

Posttravmatik pediatrik alt ekstremité eşitsizliklerine yaklaşım

Management of posttraumatic pediatric lower extremity discrepancies

Cemil Yıldız¹, Sönmez Sağlam²

¹SBÜ Gülhane Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, Ankara

²Düzce Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, Düzce

Posttravmatik pediatrik alt ekstremité uzunluk farkları, çocukluk çağında travmaya bağlı gelişebilen hem fonksiyonel hem de yapısal sorunlara yol açan önemli bir ortopedik problemdir. Bu derleme, söz konusu eşitsizliklerin etiolojisini, tanı süreçlerini ve güncel tedavi yaklaşımlarını kapsamlı biçimde ele almayı amaçlamaktadır. Büyüme plağı hasarları, epifizyel kapanma, fizyel hiperaktivite ve segmental kemik kaybı gibi mekanizmalar eşitsizliğin başlıca nedenlerini oluşturur. Tanı sürecinde blok testi, uzunluk grafleri, EOS görüntüleme ve büyüme tahmin yöntemleri önemli rol oynar. Tedavi planlamasında uzunluk farkının miktarı, hastanın yaşı ve büyüme potansiyeli dikkate alınarak konservatif ya da cerrahi yaklaşımlar uygulanır. Epifizyodez ve distraksiyon osteogenezi gibi cerrahi seçenekler uygun zamanlamayla uygulandığında başarılı sonuçlar verirken uzun dönem izlem ve rehabilitasyon süreçlerinin tedaviye entegrasyonu da fonksiyonel başarıyı belirleyen temel unsurlardır. Güncel literatür, bireyselleştirilmiş planlama ve multidisipliner yaklaşımın önemine vurgu yapmaktadır.

Anahtar sözcükler: ekstremité uzunluk farkı; bacak boyu eşitsizliği; pediatrik travma; eksternal fiksator; epifizyodez

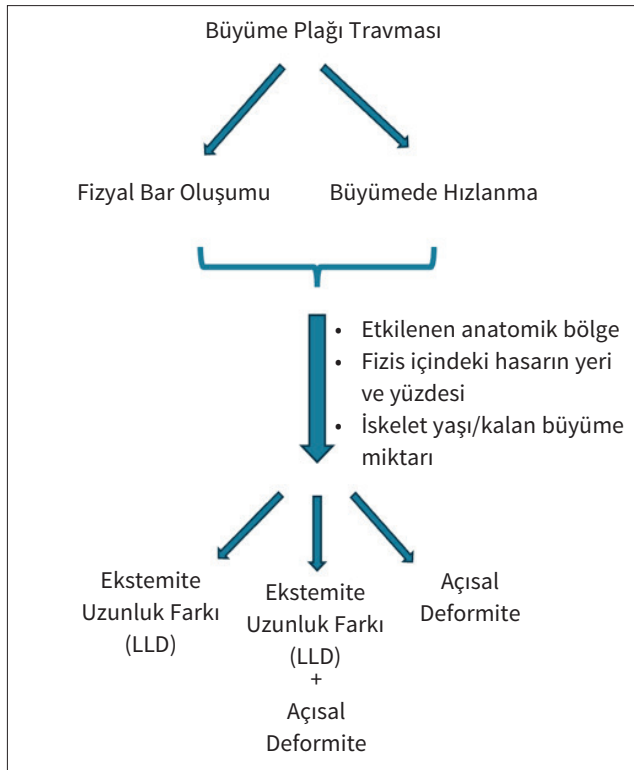
Posttraumatic leg length discrepancies in pediatric patients represent a significant orthopedic challenge that can lead to both structural and functional impairments during growth. This review aims to provide a comprehensive overview of the etiology, diagnostic approaches, and current treatment strategies for posttraumatic limb length inequalities in children. Common mechanisms include physal arrest, overgrowth, and segmental bone loss, primarily resulting from growth plate injuries. Diagnostic tools such as block testing, long-standing radiographs, EOS imaging, and growth prediction methods play a critical role in assessment. Treatment is tailored according to the severity of the discrepancy, the child's age, and remaining growth potential, with options ranging from conservative interventions to surgical procedures. When appropriately timed, epiphysiodesis and distraction osteogenesis offer favorable outcomes, especially when combined with long-term follow-up and rehabilitation strategies. Current literature emphasizes the necessity of individualized treatment planning within a multidisciplinary framework.

Key words: limb length discrepancy; leg length discrepancy; pediatric trauma; external fixator; epiphysiodesis

Posttravmatik büyüme plağı ve fizis etkilenmesiyle oluşan büyüme bozukluğu (*growth disturbance*) sonucu özgün bir komplikasyon olarak gelişen alt ekstremité uzunluk farkları (*leg length discrepancy*, LLD) çocukluk çağında önemli bir sorundur.^[1-5] Çocuğun fonksiyonel durumunu, çocuk ve ailenin ise psikososyal yapısını olumsuz olarak etkileyen bir klinik tablo ile karşımıza çıkar. Alt ekstremiteler arasında uzunluk farkı, yürüyüş şeklini (*paternini*) bozar (*gait deviation*), büyüyen çocuğun postural dizilimini (örneğin; skolyoz gelişimi) ve genel motor gelişimini olumsuz etkileyebilir. Örneğin skolyoz şüphesiyle gelen bazı hastalarımızda altta yatan

nedenin LLD olduğunu bulabiliriz.^[6-10] Pediatrik popülasyonda LLD'nin en sık görülen edinilmiş nedenlerinden biri travmadır. Özellikle büyüme plaklarının (fizis) etkilendiği yüksek enerjili travmalar, ekstremiteler arasındaki büyüme dengesinde bozulmalara ve zamanla artan uzunluk farklarına yol açabilir.^[1-5]

Pediatrik yaş grubunda kemik büyümesi, epifizyel plaklar aracılığıyla devam eder. Fizisin travmaya bağlı olarak prematür kapanması, asimetrik büyüme ya da hiperaktiviteye bağlı uzama, posttravmatik LLD gelişiminin temel mekanizmalarıdır.^[11-13] Büyüme plağını içeren epifizyel kırıklar (özellikle Salter-Harris tip IV ve V), fizis



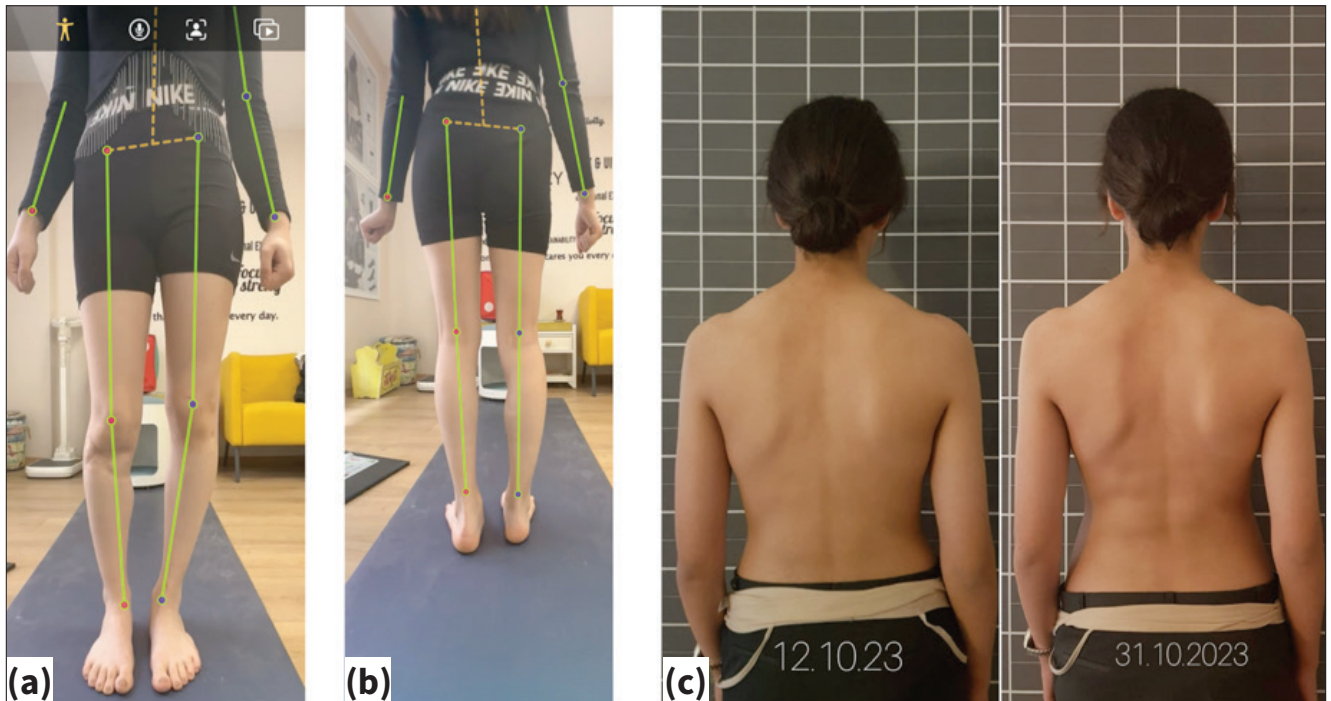
Şekil 1. Büyüme bozukluğu, fizis yaralanmalarına özgü bir komplikasyondur. Çoğunlukla fizyel bar/arrest ile ortaya çıksa da bar olmadan da gelişebilir. Bazı olgularda büyüme hızlanabilir ya da fiziste belirgin yaralanma olmaksızın büyüme bozuklukları da gözlenebilir.

üzerinde oluşan kompresif kuvvetler, açık kırıklar, enfeksiyonlar ve vasküler hasar; büyüme sürecini ciddi şekilde etkileyebilir.^[14] Ayrıca travma sonrası gelişen sekonder komplikasyonlar örneğin yanlış kaynama (*malunion*), kaynamama (*nonunion*), kemik kaybı ve kompartman sendromu gibi durumlar alt ekstremite uzunluk farkını daha da karmaşık hâle getirebilir (Şekil 1).^[1-6,15,16]

Bu derlemede, güncel literatürlerin desteğiyle posttravmatik pediatrik ekstremite eşitsizliklerinin doğal seyri, etiyolojisi, tanısı ve tedavi yaklaşımları özetlenecektir. Amacımız günlük pratiğimizde bazen kompleks hâle gelebilen bu duruma bütüncül ve kanıta dayalı bir uzman hekim bakış açısı geliştirilmesine katkı sağlamak, ayrıca güncel teknolojik ve cerrahi gelişmeleri tartışarak karar verme sürecimizi desteklemektir.

DOĞAL SEYİR

Alt ekstremite uzunluk farkları tedavi edilmediğinde biyolojik ve biyomekanik sorunlara yol açabilir. Büyüyen çocukta zaman içinde skolyoz, lomber lordozda artış, pelvis tilt, kas dengesizlikleri ve alt ekstremite eklemlerinde dengesiz yüklenmelere bağlı dejeneratif değişikliklere neden olabilir (Şekil 2). Bu değişiklikler çocuklarda yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda duygusal ve sosyal gelişimi de etkileyen, bütüncül bir disfonksiyon tablosuna yol açabilir. Bu nedenlerden dolayı iskelet gelişimi tamamlanana kadar bu çocuklar mutlaka takip edilmelidir.^[1,6,17-19]



Şekil 2.a-c. Pelvik eğimin (tilt) ön (a), arka (b) görünümü, kas dengesizlikleri (futura.tech/gaitlab) ve skolyoz (c) LLD sonrası doğal seyrinde ortaya çıkabilen önemli sorunlardır.

ETİYOLOJİ VE PATOFİZYOLOJİ

Popülasyonun ortalama %90'ında 5 milimetre (mm)'ye kadar anatomik alt ekstremité asimetrisi, her 1000 kişiden birinde ise 20 mm'ye kadar LLD bildirilmiştir.^[1,6,7,10,13,19] Travma sonrası meydana gelen LLD gelişiminde etkili temel patofizyolojik mekanizmalar şu şekilde özetlenebilir; fizyel büyümenin inhibisyonu (epifizyel kapanma), stimülasyonu (hipertrofik büyüme), kemik kaybı, malunion ve sekonder yumuşak doku etkilenmeleri sayılabilir (Şekil 3).^[1-7,13]

Epifizyel Yaralanmalar

Travmaya oldukça duyarlı olan büyüme plağı, çocukluk çağında kemik uzunluğunun %85'inden sorumludur.^[11-13] Fizisle ilgili yaralanmalar tüm çocuk kırıklarının %15-30'u oluştursa da şanslıyız ki büyüme problemlerine yol açma riskleri düşüktür (%1-10). Salter-Harris sınıflaması, fizisle ilişkili kırıkları sınıflandırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle tip IV (epifiz, fizis ve metafizi içeren kırık) ve tip V (fizis üzerine direkt kompresyon) tipi kırıklar, büyüme plağında kalıcı hasar oluşturarak epifizyel kapanmayla sonuçlanabilir.^[1-4,14]

Prematür epifiz kapanması sonrası, büyüme potansiyeli durur ve etkilenmemiş tarafta büyümenin devam etmesiyle LLD gelişir. Ayrıca, kısmi epifizyel hasar durumunda, asimetrik büyüme ve açısal deformiteler de (varus/valgus, ante-/retroversiyon) tabloya eşlik edebilir.^[1,2,6]

Travma Sonrası Fizyel Hiperaktivite (Overgrowth)

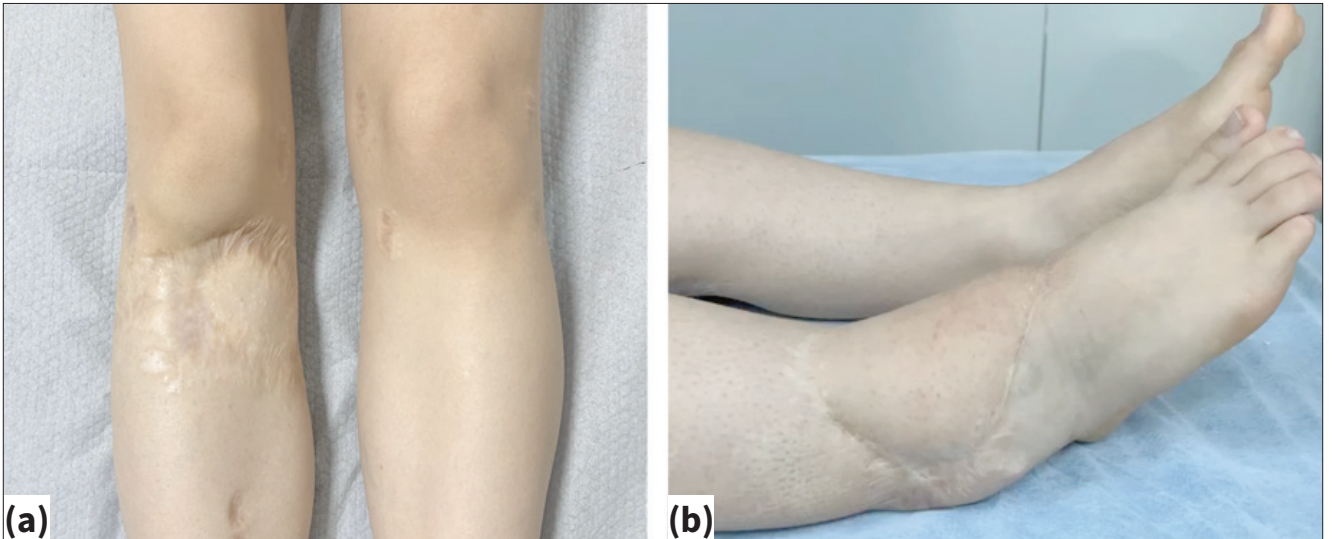
Özellikle femur diyafiz kırıkları sonrası gözlenen bir fenomen, karşı taraftan daha fazla uzama ile sonuçlanan fizyel stimülasyondur. Mekanizması tam olarak açıklanamamakla birlikte; periostal hiperemi, biyomekanik yüklenme değişiklikleri ve enflamatuvar mediatörlerin fizis üzerine etkisiyle açıklanmaktadır. Bu durum, %5-10 olguda 1-2 santimetre (cm)'yi aşabilen uzamayla sonuçlanabilir. Tibia ve femur kırıklarında ve özellikle ufak yaşlarda daha sık olarak görülür. Femur kırıklarında %30'a varan oranda gözlenir. Bir çoğunda spontan düzelme potansiyeli vardır (Şekil 4).^[1-6,15-18,20-22]

Malunion ve Segmental Kemik Kaybı

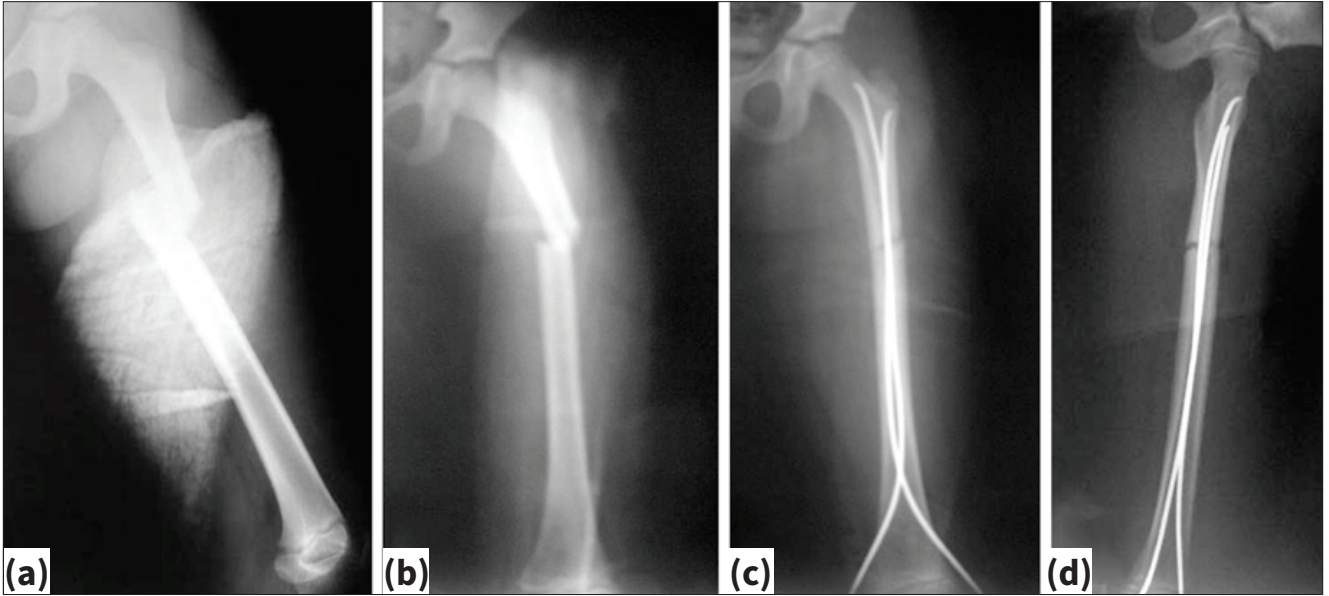
Diyafizer kırıkların yetersiz redüksiyonu veya erken yük verme gibi nedenlerle oluşan malunion, ekstremitenin uzunluğunda kısalmaya neden olabilir. Özellikle angulasyonla birlikte olan kısalık hem fonksiyonel hem de estetik sorunlara yol açar. Segmental kemik kaybı ise genellikle yüksek enerjili travmalar, açık kırıklar veya osteomyelit sonrası gözlenir.^[1-6]

Kompartman Sendromu ve Vasküler Hasar

Travma sonrası gelişen akut kompartman sendromu, kas iskemisine ve sekonder olarak kemik büyümesinde gecikmeye neden olabilir. Ek olarak, epifiz ve fizis bölgesine giden arterlerin hasarı -örneğin sirkümfleks femoris posterior arter veya genikülaris superior arter gibi- lokal büyüme geriliğine yol açabilir. Vasküler hasar sadece iskeleyle değil epifiz bölgesinde gelişen rejenerasyonun inhibisyonuyla da LLD'yi tetikleyebilir.^[1-6]



Şekil 3. Epifiz çevresi yaralanmalarında birlikte görülen sağ diz anteromedialindeki (a), sağ ayak bileği anteriorundaki (b) yumuşak doku yaralanmaları tedaviyi güçleştirmekte ve prognozu etkilemektedir.



Şekil 4.a-d. Çocuk femur kırıklarının tedavisinde ameliyat öncesi (a,b), ameliyat sonrası (c,d) fizyel sitümlasyona bağlı azalan yaşla birlikte artan riskle ilgili olarak gelişebilecek ekstremite eşitsizlikleri açısından takip edilmeli ve aileye bilgi verilmelidir.

Cerrahi Müdahaleler Sonrası

Bazı durumlarda, büyüme potansiyeli henüz tamamlanmamış çocuklara yapılan cerrahi müdahaleler (örneğin plak veya çivi uygulamaları) fizis bölgesine zarar vererek iyatrojenik LLD'ye neden olabilir. Ayrıca, eksternal fiksatörlerin uzun süreli kullanımı, yumuşak doku kontraktürlerine ve yük aktarımı paterninin bozulmasına neden olarak dolaylı şekilde eşitsizlik geliştirebilir.^[1-7]

Biyomekanik ve Kas-Doku Denge Bozuklukları

Travma sonrası oluşan yumuşak doku hasarları ve skar dokusu, eklem çevresi hareket açıklığını sınırlandırabilir, bu da fonksiyonel LLD'ye yol açabilir. Kalça fleksörleri, hamstringler ve gastroknemius gibi majör kas gruplarında gelişen dengesizlikler, özellikle yürüme esnasında dengelemeyi bozar ve gerçek uzunluk farkı olmasa da işlevsel olarak eşitsizlik algısı oluşturur.^[1,8-10,23,24]

KLİNİK VE RADYOLOJİK DEĞERLENDİRME

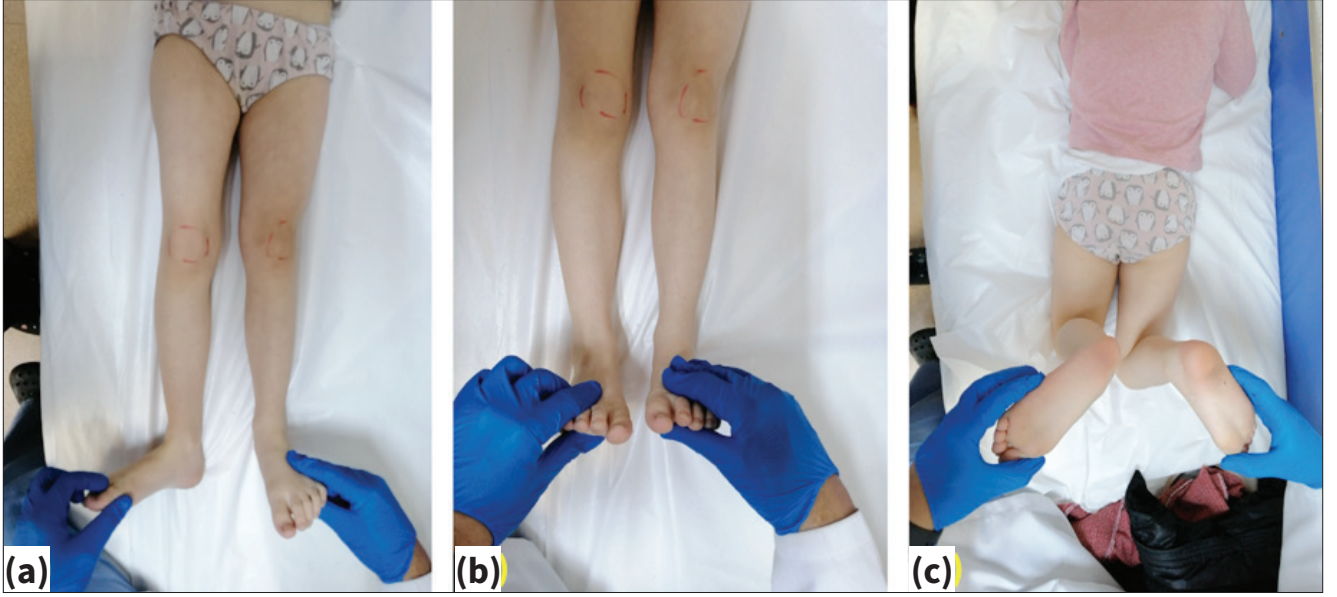
Posttravmatik pediatrik alt ekstremite uzunluk farkının doğru bir şekilde saptanması ve izlenmesi, tedavi başarısında kritik rol oynar. Değerlendirme süreci klinik gözlemler ve radyolojik görüntülemeyle birlikte yürütülmeli, özellikle büyüme potansiyeli devam eden çocuklarda dinamik ve karşılaştırılabilir verilerle desteklenmelidir.^[16-18,25]

Tanı sürecinde, ayrıntılı klinik değerlendirme, yürüyüş analizi, ve görüntüleme yöntemlerinin doğru zamanlamayla kullanımı önemlidir. Alt ekstremite uzunluğunun hassas

bir şekilde ölçülmesi hem mevcut farkın hem de beklenen büyüme potansiyelinin doğru şekilde hesaplanmasını gerektirir. Bu hesaplamalarda Green-Anderson, Moseley ve multiplier yöntemleri sıkça kullanılmakta; EOS sistemleri gibi düşük doz 3 boyutlu (3D) görüntüleme teknikleri de özellikle son yıllarda yaygınlık kazanmaktadır.^[24-27]

Klinik değerlendirme, detaylı bir anamnezle başlar. Travmanın tipi, lokalizasyonu, etkilenen segment ve fizis durumu, uygulanan tedavi biçimi (konservatif ya da cerrahi), enfeksiyon öyküsü veya vasküler komplikasyon varlığı mutlaka sorgulanmalıdır. Hastanın yürürken aksamaması, tek taraflı diz veya bel ağrısı, omuz seviyesinde dengesizlik gibi şikâyetleri, eşitsizlik şüphesini destekleyen önemli ipuçları sunar. Ekstremiteler arasındaki eşitsizlik 10 mm altında olduğunda kişiler tarafından hissedilme oranı oldukça düşüktür. Ayrıca çocuğun genel gelişimsel öyküsü, prematürite, sistemik hastalıklar veya genetik sendromlar yönünden de dikkatle değerlendirilmelidir.^[2,8,9,10,19,24]

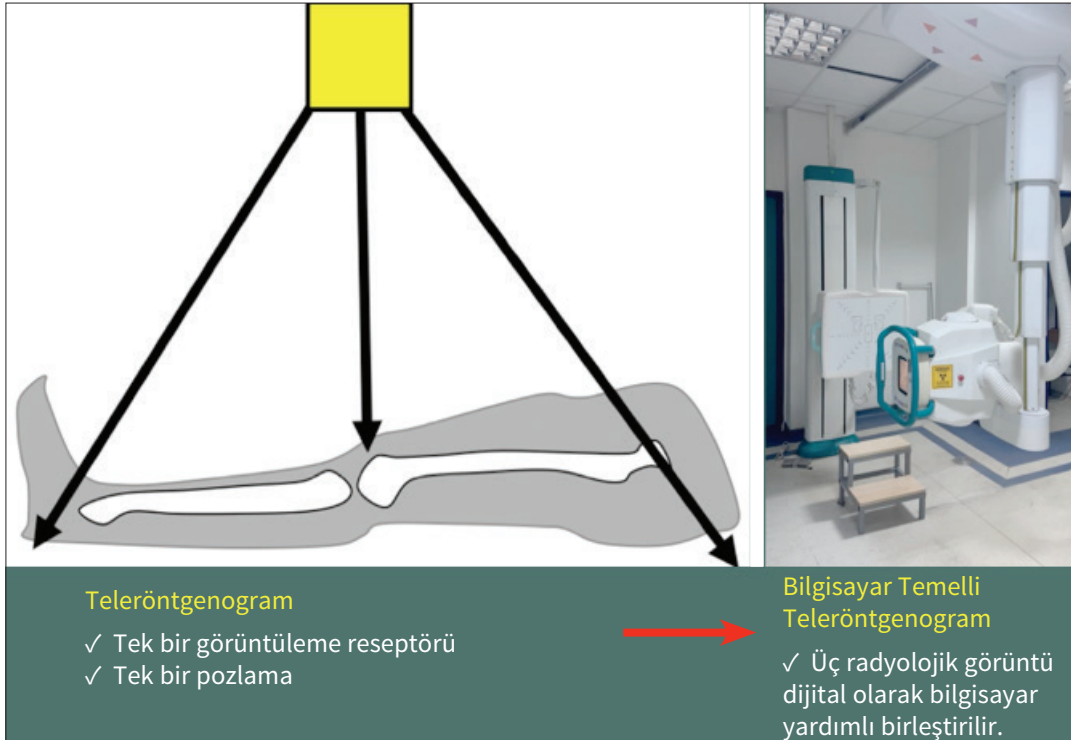
Fizik muayenede, ayakta blok testiyle pelvisin simetrik konuma geldiği blok yüksekliği ölçülerek gerçek anatomik uzunluk farkı belirlenebilir. Ayrıca yürüyüş analiziyle antalgik ya da kompensatuvar yürüyüş paternleri gözlenmeli; postür analizi ile pelvik eğim (tilt), omuz yüksekliği farkı ve skolyoz gibi ikincil adaptasyonlar tespit edilmelidir. Kalça, diz ve ayak bileği eklemlerindeki hareket açıklıkları ve rotasyonel deformiteler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmelidir. Özellikle fonksiyonel olarak daha belirgin sorunlar ile karşımıza çıkan eşlik eden kas kısıklıkları ve eklem kontraktürleri de ortaya konmalıdır (Şekil 5).^[23-25]



Şekil 5.a-c. Fizik muayenede ekstremité kısalıklarına (a) ek olarak rotasyonel deformiteler ve eklem hareket açıklıkları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmelidir (b,c).

Radyolojik değerlendirme, ölçüm doğruluğu ve tedavi planlaması açısından büyük önem taşır. Standart alt ekstremité uzunluk grafipleri, yük altında ayakta çekilerek femur ve tibianın her iki taraf için ölçümünü sağlar. Teleröntgenogram tek film üzerinde kalça-topuk arası mesafeyi verirken üç ayrı görüntüleme reseptörüyle çalış-

şan scanogram ile segmental düzeyde analiz yapılabilir (Şekil 6). Giderek yaygınlaşan EOS görüntüleme sistemi ise düşük doz radyasyonla, ayakta iki düzlemde çekilen grafiplerden 3D görüntüleme oluşturması yönüyle özellikle açıl deformitelerinin eşlik ettiği LLD olgularında oldukça değerlidir.^[24-27]



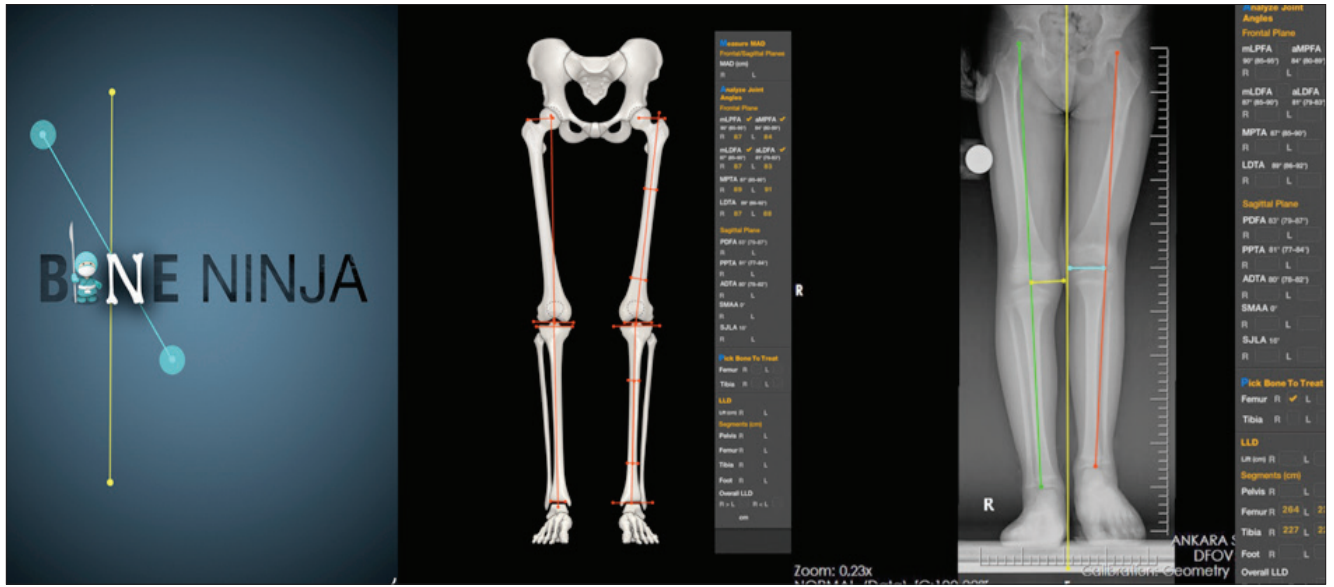
Şekil 6. Günümüzde en sık olarak kullanılan ve ayakta çekilebilme avantajı olan modifiye teleröntgenogram yöntemi, hasta sabitken hareket eden tüpten elde edilen üç radyografik ekspozürün dijital olarak birleştirilmesiyle oluşturulan bilgisayar temelli teleröntgenogramdır.

Picture archiving and communication system (PACS) sisteminden elde edilen (*digital imaging and communications in medicine*, DICOM) görüntüler dijital uygulamalara (Örneğin; OsiriX, Bone Ninja vb.) aktarılarak ekstremite uzunluk farkları ve deformite değerlendirmeleri yapılabilmektedir (Şekil 7).

Bilgisayarlı tomografi ve 3D rekonstrüksiyonlar ise *malunion*, segmental kemik kaybı ve açısal deformite analizinde kullanılır; osteotomi ve uzatma planlamasında cerrahi rehberlik sağlar (Şekil 8).^[28-31]

Manyetik rezonans görüntüleme büyüme plağının canlılığını, hasar düzeyini ve potansiyel kapanmayı göstermede altın standarttır. Özellikle fizyel bar oluşumu şüphesi olan olgularda tercih edilir (Şekil 9).^[30]

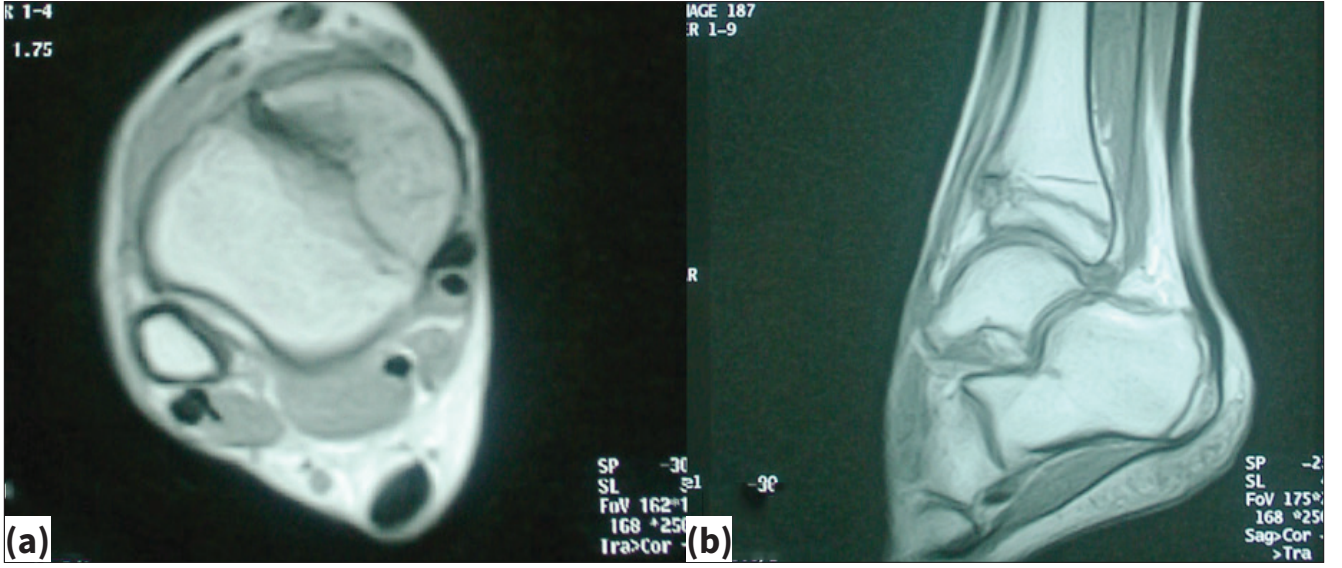
Uzunluk farkının tahmini ve tedavi zamanlaması için çeşitli yöntemlerden faydalanılır. Green-Anderson kartları, yıllık büyüme oranlarına dayalı olarak kalan büyüme miktarını gösterirken Moseley *straight-line* grafikleri mevcut farkla büyüme potansiyelini zaman ekseninde ilişkilendirerek epifizyodez zamanlamasına ışık tutar.



Şekil 7. Bone Ninja uygulamasına aktarılan DICOM görüntüleri üzerinden program yardımıyla planlamalar yapılabilir.



Şekil 8. Bilgisayarlı tomografi veya manyetik rezonans görüntüleme verilerinden oluşturulan 3D rekonstrüksiyonlar üzerinde segmentasyon ve simülasyonlar kompleks deformitelerin eşlik ettiği LLD vakalarında analiz ve planlamada avantaj sağlamaktadır.^[28-31]



Şekil 9.a,b. On iki yaşında tibia distali epifiz yaralanması hikâyesi olan kız çocuğunda ayak bileği aksiyel (a) ve sagittal (b) manyetik rezonans görüntüleme ile epifiz hasar yeri, miktarı ve derecesi görülmektedir.

Multiplier yöntemi (Paley) ise yaş ve mevcut uzunluklara göre kalan büyümenin sayısal modellemesini yaparak dijital hesaplama kolaylığı sunar (Şekil 10).^[1,4,32,33]

Sonuç olarak, posttravmatik LLD'nin değerlendirilmesinde sadece mevcut uzunluk farkının belirlenmesi değil, farkın zaman içinde nasıl ilerleyeceğinin öngörülmesi ve buna göre tedavi planlaması yapılması esastır. Klinik ve radyolojik değerlendirme birlikte ele alınmalı; zaman içinde tekrarlanan ölçümlerle dinamik bir izlem süreci sürdürülmelidir.

AYIRICI TANI VE SINIFLAMA

Alt ekstremité eşitsizliği şikâyetiyle başvuran bir çocukta, anatomik bir farklılık mı söz konusudur yoksa fonksiyonel bir eşitsizlik mi mevcuttur sorusu tanısal yaklaşımın ilk adımındır. Gerçek (anatomik) uzunluk farkı; femur veya tibia gibi kemik segmentlerinin mutlak uzunluğundaki değişikliklerle ilişkilidir ve genellikle travma sonrası büyüme plağı etkilenmesine bağlıdır. Fonksiyonel eşitsizlikte ise kemik uzunlukları normal olmakla birlikte, kalça, diz veya ayak bileği çevresindeki kas dengesizlikleri, eklem kontraktürleri, pelvik tilt ya da postüral bozukluklar nedeniyle uzunluk farkı varmış gibi bir tablo ortaya çıkar. Bu ayırım, tedavi yönünü belirleyeceğinden dolayı büyük önem taşır.^[8-10,25]

Posttravmatik LLD'nin değerlendirilmesinde sabit ve ilerleyen (progresif) farklar da ayrılmalıdır. Sabit farklar genellikle travma sonrası kemik kaybı ya da erken fizyel kapanma sonucu oluşurken progresif farklar büyüme plağı kısmen sağlam kalan çocuklarda zaman içinde gelişir ve izlem gerektirir. Özellikle genç yaşta travma geçiren

ve kemik yaşı açısından büyüme potansiyeli yüksek olan çocuklarda, bu fark zamanla artabileceğinden tedavi planlaması dinamik bir süreç olmalıdır.^[13,16-21]

Uzunluk farkının şiddetine ve etiopatogenezine göre çeşitli sınıflama sistemleri geliştirilmiştir. Paley tarafından önerilen sistem, sadece uzunluk farkını değil, eşlik eden açısal deformiteleri, rotasyonel bileşenleri ve eklem instabilitelerini de dikkate alarak hastayı fonksiyonel ve cerrahi planlama açısından kategorize eder.^[34] Ayrıca yürüyüş analizlerine dayalı olarak sınıflandırma önerilerinde bulunmaktadır.^[35] Kompansatuvar yürüyüş stratejilerine örnek olarak; yürürken parmak ucuna basma, pelvisin yukarı kaldırılması (*pelvik hike*), karşı tarafa eğilme (*contralateral lean*) verilebilir.^[10,24,35]

Uzunluk farkına göre yapılan sınıflandırmalar cerrahi endikasyonların belirlenmesinde de kullanılır. Genellikle 2 cm altındaki farklar için konservatif yaklaşımlar yeterli görülürken 2-5 cm arasındaki farklarda epifizyodez gibi büyüme modifikasyonları, 5 cm üzerindeki farklarda ise uzatma prosedürleri gündeme gelir. Ancak bu değerler hastanın fonksiyonel etkilenme düzeyine, yaşına ve eşlik eden patolojilere göre değişkenlik gösterebilir. Çocuk hastada kalan büyüme miktarı önemli bir faktördür.^[17,18]

Sonuç olarak, posttravmatik pediatrik LLD tanısı alan bir hastada, eşitsizlik farkının türü (anatomik/fonksiyonel), seyri (sabit/progresif) ve eşlik eden deformiteleri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmelidir. Bu doğrultuda yapılan ayırıcı tanı ve sınıflama hem hasta takibinin planlanmasında hem de uygun tedavi zamanlamasını belirlenmesinde önemli bir klinik adımdır.



Şekil 10. Multiplier uygulaması ile posttravmatik LLD'lerde maturasyondaki tahmini kemik uzunlukları (yeşil ok) ve gelecekteki büyüme miktarları (kırmızı ok) hesaplanabilmektedir.

TEDAVİ YÖNTEMLERİ

Günümüzde LLD'nin tedavi yaklaşımı, yalnızca deformitenin düzeltilmesi değil çocuğun fonksiyonel kapasitesinin, yaşam kalitesinin ve psiko-sosyal uyumunun optimize edilmesini hedefleyen multidisipliner bir çalışma gerektirir. Bu süreçte ortopedi uzmanlarının, fizyoterapistlerin, çocuk psikologlarının ve aile danışmanlarının birlikte çalışması başarıyı arttırmaktadır. Aile, çocuk ve hekim tedavi planına karar verme sürecine birlikte katılmalıdır. Hekim tedavi alternatiflerini ve risklerini ayrıntılı olarak açıklamalıdır. Karar aşamasında aileye süre tanınmalıdır.^[1,2,4,6,19,23,34]

Posttravmatik pediatrik alt ekstremite eşitsizliklerinin tedavisi, hastanın yaşı, kalan büyüme potansiyeli, uzunluk farkının miktarı, eşlik eden açısız veya rotasyonel deformiteler ve fonksiyonel etkilenme düzeyi gibi birçok değişkene bağlı olarak şekillendirilir. Müdahale zamanlaması, genellikle farkın ilerleyici olup olmadığını da içeren ayrıntılı klinik ve radyolojik izlem sonucunda belirlenmelidir. Zamanlama, cerrahi planlamanın başarısı açısından belirleyici faktördür. İki cm altındaki farklar için konservatif tedavi yaklaşımları tercih edilir. İki-5 cm arası farklarda epifizyodez ve büyüme modifikasyonları (*guided growth*) ve 5 cm üzeri farklarda uzatma prosedürleri gündeme gelir. Ancak her vakada bireyselleştirilmiş kişiye özel tedavi yaklaşımı esastır.^[1,19,23,34]

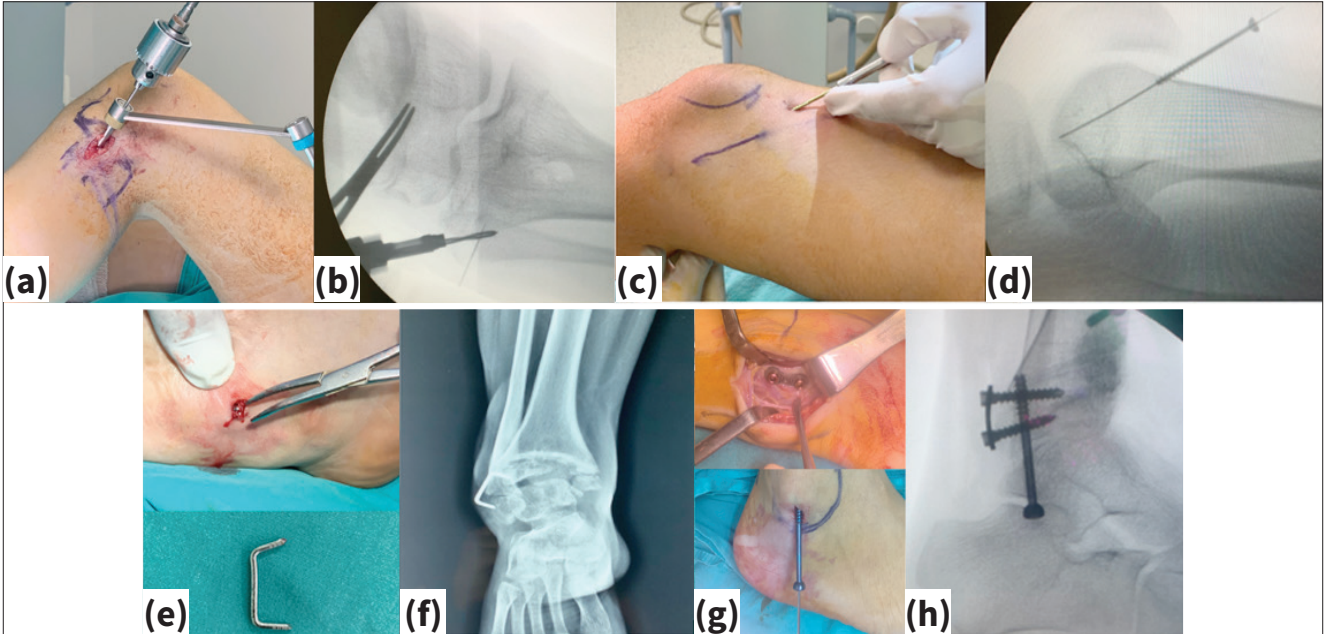
Konservatif yaklaşımlar, özellikle 2 cm'ye kadar olan anatomik farklarda veya büyüme potansiyeli düşük, fonksiyonel eşitsizliklerde tercih edilir. Bir cm'ye kadar kısıklıklarda ayakkabı içine yerleştirilen tabanlıklar, 1 cm üzerinde ise ayakkabı altına eklenen dış topuk yükseltileleriyle birlikte hastaya özel uygulanan fizyoterapi programlarıyla pelvisin dizilimini optimum hâle getirmek hedeflenir. Bununla birlikte, uzun süreli eşitsizlik varlığında ortaya çıkan sekonder adaptasyonları yönetmek adına uzun süreli ve fizyoterapist eşliğinde yapılan egzersiz programları reçete edilir. Bu programlar, alt ekstremité kas gruplarının esneklik ve kuvvet dengesini sağlamayı, postüral dizilimi düzeltmeyi ve yürüyüş paternini normalize etmeyi hedefler. Özellikle kalça fleksörleri, *hamstringler* ve paraspinal kas gruplarında gelişebilecek dengesizlikler, zaman içinde ağrıya ve kompensatuvar mekanizmalara neden olabileceği için erken müdahale önemlidir. Psikososyal destek de bu sürecin ayrılmaz bir parçasıdır; çocuklarda özgüven kaybı, beden imajı bozukluğu gibi sorunların önlenmesi için gereklidir.^[1-4,19,23,34]

Cerrahi tedavi seçenekleri, farkın artması, fonksiyonel etkilenmenin belirginleşmesi veya konservatif yöntemlerin yetersiz kalması durumunda düşünülmelidir. Cerrahi yöntemler temel olarak üç ana grupta ele alınabilir; epifizyodez (büyümenin durdurulması), uzatma prosedürleri (distraksiyon osteogenezi) ve nadiren uygulanan kısaltma işlemleridir.^[1-4,19,23,34]

Epifizyodez, büyümenin kontrol altında durdurulması esasına dayanır ve genellikle karşı tarafın büyümesi dur-

durularak simetri sağlanması hedeflenir. Cerrahi zamanlama, Moseley veya multiplier gibi büyüme tahmin grafiklerine göre hesaplanmalıdır. Perkütan yada açık teknikler ile yapılabilir. İmplant olarak staple, perkütan vidalar ve sekiz plak (8-plate) kullanılabilir (Şekil 11). Bu teknikler doğru zamanlamayla uygulandığında düşük komplikasyon oranı ve yüksek başarı sağlarlar. Ancak, epifiz kapanmasının eşit şekilde gerçekleşip gerçekleşmediği uzun dönem izlemle doğrulanmalıdır.^[33,34,36,37]

Uzatma cerrahisi, genellikle ekstremité uzunluk farklarının 5 cm'yi aştığı, ciddi fonksiyonel ve estetik problemlerin olduğu durumlarda uygulanmalıdır. İizarov eksternal fiksator sistemi, Taylor *spatial frame* (TSF) ve son yıllarda özellikle adolesanlarda kullanılan manyetik internal uzatma çivileri (*precice nail*) bu amaçla kullanılır. Distraksiyon osteogenezi, kemik dokusunun kontrollü olarak ayrılması ve arada yeni kemik oluşumunun sağlanması prensibine dayanır. Günde ortalama 1 mm'lik uzatma yapılır ve bu süreç boyunca dikkatli izlem gerektirir.^[33,34] Yüksek oranda komplikasyonlar görülsede (pin dibi enfeksiyonları, distraksiyon sırasında yetersiz rejenerasyon, eklem sertlikleri ve nörovasküler yapıların etkilenmesi vb.) hassas planlama, titiz cerrahi, erken müdahaleyle çoğu önlenabilir ve kalıcı sorun olmaktan çıkar. Uzatma sırasında ve sonrasında kişiselleştirilmiş fizyoterapi uygulamaları hareket açıklığını korumak, kas gücünü desteklemek ve erken günlük yaşam aktivitelerine dönüş açısından önemlidir (Şekil 12).^[33,34,36,37]



Şekil 11.a-h. Farklı teknik ve implantlar kullanarak epifizyodez yapılabilir; perkütan drilleme ile epifizyodez (a,b), perkütan kanüle vidayla epifizyodez (c,d), staple ile açık epifizyodez (e,f), sekiz plak ve perkütan vida ile epifizyodez (g,h).



Şekil 12. Eksternal fiksatorlerle uzatma sırasında hastaya özel ve fizyoterapist eşliğinde yapılan egzersiz programları hasta uyumunun artmasına, komplikasyonların azalmasına ve fonksiyonel başarıma olumlu etki sağlar.

Kısaltma ameliyatları ise büyüme potansiyelini tamamlamış, ileri yaştaki ve toplam uzunluğun tolere edilebilir sınırlar içinde kalması beklenen hastalarda nadir olarak tercih edilecek bir seçenektir. Aileye ayrıntılı bilgi verilmeli, kozmetik ve fonksiyonel hedefler iyi değerlendirilmelidir. Genellikle son seçenek olarak sunulur.

Günümüz dijital teknolojilerin yardımıyla cerrahi tedavi planlamasında üç boyutlu modelleme, *markersız* yürüyüş analizi ve dijital büyüme projeksiyonları kullanılarak hastaya özel planlamalar yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra, hibrit yaklaşımlar da (örneğin epifizyodezle birlikte uzatma seçeneklerinin kullanımı) artan oranda tercih edilmektedir (Şekil 13).^[28-31,34,36]

Sonuç olarak, posttravmatik pediatrik alt ekstremite eşitsizliğinin tedavisi, sabit algoritmalardan çok dinamik ve kişiselleştirilmiş bir karar süreci gerektirir. Doğru hasta seçimi, uygun tedavi zamanlaması, çocuk ve ailesinin de katılımının sağlandığı multidisipliner yaklaşım, uzun dönem fonksiyonel sonuçların ve hasta memnuniyetinin başarısı açısından belirleyici faktörlerdir.

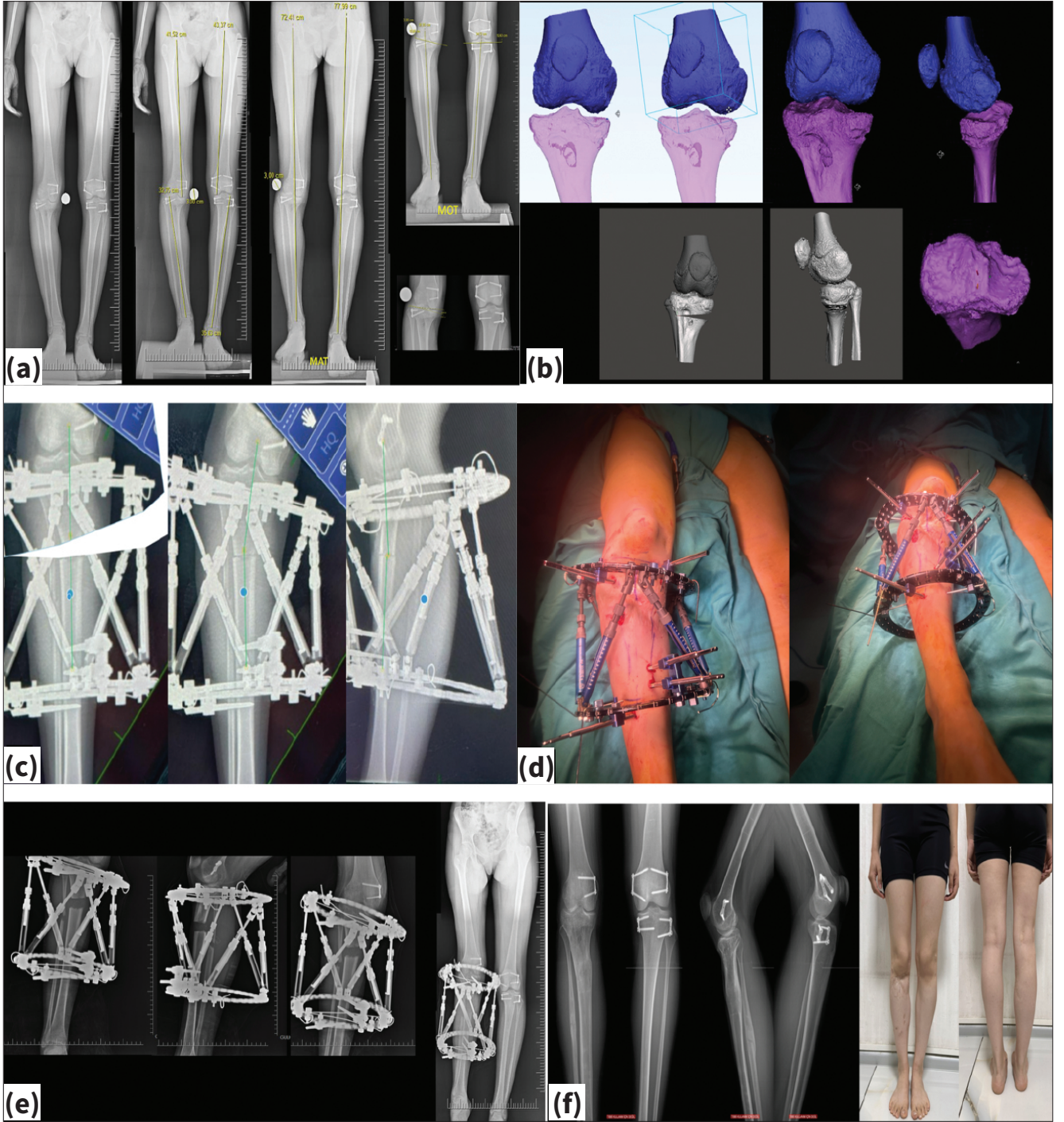
TAKİP VE UZUN DÖNEM SONUÇLAR

Posttravmatik pediatrik alt ekstremite eşitsizliklerinin yönetiminde yalnızca cerrahi veya konservatif tedavi yeterli değildir; etkili ve sürdürülebilir sonuçlar için düzenli, yapılandırılmış bir izlem süreci gereklidir.

Özellikle büyüme potansiyeli devam eden çocuklarda, ekstremite arası farkın zaman içinde ilerleme (progresyon) gösterme ihtimali yüksek olduğundan, belirli aralıklarla hem klinik hem de radyolojik kontroller yapılmalıdır. Radyolojik kontrollerde sınırlı istemlerde bulunmaya dikkat edilmelidir.^[1,6]

Takipte kullanılan en temel yöntemler arasında blok testiyle pelvis diziliminin değerlendirilmesi, yürüyüş analizleri ve periyodik alt ekstremite uzunluk grafiği yer alır. EOS sistemi gibi düşük dozlu ileri görüntüleme teknikleri hem uzunluk farkının hem de açısal deformitelerin objektif takibini sağlar. Klinik izlemde omurgada gelişebilecek kompensatuvar skolyoz, pelvik eğim (tilt) ve alt ekstremite eklemlerinde yük dağılımının bozulması gibi ikincil patolojilere de dikkat edilmelidir. Bu tür adaptif değişiklikler zaman içinde ağrı, yorgunluk, düşme riski artışı ve hareket kısıtlılığı gibi fonksiyonel sorunlara yol açabilir.^[8,10,13,18,21,23,35]

Cerrahi müdahale sonrası izlem, cerrahi tekniğe göre şekillenir. Epifizyodez yapılan olgularda, büyüme çizgilerinin kapanıp kapanmadığı belirli aralıklarla görüntülenmeli ve büyüme durduğunda simetrisinin sağlanıp sağlanmadığı net olarak değerlendirilmelidir. Distraksiyon osteogenezi uygulanan hastalarda ise distraksiyon hızı, rejenerasyon kalitesi, enfeksiyon varlığı günlük ve haftalık kontrollerle izlenmeli; fizyoterapi süreciyle entegre biçimde ilerlenmelidir.



Şekil 13.a-f. Epifiz travma sekeline bağlı deformite ve 4,5 cm kısalığı olan bir hasta hibrit yaklaşımla tedavi edilmiştir. Yaralanmış ekstremitede deformitenin tedavisinde sekiz plak ile büyüme modifikasyonu (*guided growth*) karşı taraf ekstremiteye ise maturasyonda beklenen tahmini eşitsizlik farkı hesaplanarak büyüme yavaşlatılmıştır. Alt ekstremitte dizilim grafilerinde klasik deformite analizi mat (*malalignment test*), mot (*malor-yantasyon testi*), anatomik ve mekanik akslar, deformite merkezi (CORA) ve aka sonrada osteotomi yerinin belirlenmesi ve planlama yapılmıştır (**a**). 3D modellemeyle segmentasyon, deformite analizi ve osteotomi simülasyonu yapılmıştır (**b**). Daha sonra hem kısalığın hem de deformitenin tedavisinin aynı anda yapılabildiği bilgisayarlı fiksator sistemi kullanımasına karar verilerek hastanın usulüne uygun olarak çekilmiş radyografileri bilgisayara yüklenerek sistemin programı yardımıyla tedavi simülasyonu yapılmıştır (**c**). Daha sonra genel anestezi altında fiksator uygulanarak uzatma ve deformite korreksiyonu eş zamanlı olarak yapılmıştır (**d,e**). Bu sistemin avantajı olarak tedavi sırasında gerek duyulduğunda yeni reçete oluşturularak tedavi planı değiştirilebilmektedir. Tedavi bitimindeki radyografik ve klinik görünüm izlenmektedir (**f**).

Manyetik çiviler kullanılan internal sistemlerde de uzatma fazı tamamlandıktan sonra kaynamaya kadar geçen sürede hastanın eklem hareket açıklığı, kas gücü ve yürüme kapasitesi multidisipliner ekip tarafından takip edilmelidir.

Fonksiyonel çıktılar yalnızca ekstremite uzunluğuyla sınırlı değildir. Hareket açıklığı, kas kuvveti, denge, propriyosepsiyon, günlük yaşam aktivitelerine katılım ve okul/sosyal yaşama entegrasyon gibi parametreler de uzun dönem değerlendirme kapsamında yer almalıdır. Bu ölçümler için standart fizyoterapi testleri (Timed Up and Go, 6-MWT, SLS vb.) ile objektif veriler toplanabilir. Ayrıca yürüyüş laboratuvarlarında yapılan yürüme analizleri, özellikle karmaşık deformitelerde tedavinin fonksiyonel etkinliğini değerlendirmede değerli bilgiler sunar.^[1,4,10,34,35]

Uzun dönem takiplerde psikososyal iyilik hâli de göz ardı edilmemelidir. Travmatik yaralanma sonrası gelişen deformiteye sahip olmak, bazı çocuklarda öz saygı kaybına, beden algısı bozukluğuna veya sosyal izolasyona neden olabilir. Bu nedenle psikolojik danışmanlık ve aile desteği, rehabilitasyon sürecinin ayrılmaz bir parçası olmalıdır.

Genel olarak, zamanında müdahale edilmiş, multidisipliner şekilde izlenmiş ve uygun tedaviyle desteklenmiş posttravmatik LLD olgularında uzun dönem fonksiyonel ve kozmetik sonuçlar oldukça başarılıdır. Ancak müdahalede gecikme, yanlış teknik seçimi, yetersiz izlem veya fiziksel rehabilitasyon eksikliği gibi durumlar ciddi sekellerle sonuçlanabilir. Bu nedenle izlem süreci, tanıdan tedavinin ötesine uzanan; çocuğun büyüme süreci boyunca devam eden kapsamlı bir yönetim yaklaşımı içermelidir.^[1,4,10,34,35]

LİTERATÜRDEN GÜNCEL BULGULAR

Posttravmatik pediatrik alt ekstremite uzunluk eşitsizlikleri üzerine yapılan son dönem araştırmalar hem patofizyolojik mekanizmalar hem de tanıs ve terapötik yaklaşımlar açısından önemli veriler sunmaktadır. Özellikle femur diyafiz kırıkları sonrası gelişen uzunluk farkı, günümüzde en sık karşılaşılan etiyolojik nedenlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Kim ve ark.'nın çok merkezli retrospektif çalışmasında, femur diyafiz kırığı geçiren 237 çocuk hastanın değerlendirildiği seride, ortalama 9 mm uzunluk farkı bildirilmiş; stabil kırık paternine sahip olgularda LLD gelişme riskinin anlamlı şekilde daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Bu bulgu, kırık stabilitesinin yalnızca kaynama değil, büyüme dinamiklerini de etkileyebileceğini göstermektedir.^[38]

Büyüme potansiyeli devam eden çocuklarda sıklıkla tercih edilen epifizyodez işleminin yalnızca hedeflenen

segmenti değil, aynı ekstremitedeki diğer kemik segmentlerini de etkileyebileceği, Birch ve ark.'nın prospektif analizinde ortaya konmuştur. Bu çalışmada, cerrahi sonrası ipsilateral sağlıklı segmentlerde kompensatuvar büyüme yanıtı gözlenmiş; bu durum tedavi planlamasında segmental dengenin göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamıştır.^[15]

Küçük çaplı LLD'lerin fonksiyonel etkilerini değerlendiren Gordon ve Davis'in literatür derlemesi, 2 cm'ye kadar olan uzunluk farklarının çoğu zaman semptomsuz seyrettiğini ancak bireysel biyomekanik özelliklere göre klinik olarak anlamlı hâle gelebileceğini göstermektedir.^[6] Bu nedenle uzunluk farkının miktarı kadar hastanın aktivite düzeyi, pelvik ve spinal adaptasyon kapasitesi de dikkate alınmalıdır.

Tanısal açıdan bakıldığında, büyüme plağının aktivitesini doğrudan görselleştirebilen ileri görüntüleme yöntemlerinin LLD öngörüsünde kullanım potansiyeli dikkat çekicidir. Wang ve ark.'nın sunduğu vaka çalışmasında, pediatrik femur kırığı sonrası (*single photon emission computed tomography/computed tomography*, SPECT/CT) ile büyüme plağı aktivitesi değerlendirilmiş ve bu sayede gelişebilecek LLD'nin erken dönemde tahmin edilmesi mümkün olmuştur.^[21] Bu yöntem, özellikle geleneksel grafilerde henüz belirgin fark oluşmadan önce müdahale planlamasına olanak sağlayabilir.

Bununla birlikte, travmatik olmayan ancak epifizyel büyümeyi etkileyebilecek patolojiler de literatürde tanımlanmıştır. Shimizu ve ark.'nın olgu sunumunda, diz eklemine sinovyal kondromatozis tanısı alan yedi yaşındaki bir çocukta LLD gelişimi bildirilmiş, artroskopik sinovektomi ve epifizyodez sonrası üç yıllık izlemde eşitsizliğin düzeldiği gösterilmiştir.^[39] Bu durum, nadir görülen patolojilerin de diferansiyel tanıda göz önünde bulundurulması gerektiğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak, güncel literatür posttravmatik pediatrik LLD'nin yalnızca bir uzunluk problemi değil; segmental dengesizlik, büyüme yanıtı, fonksiyonel adaptasyon ve tanısal zamanlama gibi çok boyutlu bileşenleri içeren karmaşık bir klinik durum olduğunu göstermektedir. Tanı ve tedavi sürecinin bireyselleştirilmiş, büyüme dostu ve multidisipliner temelde yapılandırılması, uzun dönem sonuçların başarısı açısından belirleyici görünmektedir.

TARTIŞMA VE GELECEĞE YÖNELİK PERSPEKTİFLER

Posttravmatik pediatrik alt ekstremite eşitsizlikleri, yalnızca ortopedik bir sorun olmanın ötesinde, büyüme çağındaki bireylerin yaşam kalitesini çok yönlü etkileyen kompleks bir klinik tablodur. Bu durumun yönetimi; büyüme fizyolojisinin, travma biyomekaniklerinin, gelişimsel ortopedinin ve fonksiyonel rehabilitasyonun keşişi-

minde şekillenen multidisipliner bir yaklaşımı zorunlu kılar. Mevcut literatür, farklı tedavi stratejilerinin başarı oranlarını ve komplikasyonlarını detaylı şekilde ele alsa da tedavi algoritmalarının bireyselleştirilmesi gerektiği yönünde ortak bir görüş birliği vardır.^[1,2,10,13,23,34]

Özellikle büyüme plağı hasarının erken tanınması ve doğru sınıflandırılması, olası uzunluk farkının önlenmesinde veya minimize edilmesinde kilit rol oynamaktadır. Salter-Harris sınıflandırmasına dayalı fizyel kırıkların prognoz açısından klinisyenlere önemli ipuçları verdiği bilinmektedir. Ancak bu sınıflamanın her zaman klinik seyri öngöremediği dolayısıyla hastaların yakından izlenmesi gerektiği açıktır.

Tedavi seçenekleri arasında epifizyodez, uzatma osteotomileri ve konservatif uygulamaların her biri kendine özgü avantaj ve sınırlılıklara sahiptir. Cerrahi müdahalelerin zamanlaması ise sıklıkla Moseley ya da multipler gibi tahmin araçlarına dayansa da gerçek klinik pratikte bu araçların tahmin gücü; kemik yaşının heterojenliği, cinsiyet farkları ve fizyolojik büyüme hızındaki bireysel değişkenlik gibi nedenlerle sınırlanabilir. Bu noktada deneyimli klinisyen yargısı ve multidisipliner görüş alışverişi ön plana çıkmaktadır.

Rehabilitasyonun cerrahi süreçle entegrasyonu, komplikasyonları önlemede ve fonksiyonel kazanımları desteklemede kritik öneme sahiptir. Distraksiyon osteogenezi gibi müdahalelerde aktif fizyoterapi uygulanmayan hastalarda, eklem hareket kısıtlılığı, kas atrofisi ve yürüme paterninde kalıcı bozukluklar gelişebilmektedir. Bu nedenle takip protokolleri yalnızca radyolojik değil, fonksiyonel değerlendirmeleri de içermelidir.

Geleceğe yönelik en önemli beklentilerden biri, fizyel hasarın daha erken tanınmasına olanak sağlayacak görüntüleme ve biyobelirteç tabanlı sistemlerin geliştirilmesidir. Moleküler düzeyde fizis metabolizmasını gösteren görüntüleme teknikleri, rejenerasyon kapasitesini öngören biyobelirteçler ve büyüme tahmin algoritmalarına entegre edilmiş yapay zekâ destekli karar sistemleri bu alandaki araştırmaların odak noktasıdır. Ayrıca hasta özgü implant üretimi, robotik cerrahi sistemleri ve uzaktan rehabilitasyon gibi teknolojik yeniliklerin de LLD yönetimine entegre edilmesi beklenmektedir.

SONUÇ

Posttravmatik pediatrik alt ekstremité eşitsizlikleri, çocukluk çağında sık karşılaşılan, tanısı ve tedavisi zamanlama açısından hassasiyet gerektiren, multidisipliner yönetim gerektiren bir durumdur. Erken tanı, doğru sınıflandırma, uygun müdahale ve uzun dönemli izlem döngüsünü içeren sistematik bir yaklaşım gereklidir. Travma sonrası gelişen uzunluk farkları; yalnızca kemik

yapıyı değil, postüral dengeyi, yürüyüş paternini ve çocuğun yaşam kalitesini etkileyen kompleks sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle değerlendirme süreci, sadece radyolojik ölçümlerle sınırlı kalmamalı; fonksiyonel analiz, büyüme potansiyeli hesaplaması ve psikososyal etki de dikkate alınmalıdır.

Tedavi yaklaşımı, farkın miktarına ve çocuğun büyüme evresine göre şekillendirilmeli; konservatif yöntemlerden cerrahi girişimlere kadar olan geniş yelpaze içinde kişiye özel stratejiler geliştirilmelidir. Epifizyodez ve uzatma ve/veya düzeltici osteotomiler gibi cerrahi seçenekler, doğru endikasyon ve zamanlamayla uygulandığında oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Bununla birlikte, bu başarıyı sürdürülebilir kılmak için uzun dönem takip, fizyoterapi ve psikososyal destek şarttır.

Güncel literatür, bireyselleştirilmiş tedavi planlarının, büyüme tahmin modelleri ve teknolojik destekli planlama sistemleriyle desteklendiği bir yaklaşıma işaret etmektedir. Gelecekte moleküler düzeyde tanı araçlarının, yapay zekâ destekli klinik karar sistemlerinin ve hasta merkezli dijital izlem platformlarının bu alandaki yönetimi daha da iyileştirmesi beklenmektedir. Sonuç olarak, posttravmatik LLD, yalnızca ortopedik bir deformite değil; çocuğun bütüncül gelişimini etkileyen, bütünsel bir klinik durum olarak ele alınmalı ve disiplinler arası ortak akılla yönetilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Waters PM, Skaggs DL, Flynn JM. (Çev. Yıldız C). Rockwood ve Wilkins Çocuk Kırıkları, 10. Baskı. Güneş Kitabevleri, 2025.
2. Meyers AL, Taqi M, Marquart MJ. Pediatric physeal injuries overview. 2024. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025.
3. Langer V. Management of major limb injuries. Scientific World Journal 2014;2014:640430. [Crossref](#)
4. Yıldız C. Epifiz Yaralanması. 1. Ulusal Çocuk Ortopedisi Kongresi, Travma III Oturumu. 10-12 Mart 2016, Wyndham Otel, İstanbul.
5. Rickert KD, Hosseinzadeh P, Edmonds EW. What's new in pediatric orthopaedic trauma: The lower extremity. J Pediatr Orthop 2018;38(8):e434-e439. [Crossref](#)
6. Gordon JE, Davis LE. Leg length discrepancy: The natural history (And What Do We Really Know). J Pediatr Orthop 2019;39(Issue 6, Supplement 1 Suppl 1):S10-S13. [Crossref](#)
7. Dahan-Oliel N, Aggarwal A, Nunn T, Cooper AP. What matters to children with lower limb deformities: An international qualitative study guiding the development of a new patient-reported outcome measure. J Patient Rep Outcomes 2021;5(1):30. [Crossref](#)
8. 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](#)

9. Büyükaslan A, Abul K, Berk H, Yılmaz H. Leg length discrepancy and adolescent idiopathic scoliosis: Clinical and radiological characteristics. *Spine Deform* 2022;10(2):307-14. [Crossref](#)
10. Böhm H, Dussa CU. Impact of mild leg length discrepancy on pelvic alignment and gait compensation in children. *Gait Posture* 2025;118:122-9. [Crossref](#)
11. Shim KS. Pubertal growth and epiphyseal fusion. *Ann Pediatr Endocrinol Metab* 2015;20(1):8-12. [Crossref](#)
12. Halanski MA, Wallace MJ, Schipani E, Kronenberg H, Serra R, Nilsson O, et al. The physis: Fundamental knowledge to a fantastic future through research: Proceedings of the AAOS/ORS symposium. *J Pediatr Orthop Soc North Am* 2020;2(2):92. [Crossref](#)
13. Ağirdil Y. The growth plate: A physiologic overview. *EFORT Open Rev* 2020;5(8):498-507. [Crossref](#)
14. Cepela DJ, Tartaglione JP, Dooley TP, Patel PN. Classifications In brief: Salter-Harris classification of pediatric physeal fractures. *Clin Orthop Relat Res* 2016;474(11):2531-7. [Crossref](#)
15. Birch JG, Makarov MR, Jo CH. Ipsilateral healthy-segment response to leg length discrepancy. *J Pediatr Orthop* 2024;44(1):e57-e60. [Crossref](#)
16. Choi WY, Park MS, Lee KM, Choi KJ, Jung HS, Sung KH. Leg length discrepancy, overgrowth, and associated risk factors after a pediatric tibial shaft fracture. 2021;22(1):12. [Crossref](#)
17. Shapiro F. Fractures of the femoral shaft in children. The overgrowth phenomenon. *Acta Orthop Scand* 1981;52(6):649-55. [Crossref](#)
18. Hubbard EW, Liu RW, Iobst CA. Understanding skeletal growth and predicting limb-length inequality in pediatric patients. *J Am Acad Orthop Surg* 2019;27(9):312-9. [Crossref](#)
19. Knutson GA. Anatomic and functional leg-length inequality: A review and recommendation for clinical decision-making. Part I, anatomic leg-length inequality: Prevalence, magnitude, effects and clinical significance. *Chiropr Osteopat* 2005;13:11. [Crossref](#)
20. Kim TG, Park MS, Lee SH, Choi KJ, Im BE, Kim DY, et al. Leg-length discrepancy and associated risk factors after paediatric femur shaft fracture: A multicentre study. 2021;15(3):215-22. [Crossref](#)
21. Wang SI, Jeong HJ, Lim ST, Han YH. Prediction of leg-length discrepancy in pediatric femoral shaft fracture using bone SPECT/CT: A case report. *Medicine* 2023;102(44):e35860. [Crossref](#)
22. Guo J, Feng W, Song B, Zhu D, Wen Y, Wang Q. Femoral shaft fractures in preschool children: External fixation and elastic intramedullary nail treatments in clinical practice. *J Pediatr Orthop B* 2025;34(3):209-17. [Crossref](#)
23. Wynes J, Schupp A. Assessment of pediatric limb length inequality. *Clin Podiatr Med Surg* 2022 Jan;39(1):113-27. [Crossref](#)
24. Aiona M, Do KP, Emara K, Dorociak R, Pierce R. Gait patterns in children with limb length discrepancy. *J Pediatr Orthop* 2015;35(3):280-4. [Crossref](#)
25. Sabharwal S, Kumar A. Methods for assessing leg length discrepancy. *Clin Orthop Relat Res* 2008;466(12):2910-22. [Crossref](#)
26. Rhyou SY, Cho Y, Yoo J, Hong S, Bae S, Bae H, et al. Automatic Lower-Limb Length Measurement Network (A3LMNet): A hybrid framework for automated lower-limb length measurement in orthopedic diagnostics. *Electronics* 2025;14(1):160. [Crossref](#)
27. Park KR, Lee JH, Kim DS, Ryu H, Kim J, Yon CJ, et al. The comparison of lower extremity length and angle between computed radiography-based teleoroentgenogram and EOS® imaging system. *Diagnostics (Basel)* 2022;12(5):1052. [Crossref](#)
28. Yıldız C, Can H, Erdem Y, Sariyılmaz K, Özsezen AM. Kompleks ortopedik problemlerin tedavisinde 3 boyutlu katı modellenmenin tedavi sonuçlarına katkısı. 29. Ulusal Türk Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi, Poster Bildiriler, GO-1/PB - 2. 22-29 Ekim 2019. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2019;53(1):105.
29. Yıldız C, Gemalmaz H, Özsezen AM, Erdem Y. 3D modelleme ve baskı teknolojileri rutin pratikte kullanılabilir mi? *Acta Orthop Traumatol Turc Suppl* 2021:1.
30. Yıldız C, Özsezen M, Sanal HT, Gemalmaz HC. Physeal bar resection planning with magnetic resonance imaging based 3D printing. In: 29th European Research Society Meeting, Abstract Book; 2021; P01.4.
31. Yıldız C. Deformite tedavisinde üç boyutlu modelleme. In: 23rd İlizarov ve Eksternal Fiksasyon Uygulamalı Eğitim Toplantısı; 2024 Mar 1-3; Ortopedia Hastanesi.
32. Lee SC, Shim JS, Seo SW, Lim KS, Ko KR. The accuracy of current methods in determining the timing of epiphysiodesis. *Bone Joint J* 2013;95-B(7):993-1000. [Crossref](#)
33. Breen AB, Steen H, Pripp A, Niratisairak S, Horn J. Accuracy of 4 different methods for estimation of remaining growth and timing of epiphysiodesis. *J Bone Joint Surg Am* 2024;106(20):1888-94. [Crossref](#)
34. Paley D. Principles of Deformity Correction. Springer, Berlin, Heidelberg; 2002. [Crossref](#)
35. Gurney B. Leg length discrepancy. *Gait Posture* 2002;15(2):195-206. [Crossref](#)
36. Widmann RF, Amaral TD, Yildiz C, Yang X, Bostrom M. Percutaneous radiofrequency epiphysiodesis in a rabbit model: A pilot study. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468(7):1943-8. [Crossref](#)
37. Heath MR, Aitchison AH, Schlichte LM, Goodbody C, Cordasco FA, Fabricant PD, et al. Use caution when assessing preoperative leg-length discrepancy in pediatric patients with anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med* 2020;48(12):2948-53. [Crossref](#)
38. Kim TG, Park MS, Lee SH, Choi KJ, Im BE, Kim DY, et al. Leg-length discrepancy and associated risk factors after paediatric femur shaft fracture: A multicentre study. 2021;15(3):215-22. [Crossref](#)
39. Shimizu J, Fujita H, Suzuki T, Okimura S, Yamashita T. Pediatric synovial osteochondromatosis of the knee with leg length discrepancy: A case report. *J Orthop Case Rep* 2024;14(3):39-43. [Crossref](#)