



Akondroplastik hastalarda femur ve tibianın bilateral ve eş zamanlı uzatılması

Mehmet KOCAOĞLU¹, Fikri Erkal BİLEN¹, Göksel DİKMEN², Halil İbrahim BALCI³, Levent ERALP³

¹İstanbul Memorial Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul;

²Acıbadem Maslak Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul;

³İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, İstanbul

Amaç: Bu çalışmada akondroplastik hastaların femur ve tibialarının bilateral ve eş zamanlı olarak uzatılmasının doğuracağı sonuçlar ve komplikasyonlar analiz edildi.

Çalışma planı: Çalışmaya 44 femur ve 44 tibiasında eş zamanlı uzatma yapılan 22 akondroplastik hasta (16 kız, 6 erkek; ortalama yaş: 6.36, dağılım: 3-11) alındı. Femurların uzatılması için Orthofix LRS monolateral fiksatorler kullanılırken, tibiaların uzatılmasında Ilizarov tipi veya hexapod tipi sirküler eksternal fiksatorlerden yararlanıldı. Kalça fleksörleri ve Aşil tendonunda gerçekleştirilen tenotomilerle, büyüme plaklarının hasar görmesinin ve eklem kontraktürlerinin önüne geçildi. Sonuçlar ve komplikasyonlar Paley sınıflaması ve komplikasyon sistemlerine göre değerlendirildi.

Bulgular: Hastaların ortalama takip süresi 35 (dağılım: 26-76) ay idi. Femurlar ortalama 7.07 cm (%46.1) uzatılırken, tibialardaki ortalama uzama 6.64 cm (%52.9) olarak ölçüldü. Hastaların boyu, fizyolojik büyümeleri de hesaba katıldığında, ortalamada 16.9 cm uzadı. Ortalama kemik iyileşme indeksi (bone healing index, BHI) femurlar için 31.2 (dağılım: 17.4-43.3) gün/cm, tibialar için 34.3 (dağılım: 19.5-60.0) gün/cm olarak saptandı. Tespit sonrası görülen 16 komplikasyon şu şekilde sıralandı; 3 gecikmiş matürasyon, 3 pin dibi enfeksiyonu, 5 geçici fibula felci, 5 rejenerasyon kırık, 1 geç varus deformitesi, 1 diz kontraktürü ve 1 diz çıkığına sekonder diz kontraktürü. Fonksiyonel skorlar açısından 78 segmentte mükemmel, 8 segmentte iyi, 1 segmentte orta ve 1 segmentte kötü sonuç alındı.

Çıkarımlar: Akondroplastik hastaların femur ve tibialarının bilateral ve eş zamanlı olarak uzatılması toplam tedavi ve eksternal tespit sürelerinde azalmaya yol açarken, komplikasyon oranı düşük seviyelerde seyretmektedir.

Anahtar sözcükler: Akondroplastik; eş zamanlı bilateral uzatma; femur; tibia.

Normal erişkin aralığında bir boya sahip olmaları için akondroplastik hastalara seri uzuv uzatma işlemlerinin uygulanması gerekir. Kondrodiatisis (büyüme plağından distraksiyon) ve kallotasis (kallus distraksiyonu) sonrası alt ekstremiteler başarıyla uzatılabilmektedir.^[1-3] Günümüz-

de, farklı seanslarda her iki femur ve tibianın eş zamanlı uzatılması (transvers uzatma) genel bir uygulamadır.^[1,4]

Bu çalışmada, akondroplastik hastaların femur ve tibialarının eş zamanlı uzatılmasının sonuçları değerlendirilmektedir.

Yazışma adresi: Dr. Göksel Dikmen, Acıbadem Maslak Hastanesi, Büyükdere Cad., No: 40, Maslak, 34457 İstanbul.

Tel: +90 212 – 304 43 73 e-posta: gdkmen@yahoo.com

Başvuru tarihi: 01.05.2013 **Kabul tarihi:** 23.01.2014

©2014 Türk Ortopedi ve Travmatoloji Derneği

Bu yazının çevrimiçi İngilizce versiyonu

www.aott.org.tr adresinde

doi: 10.3944/AOTT.2014.3274

Karekod (Quick Response Code)



Hastalar ve yöntem

Çalışmaya 2002 ile 2008 yılları arasında akondroplazi tanısı alan ve eş zamanlı femur ve tibia (88 segment) uzatması yapılan 22 hasta (16 kız, 6 erkek) katıldı. Hastaların tamamından yazılı onam alındı ve çalışma kurumumuzun Etik Kurulu tarafından onaylandı. Çalışma, Klinik Araştırmalar Sicili'ne (ClinicalTrials.gov) NCT01328418 kimlik numarası ile kaydedildi.

Hastaların cerrahi sırasındaki ortalama yaşı 6.36 (dağılım: 3-11) idi. Hastalara ait demografik veriler Tablo 1'de verilmektedir. Femurların uzatılması için Orthofix LRS (Orthofix Srl., Bussolengo Verona, İtalya) mono-lateral fiksatorler kullanılırken, tibiaların uzatılmasında Ilizarov tipi (Tasarım Med, İstanbul) veya hexapod tipi (Smart Correction; Gotham Medical LLC, Fort Lee, NJ, ABD) sirküler eksternal fiksatorlerden yararlanıldı.

On beş hastada (30 uzuv) kalça fleksörlerinin serbestleştirilmesi ile birlikte Aşil tendonları perkütan olarak uzatıldı. Boy kısalığına ek olarak, 2 hastada ekstremitte eşitsizliği vardı. Cerrahi sonrası 7. günde başlanan kallus distraksiyonunda günlük distraksiyon oranının $\frac{3}{4}$ mm olduğu kaydedildi. Kırık oluşumunu veya yetersiz rejenerasyonda plastik deformasyonu önlemeye yönelik, fiksatorlerin çıkarılması seansında 4 hastaya perkütan olarak intramedüller Steinmann pinleri uygulandı (Şekil 1).

Cerrahi öncesi ve tedavinin sonunda, hastaların tamamının alt ekstremitelerinin ayakta röntgenleri çekilerek, fotoğraflarla belgelendi (Şekil 2 ve 3). Uzatma öncesi ve sonrası, her segmentin uzunluğu ölçülerek kaydedildi. İlişkili bir deformitenin varlığını teyit etmek için dizilim testi uygulandı (Şekil 4).

Eksternal tespit süresi, kallus distraksiyonunun konsolidasyonu için geçen süre ve uzatma miktarı belgelenerek, (segment uzunluğunun uzatma miktarına bölünmesi ile) uzatma oranı hesaplandı. Uzatılan segmentlere komşu alt ekstremitte eklemleri, yani kalça, diz ve ayak bileği eklemleri eklem hareket açıklığı ve stabilite açısından muayene edildiler. Klinik sonuçlar Paley^[5] tarafından önerilen fonksiyonel puanlama sistemine göre değerlendirildiler. Komplikasyonlar Paley kriterlerine göre (tedavinin sonunda karşılaşılan sorun cerrahi olmayan yöntemlerle, engel ise cerrahi yöntemlerle çözümlenirken, sekele tedavinin sonunda bir çözüm bulunmaz) sınıflandırıldılar.

Hastaların takibi ortopedi kliniğinde uzatma sürecinin sonuna dek ikişer haftalık aralıklarla, fiksatorlerin çıkarılmasına dek olan süreçte ise aylık olarak yapıldı. Rejenere kemik oluşumu ve büyüme plağının durumunu değerlendirmek için hastaların röntgenlerinden yararlanıldı.

Bunlara ek olarak, büyüme ve gelişimi gözlemek ve büyüme parametrelerini ölçmek ve kaydetmek amacıyla hastaların takiplerine pediatri kliniğinde devam edildi.

Bulgular

Hastaların ortalama takip süresi 35 (dağılım: 26-76) ay idi. Femurlar ortalama 7.07 (dağılım: 4-11) cm uzatılırken, tibialardaki ortalama uzama 6.64 (dağılım: 3-11) cm olarak ölçüldü. Orijinal segmente göre ortalama uzatma oranı femurlar için %46.1 (dağılım: %23.3-%74.0), tibialar için %52.9 (dağılım: %22.5-%98.0) idi. Ortalama kemik iyileşme indeksi (bone healing index, BHI) femurlar için 31.2 (dağılım: 17.4-43.3) gün/cm, tibialar için 34.3 (dağılım: 19.5-60.0) gün/cm olarak saptandı. Bir seansta bir hastada gerçekleştirilen ortalama uzatma miktarı, uzatma sürecindeki normal büyüme miktarı da dahil, 16.9 (dağılım: 9-25) cm idi. Ekstremitte eşitsizliği (limb-length discrepancy, LLD) olan 2 hasta tedavinin sonunda eşit uzunlukta ekstremitelere sahip



Şekil 1. Kırığın önlenmesine yönelik intramedüller çubukların femur ve tibiaya uygulanması.

Tablo 1. Hastalara dair demografik bilgiler ve sonuçlar.

Hasta no.	Yaş (yıl)	Cins.	Boy (cm)		Uzatma miktarı (cm)		Uzatma oranı (Orijinal uzunluğa oranı %)				Eksternal Tespit İndeksi (gün/cm)				Komplikasyonlar		
			Uzatma öncesi	Uzatma sonrası	Femur	Tibia	Femur		Tibia		Femur		Tibia				
							Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol	Sağ	Sol			
1	6	Kız	91	110	8.0	7.5	7.0	6.2	46.1	43.3	52.6	46.6	24.5	28.0	28.0	34.6	Sol tibia da gecikmiş matürasyon, diz çıkığı, diz kontraktürü
2	8	Kız	100	110	6.0	5.0	4.0	4.5	28.3	23.3	23.5	26.4	43.0	51.6	64.5	57.3	Rejener kırık, geç varus deformitesi
3	4	Erkek	85	101	5.5	5.0	6.6	7.0	42.3	39.2	54.0	56.0	35.6	39.2	26.5	28.0	Sol tarafta geçici peroneal sinir felci
4	9	Kız	110	125	6.5	6.5	6.5	6.5	26.5	26.0	28.3	28.8	57.6	27.3	39.2	39.2	Rejener kırık, sağ tibia da gecikmiş matürasyon
5	3	Kız	77	96	7.0	7.0	7.0	7.0	51.8	51.8	60.8	51.1	30.4	30.4	30.4	30.5	Pin dibi enfeksiyonu
6	4	Kız	83	92	4.0	4.0	3.0	3.0	27.5	25.0	25.0	25.0	33.7	33.7	45.0	45.0	
7	11	Erkek	105	116	5.0	5.0	6.5	6.0	24.5	24.2	40.3	36.8	36.6	36.6	28.1	30.5	
8	3	Kız	75	95	7.0	7.0	7.0	7.0	56.0	56.0	63.6	63.6	31.2	31.2	31.2	31.5	
9	3	Erkek	74	94	7.0	7.0	7.3	7.3	58.3	58.3	69.5	69.5	30.0	30.0	28.7	28.5	
10	11	Kız	109	124	7.0	7.0	7.5	7.5	29.1	29.1	43.6	43.6	45.0	32.1	55.3	42.0	Sağ tibia da gecikmiş matürasyon, sol tarafta geçici peroneal sinir felci
11	3	Kız	80	99	7.5	7.5	9.0	9.0	51.8	55.3	58.3	66.6	26.0	25.2	26.0	22.5	Sol tarafta geçici peroneal sinir felci
12	5	Kız	82	104	8.0	8.0	7.0	7.0	53.3	53.3	58.3	58.3	34.6	34.6	39.5	39.5	
13	8	Erkek	97	101	8.0	11.0	6.0	7.5	46.5	70.9	35.7	52.3	39.0	28.3	52.0	41.6	Pin dibi enfeksiyonu, rejener kırık
14	7	Kız	91	107	7.6	7.6	6.4	6.4	52.4	52.4	51.2	51.2	43.2	43.2	51.4	51.4	Rejener kırık
15	8	Erkek	96	110	7.2	7.2	5.0	5.0	43.6	44.7	37.0	37.0	42.7	42.7	61.6	61.6	Pin dibi enfeksiyonu, sol tarafta geçici peroneal sinir felci
16	4	Kız	77	94	8.0	8.0	7.3	7.3	59.2	60.2	66.3	66.3	26.2	26.2	28.7	28.7	
17	4	Erkek	89	114	6.0	7.5	5.0	6.0	37.0	56.3	43.4	54.5	35.0	28.0	42.0	35.0	Rejener kırık
18	11	Kız	102	116	7.0	7.0	7.0	7.0	31.8	32.5	42.4	42.9	30.0	30.0	30.0	30.0	
19	4	Kız	81	95	7.0	7.0	7.0	7.0	51.8	51.8	51.8	60.8	30.0	30.0	30.0	30.0	
20	8	Kız	90	106	7.0	7.0	7.0	7.0	58.3	58.3	63.6	63.6	30.0	30.0	30.0	30.0	
21	7	Kız	95	126	10.0	10.0	9.5	9.5	74.0	74.0	82.6	82.6	22.5	22.5	23.6	23.6	Sol tarafta geçici peroneal sinir felci
22	9	Kız	96	116	8.7	9.0	11.0	10.5	64.0	62.0	98.0	97.5	30.0	30.0	30.0	30.0	

Cins.: Cinsiyet.



Şekil 2. Tedavinin aşamalarını gösteren röntgenler. (a) Cerrahi öncesi, (b) cerrahi tedavi sonrası, (c) uzatma sonrası ve (d) eksternal fiksatörün çıkarılması sonrası çekilen ortoröntgen filmleri.

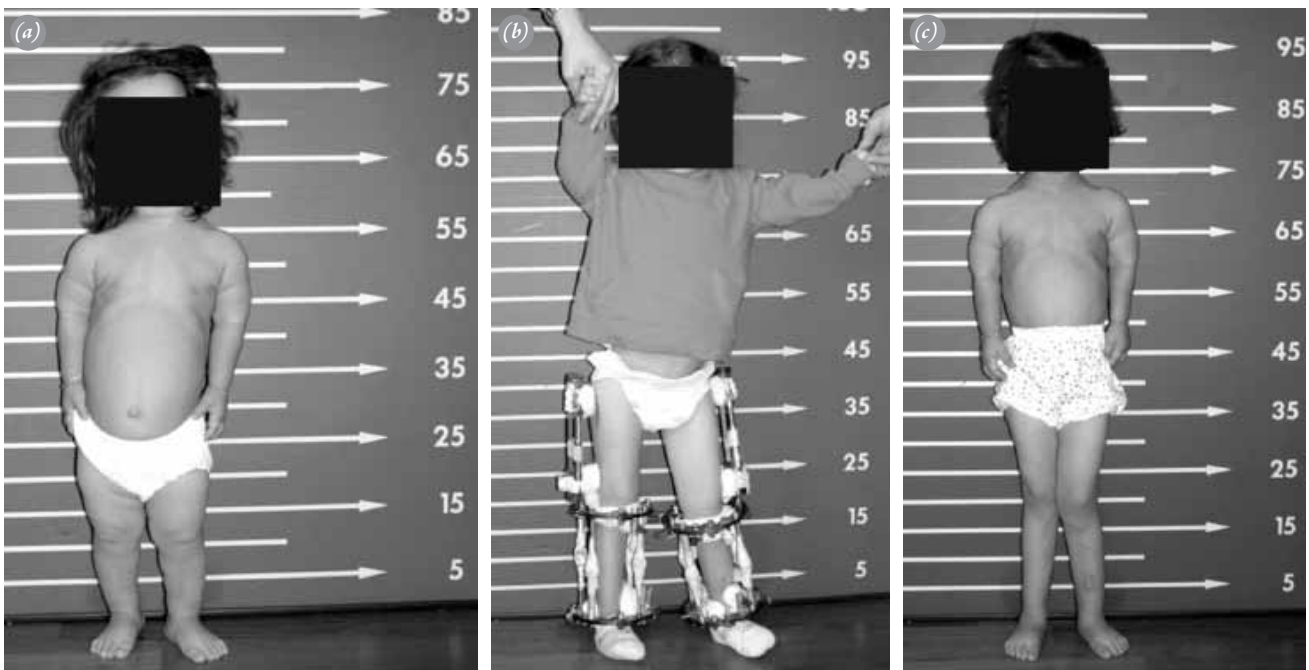
oldular (bir hastadaki LLD 4.5 cm, diğer hastadaki ise 3 cm idi).

Görülen 19 sorun şu şekilde sıralandı; rejenere kallusun gecikmiş matürasyonu olan 3 segment, antibiyotik tedavisi ve lokal yara bakımı sonrası iyileşen 3 pin dibi enfeksiyonu, cerrahinin hemen sonrasında ortaya çıkan ve spontane şekilde yok olan 5 geçici fibula felci, rejenere kallusta kırık görülen ve alçı uygulaması ile tedavi edilen 5 segment, 1 geç varus deformitesi, 1 diz kontraktürü ve 1 diz çıkığına sekonder diz kontraktürü.

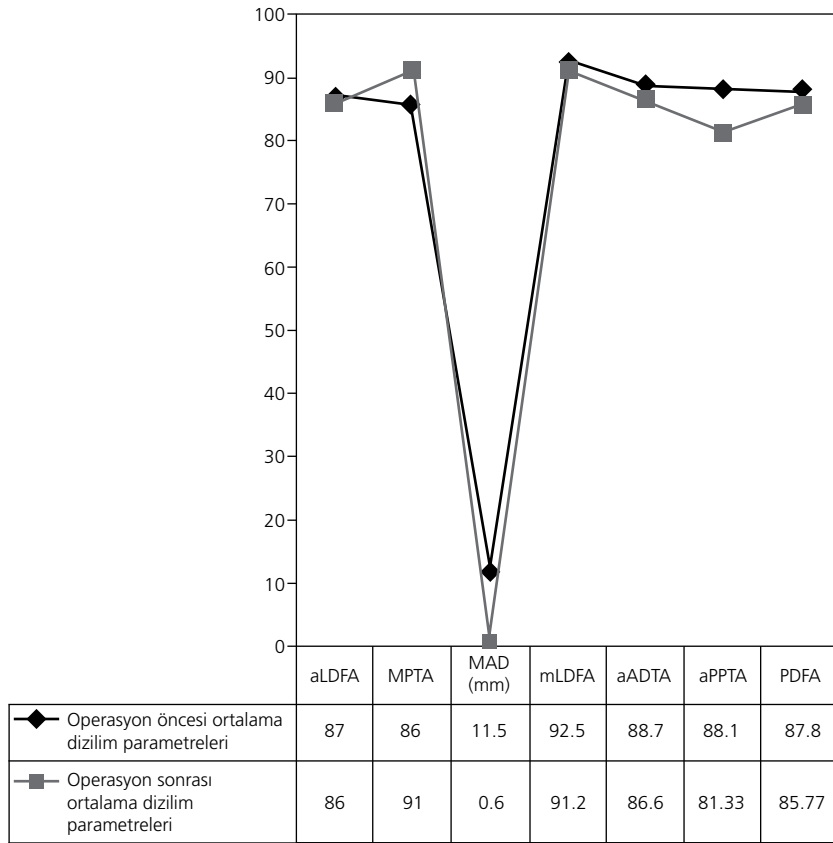
Fonksiyonel skorlar açısından 78 segmentte mükemmel, 8 segmentte iyi, 1 segmentte orta ve bir segmentte kötü sonuç alındı.

Tartışma

Eksternal tespit, ekstremitelerinin küçük boyda olması nedeniyle özellikle akondroplastik hastalar açısından rahatsızlık yaratabilecek bir uygulamadır. Bu hastalarda uzatmanın birden çok seansta gerçekleştirilmesi gerektiğinden, eksternal tespit süresi hastalar açısından



Şekil 3. Serimizdeki bir hastanın uzatma (a) öncesinde, (b) sırasında ve (c) sonunda görüntüleri.



Sekil 4. Hastalar için operasyon öncesi ve sonrasında kullanılan dizilim parametreleri. aADTA: Anatomik Anterior Distal Tibial Aç; aLDFA: Anatomik Lateral Distal Femoral Aç; MAD: Mekanik Aks Deviasyonu; mLDFa: Mekanik Lateral Distal Femoral Aç; MPTA: Medial Proksimal Tibial Aç; PDFa: Posterior Distal Femoral Aç; PPTA: Posterior Proksimal Tibial Aç.

önem taşımaktadır. Biz eş zamanlı olarak bilateral femur ve tibia uzatmasını tercih ettiğimizden, tibia ve femurun bir diğerinin ardından uzatılmasına kıyasla, ki bu durumda eksternal tespit süresi iki katına çıkmaktadır, eksternal tespit süresini kısaltmış olduk. Serimizdeki hastaların ortalama eksternal tespit süresi tibia için 233 gün, femur için 228 gün olarak kaydedildi. Hastaların femur ve tibiaları ayrı ayrı tedavi edilmiş olsalardı, toplam eksternal tespit süresi 228 gün daha uzayacaktı (233+228=461 gün).

Zayıf yapıda kemik oluşum riski^[2,6] ve hem femur hem tibianın eş zamanlı uzatılması ile elde edilen ciddi derecedeki uzatma miktarı sonrası oluşabilecek traksiyon nedeniyle sinirlerin hasar görmesini önlemek için günlük kallotasis oranı bu tür hastalarda $\frac{3}{4}$ mm'yi aşmamalıdır. Üç segmentte zayıf rejenere kemik oluşumu nedeniyle distraksiyon oranını daha da azalttık.

Serimizdeki hastaların femurları için ortalama BHI 31.2 gün/cm iken, tibialarda bu oran 34.3 gün/cm idi. Aldegheri ve Dall'Oca'nın çalışmasında, iyileşme indeksleri femur için 40.76 gün/cm ve tibia için 42.05 gün/cm

olarak bildirilmektedir.^[3] Vaidya ve ark. ise, tibia için 26.06 gün/cm ile daha düşük bir iyileşme indeksi saptamışlardır.^[7]

Serimizdeki hastalarda 5 adet (%5.68) rejenere kırık vardı. Bunlar, cerrahi olmayan alçı uygulaması ile tedavi edildi. Venkatesh ve ark., serilerinde %15 oranında rejenere kırık bildirmişlerdir.⁸ Daha düşük bir distraksiyon oranı (günlük 1 mm'ye karşılık $\frac{3}{4}$ mm) uygulamamız nedeniyle bizim çalışmamızdaki rejenere kırık oranı da daha düşük seviyede gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda da, daha kaliteli rejenere kemik oluşumuna olanak sağlarken, zayıf yapıda rejenere kemik oluşumlu hastaların fiksatorlerinin çıkarılması sırasında profilaktik intramedüller Steinmann pinleri kullandık.

Sekiz yaşından daha genç hastaların uzatma sırasında uygulanan fizik tedavi programıyla tam anlamda uyum göstermedikleri bildirilmektedir.^[3,4] Bizim hastalarımızın yaş ortalaması 6.36 idi. Bu nedenle, profilaksi amaçlı, serimizdeki 15 hastanın kalça fleksörleri serbestleştirilerek Aşil tendonları uzatıldı. Sadece bir hastada oluşan diz çıkığı nedeniyle kalıcı diz kontraktürüne rast-

landı. Ekleme bağı komplikasyonların düşük seviyede seyretmesinin, profilaktik tenotomiler ile bağ dokusunun akondroplastik hastalarda genelde gevşek olması ile ilişkili olabileceği düşüncesindeyiz.^[8]

Dört uzun kemiğe eş zamanlı olarak uygulanan osteotominin hasta tarafından kolay tolere edilebilecek bir prosedür olmaması, girişimimizi eleştiriye açık kılmaktadır. Bununla birlikte, dört alt ekstremité segmentine uygulanan eş zamanlı osteotomi hastalarımız tarafından oldukça yüksek bir seviyede tolere edilmiştir. Ağrı kontrolü ve erken mobilizasyonun bunda etkisi büyüktür. Cerrahi süresi her hasta için 3 ila 4 saat arası olarak kaydedilmiştir.

Femur ve tibiada eş zamanlı uzatma veya yakın zamanda art arda gerçekleştirilen iki tibia uzatma girişiminin tibiada büyüme inhibisyonuna yol açabileceği literatürde gösterilmiştir.^[9] Lee ve ark., genç dişi tavşanlarda %40 oranının üzerinde gerçekleştirilen uzatmanın, proksimaldeki tibia büyüme plağının mimarisini olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir.^[10] Uzatmanın tibianın fizyolojik, longitudinal büyüme üzerindeki bu olumsuz etkileri Aşil tenotomisi ile önlenir.^[11] Bizim serimizdeki 22 hastanın 15'inin kalça fleksörleri ve Aşil tendonlarına tenotomi uygulanmıştı. Bundan başka, akondroplastik hastaların genelinde kabul edilen bağ dokusunun gevşekliğinin de büyüme plağını uzatmadan kaynaklanan aşırı basınç yüklemesinden koruduğu düşüncesindeyiz. Benzer şekilde, Noonan ve ark. da, konjenital kısaltma yapılan hastalarda görülen ekleme bağı komplikasyon oranının akondroplastik hastalara göre daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir.^[12] Song ve ark.,^[13] tibialarında uzatma yaptıkları 23 akondroplazi hastasını büyüme plağında oluşacak hasar ve kemik matürasyonu açısından takip etmişler ve akondroplazili olgularda %50 oranının üzerinde uzuv uzatması yapılması halinde büyüme plağının hasar göreceği sonucuna varmışlardır. Bu hasar, kademeli bir şekilde ilerleyen ve kendini cerrahiden 2 yıl sonra gösteren bir süreçtir. Ne var ki, bu çalışmada incelenen grup küçüktür ve büyümenin duraklaması klinik korelasyon olmaksızın, sadece radyolojik tetkiklerle belirlenmiştir. Bununla birlikte, Türk toplumundaki akondroplazili 'normal' hastaların tibia ve femurlarının büyüme eğrilerinin prospektif bir çalışma ile gözlenmesine ve bu hastaların büyüme duraklaması açısından takip edilmesine ihtiyaç vardır. Ancak bu şekilde, yaş açısından akondroplazili hastalara dair bir limit belirlenebilir.

Gastroknemius-soleus-Aşil tendon kompleksi çift eklemlerli bir kas olup tibianın uzatılması ile risk altına girmektedir.^[14] Uzatma sırasında oluşabilecek ayak bileği ekinus kontraktürünü önlemeye yönelik birçok seçenek

tanımlanmıştır. Cerrahi öncesi gastroknemius-soleus-Aşil tendon kompleksine uygulanacak germe egzersizleri ve tendon kompleksinin cerrahi sırasında pin ile tespiti bu anlamda yararlı olabilir. Pin ile tespit yüksek riskli (konjenital kısalık, nörovasküler hastalığı olan ve kemik segment uzunluğunun %20'sinden fazla oranda uzatma yapılan) hastalarda tercih edilmelidir.^[5] Büyümenin duraklaması teorisine göre, akondroplastik hastaların genelinde görülen bağ dokusunun gevşekliği de uzatma sırasında gastroknemius-soleus-Aşil tendon kompleksi için koruyucu bir rol oynamış olabilir. Ne var ki, çalışmamızda, orijinal kemik boylarına kıyasla uzatma oranı literatürdekilere göre oldukça yüksektir. Bu nedenle, Aşil tendonuna tenotomi yapmayı tercih ettik. Belthur ve ark. da, çalışmalarında, ayak bileği ekinusunu önlemede yeni bir cerrahi teknik olan, eklem dışından kalkaneotibial vida uygulamasının ayrıntılarını aktarmışlardır.^[15] Bununla birlikte, bu teknik uzatma sırasında eklem kırıkdağı ve büyüme plağının üzerinde oluşan basıncın artmasına yol açabilir. Ayrıca, bu teknik, göreceli olarak küçük bir grupta (10 hastanın 14 uzvunda) uygulandığı için, fleksör hallusis longus tendonuna dair veya diğer nörovasküler komplikasyonlar gibi olası sorunlar hakkında fikir vermede yetersiz kalabilir. Bunun haricinde, kalkaneotibial vidanın çıkarılması için de ikinci bir cerrahi gerekmektedir.

Çalışmamızın sonucunda, akondroplastik hastalarda femur ve tibianın eş zamanlı uzatılmasının toplam tedavi ve eksternal tespit süresini azalttığı görülmüştür.

Çıkar örtüşmesi: Çıkar örtüşmesi bulunmadığı belirtilmiştir.

Kaynaklar

1. Aldegheri R, Trivella G, Renzi-Brivio L, Tessari G, Agostini S, Lavini F. Lengthening of the lower limbs in achondroplastic patients. A comparative study of four techniques. *J Bone Joint Surg Br* 1988;70:69-73.
2. Aldegheri R. Distraction osteogenesis for lengthening of the tibia in patients who have limb-length discrepancy or short stature. *J Bone Joint Surg Am* 1999;81:624-34.
3. Aldegheri R, Dall'Oca C. Limb lengthening in short stature patients. *J Pediatr Orthop B* 2001;10:238-47.
4. Ganel A, Horosowski H. Limb lengthening in children with achondroplasia. Differences based on gender. *Clin Orthop Relat Res* 1996;332:179-83.
5. Paley D. Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop Relat Res* 1990;250:81-104.
6. Yasui N, Kawabata H, Kojimoto H, Ohno H, Matsuda S, Araki N, et al. Lengthening of the lower limbs in patients with achondroplasia and hypochondroplasia. *Clin Orthop Relat Res* 1997;344:298-306.

7. Vaidya SV, Song HR, Lee SH, Suh SW, Keny SM, Telang SS. Bifocal tibial corrective osteotomy with lengthening in achondroplasia: an analysis of results and complications. *J Pediatr Orthop* 2006;26:788-93.
8. Venkatesh KP, Modi HN, Devmurari K, Yoon JY, Anupama BR, Song HR. Femoral lengthening in achondroplasia: magnitude of lengthening in relation to patterns of callus, stiffness of adjacent joints and fracture. *J Bone Joint Surg Br* 2009;91:1612-7.
9. Sabharwal S, Paley D, Bhave A, Herzenberg JE. Growth patterns after lengthening of congenitally short lower limbs in young children. *J Pediatr Orthop* 2000;20:137-45.
10. Lee DY, Chung CY, Choi IH. Longitudinal growth of the rabbit tibia after callotasis. *J Bone Joint Surg Br* 1993;75:898-903.
11. Sabharwal S, Harten RD, Sabatino C, Yun JS, Munjal K. Selective soft tissue release preserves growth plate architecture during limb lengthening. *J Pediatr Orthop* 2005;25:617-22.
12. Noonan KJ, Leyes M, Forriol F, Cañadell J. Distraction osteogenesis of the lower extremity with use of monolateral external fixation. A study of two hundred and sixty-one femora and tibiae. *J Bone Joint Surg Am* 1998;80:793-806.
13. Song SH, Agashe MV, Huh YJ, Hwang SY, Song HR. Physeal growth arrest after tibial lengthening in achondroplasia: 23 children followed to skeletal maturity. *Acta Orthop* 2012;83:282-7.
14. De Deyne PG1, Meyer R, Paley D, Herzenberg JE. The adaptation of perimuscular connective tissue during distraction osteogenesis. *Clin Orthop Relat Res* 2000;379:259-69.
15. Belthur MV, Paley D, Jindal G, Burghardt RD, Specht SC, Herzenberg JE. Tibial lengthening: extraarticular calcaneotibial screw to prevent ankle equinus. *Clin Orthop Relat Res* 2008;466:3003-10.