



Derleme

Kemik defektleri ve deformitelerinin giderilmesinde sirküler eksternal fiksatorlerin yeri ve kullanım prensipleri

Basic principles of circular external fixators in the treatment of bone defects and deformities

Hakan ÖZDEMİR, F. Feyyaz AKYILDIZ

Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı

Genellikle trafik kazası ve ateşli silah yaralanması gibi yüksek enerjili travmalar sonucu oluşan kemik defekt ve deformiteleri ortopedistlerin en ciddi sorunlarından biridir. 1950'li yıllarda Gavril Abramovich Ilizarov tarafından uygulanmaya başlayan distraksiyon osteogenezisi, her düzlem ve doğrultudaki kontrollü hareketlere izin veren sirküler eksternal fiksatorlerle birlikte kullanılarak kemik defekt ve deformitelerinin tedavisinde bir çığır açmıştır. Ancak yöntemin başarılı olabilmesi için Ilizarov tarafından tanımlanmış olan temel prensiplere sadık kalınması mutlak bir zorunluluktur. Bu makalede distraksiyon osteogenezisi ve sirküler eksternal fiksatorlerin biyomekaniği konusundaki temel bilgiler, literatür verileri eşliğinde irdelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Biyomekanik; kemik uzatma/enstrümantasyon; osteogenezis/fizyoloji; kırıklar/fizyopatoloji; kırık fiksasyonu/enstrümantasyon; ortopedik fiksasyon araçları; eksternal fiksatorler; stres, mekanik.

Bone defects and deformities usually occurring due to high energy traumas such as traffic accidents and gunshot injuries have been one of the most challenging issues for orthopaedists. Distraction osteogenesis, which was first described and employed by Gavril Abramovich Ilizarov in 1950's, has opened a new era in the treatment of bone defects and deformities when used with circular external fixators allowing movements in every direction and plane. Yet, in order to achieve success, it is essential that basic principles described by Ilizarov be adhered to. In this review, basic knowledge on distraction osteogenesis and biomechanics of circular external fixators are reviewed in the light of the current literature.

Key words: Biomechanics; bone lengthening/instrumentation; osteogenesis/physiology; fractures/physiopathology; fracture fixation/instrumentation; orthopedic fixation devices; external fixators; stress, mechanical.

Kemik defektleri genellikle ateşli silah yaralanması veya trafik kazası gibi yüksek enerjili travmalarla oluşan G III açık kırıklarda görülür. Kemik kaybı, travma sırasında oluşabileceği gibi, yapılan debridmanlar esnasında da oluşabilir. Bunun dışında, enfeksiyon ya da tümöral nedenlerle yapılan eksizyonlar ya da konjenital sebepler de kemik defektlerinin ortaya çıkmasında rol oynayabilirler.

Kemik defektlerinin tedavisi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan başlıca

teknikler, otojen spongios kemik grefti, Papineau tekniği, vasküler pediküllü serbest kemik grefti, allogreft uygulaması, spacer olarak protez uygulaması, human bone morphogenetic protein (HBMP) uygulaması, distraksiyon osteogenezisidir.

Otolog spongios kemik greftleri, düşük dereceli kontamine ortamlarda ve osteomyelite bağlı kavite-lerin doldurulmasında sıklıkla kullanılmakla birlikte, en önemli dezavantajı vücuttan sınırlı miktarda greft elde edilebilmesidir. Ayrıca, bu greft kitlesinin

yük taşıyabilecek güce erişebilmesi için çok uzun zamana ihtiyaç vardır.^[1]

Papineau tekniği, defektlerin açık olarak, spongios kemik greftleriyle doldurulması prensibine dayanır. Bu aşamada kullanılan tek planlı rijit eksternal fiksatorlerin yivli çivilerinin transfixasyonu, ekstremitede değişik sorunlar oluşturabilir.^[2]

Vasküler pediküllü serbest kemik greftleri, 6 cm'den büyük kemik defektlerinin tedavisi için kullanılmaktadır. Ancak teknik, cerrahi girişim ve immobilizasyon süresinin uzun olması ve kaynama sorunlarının oldukça sık görülmesi gibi bir çok ciddi sorunu da bünyesinde barındırmaktadır.^[3]

Allogreftler, tümöral defektlerin doldurulmasında başarıyla kullanılabilmesine karşın, bunların kontamine ortamlarda kullanılabilmesi mümkün değildir.

Son yıllarda HBMP uygulamaları ile segmental kemik kaybı ve nonunionların tedavisinde önemli başarılar elde edilmiştir; bu yöntem, oto ve allogreft uygulamalarına alternatif bir yöntem olma yolundadır.^[4]

Distraksiyon osteogenezisi

Kemik defektlerinin tedavisindeki bir başka yöntem, 1950'li yıllarda Gavril Abramovich Ilizarov tarafından uygulanmaya başlayan distraksiyon osteogenezisidir. Teknik, periost ve vasküler yapıyı koruyarak kortikomi yapılması ve birkaç günlük kısa bir bekleme süresini takiben, sirküler eksternal fiksator sistemi ile yapılan distraksiyonla ossifikasyonun uyarılması prensibine dayanır.^[5]

1905 yılında Alessandro Codvilla tarafından başlatılan distraksiyon osteogenezisi ile ilgili çalışmalar, Ilizarov'un Gerim-Stres Teorisi ile yeni bir ivme kazanmıştır. Bu teoriye göre, sürekli traksiyon, canlı dokuların birçoğunda aktif büyümeyi stimüle eden stresler oluşturur. Yavaş ve sürekli traksiyon sonucu dokular metabolik olarak aktif hale gelir. Bu aktivasyonun başlıca nedeni, dokuya gelen kan miktarının artması ve fonksiyonel kullanım ile verilen ağırlığın simülatör etki göstermesidir.

Distraksiyon aralığındaki yeni kemik oluşumu, distraksiyon kuvvetlerine paralel bir gelişim gösterir.^[5-7] Gerim-stres kuvvetlerinin etkisi altındaki kemikte rejenerasyon zonu ortasında bulunan büyüme bölgesinde fibroblast benzeri hücrelerin gerim yönünde dizilen kollajen fibrilleri oluşturduğu ve os-

teoblastların bu temel üzerine osteoid dokuyu örek proksimal ve distale doğru yeni kemik büyümesini sağladığı gösterilmiştir.^[7] Sinüzoidal kapillerlerin etrafına yerleşen yüksek biyolojik aktiviteli hücrelerin, kondroidden çok osteoid dokuya benzediği de araştırmalarla ortaya konmuştur. Yapılan histolojik çalışmalar, distraksiyon osteogenezisinin primer olarak intramembranöz ossifikasyon ile oluştuğunu göstermiştir; yani, latensi süresinin uzamasıyla kartilaj matriks kalsifiye olmakta ve ardından da remodelling ile kemikleşme devam etmektedir.^[7,8] Kortikotomi bölgesinin her iki yüzeyinden gelişen kemik trabekülleri fibröz bir interzonda birleşirler. Bu fibröz interzon sahasında, iğsi hücrelerin, uygulanan distraksiyon kuvvetlerine göre düzen aldığı ve yavaş yavaş osteoblastlara dönüşerek, mineralize osteoid ürettikleri gözlenmiştir. İnterzondan alınan örneklerde süksinil dehidrogenaz, alkalen fosfataz ve ATPaz aktivitelerinin arttığı saptanmıştır. Süksinil dehidrogenaz, aerobik metabolizmanın; alkalen fosfataz, osteoid mineralizasyonun; ATPaz ise matrikste osteoblastik aktivitenin arttığını gösterir.^[9]

Distraksiyon, yalnızca longitudinal planda değil transvers olarak ta yapılabilir. Transvers distraksiyon, çift kemikli ekstremitelerdeki kemik defektlerinin tedavisinde, ekstremitte kalınlaştırılmasında ve dolaşım bozukluklarında neovaskülarizasyon amacıyla kullanılmaktadır. Transvers distraksiyon sırasında, yönü split fragmanın gerim vektörü boyunca uzanan yeni damarlanmalar gösterilmiştir. Yedinci günden itibaren, distraksiyonun büyüme zonu içinde iki tip kapiller ağı oluşmaya başlar. Bunlardan birincisi, geniş lümenli ve endotelinde kapakçıklar olan sinüzoidal kapiller ağı; ikincisi ise, dar lümenli ve endoteli devamlılık gösteren transport kapiller ağıdır. Yeni oluşan kapillerlerin büyümesi o denli aktiftir ki, distraksiyon hızını aşarlar ve vasküler endotelin luminal yüzünde kıvrımlar oluştururlar.^[10] Gerim-stres etkisi altında oluşan ve oryantasyonu longitudinal olan bu neovaskülarizasyon sadece kemikle sınırlı kalmayıp, yumuşak dokularda ve hatta canlı olmayan greft dokularında da izlenir. Ayrıca ciltte de distraksiyonun 20. gününden itibaren aktif bir angiogenezis gözlenmektedir.^[7,11]

Kısacası, distraksiyon osteogenezisi, kemik yapımının mekanik olarak uyarılması sonucu, hızlı bir şekilde canlı, lameller kemik oluşumunu sağlanması

sayesinde klasik kemik greftleme tekniklerine alternatif bir yöntemdir. Bu şekilde, anatomik bölgeye uygun kemik rejenerasyonu oluşmakta ve masif spongiöz kemik grefti uygulamalarında karşılaşılan %20-40 oranındaki kemik volüm kaybı riski de ortadan kalkmaktadır.^[12]

Gerim-stresi, etkisini yalnızca kemik üzerinde değil, yumuşak dokular üzerinde de gösterir. On dört günlük distraksiyon sonrasında, iskelet kası mitokondrialarının hipertrofiye olduğu, multipl kristalar oluşarak, kas volümlerinin genişlediği saptanmıştır. Köpekler üzerinde yapılan deneyler, distraksiyon ile kas kitlesinin arttığını, mevcut kasın nükleer ve sarkoplazmik komponentlerinin diferansiyasyonu ile yeni kas dokusu geliştiğini ve tamamen bağımsız yeni kas dokusu oluştuğunu göstermiştir. Kas dokusundaki artma, uzama ve kalınlaşmada kas kapillerlerindeki artış ve neovaskülarizasyonun etkisi vardır. Ancak Aronson,^[13-15] yaptığı çalışmalarla, kortikotomi hattını geçen kaslardaki uzamanın kemiğe oranla daha yavaş olduğunu, bu nedenle de femoral veya tibial uzatmalarda eklemlerde kıkırdak harabiyetleri oluşarak, hareket kısıtlılıklarının ortaya çıktığını saptamış ve ekstremitenin %30 oranında uzatılmasının eklem kıkırdağında dejenerasyon ve hareket kısıtlılığına neden olduğunu göstermiştir.

Gerim-stresinin etkisi ile yalnız çizgili kaslarda değil, düz kaslarda da önemli değişiklikler oluşur. Bunlar, düz kas hücreleri arasındaki bağlantı sayısının artışı ve düz kas hücrelerinin sirküler konfigürasyondan longitudinal konfigürasyona geçişleridir.

Distraksiyon sırasında fasyal fibroblast sentezi de artar. Yine köpekler üzerinde yapılan çalışmalarda, distraksiyonun yedinci gününde 1 cm³ fasyadaki fibroblast sayısının normalin iki katına çıktığı gösterilmiştir. Aynı şekilde, hücreler arası bağlantılarda da artış saptanmıştır. Bu bağlantılar distraksiyonun 14. gününde normalin 100 katına, 56. gününde ise 200 katına ulaşmaktadır.

Tibial uzatma yapılan erişkin köpeklerle, büyüyen köpeklerin sinir dokuları karşılaştırıldığında da aynı büyüme bulguları saptanmıştır; bunlar mevcut sinirlerde interkalar büyüme ve yeni sinir fibrillerinin oluşmasıdır.^[10]

Distraksiyon ile cildin bazal hücrelerinin silindirik şekil alarak, hiperkromatik nükleuslarının dist-

raksiyonun longitudinal aksına göre oryante oldukları ve bazal seviyede mitoz başladığı da çalışmalar sonucunda gösterilmiştir.^[5]

Yapılan çalışmalar, distraksiyon osteogenezisi ile oluşacak kemiğin kalitesi üzerinde aşağıdaki dört temel faktörün etkisini ortaya koymuştur.^[16,17]

1. Osteotomi sırasında medulla, periost ve nutrisyonel arterlerde meydana gelen hasarın şiddeti,
2. Fiksasyonun rijiditesi,
3. Distraksiyonun hızı,
4. Distraksiyonun frekansı.

Osteotomi kuralları ve osteotomi seviyesinin belirlenmesi

Kemik remodellingi sırasında distraksiyondaki aktif osteogenez görevini aktif hematopoeze yönelten kemik iliğinin, kortikotomi sırasında korunması gerekmektedir. Kortikotomiyi takiben yapılan distraksiyonun ikinci haftasından itibaren kemik iliği hücrelerinin eritrosit, eritroblast ve monosit prekürsörleri salgıladığı görülmüştür. Ayrıca, kortikal kemiğin beslenmesinin 2/3'ünün kemik iliğindeki nutrisyonel, 1/3'ünün ise periostal arterler tarafından sağlandığı da bilinmektedir. Bu nedenlerden dolayı, kortikomi sırasında kemik iliği ve periostun korunması ve yalnızca kompakt kemiğin kesilmesi gerekmektedir. Yüksek enerjili kesiciler, kemik ve yumuşak dokularda nekroza neden olacakları için kesme işlemi, gigli testeresi veya osteotomla yapılmalıdır. Kortikomi yapılırken aşağıdaki kurallara uyulması gerekir.^[18,19]

1. Nutrisyen arterler özenle korunmalıdır.
2. Kortikomi için metafizer bölge kullanılmalıdır.
3. Kortikotomi, eklemden 6-7 cm uzaktan yapılmalıdır.
4. Kortikomi hattı nedbelerden uzak olmalıdır.
5. Kortikotomi, 0.5-1 cm'lik osteotomla ve korteks yelpaze tarzında kesilerek yapılmalıdır. Bu sırada yaradan kan gelmesi ve yağ partiküllerinin görülmesi, endosteal kemiğin kesildiğini gösterir. Ardından osteotom 90° çevrilerek, kemik kırılmaya çalışılmalıdır. Bunda başarılı olunamazsa, distal halkaya rotasyon yaptırılarak, posterior duvarın kırılması sağlanmalı ancak, posterior köşede redüksiyonu engelleyecek pik oluşumuna neden olunmalıdır.

Klasik kortikotomi, perkutanöz ve subperiostaldir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, kortikomi sıra-

sında endosteal arterin sağlam kaldığını ve defektin giderilmesinde periostun medüller yapılardan daha önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Yine bu çalışmalarda kortikomi ile transvers osteotomi arasında klinik ve radyolojik olarak farklılık saptanamamış; hatta, osteotominin daha güvenli ve kolay uygulanabilir bir teknik olduğu belirlenmiştir.^[2,11] Çünkü kortikomide özellikle korteksin manipülasyonla kırılması sırasında vasküler yapılar kolaylıkla yaralanabilir. Yaralanan vasküler yapıların bir hafta gibi kısa sürede yeniden rekanalize olduğu gösterilmiş olmasına rağmen, periost korunarak yapılan transvers osteotominin en güvenilir yol olduğu bildirilmiştir. Ancak motorlu kesicilerin, osteojeneziste konsolidasyonu geciktirdiği için kullanılmamaları uygun olacaktır.

Osteotomi seviyesinin saptanmasında aşağıdaki kriterler göz önünde tutulmalıdır:

1. Deformitenin tipi,
2. Fiksasyonun tipi,
3. Yapılması planlanan osteotominin fizis, eklem ve yumuşak doku ile ilişkisi,
4. Kemiğin osteotomi seviyesindeki kalitesi.

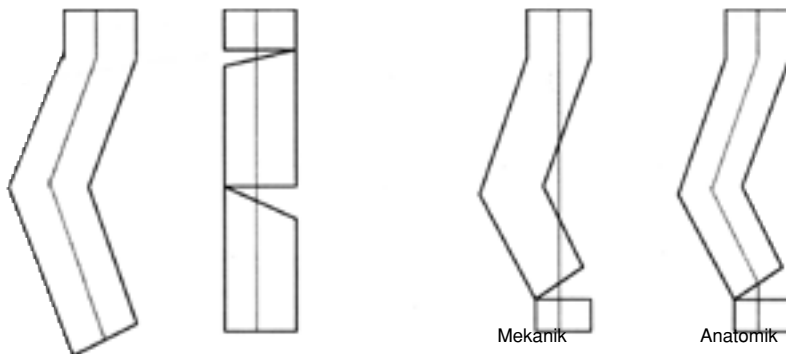
Burada bilinmesi gereken bir terim de angulasyon aksıdır. Angulasyon aksı, deformite planına dik olan çizgidir. Eğer angulasyon aksı, açı ortay çizgisinin konveks tarafından geçiyorsa open-wedge; konkav tarafından geçiyorsa closed-wedge; konkav ve konveks kenarlar arasından geçiyorsa nötral-wedge osteotomisi yapılmalıdır. Eğer bir multiapikal deformite söz konusu ise, her bir deformite için ayrı bir osteotomi uygulanmalıdır. Ancak bazen, proksimal ve distal mekanik aksların kesişme noktalarından

yapılacak tek bir osteotomi ile de deformiteyi düzeltmek mümkün olabilir. Bu gibi durumlarda mekanik aks düzelirken, anatomik aks düzelmemiş olur (Şekil 1).^[20] Bu durum yalnızca kozmetik bir kusurdur ve mekanik yüklenme açısından herhangi bir problem yaratmaz.^[21,22]

Operasyondan hemen sonra başlanan distraksiyon, kallus oluşumunda duraklamaya neden olur. Bu konuda yapılan çalışmalar, en iyi kemik iyileşmesinin 7-10. günlerde başlatılan distraksiyonla elde edildiğini göstermiştir. Bu sayede, kortikotomi sırasında intramedüller damarlar zedelense bile, bunlar distraksiyon öncesindeki bu bekleme süresinde iyileşebilmektedirler. Bekleme süresi üzerine etkili olan diğer faktörler ise hastanın yaşı ve kemiğin kalitesidir. Genç hastalardaki tibia ve femur gibi uzun kemiklerde distraksiyon öncesindeki en uygun bekleme süresi 7-14 gün iken, küçük tübüler kemikler için en uygun süre 21 gün olarak belirlenmiştir.^[7,23]

Damarsal yapıların korunduğu en uygun uzatma ritmi 12 saatte 0.35-0.7 mm'dir. En uygun uzatma oranı ise günde 0.7-1.4 mm'dir. Ilizarov^[5] yaptığı çalışmalar sonucunda, günde dört kez 0.25 mm'lik uzatmayı önermiş, en iyi sonucun ise otodistraktör ile 60x0.0085 mm'lik uzatmada alındığını bildirmiştir.

Distraksiyon osteogenezisine etkili faktörlerden biri de fiksasyonun stabilitesidir. Ilizarov, sistemin kortikotomi sahasında istenmeyen hareketleri önleyecek şekilde stabil olması; ancak, kemik aksına paralel mikro hareketlere izin vermesi gerektiğini belirtmiştir. Bu bilgiler, çerçevenin düzgün ku-



Şekil 1. Farklı tipteki deformitelerde uygulanan open-wedge ve closed-wedge osteotomiler.

rulmasının defektlerin kapatılmasında ne denli önemli olduğunu bir kez daha göstermektedir. Kemik transportasyonunda eksternal fiksasyonun temel amaçları (i) fragmanların stabilitesini sağlamak, (ii) kaydırılan fragmanın hareketlerini kontrol etmek ve (iii) hedef bölgede kompresyona imkan sağlamaktır.^[24,25]

Ilizarov çerçevesinin oluşturulması aşamasında, çerçeve kurma ve deformite düzeltmede genel prensiplere uymak gerekir. Bu prensipleri aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür:

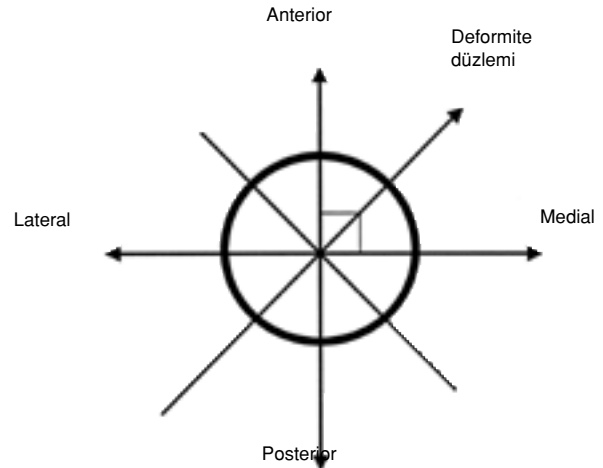
Çerçevenin kurulacağı halkalar seçilirken, cilt ile çerçeve arasında anterior yüzde 1 parmak, posterior yüzde ise crusta 2, uylukta 3 parmak olacak şekilde en küçük çaplı halkalar tercih edilmelidir. Ekleme yakın yerlerde ise hareket kısıtlılığı oluşturmamak amacıyla 5/8 veya omega halkalardan faydalanılmıdır. Çerçeve uzunluğu arttıkça stabilite de artacağı için, çerçeve mümkün olduğunca uzun olmalıdır. Fiksasyon için kemikte iki blok oluşturularak her bir blok iki farklı seviyede halkalarla tespit edilmelidir. Ara bölgeye yerleştirilen halkalar osteotomi hattından yaklaşık 4 cm mesafede yerleştirilir. Ara halkalar daha yakın mesafede yerleştirilirse, osteotomi hattı etrafında oluşan çatlaklar K teline doğru uzanarak, çerçevenin stabilitesinin azalmasına veya kaybolmasına neden olabilirler.^[26]

Kemiksel deformitelerin tedavi prensipleri

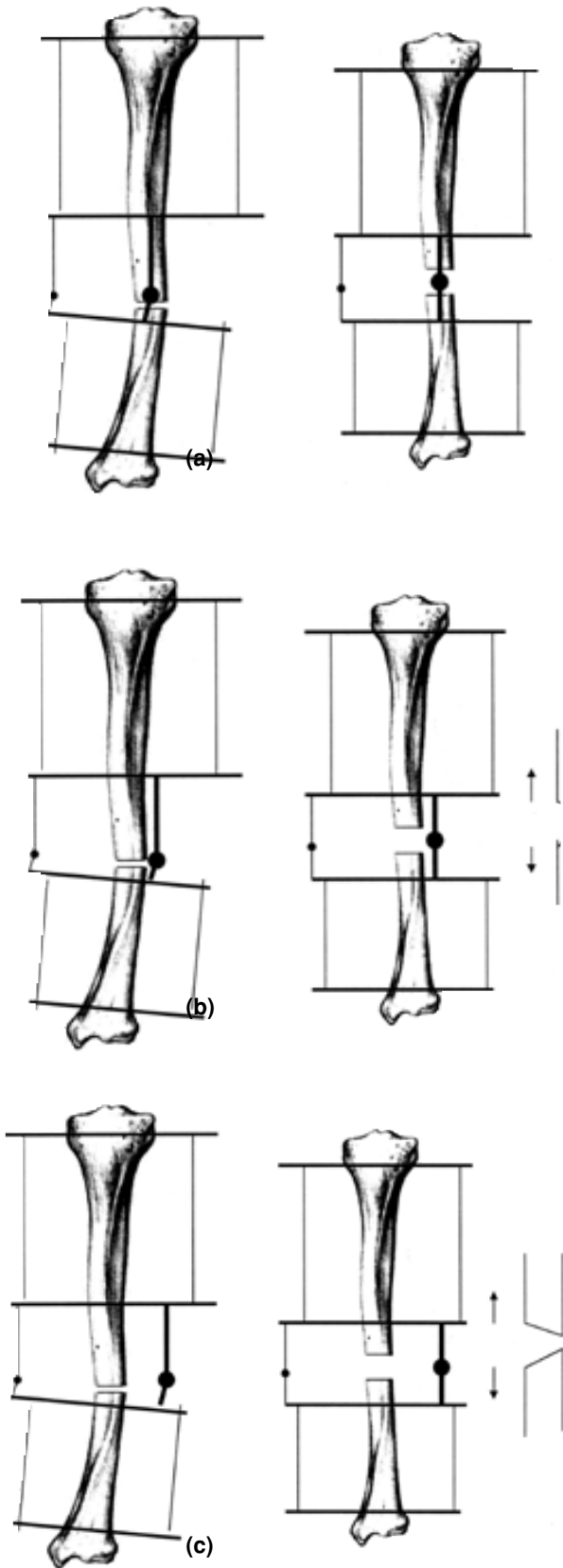
Kemik kaybı ile birlikte mevcut deformitenin de düzeltilmesi gereken hastalarda, ilk olarak, deformite düzlemi ve bu düzlemdeki deformitenin derecesi belirlenmelidir. Bu amaçla milimetrik kağıda birbirine dik iki çizgi çizilir. Deforme kemiğe üst ucundan bakıldığı varsayılarak, kemiğin önü, arkası, mediali ve laterali, doğrularla oluşturulan kadrın üzerinde işaretlenir. Kuralına uygun olarak çekilen yan grafideki angulasyon değeri kadar mesafe ($1^\circ=1 \text{ mm}$) distal parçanın yer değiştirme yönü de göz önüne alınarak ön-arka doğrultusuna işaretlenir. AP grafideki angulasyon derecesi ise aynı şekilde medial-lateral doğrultusuna işlenir. Bu iki nokta kullanılarak, bir dikdörtgen oluşturulur. Bu dikdörtgenin köşegen uzunluğu gerçek angulasyon derecesini; köşegenin doğrularla yaptığı açı da gerçek deformite düzlemini verir. Köşegen doğrultusunda deformitenin iç bükey tarafı motor ünitenin yerleştirileceği yeri; köşegen dik doğrultular ise men-

teşelerin yerleştirileceği yerleri gösterir (Şekil 2). Oluşturulan bu şablon üzerine kullanılacak olan halka yerleştirilerek, motor ünit ve menteşelerin yerleştirileceği yerler işaretlenir. Menteşeler, deformite düzlemine dik düzlemde çalışacak şekilde yerleştirilerek, hem ön-arka, hem de yan düzlemdeki deformiteler düzeltilebilir. Menteşelerin yerleştirileceği seviyeyi belirlemek için, proksimal ve distal fragmanların ortasından uzun eksenlerine paralel doğrular çizilir. Bu iki doğrunun kesiştiği seviye, menteşelerin yerleştirilme yeridir. Bu kesişme noktasına yerleştirilen menteşeler ile angulasyon düzeltilir ve fragmanlar tam karşı karşıya getirilir. Menteşe hangi fragmanın üzerinde ise o fragman iç bükey tarafa doğru yer değiştirir. Menteşe, deformitenin konkav tarafına yerleştirilirse, deformite düzelirken konveks tarafta kompresyon oluşur. Eğer menteşe, deformitenin konveks tarafına yerleştirilirse, deformite düzelirken aynı anda konkav kortekste uzunluk elde edilir (Şekil 3a, 3b ve 3c). Menteşe, kortikotomi hattının proksimal veya distaline yerleştirilirse, fragman uçlarında translasyon gelişir. Açılanma, yer değiştirme ve kısalığın tümünün birden bulunduğu olgularda, ilk önce, kısalık, daha sonra da açılanma ve yer değiştirme düzeltilmelidir. Rotasyon genellikle en son düzeltilir. Rotasyonel deformitelerin düzeltilmesi planlanıyorsa, kemik, halkanın tam merkezinde olacak şekilde tespit edilmelidir. Aksi takdirde, rotasyon düzelirken, fragmanların bir veya ikisinde yer değiştirmeler ortaya çıkar.^[27]

Proksimal ve distal fragmanlar, hazırlanan çerçeveye tutturulduktan sonra, çerçevenin konkav tarafı-



Şekil 2. Deformite düzleminin ve menteşe uygulama noktasının şablon üzerindeki tespiti.



Şekil 3. Mentеше seviyesinin deformite üzerindeki etkisi.

na rodlar yerleştirilir. Konveks tarafta ise, halkalara bağlanan plaklar ile çekme veya itmeye yardımcı olacak eklem oluşturulur. Deformitenin apeksi kon-kav tarafa doğru itilir veya çekilir. On beş dereceye kadar olan deformiteler operasyon esnasında akut olarak düzeltilirken, daha büyük açılı deformiteler tedrici olarak düzeltilmeye çalışılmalıdır. Motor ünitedeki 3 mm'lik distraksiyonun kemikte 1 mm distraksiyona yol açacağı bilinerek deformite düzeltilmesi planlanmalıdır. İtme sisteminde, deformite planına dik düz K telleri kullanılırken, çekme sisteminde, Ilizarov'un Başparmak Kuralına^[28] göre yerleştirilmiş stoplu K telleri kullanılır.

K tellerinin uygulanması aşamasında uyulması gereken bazı kurallardır. Bu kuralların en önemlileri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:^[26]

1. Kortikal kemiklerde bayonet uçlu, spongiöz kemiklerde ise düz uçlu K telleri kullanılır.

2. K teli halka üzerine yer değiştirmeden tespit edilmeli, halkaya doğru bükülmemeli, gerekiyorsa pullardan yararlanılmalıdır.

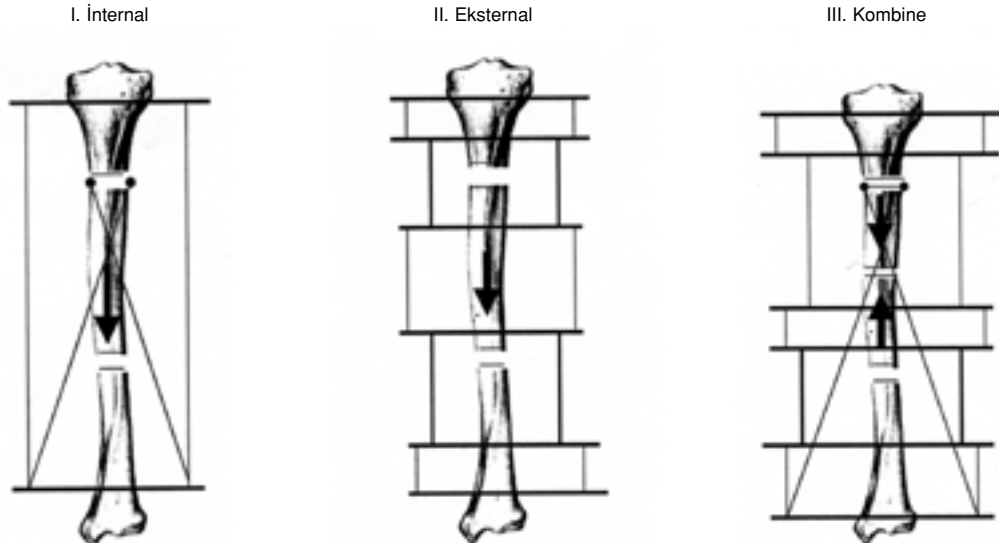
3. Eklem hareket kısıtlılığının önüne geçmek için, K telinin kemiğe tutturulması aşamasında, kasların maksimum uzunlukta olmasına özen gösterilmelidir.

4. Her bir halka, aralarında 60-90° açı yapan en az iki K teli ile kemiğe tespit edilmelidir. Teller arası açı azaldıkça stabilite azalacağı için, gerekirse postlardan faydalanılarak, halkaya kısa bir mesafe uzaklıktan üçüncü bir K teli uygulanmalıdır.

5. Kaydırılacak fragmandan geçirilen K tellerinin yerleştirilmesi son derece önemlidir. Eğer teller fragmanın ucuna çok yakın geçirilirse, temas anından önce bu halka ile hedef bölge halkası çakışır ve birleşme sağlanamaz. K tellerinin proksimale yerleştirilmesi durumunda ise fragman, istenmeyen yönlere doğru kayabilir. En uygun tel yerleştirme yeri, fragmanın distal ucundan 2.5 cm proksimaldeki noktadır.

Kemik defektlerinin tedavi prensipleri

Ilizarov'un tanımladığı kortikomi ve kemik fragmanın tedrici kaydırılması tekniği ile kemiksel defektlerin tedavi prensiplerinde önemli değişiklikler olmuştur. Bu teknikte dört çeşit segmenter kemik kaydırma yöntemi vardır (Şekil 4 ve 5).^[11,18] (i) İnternal kaydırma



Şekil 4. Segmenter kaydırma teknikleri.

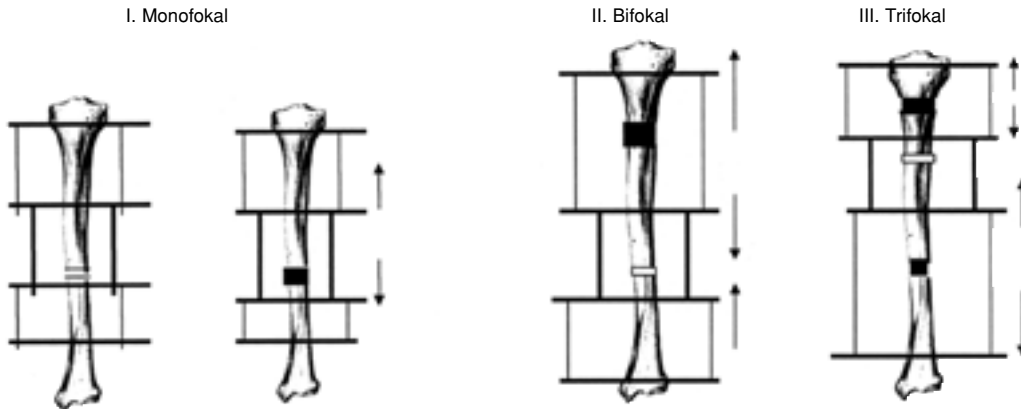
teknîği, (ii) eksternal kaydırma tekniği, (iii) kombine kaydırma tekniği ve (iv) monofokal kompresyon-dist-raksiyon osteogenezisi.

İnternal segmenter kaydırma tekniği, defektin re-konstrüksiyonuna yönelik bir girişimdir; 7-10 cm ve üzeri defektlerde kullanılır. Bu teknikte kaydırılacak fragman oblik plandaki stoplu K telleri ile tutturulur ve tellerin diğer ucu çerçevenin karşı taraf ucuna tespitlenir. Kemiksel defektin miktarına bağlı olarak bir veya iki seviyeli kortikomi yapılabilir. Genellikle 15 cm'nin üzerindeki defektlerde iki seviyeli kortikomi gereklidir. Çerçeve hareketi olmayan bu teknik ile deformitenin düzeltilmesi mümkün değildir ve ayrıca fragman birleşme yerlerinde yeteri kadar kompresyon uygulanamaz.

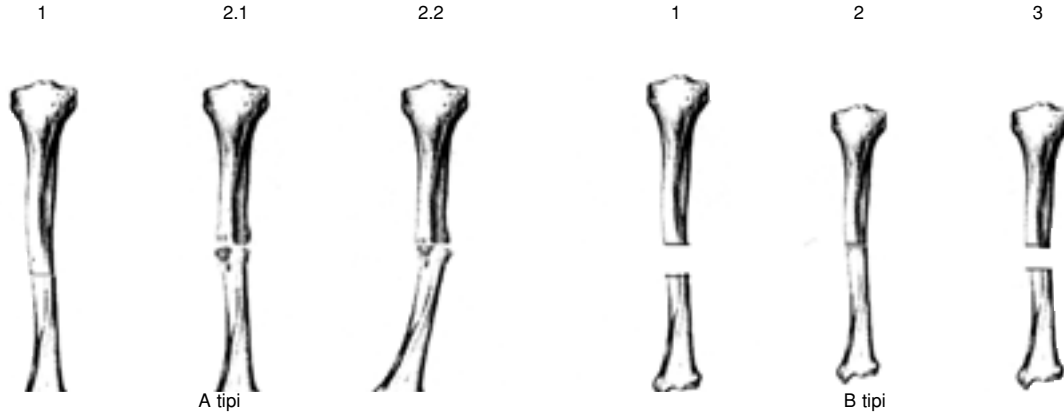
Eksternal segmenter kaydırma tekniği, 5-7 cm'lik defektlerin kapatılmasında kullanılan, ayrıca, kısalık ve deformitelerin düzeltilmesine de imkan veren bir tekniktir. Bu teknikte, kaydırılacak fragman, transvers K telleri ile halkaya tutturulur ve halkanın hareketi ile fragmanın transportu sağlanır. Defektin miktarına göre bir veya iki seviyeli kortikotomi yapılabilir.

Kombine tip segmenter kaydırma tekniğinde fragmanlardan biri internal, diğeri eksternal teknik ile kaydırılır. Tekniğin temel endikasyonları, 10 cm ve üzerindeki defektler ile anguler deformitenin de eşlik ettiği defektif olgulardır.

Eğer fragman uçları hipertrofik ve defekt 3 cm'den az ise, Ilizarov tarafından monofokal kompres-



Şekil 5. Kompresyon-dist-raksiyon osteogenezisi.



Şekil 6. Nonunion sınıflaması.

yon-distraksiyon osteogenezisi adı verilen teknikten yararlanır. Teknik, kendi içinde üç alt gruba ayrılır: a) Tek seviyeden kompresyon ve distraksiyon; b) Psödoartroz seviyesinden kompresyon, osteotomi seviyesinden distraksiyon; c) Psödoartroz seviyesinden kompresyon, iki farklı osteotomi seviyesinden distraksiyon.

Bu teknikte önce, 10-15 gün süreli kompresyon uygulanarak, neosteogenez uyarılır; ardından da distraksiyon yapılır. Teknik uygulanırken her fragmanın mutlaka çift seviyede tespiti, yani dört halkalı tespit gereklidir.

Defektif psödoartrozların tedavisi

Tüm bu prensiplere uygun olarak düzenlenen fiksator ile defektif psödoartrozların tedavisi de mümkündür. Ilizarov yöntemi ile tedavi edilen nonunionlar klasik sınıflamalardan farklı olarak gruplandırılır. Bu sınıflandırmada 1 cm'den büyük kemik kaybı olup olmamasına göre nonunionlar iki temel gruba ayrılır (Şekil 6):^[12,18]

A) Nonunion + kemik kaybı yok

1. Gevşek nonunion

2. Fikse nonunion

I Fikse nonunion + deformite yok

II Fikse nonunion + deformite var

B) Nonunion + 1 cm'den büyük kemik kaybı var

1. Kemik defekti var + ekstremitte kısalığı yok

2. Kemik defekti yok + ekstremitte kısalığı var

3. Kemik defekti ve kısalık var

Bu nonunionların tedavisinde kullanılacak yöntemler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

A 1. Bifokal osteogenez uygulanarak, osteotomi sonrası yapılan tederici distraksiyon ile aynı anda nonunion bölgesine kompresyon uygulanır.

A 2. I - Monofokal osteogenez takiben önce 10-20 günlük kompresyon ile nonunion bölgesinde nekroz ve neovaskülarizasyon oluşturulur. Ardından da sırasıyla distraksiyon ve kompresyon yapılır.

A 2. II - Monofokal osteogenez takiben, aksi yönlere yerleştirilen stoplu K telleri ile germe yapılır.

B 1. Değişik yöntemler kullanılabilir. Bunlar:

i. Bifokal osteogenez

ii. Trifokal osteogenez

iii. Bifokal osteogenez + internal kaydırma

B 2. Kullanılabilecek yöntemler şunlardır:

i. Bifokal osteogenez

ii. Trifokal osteogenez

iii. Kortikotomi takiben distraksiyon yapılarak elde edilen uzatmanın ardından yapılan kemik transportu ile defekt giderilir.

B 3. Kemik transportu ile defekt giderildikten sonra, kortikotomi bölgesinden uzatmaya devam edilerek, kısalık giderilir.

Özet olarak, kemik defektinin tedavisi, internal uzatma ile sağlanırken, uzama, psödoartroz sahasına siklik kompresyon ve distraksiyon uygulanarak osteogenezin uyarılması ve osteogenez oluşuktan sonra da kallusun distrakte edilmesiyle elde edilebilir. Hem kemik defektinin hem de kısalığın olduğu durumlarda ise, internal ve eksternal uzatma ile sorun giderilir. Bu amaçla, osteotomi takiben monofokal, bifokal veya trifokal osteogenezis tekniklerinden yararlanılabilir.^[12,18]

Tekniğine uygun olarak hazırlanan Ilizarov eksternal fiksatorü ile tedavi beş aşamaya ayrılabilir.^[29]

1. Fiksatorün uygulanması ve takiben bekleme dönemi (4-7 gün)
2. Kompresyon-distraksiyon dönemi (1-5 ay)
3. İmmobilizasyon dönemi (kompresyon-distraksiyon döneminin iki katı)
4. Dinamizasyon dönemi (2-3 hafta)
5. Eğer gerekli ise alçı, atel veya brace ile tespit.

Üçüncü dönemde yeni gelişen kemik dokusunun kalsifiye olması için tam bir immobilizasyon gereklidir. Ancak bu immobilizasyon kemik için geçerlidir. Distraksiyon aralığında oluşan yeni kemiğin oluşması için gerekli olan mekanik stimülasyon ise ekstremiteye tam ağırlıkla yük verilerek yürütmesi ve ekstremitenin tam olarak kullanılması ile sağlanır. Bu dönemde eklem hareketleri tam olarak yapılmalı ve oluşabilecek kontraktür ve deformiteler atelleme, pasif germe egzersizleri ve gece atelleme ile önlenmelidir.

Üçüncü dönemin sonunda yeni gelişen kemik dokusunun kalsifikasyon ve rekanalizasyonu radyolojik olarak, korteks formasyonu ile değerlendirilir. Kalsifikasyonun yeterli bulunması durumunda, bağlayıcı rodlar gevşetilir; böylece, immobilize edilen fragmanlar ve oluşan yeni kemik dokusu dinamize edilmiş olur.

Ilizarov eksternal fiksatorünün kullanıldığı kemik defektlerinin giderilmesi sırasında değişik sorunlarla da karşılaşılabilir.^[29,30] Bunları aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür: Rejenere yeni kemiğin matürasyon ve ossifikasyonunda gecikme, hedef bölgede kaynama yetersizliği, ekstremitede uzunluk farkı, refraktür, aksiel deformite, eklem hareket kısıtlılığı ve sertliği, cilt ve çivi sorunları, nörovasküler yaralanma, kompartman sendromu, osteomyelit, flebit, derin ven trombozu, ağrı, pulmoner emboli, hastanın cihaza uyumu.

Sonuç olarak, sayılan tüm bu sorunlara karşın, menteşe sisteminin sağladığı olanakların çokluğu, defekt ve deformitelerin düzeltilmesinde Ilizarov eksternal fiksator sistemini ciddi bir seçenek haline getirmektedir.

Kaynaklar

1. Johnson EE, Urist MR, Schmalzried TP, Chotivichit A, Huang HK, Finerman GA. Autogeneic cancellous bone grafts

- in extensive segmental ulnar defects in dogs. Effects of xenogeneic bovine bone morphogenetic protein without and with interposition of soft tissues and interruption of blood supply. *Clin Orthop* 1989;(243):254-65.
2. Lack W, Bosch P, Arbes H. Chronic osteomyelitis treated by cancellous homografts and fibrin adhesion. *J Bone Joint Surg [Br]* 1987;69:335-7.
3. Yajima H, Tamai S, Mizumoto S, Inada Y. Vascularized fibular grafts in the treatment of osteomyelitis and infected nonunion. *Clin Orthop* 1993;(293):256-64.
4. Hulth A. Current concepts of fracture healing. *Clin Orthop* 1989;(249):265-84.
5. Ilizarov GA. Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop* 1990;(250):8-26.
6. Renzi-Brivio L, Lavini F, de Bastiani G. Lengthening in the congenital short femur. *Clin Orthop* 1990;(250):112-6.
7. Yasui N, Kojimoto H, Sasaki K, Kitada A, Shimizu H, Shimomura Y. Factors affecting callus distraction in limb lengthening. *Clin Orthop* 1993;(293):55-60.
8. Aldegheri R, Renzi-Brivio L, Agostini S. The callotasis method of limb lengthening. *Clin Orthop* 1989;(241):137-45.
9. Aronson J, Harrison BH, Stewart CL, Harp JH Jr. The histology of distraction osteogenesis using different external fixators. *Clin Orthop* 1989;(241):106-16.
10. Delloye C, Delefortrie G, Coutelier L, Vincent A. Bone regenerate formation in cortical bone during distraction lengthening. An experimental study. *Clin Orthop* 1990;(250):34-42.
11. 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;70:543-9.
12. Başbozkurt M. Uzun kemik defektlerinin ve kemik doku kayıplarının distraksiyon osteogenezis yöntemi ile tedavisi. İleri Ilizarov Kursu Ders Notları. Adana: 1997:47-62.
13. Aronson J, Johnson E, Harp JH. Local bone transportation for treatment of intercalary defects by the Ilizarov technique. Biomechanical and clinical considerations. *Clin Orthop* 1989;(243):71-9.
14. Aronson J, Good B, Stewart C, Harrison B, Harp J. Preliminary studies of mineralization during distraction osteogenesis. *Clin Orthop* 1990;(250):43-9.
15. Aronson J. Cavitary osteomyelitis treated by fragmentary cortical bone transportation. *Clin Orthop* 1992;(280):153-9.
16. Aro HT, Chao EY. Bone-healing patterns affected by loading, fracture fragment stability, fracture type, and fracture site compression. *Clin Orthop* 1993;(293):8-17.
17. Fleming B, Paley D, Kristiansen T, Pope M. A biomechanical analysis of the Ilizarov external fixator. *Clin Orthop* 1989;(241):95-105.
18. Paley D, Catagni MA, Argnani F, Villa A, Benedetti GB, Cattaneo R. Ilizarov treatment of tibial nonunions with bone loss. *Clin Orthop* 1989;(241):146-65.
19. Schwartsman V, Schwartsman R. Corticotomy. *Clin Orthop* 1992;(280):37-47.
20. Kocaoğlu M. Frontal ve sagittal plandaki deformitelerin tedavi ve planlanması. 1. İleri Ilizarov Kursu Ders Notları. Adana: 1997:12-30.
21. Paley D, Tetsworth K. Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of uniapical angular deformities of the tibia or femur. *Clin Orthop* 1992;(280):48-64.
22. Paley D, Tetsworth K. Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of multiapical frontal pla-

- ne angular and bowing deformities of the femur and tibia. Clin Orthop 1992;(280):65-71.
23. White SH, Kenwright J. The timing of distraction of an osteotomy. J Bone Joint Surg [Br] 1990;72:356-61.
24. Paley D, Fleming B, Catagni M, Kristiansen T, Pope M. Mechanical evaluation of external fixators used in limb lengthening. Clin Orthop 1990;(250):50-7.
25. Podolsky A, Chao EY. Mechanical performance of Ilizarov circular external fixators in comparison with other external fixators. Clin Orthop 1993;(293):61-70.
26. Gülşen M. Genel uygulama tekniği. 2. Temel İlizarov Kursu Ders Notları. Adana: 1997:27-41.
27. Gülşen M. Sirküler fiksatorlerle deformite düzeltilmesinin temel prensipleri. 1. İleri İlizarov Kursu Ders Notları. Adana: 1997:3-11.
28. Çakmak M. Alt ekstremitte deformitelerinin İlizarov yöntemi ile tedavisi. 1. İleri İlizarov Kursu Ders Notları. Adana 1997: 31-6.
29. Tan İ. Fiksator Revizyonu ve çıkartılması – komplikasyonlar. 2. Temel İlizarov Kursu Ders Notları. Adana: 1997:89-95.
30. Green SA. Complications of external skeletal fixation. Clin Orthop 1983;(180):109-16.