

Sirküler eksternal fiksator ile femur uzatma cerrahisi

Femoral lengthening with a circular external fixator

Cenk Özkan, Kaan Ali Dalkır

Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, Adana

Femoral uzatma cerrahisinde en yaygın uygulamalardan biri olan İlizarov sirküler eksternal fiksator yöntemi, biyomekanik uyarıların biyolojik yanıtları tetiklediği distraksiyon osteogenezi ilkesine dayanmaktadır. Distraksiyon osteogenezi, osteotomi sonrası kemik segmentlerinin belirli hız ve ritimde birbirinden uzaklaştırılmasıyla yeni kemik ve yumuşak doku oluşumunun indüklendiği rejeneratif bir süreçtir. Bu süreç yalnızca kemik dokusunu değil, aynı zamanda kas, sinir, damar ve bağ dokularını da etkileyerek eş zamanlı uzamaya olanak tanır. Süreçte temel biyolojik mekanizma, İlizarov tarafından tanımlanan gerilim-stres etkisidir. Bu kavram, kontrollü mekanik gerilimin hücresel proliferasyon, anjiogenez ve osteogenez gibi rejeneratif olayları tetiklediğini öne sürmektedir. Böylece organizma, uygulanan mekanik uyarana karşı fizyolojik bir yanıt oluşturarak yeni doku üretimini başlatır ve sürdürülebilir kemik uzaması sağlanır. İlizarov yöntemi, söz konusu biyolojik temellere dayanarak uzatma ve eş zamanlı deformite düzeltmeye olanak tanır. Cerrahiye bağlı komplikasyonlar görülebilmekle birlikte, uygun hasta seçimi, doğru teknik uygulama ve multidisipliner takiple bu riskler büyük ölçüde kontrol altına alınabilmektedir. Sonuç olarak, distraksiyon osteogenezi prensibiyle uygulanan İlizarov yöntemi, femoral uzatma cerrahisinde hâlen geçerliliğini koruyan, biyolojik olarak temellendirilmiş ve klinik etkinliği yüksek bir tedavi seçeneğidir.

Anahtar sözcükler: bacak uzunluk eşitsizliği; distraksiyon osteogenezi; eksternal fiksatörler; kemik uzatma

One of the most commonly used techniques in femoral lengthening surgery is the Ilizarov circular external fixator method, which is based on the principle of distraction osteogenesis, wherein biomechanical stimuli trigger biological responses. Distraction osteogenesis is a regenerative phenomenon whereby new bone and soft tissue formation is induced through the gradual and rhythmic distraction of bone segments following an osteotomy. This process affects not only bone tissue but also enables the simultaneous elongation of muscles, nerves, blood vessels, and connective tissues. The main biological mechanism of this process is known as the tension-stress effect, a concept introduced by Ilizarov. It proposes that controlled mechanical tension stimulates key regenerative events such as cellular proliferation, angiogenesis, and osteogenesis. In response to the applied mechanical stimulus, the body initiates a physiological process that leads to new tissue formation and allows for sustained bone elongation. Based on these biological principles, the Ilizarov method facilitates both limb lengthening and simultaneous deformity correction. Although certain complications may arise during the course of treatment, appropriate patient selection, meticulous surgical execution, and coordinated multidisciplinary follow-up can significantly reduce these risks. In summary, the Ilizarov technique, which relies on the principles of distraction osteogenesis, remains a biologically based and clinically effective treatment option in modern femoral lengthening surgery.

Key words: limb length inequality; distraction osteogenesis; external fixators; bone lengthening

Femoral uzatma cerrahisi, tarihsel süreçte önemli teknik evrimler geçirmiştir. Literatürde ilk femur uzatma işlemi, 1905 yılında Alessandro Codivilla tarafından osteotomi sonrası uygulanan akut traksiyon yöntemiyle tanımlanmış ancak bu teknikte ciddi yumuşak doku komplikasyonları bildirilmiştir. Codivilla'nın öğrencisi Vittorio Putti, 1921 yılında bu komplikasyonları

azaltmak amacıyla yavaş ve sürekli distraksiyon prensibini geliştirmiştir. 1930'lu yıllarda bazı araştırmacılar intramedüller çiviyle uzatma girişimlerinde bulunmuş ancak dönemin teknik sınırlılıkları ve yüksek enfeksiyon oranları nedeniyle başarı sağlanamamıştır. 1950'li yıllarda Sovyet ortopedi uzmanı Gavriil İlizarov, distraksiyon osteogenezine dayalı sirküler eksternal fiksator sistemini

İletişim / Contact: Prof. Dr. Cenk Özkan • **E-posta / E-mail:** drcekozkan@gmail.com

ORCID ID: Cenk Özkan, 0000-0002-6249-6174 • Kaan Ali Dalkır, 0000-0003-1745-1759

Geliş / Received: 9 Eylül 2025 • **Revizyon / Revised:** 3 Ekim 2025 • **Kabul / Accepted:** 5 Ekim 2025

geliştirmiştir. Bu yöntem, 1980'li yıllarda Batı literatürüne girmiş ve femur uzatmasında önemli bir yer edinmiştir.^[1]

BİYOLOJİK TEMELLER

Distraksiyon osteogenezi, uzun kemiklerin uzatılması ve deformite düzeltilmesinde çığır açan bir yaklaşımdır. İlizarov'un geliştirdiği sirküler eksternal fiksator, yalnızca lineer uzatma değil, aynı zamanda çok düzlemli deformitelerin eş zamanlı ve dinamik olarak düzeltilmesine olanak sağlar. Bu yöntemin temel biyomekanik ilkesi olan gerilim-stres etkisi (*tension-stress effect*), kemiğin ve çevre yumuşak dokuların kontrollü mekanik gerilmesi yoluyla histogenezin uyarılmasına dayanır. Bu yönüyle İlizarov yöntemi, yalnızca bir fiksasyon aracı değil, aynı zamanda biyolojik doku mühendisliği modeli olarak da değerlendirilmektedir.^[2-4]

Distraksiyon osteogenezi; yumuşak dokular ve medüller kanal korunarak yapılan bir kortikotomi (kalotazis) veya doğrudan fizis hattı üzerinden gerçekleştirilen kontrollü mekanik çekme kuvvetleri (kondrodiastazis) ile mevcut kemikten yeni kemik dokusu oluşumunu sağlayan biyolojik ve biyomekanik bir süreçtir. Doğal iyileşme sürecinden farklı olarak bu yöntem, yönlendirilmiş mekanik uyarılarla kemik rejenerasyonunu tetikler. Uygun koşullar sağlandığında ise teorik olarak sınırsız miktarda yeni kemik üretimi mümkün hâle gelir. Osteotomi sonrası iki kemik yüzeyi arasında distraksiyonla birlikte başlangıçta radyolojik olarak görünmeyen fibröz karakterde bir doku gelişir. Bu yapı, santralinde radyolüsen paralel kollajen demetlerinden oluşan fibröz bir köprü (*fibrous interzone*) şeklindedir. Yeni kemik oluşumu, bu kollajen köprüsü boyunca ilerler; kollajen lifler ve damarlar uygulanan distraksiyon kuvvetlerinin yönüne paralel olarak dizilir. Sürecin ilerleyen evrelerinde kemik hücreleri mikrokolonlar hâlinde yoğunlaşarak yeni kemik trabeküllerini oluşturur. Bu trabeküller yoğun damar ağıyla çevrilidir, zamanla mineralize olarak kortikal kemik ve medüller kanal yeniden şekillenir. Konsolidasyon dönemi olarak adlandırılan bu süreç sonunda yeni oluşan kemik dokusu normal kemiğe benzer bir kompozisyona remodele olur.^[5-7]

Distraksiyonun ilk dört haftasında bölgesel kan akımı normalin yaklaşık sekiz katına çıkar, sonraki üç ayda ise normalin üç katı düzeyine geriler. Bu hemodinamik değişiklik hem kemik rejenerasyonunun hem de yumuşak doku adaptasyonunun temelini oluşturur.^[8] Bir kemiğin kendi boyunun yaklaşık %10'una kadar uzatılması, yumuşak dokular tarafından genellikle iyi tolere edilebilirken, %30'a ulaşıldığında histolojik değişiklikler ortaya çıkmaya başlar.^[9] Kas, damar ve sinir dokularında gözlenen bu geçici değişiklikler, çoğunlukla uzatma tamamlandıktan sonraki iki ay içinde ortadan kaybolur.^[10]

Başarılı bir uygulama için temel prensipler; stabil eksternal fiksasyonun sağlanması, minimal invaziv ve düşük enerjili osteotomi yapılması, 5-7 günlük bir latans süresi beklenmesi ve distraksiyonun 1 milimetre (mm)/gün hızla, tercihen 2-4 eşit ritmik adım hâlinde uygulanmasıdır. Bu koşullar altında kemik oluşumu saf intramembranöz ossifikasyon süreci ile gerçekleşir ve oluşan yeni kemik dokusu, çoğu olguda kalınlık ve kalite açısından doğal kemiğe eş değer özellikler kazanmaktadır.^[3,4,11] Bununla birlikte, yaş, osteotomi seviyesi, distraksiyon alanını çevreleyen yumuşak doku miktarı, tütün ürünleri kullanımı ve kronik hastalıklar yeni oluşan kemiğin kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.^[12] Stabil olmayan tespit, kemik kalitesini bozarak kaynamama riskini artırabilir. Benzer şekilde, 2 mm/günün üzerindeki hızlı ya da düzensiz distraksiyon, kan akımını ve mineralizasyonu olumsuz etkilerken; aşırı yavaş distraksiyon veya latans süresinin uzaması (14-21 gün), özellikle metafizel bölgelerde erken konsolidasyona neden olarak uzamanın durmasına sebep olabilir.^[2,13] Distraksiyon fazında yükün büyük kısmı rejenerasyon alanından taşınır ve osteojenik bölge stresinin belirli bir aralıkta kalması sağlıklı iyileşme için gereklidir. Düşük stres kaynamama riskini artırırken, yüksek değerler erken kaynamaya neden olabilir. Başarısızlığa yol açabilecek diğer faktörler arasında geniş başlangıç aralığı, yetersiz vaskülarizasyon, travmatik osteotomi, kısa konsolidasyon süresi yer alır. Radyografik olarak mineralize kemik dokusu genellikle üçüncü haftadan önce görülmezken, kantitatif bilgisayarlı tomografi histolojik mineralizasyonu daha erken evrede gösterebilir. Ayrıca teknesyum sintigrafisi, rejenerasyon bölgesindeki kanlanma hakkında ek bilgi sağlayabilir.^[6]

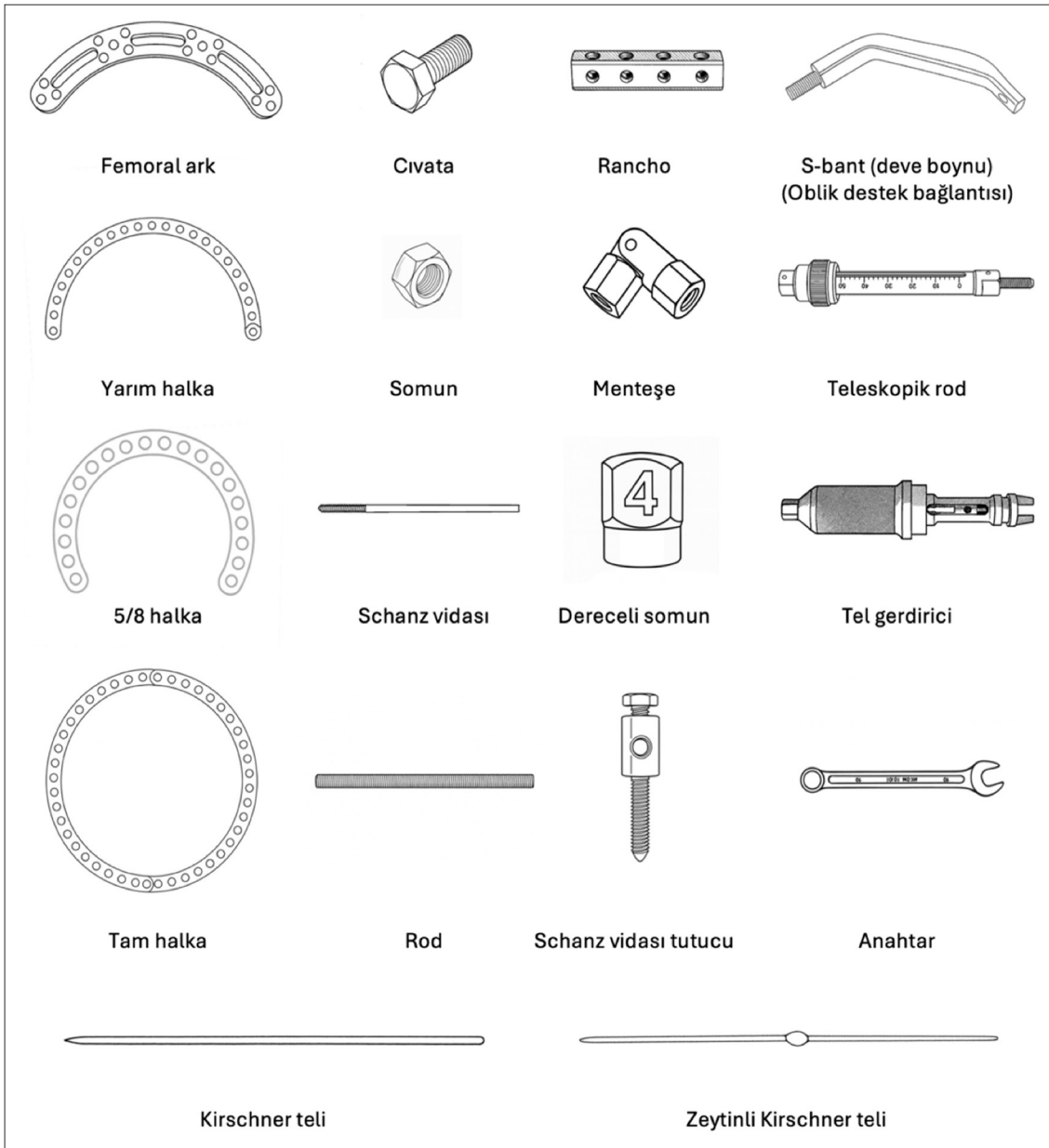
BİYOMEKANİK TEMELLER

İlizarov sirküler eksternal fiksator, kemiğin osteojenik potansiyelini en üst düzeye çıkarabilmek için stabilize, yumuşak doku korunumu, ayarlanabilirlik ve fonksiyonelliği bir arada sunan çok yönlü bir fiksasyon sistemine ihtiyaç olduğunu ortaya koymuştur. Bu doğrultuda geliştirilen İlizarov çerçevesi hem stabil hem de dinamik yapısıyla öne çıkar; cerraha akut ya da tedrici düzeltme yapabilme olanağı sunar, modüler yapısı sayesinde karmaşık deformitelerde kişiye özel yapılandırılabilir ve erken dönemde yük verilmesine ve eklem hareketlerine olanak tanır.^[14]

İlizarov'un popülerleştirdiği sirküler eksternal fiksator sisteminde, halkalar ve bağlantı rodları temel yapısal bileşenlerdir. Uzatma için kullanılan İlizarov tipi sirküler çerçevelerin başlıca bileşenleri (tam ve parsiyel halkalar, arklar, bağlantı rodları, Kirschner telleri, zeytinli teller, Schanz vidalarıyla menteşe ve kompresyon-distraksiyon

modülleri) Şekil 1’de gösterilmiştir. Çerçevenin stabilitesi, kullanılan halka tipine ve konfigürasyonuna doğrudan bağlıdır. Tam halkalar en yüksek rijiditeyi sağlarken, parsiyel halkalar veya arklar özellikle eklem çevresinde çalışırken ya da yara bakımı gereken durumlarda avantaj sağlar. Küçük çaplı halkalar daha yüksek stabilite sunar; halka çapındaki 2 santimetre (cm)’lik bir azalmanın aksiyel stabiliteyi %70 oranında artırdığı gösterilmiştir.^[15] Bu nedenle, ekstremiteye uygun olan en küçük halka tercih edilmeli, ancak cilt ile halka arasında en az 2 cm’lik boşluk bırakılarak potansiyel şişlikler için tampon alan sağlanmalıdır. İki halka arasındaki mesafe arttıkça sis-

tem stabilitesi azaldığından, araya boş halkalar ve rodlar eklenmesi gerekebilir. Stabiliteyi artırmak için halkalar arasında dört rod kullanılması önerilir. Kırık, osteotomi veya defekt sonrası oluşan kemik segmentine bağlanan halka grubuna halka bloku adı verilir; bu segment başına genellikle iki halka ve her halkada en az iki temas noktası olacak şekilde, iki K teli veya iki Schanz vidalı bir konfigürasyon tercih edilir (Tablo 1).^[7,16] Ancak özellikle uzatma uygulamalarında yumuşak dokunun distraksiyonu nedeniyle sistemde ek stabilite gelişir ve bu durumda K telleriyle tespit edilen tek halka dahi yeterli olabilir.^[2]



Şekil 1. Uzatma amaçlı kurulan sirküler fiksatörde kullanılan bileşenler.

Tablo 1. Çerçeve stabilitesini artırma yöntemleri^[14]

Bileşen	Yöntem
Halkalar	Halka çapını küçültmek Halka-cilt mesafesini azaltmak Kemik segmentinin yakın ve uzak uçlarını tespit etmek Halka sayısını artırmak
Halka bağlantıları	Bağlantı sayısını artırmak Bağlantıların rijiditesini artırmak
Teller	Tel çapını artırmak Tel sayısını artırmak Tel gerginliğini artırmak Tellerin çaprazlama açısını artırmak Karşılıklı zeytinli teller kullanmak
Schanz vidası	Vida çapını artırmak Vida sayısını artırmak Hidroksiapatit kaplı vidalar kullanmak Çaprazlama açısını artırmak
Kemikle ilgili hususlar	Kemik uçlarının temasını maksimize etmek Kompresyon/distraksiyon uygulamak Distraksiyonda kısa ve geniş rejenerat sağlamak

Halkalar, kemiğe transfixasyon telleri veya Schanz vidalarıyla tespit edilir. Her iki yöntemde de nörovasküler yapılardan kaçınmak için kesitsel anatomiye hâkimiyet önemlidir. Tel ya da Schanz vidası yerleştirilirken, motor sinir irritasyonunun maskelenmemesi adına genel anesteziye parolitik ajanlardan kaçınılması önerilirken; spinal veya epidural anestezi böyle bir risk bulunmamaktadır.^[14]

Transfixasyon telleri, özellikle kısa metafizyel segmentlerin stabilizasyonunda ve çocuk hastalarda büyüme plağını geçmeden epifiz tespitinde avantaj sağlar. Tel yerleştirirken ısı oluşumunu en aza indirmek, yumuşak dokulara ve nörovasküler yapılara zarar vermemek esastır. Bu işlem sırasında oluşabilecek termal hasarı azaltmak amacıyla turnike kullanılmamalı; alkol veya salin solüsyonuyla nemlendirilmiş gazlı bezlerle soğutma yapılmalı ve özellikle diyafiz gibi sert kemiklerde tel geçirilirken birkaç defa duraklanması önerilir. Bunun yanında, termal hasarı artırabileceğinden transkortikal geçen teller tercih edilmemelidir. Mekanik stabilite, tel çapı ve gerginliğiyle birlikte tellerin farklı düzlemlerde ve mümkün olduğunca birbirine dik (yaklaşık 90°) yerleştirilmesiyle artar. Açının 60°'nin altına düşmesi durumunda kaymayı önlemek amacıyla karşılıklı zeytinli teller veya ek Schanz vidaları önerilir. Zeytinli teller ayrıca açısal deformite düzeltmelerinde itici kuvvet oluşturarak düzeltmeye katkı sağlar^[2]. Eklem hattına yakın yerleştirilecek teller, tam hareket açıklığı sağlanmış pozisyonda

(örneğin anteriordan giriş yapılırken dizin yaklaşık 90° fleksiyonda) uygulanmalıdır. Tellerin yaklaşık 130 kilogram (kg) olacak şekilde gerilmesi önerilmekle birlikte, aşırı gerginlik deformasyona neden olabileceğinden dikkatli olunmalıdır.^[7,14]

Schanz vidaları, özellikle batı ülkelerinde daha yaygın kullanılan bir yöntem olup; uygulama kolaylığı, yüksek rijidite ve hasta konforu gibi avantajlar sunar. Vida çapı arttıkça sistemin rijiditesi artar ancak vida çapının kemiğin kortikal çapının üçte birini aşması, kırık oluşumu açısından risk oluşturabilir.^[14] Tellerde olduğu gibi Schanz vidalarının da 90°'ye yakın çapraz açıyla yerleştirilmesi çok düzlemli stabilite açısından avantaj sağlar. Schanz vidaları yerleştirilmeden önce kemiğin matkapla delinmesi önerilir; sert kemiklerde ısı oluşumunu azaltmak amacıyla tıpkı tellerde olduğu gibi ilerleme sırasında duraklamalar yapılmalı ve vidalar motor yerine elle gönderilmelidir. Ayrıca, hidroksiapatit kaplı Schanz vidalarının daha yüksek çıkma torku, düşük gevşeme oranı ve azalmış enfeksiyon riskiyle ilişkili olduğu gösterilmiştir.^[17] Bu özellikleri nedeniyle deformite düzeltme ve uzatma gibi çerçevenin uzun süre kullanımını gerektiren uygulamalarda tercih edilmesi önerilmektedir.^[7]

Tel veya Schanz vidası tercihi, uygulama yapılacak anatomik bölgeye, deformitenin tipine ve hastanın özelliklerine göre şekillendirilmelidir. Mekanik prensiplere

uyulduğu sürece tel, vida veya her ikisinin kombinasyon hâlinde kullanımı mümkündür. Transvers yerleştirilen teller, özellikle metafiz bölgesinde kas kompartmanlarından kaçınarak çerçevenin doğru hizalanmasına yardımcı olur ve geçici tespit gerektiren durumlarda kullanıldığında poliklinik şartlarında kolayca çıkarılabilir. Diyafiz gibi geniş kemik kesitlerine sahip alanlarda, kas kompartmanlarını geçmeden geniş açıyla yerleştirilebilen Schanz vidaları tercih edilebilir. Özellikle nöropatik hastalarda ağrı hissini olmaması, hastanın istemsiz yük vermesine neden olarak Schanz vidalarında erken gevşeme, enfeksiyon ya da vida kırığı gibi komplikasyonlara yol açabilir. Bu nedenle, nöropatik bireylerde minimal yük verme önerilebilir. Çocuk hastalarda ise büyüme plağının hasar görmemesi açısından tel kullanımı tercih edilmelidir.^[14]

Kemik uzatma cerrahilerinde doğru kortikotomi büyük önem taşır. Bu girişimde amaç, kemiğe minimal insizyon ve diseksiyonla ulaşarak yumuşak dokuların ve periostun korunmasıdır. İizarov, kendi uygulamalarında kemiği küçük osteotomlarla kesip rotasyonel bir manevrayla osteotomiye tamamlamayı önermiştir. Bazı cerrahlar ise önce matkapla çevresel delikler açıp ardından osteotom kullanarak işlemi gerçekleştirmeyi tercih etmektedir.^[9] Çalışmalar, yumuşak doku hasarının azaltılmasının, osteotominin tekniğinden bağımsız olarak işlemin başarısı üzerinde daha belirleyici olduğunu göstermiştir.^[12,18] Kortikotomi sonrası hemen distraksiyon yapılmamalı; kemik rejenerasyonunun başlaması için uygun bir latans dönemi beklenmelidir. Femoral uzatma işlemlerinde kortikotomi genellikle trokanter minörün distalinden veya distal diyafizometafizer bileşkeden uygulanmaktadır. Bununla birlikte, kalça instabilitesi bulunan hastalarda distal femoral osteotomi, diz subluksasyonu riski olan olgularda ise proksimal osteotomi tercih edilebilir. Eğer uzatma işlemi deformite düzeltme ile birlikte planlanıyorsa, osteotominin deformitenin *Center of Rotation of Angulation* (CORA) noktasından yapılması gerektiği de göz önünde bulundurulmalıdır.^[19] Ancak kısıklık tümör, enfeksiyon veya refraktür gibi patolojik zeminde gelişmişse deformite düzeltilmesi CORA noktasından, uzatma bu noktanın proksimal veya distalindeki sağlıklı kemikten yapılabilir. Olası refraktürlerin önlenmesi için eksternal fiksator, yeterli konsolidasyon sağlanmadan çıkarılmamalıdır. Genel olarak konsolidasyon süresinin uzatma süresinin yaklaşık iki katı veya uzatılan her cm için bir ay olduğu kabul edilmektedir.^[2,13,20]

BACAK UZUNLUK EŞİTSİZLİĞİNDE UZATMA ENDİKASYONLARI VE PLANLAMA

Bacak uzunluk eşitsizliği toplumda oldukça yaygındır ve çoğu zaman 2 cm'ye kadar olan farklar asemptomatik-

tir ve özel bir tedavi gerektirmez. 20 mm'nin üzerindeki uzunluk farklarında ve epifizyodez yapılamayan durumlarda uzatma cerrahisi endikedir. Ameliyat öncesinde hastaya ve ailesine sürecin ve olası komplikasyonların ayrıntılı şekilde anlatılması önemlidir. Amaç yalnızca uzatma değil, nörolojik hasar oluşturmadan, eklem hareket açıklığını koruyarak fonksiyonel bir uzuv elde etmektir; fonksiyonel kısa bir ekstremité, sert ve fonksiyonsuz eşit bir ekstremiteden üstündür. Parsiyel büyüme plağı kapanması olan olgularda, deformitenin tekrarlamasını önlemek için önce büyüme plağının tamamen kapatılması veya bar eksizyonu gerekebilir.^[19,21]

Uzatma miktarı her hasta için farklı planlanır; 4 cm gibi mütevazı bir uzatma, 10 cm'lik ancak eklem subluksasyonu ve hareket kısıtlılığına yol açan kahramanca bir uzatmadan daha güvenlidir.^[21] Doğal femur uzunluğunun %20-25'i oranında uzatma güvenli kabul edilmekte olup bu sınırın korunması komplikasyon oranlarını azaltır. Dror Paley, birden fazla uzatma girişiminin planlanması gereken hastalarda ailelerin takibini kolaylaştırmak amacıyla "Dörtler Kuralı" adını verdiği bir yaklaşımı tanımlamıştır. Bu kurala göre uzatma seansları dört, sekiz ve 12 yaşlarında yapılabilir ve böylece kümülatif olarak yaklaşık 24 cm'lik bir uzatma elde edilebilir. Karşı taraf epifizyodezi ile uzun taraf yaklaşık 5 cm kısaltılarak bir uzatma seansının gerekliliği ortadan kaldırılabilir. Daha fazla uzatma gerekirse, 16 yaş civarında dördüncü bir seansla ek 10 cm kazanım sağlanabilir ve toplamda 40 cm'ye kadar uzatma gerçekleştirilebilir.^[19] Uzatma öncesinde eklem stabilitesi değerlendirilmelidir. Konjenital femur yetmezliğinde kalça ve diz instabilitesi sık görüldüğünden, gerekirse uzatma öncesinde asetabular displazi düzeltmek için (özellikle lateral merkez kenar açısı <20° olduğu olgularda) pelvis osteotomisi veya Paley tarafından tanımlanan sistematik faydacı ekstremité rekonstrüksiyonu prosedürü gibi yumuşak doku ve kemik doku prosedürlerini içeren cerrahiler yapılabilir.^[9,22,23] Kalça kaynaklı kısıklık ve Trendelenburg yürüyüşü olan hastalarda, aksamanın düzeltilmesi ve abdükör kolun uzatılması amacıyla intertrokanterik düzeyde açık kama valgizasyon osteotomisi uygulanabilir. Femur uzatmalarında diz subluksasyonunu önlemek amacıyla eksternal fiksator tibiya menteşeye uzatılarak diz hareketleri korunabilir.^[13]

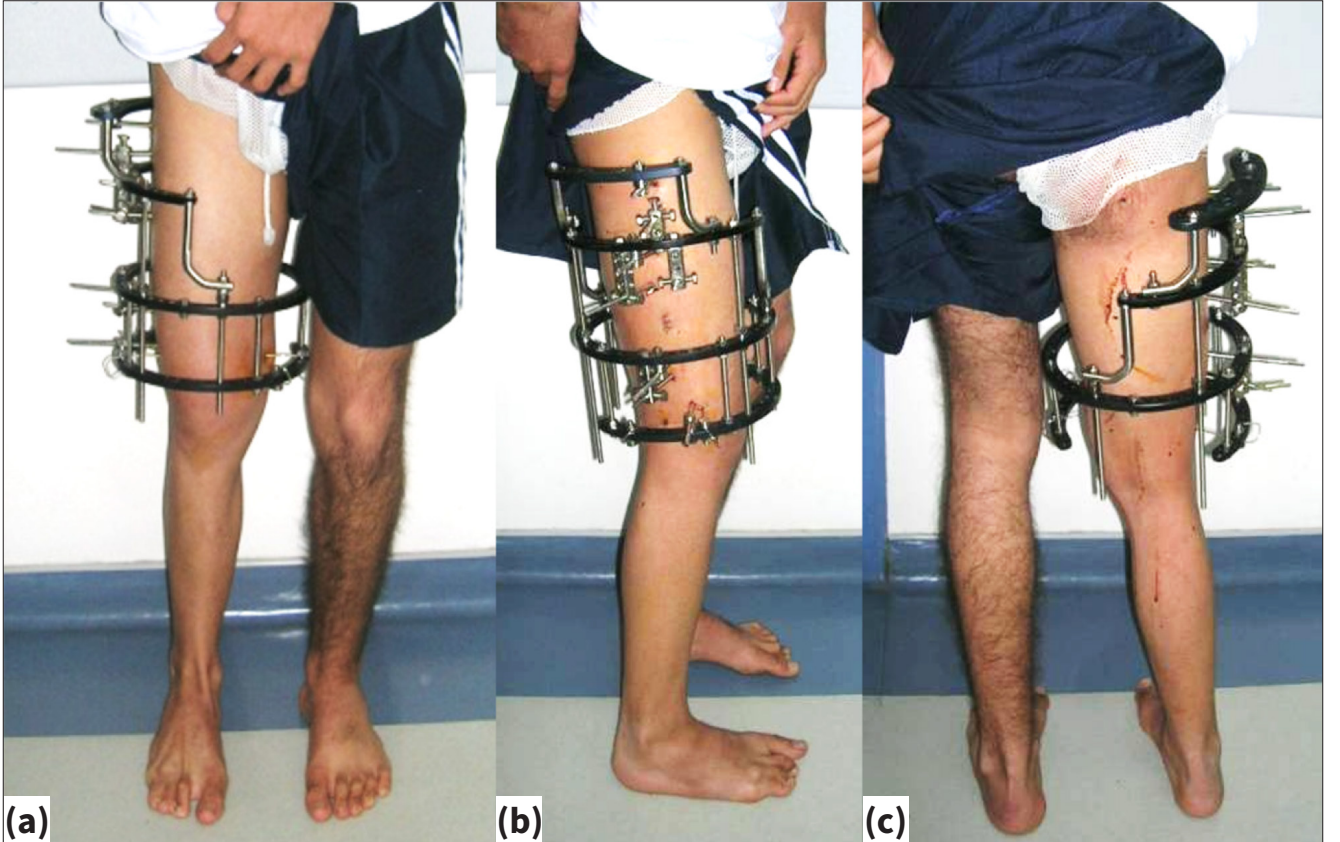
Eksternal fiksasyon; cerrahin deneyimsizliği, hastanın düzenli izlenememesi veya uyum sorunları, ciddi hemodinamik instabilite, ağır yumuşak doku kontaminasyonu, insan bağışıklık yetmezliği virüsü pozitif olgularda cerrahi dışı seçeneklerin daha uygun olması ve diğer yöntemlere belirgin üstünlük sağlamadığı durumlarda kontrendikedir. Bu faktörler hasta güvenliğini ve tedavi başarısını olumsuz etkileyebilir.^[24]

Cerrahi Teknik

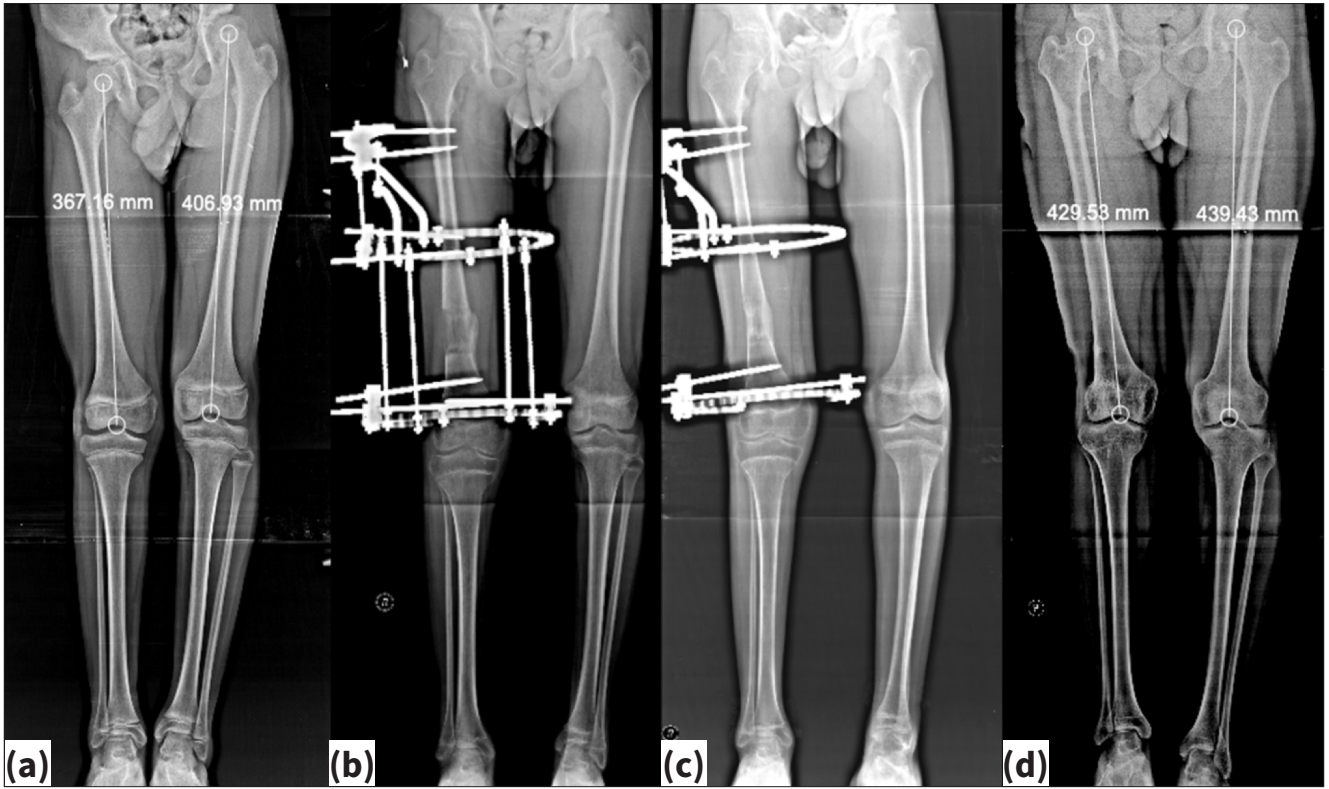
Femoral uzatma cerrahisinde hasta tercihen supin pozisyonunda ameliyat masasına alınır. Uygun sterilite sağlandıktan sonra önceden hazırlanmış çerçeve yerleştirilir. Çerçeve; yalnızca uzatma, akut deformite düzeltmeyle birlikte uzatma veya tedrici deformite düzeltme sonrasında uzatma yapılacak şekilde tasarlanabilir. Kalça hareketine izin vermek ve ameliyat sonrası konfor sağlamak amacıyla proksimal femurda ark veya yarım halkalar tercih edilir. En distal halka ise eklem hareketine izin verebilmek için 5/8 halka şeklinde kullanılabilir. Osteotominin yeri klinik koşullara göre belirlenir. Osteotomi hattına denk gelen rodlar distal halkaya dereceli somunlarla bağlanabilir veya teleskopik rodlar tercih edilebilir. Böylece uzatma miktarı daha kontrollü ve tutarlı bir şekilde ayarlanabilir. Proksimal halkalar, rodların yanında S bant (deveboynu) kullanılarak distal halkanın medialine tespit edilebilir; bu yöntem aksiyel deformitelerin önlenmesine ve rijiditenin artırılmasına katkı sağlar. Schanz vidaları ve K telleri, İlizarov prensiplerine uygun şekilde femur anatomik aksına dik olarak gönderilir. Proksimal segment genellikle Schanz vidaları ile tespit edilirken, distal segment tercihe göre bir adet

telle birlikte Schanz vidaları veya yalnızca Schanz vidalarıyla tespit edilebilir (Şekil 2).

Tel tespiti sırasında anteriordan giriş yapılırken dizin yaklaşık 90° fleksiyonda, tel posteriordan çıkarken de dizin tam ekstansiyonda olması eklem kontraktürlerini azaltacaktır. Bunun yanında tel ikinci korteksi geçtikten sonra matkapla değil de itilerek veya çakılarak gönderilmesi nörovasküler hasar ve termal hasar risklerini azaltacaktır. Tespit tamamlandıktan sonra osteotomi seviyesinde minimal insizyon yapılır. Sonrasında tensör fasya lata transvers olarak kesilirse hem uzatma süreci kolaylaşır hem de valgusa açılma eğilimi azalır. Sonrasında periosta longitudinal bir kesi yapıldıktan sonra elevatör yardımıyla kaldırılır ve osteotomi işlemi K teli, osteotom veya Gigli teliyle gerçekleştirilir. Osteotominin tamamlandığı, akut distraksiyonun başarılı şekilde uygulanabilirliğiyle doğrulanır. Bu aşamadan sonra herhangi bir distraksiyon yapılmaz; uygun latans süresi beklendikten sonra, önerilen hızda (1 mm/gün) distraksiyona başlanır. Hasta düzenli poliklinik kontrollerine çağrılarak uzatma sürecinin başarısı, sonrasında konsolidasyon dönemi ve eksternal fiksatör çıkarıldıktan sonraki iyileşme süreci yakından izlenir (Şekil 3). Sirküler eksternal fiksatörün



Şekil 2.a-c. İlizarov sirküler eksternal fiksatör uygulaması. Sırasıyla anterior (a), lateral (b) ve posterior (c) görünüşleri.



Şekil 3.a-d. On üç yaşında erkek hastada sağ femur kısalığı nedeniyle sirküler eksternal fiksator ile uzatma uygulanmıştır. Ameliyat öncesi ortoröntgenogramda sağ femurda 4 cm kısalık izlenmektedir (a). İlizarov sirküler fiksator konfigürasyonu net olarak görülmekte olup uzatma tamamlanmış, konsolidasyon süreci başlamıştır (b). Kaynama tamamlanmış ve sistem dinamize edilmiştir (c). Ameliyat sonrası 10. yıl kontrolündeki radyografisi (d).

avantajlarından biri de komplikasyon gelişmesi hâlinde hastaya ek anestezi gerektirmeden düzeltici müdahalelere olanak tanınmasıdır.^[20,25]

Komplikasyonlar ve Yönetimi

Paley, uzatma cerrahilerinde karşılaşılan zorlukları üç ana başlık altında tanımlar: Problem, engel ve komplikasyon. Problem, cerrahi dışı yöntemlerle veya tedavi bitmeden kendiliğinden çözülen durumlardır. Engel, tedavi sırasında cerrahi müdahaleyle çözülen durumları ifade eder. Komplikasyon ise tedavi sonunda hâlâ devam eden veya intraoperatif gelişen sorunlardır; minör ve majör olarak ikiye ayrılır. Majör komplikasyonlar tedavinin asıl hedeflerine ulaşmasını engellerken, minör komplikasyonlar genellikle kalıcı bir olumsuzluk bırakmaz.^[13]

Kas kontraktürleri, distraksiyon sırasında kasların uzamaya karşı geliştirdiği direnç sonucu ortaya çıkar ve özellikle iki eklem geçen kaslarda (örneğin *hamstring*) daha belirgin görülür. Tekrarlayan cerrahiler, mevcut kontraktürlerin varlığı, kasın düşük rejenerasyon kapasitesiyle kas, fasya veya tendon üzerinden geçen fiksasyon materyallerinin eklem hareketini kısıtlaması kontraktür gelişme riskini artırabilir.^[13,26] Kontraktür gelişimini

önlemek amacıyla yoğun fizyoterapi, germe egzersizleri, elektrik stimülasyonu ve eklem splintleri kullanılabilir. Kontraktür gelişmesi durumunda uzatma hızı yavaşlatılabilir, geçici olarak durdurulabilir veya kısaltma uygulanabilir; 40°'yi aşan deformitelerde eklemi geçen bir tespit uygulanarak tedrici düzeltme yapılabilir.^[26] Dirençli olgularda ise tendon uzatma gibi cerrahi girişimler gerekli olabilir. Eklem sertliği ise kalıcı kas kontraktürleri veya eklem kıkırdak yüzeyine artan basınç nedeniyle oluşur. Özellikle diz ekstansiyon ve ayak bileği dorsifleksiyon kaybı fonksiyonel olarak önemlidir. Yüksek riskli eklemlerde, çerçeve eklem hattını geçecek şekilde tespit sağlanıp 5 mm distrakte edilerek mobilize edilebilir.^[13,26]

Eklem subluksasyonu, özellikle dizde, konjenital nedenlere bağlı mevcut instabilite veya uzatma sırasında gelişen kas dengesizlikleri sonucu ortaya çıkabilir.^[23] Önlenmesi için ameliyat öncesinde eklem stabilitesinin dikkatle değerlendirilmesi, uygun fiksator konfigürasyonunun seçilmesi, kas kontraktürlerinin engellenmesi ve düzenli fizyoterapi uygulanması önemlidir. Daha ciddi olgularda ya da dislokasyon gelişmesi durumunda ise fiksator sisteminin eklemi geçecek şekilde düzenlenmesi gerekebilir.

Aksiyel deviasyon, genellikle kas kuvvetlerindeki asimetri veya fiksator instabilitesine bağlı olarak gelişir. Proksimal femur osteotomilerinde varus ve prokurvatum, distal osteotomilerde ise valgus ve prokurvatum deformiteleri görülmesi beklenir. Bunu önlemek için tellerin farklı düzlemlerde ve uygun açılarla yerleştirilmesi önemlidir. Erken dönemde fark edilen ve 5°'nin altındaki deviasyonlarda diferansiyel distraksiyon (konkav tarafın konveks taraftan daha hızlı uzatılması) ile düzeltme yapılabilir. Ancak deviasyon 5°'nin üzerinde olduğunda çerçevenin menteşe eklenerek revize edilmesi gerekir. Ayrıca zeytinli tellerin veya ek Schanz vidalarının kullanılması da deformitelerin engellenmesinde etkili olabilir. Potansiyel bir rezidüel deformiteyi saptamak için uzatma işlemi tamamlandıktan sonra ortoröntgenografi ile değerlendirme yapılması önerilir.

Nörolojik yaralanmalar, pin yerleşimi sırasında doğrudan travmaya bağlı olarak veya distraksiyon sürecinde sinir gerilmesi sonucu gelişebilir. Bu komplikasyonların önlenmesinde anatomik bilginin doğru kullanımı, uygun cerrahi teknik ve distraksiyon hızının titizlikle ayarlanması kritik öneme sahiptir. Tel yerleştirilirken, korteksler geçildikten sonra tel cilde kadar motor kullanılmadan ilerletilmelidir. Bu yöntem, sinir hasarı riskini azaltır. Ameliyat sonrasında tel nedeniyle bir sinir hasarından şüpheleniyorsa tele metal bir cisimle vurularak ilgili dermatomda parestezi veya ağrı oluşup oluşmadığı gözlemlenebilir. Distraksiyona bağlı gelişen nörolojik bulgulara erken dönemde ağrı veya hiperestezi saptanırsa, uzatma işlemi geçici olarak durdurulmalı; semptomlar geriledikten sonra daha yavaş hızlarda devam edilmelidir. Ancak hipoestezi veya kas güçsüzlüğü gelişmişse kısaltma yapılması gerekebilir.^[13]

Vasküler komplikasyonlar hem cerrahi sırasında hem de distraksiyon sürecinde ortaya çıkabilir. Telin arter veya vene doğrudan zarar vermesi nadirdir ancak böyle bir durumda tel derhal çıkarılmalı ve kanama kontrolü sağlanmalıdır. Nadir olarak arteriyovenöz fistül ya da artere yakın seyreden tellerde geç dönemde psödoanevrizma gelişebileceği de bildirilmiştir. Osteotomi sırasında damar yaralanmaları görülebilir ve çoğu olgu basit kompresyonla kontrol altına alınabilir. Gelişen hematoma ve kompartman sendromu riski olan durumlarda profilaktik fasyotomi yapılması gerekebilir. Daha nadir olmakla birlikte derin ven trombozu ve pulmoner emboli gibi komplikasyonlar ciddi sonuçlar doğurabilir. Ayrıca distraksiyonun hızlı uygulanması ekstremité ödemeine yol açabilir.^[13]

Erken kaynama (prematür konsolidasyon), osteotomi hattının tam açılmaması (eksik kortikotomi) ile karıştırılabilir. Gerçek prematür konsolidasyon genellikle latans süresinin uzun tutulmasına bağlı olarak gelişir. Özellikle femur ve fibulada daha sık görülen bu durumda, distrak-

siyon sırasında osteotomi hattının açılmaması ve tellerin eğilmesi ile tanı konulabilir. Yönetimde distraksiyona devam edilerek distraksiyon kuvvetiyle konsolide kemiğin kırılması sağlanabilir. Ancak yeterli açılma elde edilemezse osteoklazi veya yeniden kortikotomi gerekebilir.

Geç kaynama (gecikmiş konsolidasyon); travmatik kortikotomi, fiksator instabilitesi veya hızlı distraksiyon gibi teknik faktörlerin yanı sıra enfeksiyon, malnütrisyon ve metabolik hastalıklar gibi hasta faktörlerine bağlı olarak da gelişebilir.^[27] Riski azaltmak için kortikotomi sırasında yumuşak doku, endosteum ve periosteum hasarından kaçınılması önemlidir. İnstabiliteye bağlı gelişen olgularda radyografide trabeküllerin düzensiz görünümüne sahip olduğu izlenir. Tedavide geri kompresyon-distraksiyon (akordeon manevrası), enfeksiyon tedavisi ve gerekli olgularda kemik greftlemesi uygulanabilir.^[28]

Pin dibi sorunları; pin-cilt arasındaki hareket, yumuşak doku kalınlığı ve pin çapıyla ilişkilidir.^[29] Bu nedenle tel gerginliğinin doğru ayarlanması ve tel çevresindeki cildin gazlı bez veya plastik bastırıcılarla stabilize edilmesi koruyucu önem taşır. Pin traktı problemleri, basit yumuşak doku enflamasyonundan kemik enfeksiyonuna kadar geniş bir spektrumda görülebilir. Paley bu komplikasyonları evre I (yumuşak doku enflamasyonu), evre II (yumuşak doku enfeksiyonu), evre III (kemik enfeksiyonu) olmak üzere üç evreye ayırmıştır. Erken evrelerde (evre I-II) lokal antiseptik veya antibiyotik uygulamaları, sistemik antibiyotik tedavisi ve tel gerginliğinin yeniden ayarlanması yeterli olabilir. Ancak evre III olgularında, özellikle eklemde geçen enfekte teller veya yaygın selülit varlığında, pinin değiştirilmesi ya da tamamen çıkarılması gerekebilir.^[13]

Refraktür, cihaz çıkarıldıktan sonra kemik matürasyonunun yetersiz olması nedeniyle gelişir ve aksiyel deviasyon ya da kısalık şeklinde ortaya çıkabilir. Önlenmesi için cihaz, ancak yeterli neokortikalleşme sağlandıktan sonra çıkarılmalıdır. Torus tipi kırıklar veya küçük açılanmalar minör; >1 cm kısalık veya >5° açılanma ise majör olarak kabul edilir. Alçı veya breys uygulamasıyla veya gerektiğinde cerrahi olarak tedavi edilebilir. Özellikle proksimal femoral osteotomiler sonrasında Aston uzatma öncesinde, Abdelgawad ise uzatma sonrasında fiksator çıkarılırken intramedüller rodlarla tespit yapmış ve refraktür oranının belirgin şekilde azaldığını göstermişlerdir.^[30,31] Klinik gözlemlerimizde, diz eklem hareket açıklığı kısıtlı olan hastalarda proksimal femoral osteotomilerle yapılan femoral uzatmalarda refraktürlerin daha sık görüldüğü dikkati çekmiştir. Bu durumun, diz hareket kısıtlılığına ikincil olarak gelişen subtrokanterik bölgedeki artmış deforme edici kuvvetlerin etkisiyle ilişkili olduğunu düşünüyoruz (Şekil 4).



Şekil 4.a-d. Otuz dokuz yaşında erkek hastada diz artrodezi ile beraber femur ve tibia segmentlerine uzatma uygulanmıştır. İlizarov sirküler fiksator konfigürasyonu ile uzatma süreci görülmektedir **(a)**. Kaynama sağlanmış olup hasta aktif mobilizasyon aşamasındadır **(b)**. Postoperatif dördüncü yılda, subtrokanterik femurda uzatma bölgesinde kırık gelişmiştir **(c)**. Kırık, intramedüller çivi ile tespit edilmiş olup görüntü postoperatif 14. yıla aittir **(d)**.

Ağrı, uzatma sürecinde en sık karşılaşılan yakınmadır. Akut cerrahiye bağlı ağrı genellikle ilk günlerde belirgin, kronik ağrı kas ve sinir gerilmesine bağlı olarak ortaya çıkar ve çoğunlukla fizyoterapi sırasında veya geceleri artış gösterir. Ağrının yönetiminde analjezikler, gece atelleri ve gerektiğinde distraksiyon hızının azaltılması etkili yöntemlerdir. Uzatma süreci uzadıkça iştah kaybı, kilo kaybı ve depresyon gibi sistemik sorunlar da görülebilir ancak bu şikayetlerin büyük bölümü distraksiyonun tamamlanmasından kısa süre sonra gerilemektedir. Bununla birlikte, nadir de olsa refleks sempatik distrofi gelişebileceği akılda tutulmalıdır.^[13,26]

Yöntemlerin Karşılaştırılması

Femoral uzatma; eksternal fiksatorlerle (monolateral, sirküler veya hibrit sistemler) veya intramedüller çivilerle yapılabilir. İntramedüller uzatma çivileri daha kısa iyileşme süresi, daha iyi kozmetik sonuçlar ve oyma sırasında elde edilen kemik greftlerinin osteojenik katkısı ile avantaj sağlarken, yalnızca açıl deformitesi olmayan olgularda kullanılabilir ve genellikle 8-10 yaş üzerindeki, proksimal femoral büyüme plağı kapanmaya başlayan hastalarda uygulanabilmektedir. Bunun yanında sirküler fiksatorler daha hacimli ve konforsuz olmakla birlikte yüksek stabilitesi, deformite düzeltmeye imkân vermesi,

uygun maliyetleri, çok yönlülükleri ve küçük yaşlarda (2-3 yaş) dahi kullanılabilmeleri nedeniyle sık tercih edilir.^[19] Monolateral fiksatorler ise sirküler çerçevelere kıyasla daha az hacimli olmaları nedeniyle daha iyi tolere edilir; ancak rejenerat deformitesi oranları daha yüksektir ve sınırlı deformite düzeltilmesine izin vermektedir. Bu durum, vidaların yalnızca tek taraftan yerleştirilmesine bağlı yetersiz rijiditeden kaynaklanmaktadır.^[32]

İlizarov sistemi, distraksiyon osteogenezi prensiplerini klinik uygulamaya kazandırarak uzun kemiklerde uzatma ve deformite düzeltme cerrahisinde çığır açan bir yöntem olmuştur. Sirküler eksternal fiksatorün sunduğu biyomekanik stabilite, çok düzlemli deformite düzeltme kapasitesi ve yumuşak dokuların biyolojik adaptasyonuna olanak tanıması, bu yöntemi özellikle kompleks vakalarda vazgeçilmez kılmaktadır. Pin dibi enfeksiyonları, uzun süreli fiksator kullanımı ve eklem sertliği gibi komplikasyon riskleri bulunmasına rağmen, İlizarov sistemi öngörülebilir kaynama ve tatmin edici fonksiyonel sonuçlarıyla günümüzde de klinik değerini korumaktadır. Teknolojik gelişmelerle ortaya çıkan hibrit yöntemler ve motorize intramedüller çivilere karşın, biyolojik prensiplere dayalı etkinliği kanıtlanmış olan İlizarov sistemi, modern rekonstrüktif ortopedinin vazgeçilmez yaklaşımlarından biri olmayı sürdürmektedir.

KAYNAKLAR

1. Birch JG. A Brief History of Limb Lengthening. J Pediatr Orthop 2017;37 Suppl 2:S1-S8. [Crossref](#)
2. Ilizarov GA. Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. Clin Orthop Relat Res 1990;(250):8-26. [Crossref](#)
3. Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues. Part I. The influence of stability of fixation and soft-tissue preservation. Clin Orthop Relat Res 1989;(238):249-81. [Crossref](#)
4. Ilizarov GA. The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. Clin Orthop Relat Res 1989;263-85. [Crossref](#)
5. Kırdemir V. Distraksiyon osteogenezinin histoloji ve biyolojisi. TOTBİD Dergisi 2020;19. [Crossref](#)
6. Aronson J. Basic Science and Biological Principles of Distraction Osteogenesis. In: Limb Lengthening and Reconstruction Surgery. CRC Press 2006:19-42. [Crossref](#)
7. Spiegelberg B, Parratt T, Dheerendra S, Khan W, Jennings R, Marsh D. Ilizarov principles of deformity correction. Ann R Coll Surg Engl 2010;92:101-5. [Crossref](#)
8. Aronson J. Temporal and spatial increases in blood flow during distraction osteogenesis. Clin Orthop Relat Res 1994:124-31. [Crossref](#)
9. Şen C, Sağlam Y, Kocaoğlu M, Bilen FE, Balci HI. Limb Lengthening. In: Basic Techniques for Extremity Reconstruction. Cham: Springer International Publishing; 2018:645-81. [Crossref](#)
10. Ippolito E, Peretti G, Bellocci M, Farsetti P, Tudisco C, Caterini R, et al. Histology and ultrastructure of arteries, veins, and peripheral nerves during limb lengthening. Clin Orthop Relat Res 1994:54-62. [Crossref](#)
11. Altun İ, Özkan C, Biçer ÖS, Mirioğlu A. Long-term radiological and clinical outcomes of lengthening with the Ilizarov external fixator in lower extremity shortening: A retrospective study. MSD 2025;12:108-15. [Crossref](#)
12. Fink B, Krieger M, Strauss JM, Opheys C, Menkhaus S, Fischer J, et al. Osteoneogenesis and its influencing factors during treatment with the Ilizarov method. Clin Orthop Relat Res 1996:261-72. [Crossref](#)
13. Paley D. Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. Clin Orthop Relat Res 1990:81-104. [Crossref](#)
14. Fragomen A, Blyakher A. Mechanical Principles of the Ilizarov Method. In: Limb Lengthening and Reconstruction Surgery. CRC Press 2006:43-52. [Crossref](#)
15. Gasser B, Boman B, Wyder D, Schneider E. Stiffness characteristics of the circular Ilizarov device as opposed to conventional external fixators. J Biomech Eng 1990;112:15-21. [Crossref](#)
16. Cross AR, Lewis DD, Murphy ST, Rigaud S, Madison JB, Kehoe MM, et al. Effects of ring diameter and wire tension on the axial biomechanics of four-ring circular external skeletal fixator constructs. Am J Vet Res 2001;62:1025-30. [Crossref](#)
17. Pommer A, Muhr G, Dávid A. Hydroxyapatite-coated Schanz pins in external fixators used for distraction osteogenesis: A randomized, controlled trial. J Bone Joint Surg Am 2002;84:1162-6. [Crossref](#)
18. Lokietek W, Legaye J, Lokietek JC. Contributing factors for osteogenesis in children's limb lengthening. J Pediatr Orthop 1991;11:452-8. [Crossref](#)
19. Sabry AO, Galal S, Menshawey R, Menshawey E, Hegazy M, Farahat M, et al. Femoral lengthening in children with congenital femoral deficiency. JBJS Rev 2024;12. [Crossref](#)
20. Derek MK. Congenital anomalies of the lower extremity. In: Azar F, Canale T, Beatty JH, eds. Campbell's Operative Orthopaedics, Vol 2, 14th ed. Philadelphia: Elsevier; 2021: 1080-185.
21. Eidelman M. Principles of Limb Lengthening and Deformity Correction in Children and Adolescents. In: Solomin LN, ed. The Basic Principles of External Skeletal Fixation Using the Ilizarov and Other Devices, Vol 1, 2nd ed. Milano: Springer Milan; 2012:666-703.
22. Paley D. SUPERhip and SUPERhip2 Procedures for Congenital Femoral Deficiency. In: Pediatric Pelvic and Proximal Femoral Osteotomies. Cham: Springer International Publishing 2018:287-356. [Crossref](#)
23. Suzuki S, Kasahara Y, Seto Y, Futami T, Furukawa K, Nishino Y. Dislocation and subluxation during femoral lengthening. J Pediatr Orthop 1994;14:343-6. [Crossref](#)
24. Solomin LN. The Basic Principles of External Fixation Using the Ilizarov Device. Milano: Springer Milan; 2008. [Crossref](#)
25. Cakmak M. Femur kırıkları. In: Cakmak M, Sen C, eds. Travmada İlizarov Uygulamaları, Vol 1, 1st ed. İklim Matbaa 2013:91-118.
26. Uysal M. Komplikasyonlar ve çözüm önerileri. In: Cakmak M, Sen C, eds. Travmada İlizarov Uygulamaları, Vol 1, 1st ed. İstanbul: İklim Matbaa 2013: 184-92.
27. Kenawey M, Krettek C, Liodakis E, Meller R, Hankemeier S. Insufficient bone regenerate after intramedullary femoral lengthening: Risk factors and classification system. Clin Orthop Relat Res 2011;469:264-73. [Crossref](#)
28. Kocaoğlu M, Eralp L, Sen C, Cakmak M, Dincürek H, Göksan SB. Management of stiff hypertrophic nonunions by distraction osteogenesis: A report of 16 cases. J Orthop Trauma 2003;17:543-8. [Crossref](#)
29. Green SA, Ripley MJ. Chronic osteomyelitis in pin tracks. J Bone Joint Surg Am 1984;66:1092-8. [Crossref](#)
30. Aston WJS, Calder PR, Baker D, Hartley J, Hill RA. Lengthening of the congenital short femur using the Ilizarov technique. J Bone Joint Surg Br 2009;91-B:962-7. [Crossref](#)
31. Abdelgawad AA, Jauregui JJ, Standard SC, Paley D, Herzenberg JE. Prophylactic intramedullary rodding following femoral lengthening in congenital deficiency of the femur. J Pediatr Orthop 2017;37:416-23. [Crossref](#)
32. Horn A, Sipilä M. Femoral lengthening in children. SA Orthopaedic Journal 2020;19. [Crossref](#)