

Femur ve tibiada eksternal fiksatorle çivi üzerinden uzatma

Lengthening over nail with external fixator in the femur and tibia

Mehmet Kocaoğlu¹, Ali Baş², F. Erkal Bilen³

¹İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul

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

³Maçka EMAR Tıp Merkezi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul

Eksternal fiksatorle çivi üzerinden uzatma (*lengthening over nail*, LON) yöntemi, eksternal fiksatorle internal fiksasyonun avantajlarını birleştiren kombine bir uzatma tekniğidir. Bu derlemede, femur ve tibia uzatma cerrahisinde LON yönteminin endikasyonları, kontrendikasyonları, cerrahi teknik ayrıntıları, ameliyat sonrası takip protokolleri ve karşılaşılabilecek komplikasyonlar ele alınmıştır. Yöntem hem konjenital hem de edinysel ekstremite uzunluk eşitsizliklerinde, deformite varlığında eş zamanlı düzeltme olanağı sağlaması ve eksternal fiksator kullanım süresini kısaltması nedeniyle tercih edilmektedir. Preoperatif planlama, deformite analizi ve implant seçiminin doğru yapılması, başarılı sonuçlar için kritik öneme sahiptir. Cerrahi uygulamada eksternal fiksatorün ve intramedüller (İM) çivinin konumlandırılması sırasında teknik hataların önlenmesi, distraksiyonun sorunsuz ilerlemesi açısından kritik öneme sahiptir. Ameliyat sonrası dönemde rehabilitasyon programı, pin dibi bakımı ve düzenli radyolojik takiple komplikasyon riski azaltılabilir. Sık karşılaşılabilecek komplikasyonlar arasında mekanik sıkışma, pin yolu enfeksiyonu, prematür konsolidasyon, eklem kontraktürleri ve implant yetmezliği yer almaktadır. LON yöntemi, yalnızca eksternal fiksator ve yalnızca internal uzatma yöntemlerine kıyasla; eksternal fiksator kullanım süresini belirgin şekilde kısaltması, maliyet açısından daha ekonomik olması ve internal yöntemlerde görülen uzatma miktarı kısıtlamasının bulunmaması sayesinde, yüksek hasta konforu ve fonksiyonel korunma avantajı sunar. Bununla birlikte, İM çivi varlığı nedeniyle derin enfeksiyon riski dikkate alınmalı ve hasta bilgilendirilmelidir.

Anahtar sözcükler: çivi üzerinden uzatma; uzuv uzatma; eksternal fiksator; intramedüller çivi; deformite düzeltme; distraksiyon osteogenezi

The lengthening over nail (LON) technique is a combined lengthening method that integrates the advantages of both external and internal fixation. In this review, the indications, contraindications, surgical technical details, postoperative follow-up protocols, and possible complications of the LON technique in femoral and tibial lengthening surgeries are discussed. The method is preferred in both congenital and acquired limb length discrepancies, as it allows simultaneous correction of deformities and shortens the duration of external fixator use. Proper preoperative planning, deformity analysis, and accurate implant selection are critical for achieving successful outcomes. In surgical practice, preventing technical errors during the positioning of the external fixator and intramedullary (IM) nail is essential for smooth distraction. In the postoperative period, a rehabilitation program, meticulous pin site care, and regular radiological follow-up can reduce the risk of complications. The most common complications include mechanical jamming, pin tract infection, premature consolidation, joint contractures, and implant failure. Compared with using only an external fixator or only an internal lengthening method, the LON technique significantly shortens external fixator time, is more cost-effective, and eliminates the lengthening limitations observed in internal methods, thereby offering high patient comfort and functional preservation. However, the risk of deep infection due to the presence of the IM nail should be considered, and patients should be informed.

Key words: lengthening over nail; limb lengthening; external fixator; intramedullary nail; deformity correction; distraction osteogenesis

Intramedüller (İM) çivi üzerinden yapılan uzatma (*lengthening over nail*, LON), geleneksel yalnızca eksternal fiksatorle uzatma tekniklerine göre üstünlük gösteren bir yöntemdir. Bost ve ark., LON tekniğini ilk olarak rapor etmişlerdir.^[1] Bu teknikte, İM çivileme için *rush*

pinleri kullanılmıştır. Günümüzde uygulanan LON tekniği ise ilk olarak Raschke ve ark. tarafından tanımlanmış ve Paley tarafından geliştirilmiştir.^[2,3] Çivi üzerinden yapılan uzatma tekniğinde eksternal fiksator süresi anlamlı ölçüde azalmakta; bu durum hasta konforunu, tedaviye

uyumu, fonksiyonel sonuçları artırmakta ayrıca eksternal fiksatorün uzun süreli kullanımına bağlı gelişebilecek pin yolu enfeksiyonu ve komşu eklemlerde hareket açıklığı kaybı gibi komplikasyonları azaltmaktadır.^[2] Ayrıca LON tekniği ile periosteal kanlanmanın anlamlı şekilde arttığı gösterilmiştir.^[4-6]

Uzatma için kullanılan bir diğer teknik olan internal uzatma çivileri (*internal lengthening nail*, ILN), eksternal fiksator kullanma gereksinimi bulunmaması nedeniyle daha da üstün kabul edilmektedir (Albizzia, Bliskunov, ISKD, Fitbone®, Precice®). Ancak bu yöntemin de bazı dezavantajları vardır. Bu dezavantajlar: sağladığı uzatma miktarı sınırlıdır (Fitbone®: 6 santimetre (cm), ISKD: 8 cm, Albizzia: 10 cm ve Precice®-2: 8 cm); maliyeti LON prosedürüne kıyasla yaklaşık üç ila dört kat daha fazladır; kemik fazla uzatılırsa yeniden kısaltma imkânı bunların büyük kısmında bulunmamaktadır; ayrıca uzatma sürecinde yük verme genellikle geciktirilir.^[7-11] Bu nedenlerle LON, hâlen tercih edilebilir bir uzatma tekniği olarak önemini korumaktadır.

Alternatif teknikler de tanımlanmıştır: Uzatma ve ardından çivileme (*lengthening and then nailing*, LATN), uzatma sonrası plaklama (*lengthening and then plating*, LAP) ve plak üzerinden uzatma (*lengthening over a plate*, LOP).^[12-16]

ÇİVİ ÜZERİNDEN FEMUR UZATMA YÖNTEMİ

Endikasyon ve Kontrendikasyonlar

Femurda LON tekniği hem doğumsal (konjenital) hem de kazanılmış (edinsel) patolojilerde uygulanabilir. İskelet sistemi matürasyonu tamamlanmış bireylerde travma sonrası gelişen ekstremité uzunluk eşitsizliği, travma ya da enfeksiyona ikincil epifiz hasarı sekeli, konstitüsyonel kısa boy, iskelet displazilerine bağlı cücelik (akondroplazi, hipokondroplazi vb.) endikasyonlar arasında yer alır. Femurda kısalıkla eş zamanlı olarak deformite varlığında femoral uzatma ve deformite düzeltme işlemleri bir arada gerçekleştirilebilir. Alt ekstremité uzunlukları arasındaki eşitsizlikler klinik olarak topallamaya yol açabilir, hastanın fonksiyonel kapasitesini kısıtlayabilir ve uzun dönemde diğer eklemlerde dejeneratif değişikliklere sebep olabilir.^[17-19]

Femur LON tekniği, uygun hasta seçimi yapılmadığında komplikasyon riski yüksek bir yöntem olduğundan, girişim için belirli kontrendikasyonlar dikkate alınmalıdır. Aktif enfeksiyon, özellikle osteomyelit varlığı, işlem için kesin kontrendikasyondur. C-host immün sistemi durumu (kronik sistemik hastalıklar veya immünsupresyon) rejenerat (yeni kemik) oluşumunu ve yara iyileşmesini olumsuz etkileyebilir.^[20] Açık büyüme plağı (fizis) bulunan olgularda büyüme plağı hasarı riski nedeniyle uygu-

lanmamalıdır. İntramedüller kanal çapının 8 milimetre (mm)'den küçük olması, uygun İM çivileme yapılamayacağı için teknik olarak kontrendikasyondur. Bunlara ek olarak, ileri derecede damar-sinir yaralanması öyküsü, ciddi eklem kontraktürleri, kötü yumuşak doku kalitesi, sistemik metabolik kemik hastalıklarının aktif fazı ve hastanın tedaviye uyum sağlayamayacağı psikososyal durumlar da literatürde uzatma cerrahisi için kontrendikasyonlar arasında bildirilmektedir.^[21]

Ameliyat Öncesi Değerlendirme

Fizik muayenede kalça, diz ve ayak bileği eklemlerinin hareket açıklıkları ile eklem kontraktürleri ayrıntılı olarak değerlendirilip kaydedilmelidir. Nörolojik ve vasküler yapıların muayenesi yapılarak normal ve patolojik bulgular kayıt altına alınmalıdır. Spina iliyaka anterior superior ile medial malleol arası mesafe ve umbilicus (göbek) ile medial malleol arası mesafe ölçülmelidir.

Tedavi öncesi ve sonrası alt ekstremité uzunluk ölçümleri için alt ekstremité boy uzunluk grafisi (ortoröntgenogram, teleröntgenogram, skenogram, EOS®) kısalık telafi edilerek çekilmeli ve klinik fotoğraflama yapılmalıdır. Tromboemboli öyküsü olan hastalarda Doppler ultrasonografi ile değerlendirme yapılarak, gerekli durumlar- da profilaksi tedavisi başlanmalıdır.

Radyolojik olarak, tüm olgularda hem bölgesel olarak femur grafileri hem de pelvisi kapsayacak şekilde alt ekstremité uzunluk grafileri çekilmelidir. Çekim sırasında kısa tarafın altına telafi konmalı, diz sagittal planda tam ekstansiyonda tutulmalı ve yerleştirilecek İM çivinin boyutları ile osteotomi seviyelerinin doğru belirlenebilmesi için ölçekleyici kullanılmalıdır.

Ameliyat öncesi eşlik eden intraartiküler patolojiler varlığında, manyetik rezonans görüntüleme ve bilgisayarlı tomografi ile değerlendirilmelidir.

Planlama

Anamnez, fizik muayene ve görüntülemelerden elde edilen tüm veriler eksiksiz şekilde kayıt altına alınmalı ve analiz edilmelidir. Deformite analizi, ilgili prensiplere göre yapılarak şablonlama yöntemiyle önce kağıt üzerinde düzeltilmelidir.^[22]

Osteotomi seviyeleri, anatomik eksene bağlı kalarak belirlenmelidir.^[23] Distal femur metafizinde deformite varsa deformite düzeltmesini takiben interkondiler çentikten retrograd İM çivileme uygulanmalıdır. Femur proksimal metafizinde ek deformite mevcutsa, yerleştirilecek İM çivinin boyu femurdan uzun seçilmeli ve planlanan uzunluk sağlanana kadar çivinin bir kısmı kemiğin dışında seyretilmelidir. Sadece femur proksimal metafizinde deformite varsa antegrad İM çivi tercih edilmelidir.

Çivinin çapı ve uzunluğu, ölçeklenmiş ölçümler ile belirlenmeli; düzeltme planı önce kağıt üzerinde şablon çalışması ile veya bilgisayar tabanlı yazılımlar kullanılarak dijital ortamda hazırlanmalıdır. Bu planlama sırasında gerekiyorsa, yönlendirme (*poller*) vida pozisyonları da önceden belirlenmelidir.^[24]

Cerrahi Ekipman ve Enstrümanlar

Çivi üzerinden yapılan uzatma ameliyatında, floroskopi uyumlu (radyolüsent, X ışını geçiren) bir ameliyat masası, steril diz desteği ve havlular bulundurulmalıdır. Kullanılacak floroskopi cihazının tercihen geniş açılı görüntü sağlayabilmesi önerilir.

Schanz vidaları 6 mm çapında ve özellikle osteoporotik hastalarda hidroksiapatit kaplamalı olmalıdır. Femur LON ameliyatında tek planlı, unilateral eksternal fiksator sistemleri (Orthofix, LRS, Bussolengo, İtalya vb.) ile fleksibl medüller oyucular kullanılmalıdır.

Ayrıca süngü (*bayonet*) uçlu 1,8 mm Kirschner telleri (K telleri), 3,5 mm ve 5 mm kanüllü *drill* ile uygun çap ve uzunlukta İM çivi hazır bulundurulmalıdır.

Cerrahi Pozisyon ve Teknik

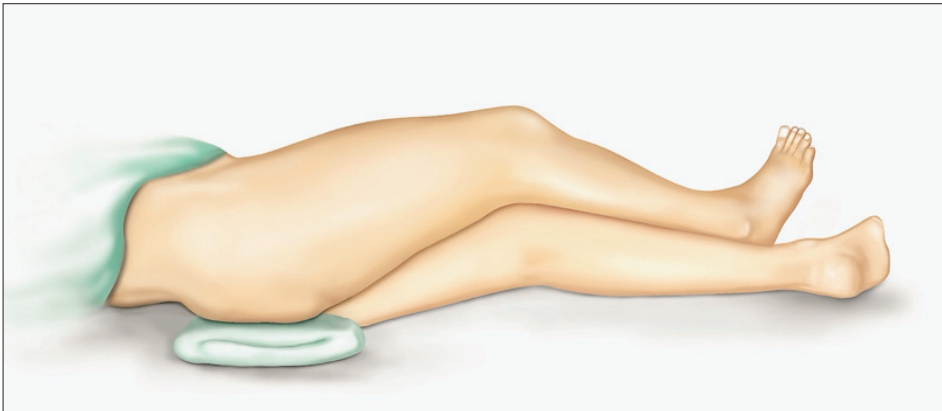
Hasta, radyolüsent ameliyat masasına sırtüstü (*supin*) pozisyonda yerleştirilir. Kalçanın altına yerleştirilen radyolüsent bir destekle aynı taraf kalça yükseltilir. Femurun, kalçadan dize kadar olan bölümü, ameliyat öncesinde tercihen ameliyatı gerçekleştirecek cerrah tarafından floroskopi C-kolu kullanılarak görüntülenmeli ve görüntüleme yeterliliği doğrulanmalıdır. Steril örtüm işlemi, kalçayı da kapsayacak şekilde iliyak kanat seviyesine kadar yapılır. Cerrahi asistan, ameliyat edilecek ekstremitayı sağlam ekstremitenin üzerine geçirerek makas pozisyonuna getirir ve ardından cerrah, piriformis fossadan perkütan olarak bir K teli yerleştirir (Şekil 1).

Frontal planda giriş noktasının laterale kaydırılması, proksimal kemik segmentte varus deformitesine; mediale kaydırılması ise valgus deformitesine neden olur. Bu nedenle K telinin pozisyonu, ön arka (anteroposterior, AP) ve yan (lateral) planda floroskopi eşliğinde kontrol edilmelidir. Bu K teli üzerinden, giriş noktasını oluşturmak için 5 mm çaplı kanüllü *drill* kullanılır. Daha önce planlanan osteotomi seviyesinde, 1 cm'lik insizyon üzerinden düşük devirde çalıştırılan *drill* ile çok sayıda delik açılır; bu uygulama, kemiğin termal nekroza uğramasını önlemek için yapılır. Ayrıca bu işlem, medüller kanalın fenestrasyonunu sağlayarak hem oluşacak kallus için internal greft etkisi yaratır hem de İM basıncı dengeleyerek yağ embolisi riskini azaltır (Şekil 2). İntramedüller kanal boyunca oyma işlemi için kılavuz tel ilerletilir.

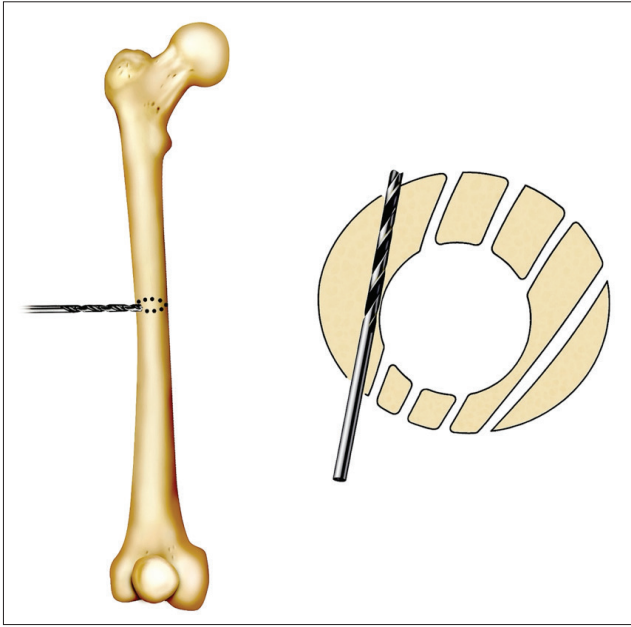
Medüller kanal, yerleştirilmesi planlanan İM çividen 1,5 mm daha geniş olacak şekilde, oyucuların çapı 0,5 mm'lik artışlarla tedrici olarak oyulur. Bu aşamada medüller kanal içinde bırakılmış kılavuz tel yerindeyken osteotom kullanılarak osteotomi tamamlanır. Osteotominin tam olarak gerçekleştiğini teyit etmek amacıyla, osteotom yardımıyla kemik segmentlerinin translasyonu floroskopi altında kontrol edilir (Şekil 3).

Bu işlemden sonra ölçüleri daha önce belirlenmiş olan İM çivi, kılavuz tel üzerinden aşırı kuvvet uygulamadan İM kanala yerleştirilir. Oyma işlemi, çivi çapından daha geniş yapıldığından çivinin manuel olarak ilerletilebilmesi beklenir. Çivi yerleştirildikten sonra kılavuz tel çıkarılır. Çivinin proksimal kilitlemesi, sefalomedüller (rekonstrüksiyon) veya intertrokanterik (standart) yönde yapılabilir; bu iki teknik arasında belirgin bir üstünlük bulunmamaktadır.

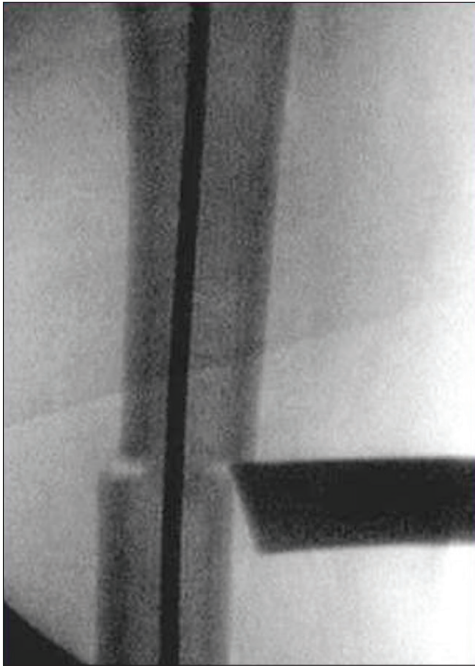
İntramedüller çivinin yerleştirilmesi sonrasındaki cerrahi aşama, Schanz vidalarının (yarım pinlerin) yerleştirilmesidir. Paley ve ark., Schanz vidalarının yerleştirilmesi için üç farklı konfigürasyon tanımlamıştır:^[3]



Şekil 1. Ameliyat edilecek ekstremitenin makas pozisyonuna getirilmesi. Bu pozisyon, piriformis fossadan perkütan K telinin yerleştirilmesini kolaylaştırır.



Şekil 2. Osteotomi amacıyla uygulanan çoklu drill deliği (multiple drill hole) tekniği.



Şekil 3. Osteotominin tamamlandığını gösteren kemik segmentlerinin translasyonu.

1. Schanz vidaları hem proksimalde hem de distalde İM çivinin posterioruna yerleştirilir.
2. Schanz vidaları hem proksimalde hem de distalde çivinin anterioruna yerleştirilir.
3. Schanz vidaları proksimalde çivinin anterioruna, distalde ise çivinin posterioruna yerleştirilir (Şekil 4).

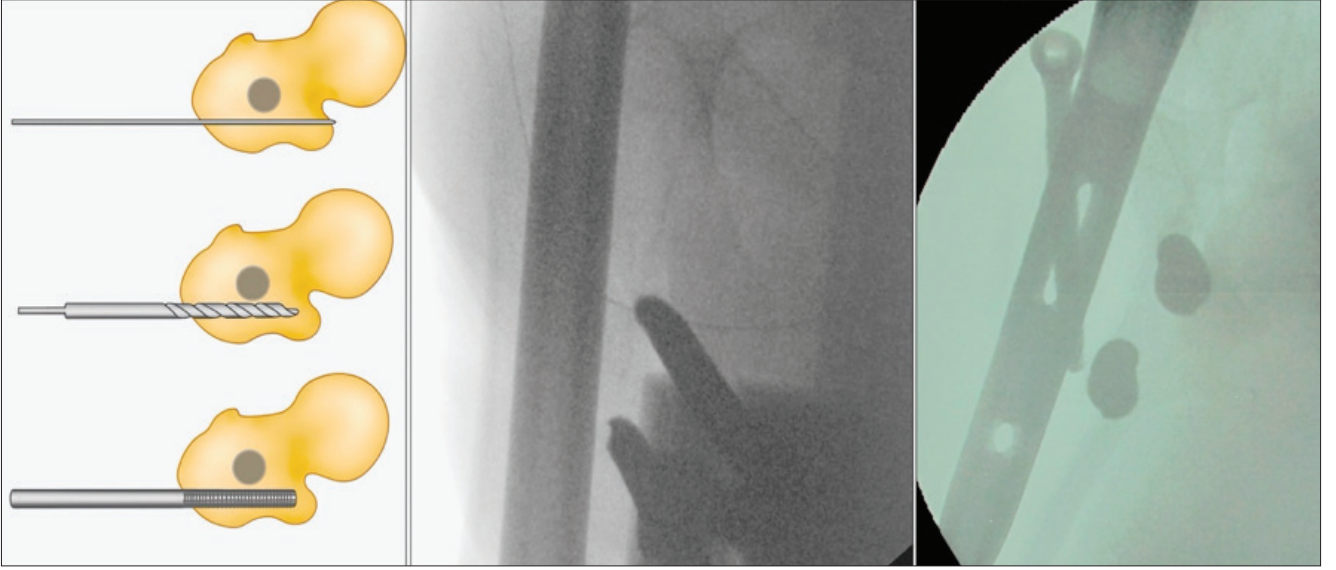


Şekil 4. Schanz vidalarının yerleştirilmesine yönelik üç farklı konfigürasyon. İntramedüller çiviye göre sırasıyla posterior-posterior, anterior-anterior ve anterior-posterior yerleşim seçenekleri.

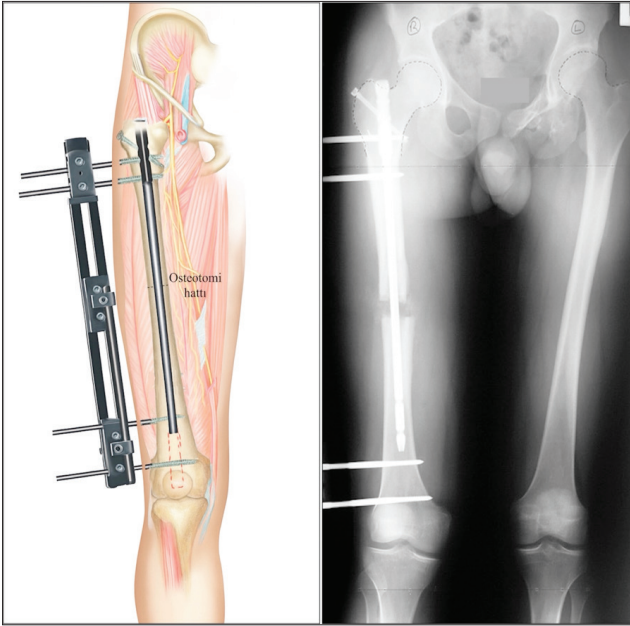
Yazarlar, hem proksimal hem de distal Schanz vidalarının çivinin posterioruna yerleştirildiği konfigürasyonu tercih etmektedir. Bu yerleşim biçimi, eksternal fiksatörün sagittal planda çiviye paralel olmasını sağlar böylece kemik segmentinin çivi üzerinde kayması daha düzgün olur ve çivinin sıkışma riski azalır.

Proksimal Schanz vidaları, küçük trokanter seviyesinde ve İM çivinin posterioruna, çiviye temas etmeyecek şekilde yerleştirilir (Şekil 5). Tedavi sürecinde gelişebilecek bir pin yolu enfeksiyonunun İM çivi yoluyla medüller kanala yayılımını önlemek ve uzatma sırasında çivinin medüller kanalda rahat şekilde kayabilmesini sağlamak amacıyla, Schanz vidaları ile çivi arasında en az 2 mm mesafe olması gereklidir.

Bu yerleşimin sağlanabilmesi için, floroskopi eşliğinde önce bir kılavuz K teli yerleştirilir: sagittal planda tel ile İM çivi arasında yeterli mesafe olmalı; frontal planda ise tel çiviye dik konumda bulunmalıdır. Kılavuz telin istenen pozisyonda yerleştirildiği doğrulandıktan sonra, her iki korteks 3,5 mm çaplı kanüllü *drill* ucu ile delinerek konik uçlu, 6 mm çapında bir Schanz vidası yerleştirilir. Yazarlar; uzun dönemde gevşeme ve pin dibi enfeksiyonu riski daha düşük olan ve kemik tutulumunun daha güçlü sağlanabildiği hidroksiapatit kaplı Schanz vidalarını tercih etmektedir. Bu aşamada, Schanz vidasının frontal planda İM çiviye dik olduğu ve sagittal planda çiviye temas etmediği floroskopiyle kontrol edilir (Şekil 6,7).

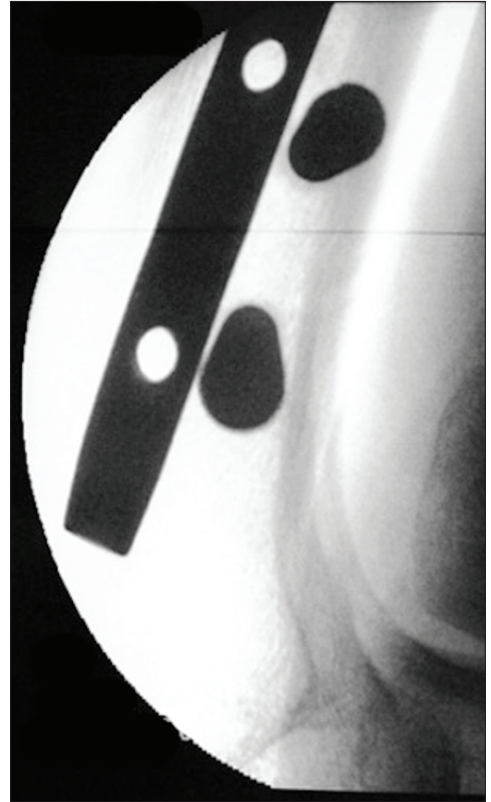


Şekil 5. Proksimal Schanz vidalarının, İM çiviye temas etmeyecek şekilde, çivinin posterioruna yerleştirilmesi.



Şekil 6. Frontal planda, Schanz vidalarının İM çiviye göre dik olacak şekilde konumlandırılması.

Eksternal fiksatorün klemp (çenesi), ikinci Schanz vidasının yerleştirilmesinde kılavuz olarak kullanılır. Distal Schanz vidaları suprakondiler seviyede yerleştirilir. Gerçek lateral görüntü elde etmek için, femur kondillerinin sagittal planda floroskopi görüntüsünde üst üste gelmesi sağlanmalıdır. Sonrasında, yukarıda tarif edilen K teli ve kanüllü drill tekniği uygulanarak iki adet Schanz vidası distale yerleştirilir; vidalar, frontal planda İM çiviye dik olacak ve sagittal planda çiviye temas etmeyecek şekilde konumlandırılır. Cerrah, proksimal ve distal vida-



Şekil 7. Distal Schanz vidalarının, İM çiviye temas etmeyecek şekilde, çivinin posterioruna yerleştirilmesi.

ları manivela kolu (*joystick*) gibi tutarak, distal segmentin serbest rotasyonunu elle değerlendirir; bu manevra, segmentin çivi üzerinde rahat bir şekilde kayıp kaymayacağına bir göstergesi olarak kabul edilir.

Eksternal fiksatorün klempleri, Schanz vidalarına sıkıca tutturulur ve bu klempler, fiksator rayına adapte edilir. Kaymanın düzgün bir şekilde gerçekleşebilmesi için, rayın frontal ve sagittal planlarda İM çiviye paralel olup olmadığı floroskopi ile kontrol edilir. Her iki planda da fiksator gövdesi ile İM çivinin birbirlerine paralel konumlanmış olması beklenir.

Osteotomi hattının bir tarafındaki klemp sabitle-nir, diğer taraftaki klemp ise fiksator gövdesi üzerinde kaymaya izin verecek şekilde gevşek bırakılır. Ameliyat sonlandırılmadan önce, sistemin sorunsuz çalışıp çalışmadığını kontrol etmek amacıyla 5 mm'lik akut distraksiyon testi yapılmalıdır. Eğer çivide sıkışmayı gösteren akut distraksiyon sağlanamazsa, çivi çıkarılır ve medüller kanal, çivi çapından 2 mm daha geniş olacak şekilde tekrar oyulur. Akut distraksiyon testi başarılıysa, osteotomi hattında kemik uçlar arasındaki temasın yeniden sağlanabilmesi için distraksiyon geri alınır. Pansuman uygulanarak işlem sonlandırılır.

Özellikle osteoporotik kemiklerde, Schanz vidalarının dolayısıyla eksternal fiksatorün stabilitesi konusunda kaygı varsa, farklı planlarda ek Schanz pinlerinin yerleştirilmesine olanak tanıyan ilizarov pelvik arkları kullanılarak unilateral eksternal fiksatöre bağlantı yapılabilir. Böylece, farklı fiksator sistemlerine ait komponentlerin kullanılması ile oluşturulan hibrid eksternal fiksatorle kemik segmentin tespiti güçlendirilebilir (Şekil 8).

Ameliyat Sonrası Takip Süreci

Yara bakımı ameliyat sonrası ikinci günden itibaren, nazik bir şekilde, serum fizyolojik kullanılarak ve pin dip-lerine özen gösterilerek, üç günde bir yapılmalıdır.

Ameliyat günü, izometrik kuadriseps egzersizleri başlanabilir. Retrograd çivileme olgularında, özellikle diz üzerine soğuk uygulama yapılması önerilir. Ameliyat sonrası ilk gün, çift koltuk değneği ile tam yük verme uygulanabilir. İkinci veya üçüncü günde eğer hasta çift koltuk değneğiyle yarımsız mobilize olabiliyor, kalça ve diz eklemler hareket açıklığında kısıtlılık bulunmuyorsa taburcu edilebilir. Yazarlar, taburculuk sonrası tüm tedavi süreci boyunca günlük rehabilitasyon egzersizleri önermektedir.

Distraksiyona, ameliyattan sonraki yedinci günde başlanır ve bu bekleme süreci "latent periyod" olarak adlandırılır. Distraksiyon hızı, günde toplam 1 mm olacak şekilde 4 x 0,25 mm olarak uygulanır. Distraksiyon periyodunda iki hafta aralıklarla hasta klinik ve radyolojik takibe alınır. Bu takiplerde; uzama miktarı, distraksiyonun başarıyla uygulanıp uygulanmadığı, implant yetmezliği varlığı, pin çevresinde osteoliz durumu, ek deformitenin var olup olmadığı, pin dibi sorunları, eksternal fiksator stabilitesi ve nörovasküler değişiklikler değerlendirilmelidir. Femoral kemik segmente komşu eklemlerin, özellikle diz ekleminin hareket açıklığı ölçülmeli ve değişiklikler kayıt altına alınmalıdır.

Eksternal Fiksatorün Çıkarılması

Hedeflenen uzatma miktarına ulaşıldığında distraksiyon sonlandırılır ve hasta ikinci bir cerrahi işleme alınır. Hasta, radyolüsent ameliyat masasında, sırtüstü pozisyonda, İM çivi ve eksternal fiksatorün uygulandığı cerrahi girişimin ilk aşamasındakine benzer şekilde kalça ekleminin ayak bileğine kadar steril hazırlanır. Eksternal fiksator, bu aşamada povidon-iyot solüsyonu

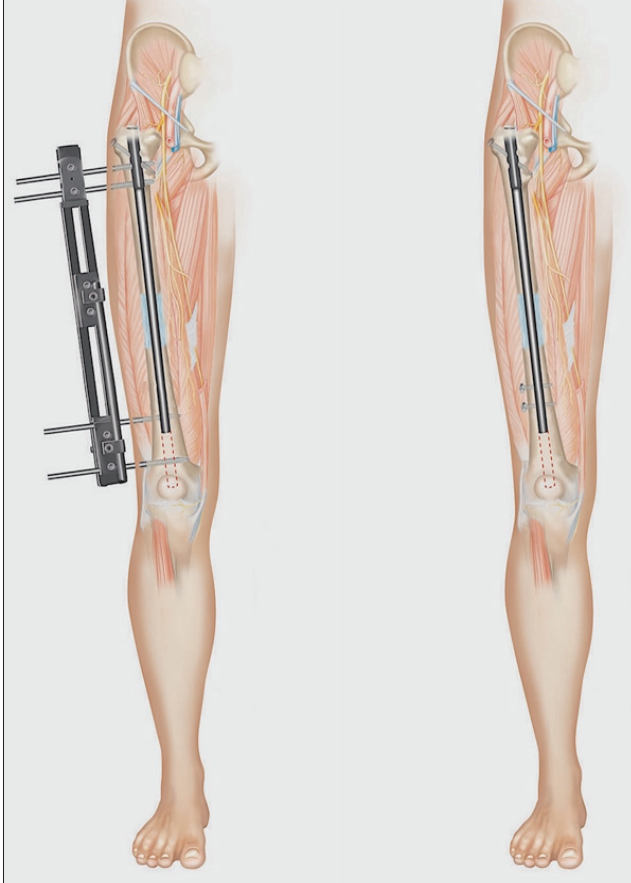


Şekil 8. Stabiliteyi artırmak amacıyla, farklı planlarda Schanz vidası yerleştirilmesine olanak tanıyan pelvik arkları, proksimal ve distal femoral kemik segmentlerde unilateral fiksatorler birlikte kullanıldığı hibrid eksternal fiksator sistemi.

ile temizlenmelidir. Boş bırakılan çivi deliklerine floroskopi kontrolü altında kilitleme vidaları yerleştirilir. Kilitleme vidaları yerleştirildikten sonra çivi statik olarak kilitlenmiş olur (Şekil 9). Gerek görülmesi durumunda, poller vidalarıyla İM çivi stabilitesi artırılıp, konsolidasyon periyodunda görülebilecek bir malpozisyonun önlemi alınabilir. Bu aşama, sıklıkla gününbirlik hasta yatış ünitelerinde gerçekleştirilir. Ameliyat sonrası hastaya 48-72 saat süre ile profilaktik antibiyotik reçete edilir (birinci kuşak sefalosporin).

Fiksator Çıkarılması Sonrasında Takip

Fiksator çıkarıldıktan sonra, konsolidasyon tamamlanıncaya kadar hasta, çift koltuk değneği ile kısmi yük vererek (yaklaşık %10) yürümesi teşvik edilir. Tam yük vererek yürüme, radyolojik olarak yeni oluşan kemik bölgesinde dört korteksten üçünde konsolidasyon görülene kadar ertelenir. Ameliyat sonrası yedinci gün yara yeri kontrolü yapılır. Takip sürecinde, her ay gerçekleştirilen klinik ve radyografik değerlendirmelerle distraksiyon



Şekil 9. Distraksiyon periyodu sonunda, planlanan uzatma miktarına ulaşıldığında İM çivinin statik kilitlenmesi ve eksternal fiksatörün çıkarılması.

aralığında yeni kemiğin konsolidasyonu, yeni kemik kalitesi, İM çivi ve vidalarda mekanik yetersizliğin var olup olmadığı ile komşu eklemlerin hareket açıklıkları izlenir. Ayrıca alt ekstremité kas gücü düzenli olarak değerlendirilir. Kas gücünde azalma veya eklem hareket kısıtlılığı tespit edildiğinde, uygun koruyucu ortezler uygulanır ve hedefe yönelik fizik tedavi ve rehabilitasyon programı başlatılır.

Şekil 10'da konstitüsyonel kısalık nedeniyle bilateral femur LON uygulanmış bir olguya ait klinik ve radyolojik görüntüler sunulmaktadır. Şekil 11'de ise konsolidasyon sürecinde implant yetmezliği gelişen bir olgunun tüm tedavi süreci gösterilmektedir.

ÇİVİ ÜZERİNDEN TİBİA UZATMA YÖNTEMİ

Endikasyon ve Kontrendikasyonlar

Tibial LON, femoral LON ile benzer şekilde hem doğumsal hem de kazanılmış ekstremité uzunluk eşitsizliklerinde ve kısalıkta uygulanabilir. Benzer şekilde travma sonrası gelişen ekstremité uzunluk eşitsizliği, travma ya da enfeksiyona ikincil epifiz hasarı sekeli, konstitüsyonel kısa boy, iskelet displazilerine bağlı küçüklük (akondroplazi, hipokondroplazi vb.) yer almaktadır. Tibial LON yöntemi de ekstremité uzunluk eşitsizliklerinin neden olduğu topallama, fonksiyonel kısıtlılık ve uzun dönemde eklemlerde gelişebilecek dejeneratif değişikliklerin önlenmesine katkıda bulunur.^[17,18]

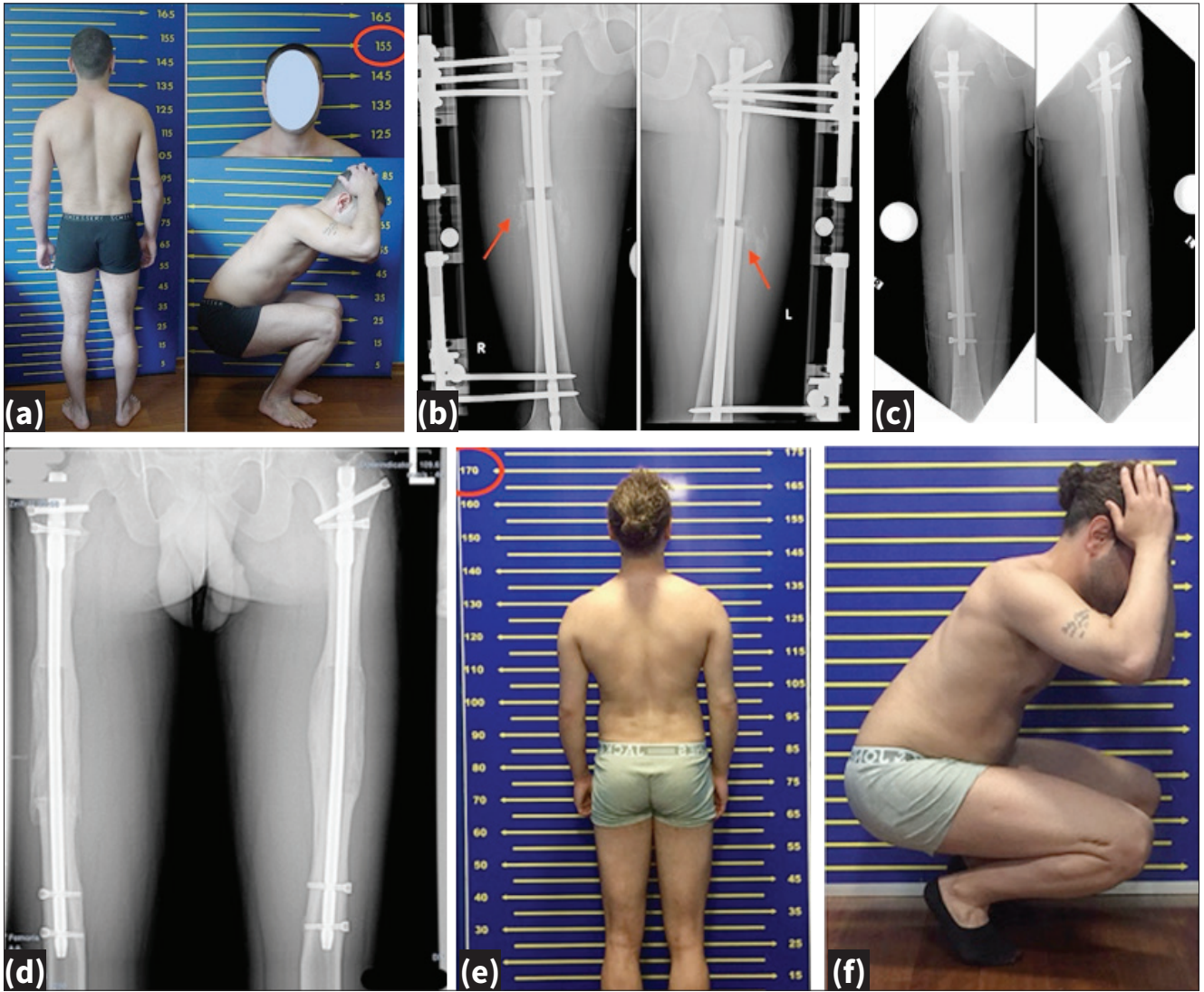
Yöntemin kontrendikasyonları, femurda olduğu gibi aktif enfeksiyon varlığı, immün yetmezlik durumu, cerrahi bölgenin yumuşak doku örtüsü ve dolaşımının yetersizliği, açık büyüme plağı varlığı ve tibia medüller kanal çapının 8 mm'den küçük olmasıdır. Ayrıca diz ekleminde ekstansiyon kontraktürü bulunması, İM çivinin uygulanmasında teknik zorluk oluşturabileceğinden göreceli bir kontrendikasyon olarak kabul edilir.^[20,21]

Ameliyat Öncesi Değerlendirme

Yukarıda femur LON tekniğine ait ameliyat öncesi fizik muayene ve görüntüleme yöntemleri için tanımlanan prensipler, tibia LON uygulamaları için de geçerlidir.

Planlama

Olgularda ameliyat öncesi anamnez, fizik muayene ve görüntüleme bulguları eksiksiz biçimde kaydedilmeli ve ayrıntılı olarak analiz edilmelidir. Deformite analizi eksiksiz olarak yapılmalı ve deformite prensiplerine göre değerlendirilip gerekirse şablon hazırlanmalıdır. Akut düzeltmeyi gerektirecek bir deformite varlığında, osteotomi seviyesi anatomik eksen dikkate alınarak belirlen-



Şekil 10.a-f. Bilateral femur LON uygulanmış konstitüsyonel kısalık olgunun klinik ve radyolojik görüntüleri: Ameliyat öncesi klinik görünüm (a). Planlama sonrası anterograd femur çivisi ve unilateral eksternal fiksator ile LON uygulaması. Osteotomi öncesi çoklu *drill* delikleri ile sağlanan fenestrasyonun, İM kanal oyma işlemi sırasında osteotomi çevresinde sağladığı internal grefonaj etkisi (kırmızı oklar) dikkat çekmektedir. Fuziform, geniş bir kallus dokusu oluşumu izlenmektedir (b). Unilateral eksternal fiksator ile planlanan 11 cm uzatma tamamlandıktan sonra İM çivinin distal kilitlemesi (c). LON uygulaması sonrası sekizinci ayda yeni kemiğin konsolidasyonu (d). Birinci yıl tamamlandığında hastanın klinik ve fonksiyonel durumu (e,f).

melidir. İntramedüller çivinin çap ve uzunluğu ameliyat öncesinde ölçeklendirilmiş ölçümlerle saptanmalıdır. Bu planlama sürecinde, gereklilik hâlinde *poller* vida pozisyonları da önceden belirlenmelidir.^[22-24]

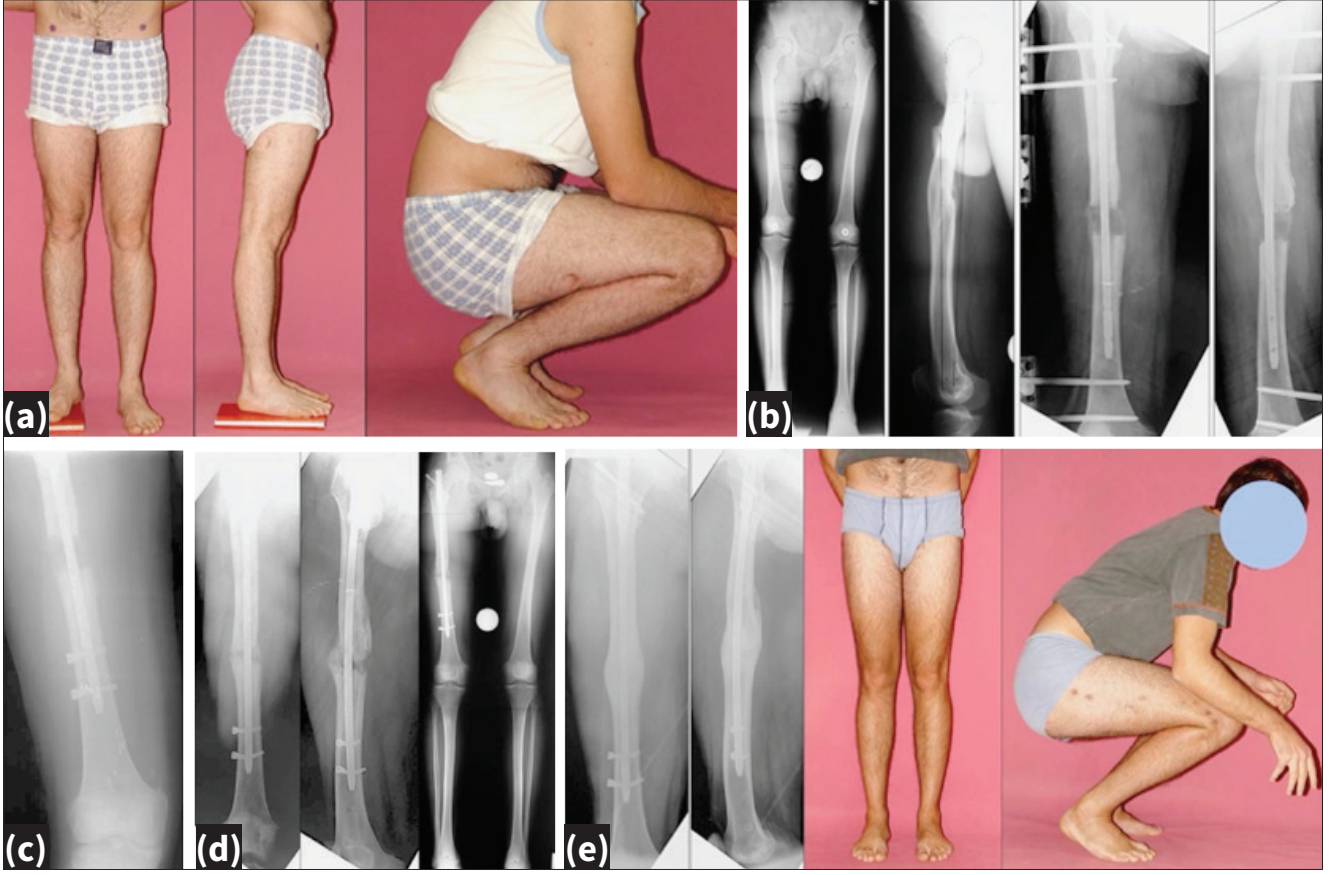
Cerrahi Ekipman ve Enstrümanlar

Tibia LON uygulamalarında, femur LON tekniğinde belirtilen ekipmanların büyük ölçüde aynıdır. Ancak, tibia anatomisinin özellikleri, güçlü ve sert tibiofibular interosseöz membran varlığı ve birden fazla planda stabilite gereksinimi nedeniyle, distraksiyon aşamasın-

da yazarların tercihi unilateral eksternal fiksator yerine sirküler tipte eksternal fiksator kullanımı yönündedir. Unilateral eksternal fiksator kullanılması durumunda, interosseöz membran varlığı nedeni ile valgus deformitesi gelişme ve buna bağlı çivinin İM kanalda sıkışma riski bulunmaktadır.

Cerrahi Pozisyon ve Teknik

Hasta, radyolüsent ameliyat masasına sırtüstü pozisyonda yerleştirilir. Ameliyat öncesinde tibianın ön arka ve yan planlarda net olarak görülebildiği, tercihen ame-



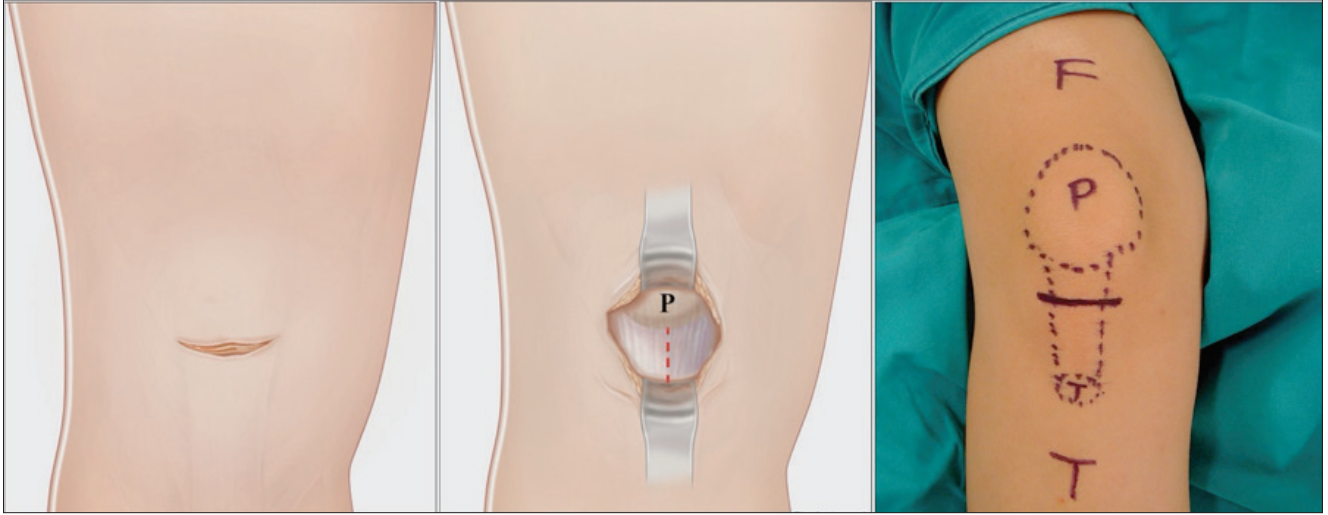
Şekil 11.a-e. Ateşli silah yaralanması sonrası sağ femurda 3 cm klinik kısalık ve antekurvasyon deformitesi şekli ile iyileşmiş olgu. Ameliyat öncesi klinik görünüm (a). Alt ekstremité ortonörografisi üzerinde yapılan deformite analizi; kısalık ve sağ femurda antekurvasyon deformitesini göstermektedir. Aynı seansta akut deformite düzeltmesi yapılarak LON yöntemi uygulandı. Distraksiyon sürecinde, düzenli ve homojen bir yeni kemik dokusu oluşumu izlendi (b). Planlanan uzatma tamamlandıktan sonra antegrad femur çivisi distali kilitlendi ve eksternal fiksator çıkarıldı (c). Eksternal fiksator çıkarılması sonrası ikinci ay kontrolünde, yeni kemik posteriorunda konsolidasyonun zayıflığı ve distal kilitleme vidalarında kırık saptandı. Ortonörografide 1 cm'den az kısalık ve diğer üç kortekste konsolidasyonun devam etmesi üzerine klinik ve radyolojik takip kararı verildi (d). Tedavinin birinci yılı tamamlandığında, dört kortekste kortikal kemik oluşumu ile tam konsolidasyonun sağlandığı ve ek kısalık olmaksızın radyolojik ve klinik iyileşmenin gerçekleştiği izlendi (e).

liyatı gerçekleştirecek cerrah tarafından floroskopiyle doğrulanır. Alt ekstremité, ayak seviyesinden iliyak kanat hizasına kadar steril olarak hazırlanır. Patella alt kutbu hizasında yaklaşık 2 cm transvers bir insizyon yapılır (Şekil 12).

Subkutan diseksiyonun ardından, paratenon ve patellar tendon longitudinal olarak ayrılır. Giriş noktası, standart tibial çivileme tekniğinde olduğu gibi, 5 mm çaplı kanüllü *drill* ile hazırlanır ve kılavuz tel İM kanal içerisinde ilerletilir. Tibia osteotomisi proksimal metafizer seviyede çoklu *drill* delikleri tekniğiyle gerçekleştirilir. Ameliyat öncesi planlanmış osteotomi seviyesinde, 1 cm uzunluğunda bir cilt insizyonu üzerinden, kemiğin termal nekrozunu önlemek amacıyla düşük devirle çoklu *drill* delikleri açılır. Bu işlem, daha önce belirtildiği gibi, medüller kanal basıncını dengeler ve internal greftleme etkisi yaratır. Daha sonra İM kılavuz teli medüller kanal boyunca tibia

distaline ilerletilir. Medüller kanal, kullanılacak İM çividen 1,5 mm daha geniş olacak şekilde, 0,5 mm'lik artışlarla oyulur. Bu aşamada osteotomi, kılavuz tel medüller kanal içinde bırakılmış hâdeyken keskin uçlu bir osteotom ile travmatik olmayacak şekilde tamamlanır.

Fibulanın diyafiz orta seviyesinde 1 cm uzunluğunda bir insizyon yapılır ve fibula, çoklu *drill* delikleri tekniği kullanılarak osteotomize edilir. Her iki osteotominin tamamlandığı, kemik segmentlerinin transasyonu ile floroskopi altında doğrulanır. İntramedüller tibial çivisi, kılavuz tel üzerinden yerleştirildikten sonra tel çıkarılır. Çivi, medüller kanalın daha geniş hazırlanması sayesinde, manuel olarak yavaşça yerleştirilir. Yerleştirme sırasında zorlu manevralardan kaçınılmalıdır. Çivinin proksimal kilitlemesi, standart yöntemeye uygun olarak yapılır.



Şekil 12. Patellar tendon üzerinden yapılan yaklaşık 2 cm transvers insizyon.

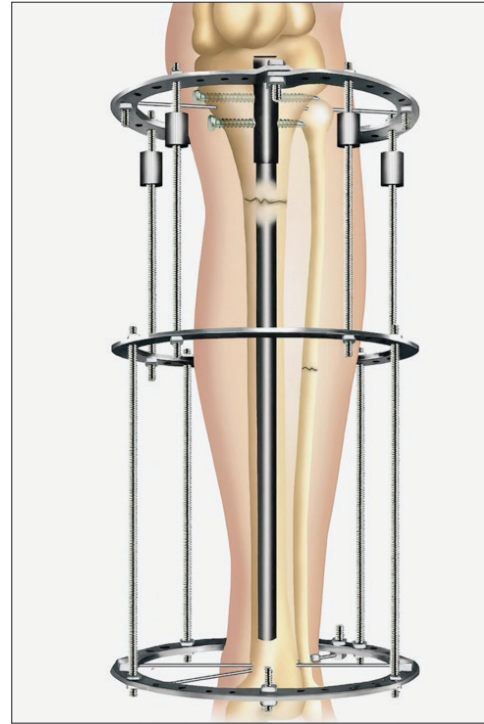
F: Femur, P: Patella, T: Tibia.

İntamedüller çivinin yerleştirilmesinden sonraki cerrahi aşama, sirküler eksternal fiksator ile kemik segmentlerin tespitidir. Yazarlar, daha önce belirtildiği gibi, interosseöz membranın rijiditesi ve buna bağlı olarak distraksiyon sırasında kemik segmentler arasında gelişebilecek valgizasyon riskinin yüksek olması sebebiyle tibial LON prosedüründe sirküler tip eksternal fiksatorü tercih etmektedir. Bununla birlikte, Herzenberg ve ark., tibial LON için unilateral eksternal fiksator kullanıldığında benzer sonuçlar bildirmiştir.^[18] Fiksator üç halkadan oluşan bir yapıda hazırlanır. Proksimal tibial segmente yerleştirilen halka, distal segmente yerleştirilen halka ve bunlar arasında yer alan, fiksasyon amacı taşımayan, ancak sirküler sistemin stabilitesini artırmak için kullanılan boş halka (*dummy ring*) (Şekil 13).

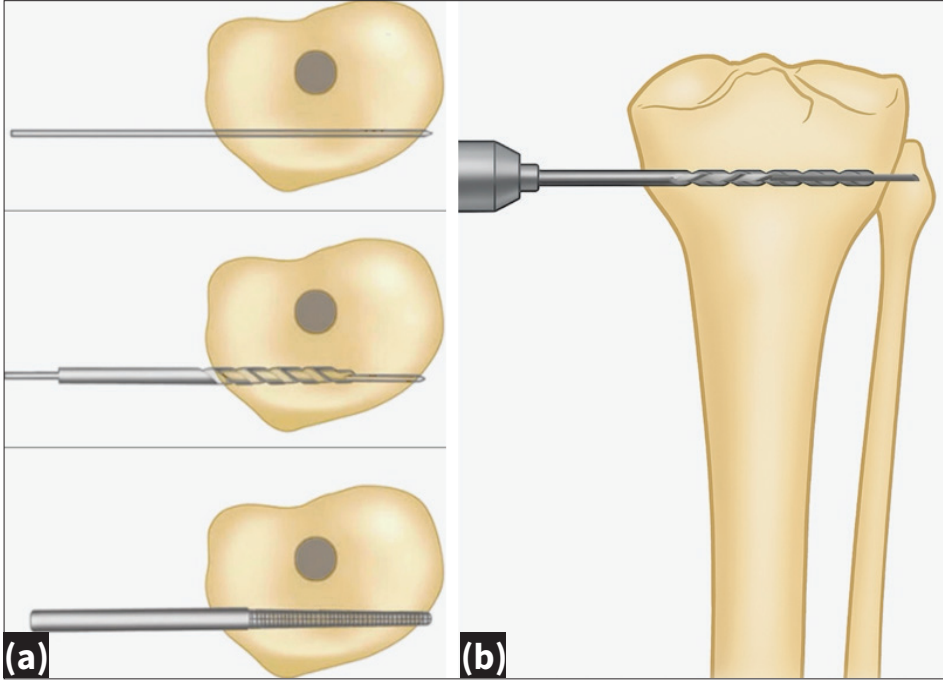
Proksimal tibial eklem yüzeyine paralel olacak şekilde, posterior yerleşimli bir K teli yerleştirilir ve fiksatorün proksimal halkasına tespit edilir. Supramalleolar seviyede, frontal planda distal tibial eklem çizgisine paralel konumlandırılan diğer bir K teli ise İM çiviye temas etmeyecek biçimde posterior yerleştirilir ve distal halkaya tespit edilir. Bu tespitler tamamlandığında, tibia anatomik aksı üzerinde yer alan İM çivi ile sirküler eksternal fiksatorün merkezi aksı hem frontal hem de sagittal planda birbirine paralel olması gerekir. Bu koşul sağlandığında, distal tibial segmentin distraksiyon sırasında çivi üzerinden sorunsuz kayması mümkün olur.

Proksimalde, tercihen hidroksiapatit kaplı iki adet Schanz vidası, İM çiviye temas etmeyecek şekilde yerleştirilir. Bu vidalardan biri, uzatma sırasında fibula başının distale migrasyonunu önlemek amacıyla, fibula başını da tespit edecek şekilde konumlandırılır. Söz konusu vida,

tibianın anteromedial yüzünden kanüllü *drill* tekniği ile yerleştirilir (Şekil 14). Her iki Schanz vidası, fiksatorün proksimal halkasına sabitlenir.



Şekil 13. Sirküler eksternal fiksator sisteminde, ortada yer alan boş halka, fiksasyon amacıyla değil, fiksatorün stabilitesini artırmak için kullanılmıştır. Tibia kemik segmentleri, birer adet halkayla tespit edilmiştir. Proksimal tibia ve fibula diyafizer osteotomi hatları da görülmektedir.



Şekil 14.a,b. Proksimal tibial segmente İM çiviye temas etmeyecek şekilde Schanz vidası yerleştirilmesi. K teli üzerinden, kanüllü *drill* tekniği ile pilot deliğin hazırlanması ve Schanz vidasının yerleştirilmesi görülmektedir (a). Proksimal tibial segmentte yer alan Schanz vidasının aynı zamanda fibula başını tespit etmesi (b).

Distalde, tibiofibuler fiksasyon sağlamak amacıyla eklem çizgisine paralel olacak şekilde lateral malleol hizasından bir zeytinli K teli yerleştirilir (Şekil 15). Kemik segmentin stabil tespiti için supramalleolar seviyeden bir adet Schanz vidası eklenerek fiksasyon tamamlanır. Bu aşamada, kemik segmentin çivi üzerinde sorunsuz kayıp kaymadığını değerlendirmek amacıyla distraksiyon testi uygulanır ve işlem sonlandırılır.

Ameliyat Sonrası Takip Süreci

Tüm yara bakımı, mobilizasyon, rehabilitasyon, latent periyot süresi ve distraksiyon protokolü (4 x 0,25 mm uzatma ritmi ve 1 mm/gün uzatma hızı) ile femur LON bölümünde tanımlandığı şekilde uygulanır. Tibiaya özgü olarak, pin dibi bakımı sırasında özellikle supramalleolar ve distal tibiofibular fiksasyon bölgelerine özen gösterilmelidir. Distraksiyon döneminde, çivinin medüller kanal içinde sorunsuz kaydığına radyolojik olarak doğrulanması önemlidir. Ayrıca, distalde ve proksimalde eklem çizgisine paralel yerleştirilen ve tibiofibular tespitin sağlandığı zeytinli K teli ile Schanz vidasının stabilitesi, uzatma sürecinde dikkatli değerlendirilmelidir. Tibia uzatmalarında gelişebilecek ayak bileği dorsifleksiyon kısıtlılığı ve ekinizm deformitesi riskini azaltmak amacıyla, ameliyat sonrası erken dönemden itibaren hastalar; Aşil tendonu germe egzersizleri, tam yük vererek yürüme

ve özellikle gece istirahat ortezi kullanımı konusunda teşvik edilmelidir.^[25]

Eksternal Fiksatorün Çıkarılması

Planlanan uzatma miktarına ulaşıldığında, hasta sırtüstü pozisyonda radyolüsent masada hazırlanır. Sirküler eksternal fiksator povidon-iyot solüsyonu ile temizlendikten sonra steril örtülür; yalnızca çivinin distal kilitleme delikleri açık bırakılır. Floroskopi eşliğinde K teli üzerinden kanüllü *drill* tekniği ile distal kitleme vidaları yerleştirilir ve İM çivi statik olarak kilitlenir. Metafizler bölgesinde stabiliteyi artırmak amacıyla gerektiğinde *poller* vidaları eklenebilir. İşlem genellikle gününbirlik hasta yatış ünitelerinde yapılır ve ameliyat sonrası 48-72 saat süreyle profilaktik antibiyotik (birinci kuşak sefalosporin) verilir.

Fiksator Çıkarılması Sonrasında Takip

Femoral LON hastalarında olduğu gibi, tibial LON olguları da iki koltuk değneği ile mobilize edilir ve vücut ağırlığının %10'u kadar yük vermesine izin verilir. Yeni kemik, konsolide olana kadar hasta aylık klinik ve radyolojik takibe alınır. Bu süre zarfında germe ve eklem hareket açıklığı egzersizleri teşvik edilir. Çivinin ya da kitleme vidalarının kırılma riskini azaltmak amacıyla ön arka ve yan grafilere dört korteksin üçünde konsolidasyon görülmedikçe tam yük vermeye izin verilmez.



Şekil 15.a,b. Krus ön-arka grafide, tibia proksimal segmentin bir adet K teli ve iki adet Schanz vidası, distal segmentin ise iki adet K teli ve bir adet Schanz vidası ile tespiti görülmektedir. Tibiofibular fiksasyon proksimalde Schanz vidası, distalde ise zeytinli K teli ile gerçekleştirilmiştir. Intramedüller çivi ile sirküler eksternal fiksator akslarının birbirine paralel ve Schanz vidaları ve K tellerinin hem çiviye hem de anatomik aksa dik konumlanmış olduğuna dikkat ediniz **(a)**. Bilateral tibia LON uygulanmış bir olgunun klinik görünümü **(b)**.

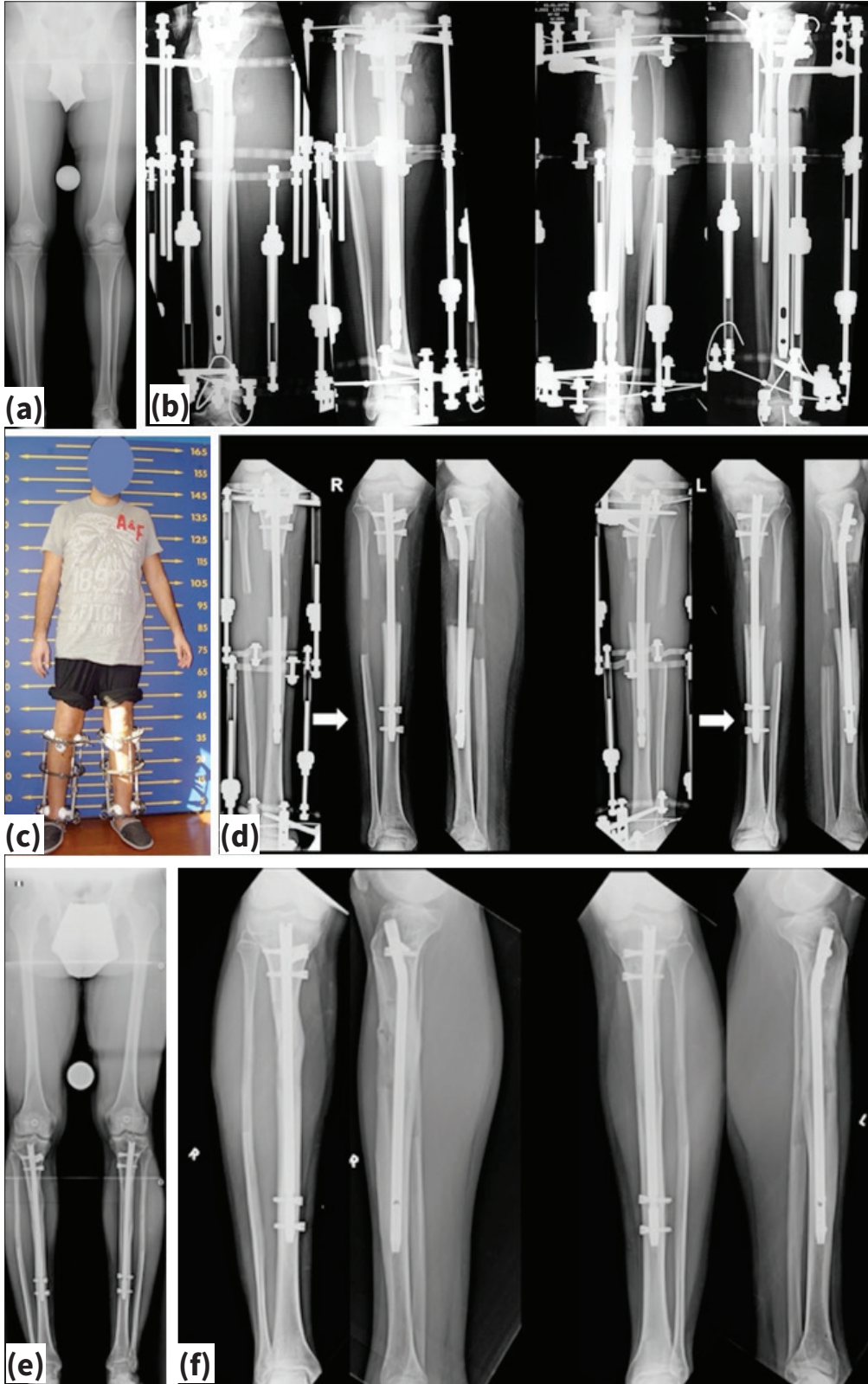
Kozmetik endikasyonla tibial deformite ve kısalık nedeniyle bilateral tibia LON tekniği ile uzatma yapılmış olgular gösterilmiştir (Şekil 16,17).

KOMPLİKASYONLAR

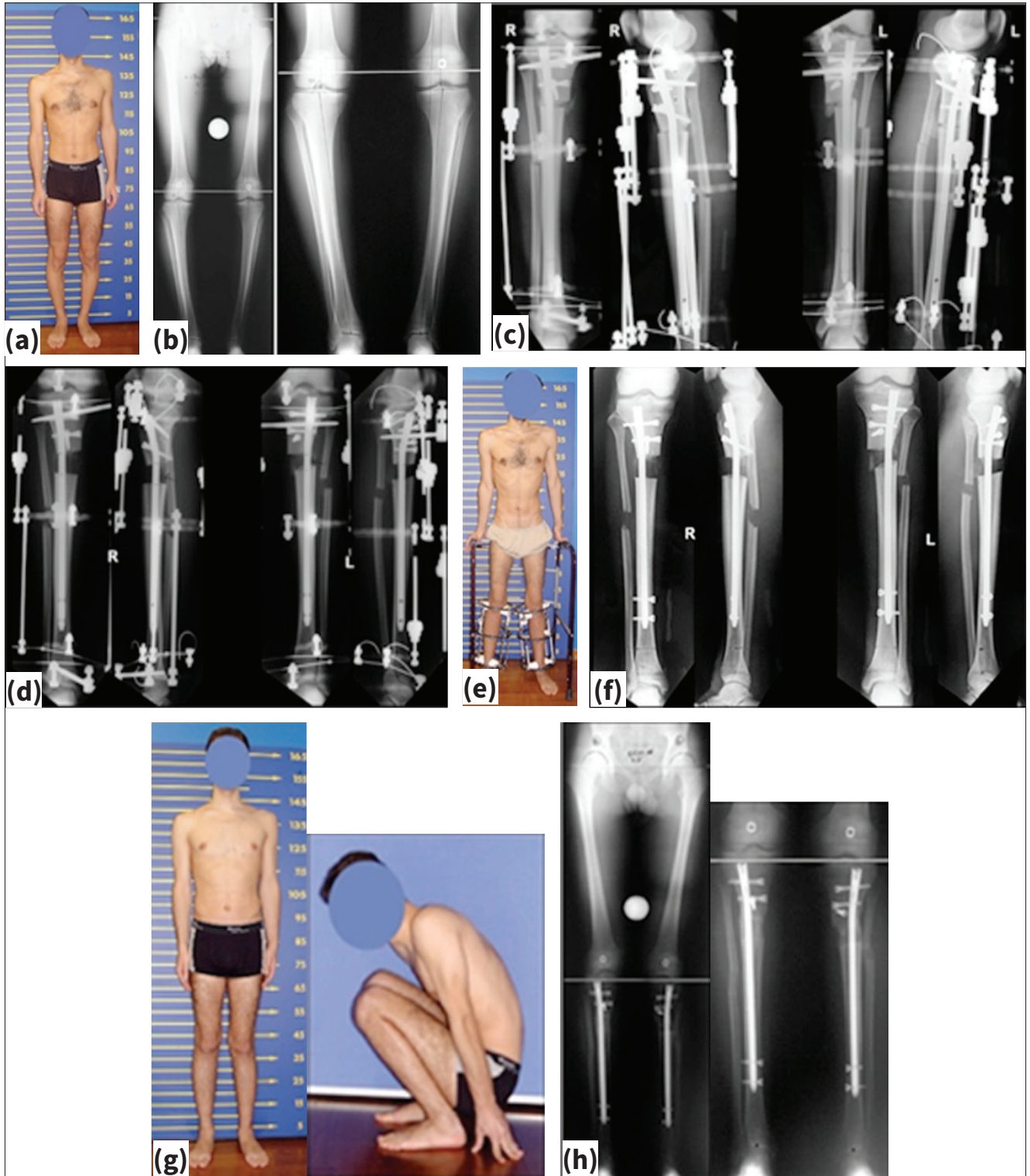
Hem femur hem de tibia LON tekniği, uygun hasta seçimi, titiz cerrahi planlama ve ameliyat sonrası disiplinli takiple yüksek başarı oranlarına sahip olsa da, her distraksiyon osteogenezi yönteminde olduğu gibi çeşitli komplikasyon risklerini barındırır. Bu komplikasyonlar; cerrahi girişime, kullanılan implantlara, hastanın biyomekanik özelliklerine, rehabilitasyon sürecine ve hasta

uyumuna bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Sık karşılaşılabilecek komplikasyonlar şunlardır:^[19]

- Distraksiyon sisteminde mekanik sıkışma
- Prematür konsolidasyon
- Pin yolu enfeksiyonu
- Geç kaynama/yetersiz rejenerat (yeni kemik) oluşumu
- Dizde fleksiyon kontraktürü
- Ekinus deformitesi
- Schanz vidası kırığı
- Kilitleme vidası kırığı



Şekil 16.a-f. Kozmetik (estetik) endikasyonla bilateral tibia LON yöntemiyle boy uzatma. Ameliyat öncesi, ayakta her iki alt ekstremitede ortoröntgenografi (a). Latent periyota ait ön arka ve yan grafiler (b); hastanın ameliyat sonrası erken dönem klinik görüntüsü (c). Distraksiyon periyodu tamamlandıktan sonra, İM çivinin distal kilitlenmesi ve eksternal fiksatörün çıkarılması (d). Fiksator çıkarıldıktan 18 ay sonraki boy grafisi ve her iki tibia ön arka ve yan grafileri (e,f).



Şekil 17.a-h. Tibia vara deformitesi ve kısalık tedavisi amacıyla uygulanan bilateral tibia LON yöntemi. Ameliyat öncesi klinik görünüm (a). Ameliyat öncesi deformite analizi; proksimal tibial varus deformitesi ve kısalık görülmektedir (b). Çivi üzerinden uzatma uygulamasına ait ameliyat sonrası erken dönem grafiler. Proksimal tibial osteotomi seviyesinde varus deformitesinin akut olarak düzeltildiğine dikkat ediniz (c). Uzatma sonunda her iki tibianın ön arka ve yan radyografik incelemesi ile boy uzaması sonrası hastanın klinik görünümü (d,e). İntramedüller çivinin distalinin kilitlenmesinden ve fiksatörün çıkarılmasından sonraki radyografiler (f). Fiksatör çıkarıldıktan altı ay sonraki klinik ve radyolojik sonuçlar (g,h).

Tablo 1. Çivi üzerinden uzatma tekniğinde görülebilecek başlıca komplikasyonlar, olası nedenleri ve önleme yöntemleri

Komplikasyon	Olası Nedenler	Önleme Yöntemleri
Distraksiyon sisteminde mekanik sıkışma	İntramedüller çivi ile K teli/Schanz vidasının teması, İM kanalın yetersiz oyulması	Ameliyat sırasında floroskopiyle temasın kontrolü, İM kanalın yeterli çapta oyulması, distraksiyon testi
Prematür konsolidasyon	Yavaş distraksiyon, tedavinin duraksatılması	Distraksiyon hızının korunması, hasta uyumunun sağlanması
Pin yolu enfeksiyonu	Uzun süreli eksternal fiksator kullanımı, yetersiz hijyen	Düzenli pin dibi bakımı, aseptik pansuman teknikleri
Yetersiz rejenerat (yeni kemik)/geç kaynama	Yetersiz distraksiyon ritmi, enfeksiyon, mekanik instabilite	Düzenli radyolojik takip, distraksiyon hızının optimize edilmesi
Dizde fleksiyon kontraktürü*	Yetersiz eklem hareket açıklığı egzersizi	Erken ve düzenli rehabilitasyon programı
Ekinus deformitesi*	Aşıl tendon kısalması	Aşıl germe egzersizleri, gece istirahat ortezi
Schanz vidası kırığı	Aşırı yüklenme, malpozisyon	Uygun çapta vida seçimi ve doğru yerleştirme tekniği
Kilitleme vidası kırığı	Konsolidasyon öncesi aşırı yük verme	Tam yük verme öncesi radyolojik olarak konsolidasyonun doğrulanması

*Femur LON olgularında diz ekleminde fleksiyon kontraktürü, tibia LON olgularında ise ayak bileğinde ekinus deformitesi gelişme riski daha belirgindir.

Buna ek olarak; toplamda 6 cm üzerinde uzatma yapılması, %21,5'lik bir uzatma oranı ve Paley zorluk skorunun 8,5'in üzerinde olması, komplikasyonların ortaya çıkma olasılığının belirgin şekilde artıran eşik değerlerdir.^[17,19] Temel komplikasyonlar, nedenleri ve bunlara yönelik önleme yöntemleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

SONUÇ

Çivi üzerinden yapılan uzatma tekniği, yalnızca eksternal fiksator kullanılarak yapılan uzatma yöntemleriyle internal uzatma sistemlerine kıyasla, her iki tekniğin avantajlarını bir araya getiren kombine bir yöntemdir. Yalnızca eksternal fiksator kullanılan klasik uzatmalara göre, eksternal fiksator kullanım süresini anlamlı ölçüde kısaltarak pin dibi enfeksiyonu, eklem sertliği ve hasta konforu ile ilgili sorunları azaltır. Tamamen internal uzatma sistemlerine kıyasla ise maliyet etkinliği daha yüksektir, daha geniş hasta popülasyonunda uygulanabilir ve ek deformite düzeltme olanağı sağlar. Bununla birlikte, internal tespit materyalinin varlığı nedeniyle derin enfeksiyon riski göz ardı edilmemeli, titiz hasta seçimi ve cerrahi planlama yapılmalıdır. Uygun endikasyon, cerrahi teknik ve ameliyat sonrası disiplinli takip ile LON yöntemi hem fonksiyonel hem de estetik açıdan yüksek hasta memnuniyeti ve başarılı klinik sonuçlar sağlayan güvenilir bir uzatma yöntemidir.

KAYNAKLAR

1. Bost FC, Larsen LJ. Experiences with lengthening of the femur over an intramedullary rod. J Bone Joint Surg Am 1956;38-A(3):567-84. [Crossref](#)
2. Raschke MJ, Mann JW, Oedekoven G, Claudi BF. Segmental transport after unreamed intramedullary nailing. Preliminary report of a "Monorail" system. Clin Orthop Relat Res 1992(282):233-40. [Crossref](#)
3. Paley D, Herzenberg JE, Paremian G, Bhav A. Femoral lengthening over an intramedullary nail. A matched-case comparison with Ilizarov femoral lengthening. J Bone Joint Surg Am 1997;79(10):1464-80. [Crossref](#)
4. Simpson AH, Cole AS, Kenwright J. Leg lengthening over an intramedullary nail. J Bone Joint Surg Br 1999;81(6):1041-5. [Crossref](#)
5. Kojimoto H, Yasui N, Goto T, Matsuda S, Shimomura Y. Bone lengthening in rabbits by callus distraction. The role of periosteum and endosteum. J Bone Joint Surg Br 1988;70(4):543-9. [Crossref](#)
6. Trueta J. The role of the vessels in osteogenesis. J Bone Joint Surg Br 1963;45-B(2):402-18. [Crossref](#)
7. 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](#)
8. Bliskunov AI. [Intramedullary distraction of the femur (preliminary report)]. Ortop Travmatol Protez 1983(10):59-62.
9. Singh S, Lahiri A, Iqbal M. The results of limb lengthening by callus distraction using an extending intramedullary nail (Fitbone) in non-traumatic disorders. J Bone Joint Surg Br 2006;88(7):938-42. [Crossref](#)
10. Cole JD, Justin D, Kasparis T, DeVlught 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 Suppl 4:SD129-39. [Crossref](#)
11. Paley D. Precice intramedullary limb lengthening system. Expert Rev Med Devices 2015;12(3):231-49. [Crossref](#)

12. Rozbruch SR, Kleinman D, Fragomen AT, Ilizarov S. Limb lengthening and then insertion of an intramedullary nail: A case-matched comparison. *Clin Orthop Relat Res* 2008;466(12):2923-32. [Crossref](#)
13. Harbacheuski R, Fragomen AT, Rozbruch SR. Does lengthening and then plating (LAP) shorten duration of external fixation? *Clin Orthop Relat Res* 2012;470(6):1771-81. [Crossref](#)
14. Iobst CA, Dahl MT. Limb lengthening with submuscular plate stabilization: A case series and description of the technique. *J Pediatr Orthop* 2007;27(5):504-9. [Crossref](#)
15. Oh CW, Song HR, Kim JW, Choi JW, Min WK, Park BC. Limb lengthening with a submuscular locking plate. *J Bone Joint Surg Br* 2009;91(10):1394-9. [Crossref](#)
16. Georgiadis AG, Rossow JK, Laine JC, Iobst CA, Dahl MT. Plate-assisted Lengthening of the femur and tibia in pediatric Patients. *J Pediatr Orthop* 2017;37(7):473-8. [Crossref](#)
17. Kocaoglu M, Eralp L, Kilicoglu O, Burc H, Cakmak M. Complications encountered during lengthening over an intramedullary nail. *J Bone Joint Surg Am* 2004;86(11):2406-11. [Crossref](#)
18. Herzenberg JE, Standard SC, Conway JD. Lengthening over Nails (LON): Femur and Tibia. In: Kocaoğlu M, Tsuchiya H, Eralp L, editors. *Advanced Techniques in Limb Reconstruction Surgery*. Germany, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; December 2014. p. 1-32. [Crossref](#)
19. Kocaoğlu M, Solomin LN, Bilen EF, Chelnokov AN, Herzenberg JE, Kovar FM. Combined and Consecutive Use of External and Internal Fixation. In: Solomin L, editor. *The Basic Principles of External Skeletal Fixation Using the Ilizarov and Other Devices*. Milano: Springer Milan; 2012. p. 1309-77. [Crossref](#)
20. Cierny G, 3rd, Mader JT, Penninck JJ. A clinical staging system for adult osteomyelitis. *Clin Orthop Relat Res* 2003(414):7-24. [Crossref](#)
21. Paley D. Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop Relat Res* 1990(250):81-104. [Crossref](#)
22. Paley D, Tetsworth K. Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of multiapical frontal plane angular and bowing deformities of the femur and tibia. *Clin Orthop Relat Res* 1992(280):65-71. [Crossref](#)
23. Paley D. Hardware and Osteotomy Considerations. In: Çakmak M, Şen C, Eralp L, Balci H, Civan M, editors. *Basic Techniques for Extremity Reconstruction: External Fixator Applications According to Ilizarov Principles*. Cham: Springer International Publishing; 2018. p. 89-106.
24. Muthusamy S, Rozbruch SR, Fragomen AT. The use of blocking screws with internal lengthening nail and reverse rule of thumb for blocking screws in limb lengthening and deformity correction surgery. *Strateg. Trauma Limb Reconstr* 2016;11(3):199-205. [Crossref](#)
25. Lehman WB, Grant AD, Atar D. Preventing and overcoming equinus contractures during lengthening of the tibia. *Orthop Clin North Am* 1991;22(4):633-41. [Crossref](#)