



Aşıl tendon kopmalarında hiperbarik oksijen tedavisinin tendon iyileşmesine etkileri: Sıçanlarda deneysel çalışma

Fehmi Doruk KURAN¹, Mahmut PEKEDİS², Hasan YILDIZ², Figen AYDIN³, Nüket ELİYATKIN⁴

¹İzmir Bozyaka Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İzmir;

²Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir;

³Neoks Hiperbarik Oksijen Tedavi Merkezi, İzmir;

⁴İzmir Bozyaka Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Patoloji Kliniği, İzmir

Amaç: Bu çalışmanın amacı Aşıl tendon kopmalarının tedavisinde hiperbarik oksijen tedavisinin erken dönemde tendon iyileşmesi üzerindeki etkilerini araştırmaktır.

Çalışma planı: Elli altı adet Wistar albino cinsi erkek sıçan randomize edilerek iki gruba ayrıldı. Yirmi sekiz tanesine ameliyat öncesi, dejenerasyon amaçlı tendon içi betametazon, yirmi sekiz tanesine de serum fizyolojik enjeksiyonu yapıldı. Tüm sıçanların Aşıl tendonları tenotomi sonrası dikildi. Her iki gruptan 14 sıçan seçildi ve bu yeni gruba hiperbarik oksijen tedavisi uygulandı. Aşıl tendonları ameliyat sonrası 11. günde çıkarılarak biyomekanik ve histopatolojik olarak incelendi. Hiperbarik oksijen tedavisi uygulanan ve uygulanmayan grupların biyomekanik özellikleri ve fibrozis, yangı ve damarlanma miktarları karşılaştırıldı.

Bulgular: Histopatolojik incelemede hiperbarik oksijen tedavisi verilen gruptaki fibrozis miktarının hiperbarik oksijen verilmeyen gruba göre anlamlı olarak yüksek olduğu saptandı. Steroid uygulanan grupta ise yangı ve damarlanma miktarı steroid uygulanmayan gruba göre anlamlı olarak fazla çıktı. Biyomekanik değerlendirmede gruplar arasında maksimum kuvvet, katılık, elastisite modülü ve maksimum gerilme değerleri arasında anlamlı bir fark saptanmadı.

Sonuç: Hiperbarik oksijen tedavisi Aşıl tendon onarımı sonrası erken dönemde iyileşmeye histolojik ve biyomekanik yönden olumlu etki etmektedir.

Anahtar sözcükler: Aşıl tendonu; biyomekanik; hiperbarik oksijen.

Aşıl tendonu insan vücudundaki en güçlü ve en kalın, bununla birlikte, diğerlerine göre daha yüksek streslere maruz kaldığından en sık travmaya uğrayan ve kopan tendondur.^[1,2] Yaralanmaların çoğunluğu sportif aktiviteler sırasında meydana gelir ve erkeklerde diğer cin-

se oranla daha sık görülür.^[3,4] Tedavisi konservatif ve cerrahi olmak üzere iki çeşittir. Tedavide amaç hastanın günlük yaşama çabuk dönebilmesini sağlamaktır. Hedeflenen bir diğer amaç ise, hastaların yaralanma öncesi sahip oldukları sportif düzeylerine geri dönebilmesi-

Yazışma adresi: Yük. Müh. Mahmut Pekedis, M.Sc. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, İzmir.

Tel: 0232 - 343 40 00 e-posta: mahmut.pekedis@ege.edu.tr

Başvuru tarihi: 14.03.2011 **Kabul tarihi:** 02.01.2012

©2012 Türk Ortopedi ve Travmatoloji Derneği

Bu yazının çevrimiçi İngilizce versiyonu
www.aott.org.tr adresinde
doi:10.3944/AOTT.2012.2653
Karekod (Quick Response Code):



dir. Bu nedenle birçok yeni tedavi yöntemi ve tedaviye yardımcı uygulamalar geliştirilmiştir. Hiperbarik oksijen (HBO) tedavisi bu yardımcı tedavi yöntemlerinden biridir. HBO tedavisi 1 atmosferden daha yüksek basınç altında maskeden, başlıktan, ortamdan ya da endotrakeal tüpten oksijen solutulması şeklinde uygulanan medikal bir tedavi yöntemidir.^[5]

Bu çalışmada HBO tedavisinin kopmuş Aşil tendon yırtıklarının iyileşmesinin erken dönemindeki etkileri sıçanlar üzerinde biyomekanik ve histolojik olarak araştırılmıştır.

Gereç ve yöntem

Bu çalışma için Ege Üniversitesi Hastanesi Hayvan Etik Kurulu'na başvurulmuş ve 2009-142 sayı numarası ile onay alınmıştır.

Çalışma, ağırlıkları 200-260 gram arasında olan ve yaşları 5-7 ay arasında değişen toplam 56 adet Wistar albino cinsi erkek sıçanla yapıldı. Sıçanlar oda sıcaklığında, biyolojik ritmlerine uygun olarak 12 saat aydınlık ve 12 saat karanlık ortamda, standart laboratuvar yemi ve çeşme suyu verilerek beslendi.

Sıçanlar çalışmanın başında randomize edilerek her biri 28 adet olan iki gruba ayrıldı. Yirmi sekiz sıçanın sağ Aşil tendonuna, üçer gün aralıklarla toplam 9 kez olmak üzere, 22G'lik enjektör iğnesi ile tendon-kas bileşkesinden başlayıp kalkaneusta sonlanacak şekilde 0.1 cc beta-metazon verilerek tendonda dejenerasyon oluşturulması amaçlandı.^[6] Kalan 28 sıçana ise 0.1 cc serum fizyolojik enjeksiyonu yapıldı.

Beş günlük bekleme süresinden sonra tüm sıçanlara profilaktik 30 mg/kg sefazolin sodyum (Iespor®; İ.E. Ulagay, İstanbul) periton içine uygulandı. Periton içine verilen 35 mg/kg ketamin HCl (Alfamine®; Ege Vet, İzmir) ve 5 mg/kg ksilazin HCl (Alfazyn®; Ege Vet, İzmir) ile anestezi yapıldıktan sonra sağ Aşil tendonunun posterio ru traşlanıp, temizlendi ve polividon iyot (Batticon®; Adeka, İstanbul) sürülerek cerrahi alan hazırlığı yapıldı. Aşil tendonunun ekspozisyonu için tendonun üzerinden 2.5 cm'lik uzunlamasına orta hat kesisiyle girildi. Sonrasında Aşil tendonu kalkaneusa yapışma yerinin 0.5 cm proksimalinden 22 no. bistüri ile yatay olarak kesildi. Tendon, 5-0 poliglaktin 910 (Vicryl™; Ethicon Inc, Somerville, NJ, ABD) dikiş materyaliyle modifiye Kessler yöntemi kullanılarak onarıldı ve cilt emilmeyen dikiş malzemesi ile kapatıldı. Sıçanlara herhangi bir dış tespit uygulanmadı ve ameliyat sonrası kafes içinde serbest hareketlerine izin verildi. Analjezi için su ve yemlerine eritilmiş parasetamol tablet ilave edildi.

Bu aşamada tendon içi kortikosteroid enjeksiyonu yapılan ve yapılmayan iki gruptaki sıçanlardan 14'er tane ayrıldı. Herhangi bir tedavi uygulanmayan sıçanlar Grup 1'de, HBO tedavisi uygulanan sıçanlar Grup 2'de, steroid enjeksiyon yapılan sıçanlar Grup 3'te ve steroid enjeksiyon ile birlikte HBO tedavisi yapılan sıçanlar Grup 4'te yer aldı. Grup 2 ve 4'teki sıçanlara ameliyattan sonra 1. günden itibaren 2.4 ATA basınç altında, günde 70 dakika süre ile 7 gün boyunca toplam 14 seans HBO tedavisi uygulandı.

Bu çalışmanın HBO uygulaması Neoks Hiperbarik Oksijen Tedavi Merkezi'nde deney hayvanları için özel olarak üretilmiş olan silindirik basınç odasında yapılmıştır. Barotech Ltd. BD1 modeli basınç odasına ilişkin teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tedavi 2.4 ATA'da toplam 70 dakika süre ile uygulandı. Tedavi öncesi kabin 5 dakika süre ile %100 oksijen ile ventile edildi. Her bir tedavi seansı 5 dakika 50 feet'e (2.4 ATA basınçta) dalış, 60 dakika 2.4 ATA basınçta %100 oksijen soluma ve 5 dakika çıkış olmak üzere toplam 70 dakika süre ile uygulandı.

On birinci günde tüm sıçanlar yüksek doz anestezi ajan (100 mg/kg sodyum tiyopental) verilerek sakrifiye edildi. Sıçanların sağ alt ekstremiteleri kalça ekleminde dezartiküle edilerek Aşil tendonlarına ulaşıldı. Tüm sıçanların Aşil tendonlarının iyileştiği görüldü. Hiçbir sıçanda enfeksiyon bulgusuna rastlanmadı.

Çıkarılan dokular ışık mikroskopunda değerlendirilmek amacıyla %10'luk formaldehitte tespit edildi. Parafin bloklara bölünen örnekler 4-5 mm'lik kesitler haline getirilerek hematoksilin-eozinle boyandı ve aynı patolog tarafından değerlendirildi.

Belli bir bölgedeki hücre sayısını belirlemek amacıyla kullandıkları histopatolojik değerlendirmede Curtis ve ark.^[7] aşağıdaki oluşumları incelemişlerdir:

- Yangısal hücrelerin dağılımı ve yoğunluğu
- Tendon dokusunda kılcal damarların yoğunluğu (neovaskülarizasyon)

Tablo 1. Barotech Ltd. BD1 modeli basınç odasının teknik özellikleri.

Çalışma basıncı	3.6 ATA
Test basıncı	4 ATA
İç çap	40 cm
Toplam uzunluk	55 cm
Kapı çapı	46 cm
Malzeme	Akrilik

Tablo 2. Study groups and assessment methods.

Gruplar	n	Biyomekanik test	Histopatolojik değerlendirme
1 (Tendon onarımı)	14	7	7
2 (Tendon onarımı sonrası HBO)	14	7	7
3 (Steroid enjeksiyonu sonrası tendon onarımı)	14	7	7
4 (Steroid enjeksiyonu sonrası tendon onarımı ve HBO tedavisi)	14	7	7

- İğsi fibroblastların varlığı ve yoğunluğu (fibroblastik proliferasyon)
- Düzleşmiş fibrositlerin varlığı ve yoğunluğu (fibrozis)

Bu çalışmada kullanılan histopatolojik değerlendirme yöntemi, Curtis ve ark.'nın^[7] kullandığı yöntemin modifiye edilmiş şeklidir. Çalışmamızda tek bir alandaki hücreleri saymak yerine daha fazla alanı değerlendirip ortalamasını aldık. Değerlendirme incelemeyi yapan kişiye göre değiştiği için bu şekilde subjektifliği azaltmaya çalıştık. Kesitlerden alınan örneklerden seçilen 4'lük büyütmadaki alan 6 mm çaplı daire şeklinde işaretlendi. Daha sonra bu alan 1.2 mm'lik aralıklarla enine ve boyuna 25 alana bölündü. Her bir preparattan seçilen on beş alandaki yangısal hücreler, damar sayısı ve iğsi fibroblastik hücreler sayılarak ortalamaları alındı. Bu hücrelerde yangısal hücreler, (0) fibroblastik proliferasyon ve fibrozis yok, (1) hafif, (2) orta, (3) belirgin şekilde derecelendirildi. Neovaskülarizasyon ise 0.45 mikron çaplı bir büyüme alanındaki kılcal damarların sayısı 0-5 arası az ise hafif (1), 5-10 arası ise orta (2), 10'un üzerinde ise belirgin (3) olarak derecelendirildi.

Biyomekanik değerlendirme her gruptan seçilen yedi adet sıçanla gerçekleştirildi. Daha sonra testler çekme cihazı (Autograph AG-IS 100kN; Shimadzu Co., Kyoto, Japonya) ile 1 mm/dk'lık hız ile çekme yükü uygulanarak gerçekleştirildi.^[8] Tendonların çekme davranışları (katılık, elastisite modülü ve enerji emilim yoğunluğu, kopma yükleri, maksimum yük miktarları) incelendi.

Verilerin istatistiksel olarak değerlendirmesi yapılrken ki-kare ve bağımsız örneklem t-testi analizleri kullanıldı. Tüm analizler SPSS 15.0. Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD) istatistik paket programında %95 güven aralığında yapıldı. 0.05'ten düşük p değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

Bulgular

Gruplar ve değerlendirme yöntemleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Grup 1 ve 2 arasında yangı ve fibroblastik proliferasyon bakımından istatistiksel bir fark saptanmadı ($p>0.05$).

Grup 2'deki neovaskülarizasyon ve fibrozis miktarı anlamlı olarak yüksek bulundu ($p<0.05$) (Tablo 3).

Grup 3 ile 4 arasında yangı, damarlanma ve fibroblastik proliferasyon bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmadı ($p>0.05$). Fibrozis miktarı Grup 4'te anlamlı olarak yüksek bulundu ($p=0.016$) (Tablo 4). Tendon iyileşmesinin son aşaması olan fibrozis miktarının fazla çıkması HBO'nun iyileşmeye olumlu etkisi olduğunu göstermiştir. Kortikosteroidin etkisinin gruplar arası değerlendirilmesinde steroid uygulanan grupta yangı anlamlı fark göstermekteydi (Tablo 5). Ameliyat sonrası HBO tedavisi alan ve almayan sıçanların değerlendirilmesinde yangı ile fibroblastik proliferasyon bakımından gruplar arasında anlamlı fark görülmezken, neovaskülarizasyonda anlamlı fark saptandı (Tablo 6).

Gruplar arası biyomekanik karşılaştırma sonuçları tek yönlü varyans analizi (one-way ANOVA) testi ile yapıldı. Gruplar arasında birim şekil değiştirme enerjisi hariç biyomekanik parametreler arasında anlamlı fark saptandı ($p<0.05$) (Tablo 7).

Tartışma

Aşıl tendon yaralanmalarının etiolojisi için öne sürülen çeşitli kuramlar vardır.^[9-11] Bunlardan kronik dejenerasyon kuramına göre; tendonda meydana gelen dejenerasyon aşırı yüklenme olmaksızın tendonun yırtılmasına yol açabilir.^[12] Tekrarlayan mikrotravmalar, yaşlanma ve tendonun belli alanlarındaki hipovaskülaritesi şüphelenilen etkili faktörlerdir. Dejenerasyon kuramı anjiyografik ve histolojik bulgularla desteklenmiştir.^[10,11] Buna göre, tendondan alınan doku örneklerinde mukoid ve ödematöz değişikliklerin yanında dağınık olarak yer yer iyileşme alanları görülmüş ve bunların olayın kronik gidişatını desteklediği öne sürülmüştür.^[11]

Yara iyileşmesinde doku oksijenizasyonunun önemi bilinmektedir.^[13] HBO tedavisinin de kanda ve dokulardaki çözünmüş oksijen miktarını artırarak yara iyileşmesi üzerine olumlu etki sağladığı bilinmektedir. Ayrıca, HBO tedavisi damarlanması azalmış dokuda yeni kan damarlarının oluşumuna da katkı sağlamaktadır.^[14,15]

Tablo 3. Grup 1 ile Grup 2 arasında histopatolojik farklılıkların analizi.

			Hafif	Orta	Belirgin	Toplam	Ki-kare	p
Yangı	Grup 1	n	4	3	0	7	0.29	0.593
		%	57.1	42.9	0.0	100		
	Grup 2	n	3	4	0	7		
		%	42.9	57.1	0.0	100		
	Toplam	n	7	7	0	14		
		%	50.0	50.0	0.0	100		
Neovaskülarizasyon	Grup 1	n	4	3	0	7	5.60	0.018
		%	57.1	42.9	0.0	100		
	Grup 2	n	0	7	0	7		
		%	0.0	100.0	0.0	100		
	Toplam	n	4	10	0	14		
		%	28.6	71.4	0.0	100		
Fibroblastik proliferasyon	Grup 1	n	5	2	0	7	0.31	0.577
		%	71.4	28.6	0.0	100		
	Grup 2	n	4	3	0	7		
		%	57.1	42.9	0.0	100		
	Toplam	n	9	5	0	14		
		%	64.3	35.7	0.0	100		
Fibrozis	Grup 1	n	7	0	0	7	10.50	0.001
		%	100.0	0.0	0.0	100		
	Grup 2	n	1	6	0	7		
		%	14.3	85.7	0.0	100		
	Toplam	n	8	6	0	14		
		%	57.1	42.9	0.0	100		

Tablo 4. Grup 3 ile Grup 4 arasında histopatolojik farklılıkların analizi.

			Hafif	Orta	Belirgin	Toplam	Ki-kare	p
Yangı	Grup 3	n	0	5	2	7	1.33	0.513
		%	0.0	71.4	28.6	100		
	Grup 4	n	1	5	1	7		
		%	14.3	71.4	14.3	100		
	Toplam	n	1	10	3	14		
		%	7.1	71.4	21.4	100		
Neovaskülarizasyon	Grup 3	n	1	4	2	7	1.20	0.549
		%	14.3	57.1	28.6	100		
	Grup 4	n	0	4	3	7		
		%	0.0	57.1	42.9	100		
	Toplam	n	1	8	5	14		
		%	7.1	57.1	35.7	100		
Fibroblastik Proliferasyon	Grup 3	n	0	4	3	7	4.4	0.111
		%	0.0	57.1	42.9	100		
	Grup 4	n	1	6	0	7		
		%	14.3	85.7	0.0	100		
	Toplam	n	1	10	3	14		
		%	7.1	71.4	21.4	100		
Fibrozis	Grup 3	n	2	5	0	7	8.286	0.016
		%	28.6	71.4	0.0	100		
	Grup 4	n	0	2	5	7		
		%	0.0	28.6	71.4	100		
	Toplam	n	2	7	5	14		
		%	14.3	50	35.7	100		

Tablo 5. Yangı ve neovaskülarizasyon derecesinin kortikosteroid uygulanma durumuna göre değerlendirmesi.

Kortikosteroid uygulanma durumu		Hafif	Orta	Yangı derecesi		Toplam	Ki-kare	p
				Belirgin				
Kortikosteroid uygulanmayan (Grup 1-2)	n	7	7	0	14			
	%	50	50	0	100			
Kortikosteroid uygulanan (Grup 3-4)	n	1	10	3	14	8.029	0.018	
	%	7.1	71.4	21.4	100			
Toplam	n	8	17	3	28			
	%	28.6	60.7	10.7	100			
Neovaskülarizasyon derecesi								
Kortikosteroid uygulanmayan (Grup 1-2)	n	4	10	0	14			
	%	28.6	71.4	0	100			
Kortikosteroid uygulanan (Grup 3-4)	n	1	8	5	14	7.022	0.030	
	%	7.1	57.1	35.7	100			
Toplam	n	5	18	5	28			
	%	17.9	64.3	17.9	100			

Zhao ve ark. oksijen ve büyüme faktörü arasında direkt bir ilişki saptamışlardır.^[16]

Literatürde HBO tedavisi için çeşitli modeller kullanılmıştır. Ishii ve ark. çalışmalarında en yüksek 2 ATA basınçta 60 dakika süre ile uygulanan modelin fiber ve ligamanların oluşumu açısından diğer modellerden daha etkili olduğunu göstermişlerdir.^[17] Aydın ve ark.'nın sıçanlarda yaptığı çalışmada ise deney 2.4 ATA'da 70 dakika olarak uygulanmıştır.^[18] Mashitori ve ark. ise ligaman iyileşmesini araştırdıkları çalışmalarında HBO tedavisini 2.5 ATA'da 2 saat süre ile uygulamışlardır.^[19] Yi-

ne Yeh ve ark., tavşanlarda yaptıkları deneysel çalışmada yine 2.5 ATA'da günlük 2 saat süre ile HBO tedavisi uygulamışlardır.^[20] Bilindiği gibi oksijen plazmada ancak hiperbarik koşullarda çözünür ve çözünen bu miktar basınç ile doğru orantılı olarak artar (Tablo 8).^[21] Bu çalışmada oksijenin yara iyileşmesi üzerine olan etkisinden optimum düzeyde yararlanabilmek için hiperbarik oksijen tedavisi 2.4 ATA'da 70 dakika süre ile uygulanmıştır.

Histopatolojik değerlendirmede tendon içi kortikosteroid enjeksiyonu yapılan grup (3 ve 4) ve yapılmayan grup (1 ve 2) karşılaştırıldığında, her iki grup arasında

Tablo 6. Ameliyat sonrası HBO tedavisi alan ve almayan sıçanların histopatolojik parametreleri.

		Hafif	Orta	Belirgin	Toplam	Ki-kare	p	
Yangı	HBO tedavisi almayan	n	4	8	2	14	0.932	0.822
		%	28.6	57.1	14.30	100		
	HBO tedavisi alan	n	4	9	1	14		
		%	28.6	64.3	7.1	100		
	Toplam	n	8	17	3	28		
		%	28.6	60.70	10.7	100		
Neovaskülarizasyon	HBO tedavisi almayan	n	5	7	2	14	6.089	0.048
		%	35.7	50.0	14.3	100		
	HBO tedavisi alan	n	0	11	3	14		
		%	0.0	78.6	21.4	100		
	Toplam	n	5	18	5	28		
		%	17.9	64.3	17.9	100		
Fibroblastik proliferasyon	HBO tedavisi almayan	n	5	6	3	14	3.600	0.165
		%	35.7	42.9	21.4	100		
	HBO tedavisi alan	n	5	9	0	14		
		%	35.7	64.3	0	100		
	Toplam	n	10	15	3	28		
		%	35.7	53.6	10.7	100		

Tablo 7. Tüm gruplar için biyomekanik sonuçların özeti.

	Grup 1 (n=7)	Grup 2 (n=7)	Grup 3 (n=7)	Grup 4 (n=7)	p
Yapı özellikleri					
Maksimum kuvvet (N)	10.62±0.83	18.50±2.66	10.08±1.32	12.06±1.58	0.00
Katılık (N/mm)	2.55±0.80	4.05±0.96	1.35±0.63	2.73±0.77	0.0002
Birim şekil değiştirme enerjisi (J)	0.14±0.12	0.18±0.05	0.09±0.06	0.13±0.06	0.241
Malzeme özellikleri					
Maksimum gerilme (MPa)	4.57±0.36	7.95±1.14	4.33±0.56	5.18±0.68	0.00
Elastisite modülü (MPa)	12.69±1.41	16.87±3.77	11.83±1.01	15.34±1.39	0.001

Tablo 8. Farklı hiperbarik koşullarda çözünen oksijen miktarları.

Toplam basınç	mmHg	% 100 hava solunumu	% 100 O ₂ solunumu
1	760	0.32	2.09
2	1,520	0.81	4.44
2.5	1,900	1.06	5.62
3	2,280	1.31	6.80

yangı ve neovaskülarizasyon bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ortaya çıkmıştır ($p=0.018$ ve $p=0.030$) (Tablo 5). Tendon içi kortikosteroid verilen grupta dejenerasyon bulguları vardı. Bu bulgular, literatürde Tatari ve ark.'nın sonuçlarıyla uyumludur.^[6] Çalışmada tüm gruplara enjeksiyon yapılması, yangının tendon tahrişinden değil kortikosteroidden kaynaklandığını göstermektedir. Bu da literatürde bildirilen kortikosteroid enjeksiyonunu takiben ortaya çıkan Aşil tendon yırtıklarının dejenerasyona ikincil meydana geldiğine kanıt olabilir.

Hiperbarik oksijen tedavisinin etkinliğini belirlemek için HBO uygulanan 2. ve 4. gruplar ile uygulanmayan 1. ve 3. gruplar ile karşılaştırılmış ve gruplar arası neovaskülarizasyon bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar çıkmıştır ($p<0.05$) (Tablo 6). HBO uygulamasının neovaskülarizasyona olan olumlu katkısı ve iyileşmenin son aşaması olan fibrozisi artırması, genel anlamda, HBO'nun histolojik iyileşmeyi hızlandırdığını gösteren bulgulardır. Literatürde HBO'nun fibroblast proliferasyonunu artırdığı belirtilmiş fakat bizim çalışmamızda fibroblast proliferasyonu artışı istatistiksel olarak anlamlı saptanmamıştır ($p>0.05$).^[13] Sadece tenotomi uygula-

Tablo 9. Elastisite modülü değişkeni için test sonuçlarının Tukey testi ile çoklu karşılaştırması.

Grup (i)	Grup (j)	Ortalama fark (i-j)	Standart sapma	p	%95 güven aralığı	
					Üst sınır	Alt sınır
1	2	-4.17993	1.173	0.008	-7.4161	-0.9438
	3	0.86000	1.173	0.883	-2.3761	4.0961
	4	-2.64912	1.173	0.136	-5.8853	0.5870
2	1	4.17993	1.173	0.008	0.9438	7.4161
	3	5.03993	1.173	0.001	1.8038	8.2761
	4	1.53081	1.173	0.569	-1.7053	4.7669
3	1	-0.86000	1.173	0.883	-4.0961	2.3761
	2	-5.03993	1.173	0.001	-8.2761	-1.8038
	4	-3.50912	1.173	0.030	-6.7453	-0.2730
4	1	2.64912	1.173	0.136	-0.5870	5.8853
	2	-1.53081	1.173	0.569	-4.7669	1.7053
	3	3.50912	1.173	0.030	0.2730	6.7453

nan 1. grup ile tenotomi sonrası HBO uygulanan 2. grup arasında neovaskülarizasyon ve fibrozis açısından istatistiksel olarak anlamlı fark elde edilirken ($p<0.05$) (Tablo 3), diğer histopatolojik parametreler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark görülmemiştir ($p>0.05$) (Tablo 3).

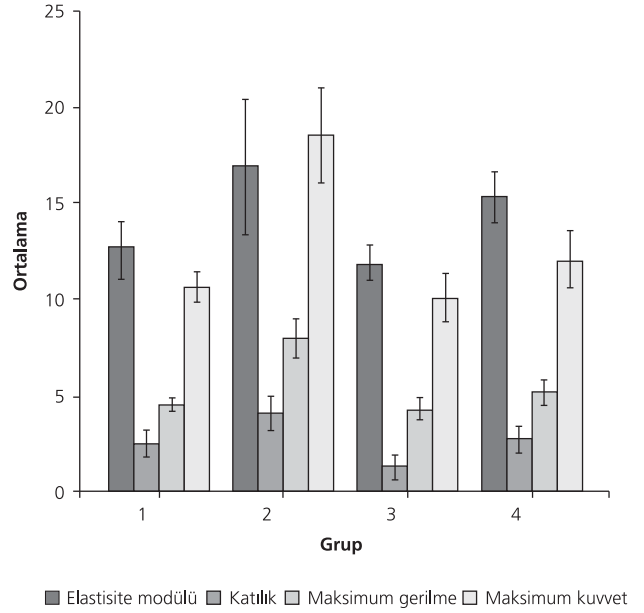
Tendon içi kortikosteroid enjeksiyonu yapılan 3. grup ile enjeksiyondan sonra HBO uygulanan 4. grup, HBO etkinliğini belirlemek için karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak HBO uygulanan grupta fibrozis artışı istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu da HBO tedavisinin histolojik iyileşmeye olumlu katkısını göstermektedir.

Ameliyat sonrası 11. günde biyomekanik parametreler açısından dört grup arasında anlamlı farklar tespit edilmiştir. Grup 1, 2, 3 ve 4'ün dayanabilecekleri maksimum kuvvetler, sırasıyla, 10.62 ± 0.83 N, 18.5 ± 2.66 N, 10.08 ± 1.32 N ve 12.06 ± 1.58 N ($p<0.05$) şeklinde kaydedilmiştir. Grup 2'de oluşan ortalama maksimum kuvvet değerleri diğer gruplardan anlamlı olarak daha yüksek değerlere sahipti. Aynı şekilde Grup 2, katılık bakımından, diğer gruplardan anlamlı şekilde daha yüksek değerlere sahipti. Katılık parametresi bakımından karşılaştırıldığında, sırasıyla Grup 1, 2, 3 ve 4 için kaydedilen 2.55 ± 0.80 N/mm, 4.05 ± 0.96 N/mm, 1.35 ± 0.63 N/mm ve 2.73 ± 0.77 N/mm ortalama değerleriyle gruplar arasında anlamlı şekilde fark olduğu görüldü ($p<0.05$) (Tablo 7).

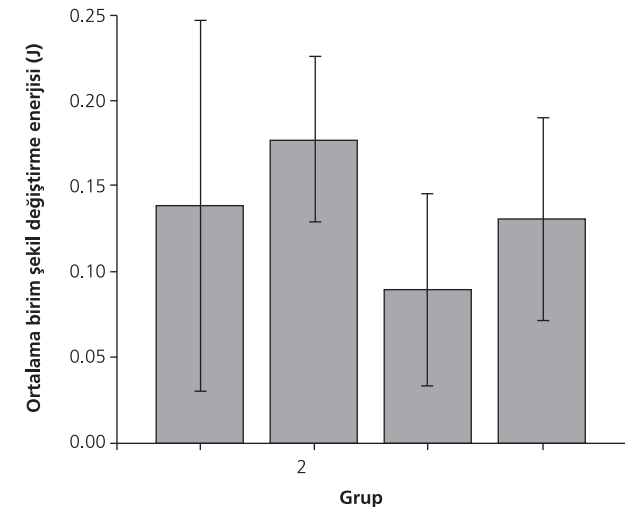
Ameliyat sonrası 11. günde, HBO tedavisi Aşil tendon üzerinde oluşacak maksimum gerilmeyi ve elastisite modülünü kayda değer bir şekilde arttırmıştı. Maksimum gerilme de dahil tüm parametreler karşılaştırıldığında, gruplar için sırasıyla 4.57 ± 0.36 MPa, 7.95 ± 1.14 MPa, 4.33 ± 0.56 MPa ve 5.18 ± 0.68 MPa değerleri kaydedilmiş ve gruplar arasında anlamlı farklar olduğu saptanmıştır ($p<0.05$) (Tablo 7).

Hiperbarik oksijen tedavisinin elastisite modülü üzerindeki etkisini değerlendirmek için Tukey testi uygulanmıştır. Elastisite modülü değerleri Grup 1, 2, 3 ve 4 için, sırasıyla, 12.69 ± 1.41 , 16.87 ± 3.77 , 11.83 ± 1.01 ve 15.34 ± 1.39 bulunmuş (Şekil 1) ve biyomekanik değerlendirmede gruplar arası anlamlı fark olduğu görülmüştür (Tablo 9). Grup 2'nin anlamlı bir farkla Grup 1 ve Grup 3'e göre daha yüksek bir elastisite modülüne sahip olduğu ($p<0.05$) ve Grup 4'ün de Grup 3'e göre daha yüksek ve anlamlı değerler aldığı görülmüştür ($p<0.05$). Tüm gruplar için ortalama birim şekil değiştirme enerjisi değerleri Şekil 2'de verilmektedir. Gruplar arasında Birim şekil değiştirme enerjisi bakımından gruplar arasında anlamlı bir farka rastlanmamıştır ($p>0.05$) (Tablo 7).

Biyomekanik olarak değerlendirilen parametrelerde gruplar arasında bulunan istatistiksel olarak anlamlı farklar ($p<0.05$) Mashitori ve ark.'nın elde ettiği bulgularla



Şekil 1. Tüm gruplar için biyomekanik test sonuçları.



Şekil 2. Tüm gruplar için ortalama birim şekil değiştirme enerjisi sonuçları.

uyumludur.^[19] Horn ve ark., çalışmalarında, HBO uygulamasının medial kollateral bağın biyomekanik açıdan iyileşmesi için 4. haftada anlamlı bir fark oluşturduğunu bildirmişlerdir.^[22] Çalışmamızda ameliyat sonrası 11. gün, sıçan modelinde Aşil tendonlarının biyomekanik yeterliliğe ulaşması açısından yeterli bir zamandır.

Sonuç olarak, HBO uygulamasının Aşil tendon yırtmalarının tedavisinde histolojik ve biyomekanik açıdan iyileşmeyi olumlu etkilediği ve iyileşme sürecini hızlandırdığı söylenebilir.

Çıkar Örtüşmesi: Çıkar örtüşmesi bulunmadığı belirtilmiştir.

Kaynaklar

1. Möller A, Astron M, Westlin N. Increasing incidence of Achilles tendon rupture. *Acta Orthop Scand* 1996;67:479-81.
2. Lee, DK. A preliminary study on the effects of acellular tissue graft augmentation in acute Achilles tendon ruptures. *J Foot Ankle Surg* 2008;47:8-12.
3. Carden DG, Noble J, Chalmers J, Lunn P, Ellis J. Rupture of the calcaneal tendon. The early and late management. *J Bone Joint Surg Br* 1987;69:416-20.
4. Cetti R, Christensen SE, Ejsted R, Jensen NM, Jorgensen U. Operative versus nonoperative treatment of Achilles tendon rupture. A prospective randomized study and review of the literature. *Am J Sports Med* 1993;21:791-9.
5. Baykal B, Kirdemir V. Hyperbaric oxygen therapy and its orthopaedic applications. [Article in Turkish] *TOTBID Journal* 2002;1:114-8.
6. Tatari H, Kosay C, Baran O, Ozcan O, Ozer E. Deleterious effects of local corticosteroid injections on the Achilles tendon of rats. *Arch Orthop Trauma Surg* 2001;121:333-7.
7. Curtis RJ, Delee JC, Drez DJ Jr. Reconstruction of the anterior cruciate ligament with freeze dried fascia lata allografts in dogs. A preliminary report. *Am J Sports Med* 1985;13:408-14.
8. Hugate R, Pennypacker J, Saunders M, Juliano P. The effects of intratendinous and retrocalcaneal intrabursal injections of corticosteroid on the biomechanical properties of rabbit Achilles tendons. *J Bone Joint Surg Am* 2004;86-A:794-801.
9. Khan RJ, Fick D, Keogh A, Crawford J, Brammar T, Parker M. Treatment of acute Achilles tendon ruptures. A meta-analysis of randomized, controlled trials. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:2202-10.
10. Carr AJ, Norris SH. The blood supply of the calcaneal tendon. *J Bone Joint Surg Br* 1989;71:100-1.
11. Kannus P, Józsa L. Histopathological changes preceding spontaneous rupture of a tendon. A controlled study of 891 patients. *J Bone Joint Surg Am* 1991;73:1507-25.
12. Jackson BA, Schwane JA, Starcher BC. Effects of ultrasound therapy on the repair of Achilles tendon injuries in rats. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:171-6.
13. Niinikoski JH. Clinical hyperbaric oxygen therapy, wound perfusion, and transcutaneous oximetry. *World J Surg* 2004;28:307-11.
14. Gill AL, Bell CN. Hyperbaric oxygen: its uses, mechanisms of action and outcomes. *QJM* 2004;97:385-95.
15. Herman DS. Hyperbaric oxygen therapy and its role in the treatment of chronic osteomyelitis: a preliminary report involving refractory osteomyelitis in the foot. *J Foot Surg* 1985;24:293-300.
16. Zhao LL, Davidson JD, Wee SC, Roth SI, Mustoe TA. Effect of hyperbaric oxygen and growth factors on rabbit ear ischemic ulcers. *Arch Surg* 1994;129:1043-9.
17. Ishii Y, Ushida T, Tateishi T, Shimojo H, Miyanaga Y. Effects of different exposures of hyperbaric oxygen on ligament healing in rats. *J Orthop Res* 2002;20:353-6.
18. Aydin F, Aktaş S, Olgaç V, Mezdeği A, Karamülser S. The effects of hyperbaric oxygen and surgical decompression in experimental compartment syndrome. [Article in Turkish] *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg* 2003;9:176-82.
19. Mashitori H, Sakai H, Koibuchi N, Ohtake H, Tashiro T, Tamai K, et al. Effect of hyperbaric oxygen on the ligament healing process in rats. *Clin Orthop Relat Res* 2004;(423):268-74.
20. Yeh WL, Lin SS, Yuan LJ, Lee KF, Lee MY, Ueng SW. Effects of hyperbaric oxygen treatment on tendon graft and tendon-bone integration in bone tunnel: biochemical and histological analysis in rabbits. *J Orthop Res* 2007;25:636-45.
21. Jain KK. Physical, physiological, and biochemical aspects of hyperbaric oxygenation. In: *Textbook of hyperbaric medicine*. 2nd ed. Toronto: Hogrefe and Huber Publishers; 1996.
22. Horn PC, Webster DA, Amin HM, Mascia MF, Werner FW, Fortino MD. The effect of hyperbaric oxygen on medial collateral ligament healing in a rat model. *Clin Orthop Relat Res* 1999;(360):238-42.