

Motorize intramedüller çivi ile uzuv uzatma cerrahisi

Limb lengthening surgery using a motorized intramedullary nail

İlhan Sulejmani¹, Halil İbrahim Balcı²

¹Ataköy Medicana Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul

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

Uzuv uzatma cerrahileri, özellikle İlizarov'un 1950'lerde tanımladığı "Distraksiyon Osteogenezis" yöntemiyle yaygınlaşmış ve gelişmiştir. Ancak geleneksel yöntemlerin komplikasyonları ve hasta konforundaki zorluklar, daha az komplikasyonlu, hasta memnuniyetini artıran tekniklerin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Bu süreçte intramedüller çiviyle yapılan uzatma teknikleri öne çıkmıştır. Özellikle motorize sistemlerin kullanımıyla cerrahi süresi kısalmış, komplikasyonlar azalmış ve hasta memnuniyeti artmıştır.

Anahtar sözcükler: uzuv uzatma cerrahisi; motorize çivi; intramedüller uzatma cerrahisi

Limb lengthening surgeries have become more popular, particularly following the introduction of the "Distraction Osteogenesis" concept by Ilizarov in the 1950s. However, the complications associated with conventional techniques and the challenges faced by patients have necessitated the development of innovative surgical methods with fewer complications and improved patient satisfaction. Meanwhile, intramedullary nail-based lengthening techniques developed. Especially with the advent of motorized systems, surgical time has been reduced, complications minimized, and patient satisfaction significantly improved.

Key words: limb lengthening surgery; motorized nail; intramedullary lengthening surgery

Konvansiyonel İlizarov yöntemi ve intramedüller çivi üzerinden eksternal fiksatorle yapılan uzatma cerrahileri uzun yıllardır uygulanmakta ve etkinlikleri bilinmektedir. Özellikle çivi üzerinden eksternal fiksatorle yapılan uzatma cerrahisi fiksator kalış süresini azaltmış, sağladığı stabiliteyle tercih edilir hâle gelmiştir. Ancak fiksatörden tamamen kurtulma fikri farklı teknolojileri geliştirme konusunda teşvik edici olmuştur. İntramedüller çivi üzerinden motorize sistemle uzatma teknikleri geliştirilmiş olup hem cerrahi uygulama süresi hem de karşılaşılan komplikasyonlar daha aza indirgenmiştir. Bu sayede cerrahi daha kolay uygulanabilir hâle gelmiş ve hasta memnuniyeti belirgin olarak artmıştır.^[1,2] Bu derlemede gelişmeler, kabul görmüş çiviler ve teknolojileri tartışılacaktır.

ALBIZZIA® MOTORİZE İNTRAMEDÜLLER ÇİVİ

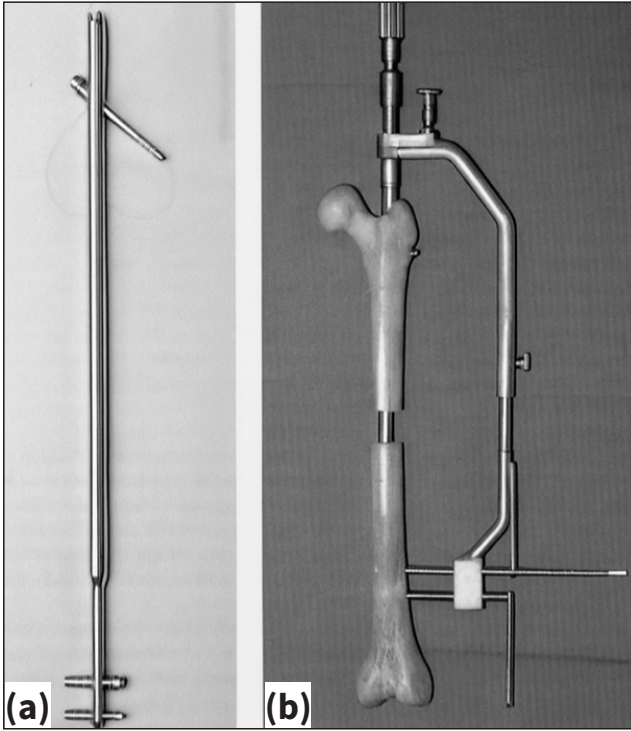
Uzatma cerrahisi alanında eksternal fiksator sistemlerine alternatif olarak geliştirilen ilk motorize intramedül-

ler çivilerden biridir. 1990'lı yıllarda Fransa'da geliştirilmiş olan bu sistem, daha sonra geliştirilecek olan manyetik veya elektrikli sistemlerin öncüsü niteliğindedir. Albizzia çivisi titanyum alaşımından üretilmiş, iç içe geçen iki segmentten oluşan, mekanik olarak aktiflenen bir sistemdir (Şekil 1). Uzama mekanizması, hastanın uyluk veya tibia-sında aktif internal-rotasyon ve eksternal-rotasyon hareketi yaptırarak çivinin iç mekanizmasını aktive etmesiyle çalışır. Her tam rotasyon manevrası yaklaşık 1 milimetre (mm)'lik uzama sağlar. Günlük hedeflenen uzama genellikle 1 mm olup hasta uzatma manevrasını gün boyunca birkaç kez tekrarlamak zorundadır. Bu süreçte hasta eğitimi ve uyumu kritik öneme sahiptir. Erken dönemde ağrı ve hareket kısıtlılığı nedeniyle rotasyon manevralarının yapılamaması, tedaviyi etkilemektedir (Şekil 1). Eksternal fiksator kullanımına gereksinim olmaması, yumuşak doku komplikasyonlarının azalması, estetik açıdan daha kabul edilebilir olması önemli avantajlarındandır. Rotasyon manevralarının ağırlı ve zorlayıcı olması, uzama sırasında

İletişim / Contact: Prof. Dr. Halil İbrahim Balcı • **E-posta / E-mail:** balcihalili@gmail.com

ORCID ID: İlhan Sulejmani, 0000-0002-0715-5772 • Halil İbrahim Balcı, 0000-0001-7472-2901

Geliş / Received: 8 Eylül 2025 • **Revizyon / Revised:** 19 Ekim 2025 • **Kabul / Accepted:** 21 Ekim 2025



Şekil 1.a,b. Albizzia çivi görünümü (a), çivinin plastik femur maketine uygulanmış hâli görülmektedir (b).^[3]

mekanik takılma riskinin bulunması dezavantajları olarak sıralanabilmektedir.

Klinik değerlendirme olarak literatürde Albizzia çivisiyle yapılan uzatma cerrahilerinde ortalama 3-5 santimetre (cm)'lik uzama başarıyla sağlanabilmektedir. Ancak ağrı, manevra başarısızlığı ve mekanik problemler gibi nedenlerle sistemin kullanımı zamanla azalmıştır. Daha sonra geliştirilen *intramedullary skeletal kinetic distractor* ISKD, Fitbone® ve özellikle manyetik kontrollü Precice® sistemleriyle bu problemler büyük oranda aşılmıştır.

Sonuç olarak Albizzia® çivisi, motorize intramedüller uzatma sistemlerinin tarihsel gelişiminde önemli bir kilometre taşıdır. Günümüzde rutin kullanımda olmasa da, fiksatörsüz uzatma fikrinin temellerini atan bu sistem, daha gelişmiş ve hasta dostu teknolojilerin önünü açmıştır.^[3]

INTRAMEDULLARY SKELETAL KINETIC DISTRACTOR (ISKD) ile UZATMA CERRAHİSİ

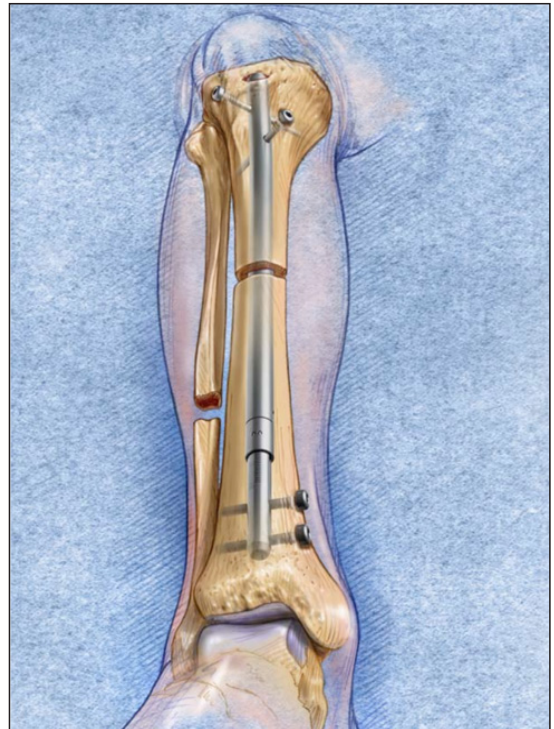
Intramedüller uzatma sistemlerinin evriminde önemli bir basamak olan ISKD®, eksternal fiksatöre gerek kalmaksızın uzatma yapılmasını mümkün kılan ilk kinetik sistemlerden biridir. 2001 yılında *OrthoFix* tarafından geliştirilen ISKD çivisi, rotasyonel kinetik enerjiyle çalışan, intramedüller bir çividir.^[4]

ISKD çivisi, iç içe geçmiş iki metal segmentten oluşur. Uzama, hastanın doğal ekstremitte hareketleri sırasında oluşan dönme kuvvetleriyle aktive olan bir klikleme mekanizması aracılığıyla sağlanır. Her hareketle birlikte çivi belirli bir miktarda uzar. Sistem, dış kontrol gerektirmez ve tamamen hasta hareketlerine bağımlıdır (Şekil 2).

Bu teknik beraberinde eksternal fiksatör ihtiyacının ortadan kalkması, minimal cilt sorunları ve enfeksiyon görülme sıklığının azalması ile ön plana çıkmıştır.

Ancak erken dönemde yetersiz veya aşırı uzama gibi kontrolsüz durumlarla karşılaşılabilir.

ISKD ile ilgili yapılan birçok çalışmada, hedeflenen uzama miktarına ulaşılabildiği ancak uzama hızının kontrolünde ciddi sorunlar yaşandığı bildirilmiştir.^[5] Aşırı uzama (*runaway nail*), yetersiz uzama veya tamamen mekanik kilitlenme en sık karşılaşılan problemler arasındadır. Özellikle pediatrik hastalarda kontrolsüz uzama, yumuşak doku gerginliği ve sinir komplikasyonlarına neden olabilmektedir. Dezavantajları uzama hızının kontrolünün zor olması, aşırı veya yetersiz uzama riskleri, dış kontrol mekanizmasının bulunmamasıdır.



Şekil 2. Orthofix firması tarafından geliştirilen ISKD çivisi, tibal uygulama illüstrasyonu. (https://www.rch.org.au/uploadedFiles/Main/Content/ortho/ISKD_Tibia.pdf.)

Burghardt ve ark., ISKD ile 24 femur uzatma vakasını değerlendirdikleri çalışmada, hastalarda aşırı uzama nedeniyle cerrahi revizyon gerektiğini raporlamıştır.^[6] Bu nedenlerle sistem zaman içinde yerini manyetik kontrollü çivilere bırakmıştır.

Sonuç olarak ISKD, motorize intramedüller uzatma sistemlerinin gelişiminde önemli bir adımdır. Ancak kontrolsüz uzama riski ve dış müdahale imkânının olmayışı, klinik uygulamalar açısından ciddi sınırlılıklar doğurmuştur. Bununla birlikte, tarihsel olarak sistemin öncülüğü ve eksternal fiksatörsüz uzatma fikrine katkısı büyüktür.

FITBONE® MOTORİZE İNTRAMEDÜLLER ÇİVİ İLE UZATMA CERRAHİSİ

Fitbone® sistemi, tamamen vücut içine yerleştirilen ve dışardan tele bağlı alıcıyla kontrol edilen motorize bir intramedüller çivi teknolojisidir (Şekil 3). Almanya’da Witten’de geliştirilen bu sistem, uzatma cerrahisinde hasta konforunu artırmak ve eksternal fiksator kaynaklı komplikasyonları ortadan kaldırmak amacıyla tasarlanmıştır. Fitbone® çivisi, elektrik motoruyla çalışan iç mekanizmaya sahiptir. Uzatma, deri altına yerleştirilen bir alıcı cihaz aracılığıyla dış üniteden gönderilen sinyallerle gerçekleştirilir. Hasta, günlük olarak belirlenen miktarda uzamayı, evde kullanılan dış kontrol ünitesi ile kendi kendine uygular. Çivi, femur veya tibia içerisine intramedüller olarak yerleştirilir.

Fitbone® ile yapılan uzatma cerrahilerinde, literatürde genellikle 4-8 cm arasında başarılı uzama sağlandığı bildirilmiştir. Tamamen internal sistem olması, düşük enfeksiyon riski, hasta konforunun yüksek olması ve mekanizma kontrollü olduğundan, uzama hızı ve süresi oldukça güvenlidir. Komplikasyon oranı eksternal fiksatöre göre daha düşüktür. Bununla birlikte, mekanik arızalar, alıcı cihazın yerinden oynaması veya kablo bağlantı problemleri gibi teknik sorunlar görülebilmektedir.^[7] Yüksek maliyeti, cihazın temini ve teknik destek gerekliliği, diğer önemli dezavantajları olarak sıralanabilmektedir. Çivinin anatomik eğiminin (*bowing*) olmaması, travma çivisine alışık cerrahlar için başlarda sorun yaşanmasına neden olmuştur. Ayrıca deformitesi olan hastalarda çivinin yönlendirilmesi için kullanılan kanüle rijit oyuncaklar yine bu çivi ile popülerize olmuştur. Önceden kullanımları sorun olan bu aparatlar bu teknolojilerin gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla bir sonraki nesil çivilerin kullanımını kolaylaştırmıştır (Şekil 3).

Tulieres ve ark., Fitbone® ile yapılan 34 olguluk seride ortalama 5,2 cm uzama sağlandığını ve %90 oranında hastaların fonksiyonel olarak tam mobilizasyon kazandığını bildirmiştir.^[8] Krieg ve ark. ise pediatrik ve adolesan yaş grubunda Fitbone® kullanımının güvenli olduğunu



Şekil 3. Orthofix firması tarafından geliştirilen Fitbone® intramedüller motorize çivi. Orthofix resmi internet sayfasından, Fitbone® intramedullary lengthening system control set kullanım kılavuzundan alınmıştır (https://abscon.orthofix.it/resources/PQ_FBP.pdf)

ancak büyüme kıkırdığının korunmasına dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.^[9] Bu tür rijit çiviler anatomik olmadıklarından her anatomiye kullanımları zordur. Hastanın ameliyat öncesi filmlerinin agredizmanlı olarak çekilmesi ve ameliyat öncesi cerrahi planlama önemlidir. Olesen *end point first* yöntemini popüler hâle getirmiş ve özellikle femur uzatmalarında uzatmaya bağlı oluşabilecek deformitelerin önceden engellenmesini sağlamıştır.^[10]

Teknik bilgi ve tecrübe gerektirmesi nedeniyle uygulaması sınırlı merkezlerde yapılmaktadır. Firma bu cihazın kullanılması için sertifika alınmasını mecbur hâle getirmiştir. Bu çiviyle benzerlik gösteren yeni nesil çivi bu yazı yayımlandığı sırada ülkemizde kullanıma sunulacaktır.

PRECICE® MANYETİK MOTORİZE İNTRAMEDÜLLER ÇİVİ İLE UZATMA CERRAHİSİ

Bu yöntem intramedüller çivi üzerinden uzatmaya olanak sağlamaktadır. Çivi üzerindeki manyetik güdüm sistemiyle oluşan güç sayesinde, iç içe geçmiş teleskopik rod sistemi birbirini itmekte ve proksimal, distal kilitleri olan rodlar birbirinden uzaklaşırken kemik yapıyı da distrakte etmektedirler. Hastanın kendi kendine dışarıdan cihazla

uzatmaya olanak sağlaması yapılan uzatmanın bu sayede takip edebilmesi de getirdiği önemli yeniliklerdendir. Ayrıca bu çivi anten alıcısına ihtiyaç duymamaktadır.

Precice® intramedüller bacak uzatma sistemi, NuVasive Ellipse Technologies Inc., CA, Amerika Birleşik Devletleri, tarafından geliştirilmiş olup 2011 yılında birinci, 2013 yılında ikinci jenerasyonu tasarlamış ve Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi onayını aldıktan sonra, bu cerrahi tekniği ilk olarak ABD’de Dr. Dror Paley tarafından başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Precice®, aynı zamanda ilk uzaktan kontrol edilebilen ileri ve geri çalışma prensibine sahip, kompresyon ve distraksiyona olanak veren ilk internal tespittir.^[11]

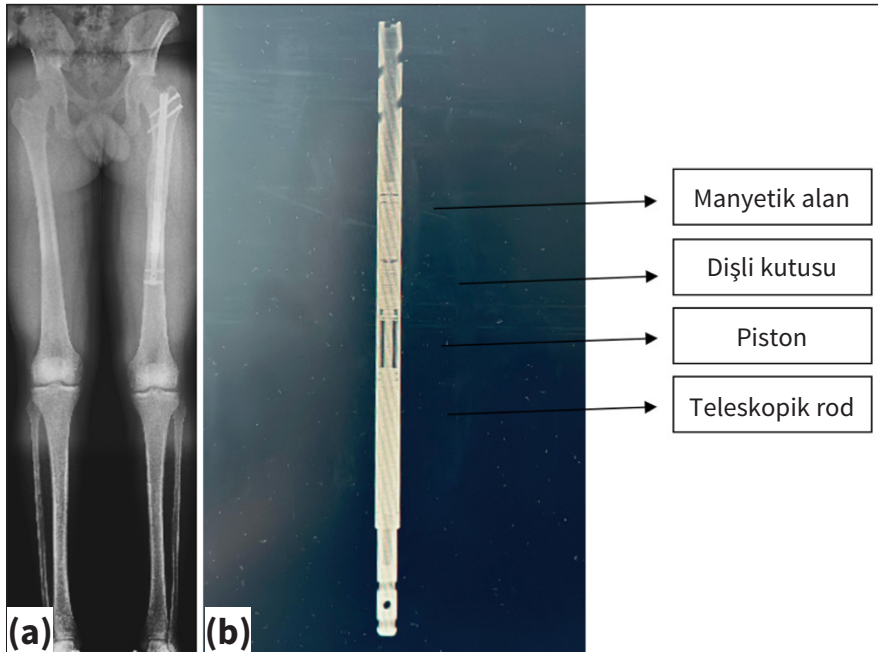
Intramedüller çivide bir dizi dişliye bağlı olan manyetik metal bir mili içeren bir mekanizma bulunmaktadır. Dişliler, bir bağlantıya bağlıdır ve bu bağlantı da bir vida tetik mili ile harekete geçer. Mekanizma, dışarıdan kontrol edilebilen (*external remote controller*, ERC) cihazı tarafından etkinleştirilir. ERC, manyetik metal pinlere manyetik olarak etki eden ve döndürerek çalışan 2 döner mıknatıs kullanır. Harici bir uzaktan kumanda, dakikada 30 devir gerçekleştirir. 1 mm uzatma elde etmek için yedi dakika ve 210 devir gerekmektedir. Harici bir uzaktan kumanda, bir yöne doğru çalıştırılması için uzamasına neden olurken, diğer yöne doğru ise tersine (kısaltma)

yönde hareket etmesine sebep olacaktır.^[12] Cihazın ters tutulması da kompresyon etkisini distraksiyona çevirecektir vs. şekilde Precice® çivisinin röntgen görüntüsü üzerinde yapısal özellikleri görülmektedir (Şekil 4,5).

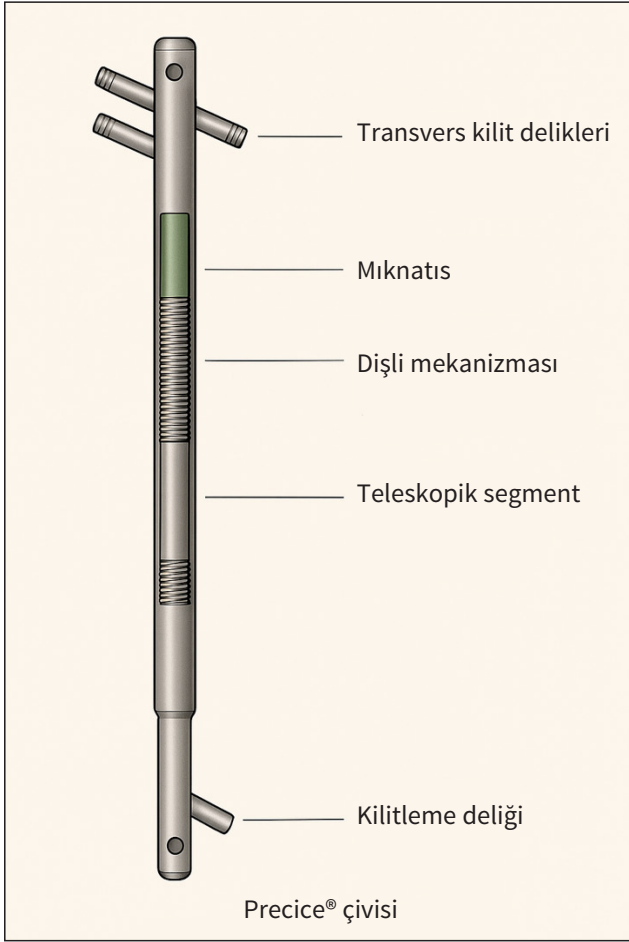
CERRAHİ UYGULAMA

Piriformis Girişli Uzatma Çivisi

Büyük trokanter tipinden en az 5 cm proksimal ve 1-2 cm posteriorda olacak şekilde cilt insizyonu yapılır. Eğer hastada çocuk hasta ve fizisler açık ise piriform fossa değil, büyük trokanter tipi giriş yeri olarak belirlenir. Fizleri kapalı çocuklar ve erişkinlerde ise giriş yeri olarak piriform fossa tercih edilir. Cilt insizyonu uygulandıktan sonra, sırası ile tensör ve musculus gluteus medius kaslarının tendonları split geçilerek piriformis fossa kılavuz tel floroskopi eşliğinde hedeflenen bölgeden giriş yapılacak şekilde gönderilir ilk oyucuyla proksimal giriş açılır. Tercihen çoklu drill tekniği kullanılmaktadır. Bunun için lateralden küçük bir insizyonla girilerek işaretlenen osteotomi seviyesinden 4,8 mm’lik drill ile drillenir. Tek bir giriş deliğinden başlayarak radiant olarak farklı yönlerde karşı kortekse delikler açılır, ardından anterolateral ve posterolateral iki farklı giriş yeri de eklenerek aynı işlem yapılır, ancak osteotomi tamamlanmaz ve bu sayede kanal içi oyma esnasında intramedüller basınç artmasının önüne geçilir ve olası yağ



Şekil 4.a,b. Precice® intramedüller bacak uzatma sistemi. Sol tarafta Precice® çivisi uygulanan hastanın ortoröntgenogramı **(a)**. Çivinin bileşenleri olarak en üstteki kutuda gösterildiği gibi manyetik kısım, alta ki dişli kutusu (*gearbox*), altında piston kısmı ve en altta teleskopik rod kısmı görülmektedir. Manyetik alan tarafından üretilen gücün uygun hız ve torkta dişli kutusu sayesinde piston kısmına iletmektedir ve böylece piston sayesinde uzatma gerçekleştirilmektedir **(b)**.



Şekil 5. Burada kendi tasarladığımız yapay zekâ destekli bir Precice® çivi ilüstrasyonudur. Bu şekilde çivinin mıknatıs kısmı yeşil renk ile belirtilmiştir. Altında dişli mekanizması ve onun altında teleskopik segment izlenmektedir.

embolisi gelişme riski azaltılır. Bu işleme havalandırma, kaçış deliği açılması adı verilmektedir. Daha sonra intramedüller kanal oyma işlemine geçilir ve her seferinde 0,5 mm büyüyecek şekilde başlanılır. Hedeflenen çivinin 2 mm üstü olacak şekilde oyma yapılmalıdır. (Örneğin; 10,7 mm'lik çivi için en az 12,5 mm oyucu ile oyulmalıdır). Oyma sırasında oluşan debrisin bir kısmı osteotomi bölgesinde havalandırma deliklerinden kemik dışına çıkacaktır ancak bir kısmı da piriformis fossada kaslar arasında birikecektir. Mümkün olduğunca kas yapıların arasında birikenlerin temizlenmesinde fayda vardır. Osteotomi sahasındakiler otogrefonaj etkisi oluşturur.

Tibiada oyma işlemi sırasında giriş yerinden çıkan greftlerin temizlenmesi kolaydır ancak femurda gerek retrograde gerekse de antegrade uygulamalarda oyma sırasında çıkarılan kemik yapılar temizlenmelidir. Diz içi ve gluteal adeleler arasında kalmaları önlenmelidir. Çivilerin kalınlığına göre oyma 2 mm daha fazla yapı-

lır. Femurda *bowing* ve çiviye yönlendirme yapılacaksa rijit oyucularda el altına olmalıdır. Bu sistemler anatomik değildir. Bu sebeple osteotomi yerinin belirlenmesi ve çivi uzunluğunun önceden hesaplanması önemlidir. Ön-arka ve lateral çekilen grafilerle planlama ameliyat öncesi yapılmalı stabilite için daha kalın ve uzun çiviye geçmek adına aşırı oyma ve korteksin incelmeye izin verilmemelidir. 2 mm kortikal kalınlık bırakmak güvenli olacaktır. Oyma işlemi sonrası daha önceden belirlenen intramedüller çivi osteotomi seviyesine kadar yerleştirilir, daha sonra önceden açılan osteotomi seviyesindeki cilt insizyonundan osteotom yardımıyla osteotomi tamamlanır ve bu esnada yardımcı asistan diz tam ekstansiyona olacak şekilde translasyona izin vermeden 20°'de adduksiyonda olacak şekilde bacağı tuttuğu esnada, birinci cerrah tarafından çivi ilerletilir. Bu çivileri kullanırken mekanizmanın zarar görmemesi için çakma yerine itme efekti kullanılmalıdır. Proksimal 2 distalde 2 adet olmak üzere kilitleme yapılabilir. Distal kilitleme için *free hand* teknik kullanılır. Dikkat edilmesi gereken önemli bir husus da çoğunlukla kemiğin orta segmentinde sonlanan çivilerde stresi ekstra artıracak delikler açmamak adına kanüle drill üzerinden kilitleme yapmaktır. Kirschner (K) teli iskalasa dahi oluşacak delik boyutu 1 mm olacaktır. Direkt drille yapılan işlemlerde 4,5 mm'lik ek bir delik bu bölgede kırık riskini artıracaktır. Floroskopiyle çivinin distrakte olmadığına emin olunur ve elde edilen görüntü daha sonraki adımlar için referans olması için kaydedilir.

Yumuşak doku gevşetmesi femurda tensör fasya lata ve tibiada gastroknemiusa (tercihimiz vulpius tekniği) mutlaka yapılmalıdır. Gereklilik durumunda *hamstring* ve rektus femoris (pelvik brimden) gevşetmeleri gündeme gelebilir. Hastaya tam yük verilemeyecekse ayak ekinizmini önlemek için geçici eklem dışı kalkaneotibial tespit yapılabilir. Tibiada proksimal ve distal tibia fibular eklem birer adet vidayla tespit edilmeli, proksimal ve distalde fibula boyunun kısalması önlenmelidir.

Dışarıdan kontrol edilebilen (*external remote control-ler- ERC*) cihazı steril bir şeffaf kılıfa yerleştirilir ve çivinin mıknatıslı kısmı floroskopiyle doğrulanarak ciltte işaret kalemiyle işaretlenir. Daha sonra ERC cihazının tam ortasındaki şeffaf alana, cilde işaretlenen mıknatısa izdüşüm olan kısım yerleştirilir ve cihaz çalıştırılır. 1 mm uzatma için yedi dakika gereklidir. Bu süre bittikten sonra floroskopiyle distraksiyonun olup olmadığı görülür ve kaydedilir. Eğer tam emin olunamıyorsa, bir daha 1 mm uzatılır ve tekrar kontrol edilir. Uzama elde edilmediyse çivinin çıkarılıp tekrar bir büyük oyucuyla oyulması önerilir.

Hasta odasına alındıktan sonra, etkin ağrı kontrolü sağlanır ve mutlaka 48 saat antibiyoterapi tedavisi uygulanır. Ertesi gün hasta tolere edebildiği kadar yük verecek

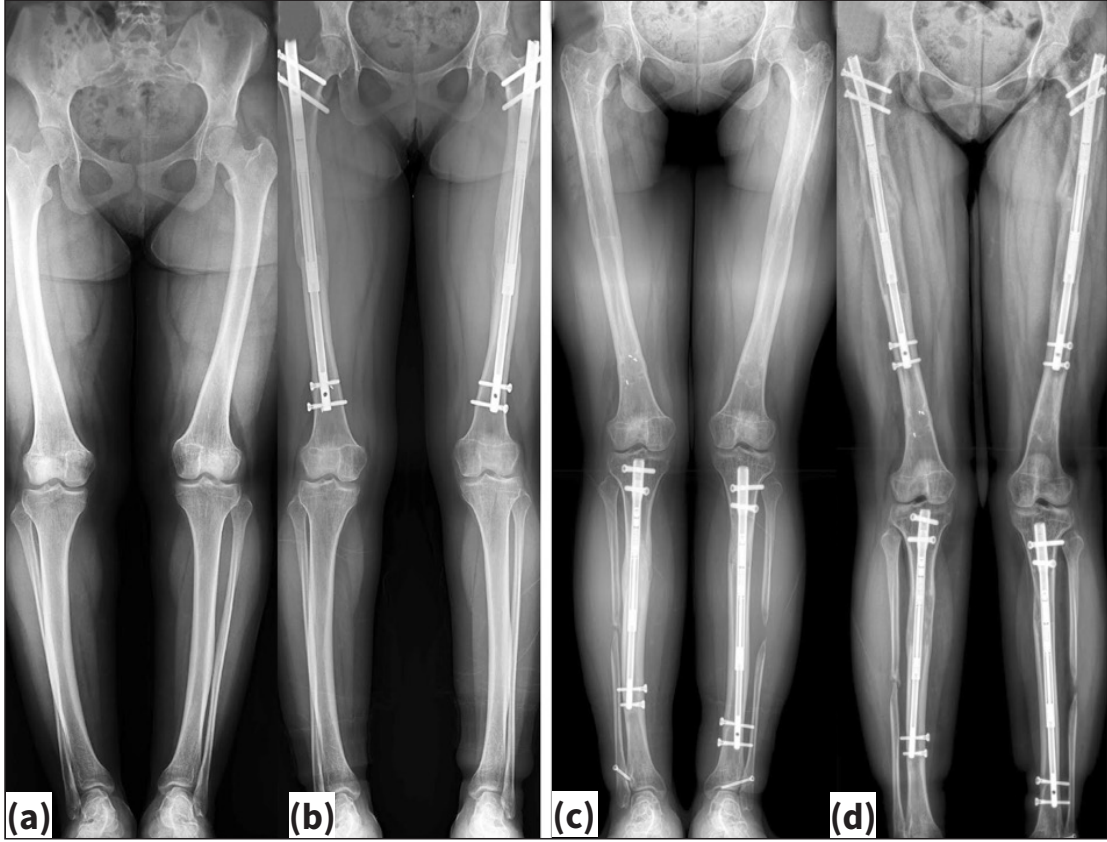
şekilde mobilize edilir, yatak başı fizik tedavi ve rehabilitasyon programına başlanılır. İkinci günde aynı şekilde devam edilir ve üçüncü gün hastaya merdiven inip çıkma gösterildikten sonra, hastaya ERC cihazının uygulanması gösterilir ve beraberce uzatma yapılır. Ameliyat sonrası dönemde uzatma esnasında ağrı olmaması için uzatmayı dört eşit zamana bölerek daha efektif bir uzatma protokolü tercih edilebilir. Kliniğimizde uzatmayı İlizarov prensiplerine uygun olarak günde 1 mm (altı saatte bir 0,25 mm) olarak başlamaktayız. Konjenital anomalili hastalarda bu hız 0,75 mm/gündür.

Poliklinik kontrollerinde, distraksiyon fazında kısmi yük mobilize edilir. Uzatma başladıktan sonra ameliyat sonrası beşinci gün, verilen yük miktarı azaltılır. 12,5 çivi için 25 kg 10,7 çivi için 17 kg 8,5 kalınlığında çivi için ise 12 kg'lık yük vermesi için hastaya izin verilir. Konsolidasyon fazında çekilen grafilerde frontal ve sagittal planda tek korteks devamlılığı belirgin olduğunda hastaya çift koltuk değneğiyle tam yük vermeye başlanır.

Precice® sistemi, çeşitli klinik endikasyonlara göre farklı çap, uzunluk ve materyal özelliklerinde çivi seçenekleri sunmaktadır. Precice® 1 ilk nesil manyetik uzayabilir intramedüller çividir. Titanyum alaşımından üretilmiştir. Genellikle 8,5 mm ve 10,7 mm çaplarında tasarlanmıştır. Hem femur hem tibia için kullanılabilir. Uzama kapasitesi 30-65 mm olup kontrollü ve tersine çevrilebilir uzatma/kısaltma işlemi mümkündür. Zamanla daha gelişmiş versiyonlarının ortaya çıkmasıyla kullanımı azalmıştır. Kaynak yerinden oluşan kırıklar en önemli sorunu olmuştur. Precice® 2 intramedüller çivi yine titanyum alaşımından üretilmiş, ek olarak 12,5 mm çap seçenekleri mevcuttur (Şekil 6,7). Hem femur hem tibia için kullanılabilir. Uzama kapasitesi 50-80 mm arasındadır. 245 mm uzunluğa kadar olan çiviler 50 mm 245 ve üzeri çiviler 80 mm uzatma sağlamaktadır. Precice Stryde® çivisi paslanmaz çelikten üretilmiş, daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahip 10 mm ve üzeri çaplarda tasarlanmış. Bu çivin amacı iki taraflı uygulamalarda hastaya yük verdirebil-



Şekil 6.a-c. Precice® 2 antegrad femur çivisi uygulanan hasta, ameliyattan sonraki ikinci uzatma haftası (a). Uzatma elde edilmiş ve konsolidasyon fazında çekilen ortorötenogram (b), konsolidasyon fazının da tamamlanmış tam kemik kaynamasının gerçekleştirdiğini göstermekte (c). (İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı İlizarov Arşivi).



Şekil 7.a-d. Akondroplazi hastasının uzatmaya başlamadan önce çekilen orteoröntgenogram görülmektedir (a), ilk etapta bilateral Precice® 2 antegrad femur çivisiyle femur uzatma gerçekleştirilmiştir (b). Ardından femoral çiviler çıkartılıp bilateral tibia uzatma gerçekleştirilen görsel görülmektedir (c). Tibia uzatma sonrasında tekrar femoral uzatma gerçekleştirildiği görülmekte (d). (İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı İlizarov arşivi izni ile alınmıştır).

mektir. Çivi uzunluklarına göre yine 50 ve 80 mm uzatma yapabilmektedir. Bu çivi oluşan metallosis ve kırılmalar nedeniyle piyasadan çekilmiştir.

Precice Max çivisi en güncel versiyondur. Manyetik rezonans uyumlu malzemelerle üretilmiş olup tamamen

titanyum alışımdır. Hem distraksiyon hem de kompresyon yapabilmektedir. Daha kısa çiviler üretilmekte ve pediyatrik hasta sorunları giderilmektedir (Tablo 1).

Kısaca klinik avantajları arasında; eksternal fiksatör ihtiyacını ortadan kaldırması, hasta konforunu artırma-

Tablo 1. Precice® çivi gelişim süreci ve belirli başlı özelliklerinden bahsedilmektedir. Çivi üretim yılı ve belirgin özellikleri vurgulanmıştır

Versiyon	Çıkış Yılı	Temel Özellikler
Precice 1®	2011	İlk jenerasyon; manyetik kontrollü uzama mekanizması, manuel geri alma yok, MRG uyumsuz.
Precice 2®	2013	Daha güçlü sıkıştırma, daha iyi mekanik stabilite, MRG uyumsuz.
Precice 2.1®	2015	Geri alma (retraksiyon) özelliği eklendi, sistem dayanıklılığı artırıldı.
Precice Stryde®	2018	Daha yüksek yük taşıma kapasitesi (hasta erken yük verebilir), paslanmaz çelik yapı. Geri çekildi.
Precice Max®	2023	Hem uzama hem kısaltma özelliği optimize edildi, tam MRG uyumu sağlandı, tamamen titanyum alışımdır.

MRG: Manyetik rezonans görüntüleme.

sı, ağrı düzeyini azaltması ve mobilizasyonu artırması sayılabilir. Precice® 2 ile birlikte bu cihazlarda yapılan fazla uzatma geri döndürülebilmekte ve kompresyon özellikleri sayesinde kaynamamada da kullanılması önerilmektedir. En önemli dezavantajı maliyetidir. Manyetik rezonans görüntüleme uyumsuzluğu ve Stryde® çivisinde izlenen metallorsis etkisi de en önemli dezavantajları içinde bulunmaktadır.

SONUÇ

Klinik sonuçlar ve literatür karşılaştırmaları motorize intramedüller çivilerle yapılan uzatma cerrahilerinde komplikasyon oranlarının eksternal fiksatorlere kıyasla anlamlı şekilde düşük olduğunu göstermektedir.^[13] Literatürde, özellikle Precice® sistemlerinin yüksek hasta memnuniyeti, düşük enfeksiyon oranı, ve daha kısa iyileşme süresi sunduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte, maliyetin yüksekliği ve özel cihaz gereksinimi gibi bazı dezavantajları da mevcuttur.^[14] Üretici firma 1,5-2 sene içinde çivinin çıkarılmasını önermektedir.

2015 yılında Landge ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada femur uzatma yöntemi olarak manyetik kontrollü uzayabilen intramedüller çivi ve monolateral eksternal fiksator üzerinden uzatma yapılan 16 hasta karşılaştırılmış ve bu hastalardan 13'ü, yazarlar tarafından geliştirilen bir bacak uzatma anketine tabi tutulmuşlardır.^[18] Hastalar, genel memnuniyet, azalmış ağrı, fizik tedavi kolaylığı ve daha iyi kozmetik görünüm açısından manyetik kontrollü uzayabilen intramedüller çivi üzerinden uzatma yöntemini tercih etmişlerdir.^[13]

2014 yılında Kirane ve ark. tarafından yayımlanan çalışmada, 24 olguluk femur ve tibia Precice® uzatmalarında, diz ve ayak bileği eklem hareket açıklıklarının düşük düzeyde etkilendiğini vurgulamaktadır.^[15] Ek cerrahi işlem için tekrar ameliyat masasına dönülmesini gerektiren bir komplikasyon (%4), altı (%24) implant ile ilgili olmayan komplikasyon görülmüştür. Bunlar arasında bir hastada erken konsolidasyon (%4), iki hastada gecikmiş kemik iyileşmesi (%8), iki hastada gecikmiş ayak bileği ekinus kontraktürü (%8) ve bir hastada ayak parmağı çekiç deformitesi (%4) izlenmiştir.

Tillotson ve ark. tarafından yayımlanan çalışmalarda, çocuklarda yapılan femoral uzatmalarda toplam 27 hasta (32 femur) dâhil edilerek, bunların 13 hastada (15 femur) Precice® yöntemi, 14 hastada ise (17 femur) monolateral eksternal fiksatorle uzatılmış, Precice® grubu, monolateral eksternal fiksator grubuna kıyasla önemli ölçüde daha az sorun, engel ve gerçek komplikasyon oranına sahip olduğunu (Precice®, %6,6, %0, %0, monolateral eksternal fiksator grubunda ise %47,1, %29,4, %0, $p < 0,01$). Aynı şekilde iki grup arasında kon-

solidasyon indeksleri arasında fark olmadığını ($p = 0,36$), sadece Precice® grubunun hastane yatış süresinin monolateral eksternal fiksator grubuna göre daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir.^[16]

Szymczuk ve ark. yayımladıkları çalışmada retrospektif olarak 62 konjenital femoral yetmezlik tanılı çocuk hasta (32 hasta monolateral eksternal fiksator, 30 hasta intramedüller çivi üzerinden) ele alınarak kıyaslandığında, distraksiyon indeksleri ($p = 0,99$), konsolidasyon indeksleri ($p = 0,08$), eklem hareket açıklıkları ($p = 0,35$) arasında anlamlı fark bulunmazken, evre 1 komplikasyon (problem) oranlarında eksternal fiksator grubunda daha fazla yüzeysel pin dibi enfeksiyonu geliştiğini bildirmişlerdir.^[17]

Bu çalışmalardan da anlaşılacağı gibi eksternal fiksatorler kullanılarak yapılan uzatma cerrahilerine göre uzayabilen intramedüller çivi daha iyi klinik sonuç vermektedir. Bu stabilite ve yumuşak doku sorunlarının daha az görülmesinden kaynaklanmaktadır. Fizik tedavinin daha rahat uygulanması da önemli bir avantaj olarak görülmektedir.^[18]

Geleceğe bakış teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, biyosensörlü çiviler, robotik uzama sistemleri ve yapay zekâ destekli uzatma planlamalarının ön plana çıkması beklenmektedir. Ayrıca biyoyumlu ve kemik rejenerasyonunu destekleyen malzemeler üzerine yapılan çalışmalar da umut vericidir.

Sonuç olarak motorize intramedüller çiviler, uzatma cerrahisinde hasta konforunu artıran, komplikasyonları azaltan ve cerrahi süreci daha öngörülebilir hâle getiren modern teknolojik araçlardır. Geçmişten günümüze bu sistemlerin gelişimi, ortopedik cerrahinin inovasyonla nasıl dönüşüm geçirdiğinin en güzel örneklerinden biridir.

KAYNAKLAR

1. Ai-Aql ZS, Alagl AS, Graves DT, Gerstenfeld LC, Einhorn TA. Molecular mechanisms controlling bone formation during fracture healing and distraction osteogenesis. J Dent Res 2008;87(2):107-18. [Crossref](#)
2. Hvid I, Horn J, Huhnstock S, Steen H. The biology of bone lengthening. J Child Orthop 2016;10(6):487-92. [Crossref](#)
3. Guichet JM, Deromedis B, Donnan LT, Peretti G, Lascombes P, Bado F. Gradual femoral lengthening with the Albizzia intramedullary nail. J Bone Joint Surg Am 2003;85(5):838-48. [Crossref](#)
4. Paley D. Current techniques of limb lengthening. J Pediatr Orthop. 1988;8(1):73-92. [Crossref](#)
5. Cole JD, Justin D, Kasparis T, DeVlugt D, Knobloch C. The intramedullary skeletal kinetic distractor (ISKD): First clinical results of a new intramedullary nail for lengthening of the femur and tibia. Injury 2001;32(4):SD129-39. [Crossref](#)

6. Burghardt RD, Herzenberg JE, Specht SC, Paley D. Mechanical failure of the intramedullary skeletal kinetic distractor in limb lengthening. *J Bone Joint Surg Br* 2011;93-B(5):639-43. [Crossref](#)
7. Kold S, Christensen KS. Bone transport of the tibia with a motorized intramedullary lengthening nail-a case report. *Acta Orthop* 2014;85(2):211-37. [Crossref](#)
8. Teulières M, Langlais T, de Gauzy JS, Rölting JD, Accadbled F. Bone lengthening with a motorized intramedullary nail in 34 patients with posttraumatic limb length discrepancies. *J Clin Med* 2021;10(11):2393. [Crossref](#)
9. Krieg AH, Lenze U, Speth BM, Hasler CC. Intramedullary leg lengthening with a motorized nail. *Acta Orthop* 2011;82(3):344-50. [Crossref](#)
10. Olesen K, Herzenberg E. Bone transport with internal devices. *Techniques in Orthopaedics* 2020;35(3):219-24. [Crossref](#)
11. Paley D, Harris M, Debiparshad K, Prince D. Limb lengthening by implantable limb lengthening devices. *Techniques in Orthopaedics* 2014;29(2):72-85. [Crossref](#)
12. Paley D. PRECICE intramedullary limb lengthening system. *Expert Rev Med Devices* 2015;12(3):231-49. [Crossref](#)
13. Fragomen AT, Rozbruch SR. Lengthening and deformity correction about the knee using a magnetic internal lengthening nail. *SICOT J* 2017;3:25. [Crossref](#)
14. Fragomen AT, Kurtz AM, Barclay JR, Nguyen J, Rozbruch SR. A comparison of femoral lengthening methods favors the magnetic internal lengthening nail when compared with lengthening over a nail. *HSS J* 2018;14(2):166-76. [Crossref](#)
15. Kirane YM, Fragomen AT, Rozbruch SR. Precision of the PRECICE® internal bone lengthening nail. *Clin Orthop Relat Res* 2014;472(12). [Crossref](#)
16. Tillotson LO, Maddock CL, Hanley J, Arseneau GM, Bradley CS, Kelley SP. Femoral lengthening in children: A comparison of motorized intramedullary nailing versus external fixation techniques. *J Pediatr Orthop* 2022;42(5):253-9. [Crossref](#)
17. Szymczuk VL, Hammouda AI, Gesheff MG, Standard SC, Herzenberg JE. Lengthening with monolateral external fixation versus magnetically motorized intramedullary nail in congenital femoral deficiency. *J Pediatr Orthop* 2019;39(9):458-65. [Crossref](#)
18. Landge V, Shabtai L, Gesheff M, Specht SC, Herzenberg JE. Patient satisfaction after limb lengthening with internal and external devices. *J Surg Orthop Adv* 2015;24(3):174-9. [Crossref](#)