

# Uzatma cerrahisinde güncel literatür ne öneriyor?

## What does the current literature recommend in lengthening surgery?

Muhammed Çağatay Engin<sup>1</sup>, Abdullah Navruz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Erzurum

<sup>2</sup>Darende Hulusi Efendi Devlet Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Malatya

Uzun kemik uzatma yöntemleri, ortopedi ve travmatolojide özellikle ekstremiteler uzunluk farklılıklarının düzeltilmesi, konjenital deformitelerin tedavisi ve travma sonrası gelişen kemik kayıplarının onarımı açısından önemli bir yere sahiptir. Son yıllarda bu alanda kaydedilen gelişmeler, hem teknolojik yenilikler hem de biyolojik süreçlerin daha iyi anlaşılması sayesinde tedavi sonuçlarını belirgin ölçüde iyileştirmiştir. Güncel implant sistemleri ve modern cerrahi yaklaşımlar hem hasta güvenliğini artırmakta hem de iyileşme sürecini hızlandırarak komplikasyon oranlarını azaltmaktadır. Özellikle intramedüller çiviler, geleneksel eksternal fiksasyonlara alternatif olarak öne çıkmakta ve hastaların tedavi sürecini daha konforlu hâle getirmektedir. Bununla birlikte, plak sistemleri ve gelişmiş harici fiksasyonlardaki tasarimsal yenilikler de uzatma işlemlerinin öngörülebilirliğini ve uygulanabilirliğini artırmıştır. Bu ilerlemeler, cerrahların operasyonel başarılarını yükseltirken hastaların yaşam kalitesini de olumlu yönde etkilemektedir. Son on yılda, uzuv uzatma ve konjenital rekonstrüksiyon alanında kaydedilen ilerlemelerin temelinde, kemik biyolojisinin ve metabolik süreçlerin daha ayrıntılı incelenmesi yatmaktadır. Bu sayede hem klinik protokoller daha bilimsel temellere oturtulmuş hem de tedavi seçenekleri çeşitlenmiştir. Günümüzde ise yapay zekâ temelli planlama, robotik destekli cerrahi sistemler ve kişiselleştirilmiş tedavi algoritmaları, bu alanda gelecekte dönüştürücü bir rol üstlenip üstlenmeyeceği merak edilen araştırma konuları arasında yer almaktadır.

**Anahtar sözcükler:** deformite; motorlu internal çivileme; uzuv uzatma; Precice®

Long bone lengthening methods have an important place in orthopedics and traumatology, especially in correcting limb length differences, treating congenital deformities and repairing post-traumatic bone loss. Advances in this field in recent years have significantly improved treatment outcomes, thanks to both technological innovations and a better understanding of biological processes. Current implant systems and modern surgical approaches both increase patient safety and reduce complication rates by accelerating the healing process. In particular, intramedullary nails stand out as an alternative to traditional external fixators and make the treatment process of patients more comfortable. However, design innovations in plate systems and advanced external fixators have also increased the predictability and feasibility of lengthening procedures. These advances increase the operational success of surgeons and positively affect the quality of life of patients. In the last decade, advances in limb lengthening and congenital reconstruction have been driven by more detailed examination of bone biology and metabolic processes. In this way, clinical protocols have been based on more scientific foundations and treatment options have been diversified. Today, artificial intelligence-based planning, robotic-assisted surgical systems and personalized treatment algorithms are among the research topics that are wondered whether they will play a transformative role in this field in the future.

**Key words:** deformity; motorize internal nailing; limb lengthening; Precice®

Uzun kemik uzatma, ortopedi ve travmatoloji alanında özellikle ekstremiteler uzunluk farklılıkları, deformiteler veya travma sonrası kemik kayıplarının tedavisinde önemli bir yer tutar. Son yıllarda bu alanda çeşitli yenilikçi yaklaşımlar ve tedavi yöntemleri geliştirilmektedir. Uzun kemik uzatma tedavileri, teknolojik iler-

lemeler ve yenilikçi yaklaşımlarla daha güvenilir ve konforlu hâle gelmiştir.<sup>[1]</sup> Geliştirilen yeni implantlar ve tedavi yöntemleri, hastaların iyileşme süreçlerini hızlandırmakta ve komplikasyon risklerini azaltmaktadır.<sup>[2]</sup> Özellikle intramedüller çiviler, fiksasyonlara alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemler, hastaların yaşam kalitesini artırarak

tedavi sürecini daha konforlu hâle getirmektedir. Bu alandaki güncel literatür tedavi seçeneklerinin çeşitliliğini ve etkinliğini artırarak, ortopedi pratiğinde önemli bir gelişim göstermektedir.<sup>[3,4]</sup>

## ÜST EKSTREMİTE UZUN KEMİK UZATMA PROSEDÜRLERİ

### Humerus Uzatma

Humerus uzunluk farkı, işlevsel ve estetik açıdan önemli bir etkiye sahiptir. Hastalar günlük yaşam aktivitelerinde bozulma, spor yapmada zorluk veya öz saygıda azalma yaşayabilirler. Uzunluk farkı; multipl ekzostoz, osteomiyelit, travma, epifiz hasarıyla gelişen kısıklık, kemik kistleri veya erken büyüme bozukluğu gibi doğuştan veya sonradan edinilmiş lezyonlardan kaynaklanabilir.<sup>[5,6]</sup>

Humerusta bulunan uzunluk farklarının tedavisi başlangıçta İizarov sirküler çerçeveler, monolateral fiksatorler ve hezapod sirküler çerçevelerle tedavi ediliyordu.<sup>[7]</sup> Ancak eksternal fiksatorlerin kullanımı yumuşak doku problemleri, pin dibi enfeksiyonları, nörovasküler hasar ve eklem kontraktürü gibi komplikasyonların sıklığı nedeniyle sınırlıydı. Son on yılda intramedüller çiviler (*motorized intramedullary bone lengthening nails* Fitbone® and Precice®) ile uzatma popülerlik kazandı.<sup>[3,8]</sup> Bu çiviler başlangıçta daha büyük medüller kanalları nedeniyle femoral ve tibial uzatma için tanıtıldı ve daha sonra humerus için uyarlandı.

Humerus uzatmalarında İizarov ya da monolateral fiksatorlerle motorlu intramedüller çiviler karşılaştırıldığında benzer konsolidasyon indekslerine sahip oldukları bildirilmiştir.<sup>[9]</sup> Aynı şekilde motorlu intramedüller çivilerle harici fiksatorlerin benzer distraksiyon protokolleriyle tedavide kullanıldıkları bildirilmektedir. Her ikisinin de günde dört kez 0,25 mm'ye bölünen 1 mm/gün distraksiyonla etkili olduğu gösterilmiştir.<sup>[9,10]</sup>

Teknik seçiminde hasta konforu, daha düşük enfeksiyon, erken rehabilitasyon avantajlarından dolayı motorize intramedüller çiviler daha ön plana çıkmaktadır.<sup>[11]</sup> Ancak kısıklığa eşlik eden çok düzlemlili deformitelerde veya intramedüller kanalın dar olduğu durumlarda İizarov eksternal fiksatorleri hâlâ güçlü seçeneklerdir.<sup>[2]</sup> Giriş yeri humerus proksimalinden antegrad olarak yapılan çivi uygulamalarında rotator manşet hasarına bağlı olabilecek eklem hareket kısıtlılıklarına dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Aynı zamanda kilitleme vida konumlarının sinir arazi ihtimaline neden olabileceği de dikkat edilmesi gereken önemli durumlardandır.<sup>[12]</sup>

Zamanlama ve hız ayarlanırken latent 5-7 gün sonra 0,75-1,00 mm/gün olarak başlanır; rejenerat kalitesi, ağrı ve eklem hareketlerine göre 0,5 mm/güne düşülebilir.<sup>[4]</sup> Eklem hareket kısıtlılığını en aza indirebilmek için uzatma sırasında erken fizyoterapi önerilmektedir.<sup>[13]</sup>

Komplikasyon yönetiminde; cerrahi girişim ve osteotomi planına anatomik yapıları koruyacak şekilde karar verilmeli, nöropraksi gelişmesi durumunda uzatma hızı azaltılmalı ya da ara verilmelidir. Hastaların uzatma cihazını yanlış kullanımından kaynaklanan sinir arazi, yumuşak doku gerilmeleri ve ağrı gibi komplikasyonları en aza indirmek için eğitimlerinin önemine de değinilmiştir.<sup>[1]</sup> Dirsek ya da omuz ekleminde sertlik oluşması durumunda fizik tedavi agresif ve erkenden başlanarak uygun ortezler kullanılmalıdır.<sup>[13]</sup>

Harici fiksatorlere kıyasla, motorize intramedüller çivilerle daha az çivi yeri enfeksiyonu, daha az yumuşak doku hasarı, daha az ağrı, daha iyi eklem hareketi ve daha fazla hasta konforu olacağı bildirilmiştir.<sup>[1]</sup>

Humerus için uzatma yapılırken; dar kanal ya da epifize yakın osteotomi gerektiren durumlar dışında motorize intramedüller çiviler tercih edilmektedir. Uygun hastalarda daha az enfeksiyon ve daha iyi konfor sağlarken sistematik derlemede komplikasyon oranı %34 olarak bildirilmiştir. Gerçeküstü beklenti yaratmamak adına dikkat edilmesi gerekliliğine dikkat çekilmiştir.<sup>[11]</sup>

### Ulna-Radius Uzatma

Ön kol kemik defektleri travmalar, kalıtsal multipl ekzostoz gibi kemik tümörlerinin eksizyonuna bağlı olarak ya da gelişimsel patolojilerden dolayı ortaya çıkabilmektedir.<sup>[14]</sup> Ön kol kemiklerinde bulunan kısıklıklarda yapılacak uzatma operasyonlarında; dirsek ve el bileği eklemlerinin biyomekaniği, radius başı çıkıkları, distal radioulnar eklem (DRUE) instabiliteleri, nörovasküler yapıların korunması, supinasyon ve pronasyon hareketlerinin korunması gibi dikkat edilmesi gereken çok fazla değişken bulunmaktadır.<sup>[15]</sup> Ön kol uzatmalarında hangi tekniğin kullanılacağı güncel literatüre göre de hâlâ tartışmalı konulardan olmasına rağmen İizarov tekniği en çok tercih edilen yöntemlerdendir.<sup>[15,16]</sup>

Hereditör multipl ekzostoz olgularında sıklıkla ilk tercih olarak ulna uzatma tercih edilmektedir. Radius başı subluksasyonu mevcut olan olgularda erken dönemde uzatmaya başlanan vakaların daha iyi sonuçlandığı bildirilmektedir.<sup>[17]</sup> Ulna ve radiusun eşlik eden açısız deformiteleri de bulunan çok düzlemlili deformitelerinde İizarov ya da hezapod sistemlerle kontrollü düzeltmelerin sağlandığı belirtilmiştir.<sup>[18]</sup>

Zamanlama ve hız ayarlanırken latent dönem yaklaşık yedi gün olarak bildirilmiş ve başlangıçta 1 mm/gün kullanılabilse de yumuşak doku toleransına göre 0,5 mm/güne düşürmek gerekliliği yaygın görüş olarak bildirilmektedir. Pedyatrik yaş grubunda ve sert yumuşak dokusu olan seçilmiş vakalarda 0,25-0,50 mm/gün hızında uzatmanın da daha güvenli olabileceği bildirilmektedir.<sup>[19,20]</sup>

Komplikasyon yönetiminde; uzatma sırasında distal radioulnar eklemde ve radius başında subluksasyon gerçekleştiği durumlarda uzatma hızının azaltılabileceği gerekirse geçici pinleme yapılabileceği de bildirilmektedir.<sup>[21]</sup> İskelet sistemi olgunlaşmamış bazı olgularda ulna uzatmalarının +(5-10) mm daha fazla yapılabileceğine (*overlengthening*) olgu bazlı karar verilmesi gerekliliği vurgulanmaktadır.<sup>[17,21]</sup> Sinir hasarı, aşırı ağrı, parestezi gelişmesi durumlarında uzatmanın hemen durdurulması, geri alınması ya da uzatma hızının düşürülmesi önerilmektedir.<sup>[22]</sup>

Ön kolda çok düzlemli deformitelerde eklem ilişkileri de değerlendirildiğinde İizarov tekniğinin uygulanabilir ve etkili bir alternatif tedavi yaklaşımı olabileceği bildirilmektedir.<sup>[18]</sup>

## ALT EKSTREMİTE UZUN KEMİK UZATMA PROSEDÜRLERİ

### Femur-Tibia Uzatma

Uzuv uzunluğu uyumsuzlukları travmatik veya konjenital nedenlerden dolayı oluşabilir ve sekonder dejeneratif değişikliklere, sırt ağrısına ve aksamalara yol açabilir. Bu sorunlar Precice® veya Fitbone® gibi intramedüller çiviler ya da harici fiksatorler kullanılarak yapılan uzatma yöntemleriyle tedavi edilebilir. İntramedüller çivilerle kıyaslandığında harici fiksatorler geleneksel olarak distraksiyon osteogenezinde kullanılsa da pin dibi enfeksiyonu, eklem sertliği, kas kontraktürü, yanlış hizalanma ve tekrar kırık gibi çeşitli sorunlarla ilişkilendirilmişlerdir.<sup>[23]</sup> İntramedüller çiviler, harici fiksasyon kullanımına kıyasla komplikasyon dereceleri ve yüksek memnuniyet oranı nedeniyle popülerdir. Motorize intramedüller çivilerle yapılan uzatmalarda (Precice®, Fitbone® vb.) eksternal fiksatorlere göre daha az enfeksiyon, daha konforlu takip, femur ve tibiada benzer ya da daha iyi iyileşme indeksleri bildirilmektedir. Fitbone® ve Precice® arasında özellikle femurda yapılan uzatmalarda rejenerat kalitesi ve tam yük verme arasında anlamlı fark bildirilmemiştir.<sup>[24]</sup>

Distraksiyon protokolünde latent dönem hastanın yaşına ve yumuşak doku durumuna göre değerlendirilmekle birlikte 5-7 gün olarak önerilmektedir. Femurda uzatma hızı 1,00 mm/gün (0,25 mm x 4) önerilirken, 50 yaş üzerinde, sigara kullanan hastalarda ve zayıf rejeneratta 0,75 mm/gün önerilmektedir. Tibiada uzatma hızı 0,75 mm/gün gerektiğinde 0,50 mm/gün olarak önerilmektedir. Her iki kemikte de ağrı yumuşak doku toleransının durumuna göre ve eklem hareket kaybı durumlarında veya zayıf kallusta yavaşlatma; aşırı kallus durumlarında özellikle pediatrik yaş grubunda hızlandırma önerilmektedir. Hızlanma ve yavaşlamada değişimler 0,25 mm/gün olarak ayarlanmalıdır.<sup>[23,25]</sup>

Ağrılık verme ve implant çıkarma konusunda motorize intramedüller çivilerde erken tam yüklenme hedeflenmezken Fitbone®-Precice® karşılaştırmalı serilerde tam yük verme zamanı ve rejenerasyon oluşma zamanı karşılaştırılmış ve benzer sonuçlar bildirilmiştir. İmplant çıkarma kararının radyolojik olarak dört korteks iyileşmesinin görüldükten sonra verilmesi önerilmekte ve implantın uzun süre kalmasının komplikasyon oranlarıyla doğru orantılı olmadığı bildirilmektedir.<sup>[26]</sup>

Komplikasyonların yönetiminde; peroneal sinir hasarı, parestezi ya da ağrı durumlarında uzatmayı hemen durdurmak, geri almak veya hızı azaltmak önerilmektedir. Ekinus deformitelerinde öncelikle gelişmemesi için yoğun fizyoterapi, gece ayak bilek ortezi (AFO)/ortez kullanımı, seçilmiş olgularda yumuşak doku gevşetmeleri yapılabileceği bildirilmektedir.<sup>[27]</sup>

*Lengthening over nail/lengthening and then nail* (LON/LATN) gibi çivi üzerinden uzatma yapılan hibrit yöntemler sadece İizarov ile yapılan uzatmalarla kıyaslandığında konsolidasyon indeksleri benzer olmasına rağmen, eksternal fiksator süresi ve pin dibi enfeksiyonları açısından daha avantajlıdır. Bütün bunlara rağmen alt ekstremitelerde deformitelerinde altta yatan enfeksiyon durumlarında, yumuşak doku problemlerinde, çok düzlemli eşlik eden deformitelerde veya segmenter defektlerde İizarov fiksatorleri komplikasyon oranlarına rağmen tek seçenek olmayı korumaktadır.<sup>[28]</sup>

Freischmidt ve ark. 15 hasta üzerinde sekiz hastanın tibia, yedi hastanın femur segment eksizyonu sonrası yaptıkları plak destekli intramedüller motorlu çivileme (*plate-assisted bone segment transport*) ile segment kaydırma yapmışlar ve tibial defektler için tedavi edilen hastalarda, femoral defektler için tedavi edilen hastalara kıyasla önemli ölçüde daha yüksek bir konsolidasyon oranı bildirmişlerdir.<sup>[29]</sup> Lance ve ark. plak destekli dahili kablo-kasnak sistemiyle tedavi ettikleri büyük tibial kemik defekti olan olguda geleneksel yöntemlere göre uzun süreli eksternal fiksasyonla ilişkili morbiditeyi ortadan kaldırırken kademeli kemik taşınmasına izin verdiğini, dâhili makara mekanizmasının kontrollü segment hareketini kolaylaştırdığını, hasta konforunu artırdığını ve pin yeri enfeksiyonu riskini azalttığını bildirmektedirler.<sup>[30]</sup> Bu makaleler, geniş uzun kemik defektlerinin tedavisinde sonuçları iyileştirmek için modern internal tespit yöntemlerini yenilikçi mekanik sistemlerle birleştirmenin potansiyelini vurgulamaktadır.

Onyemelukwe ve ark. yaptıkları çalışmada toplam 60 tibia shaft açık kırığının İizarov çerçeve sistemi ve uzuv rekonstrüksiyon sistemiyle (*limb reconstruction systems*) tedavi edilmeleri sonucunda radyolojik kaynama süreleri, fonksiyonel sonuç-

lar karşılaştırılmış ve anlamlı fark bulunmadığı bildirilmiştir. Açık tibia shaft kırıklarının cerrahi tedavisinde çok yönlü tekniklerin bulunduğuna dikkat çekilmiştir.<sup>[31]</sup>

Reif ve ark. 286 uzatma vakasında yaptıkları retrospektif analizde manyetik internal çivilemeyi; antegrad femur, retrograd femur ve antegrad tibia yöntemleriyle yaptıkları çalışmada *bone healing* indeksleri karşılaştırmışlar ve antegrad femur yöntemini en iyi yöntem olarak bildirmişlerdir. Retrograd femur yaklaşımını antegrad femurdan sonraki daha iyi yöntem ve en yavaş uzatmanın yapıldığı yöntem olarak antegrad tibia yöntemini bildirmişlerdir. Bu çalışmaya göre uzatma hedefine hemen hemen her vakada kabul edilebilir bir revizyon cerrahisi oranıyla ulaşılabileceğine, implant ve prosedürün tam olarak anlaşılmasıyla birçok komplikasyondan kaçınılabileceğine değinilmiştir.<sup>[32]</sup>

Reif ve ark. 63 hastaya yapılan 90 Precice Stryde® çivisinin incelendiği çalışmalarında Stryde® çivisinin femur ve tibia uzatma işlemi sırasında birçok hastaya tam ağırlık taşıma deneyimi sağladığını ancak korozyon, ağrı ve radyografik değişiklikler konusundaki endişelerin implantın geri çağırılmasına yol açtığını bildirmişlerdir. Precice Stryde® çivisinin yüksek oranda radyografik anormalliklerle ilişkilendirilmesine rağmen hastaların bildirdiği semptomlar nadirdir ve implant çıkarılmasıyla düzeldiği ve radyografik değişikliklerin femur kemiğinin iyileşmesini etkilemediğini bildirmişlerdir.<sup>[33]</sup>

Gessmann ve ark. deformite düzeltme ve uzatma cerrahilerinde kullanılan bilgisayar destekli İizarov sistemleri üzerinde güncellenen yazılım ve X-ışını görüntülerinin yazılıma entegre edilmesiyle çalışılabilen kalibrasyon seçeneklerini inceledikleri çalışmalarında dijital olarak ölçülen montaj parametrelerinin hassasiyetinin cerrah tarafından ameliyat sırasında yapılan doğrudan ölçümlere kıyasla oldukça doğru ve güvenilir olduğunu bildirmişlerdir.<sup>[34]</sup>

Wongcharoenwatana ve ark. yaptıkları çalışmada tibial internal uzatma sırasında, proksimal fibulanın vidayla fiksasyonu ile karşılaştırıldığında, bağ ile fiksasyon uygulanan olgularda proksimal tibiofibular eklemden distal göçün daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, diz ekstansiyonu her iki grupta da benzer bulunmuş ve hiçbir hastada diz ağrısı veya gerginlik şikâyeti bildirilmemiştir.<sup>[35]</sup>

Talmaç ve ark.'nın retrospektif çalışmalarında 2022-2024 yılları arasında 18 ergen ve genç erişkin hastanın (tamamı 18 yaşından küçük), 24 ekstremitesinde manyetik kontrollü uzatma çivileriyle yaptıkları uzatma cerrahilerinin sonuçlarında; uzatma parametreleri, rejenerasyon morfolojisi, komplikasyon oranları ve gruplar

arası karşılaştırmalar analiz edilmiş ve manyetik çiviyle yapılan uzatmaların daha genç hastalarda daha sık tercih edilebilecek bir yöntem olduğunu bildirmişlerdir.<sup>[36]</sup>

Bocchi ve ark. 14 akondroplazili hastada 28 tibia uzatması yapmış oldukları retrospektif çalışmada, hastaları iki gruba ayırarak: Grup A'ya açısız deformitesi olmayan ve bu nedenle yalnızca kozmetik bilateral tibial uzatma uygulanan hastaları dâhil etmişler, grup B'ye kozmetik uzatma ve eş zamanlı olarak hekapod harici fiksatorle bilateral multiplanar tibial deformite düzeltmesi uygulanan hastaları dâhil etmişler. Elde edilen distraksiyon, harici fiksator indeksi ve konsolidasyon indeksi hesaplanmış ve iki grup için karşılaştırdıklarını bildirmişlerdir. En son teknolojiye sahip uzatma cihazlarına rağmen, standart veya hekapod konformasyonunda dairesel eksternal fiksatorlerin, akondroplazide erken tibia ve fibula uzatmasında şu anda altın standart olarak kaldığını düşündüklerini ve gerektiğinde hekapod eksternal fiksatorün, uzatma işlemine devam ederken aynı zamanda ciddi deformitelerin başarılı bir şekilde ayrıntılı olarak düzeltilmesine olanak sağladığını bildirmişlerdir.<sup>[37]</sup> Allegri ve ark. 16 akondroplazili pediatrik hasta üzerinde yaptıkları çalışmada vosoritid ilacıyla medikal tedavisi ve uzuv uzatma cerrahilerinin kombinasyonlarında yapılan ilk klinik çalışma olmakla birlikte, birbirlerini tamamlayıcı rolleri olduğu bildirilmiş ve benzer kombinasyonlar üzerinde çalışmalar yapılabileceğine dikkat çekilmiştir.<sup>[38]</sup>

Tarihsel olarak, küçük çocuklarda femoral uzatma için mevcut cerrahi seçenekler arasında eksternal fiksator ya da ekstremiteler yerleştirilen intramedüller cihazlar yer almaktadır. Bu cihazlar küçük vaka serilerinde başarıyla uygulanmış olsa da tasarımları itibarıyla bu amaç için geliştirilmemiştir. Silindirik şekilleri, uzak fiksasyon noktaları ve küçük, kilitlenmeyen vidalar nedeniyle biyomekanik açıdan dezavantajlıdır ve distraksiyon sürecinde konsol bükülmesine yatkındır. Dahl ve ark. çalışmalarında manyetik uzatma plaklarının doğrudan femoral uzunluk eşitsizliklerinde (3,3-4,4 cm) orta düzeyde uzuv uzatmasını mümkün kıldığını ve komplikasyon oranlarının herhangi bir modern teknik veya implantla karşılaştırılabilir düzeyde olduğunu göstermişlerdir.<sup>[39]</sup>

Motorlu uzatma çivilerinin çeşitli çalışmalarda pediatrik alt ekstremiteler uzatmalarında yüksek hasta memnuniyetiyle güvenilir ve doğru sonuçlar sağladığı bildirilmektedir. Bununla birlikte, yakın ameliyat sonrası takip zorunluluğuna ek olarak titiz hasta seçimi ve ameliyat öncesi planlamayı gerektiren komplikasyonlar hâlen görülebilmektedir. Özellikle pediatrik hastalarda tibial internal uzatmalarda komplikasyon oranlarının, femoral internal uzatmalara kıyasla daha yüksek olduğu bildirilmiştir.<sup>[40]</sup>



İskeletsel olgunluğa ulaşmamış hastalarda fizis hasarı riski, tibial ve retrograd femoral çivilerin kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu hasta grubunda antegrad femoral çiviler trokanterik giriş noktası aracılığıyla uygulanabilmektedir ancak femur başında avasküler nekroz gelişimini önlemek açısından kesin yaş sınırı hâlen net olarak tanımlanmamıştır. Nitekim 7-18 yaş aralığında toplam 131 hastayı kapsayan beş çalışmanın sistematik incelemesinde trokanterik giriş kullanılarak gerçekleştirilen femoral uzatmalarda femur başı nekrozuna ait radyografik veya klinik bulgulara rastlanmamıştır.<sup>[41,42]</sup> Daha küçük yaştaki olgularda ise intramedüller uzatma çivilerinin, intramedüller kullanımından farklı olarak ekstramedüller kullanımı sayesinde dört yaş kadar küçük hastalarda bile internal femoral uzatma işlemlerinin uygulanabildiği bildirilmiştir.<sup>[39,43]</sup>

Pediyatrik yaş grubunda femur yeterli gelişime ulaştığında, diyafiz içine yerleştirilmesinin sağladığı stabilite sayesinde antegrad trokanterik çiviyle uzatma, üstün bir seçenek olarak doğrulanmaktadır. Bununla birlikte, trokanterik girişli çivileme için önerilen minimum yaş hâlen tartışmalıdır ancak bazı çalışmalarda güvenli alt sınırın dokuz yaş olduğu bildirilmiştir.<sup>[44]</sup>

Georgiadis ve ark. pediyatrik hastalar üzerinde motorize plakla gerçekleştirilen uzatma uygulamasında, açısal deformitelere karşı belirgin direnç gösterilmiş ancak bu deformiteler tamamen ortadan kaldırılamamıştır. Bununla birlikte, daha az sayıda ve geniş aralıklarla yerleştirilen kilitlenmeyen fiksasyon noktalarına sahip uzatma çivilerinin ekstramedüller kullanımına kıyasla üstün bulunmuştur. Cihaz, açısal stabiliteyi artırmak amacıyla 4,5 mm'lik kilitleme vidaları kullanmakta olup hacimsel özellikleri nedeniyle tipik intramedüller çivilere kıyasla (ortalama bir yıl) daha erken, ortalama yedi ayda çıkarılmıştır. Yazarlar, femur kemiğinin rejeneratif sürecinin henüz tam olgunlaşmamış olması ve daha geniş çaplı vida deliklerinin varlığı nedeniyle kırık riskinin yüksek olabileceğini ileri sürmüştür. Bu nedenle, implant çıkarmı sırasında intramedüller koruma amacıyla intramedüller bir çubuk kullanılmıştır.<sup>[45]</sup>

## SONUÇ

Uzun kemik uzatma yöntemleri, son yıllarda geliştirilen modern cerrahi teknikler ve implant teknolojileri sayesinde ortopedide güvenilirliği ve etkinliği artan bir tedavi yaklaşımı hâline gelmiştir. Üst ve alt ekstremitte deformitelerinde, hem fonksiyonel iyileşme hem de estetik tatmin sağlaması nedeniyle klinik uygulamalarda giderek daha geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. İntramedüller motorize çiviler, hasta konforunu artırmaları, enfeksiyon riskini azaltmaları ve erken mobilizasyona olanak sağla-

malarıyla ön plana çıkarken; çok düzlemli deformiteler veya dar kanal varlığında eksternal fiksatörler hâlen güçlü bir alternatif olarak değerini korumaktadır.

Sonuç olarak, uzun kemik uzatma cerrahisi multidisipliner bir yaklaşım, dikkatli hasta seçimi ve bireyselleştirilmiş tedavi protokolleri gerektirmektedir. Teknolojik yeniliklerin ve biyolojik süreçlere dair artan bilgilerin ışığında, bu alanda hasta güvenliği ve fonksiyonel sonuçlar açısından önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Gelecekte yapay zekâ destekli planlama, robotik sistemler ve biyolojik ajanlarla kombinasyonlar sayesinde daha öngörülebilir, güvenli ve hasta odaklı tedavi seçeneklerinin geliştirilmesi beklenmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Morrison SG, Georgiadis AG, Dahl MT. Lengthening of the humerus using a motorized lengthening nail: A retrospective comparative series. *J Pediatr Orthop* 2020;40(6):e479-e486. [Crossref](#)
2. García López JM, García de la Blanca JC, Martí Ciruelos R, Núñez Ligeró G. Bilateral humeral lengthening and deformity correction with hexapod external fixator in an achondroplastic patient: A case report. *Int J Surg Case Rep* 2024;123:110285. [Crossref](#)
3. Frost MW, Rahbek O, Traerup J, Ceccotti AA, Kold S. Systematic review of complications with externally controlled motorized intramedullary bone lengthening nails (FITBONE and PRECICE) in 983 segments. *Acta Orthop* 2021;92(1):120-7. [Crossref](#)
4. Kadhim M, Herzenberg JE. Staged humerus lengthening with monolateral fixation followed by a circular frame: Technique of fixator change. *J Limb Lengthening Reconstr* 2018;4(2):111-4. [Crossref](#)
5. Cattaneo R, Catagni MA, Guerreschi F. Applications of the Ilizarov method in the humerus. Lengthenings and nonunions. *Hand Clin* 1993;9(4):729-39. [Crossref](#)
6. Tetsworth K, Krome J, Paley D. Lengthening and deformity correction of the upper extremity by the Ilizarov technique. *Orthop Clin North Am* 1991;22(4):689-713. [Crossref](#)
7. Al-Sayyad MJ. Taylor spatial frame in the treatment of upper extremity conditions. *J Pediatr Orthop* 2012;32(2):169-78. [Crossref](#)
8. Rozbruch SR, Birch JG, Dahl MT, Herzenberg JE. Motorized intramedullary nail for management of limb-length discrepancy and deformity. *J Am Acad Orthop Surg* 2014;22(7):403-9. [Crossref](#)
9. Galal S, Shin J, Principe P, Mehta R, Khabyeh-Hasbani N, Hamilton A, et al. Humerus lengthening: A comparison of the internal lengthening nail to external fixation. *HSS J* 2021;17(2):207-12. [Crossref](#)
10. Tellisi N, Ilizarov S, Fragomen AT, Rozbruch SR. Humeral lengthening and deformity correction in Ollier's disease: Distraction osteogenesis with a multiaxial correction frame. *J Pediatr Orthop B* 2008;17(3):152-7. [Crossref](#)

11. Lorange JP, Alamiri N, Marwan Y, Alshammari A, Hamdy RC, Bernsteine M. Humerus lengthening with a motorized intramedullary nail: A systematic review of outcomes and complications. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 2022;17(3):165-71. [Crossref](#)
12. Euler SA, Hengg C, Kolp D, Wambacher M, Kralinger F. Lack of fifth anchoring point and violation of the insertion of the rotator cuff during antegrade humeral nailing: Pitfalls in straight antegrade humeral nailing. *Bone Joint J* 2014;96-B(2):249-53. [Crossref](#)
13. Fürmetz J, Kold S, Schuster N, Wolf F, Thaller PH. Lengthening of the humerus with intramedullary lengthening nails-preliminary report. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 2017;12(2):99-106. [Crossref](#)
14. Ahmed AARY. Gradual ulnar lengthening by an Ilizarov ring fixator for correction of Masada IIB forearm deformity without tumor excision in hereditary multiple exostosis: Preliminary results. *J Pediatr Orthop B* 2019;28(1):67-72. [Crossref](#)
15. Liu Y, Yushan M, Liu Z, Liu J, Ma C, Yusufu A. Treatment of diaphyseal forearm defects caused by infection using Ilizarov segmental bone transport technique. *BMC Musculoskelet Disord* 2021;22(1):36. [Crossref](#)
16. Zhu Y, Pan Z, Cui X, Quan C, Wang J, Zhang W, et al. Effectiveness of Ilizarov technology for infected forearm nonunion. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi* 2016;30(12):1457-61.
17. Wang S, Herman B, Wu Y, Lei M, Mutasa B, Hong P, et al. Ulnar lengthening for children with forearm deformity from hereditary multiple exostoses: A retrospective study from a tertiary medical center. *BMC Pediatr* 2024;24(1):585. [Crossref](#)
18. Hamiti Y, Yalikun A, Lu C, Yusufu A, Yushan M. Ilizarov technique in the treatment of bone defects of the radius and ulna: A systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res* 2023;18(1):642. [Crossref](#)
19. Chomiak J, Ošťádal M, Frydrychová M, Dungal P. Lengthening of the ulna by callotaxis in children with multiple hereditary exostoses: Comparison of methods with and without internal fixation. *J Child Orthop* 2021;15(4):378-87. [Crossref](#)
20. Hill RA, Ibrahim T, Mann HA, Siapkara A. Forearm lengthening by distraction osteogenesis in children: A report of 22 cases. *J Bone Joint Surg Br* 2011;93(11):1550-5. [Crossref](#)
21. Li Y, Wang Z, Chen M, Cai H. Gradual ulnar lengthening in Masada type I/IIb deformity in patients with hereditary multiple osteochondromas: A retrospective study with a mean follow-up of 4.2 years. *J Orthop Surg Res* 2020;15(1):594. [Crossref](#)
22. Kliushin NM, Stepanenko P, Mekki WA. Treatment of forearm diaphyseal defect by distraction compression bone transport and continued distraction for radial head reduction: A case study. *Chin J Traumatol* 2019;22(5):304-7. [Crossref](#)
23. Cosic F, Edwards E. PRECICE intramedullary nail in the treatment of adult leg length discrepancy. *Injury* 2020;51(4):1091-6. [Crossref](#)
24. Calder P, Robertson A, Tissingh EK, Wright J, Goodier D. Fitbone vs precice: Is there a difference in regenerate healing? *Strategies Trauma Limb Reconstr* 2024;19(3):156-60. [Crossref](#)
25. Hosny GA. Limb lengthening history, evolution, complications and current concepts. *J Orthop Traumatol* 2020;21(1):3. [Crossref](#)
26. Wongcharoenwatana J, Rozbruch SR, Fragomen A, Reif TJ. When is it safest to remove motorized internal lengthening nails after treatment completion? *J Limb Lengthening Reconstr* 2025;11(1):27-32. [Crossref](#)
27. Tan F, Yang C, Zeng J, Li J, Li P, Qiao Y, et al. A systematic review and meta-analysis: Comparing the efficacy of the Ilizarov technique alone with lengthening over a nail for lower extremity bone defects. *BMC Musculoskelet Disord* 2024;25(1):699. [Crossref](#)
28. Farsetti P, De Maio F, Potenza V, Efremov K, Marsiolo M, Caterini A, et al. Lower limb lengthening over an intramedullary nail: A long-term follow-up study of 28 cases. *J Orthop Traumatol* 2019;20(1):30. [Crossref](#)
29. Freischmidt H, Guehring T, Thomé P, Armbruster J, Reiter G, Grützner PA, et al. Treatment of large femoral and tibial bone defects with plate-assisted bone segment transport. *J Orthop Trauma* 2024;38(5):285-90. [Crossref](#)
30. Lance D, Morpeth B, Faith H, Nougaisse J, Davis JM, Blair JA. Massive tibial defect treated with plate-assisted bone segment transport and a novel internal cable-pulley system. *Strategies Trauma Limb Reconstr* 2024;19(2):118-24. [Crossref](#)
31. Onyemelukwe MF, Okunola MO, Owoola AM, Oladiran AB, Adeoye-Sunday II, Anejukwo AA, et al. Comparative outcome study of the management of open tibia shaft fractures using Ilizarov frame fixator and linear rail system at University College Hospital, Ibadan, Nigeria. *Int Orthop* 2025;49(8):1973-80. [Crossref](#)
32. Reif TJ, Khabyeh-Hasbani N, Buksbaum J, Sheridan GA, Hoellwarth JS, Fragomen AT, et al. Bone healing index and complications of a magnetic internal lengthening nail: A retrospective series of 286 bone lengthening events. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev* 2025;9(6):e25.00118. [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. Gessmann J, Frieler S, Königshausen M, Schildhauer TA, Hanusrichter Y, Seybold D, et al. Accuracy of radiographic measurement techniques for the Taylor spatial frame mounting parameters. *BMC Musculoskelet Disord* 2021;22(1):284. [Crossref](#)
35. Wongcharoenwatana J, Hoellwarth JS, Greenstein MD, Reif TJ, Fragomen AT, Rozbruch SR. Comparative fixation devices for preventing migration of the proximal tibiofibular joint during tibial lengthening: A tether versus screw fixation. *J Orthop Surg Res* 2023;18(1):298. [Crossref](#)
36. Talmaç MA, Civan M, Mendes E. Clinical and radiological outcomes of magnetically controlled intramedullary lengthening nails in adolescents and young adults: A retrospective cohort study. *J Orthop Surg Res* 2025;20(1):592. [Crossref](#)

37. Bocchi MB, Palmacci O, Vitiello R, Giuli C, Ziranu A, Maccauro G. Comparison of bilateral tibial lengthening with circular external fixator and simultaneous deformity correction with hexapod external fixator in Achondroplasia. *Eur J Med Genet* 2025;75:105017. [Crossref](#)
38. Allegri AEM, Bedeschi MF, Bocchi MB, Camurri V, Gonfiantini MV, Leoni C, et al. Integrating vosoritide therapy with limb surgery in paediatric patients with achondroplasia: Real-life experiences. *Orphanet J Rare Dis* 2025;20(1):369. [Crossref](#)
39. Dahl MT, Morrison SG, Laine JC, Novotny SA, Georgiadis AG. Extramedullary motorized lengthening of the femur in young children. *J Pediatr Orthop* 2020;40(10):e978-e983. [Crossref](#)
40. Alonso-Hernández J, Galán-Olleros M, Miranda-Gorzarri C, Egea-Gámez RM, Palazón-Quevedo Á. Two-stage bone lengthening with reuse of a single intramedullary telescopic nail in patients with achondroplasia. *J Pediatr Orthop* 2022;42(6):e616-e622. [Crossref](#)
41. Tomaszewski R, Wiktor Ł, Kler J, Pethe K, Gap A. Results of femoral elongation treatment using electromagnetic intramedullary nail. Preliminary report. *Ortop Traumatol Rehabil* 2020;22(3):173-9. [Crossref](#)
42. Iliadis AD, Palloni V, Wright J, Goodier D, Calder P. Pediatric lower limb lengthening using the PRECICE nail: Our experience with 50 cases. *J Pediatr Orthop* 2021;41(1):e44-e49. [Crossref](#)
43. Iobst CA, Bafor A. Retrograde extramedullary lengthening of the femur using the PRECICE nail: Technique and results. *J Pediatr Orthop* 2021;41(6):356-61. [Crossref](#)
44. Radler C, Mindler GT, Stauffer A, Weiß C, Ganger R. Limb lengthening with precice intramedullary lengthening nails in children and adolescents. *J Pediatr Orthop* 2022;42(2):e192-e200. [Crossref](#)
45. Georgiadis AG, Gannon NP, Dahl MT. Motorized plate lengthening of the femur in children: A preliminary report. *J Pediatr Orthop* 2022;42(10):e987-e993. [Crossref](#)