéde yük taşıma sırasında kısalık derecesini objektif olarak belirlemede sık kullanılan bir yöntemdir; ancak üst ekstremité için sınırlı bir uygulama alanına sahiptir. Üst ekstremité fonksiyonları, kavrama gücü, dirsek ve omuz hareket açıklığı ile daha doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle blok testi, üst ekstremité uzunluk farklarının ölçümünde güvenilir bir parametreye sunmaz; daha çok alt ekstremité değerlendirmesine özgüdür.^[23,25] Üst ekstremité için blok testine karşılık gelen, valide edilmiş bir uygulama tanımlanmamıştır. Klinik değerlendirme daha çok doğrudan humerus/ön kol uzunluğu ve kol/ön kol çevresi gibi antropometrik ölçümler ile ekleme spesifik muayene ve ölçümler (omuz, dirsek ve el bileği eklem hareket açıklığı, DRUE stabilitesi, radioulnar varyans) üzerinden yürütülür.^[10,12] Üst ekstremitéde uzunluk farkının klinik olarak belirlenmesinde doğrudan mezura ölçümleri ve fonksiyonel gözlemler temel önemdedir.^[8,10,12]

Gerçek ve fonksiyonel kısalık, üst ekstremité uzunluk farklarının değerlendirilmesinde temel ayrımdır. Gerçek kısalık, humerus veya ön kol kemiklerinin yapısal olarak kısa olmasından kaynaklanır ve doğrudan kemik referans noktaları arasındaki mesafe ölçümleriyle belirlenir. Fonksiyonel kısalık ise skapulotorasik kompensasyon, dirsek fleksiyonu veya postür adaptasyonlar nedeniyle gözlenen farktır; gerçek kısalık olmaksızın da uzunluk eşitsizliği izlenimi yaratabilir.^[7,9] Bu nedenle klinik ölçümlerde hem fonksiyonel hem de segmental değerlendirme yapılması önemlidir. Üst ekstremitenin klinik ölçümünde, normatif verilerle uyumlu ve pratik mezura ölçümleri tercih edilir. Kol uzunluğu tayini için akromion ucundan dirsek fleksiyon çizgisine, ön kol uzunluğu için ise dirsek fleksiyon çizgisinden el bilek fleksiyon çizgisine ölçülür.^[12] Toplam üst ekstremité uzunluğu erişkin antropometri çalışmalarında dirsek tam ekstansiyon, ön kol supinasyon ve parmaklar abduksiyon pozisyonundayken akromionla üçüncü parmak ucu arasındaki mesafe olarak tanımlanmıştır; pediatrik değerlendirmede ise segmental ölçümler (kol/ön kol) tercih edilmelidir.^[12,34] Klinikte alternatif segment ölçümleri de kullanılabilir. Radius uzunluğu için radius başı ile radial stiloid, ulna uzunluğu için olekranon ile ulnar stiloid arasındaki mesafe mezura ile ölçülebilir.^[35] Kullanılan yöntemin, karşılaştırılacak normatif veriyle aynı olması zorunludur; örneğin akromion-olekranon ile akromion-dirsek çizgisi arası mesafeler eş değer değildir.^[12] Ölçümler karşı tarafla aynı seansta ve standart pozisyonda (örneğin omuz adduksiyonda dirsek yaklaşık 90° fleksiyonda) yapılma-

lıdır. Klinik ölçümler tarama, tanı ve izlem için uygundur ancak kritik kararlar öncesi klinik muayene radyolojik yöntemlerle doğrulanmalıdır.^[10,35]

Çocuklarda yapılan ölçümler mutlaka yaşa uygun normatif verilerle karşılaştırılmalıdır. Yaşa uygun referans tablolarına bakılarak çocuğun kol ve ön kol uzunluğu/çevresi karşılaştırılır; beklenen (referans) ile ölçülen arasındaki fark net olarak belirlenip kayda alınır.^[12] Klinik değerlendirmede kalan büyüme potansiyeli, pubertal büyümenin en hızlı olduğu dönem (*peak height velocity*, PHV) bulguları ve iskelet maturitesi (kemik yaşı) kayda geçirilir. Puberte döneminde dirsek grafilerine dayalı Sauvegrain kemik yaşı, çocuğun PHV'ye yaklaşımını gösterir.^[9,10] Poliklinikte ön değerlendirme amacıyla, Paley'in çarpan (*multiplier*) yaklaşımıyla gelecekte olası uzunluk farkı öngörülüp not edilebilir. Ancak tedavi kararı ayrı bir aşamada, klinik, radyolojik bulgular ve büyüme zamanlaması birlikte değerlendirilerek verilir.^[10]

ÜST EKSTREMİTE RADYOLOJİK DEĞERLENDİRME

Üst ekstremitte uzunluk farklarının radyolojik değerlendirilmesi, segmental ölçümleri doğru ve tekrarlanabilir biçimde ortaya koymayı amaçlar. Alt ekstremitedeki gibi yük taşıma ilişkisi burada kritik değildir ancak eklem oryantasyonu, rotasyonel bileşenler ve fonksiyonel yansımalar ön plandadır. Bu nedenle radyolojik incelemeler, klinik muayene bulgularını doğrulayan ve cerrahi planlamaya yön veren tamamlayıcı araçlardır.^[7]

Direkt Grafiler

Direkt grafiler, üst ekstremitte uzunluk değerlendirmesinde birincil ve en sık kullanılan yöntemdir. Çekimler nötral rotasyonda, her iki tarafta aynı teknik ve mümkünse aynı seansta yapılmalı böylece karşı tarafta doğrudan kıyas ve tekrarlanabilir ölçüm sağlanmalıdır.^[10,22] Humerus değerlendirmesinde omuz ve dirsek eklem merkezlerini içerecek şekilde standart ön-arka (AP) ve lateral grafiler tercih edilir; kalibrasyon kullanımı büyütme hatasını kontrol ederek uzunluk ve açısal dizilim ölçümlerini güvenilir kılar. Rotasyon kuşkusu varsa direkt grafiler sınırlı kalabilir; rotasyonun kantitatif analizi için ileri kesitsel yöntemler gerekebilir.^[7] Ön kolun (radius-ulna) değerlendirilmesi sırasında çekilen ve dirsek ile el bileği eklemlerini kapsayan AP ve lateral grafiler, radius-ulna relatif uzunluğunu, distal radioulnar eklem (DRUE) ilişkisini ve varsa açısal deformiteleri ortaya koyar.^[9] Ulnar varyans ve el bileğine özgü ölçüler yaşa uygun yöntemlerle raporlanmalıdır.^[9,10] Üst ekstremitde teleröntgenografi rutin radyolojik incelemeler arasında yer almaz; çoğu olguda segment odaklı çekimler daha doğru ve pratik bilgi sağlar.^[7]

Ortoröntgenografi ve Scanogram

Bu yöntemler, alt ekstremitde olduğu gibi büyütme ve paralaks hatalarını azaltmak için geliştirilmiştir. Üst ekstremitde özellikle radius-ulna relatif uzunluğunun net ayrıştırılması gereken olgularda tercih edilebilir ve segmental doğruluk sağlar. Üst ekstremitde ayakta çekim şart değildir; önemli olan çekimlerin nötral rotasyonda ve aynı teknikle yapılmasıdır.^[7,22]

Bilgisayarlı Tomografi ve BT-Scanogram

Bilgisayarlı tomografi-scanogram, segment uzunluğun milimetrik tayini için geliştirilmiş düşük doz bir BT tekniğidir. Büyütme ya da paralaks hatası yoktur, çekim hızlıdır. Fleksiyon kontraktürü, kompleks deformiteler ve kemikte implant bulunan olgularda güvenle uygulanabilir.^[7] Kesitsel BT ise humerus torsiyonu, ön kol malrotasyonu gibi rotasyonel deformitelerin kantitatif analizi ve ameliyat planlaması gerektiğinde en doğru yöntemdir ancak iyonizan radyasyon ve maliyet göz önünde bulundurularak endikasyona göre tercih edilmelidir.^[22]

Manyetik Rezonans Görüntüleme

Manyetik rezonans görüntülemenin temel katkısı uzunluk ölçümü değil, eşlik eden patolojilerin gösterilmesidir; fizis köprüleri (bar), kıkırdak ve bağ yapıları, ligament yaralanmaları, osteonekroz ve displaziler MRG ile ayrıntılı değerlendirilebilir.^[9,10] Özellikle pediatrik olgularda epifizyodez ya da hemiepifizyodez planı, bar rezeksiyonu ya da uzatma cerrahisi öncesinde risk ve kapsam analizi için değerlidir; uzunluk tayininde ise birincil yöntem değildir.^[7]

Ultrasonografi

Ultrasonografi, özellikle infantil dönemde ossifiye olmamış yapıların ve fizis çevresinin değerlendirilmesinde yararlıdır; iyonizan radyasyon içermez ve yatak başında uygulanabilir.^[9,10] Bununla birlikte kemik korteks ultrason dalgalarını yansıttığı için kortikal sınırlar net izlenemez ve ölçümlerin operatör bağımlılığı yüksektir. Bu nedenle üst ekstremitte uzunluk farklarının tayininde birincil yöntem değildir, daha çok tamamlayıcı rol üstlenir.^[10,36]

Üst ekstremitte uzunluk farklarının radyolojik değerlendirmesinde izlenmesi önerilen basamaklı yaklaşım, başlangıçta kalibre edilmiş direkt grafilerinin kullanılmasıdır. Bu yöntem hem segment uzunluklarının hem de eklemlerin güvenilir biçimde değerlendirilmesine olanak tanır. Ölçüm şüphesi varlığında veya daha hassas ölçüm doğruluğu istendiğinde *scanogram* ya da *BT-scanogram* yöntemleri tercih edilebilir; özellikle rotasyonel bileşen-

lerin objektif analizinde bu yöntemler üstünlük sağlar. Eşlik eden yumuşak doku patolojilerinin veya özellikle pediatrik olgularda epifiz ve fizis yapılarının incelenmesi gerektiğinde ise MRG ya da USG tamamlayıcı görüntüleme seçenekleri olarak kullanılmaktadır.

SONUÇ

Ekstremité uzunluk farkının değerlendirilmesi, yalnızca kısıklık miktarının tayiniyle sınırlı olmayıp eşlik eden açısall/rotasyonel deformitelerin, mekanik eksen sapmalarının ve fonksiyonel etkilerin bütüncül analizini gerektirir. Klinik muayenede gerçek ve fonksiyonel kısıklık ayırımının yapılması ve özellikle pediatrik yaş grubunda standartlaştırılmış antropometrik ölçümlerle bulguların doğrulanması esastır. Ayakta tam uzunluk grafileri, *scanogram*/BT-*scanogram* ve EOS gibi yöntemler, endikasyona göre birbirini tamamlayacak şekilde kullanılmalıdır. Doğru tedavi planlaması; doğru görüntüleme, dizilim analizi ve bireyselleştirilmiş hedeflerle mümkündür. Standartlaştırılmış bir değerlendirme zinciri, gereksiz girişimleri azaltırken fonksiyonel sonuçları ve hasta memnuniyetini artırır.

KAYNAKLAR

- Applebaum A, Nessim A, Cho W. Overview and spinal implications of leg length discrepancy: Narrative review. *Clin Orthop Surg* 2021;13(2):127-34. [Crossref](#)
- Gurney B. Leg length discrepancy. *Gait Posture* 2002;15(2):195-206. [Crossref](#)
- Nichols LRB. Has the threshold for epiphysiodesis versus lengthening changed in the era of magnetically controlled nails? *J Pediatr Orthop* 2021;41(Suppl 1):S24-S32. [Crossref](#)
- Queirós AFC. Leg length discrepancy: A brief review. *PQDT-Global* 2018.
- Eklblom AG, Dahlin LB, Rosberg HE, Wiig M, Werner M, Arner M. Hand function in children with radial longitudinal deficiency. *BMC Musculoskelet Disord* 2013;14:116. [Crossref](#)
- Sun Z, Liu G, Kanakaris NK, Li T, Wu X, Giannoudis PV. Acute shortening of upper extremity in orthopaedic patients: A scoping review. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2025;51(1):225. [Crossref](#)
- Halanski MA, Noonan KJ. Limb-length discrepancy. In: Weinstein SL, Flynn JM, editors. *Lovell and Winter's Pediatric Orthopaedics*. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2014. p. 1341-88.
- Bae DS, Waters PM. The upper limb. In: Weinstein SL, Flynn JM, editors. *Lovell and Winter's Pediatric Orthopaedics*. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2014. p. 895982.
- Shapiro F. Epiphyseal growth plate fracture-separations. In: *Pediatric orthopedic deformities*. Volume 1: Pathobiology and treatment of dysplasias, physeal fractures, length discrepancies, and epiphyseal and joint disorders. Cham: Springer International Publishing; 2016. p. 505-612. [Crossref](#)
- Siemensma MF, van Bergen CJA, van Es EM, Colaris JW, Eygendaal D. Indications and timing of guided growth techniques for pediatric upper extremity deformities: A literature review. *Children (Basel)* 2023;10(2):195. [Crossref](#)
- Origo C, Lazzotti C. Current trends on limb length discrepancy treatment: Results of a survey among 11 dedicated Italian centres. *Musculoskelet Surg* 2023;107(2):165-70. [Crossref](#)
- Edmond T, Laps A, Case AL, O'Hara N, Abzug JM. Normal ranges of upper extremity length, circumference, and rate of growth in the pediatric population. *Hand (N Y)* 2020;15(5):713-21. [Crossref](#)
- Vogt B, Gosheger G, Wirth T, Horn J, Rödl R. Leg length discrepancy- treatment indications and strategies. *Dtsch Arztebl Int* 2020;117(24):405-11. [Crossref](#)
- Shapiro F. Lower extremity length discrepancies. In: Shapiro F, editor. *Pediatric orthopedic deformities*. Volume 1: Pathobiology and treatment of dysplasias, physeal fractures, length discrepancies, and epiphyseal and joint disorders. Cham: Springer International Publishing; 2016. p. 613-772. [Crossref](#)
- Krakow D, Rimoin DL. The skeletal dysplasias. *Genet Med* 2010;12(6):327-41. [Crossref](#)
- Anthony S, Munk R, Skakun W, Masini M. Multiple epiphyseal dysplasia. *J Am Acad Orthop Surg* 2015;23(3):164-72. [Crossref](#)
- Pauli RM. Achondroplasia: A comprehensive clinical review. *Orphanet J Rare Dis* 2019;14(1):1. [Crossref](#)
- Gopal S, Majumder S, Batchelor AG, Knight SL, De Boer P, Smith RM. Fix and flap: the radical orthopaedic and plastic treatment of severe open fractures of the tibia. *J Bone Joint Surg Br* 2000;82(7):959-66. [Crossref](#)
- Keating JF, Simpson AH, Robinson CM. The management of fractures with bone loss. *J Bone Joint Surg Br* 2005;87(2):142-50. [Crossref](#)
- Gugenheim JJ. Clinical evaluation including imaging. In: Sabharwal S, editor. *Pediatric lower limb deformities: Principles and techniques of management*. Cham: Springer International Publishing; 2016. p. 15-36. [Crossref](#)
- Wynes J, Schupp A. Assessment of pediatric limb length inequality. *Clin Podiatr Med Surg* 2022;39(1):113-27. [Crossref](#)
- Paley D. Principles of deformity correction. Berlin: Springer Science & Business Media; 2002. [Crossref](#)
- Sabharwal S, Kumar A. Methods for assessing leg length discrepancy. *Clin Orthop Relat Res* 2008;466(12):2910-22. [Crossref](#)
- Hollister AM, Jatana S, Singh AK, Sullivan WW, Lupichuk AG. The axes of rotation of the knee. *Clin Orthop Relat Res* 1993;(290):259-68. [Crossref](#)
- Alfuth M, Fichter P, Knicker A. Leg length discrepancy: A systematic review on the validity and reliability of clinical assessments and imaging diagnostics used in clinical practice. *PLoS One* 2021;16(12):e0261457. [Crossref](#)
- Cho BW, Lee TH, Kim S, Choi CH, Jung M, Lee KY, et al. Evaluation of the reliability of lower extremity alignment measurements using EOS imaging system while standing in an even weight-bearing posture. *Sci Rep* 2021;11(1):22039. [Crossref](#)

27. Cooke TDV, Siu D, Fisher B. The use of standardized radiographs to identify the deformities associated with osteoarthritis. In: Noble J, Galasko CSB, editors. Recent developments in orthopaedic surgery. Manchester: Manchester University Press; 1987.
28. Sabharwal S, Rozbruch SR. What's new in limb lengthening and deformity correction. J Bone Joint Surg Am 2011;93(24):2323-32. [Crossref](#)
29. Saleh M, Milne A. Weight-bearing parallel-beam scanography for the measurement of leg length and joint alignment. J Bone Joint Surg Br 1994;76(1):156-7. [Crossref](#)
30. Escott BG, Ravi B, Weathermon AC, Acharya J, Gordon CL, Babyn PS, et al. EOS low-dose radiography: A reliable and accurate upright assessment of lower-limb lengths. J Bone Joint Surg Am 2013;95(23):e1831-7. [Crossref](#)
31. Dubousset J, Charpak G, Skalli W, Kalifa G, Lazennec JY. EOS stereo-radiography system: Whole-body simultaneous anteroposterior and lateral radiographs with very low radiation dose. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 2007;93(6 Suppl):141-3. [Crossref](#)
32. Melhem E, Assi A, El Rachkidi R, Ghanem I. EOS(®) biplanar X-ray imaging: concept, developments, benefits, and limitations. J Child Orthop 2016;10(1):1-14. [Crossref](#)
33. Reif TJ, Geffner A, Hoellwarth JS, Fragomen AT, Rozbruch SR. Precice Stryde® magnetic internal lengthening nail does not impair bone healing despite radiographic and clinical symptoms. Strategies Trauma Limb Reconstr 2023;18(2):94-9. [Crossref](#)
34. Uzun O, Yeginoglu G, Ertemoğlu Öksüz C, Kalkışım ŞN, Zihni NB. Estimation of stature from upper extremity anthropometric measurements. JCDR 2019;13(1):AC09-AC15. [Crossref](#)
35. Paley D, Gelman A, Shualy MB, Herzenberg JE. Multiplier method for limb-length prediction in the upper extremity. J Hand Surg Am 2008;33(3):385-91. [Crossref](#)
36. Khanna G, El-Khoury GY, Menda Y. Imaging in pediatric orthopaedics. In: Weinstein SL, Flynn JM, editors. Lovell and Winter's Pediatric Orthopaedics. Vol. 1 and 2. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2014. p. 56-85.