

**T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ
RADYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**AŞİL TENDİNOPATİLERİNİN GERÇEK ZAMANLI
SONOELASTOGRAFİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ:
KARŞILAŞTIRMALI ÇALIŞMA**

**UZMANLIK TEZİ
Dr. FERDA AĞIRGÜN**

**TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. SUNA ÖZHAN OKTAR**

**ANKARA
EKİM 2010**

TEŞEKKÜRLER

Uzmanlık eğitimim boyunca bana her zaman destek olan ve yardımlarını esirgemeyen başta sayın hocam Prof. Dr. Sedat Işık, Prof. Dr. Erhan T. Ilgıt, Prof. Dr. Turgut Talı, Prof.Dr Hakan Özdemir, Prof. Dr. Mehmet Araç, Prof.Dr. Öznur L. Boyunağa, Prof. Dr. Cem Yücel, Prof. Dr. Ayşegül Özdemir, Doç. Dr. Nil Tokgöz, Doç. Dr. Baran Önal, Doç. Dr. Yusuf Öner, Doç. Dr. Serap Gültekin, Yrd. Doç. Dr. Gonca Erbaş, Uzm. Dr. Koray Kılıç, Uzm. Dr. Bilgen Coşkun'a ve bu dönem boyunca birlikte çalıştığım tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Gerek uzmanlık eğitimim boyunca gerekse tezimin hazırlanması aşamasında sağladığı sınırsız destek için tez danışmanım sayın Doç. Dr. Suna Özhan Oktar'a teşekkür ederim.

Eşim Dr. Çağrı Ağırgün'e tezimdeki görüntüleri hazırlamamda ve istatistiksel çalışmaların toparlanmasında yapmış olduğu bilimsel yardımlardan ve tezimin her aşamasında vermiş olduğu yoğun manevi destekten ötürü teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bugüne gelmemin baş mimarları olan anne ve babama tüm eğitim hayatım ve asistanlık sürecim boyunca verdikleri sevgiden, yaptıkları yardımlardan ve türlü kaprislerime göstermiş oldukları hoşgörölü tutumdan dolayı teşekkür ederim.

Son olarak hep yanımda olup gece gündüz zaman kaybettirici bir takım iş yüklerini üzerimden alarak daha hızlı yol almamı sağlayan canım kardeşime de teşekkürlerimi sunarım.

Dr. Ferda AĞIRGÜN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
KISALTMALAR DİZİNİ	IV
GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Ultrasonografi fiziği	4
2.1.1 Ultrasonografinin tanımı ve ultrasesin teknik özellikleri	4
2.1.2 Ses ve doku arasındaki etkileşimler.....	10
2.1.3 Ultrasonografi cihazlarının yapısı	11
2.1.4 Ultraonografik gösterim metodları (MOD)	14
2.1.5 Ultrases dalgalarının işlenmesi ve kontrol mekanizmaları... ..	15
2.1.6 Ultrasonografik artefaktlar.....	16
2.2 Doppler Ultrasonografi.....	21
2.2.1 Doppler Ultrasonografi nin uygulama yöntemleri	23
2.2.2 Renkli Doppler.....	25
2.2.3 Doppler US’de inceleme parametreleri	26
2.2.4 Power Doppler	28
2.2.5 Doppler US’nin Artefaktları	30
2.3 Harmonik Görüntüleme	34
2.4 Bileşik (Compound) Görüntüleme	35
2.5 Sonoelastografi fiziği	36
2.6 Aşil Tendon Anatomisi ve hastalıkları	49
2.6.1 Aşil’in Yunan Mitolojisi ve Tarihteki Yeri.....	49
2.6.2 Aşil Anatomisi.....	50
2.6.3 Aşil tendonunun sinirsel beslenmesi	52
2.6.4 Aşil tendonunun sinirsel beslenmesi	53
2.6.5 Aşil tendonunun Histolojik yapısı.....	53

2.6.6 Normal Aşıl Tendon US.....	56
2.7 Aşıl Tendon Patolojileri	59
2.7.1 Akut aşıl tendinopatisi	60
2.7.2 Hasarlı tendonlarda US	61
2.7.3 Hasarlı tendonlarda RDUS.....	64
2.7.4 Hasarlı tendonlarda GZS	65
2.7.5 Akut aşıl tendon rüptürü.....	67
2.7.6 Akut aşıl tendon rüptüründe US.....	67
2.7.7 Kronik aşıl tendinopatisi ve histopatolojik değişiklikler	69
2.7.8 Kronik aşıl tendinopatisinde US.....	72
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	73
3.1 Çalışma Kapsamı.....	73
3.2 Çalışma Metodu.....	73
3.3 İstatistiksel Analiz	76
4. BULGULAR	78
4.1 Olgulardan Örnekler	87
5. TARTIŞMA	92
6. SONUÇ	112
7. KAYNAKLAR.....	114
8. ÖZET	119
9. SUMMARY	122
10. EKLER	124

SİMGELER VE KISALTMALAR

US	: Ultrasonografi
Hz	: Hertz
dB	: Desibel
Z	: Akustik impedans
PZT	: Polycrystalized Tetragonal Zirconia
CW (Continious Wave)	: Sürekli dalga
PW (Pulsed Wave)	: Atımlı dalga
RDUS	: Renkli Doppler Ultrasonografi
GZS	: Gerçek Zamanlı Elastografi
PRF (Pulse repetiton Frequency)	:Atım yinelenme frekansı
BT	: Bilgisayarlı Tomografi
MRG	: Magnetik Rezonans Görüntüleme
B	: (Bulk Modulus): Sıkışma esnekliği modülü
Y (Young Modülü)	: Elastisite sabiti
σ	: Possion oranı
μ	: (shear modulus): Rijitlik katsayısı
ROI (Region of Interest)	: İlgi alanı
SI (Strain Index)	:Gerinim oranı
BMI (Body mass index)	: Vücut kitle indeksi

1. GİRİŞ

Tıpta görüntüleme yolu ile tanı koyulması ilk olarak 1895 yılında Alman Fizik Profesörü Wilhelm Conrad Roentgen tarafından bulunan X-ışını ile başlamıştır. Yıllar içinde hızla ilerleyen ve tıpta gerekli hale gelip yer edinen görüntüleme yöntemleri günümüzde ise çok çeşitli teknolojilerin kullanıldığı sistemler haline dönüştürülmüştür.

İyonizan olmayan bir enerji türü olan ultrases ile ilgili bilgiler 19. yüzyılın başlarından itibaren bilinmekte idi. Ondokuzuncu yüzyılın sonlarında İtalyan Spallanzini, yarasaların insan kulağının duyabileceğinden daha yüksek frekanslı ses dalgaları üreterek yönlerini bulabildiklerini ifade etmiştir. Yirminci yüzyılın başlarında ise yüksek frekanslı ses üretme üzerine başarılı sonuçlar alınmış ve 2. dünya savaşı sırasında Sonar cihazları ile yönlendirilen ses dalgalarının şiddeti ve yönü dinlenerek denizaltıların varlığı ve yeri saptanmaya başlanmıştır. Bu olay ses dalgalarının tıp dünyasına girmesine önderlik etmiştir. Önceleri görüntüden çok amplitüdlerin değerlendirildiği A-mod, zamanla yerini B-moda bırakmıştır. 1970'ten sonra gri skalanın geliştirilmesi ile ultrasonografinin (US) ilerlemesi büyük hız kazanmıştır.

Zamanla US kendi içindeki yeni teknolojilerin geliştirilmesi ile de tıpta daha yaygın kullanım alanı bulmuş ve çözünürlüğü daha yüksek olan bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans görüntülemeye (MRG) bazı alanlarda seçenek sunmaktadır. Özellikle kas ve tendon yapıları gibi cilt yüzeyine yakın olan dokularda noninvaziv olması, her yerde kolaylıkla ulaşılabilir, yinelenabilir, ekonomik, duyarlı ve özgül olması, dinamik incelemelere olanak vermesi nedeni

ile dünya çapında bu inceleme şekli tanı aşamasında öncelikli görüntüleme yöntemi haline getirmiştir. Ayrıca günümüzde US yalnızca tanıda değil cerrahi işlemlere seçenek olarak morbidite ve mortalitesinin daha düşük olması nedeni ile girişimsel tedaviler ve tedavi sonrası izlemlerde de başarı ile kullanılmaktadır.

Hızla gelişen bilgisayar sistemleri ve teknolojik yenilikler tıpta özellikle görüntüleme ile uğraşan biz radyologlara büyük olanaklar sunmakta, görüntüyü daha kısa sürede daha kaliteli ve gerçeğe daha yakın hale getirmektedir. Bu da hastalıkların ortaya çıkmasından itibaren çok erken aşamada tanı almasını, hatta belki de yakınmaların henüz ortaya çıkmadığı evrelerde olası patolojiyi öngörüp nlem alınmasını sağlayabilecektir.

US yöntemi bugün artık sadece gri skala yöntemi olarak yalnız başına değil başka US yöntemleri ile birliktelik halinde kullanılmakta ve bu durum gerçek tanı başarısını artırmaktadır. Bu yöntemlerden biri de henüz yeni olup tüm dünya çapında ilgi ve merak uyandıran ve üzerinde yapılan çalışmaların sürdürüldüğü “Gerçek Zamanlı Sonoelastografi” (GZS) yöntemidir. İlk ortaya çıkma prensibi meme, prostat, troid gibi palpasyon ile muayenenin çok önemli olduğu yüzeysel dokularda gri skalanın benzer ekojenite nedeni ile atladığı lezyonları saptamak olmuştur. Patolojinin normal dokuya göre daha sert olması ve dıştan uygulanan basına daha az esneme ve yer değiştirme ile cevap vermesi prensibine dayanılarak geliştirilen yönteme bu nedenle *dijital parmak* da denilmektedir. Zamanla tekniğinin geliştirilmesi ile birlikte tıpta kullanım alanı da iyi huylu-kötü huylu kitle ayırımından başka alanlara doğru genişleme göstermiş,

özellikle kas ve tendon yapıları gibi alanlardaki patolojilerin saptanması da inceleme alanlarına katılmıştır.

Bu çalışmada Aşil tendonunun normal ve hastalıklı durumlarında gri skala, Doppler US ve GZS görüntüleri, bunların klinik bulgularla olan birlikteliği değerlendirilmiş, GZS'nin erken dönemde tanıya olan katkısı araştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 ULTRASONOGRAFİ FİZİĞİ

2.1.1 ULTRASONOGRAFİNİN TANIMI VE ULTRASESİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

US, yumuşak doku ve parankimal organların değerlendirilmesini ses dalgalarını kullanarak sağlayan ve radyasyon riski taşımayan bir görüntüleme yöntemidir. Tanısal ultrasonografi uygulamalarının temelinde başka dokulardan yansıyan akustik enerjinin saptanması ve görüntüye çevrilmesi prensibi yatmaktadır. Dokulardan yansıyan akustik enerjinin amplitüdü genel ultrasonografik görüntülemelerde kullanılırken, frekans değişimleri ise kan gibi hareketli hedeflerle ilgili bilgi verir (19).

Ultrason Dalgalarının Temel Özellikleri

Dalgaboyu ve Frekans

Ses, maddenin içinden geçen mekanik enerjinin basıncındaki değişim sonucunda oluşan bir dalgadır. Zamana göre basınçtaki değişim sesin temel ölçüm birimi olarak kullanılır. Denge durumundaki bir ortam içindeki partiküllerin mekanik titreşimlerinin birim zaman (sn) içindeki yinelenme sayısı 16-20000 arasında olduğunda *duyulabilir* ses ortaya çıkar. Titreşimlerin yinelenme sayısı 20'den az ise *infrases*, 20000'den fazla olduğunda ise *ultrases* adını alır. ***Ultrases*** duyulabilir sınırın üzerinde frekansa sahip ses dalgalarıdır.

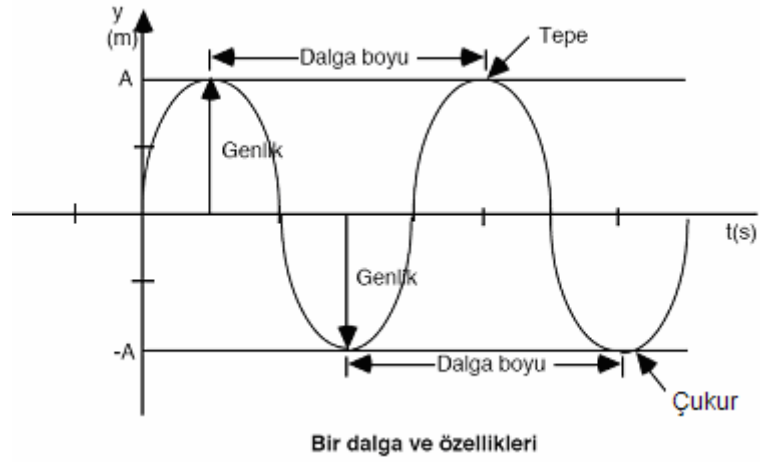
Birim zamandaki (sn) titreşim sayısına frekans denir ve akustik frekansın birimi Hertz' (Hz) dir. Doğada canlıların ürettiği seslerin frekansı 20-70 KHz

arasında iken tıpta tanısıl uygulamalarda 2-15 MHz arasındaki frekanslar kullanılmaktadır (19).

Ultrasesin Elde Edilmesi ve Yayılması

Günümüzde yüksek frekanslı ses elde etmek için piezoelektrik olaydan yararlanılmaktadır. Piezoelektrik olay; elektriksel uyarımın özel olarak yapılmış kristalde meydana getirdiği mekanik kompresyon, ultrases olarak çevreye yansırken, kristale dışarıdan isabet eden ultrasesin mekanik basıncı kristali kompresyona uğrattığında elektriksel sinyaller ortaya çıkmaktadır (19). Bu fizik temelden yola çıkarak elektrik enerjisini mekanik titreşimlere, mekanik titreşimleri de elektrik sinyallerine dönüştürme metoduna piezoelektrik olay denilmektedir. Önceki dönemlerde quartz gibi doğal maddelerin kristallerinden yararlanılırken, bugün yapay seramiklerle istenilen frekansta ultrases enerjisi sağlanabilmektedir.

Bu amaçla üretilmiş seramik disklere *çevirici* anlamına da gelen *transducer* denilmektedir ve prob adı verilen bir başlıkta taşınmaktadır. Seramik diskin kalınlığı ile ürettiği sesin frekansı ters orantılıdır. Kalınlığı azaldıkça üretilen sesin frekansı artar. Bu da üretilebilecek maksimum frekansı sınırlamaktadır.



Şekil 2.1. Ses Dalgasının Genliği, Dalga boyu, Periyodu (49. kaynaktan alınmıştır)

Ultrases dalga şeklinde bir traseye sahiptir, dalga boyu ve amplitüdü (genlik) bulunmaktadır. Birim zamanda (sn) yinelenen dalga tepesi sayısına frekans, bir dalga biriminin tamamlanma süresine periyot denilmektedir. Tüm bu özellikleri sonucunda ses ortam içerisinde belli bir hızla yayılmaktadır.

$$V=\lambda.f \text{ şeklinde bir ilişki bulunmaktadır (19).}$$

(λ :dalga boyu, f:frekans)

Tablo 2.1. Ultrasesin Çeşitli Ortamlardaki Yayılım Hızları (19. kaynaktan alınmıştır)

Doku-Madde	Hız (m/sn)
Hava	348
Alüminyum	2700
Berilyum	12890
Kan	1570
Kemik	4080
Yağ	1500
Karaciğer	1550
Kas	1580
Polietilen	920
Yumuşak dokular	1540
Su	1480

Sesin ortam içindeki yayılım hızı ortamın yoğunluğuna (d) ve elastisitesine (k) bağlı olarak değişir.

Elastisite hücre ve moleküller arasındaki ilişki ve bağlanma şekilleri ile alakalı bir doku özelliği olup sesin yayılım hızını belirleyen önemli bir etmendir. Doku elastisitesi arttıkça sesin dokudaki yayılım hızı azalmaktadır. Örneğin yağ doku gibi elastik ve baskılanabilir bir dokuda sesin iletim hızı daha katı bir dokuya göre daha düşüktür. Dansite etmeni ise dokunun atom numarası ile ilişkilidir ve biyolojik dokularda sesin ortalama yayılım hızı 1540 m/sn'dir (19).

Akustik İmpedans

Akustik impedans (z), dokuların ses dalgalarının yayılımına gösterdiği direnç olarak ifade edilir ve o ortamın yoğunluğuna (d) ve sesin o ortamdaki hızına (V) bağlıdır.

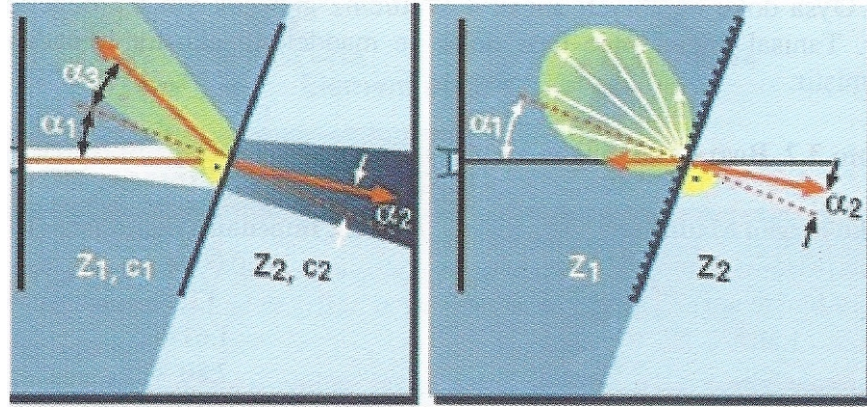
$$z=d.V$$

Ultrason cihazlarında yansıyan ses (yankı) kullanılarak görüntü oluşturur. Yankının oluşabilmesi için yansıtıcı ara yüzey bulunmalıdır. Tamamen homojen bir ortamdan geçen ses yansıtıcı ara yüzeye rastlamaz, yoluna devam eder ve ortam anekoik görünür. Başka fiziksel özelliklere sahip dokular arasındaki sınırlarda, akustik ara yüzeyler bulunur. Ses yayıldığı ortamdan başka akustik impedansı olan bir ortamın yüzeyi ile karşılaşır, açı değiştirerek geriye döner (yansır). Geriye yansıma miktarını, ara yüzeyi oluşturan dokuların akustik impedansları arasındaki farklılık belirler.

İlk ortamın akustik impedansını **z1**, ikincininkini **z2** ile gösterecek olursak geri dönüş (yansıma=R) aşağıdaki formülle ifade edilebilir (19).

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Burada $R=0$ olduğunda ($z_2=z_1$) yansıma olmaz. $R=1$ olduğunda ise z_2, z_1 den çok büyük olacağından tam yansıma olur. Hava ile doku arasındaki R yaklaşık bir civarındadır ve prob ile cilt yüzeyi arasındaki hava katmanını ortadan kaldırmak, R değerini azaltmak ve tam yansımayı engellemek için günlük pratiklerde akustik jel kullanılmaktadır. Daha az akustik impedans farkı olan dokuların oluşturduğu sınırdan ise ses enerjisi çok az yansıyarak daha derin dokulara doğru ilerler (19).



Şekil 2.2. Akustik empedansları farklı iki ortamın arakesit yüzeyine gelen ses dalgasının yansıma, kırılma ve saçılmasını etkileyen etmenlerin şematik görünümü. Sağdaki resimde düzensiz yüzeyin saçılma üzerine etkisi izlenmektedir (19. kaynaktan alınmıştır).

Tablo 2.2. Bazı doku, organ ve maddelerin akustik impedansı (19. kaynaktan alınmıştır)

Doku-Organ Madde	Akustik İmpedansı (kg/m ² /sn)(10-6)
Hava	0,0004
Alüminyum	17
Kan	1,61
Kemik	7,80
Yağ	1,38
Karaciğer	1,65
Kas	1,70
Polietilen	1,88
Yumuşak dokular	1,63
Su	1,48
Beyin	1,58
Böbrek	1,62

ULTRASES İLE İLGİLİ ÖZELLİKLER

Sesin Şiddeti

Şiddet, belirli bir alanda belirli bir sürede akan enerjidir. Sesin şiddeti ise sn.de cm^2 başına düşen güçtür. Birimi $\text{watt/ cm}^2/\text{sn.}$ 'dir. Tanıda kullanım sırasında cihazların gücü ortalama 1-40 miliWatt'tır, doku harabiyeti için ise yaklaşık 4 watt/ cm^2 gibi bir güç gerekmektedir (19).

Atenuasyon

Ultras ses demetinin doku içerisinde ilerleyişi sırasında absorpsiyona bağlı zayıflamasıdır. Bu sırada dokularda ölçülemeyecek kadar düşük miktarlarda ısı artımı meydana gelmektedir (19).

Ultras sesin Q Etmeni

Sesin doku içerisinde devam ettiği sürenin uzunluğunu ifade eder. Yüksek Q etmeni, sesin saflığını, dar bir frekans bandı olduğunu ve doku içindeki vibrasyonunun uzun sürdüğünü ifade eder (19).

Ringdown

Ses dalgasının başlaması ve vibrasyonların tam olarak kesilmesi arasındaki süredir. Yüksek Q etmeni varlığında ringdown süresi de uzun olmaktadır (19).

Ultrasonografik Zon (Bölge)

Ultrasonografik ses demetinde biri yakın diğeri uzak zon (bölge) olmak üzere iki alan tanımlanmaktadır. Yakın bölge (Frensel zonu) ses demetinin transdüserine yakın olan ve lineer seyrettiği bölgedir. Uzak bölge (Fraunhoffer zonu) ise ses demetinin paralellliğini kaybettiği ve yelpaze gibi açılarak genişlediği

alanı temsil eder. Bu bölgede görüntü rezolusyonu giderek azalmakta ve görüntü alanının periferinde kalan objelerde şekil değişikliği (distorsiyon) meydana gelmektedir (19).

2.1.2 SES VE DOKU ARASINDAKİ ETKİLEŞİMLER

Ses ve doku arasındaki etkileşimler, yansıma, kırılma ve zayıflamadır.

Yansıma (Refleksiyon)

Ses demetinin yansıma özelliğini belirten etmenler; akustik impedans, insidans açısı, yansıtıcı yüzeyle dalga boyları arasındaki ilişki ve incelenecek dokunun yüzeyidir. İncelenecek dokular arasındaki akustik impedans farkı arttıkça yansıma özeliği de artar. İnsidans açısı ses demetini yansıtıcı yüzey ile yaptığı açıdır ve dik açığa yaklaştıkça yansıma azalır. Gelen ses dalgalarının kırılma göstermeksizin tümü ile yansıdığı açı *kritik açı* olarak isimlendirilir ve kritik açının üzerinde gelen ses dalgalarının tümü yansır. Kritik açı, her ortamda sesin hızı ile ilişkili olarak değişir. Ses dalgalarının karşılaştığı yüzey düzgün ve ara yüzün boyutları sesin dalga boyundan geniş ise (örneğin; diyafram, damar duvarları) yansıma açısı geliş açısına eşittir. Yansımayan ses ara yüzü geçer. Ses dalgalarının karşılaştığı yüzey düzensiz ise saçılma gerçekleşir (19).

Kırılma(Refraksiyon)

Ses dalgasının bir ortamdan diğerine geçerken yön değiştirmesine kırılma denir. Artefaktlara, çözünürlükte azalmaya, uzaysal bükülmeye (distorsiyona) neden olur. Ultrasonografi görüntülerinde incelenen yapının yanlış konumlandırılmasının nedenlerinden de biridir(19).

Soğurulma (Absorbsiyon)

Soğurulma, ses demetinden dokuya enerji aktarımıdır. Bu enerji doku atomlarına aktarılarak onların vibrasyonuna, rotasyonuna ve ısınmasına yol açar. Soğurulma katsayısı ortama ve ultrasesin frekansına bağlıdır. Frekans arttıkça soğurulma katsayısı artar. Soğurulma katsayısı birim derinlikte, birim zamanda dönüşüme uğrayan enerji miktarıdır. Bu nedenle yüksek frekanslı sesin doku içindeki ulaşacağı derinlik düşük frekanslı sesinkinden daha azdır(19).

2.1.3 ULTRASONOGRAFİ CİHAZLARININ YAPISI

Ultrasesi yayan ve yankıları alan ünite: Ultrases transduser (çevirici) tarafından oluşturulur ve geri yansıyan ultrases de yine çevirici tarafından alınır.

İşlem birimi ve zaman sayıcı: Zaman sayıcının komutları doğrultusunda, ultrases enerjisinin üretilmesini kontrol eden ve geri dönen ses dalgalarının çeviricide meydana getirdiği elektrik enerjisini görüntüye dönüştüren birimdir. Görüntü oluşturmadaki başarı, zamanı mümkün olduğunca küçük parçalara bölebilmeye bağlıdır.

Kayıt ünitesi: Cihazda oluşturulan görüntülerin daha sonra değerlendirilmek üzere kayıt edilmesini sağlar.

Çevirici (Transdüser) ve Yapısı

Ultrason dalgalarının gönderilmesi ve algılanmasını sağlayan elektromekanik aygıtlardır. Elektrik enerjisini mekanik titreşimlere, mekanik titreşimleri de elektrik sinyallerine dönüştürme durumuna ***piezo-elektrik olay*** denir. Bir piezo-elektrik kristale gerilim uygulandığında, kristal uygulanan

voltajın polaritesine, geometrisine ve ilk polarizasyonuna bağlı olarak boyuna, enine ya da radyal olarak çevresine doğru genişler ya da daralır. Bu daralıp genişleme sonucunda ultrases dalgaları meydana gelir. Önceleri quartz gibi doğal maddelerin kristallerinden yararlanılırken, günümüzde PZT (Polycrystalized Tetragonal Zirconia) ya da polarize edilmiş seramik kristaller kullanılmaktadır. Bu amaçla üretilmiş seramik disklere çevirici anlamına gelen **transdüser** bazen de **prob** denir. eviriciler kurşun zirkonat-titanat gibi seramiklerden üretilir. Seramik disklerin kalınlığı ile üretilen sesin frekansı ters orantılıdır, kalınlık azaldıkça frekans artar, frekans arttıkça dalga boyu azalır.

Çeviricinin içinde bulunanlar:

1. Koruyucu tabaka
2. Lens
3. Aktif piezo- elektrik eleman ya da kristal
4. Uyum sağlayıcı tabakalar
5. Arka destek bloğu

Kullanım amacına bağlı olarak çeviricinin içinde bir ya da daha fazla sayıda kristal bulunur. Günümüzde kullanılan, dinamik bir inceleme yöntemi olan gerçek zamanlı (real time) US cihazları 1 sn. gibi bir zaman dilimi içinde çok sayıda ses demeti pulsu gönderip toplayabilme ve resim elementi oluşturabilme yeteneğine sahiptir. Bu cihazlarla saniyede 16 frame (film karesi) ve üzerinde yinelenen görüntüleme yapıldıkında, göz bu imajları birbirinden ayrı ve kesikli şekilde değil sinema filmi şeridindeki gibi devamlı bir görüntü olarak algılar. *Frame*, birim zamanda elde olunan görüntü elementi sayısını anlatmakta olup

görüntüleme alanı genişliği (FOV), görüntüleme derinliği ve birim zamanda dokuya gönderilen puls sayısı ile ilişkili olarak değişiklik göstermektedir. Gerçek zamanlı çeviriciler mekanik ve elektronik olarak iki ayrı tiptir. Mekanik tip çeviricilerin, dönen diskli ve osilasyon gösteren kristalli olmak üzere iki formu vardır. Mekanik tip çeviricilerin ise sınırlı çerçeve oranları, inceleme alanı darlığı ve distorsiyon gibi yetersizlikleri bulunmaktadır.

Elektronik tipteki çeviriciler lineer ve faz dizilimli olarak iki grupta toplanır. Lineer dizilimli çeviriciler de bir çizgi üzerinde 64-200 arasında değişen kristaller bulunur ve bunların aynı anda uyarılmasıyla oluşan ultrases demeti ile tarama yapılır. Lineer dizilimli çeviriciler ardışık lineer ya da segmental lineer uyarımlı olabilir. Segmental uyarımlı çeviricilerde, ardışık 4 ya da 5 çevirici elemanı eş zamanlı aktive edilir ve her bir ultrason pulsunda 4-5 kesit çizgisi oluşur. Segmental uyarımlı çeviriciler, eş zamanlı uyarımlı çeviricilere göre daha fazla görüntü çizgisi oluşturduğundan daha kaliteli görüntüler elde edilir. Ayrıca lineer ardışık uyarımlı çeviriciler dikdörtgen şekilli bir yayılım formu gösterdiğinden lateral çözünürlükleri düşüktür, ancak bu yetersizlik akustik odaklama ile aşılmaya çalışılır. Faz dizilimli (fased array) elektronik çeviricilerde, çevirici elemanları minimal zaman aralıklarıyla kademeli olarak uyarılır ve görüntüleme alanı süpürülür tarzda taranır. Bunlarda ultrasesin yayılması ve toplanması diğer problemlerden başka olarak sektör şeklindedir.

Elektronik çeviricilerde ses demetinin etkin olduğu fokus zonu konkav fokusleyicilerle elektronik olarak odaklanabilir ve ayarlanabilir. Bu ayarlamalarla dokular daha net bir şekilde değerlendirilebilmektedir. Elektronik foküsleme

görüntü planına paralel oluşumların daha yüksek çözünürlükte incelenmesine yani lateral çözünürlüğün artmasına olanak sağlamaktadır (19).

Ultrasonografide çözünürlük:

Çözünürlük, cihazın yan yana iki noktayı ayırt edebilme gücünü gösterir.

(a) Aksiyel çözünürlük : Ses dalgasının izlediği yol boyunca iki farklı noktayı ayırt edebilme yeteneğidir. Aksiyel çözünürlük gönderilen pulsun uzunluğunun yarısı kadar olabilir.

(b) Lateral çözünürlük : Sesin dalgasına dik düzlemdeki iki noktayı ayırt edebilme yeteneğidir. Lateral çözünürlük probun çapı ve odaklanmasından etkilenir. Demet genişliği azaldıkça, lateral çözünürlük artar. Frekans arttıkça çözünürlük artmaktadır, ancak dalgaların daha derin dokulara etkisi azalmaktadır (23, 24).

2.1.4 ULTRASONOGRAFİK GÖSTERİM METODLARI (MOD)

Tanısal radyolojide inceleme alanına gönderilen ses dalgalarının dokularda yansıyal ekoları elektronik doku monitorüne 3 değişik biçimde yansıtılmaktadır. Bu görüntüleme metodları yöntemin ilk harfi ile adlandırılır.

A-MOD (amplitüd modu) : Çeviriciye geri dönen yansımış sesin (eko) oluşturduğu elektrik sinyallerinin bir monitörde yalnızca amplitüdlerini grafikler şeklinde gösteren yöntemdir. Amplitüdler arası mesafe incelenen yapıların derinliğini, amplitüdlerin yüksekliği ise yapıların yoğunluğunu (akustik empedans farkının büyüklüğünü) ifade etmektedir. Ölçüm değerleri niceldir (19).

B-MOD (brightness, parlaklık modu) : Ekranda görülen amplitüd grafiklerine tepeden bakıldığında amplitüdlere parlak ışık noktaları olarak gösterme yöntemidir. Ancak bu yöntemde belli değerin altındaki amplitüdlere gösterilemeyip, belli değerin üstündekiler ise hep aynı parlaklıkta gösterilmektedir. Bu durumda parlak şekilde olanlar beyaz, parlak şekilde gösterilemeyenler siyah olarak gözükmekte olup yalnız beyaz ve siyahtan oluşan *bistable* bir görüntü oluşmaktadır. Bu yöntemdeki bilgi karmaşası ve bilgi kaybını gidermek için *gri skala* yöntemi geliştirilmiştir. Buna göre ise yansıyan her eko şiddetine göre başka bir gri tonu ile eşleştirilip ekrana öyle yansımaktadır. Günümüzde ekrana yansıyan gri tonu sayısı 128 ve üzerine taşınmıştır (19).

M-MOD(motion, hareket modu) : Ekran elektronik olarak yanlamasına hareket ettirilir ise yansıtıcı yüzeye karşılık gelen tek noktalar bir çizgi haline dönüşecektir. Yansıtıcı yüzey özellikle kalp kapakları ve duvar yapıları olduğunda bu çizgiler hareketin yönüne göre özellik kazanmaktadır. Ekokardiyografi için uzun süre yalnızca bu yöntem kullanılmıştır (19).

2.1.5 ULTRASES DALGALARININ İŞLENMESİ VE KONTROL MEKANİZMALARI

Monitörde 30 dB'den (desibel) daha geniş yoğunluk başlıkları görüntülenemediğinden, düşük ekolar lineer şekilde yükseltilmekte, yüksek şiddettekiler ise dar bir dinamik alana sıkıştırılmaktadır. Bilgisayar aracılığı ile gerçekleştirilen bu işleme “post-processing” denilmektedir.

US cihazlarında değişik derinliklerden gelen eko sinyallerinin ayarlanmasında aşağıda numaralanmış mekanizmalar bulunmaktadır (19).

1-Zaman-Kazanç Kontrolü (Time-Gain Compensation=TGC): Belirli bir derinlikten gelen eko sinyallerini güçlendirmeye yönelik kontrol mekanizmalarıdır.

2-Gecikme : Zaman kazanç kontrolünün hangi derinlikten itibaren zayıf sinyalleri güçlendireceğini belirler.

3-İntensite: Pulsun daha güçlü ekolardan oluşmasını sağlayan bir mekanizmadır.

4-Kaba (Master) Kazanç: Belirli bir derinliğe yönelmeksizin tüm imaj üzerindeki amplitüdü kontrol eden bir mekanizmadır.

5-Rejekt: Görüntü oluşumuna yararı olmayan düşük şiddetteki ekoların ortadan kaldırılmasını ve imajın daha net olmasını sağlar.

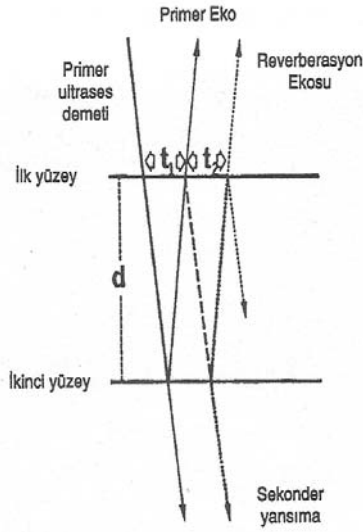
6-Yakın/Uzak Kazanç : Güçlü yüzeysel ekoların bastırılarak görüntüye yansıtılması ve derinden gelen ekoları örtülmesi yakın gain, bu olayın tersi ise uzak gain ile sağlanır.

7-Güçlenme: Ekoları güçlendirmeye yöneliktir.

2.1.6 ULTRASONOGRAFİK ARTEFAKTLAR

Reverberasyon Artefaktı

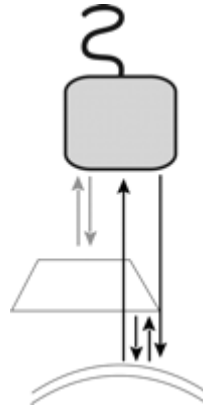
Çevirici ile incelenen dokular arasındaki aşırı akustik impedans farkına bağlı olarak ortaya çıkar. Birbirini paralel izleyen başka yansıtıcı yüzeyler arasında ses demeti birkaç defa geri dönüp yansır. Yinelemeler nedeniyle yansıtıcı yüzeyin derininde giderek azalan ekolar oluşur. Mesane, safra kesesi ve yüzeye yakın kistlerin duvarında oluşur. Pozisyon ile yer değiştirmemesi, yer çekiminden etkilenmemesi ve eko şiddetinin derine doğru azalması ayırt edici özellikleridir. Tanıda en önemli kriter, yansıtıcı yüzey, artefaktın görünümü arasındaki mesafe ile yansıtıcı yüzey, çevirici arasındaki mesafenin eşit olmasıdır.



Şekil 2.3. Reverberasyon artefaktı oluşumunun çizimsel açıklaması (19. kaynaktan alınmıştır)

Ayna Artefaktı

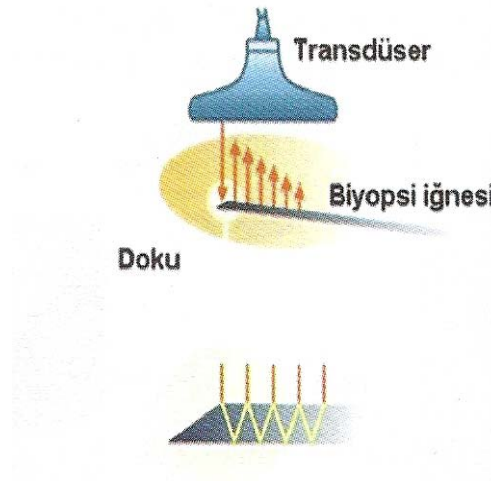
Ses demetinin düzgün ve güçlü bir yansıtıcı yüzeyle (kemik, plevra, diafragma gibi) karşılaşması sonucu oluşur. Güçlü yansıtıcı yüzeyin yakınında yer alan objeler yüzeyin arkasında da varmış gibi görünürler. Gri skala görüntülerde oluşan bu artefakt, Doppler görüntülerde de Doppler kazancı çok yüksek ya da çok düşük ayarlandığında, Doppler açısı 90 dereceye yakın olduğunda meydana gelebilir.



Şekil 2.4. Yukarıdaki şekilde ayna artefaktının oluşma prensibi çizimle gösterilmektedir (32. kaynaktan alınmıştır).

Kuyruklu Yıldız (Comet tail) Artefaktı

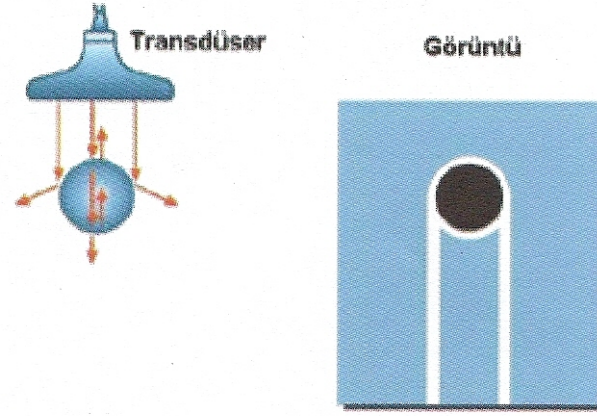
Ses demetinin, kendisini zil gibi titreştirecek bir yapı ile karşılaşması sonucu meydana gelir. Yansıtıcı yüzey aracılığı ile çeviriciye arka arkaya yankılar döner ve ardında parlaklığı giderek azalan kuyruk görünümü oluşur. Solid organlardaki saçma taneleri, metalik süturlar, intrauterin kontroseptif cihazlar, biyopsi iğneleri, safra yollarında gaz, safra kesesi duvarındaki kolesterol polipleri bu artefakta neden olabilmektedir (19).



Şekil 2.5. Kuyruklu Yıldız Artefaktı (19. kaynaktan alınmıştır)

Akustik Gölge Artefaktı

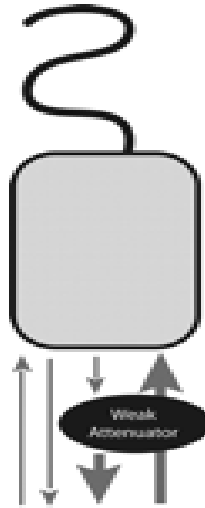
Ses demetinin tamamına yakınının, yolu üstündeki bir yapı tarafından geri yansıtılması sonucu oluşur. Sesi yüzeyinden şiddetli şekilde yansıtan objelerin arkasına yeterince ses demeti ulaşamadığından gölgeli bir alan oluşur ve burada görüntü tanı için yeterli değildir. Kemikler, kalsifikasyon ve gaz akustik gölgeye neden olur (19).



Şekil 2.6. Akustik Gölge Artefaktının Şematik Gösterimi (19. kaynaktan alınmıştır)

Akustik Yankı Artımı (Güçlenme) Artefaktı

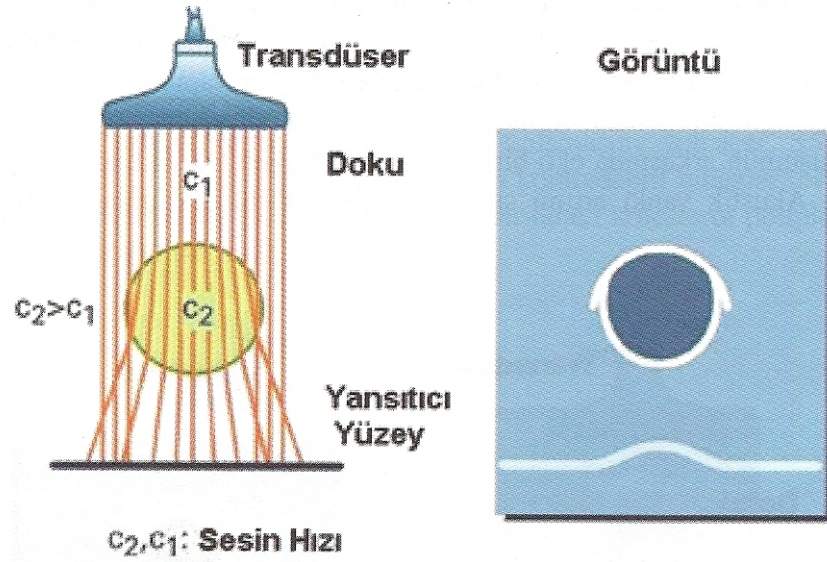
Ses demetinin, içinden geçtiği doku tarafından komşu dokulara göre daha az zayıflatılması ile oluşur. Sonuçta ilgili yapıyı terk ettiğinde çevreye göre daha yoğundur. Bu durum terk ettiği oluşumun arkasında eko birikmesine (hiperekojenite) neden olur. Sıklıkla sıvı dolu yapılarda ortaya çıkmaktadır (19, 32)



Şekil 2.7. Şekilde kistik özellikte bir yapıyı geçtikten sonra ses dalgasının komşu alandaki ses dalgasına oranla daha güçlü hale geldiği açıklanmaktadır (32. kaynaktan alınmıştır).

Kırılma (Refraksiyon) Artefaktı

Ses demetinin farklı yayılım hızındaki dokulardan geçişi sırasında oluşur. Ses, hızlı yayıldığı solid dokulardan yavaş yayıldığı kistik yapılara geçerken konverjans (merkeze doğru), tersi durumda ise diverjans (dışa doğru) göstererek kırılır. Kırılmanın oluşumunda yansıtıcı yüzeye çarpma açısı da rol oynamaktadır (19).



Şekil 2.8. Kırılma Artefaktının Şematik Gösterimi (19. kaynaktan alınmıştır)

Duplikasyon Artefaktı

Kırılmaya bağlı diğer bir artefaktır. Örneğin obez hastalarda abdominal incelemede, orta hattan yapılan kısa aks incelemede, tübüler yapıların çift görünüşü, sesin karın ön duvarındaki yağ dokusu ile rektus kası arka duvarının oluşturduğu yüzey tarafından kırılmasına bağlıdır. Orta hat yapılarından superior

mezenterik arter, gestasyonel kese, foley sondanın da çiftmiş gibi görünümü bu artefakt ile açıklanmaktadır (19).

Aks Dışı (Off-axis) Artefaktı

Ses demetinin ilerlerken merkezden çevreye doğru keskinliği azalır. Sesin yoğunluğu fokus zonunda en yüksektir. Tanıda akustik gölge varlığının önem kazandığı böbrek ya da safra taşı incelemelerinde, akustik gölgenin iyi bir şekilde ortaya çıkarılabilmesi için çeviricinin fokus (odaklama) zonu inceleme alanına uygun şekilde yönlendirilmelidir. Eğer lezyon odaklama zonunun dışında bırakılacak olursa ses demetinde side-lobes (ses dalgalarının birbirine karıştığı alan) denen etkisine bağlı olarak şekil değişikliği görülür ve gerisinde bulunması gereken akustik gölge oluşmayabilir (19).

Kesit Kalınlığı Artefaktı

Ses demeti kalınlığı incelenen kistik bir oluşumun genişliğinden daha fazla ise, ses demetinin bir kısmı kesit planı dışındaki yapılara çarpıp kist içine geri döner. İncelenen yapı içinde çamur-püy benzeri görünümü oluşur. Bu durum incelenen bölgeye uygun odaklama seçilmesi ile önlenabilir (19).

2.2 DOPPLER ULTRASONOGRAFİ

Konvansiyonel B-mod görüntülemeye, yansıyan ses dalgasından, şiddet, faz ve frekans bilgileri elde edilir. Bu veriler sesin yansıdığı yüzeyin yeri, yapısı ve hareketliliği hakkında bilgiler içerir. B-mod incelemede eritrositler gibi hızlı hareket eden hedefler, genellikle gösterilemeyen düşük şiddetli ekolar oluştururlar. Bu nedenle damarların lümeni genellikle anekoik izlenir. B-mod

ultrasonografik görüntülemeye, görüntü oluşturmak için geriye yansıyan sinyalde sadece şiddet bilgisi kullanılır. Oysa geri dönen ultrasesde hareket eden hedefin hareketini değerlendirmemizi sağlayacak bilgiler de vardır.

Bir ortam içerisinde hareket eden ses dalgasının özellikleri, ortamın özellikleri değişmeden değişikliğe uğramaz. Yüksek frekanslı bir ses dalgası durağan bir yüzeye çarparsa, bu yüzeyden yansıyan ses dalgası dokuya gönderilen ses dalgasının frekans ve dalga boyuna sahiptir. Ancak dalgayı yansıtan yüzey hareket halinde ise yansıyan dalgaının frekansında değişiklik oluşur. Hareket eden enerji kaynağının algılayıcı sistemine yaklaşırken üretilen enerjinin frekansı artar, uzaklaşırken azalır. Ses frekansının harekete bağlı değişimine **Doppler kayması (şifti)** denir. Frekanstaki değişim dalgayı yansıtan yüzeyin hızıyla doğru orantılıdır ki bu değişim **Doppler etkisi** olarak adlandırılır. Geri dönen ultrason frekansının yansıtıcının hızıyla ilişkisi Doppler denklemi ile tanımlanmıştır (19, 24).

Doppler kayması şu formülle gösterilir:

$$\Delta F = 2 \times V \times f_0 \times \cos Q / c$$

$$\Delta F = \text{Doppler kayma frekansı}$$

$$V = \text{Kaynağın hızı}$$

$$\cos Q = \text{Doppler açısı}$$

$$c = \text{Sesin dokudaki ortalama hızı (1540 m/sn)}$$

$$f_0 = \text{Gönderilen US dalgasının frekansı}$$

Doppler denkleminde dikkati çeken en önemli parametre “Q” açısıdır. Bu açı, akımın yönü ile ultrases demeti arasındaki açıdır. Kosinüs değeri olarak hesaplanan bu açı 90 dereceye yaklaştıkça Doppler kayması küçülecek, 90 derecede sıfırlanacaktır. Klinikte kullanılan Doppler frekans kaymaları duyulabilir frekanslardadır (0,2-15 KHz). İşitilebilen bu ses, kişi tarafından duyularak analiz edilebilir ve tecrübe ile pek çok akım karakteristiği tanımlanabilir.

60 derecenin üzerindeki açılar için Doppler açısının kosinüsü daha büyük oranda değiştiğinden, doğru açı düzeltmesi için Doppler ölçümlerinin 60 derecenin altında yapılması gerekir. 60 derecenin üzerinde, Doppler açısındaki görece küçük değişiklikler, Cos Q’da büyük değişikliklere neden olur. Bu nedenle Doppler açısı ölçümünde küçük bir hata hız ölçümünde büyük yanlışlıklara neden olabilir (24).

2.2.1 DOPPLER ULTRASONOGRAFİNİN UYGULAMA YÖNTEMLERİ

Klinikte Doppler ultrasonun sürekli dalga Doppler, spektral Doppler, renkli Doppler ve power Doppler gibi birkaç başka uygulaması vardır.

Sürekli Dalga (Continuous Wave=CW) Doppler

Bu yöntemde, prob birbirine küçük bir açıyla bakan komşu iki kristalden yapılmıştır. Kristallerden biri sürekli ses dalgası üretirken diğeri sürekli dinleme yapar. Tüm hareketli yansıtıcıların Doppler kayması toplanır. Frekans kaymalarına çok duyarlı olmasına rağmen, ses dalgaları kesintisiz olduğundan aksiyel çözünürlüğün olmaması, yani sesin geldiği yerin saptanamaması önemli bir dezavantajdır. Yüksek frekanslı sürekli dalga Doppler problar, düşük frekanslılara göre daha duyarlıdır ve “aliasing” oluşmaz. Kulak, duyarlı bir ses

ayırıcısı olduğundan renkli Doppler cihazlarında hoparlörler halen kullanılmaktadır (19, 25).

Spektral (Pulsed Wave= PW) Doppler

Puls-yankı tekniğindeki gibi hem verici, hem alıcı olarak çalışan bir çevirici vardır. B-mod görüntü üzerinde örnekleme alanı belirlenerek işaretlenir. Ultrases demeti aralıklı olarak gönderilir ve Doppler bilgileri kısa bir zaman aralığı içinde örneklenir. İşlemci geri dönen ses dalgasındaki Doppler kaymasını saptar. Faz değişikliğinden hareketin yönünü, frekans değişikliğinden hareketin hızını hesaplar ve gösterir (19).

Doppler bulgularının M-mod ya da B-mod görüntüleme ile birleştirerek kullanılmasına ***Dupleks görüntüleme*** adı verilir.

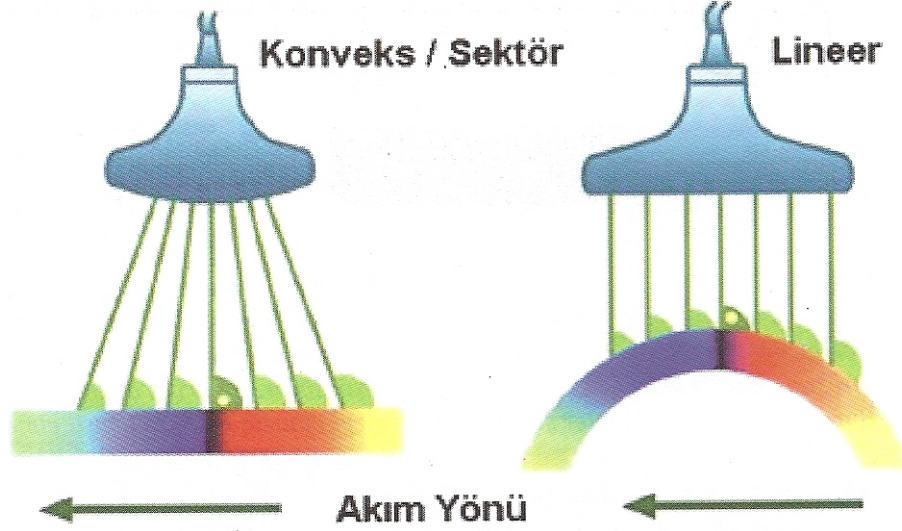
Seçilen alandan dönen ekolardan çıkarılan ses frekans farkı, monitörde B-mod görüntüsünün yanında hız (cm/sn) – zaman ya da frekans (kHz)- zaman grafiği şeklinde gerçek zamanlı olarak izlenebilir. Pratikte hız- zaman grafiği tercih edilir. Spektral incelemede, monitörde spektral analiz yanında B-mod görüntüsü de bulunduğundan kan damarlarının daralma, trombüs, aterosklerotik plak gibi patomorfolojik özellikleri hakkında da bilgi sahibi olunabilir. Ayrıca B-mod görüntülerle gösterilemeyecek kadar küçük damarlarda akım ölçülebilir ve vasküler daralmalar daha duyarlı bir şekilde saptanabilir (19).

Kan akımının yönü, horizontal çizginin alt ve üst tarafı ile belirlenir. Çeviriciden uzaklaşan akım çizginin üstünde, yaklaşan akım ise altında gösterilir. Akım içindeki hız dağılımı spektrumun genişliğini belirler. Ayrıca maksimum hız, ortalama hız gibi akıma ait birçok sayısal değer ölçülebilir (19, 28). CW

Doppler’de sürekli dalga formunda gönderilip, yansıyanlar sürekli dinlenirken, PW Doppler’de kısa süreli pulslar şeklinde gönderilen ses enerjisi suskunluk zamanlarında dinlenerek değerlendirilir. Böylece ilkinde alıcı ve verici olmak üzere iki çeviriciye ihtiyaç varken ikincide tek verici hem alıcı hem de verici olarak görev yapabilmektedir (19).

2.2.2 RENKLİ DOPPLER

Radyolojik uygulamalarda en sık kullanılan Doppler yöntemi renkli Doppler ultrasonografidir (RDUS). Bu sistemde, Doppler ölçümünden elde edilen akım bilgisi, B-mod görüntü ile birlikte gösterilir. Renkli görüntüde her piksel için akım hızının belirlenmesi, özel sinyal işleme devreleri ile gerçekleşir. Bunlardan en sık kullanılanı korelasyon dedektörleridir. Dokuya paketler halinde gönderilen ses demetleri, seçilmiş birden fazla hedeften geri döner, bunların her biri için hesaplanan Doppler kaymaları bilgisayarda başka değerlere ve başka renk kodlarına atanır. Sinyal fazı hareketin varlığı ve yönü, sinyal frekansındaki değişiklikler ise hedefin hızı hakkında bilgi verir. Görüntüde izlenen renkler akımın yönünü yansıtmaktadır. Çeviriciden uzaklaşan akımlar bir renkte, yaklaşan akımlar ise başka bir renkte görüntülenir, karmaşık hareketler ara renkleri ve mozaikleri meydana getirir. Renk ne kadar parlaksa akımın görece hızı o kadar yüksektir (19, 24).



Şekil 2.9. Probda bulunan kristallere göre hareketin yönü renkli Dopplerde farklı renklerin ortaya çıkmasına neden olur. İnsonasyon açısı 90° olduğunda Doppler şifti 0 olur, hiçbir renk kodlaması yapılamaz. Orta noktadaki siyahlık bundan kaynaklanmaktadır (19. kaynaktan alınmıştır).

2.2.3 DOPPLER US'DE İNCELEME PARAMETRELERİ

Başlıca kan akımının hızını belirleyen frekans kayması ve çeviriciye dönen akımın yönünü belirleyen faz değişikliğidir. Faz değişikliğine göre kırmızı ya da mavi renk kodlaması gerçekleştirilirken bu renklerin koyu ya da açık renkte olması frekans kaymasının bir sonucudur. Yavaş akımlar için yüksek, hızlı akımlar için düşük frekanslı çeviriciler kullanılmalıdır.

Atım Yinelenme Frekansı (Örnekleme Hızı) (Pulse Repetition Frequency =PRF)

Ses enerjisi vücuda yüksek amplitüdlü kısa süreli vurular halinde ve uygun atım yinelenme frekansı (PRF) ile gönderilir. Doppler incelemelerinde bu pulsların yinelenme frekansına PRF denilmektedir. Maksimum değeri 12,5

kHz'dir. PRF kontrolü manuel ya da bazı cihazlarda olduğu gibi örneklem derinliğine göre otomatik olarak ta yapılabilir. Doppler kayması, PRF ile örneklenerek oluşturulduğundan, doğru bir ölçüm yapılabilmesi için, dokuya gönderilen ses dalgası geri alınmadan yeni bir dalga gönderilmemelidir. Doppler pulsunun inceleme alanına ulaşması ve bir o kadar süre de çeviriciye geri dönmesi için süreye ihtiyaç olduğundan örnekleme hızı (PRF) ölçülecek Doppler kaymasının en az iki katı değerde tutulmalıdır. Bu değer Nyquist limiti olarak ifade edilmektedir ve

$$V_{maks}=c(PRF)/4xF_0xCosQ \text{ şeklinde formüllendirilmiştir (19).}$$

Doppler frekansını arttırmak için PRF ya da Doppler açısı yüksek değerde tutulmalıdır. Doppler kaymasının iki katından az olduğu durumlarda akımlar hatalı olarak ters yönde algılanacaktır ki buna *aliasing* denilmektedir. Aliasingi ortadan kaldırmak için yapılması gereken ilk değişiklik PRF 'yi artırmaktır.

Geliş (İnsonasyon) Açısı:

Doppler kaymasını etkileyen etmenlerdendir. Ses dalgası incelenecek damara dik bir açı ile gelirse formüldeki eşitliğe göre 90°nin kosinüsü 0 olacağından Doppler kayması frekansı elde edilemeyecektir. Bu nedenle kullanılacak en uygun insonasyon açısı 30-60° değerleri arasındadır (19).

Örnekleme Hacmi (Sample Volume):

Akım açısındam kontrol edilecek doku hacmini ifade eder.

Duvar Filtreleri:

Yüksek frekansları geçiren, düşük frekansları ise zayıflatan ayarlanabilir bir devredir. Kapiller bölge dışındaki damarsal yapıların sesi kuvvetle yansıtmasını önlemek için kullanılmaktadır (19).

Cerçeve Hızı (Frame Rate):

Görüntü oluşturma ve yinelenme hızıdır (19).

2.2.4 POWER DOPPLER

Elde edilen Doppler sinyallerinin şiddetini renk bilgisi olarak gösteren bir yöntemdir. İlk yıllarda amplitüd-kodlama renkli Doppler, US anjiyografi gibi çeşitli isimler kullanılmış olsa da günümüzde Power Doppler Ultrasonografi ismi tercih edilmektedir.

RDUS’de görüntüyü oluşturan temel prensip Doppler kayması iken Power Doppler’de sinyalin gücüdür. Power Doppler ultrasonda eko sinyalinin gücü, örnekleme hacmi, örnekleme hacmindeki eritrosit yoğunluğu ve inceleme alanıyla çevirici arasında kalan dokuların zayıflamasına bağlıdır. Derinlik arttıkça alınan sinyalin şiddeti düşer ve duyarlılığı azalır. Kodlama genellikle kırmızı renk kullanılarak yapılır. Sinyallerin gücü renkte parlaklık ve sönüklük olarak görülür. Yüksek sinyal şiddetinde renk sarıya doğru açılırken düşük şiddetli sinyaller koyu kırmızı olarak görüntülenir (19).

Power Doppler inceleme, spektral Doppler ve renkli Doppler uygulamalarından başka olarak akım yönü ve hız bilgilerini içermez. Yalnızca akım olan alan ve akım olmayan alan ayrımını yapar. Doppler açısına bağımlı

olmadığından aliasing artefaktı oluşmaz, ayrıca gürültü (noise) daha azdır. Gürültünün daha az olması nedeniyle düşük akımlara duyarlılığı renkli Doppler ultrasonografinin yaklaşık 3-5 katıdır. Özellikle darlık ve geri kaçışların daha iyi gösterilmesinde, tümöral neovaskülarizasyona bağlı yavaş akımın gösterilmesinde, renal transplantların izleminde, normal böbrek damarlanmasında perfüzyon ve kortikal akımların gösterilmesinde faydalıdır. Ancak Doppler bilgileri daha uzun sürede elde edildiğinden harekete karşı daha hassastır. Nefesini tutmayan hastalarda, kalp, akciğer ve büyük damar komşulukları gibi doku hareketlerinin yoğun olduğu bölgelerde faydası sınırlıdır (19, 31).

Doppler Ultrasonografide Akımın Değerlendirilmesi

1. Kalitatif Akımın varlığı, yönü ve karakteristiği değerlendirilir.
2. Kantitatif: Akım hızı ve volümü ölçülür. Volüm(ml/dak), ortalama hız (cm/sn) x damar kesit yüzeyi (cm²) olarak hesaplanır.
3. Yarı kantitatif: Rezistivite indeksi, pulsatile indeksi ve pik sistolik hız/diyastol sonu hız indeksi bu gruptadır. Akıma karşı tüm etkenlerden kaynaklanan dirençlerin toplamı olan impedansı değerlendirmek için kullanılır (19).

Rezistivite indeksi= pik sistolik hız-diyastol sonu hız / pik sistolik hız,

Pulsatile indeksi= pik sistolik hız – diyastol sonu hız/ ortalama hız
formülleriyle bulunur.

2.2.5 DOPPLER US'NİN ARTEFAKTLARI

B-mod Ultrasonografide izlenen artefaktların birçoğuyla Doppler ultrasonografide de karşılaşılır. Bu artefaktlara ek olarak Doppler ultrasonografide hareket eden cisimlerden gelen frekans değişim bilgisinin algılanması ve sunumu sırasında, tekniğe özel artefaktlarla karşılaşılır.

1. “Aliasing” artefaktı :

Doppler_ultrasonografide en sık karşılaşılan artefaktlardan biridir. Atım yinelenme frekansı (PRF) ölçülecek Doppler kaymasının 2 katından az olduğu durumlarda akımın hatalı olarak ters yönde algılanmasıdır. “aliasing” artefaktına yol açan durumlarda ilk olarak PRF arttırılmalıdır. Doppler frekans kaymasını arttırmak ve sürekli dalga Doppler tekniğine geçmek diğer çözüm yollarıdır. Bunların dışında uygulayıcının, “aliasing” artefaktını fark ettiğinde, spektral görüntüdeki sıfır hattının (baseline) altında kalan değerleri yukarıya taşımak için sıfır hattını yeniden ayarlaması gerekir (19).

Derin dokuların incelenmesi sırasında daha düşük PRF kullanmak gerekebilir. PRF “aliasing” artefaktı oluşmadan incelenebilecek maksimum doku derinliğini de belirler. “Aliasing” artefaktı, hafif olduğu durumlarda her iki yöne akım gösteren renklerin karışımı şeklinde izlenirken, şiddetli olduğunda renk mozaigi olarak karşımıza çıkar (19, 29).

2. Ayna Görüntüsü Artefaktı :

B-mod incelemede görülen bu artefakt Doppler incelemelerinde de oluşabilir. İki güçlü yansıtıcı arasında sesin yansımaları sonucu, yankıların

çeviriciye ulaşma sürelerinin değişmesine bağlıdır. İncelenen yansıtıcı gücü yüksek olan objenin, diğer yansıtıcı yüzey arkasında ayna hayali şeklinde görüntüsü oluşur. Bu durum daha çok subklaviyan, brakial ve karotis arterlerinin görüntülemelerinde oluşur. Bu artefakt sonucu oluşan ikinci damar görüntüsü yanılgıya neden olabilir (19).

3. Uygulama açısına bağlı (İnsonasyon Açısı) Artefaktlar :

Akım- ultrases açısı 90 derece olduğunda, çeviriciye yaklaşan ya da uzaklaşan görece akım yoktur ve Doppler kayması frekansı saptanamaz. Bu nedenle akım ile ultrases dalgaları arasındaki açı 90 dereceye yaklaştıkça, renkli Doppler görüntülemelerde akım zayıf izlenir ya da izlenmez. Pratikte uygulama açısına bağlı artefaktlar var olan akımın görüntülenmesine engel olabileceği gibi yalancı geri akım görünümüne de yol açabilir. Çeviricinin pozisyonu ya da örneklem kutucuğunun yönü değiştirilerek bu artefakt engellenebilir (19).

4.”Twinkling” Artefaktı :

Güçlü yansıtmaya neden olan oluşumların gerisinde, renk modunda hızla değişen kırmızı ve mavi renk karışımları, spektral analizde vertikal çizgilenmeler ve ses modunda yüksek tiz sesler şeklinde izlenen bir RDUS artefaktıdır (39, 40). RDUS görünümü doku kanlanması ile karışabileceğinden bu artefaktın tanınması önem taşımaktadır. Çoklu yansıma oluşturan düzensiz yüzeyli oluşumlar, gelen ultrases demetinde saçılmaya neden olarak onu karmaşık yapıda bir ses demeti haline getirmektedir. Bu durumun geri alınan sinyalin dalga süresinde artışa neden olduğu, bunun da hareket şeklinde algılandığı ileri sürülmüştür (40). “Twinkling”

artefaktı parankimal ve tümöral kalsifikasyonlar, orbita patolojileri, safra kesesi ve safra yolu patolojileri, üriner sistem taşları gibi pek çok patolojik durumda görüntülenmiştir (30).

5. Derinlik İkilemi Artefaktı:

Düşük frekanslı çeviriciler kullanıldığında ya da PRF gereğinden fazla yükseltildiğinde, derin dokulardan gelen sinyal bir sonraki pulsun gönderilişinden sonra çeviriciye geri dönebilmekte ve sanki gönderilen ikinci pulsun dönen sinyali imiş gibi algılanmaktadır. Bu durumda algılanan sinyal, görüntünün yanıltıcı olarak daha yüzeyleymiş gibi konumlandırılmasına ve yüzeysel dokularda akım varmış gibi görülmesine neden olmaktadır. Bu artefaktı engellemek için yüksek frekanslı çeviriciler kullanılmalı, PRF gereğinden fazla arttırılmamalıdır (19).

6. Renk örtüşmesi (color overwrite) artefaktı :

Akıma duyarlılığının arttırıldığı durumlarda ortaya çıkan, hastanın hareketi ya da solunumunun neden olduğu artefaktır. Yumuşak dokularda ortaya çıkan frekans kayması, yavaş olan akımların frekans kaymasına yakın değerlerde olabilir ve cihaz bunu renkli olarak kodlar. Örneğin karotis arter komşuluğunda bulunan kistik yapının içi anevrizmaymış gibi renklenebilir. Günümüz cihazlarında solunum hareketi gibi artefaktları belirleyip görüntüden kaldırabilen yazılımlar geliştirilmiştir (19).

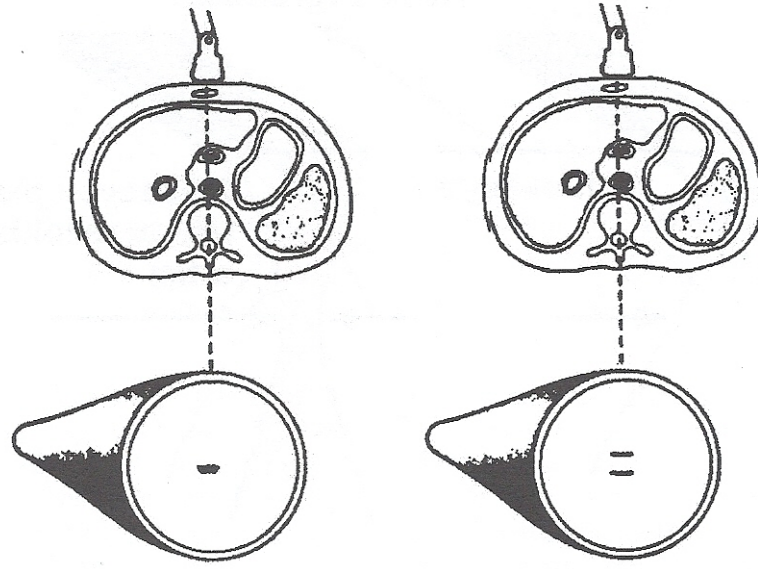
Ultrasonografide Çözünürlük (Rezolusyon)

Görüntüleme iki tür çözünürlükten söz edilir.

- a) Uzaysal çözünürlük
- b) Kontrast çözünürlük

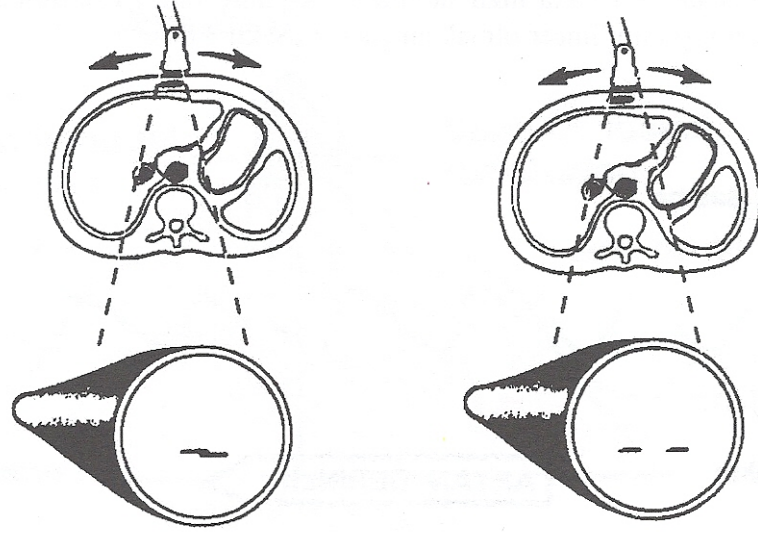
Uzaysal çözünürlüğün üç komponenti vardır.

- 1) Aksiyel çözünürlük
- 2) Lateral çözünürlük
- 3) Elevasyon



Şekil 2.10. Aksiyel çözünürlük, farklı puls uzunluğuna sahip US problemlerinden gönderilen ultrases dalgalarının, ses demetine paralel oluşumları birbirinden ayırmadaki etkisidir. Puls uzunluğu daha kısa olan cihazdan gönderilen ultrasesin yayılım doğrultusuna paralel yapıları birbirinden ayırma gücü (birbirine daha yakın ve daha küçük objeleri ayırt edebilme özelliği) yani aksiyel çözünürlüğü daha yüksektir (19. kaynaktan alınmıştır).

Aksiyel çözünürlük kullanılan sesin frekansı ve pulsun süresi ile de direkt ilişkilidir. Ancak burada frekans arttıkça penetrasyonun azalması sınırlayıcı bir etmendir (19).



Şekil 2.11. Lateral çözünürlük ise farklı ses demeti genişliğine sahip US problarından gönderilen ultrases dalgalarının ses demetine dik yöndeki oluşumların birbirinden ayırmadaki etkisidir. Ses demeti daha dar olan cihazdan gönderilen ultrasesin yayılım doğrultusuna dik yapıları birbirinden ayırma gücü yani lateral çözünürlüğü daha yüksektir (19. kaynaktan alınmıştır).

Elevasyon ise mekanik lenslerle yapılan odaklamalar ile düzeltilmektedir.

2.3 HARMONİK GÖRÜNTÜLEME

Ses dalgası doku içinden geçerken dokuyu komprese ve ekspanse ederek yayılır. Komprese edildiği durumda doku sesi daha hızlı iletirken, ekspanse olduğu durumda daha yavaş iletir. Yani doku içinde ilerleyen sesin doku ile etkileşmesi sonucunda belli derinlikten sonra sesin yüksek basınçlı komponentinin düşük basınçlı komponentinden farklı hareket etmesi ile lineer yayılımı bozulmuş olur. Bu lineer olmayan yayılım sonucu ortaya çıkan ve başlangıç frekansının katları şeklinde olan değişik frekanstaki ses enerjisine **Doku Harmonikleri** denilmektedir (19).

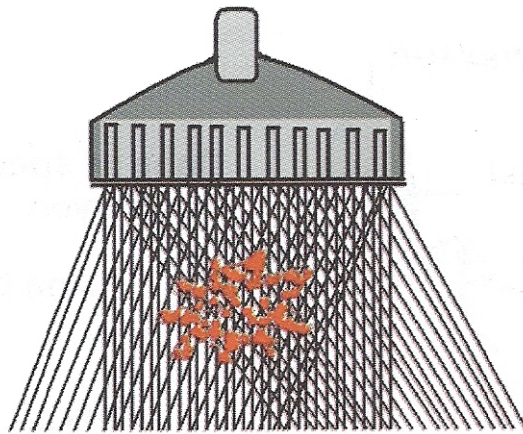
Çevirici alıcı konumunda başlangıçta dokuya gönderdiği sesin frekansından çıkarılıp, dokuda oluşacak bu harmoniklerin frekansına göre

ayarlanırsa birçok artefaktan da arındırılmış görüntüler oluşacaktır. Harmonik demetler probdan çıkan ses demetinden daha dar olduğu için harmonik görüntülemelerde gürültü ve saçılma da daha azdır.

Ancak dokuya yakın bölgelerde harmonik oluşturabilecek etkileşim olmadığından ve çok derin bölgelerde de ses enerjisi dokular tarafından emilip azaltılacağından bu bölgelerde harmonikler oluşmaz.

2.4 BİLEŞİK (COMPOUND) GÖRÜNTÜLEME

Ultrasonografide ses demeti küçük ve düzensiz yansıtıcı yüzeyler tarafından saçılmaya uğratılabilir. Bu saçılma sonucu çeviriciye geri dönen sesin çeşitli açılardan ulaşanları ile düzgün yansıyarak ulaşanları birbiri ile girişim yaparak benekli görüntüler meydana gelmesine neden olabilir. Bu benekli görünüm bazen solid-kistik ayrımını engelleyebilecek düzeyde olabilmektedir. Bu durumdan kurtulmak için *Uzaysal Bileşik Görüntüleme* yöntemi kullanılır.

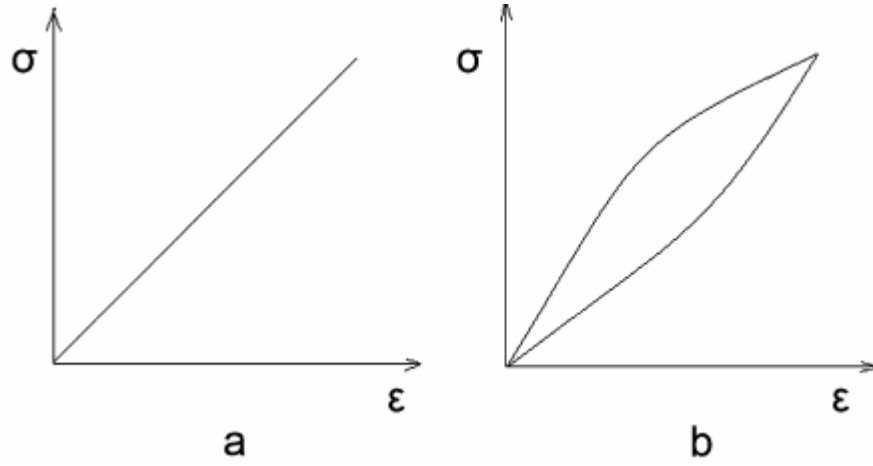


Şekil 2.12. Bileşik Görüntülemenin Şematik Gösterimi (19. kaynaktan alınmıştır).

Bu yöntemde ses demeti birden fazla açı ile hedef dokuya gönderilir. Bu şekilde aşırı saçılmaya neden olan düzensiz yüzeyli hedefin hemen her bölgesine yaklaşık dik açı ile ses demetinin isabet ettirilmesine ve düzgün bir yansıma sağlanmasına çalışılır. Oluşan görüntü genelde saçılmanın neden olduğu beneklenmeden kurtarılmış olur. Ancak akustik gölgelenme de ortadan kalkacağından tanı hataları olabilir. Bu nedenle konvensiyonel yöntemle birlikte kullanılmalıdır (19).

2.5 SONOELASTOGRAFİ FİZİĞİ

İnsan vücudundaki tüm dokular ele alındığında içermiş oldukları başka yapısal özelliklere rağmen (bazıları visköz-daha sıvı içerikli bazıları elastik-solid) hepsi viskoelastik bir yapıya sahiptir. Dışardan uygulanmış olan yüklenmelere de bu visköz ya da elastik özelliklerden hangisi daha ağır basıyor ise ona göre cevap vermektedirler. Özellikle visköz yapıya sahip olanlar vücut içerisinde dışardan uygulanan bası etkisini dağıtıp azaltmak gibi çeşitli fonksiyonlar için özelleşmişlerdir. Elastik olanların ise vereceği cevap sahip oldukları elastiklik katsayısı ile alakalı olarak değişmektedir. Yapısal olarak oldukça karmaşık olan bu biyolojik dokuların uygulanmış olan strese verecekleri cevabı kavrayabilmek için de mühendisler tarafından “elastiklik katsayısı” denilen ve strese verilen gerinim cevabını ifade eden bir eğri ile gösterilen yeni bir kavram geliştirilmiştir. Biçim değiştirmelerde, maddeyi oluşturan atom ve moleküllerin yer değiştirmeleri söz konusudur. Katılardaki esnek biçim değiştirmeler sırasında atomlar arası bağlar kopmaz, yeni bağ oluşmaz, atomlar arası uzaklık değişir (46).



Şekil 2.13. Farklı Biyolojik Karakterdeki Dokuların Gerinim/Stres Eğrileri (44. kaynaktan alınmıştır). Yukarıdaki iki grafikten (a) tamamen elastik, (b) viskoelastik bir yapının uygulanan strese verdikleri cevap gösterilmektedir. A’da doğrusal bir gerim artışı izlenirken viskoelastik doku uygulanan kuvveti, kuvvetin fazla olmadığı yerlere de dağıttığından doğrusal bir eğim izlenmemektedir (44).

Elastiklik katsayısı en doğru şekilde Young tarafından ifade edildiğinden günümüzde **Young’ın Katsayısı** olarak ta bilinmektedir. Genel olarak birim yüzeye uygulanan kuvvete *stres*, meydana getirdiği bağıl şekil değişikliğine *gerinim (strain)*, bu iki nicelik arasındaki orana **esneklik katsayısı** denir.

Burada katsayı değeri incelenen yapının şekil ve boyut özelliklerinden bağımsız olduğu için dokuların kendisinden çok fonksiyonel özellikleri hakkında bilgi vermekte ve elastiklik değerleri başka olan dokular arasında kıyaslama yapılmasına imkan sağlamaktadır. Dokuların bu başka biyolojik ve mekanik özellikleri elastografi denilen ve dokuların uygulanan strese verdikleri cevap farklarını oransal olarak gösteren yeni bir modalitenin doğmasına neden olmuştur.

Tablo 2.3. Bazı Maddelerin Young Modülleri (46. kaynaktan alınmıştır).

Madde	Young Modülü (N/m ²)x10 ⁹
Kemik	16
Cam	70
Çelik	200
İpek	6
Lastik	0.003

Başka bir söylemle; sabit bir cisme dışarıdan bir güç uygulandığında, malzeme üzerinde gerinim (strain) ve burkulmalar meydana gelir. Gerinim objenin dış güce karşı göstermiş olduğu karşı koyma çabası, burkulma ise objedeki iç yer değiştirme ve biçimsel bozulma olarak ifade edilebilir.

Üzerine kuvvet uygulanan materyalde meydana gelen gerinim:

Uygulanan kuvvet: F

Uygulanan alan: A ‘ise

Üzerinde oluşan gerinim;

Gerinim (r) : F / A ‘dan hesaplanır.

$$\frac{F}{A} = Y \frac{\Delta L}{L}$$

Burada ise

L: Boy

ΔL : İlk ve son boy arasındaki farkı

Y ise Young modülü olarak adlandırılır. Birimi N/m²’dir.

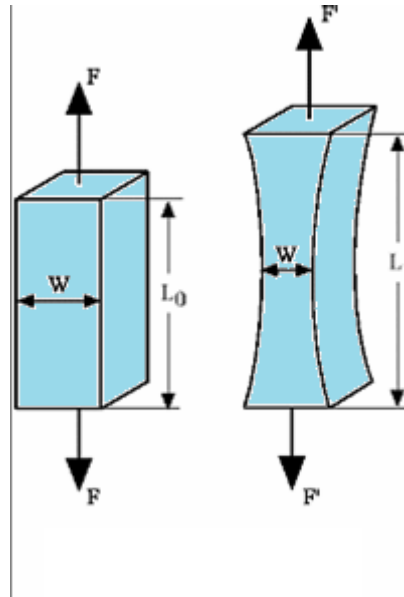
Burkulma ise, objeye uygulanan güç sonucu materyal boyutlarında meydana gelen biçim değiştirmesinin tüm etkilenen boydaki yüzdesel dağılımıdır. Burkulma miktarı, materyalin orijinal boyundaki değişimin, ilk boyuna bölümünden hesaplanır.

Burkulma (e) : $\Delta L / L$ 'dir.

Poisson Oranı: Blok biçimli bir madde bir doğrultuda F kuvveti yardımıyla uzatılırken, bu kuvvete dik doğrultularda sıkışmaya uğrar. Yükseklik (h) ve genişlikteki (w) bağlı değişmelerin ($\Delta h/h$ ve $\Delta v/v$), boyca değişme ile ilişkili olarak;

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta w}{w} = \sigma \frac{\Delta L}{L}$$

şeklinde yazılabileceği gösterilmiştir. Burada σ madde özelliğidir ve **Poisson oranı** olarak isimlendirilir.



Şekil 2.14. Poisson oranının şematik gösterimi (Bası etkisine verilen esneme ve boyca uzama cevabı)

Başka bir ifade ile Poisson gerilmesini bir cismin inceliip uzaması olarak ta tanımlayabiliriz. Bu tip gerilme uzamaya göre ters yönde negatif bir gerilme biçimidir. Boy artarken cismin çapı azalmaktadır.

Sıkışma Esnekliği

Her tarafından bir basınç altında sıkıştırılmaya çalışılan bir maddenin hacmi bağıl olarak azalır ve hacim zorlanması ($\Delta V/V$) basınçla orantılıdır:

$$P = B \frac{\Delta V}{V}$$

P: Basınç

V: Hacim

B: Sıkışma esnekliği modülü (*Bulk Modulus*)

Sıkışma esnekliği modülünün katılarda;

$$B = \frac{Y}{(1 - 2\sigma)}$$

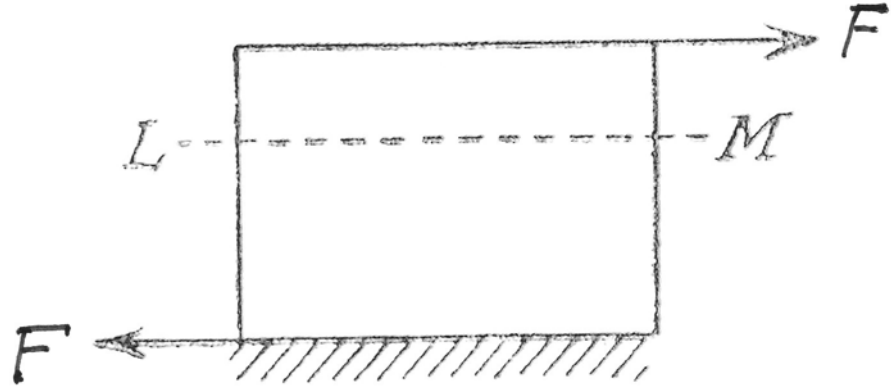
olduğu gösterilmiştir. Sıkışma esnekliği modülünün (B) tersine ortamın *sıkıştırılabilirliği* denir. Katı maddelerin esnekliği genellikle Y ve B cinsinden ifade edilir.

Katılarda, uzama ve sıkışma şeklindeki esnek şekil değişikliklerinden başka, *eğilme* ve *bükülme* esneklik şekil değişimleri de tanımlanabilmekte bunlara ait parametreler de Young modülü ve Poisson oranı cinsinden yazılabilmektedir (46).

Kayma Esnekliği

Katı cisimler üzerine birbirine paralel ancak zıt yönlerde olacak şekilde bir kuvvet uygulanırsa bu durum cismin iç yapısında farklı yer değiştirme hareketlerine

neden olacaktır. Kuvvet yönünde hareket meydana gelirken zıt yönde madde içi moleküllerde ters yönde bir kaymaya karşı durma (*shear stres*) ortaya çıkacaktır.



Şekil 2.15. Kuvvet yönünde meydana gelen kaymanın (shear stres) basit şematik görünümü

Kayma gerinimi (shear strain) ise;

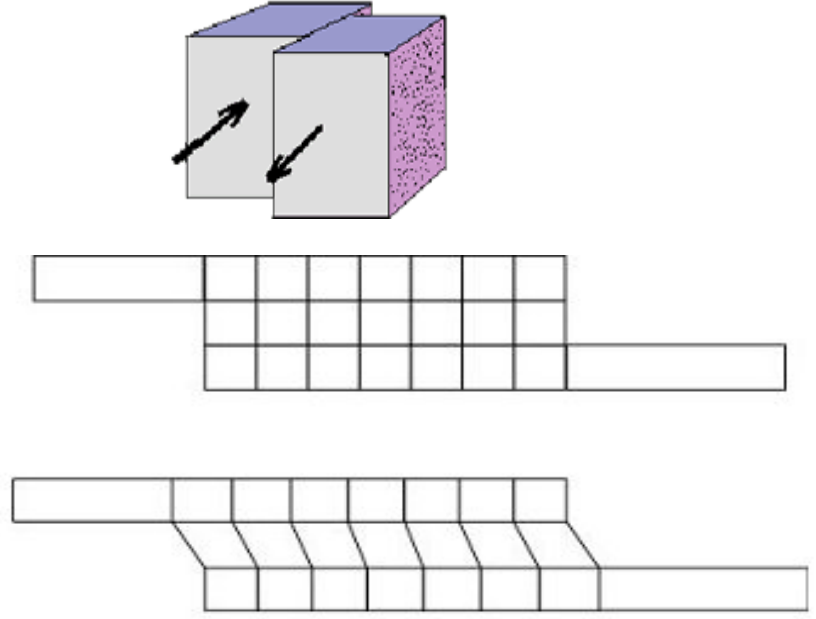
$$\theta = \frac{\delta}{L} = \frac{\sqrt{2} \Delta D}{L} = 2 \frac{\Delta D}{D}$$

şeklinde yazılmaktadır. Stres- gerinim ya da gerilim-gerinim (stress-strain) ilişkisi;

$\gamma = \mu \theta$ şeklinde yazılabilir ki *kayma modülü (shear modulus* bazen *katılık (rijitlik) katsayısı* da denir) μ ,

$$\mu = \frac{Y}{2(1 + \sigma)}$$

olarak ifade edilir.



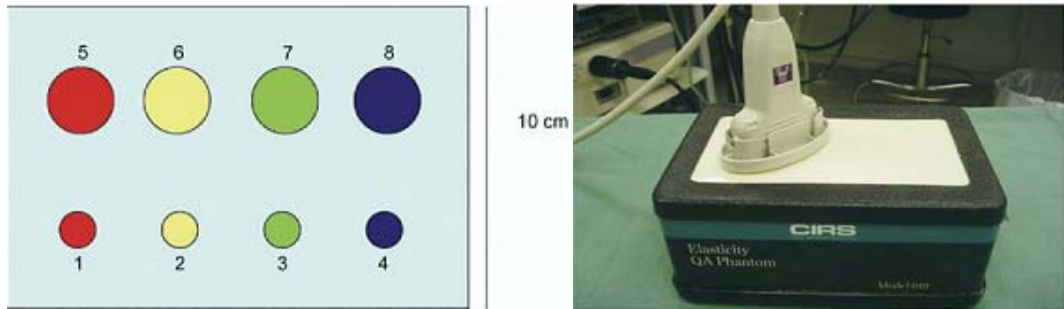
Şekil 2.16. Kuvvet yönünde meydana gelen kaymanın (shear stres) şematik görünümü

Elastografi doku üzerine uygulanan yineleyici bası etkisine dokuların sertlik özelliklerine göre verdikleri esneyebilme yanıtını ölçen ultrason tabanlı bir görüntüleme yöntemidir (47). Dokuların esneme miktarları arasındaki farkı saptayabilmek için belli bir kuvvet ile o doku üzerine dik bir şekilde ve sürekli olarak bası uygulanır ve dokular bu bası etkisine sertlik derecelerine göre cevap verirler. Sert dokularda esneme, gerim miktarı daha az iken daha yumuşak olan dokularda esneme miktarı daha fazladır. Dokuların bu başka gerim miktarlarını haritalayan metod elastogramdır.

İncelenen dokular arasındaki gerim başkalıkları B-mod inceleme üzerine bindirilmiş gerçek zamanlı tarayıcılar tarafından başka renkler ile kodlanmaktadır. Örneğin sarıdan kırmızıya doğru izlenen renkler yumuşak dokuları ifade ederken yeşil ve mavi sert dokuları kodlamaktadır. Sistemdeki teknolojik gelişmeler ile birlikte (bası altında aksiyel ve lateral gerim değerlerinin hesaplanabilmesi gibi)

artan uzaysal çözümleme gücü, artefaktların daha aza indirgenmesine ve yöntemin rutin pratikte de kullanıma girmesine olanak sağlamaktadır (44).

Havre ve Elde tarafından 2007 yılında 8 organ modeli (fantom) ile, elastografide incelenen yapıların saptanabilirliği ve bunları etkileyen etmenler üzerine çalışılmıştır. Çalışmada US ile iç ekojenitesi saptanabilir bir depo içine nispeten yüzeysel kesime (10mm. derinliğe) 10mm. çapında 4 adet, daha derin kısma (35mm derinliğe) 20mm. çapında 4 adet fantom yerleştirilmiş. Modeller için içeriğe ait katsayı değerleri kırmızı: 7 KPa, sarı: 15 KPa, yeşil: 39 KPa, mavi: 57 KPa ve hazne için değer: 30 KPa'dır. İçerik ve elastisite bakımında vücudumuzdaki yapılar ile benzer özelliklere sahip fantomların B-mod ve aynı anda diğer ekran yarısında B-mod üzerine çakıştırılan elastogramları oto-korelasyon yöntemi ile incelenerek elastogramlar değerlendirilmiş ve görüntü kalitesini etkileyen unsurlar saptanmaya çalışılmıştır (43).



Şekil 2.17. Fantomların özelliklerini şematik olarak gösteren, hazne içerisine yerleştirilen fantomlara prob ile nasıl bakıldığını ve bunun elastogramını gösterilmektedir. Şekil a'da (soldaki) Havre ve Elde tarafından yapılan çalışmadaki dokular ile benzer yapısal ve gerinim özellikleri sağlanmaya çalışılan modelleri, b'de modellerin içerisine yerleştirildiği hazneyi ve hazne üzerinden bakılan US cihazını göstermektedir

Elastografinin değerlendirilmesinde kullanılan önemli iki tanımlama bulunmaktadır (43).

Storage modul (içeriğe ait katsayı): Young katsayısının önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Doku ya da cisim üzerine uygulanan stresin oluşturduğu gerim miktarıdır. $\Delta = \text{Gerinim} / \text{stres}$ olarak ifade edilir ve dokunun elastikiyetini gösterir. Birimi KPa dır.

Elastik kontrast (EC): İncelenen doku ile içinde bulunduğu çevrenin katsayıları arasındaki farktır. Yapılan elastogramın kalitesi dokuların EC'leri arasındaki fark ile yakından ilişkilidir.

Sonoelastografi doku geriniminin dağılım haritası olarak adlandırılabilir. Gerinim basıya bağlı dokunun yer değiştirme oranıdır. Bu oran US cihazı ile Doppler yöntemi ya da radyo frekans dalgaları kullanarak ortaya konabilmektedir. İşlemci tarafından küçük pencerelere ayrılarak incelenen alana gönderilen ses dalgalarının bası öncesi ve sonrası değişimleri kendi pencere alanlarına göre çapraz ilinti (kros korelasyon) yöntemi ile kıyaslanarak yer değiştirme miktarı belirlenmektedir. Sonrasında ise bir kısım integral işlemi içeren matematiksel varsayımlarla dokunu tüm elastik özellikleri tahminen elde edilmektedir.

İlk ortaya çıkma prensibi meme, prostat, tiroid gibi palpasyon ile muayenenin çok önemli olduğu yüzeysel dokularda gri skalanın benzer ekojenite nedeni ile atladığı lezyonları saptamak olmuştur. Patolojinin normal dokuya göre daha sert olması ve dıştan uygulanan basınca daha az esneme ve yer değiştirme ile cevap vermesi prensibine dayanılarak geliştirilen yöntemle bu nedenle *dijital parmak* da denilmektedir. Zamanla tekniğinin geliştirilmesi ile birlikte tıpta kullanım alanı da iyi huylu-kötü huylu kitle ayırımından başka alanlara doğru genişleme göstermiş,

özellikle kas ve tendon yapıları gibi alanlardaki patolojilerin saptanması inceleme alanlarına katılmıştır.

Elastogramı Etkileyen Etmenler

Transdüser'in incelenen doku üzerindeki vibrasyon hızı :

Doku üzerinde gerimi sağlayabilmek için dokuya manuel olarak (free-hand), belli bir hız ile ve dokuya dik olacak şekilde basılar uygulanmalıdır. Kırk vuru/dk. dan başlanarak incelendiğinde, incelenen yapının hatları izlense bile elastogram yapılan her kareden sinyal alınamadığından elastografinin bu düzeyde devamsız olduğu görülmüştür. Altmış vuru/dk 'da sinyal daha devamlı olsa da görüntü kenarları güçlkle seçilebilmekte, 80 vuru/ dk. elastogramın her karesinden yeterli sinyal gelmeye başlamaktadır. Bu vuru değeri ve daha üzerinde olan vibrasyon hareketleri ile yapılan incelemelerde oldukça az bir bası uygulaması ile yeterli gerinim elde edilebilmektedir. İstenilen görüntü kalitesini 80-120 vuru/dk. 'nın sağladığı, özellikle 160 vuru/dk ve daha fazla olan vurularda ise görüntü kalitesinde yeniden düşme başladığı ifade edilmektedir. Ancak burada saptanan önemli noktalardan biri de yüzeysel dokulardan sağlanan gerimin aynı şekilde daha derin yerleşimli dokulardan da elde edilebilmesi için uygulanan bası etkisinin artırılması gerektiğidir. Burada ekranın sağ alt kısmında yer alan ve gerinim göstergesi denilen ve uygulanan stresin yeterli olup olmadığını gösteren parametre de yardımcı diğer bir etmendir. Bir ve 7 arasında değişebilen bu değerlerde optimal kalitede bir elastogram yapılabilmesi için işlem sırasında 3-5 arası bir değerin olması ideal olarak kabul edilmektedir (43).

İlgi alanı:

Elastografiyi yapmak istediğimiz alandır. Elastografi dokuların gerim kuvvetleri arasındaki oranı temsil ettiği için ilgi alanı içerisinde patolojik doku yanında çevre normal dokular da bulunmalıdır. En iyi görüntü kalitesini elde edebilmek için lezyon/incelenmek istenilen alan ilgi alanının merkezinde olacak şekilde yerleştirilmeli ve incelenmek istenen alanın en az %50 sini kaplamalıdır. %10-20 kapsama miktarı ile ilgi alanı olan dokudan çok daha derinde yerleşmiş dokuların gerim değerlerinden etkilenecek ve dağılım artefaktı ortaya çıkacaktır. İlgi alanı olan doku sertleştikçe gerim değeri ilgi alanının boyutlarından etkilenmemektedir (43).

Çerçeve hızı:

Oto-korelasyon için gönderilen sinyallerin hangi sıklıkla toplandığını ifade etmektedir. İlgi alanının genişlik ve derinliğine uygun değer seçilmelidir. Derin ve daha büyük örnekler için 6-13 frame/s, daha yüzeysel ve küçük dokular için 7-16 frame/s gibi değerler seçilmelidir. Çerçeve hızı görüntü kalitesini transdüserin hareket hızı ile birlikte etkilemektedir. Prob daha yavaş hareket ettirildiğinde gerçek zamanlı elastogram yapabilmek için daha düşük çerçeve değerleri kullanılmalıdır.

Elastografi dokuyu uyarma şekillerine ve dokuda meydana gelen gerimin ölçüm yöntemlerine göre 4 alt tipe ayrılmaktadır.

1-Kompresyon Elastografi

Statik ya da yarı-statik metod da denilmektedir. Dokular uyarılmaları sırasında düşük frekanslı (10 Hz ve daha küçük) bası (kompresyon) etkisine tabi tutulmaktadır. Kompresyon genelde manuel yöntemle gerçekleştirilmekle birlikte bazen soluma, kalp atımı gibi dokuların kendi doğal hareketlerinden de yararlanılabilir. Başlangıçta A-mod ve M-mod teknikleri arasındaki bağıntı kullanılarak aort pulsasyonlarının karaciğerde meydana getirdiği düşük hızlı hareketler ölçülmüş, meydana gelen yer değiştirme ise hızın zamanla olan integrali kullanılarak ölçülmeye çalışılmıştır. Ophir 1991 yılında dıştan bası yönteminden yararlanarak gerim alanındaki bileşke kuvvetini hesaplamış ve bu yöntemi elastografi olarak adlandırmıştır. Burada uygulanan kompresyonun her yerde eşit olduğu varsayılarak türetilen elastisite katsayısının ölçülen gerim ile ters orantılı olarak ilişkili olduğu saptanmıştır (yüksek katsayıya sahip dokularda daha az gerim meydana gelmektedir).

Değerlendirilen yapıların elastiklik katsayısı bakımından olan farklarının görsel olarak da değerlendirilebilmesi için renk kodlama sistemi kullanılmaktadır. Fazla sayıda örneklem yapılarak sinyal görüntü oranında artış sağlanmaya bu sayede de meydana gelen artefaktların da en aza indirgenmesine çalışılmıştır (45).

Bu yöntem meme, prostat, tiroid gibi dokularda tümör araştırılması, intravasküler plak karakterizasyonu ve tendinozisin değerlendirmesi amacı ile kullanılabilir. Bizim de çalışmamızda kullandığımız bu kompresyon elastografi yöntemidir.

2- Sonoelastografi

Bu yöntem 1987 yılında Krouskop tarafından bir yumuşak dokuda tek boyutlu (1-D) olarak belli bir noktanın mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi için ileri sürülmüştür. Bu yöntemde dışardan uygulanan düşük değerlerdeki frekansın etkisi Doppler yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Prostat tümörleri ve karaciğer hastalıkları bu yöntemle değerlendirilebilmektedir (43).

3- Transient Elastografi (Gelip Geçici Dalgalarla Uygulanan Elastografi)

Sonoelastografinin bir dezavantajı doku kenarlarında oluşup yansıyan dalgalar olduğu için sistem bu problemi aşmak amacı ile geliştirilmiştir. Yöntemde önden giden dalgaların yansıyanlarla karışmaması için puls dalgalar yani kısa sürelerle sürekli yinelenen vurular kullanılmaktadır. Yöntem karaciğer hastalıkları özellikle fibrozisin değerlendirilmesinde büyük umut vaat etmektedir. Ayrıca meme kitlelerinin ve tendon yapılarının değerlendirilmesinde de kullanılabilir (43).

4-Akustik Radyasyon Gücü ile Yapılan Elastografi

Yukarıda anlatılan üç sistemde kullanılan dışardan uyarım yöntemlerinin aksine burada doku içine yönlendirilmiş bir içten uyarım sistemi kullanılmaktadır. Özellikle kalp ve karaciğer gibi dokularda yapılan ablasyon yöntemlerinde kullanılabilir (43).

2.6 AŞİL TENDON ANATOMİSİ VE HASTALIKLARI

2.6.1 AŞİL'İN YUNAN MİTOLOJİSİ VE TARİHTEKİ YERİ

Aşil tendonu, insan vücudundaki en kalın ve en güçlü tendondur. Adını Trojan savaşının tarihi Yunan kahramanı olan Achilles'ten almaktadır. Achilles, peri kızı Thetis'in oğludur. Oğluna ölümsüzlük sihrini vermek isteyen annesi tarafından topuğundan tutularak tüm vücudu Styx nehrine batırılmış ancak ne yazık ki Trojan prensi Paris tarafından atılan, zehirli bir ok ile suya değmeyen tek yeri olan topuğundan vurularak öldürülmüştür.

Asil tendon yaralanmalarıyla ilgili ilk tanımlamalar Hipokrat tarafından yapılmıştır; Hipokrat "bu tendon, eğer ezilir veya yırtılırsa, akut ateş yapar, zihni bulandırır ve zamanla ölümü getirir" şeklinde bir ifade kullanmıştır. On altıncı yüzyılda Ambroise Pare, yırtılmış aşil tendonlarının şaraba ve baharata batırılmış bandajlarla sarılmasını tavsiye etmiş, fakat sonradan sonuçların yüz güldürücü olmadığını vurgulamıştır. On ikinci yüzyılda İtalyan cerrah Guglielmo di Faliceto, birbirinden ayrılmış olan tendon uçlarının birleşmeyeceğini belirtmiş ve operatif tedavinin gerekli olduğunu söylemiştir. On dokuzuncu yüzyılın sonlarında ise Gustave Palailon aşil tendon yırtıklarında tedavinin operatif olacağını savunmuştur. Tıp literatüründe aşil tendon yırtıklarının tedavisiyle ilgili, özellikle son otuz yılda yapılmış, çok sayıda çalışma bulunmaktadır, ancak buna rağmen tedavinin operatif ya da konservatif mi olacağı, hangi konservatif metodun en uygun olduğu konusundaki tartışmalar halen devam etmektedir (1).

2.6.2 AŞİL ANATOMİSİ

Aşil tendonu vücudun en güçlü ve büyük tendonudur. Bacağın arka yüzeysel kompartmanı içinde bulunur. Aşil tendonunu "Gastroknemius" ve "soleus" kaslarının tendinöz kısımlarının birleşmesiyle oluşur. Bu iki kas ve aşil tendonu ayak bileğinin en güçlü fleksörüdür. Arka yüzeysel kompartmanın diğer elemanı olan tibial sinir ve vasküler yapılar olan posterior tibial arter ve peroneal arter ile komşuluk eder. Bu vasküler yapılar tarafından direk ya da dalları ile dolaylı olarak beslenir.

Gastroknemius kası

İki başlı fuziform şekilli bir kastır. Daha kalın ve uzun olan iç başı popliteal bölgede femurun iç epikondili ile adduktor tüberkülden, daha kısa ve ince olan dış başı ise lateral epikondilden başlar. Gastroknemius kası arka grup kaslarının en yüzeyseli olduğundan baldır bölgesine tipik yuvarlak şeklini de bu kas verir. İç ve dış başlarının katılımı ile diz eklemi katedilir ve diz eklem kapsülünün arka komşuluğunda, popliteal bağın dış kısmında yer alır. Os fabella denilen sesamoid kemik yapı bulunduğu durumlarda gastroknemius kası dış başı içinde yerleşir (2).

Soleus kası

Gastroknemius kası derininde yerleşmiştir. Adını, düz ve yassı şekilli olması ile benzetildiği dil balığından almaktadır (2). Tibianın 1/3 iç kısmı, tibia-fibula arasındaki fibröz bant ve fibulanın arka yüzeyinden başlar. Parmak uçlarına basarak duran birinde Gastroknemius kasının her iki yanından palpe edilebilir.

Gastroknemius kasının iki başı ve bu kas birlikte “Triceps surae” denilen üç başlı yapıyı meydana getirirler. Triceps surae aşıl tendonu aracılığı ile ayak bileğine plantar fleksiyon yaptırmaktadır.

Plantaris kası

Küçük, ince ve işlevini kaybetmiş bir kastır. Popliteal bölgede dış epikondilden başlar ve tendonu diğer iki baldır kası ile birlikte ilerler ve ayak bileği düzeyinde aşıl tendonu ön komşuluğunda kalkaneusun iç kısmına tutunur. Greft amaçlı kullanılır.

Gastroknemius ve soleus kaslarının aşıl tendonuna katılım oranları değişkendir ve bu oranları yüzde olarak net bir şekilde ifade edebilmek zordur (2).

Aşıl tendon fibrilleri oluşumundan itibaren yoluna dik bir şekilde devam etmez. Gastroknemius ve soleus kas tendonları birleştikten sonra kıvrımlı bir yol izler ve kalkaneusa yapışmadan önce 90°lik bir açılanma oluştururlar. Gastroknemius tendon fibrilleri kalkaneusta arka dış kısma, soleus tendon fibrilleri arka iç kısma yapışır. Bu ayrışım tendonun daha uzun mesafe katetmesine ve daha distal kesimlere de yapışmaya ve bu sayede daha fazla plantar fleksiyona neden olur. Ayrıca bu anatomik yapı dinlenim halindeki tendonda daha az fibrilde büküntü oluşmasına, kasılma sırasında ise basınç altında kalan fibrillerde daha az deformasyona neden olmaktadır.

Kalkaneal yapışma noktası “entesis organ” olarak adlandırılan özelleşmiş bir alandır ve kas-tendon bileşke düzeyinden gelen yükü kemiğe dağıtır. Bu bölge tendonun distal ucuyla birlikte, bir hyalin kartilaj tabakası ve periost ile kaplı olmayan bir kemik parçasını ve Kager’in yağ yastıkçığı denen yapıyı içerir (2).

Tendon ile cilt arasında yer alan subkütan bursa, tendon ve çevre dokular arasındaki sürtünmeyi azaltır. Tendon ile kalkaneus arasında ise retrokalkaneal bursa bulunur. Retrokalkaneal bursa; ön duvarı fibrokartilaj dokudan oluşan, arka duvarı ise aşilin kendi epitenonunun oluşturduğu bir yapıdır. Kager'in yağ yastıkçığı hareketli bir oluşumdur. Plantar fleksiyon (aşıl tendonunun kasılması) sırasında retrokalkaneal bursaya doğru kayma gösterip dorsifleksiyonda (aşıl tendonunun gevşemesi) yine yerine döner. Bu mekanizmanın plantar fleksiyon sırasında retrokalkaneal bursada meydana gelebilecek negatif basıncı ve Aşıl tendonunda büküntü oluşması ile daha fazla yüklenme etkisini azalttığı düşünülmektedir. Yine retrokalkaneal bursa da bu hareketler sırasında benzer şekilde hareket eder ve aşıl tendonunun distal kesimini kalkaneusun posterioruna sürtünmekten korur. Ayrıca aşıl tendonu ile cilt arasında preaşıl bursa da bulunmaktadır. Ultrasonografi yardımı ile retrokalkaneal bursa görüntülenebilir ancak preaşıl bursa görüntülenememektedir (3).

2.6.3 AŞIL TENDONUNUN VASKÜLER BESLENMESİ

Aşıl tendon kanlanmasını, diğer tüm tendonlar gibi üç ayrı yerden kaynaklanan damarlardan sağlamaktadır. Bunlar muskületendinöz bileşke, çevre bağ dokusu, ve kemik-tendon bileşkesinden oluşmaktadır (2). Aşıl tendonunun kanlanması yaşla ilişkilidir; yaş ilerledikçe tendon kanlanması azalır.

Asıl besleyici arter **posterior tibial arter**in inen dalıdır ve bu damar temel olarak peritendinöz dokuları besler. **Peroneal arter** de posterior tibial arter ile anastomoz yapan dallar vererek beslenmeye katkı sağlar. Anterior tibial arterin beslenmeye katkısı bulunmamaktadır. Proksimal ve distal 1/3 lük tendon parçaları posterior tibial arterden gelen damarlarla zengin bir beslenmeye sahip olmasına

rağmen orta 1/3 lük kısım nisbeten hipovasküler olarak kalmakta ve asıl olarak peroneal arterden gelen damarlarla beslenmektedir. Aşıl tendon patolojilerinin yüksek oranda bu kısımda ortaya çıkmasının nedeninin hipovaskülarize bu alandan kaynaklandığı düşünülmektedir.

2.6.4 SİNİRSEL BESLENME

Aşıl tendonu innervasyonu, üzerini örten yüzeysel yapılar ve derinde bulunan kas planlarından sağlanır. Bu sinirsel dallar sural sinirin dallarıdır ve tibial sinir de az da olsa katkı sağlamaktadır. Sinir ağı kemik-tendon bileşkesinde yoğunlaşmıştır ve 4 tip sinir algılayıcısının yakın komşuluğunda yerleşmiştir. Bunlar; Tip 1 basınç algılayıcı Ruffini cisimciği, Tip 2 hareketi algılayıcı Vater-Pacinian cisimciği, Tip 3 mekanik etki algılayıcısı Golgi cisimciği ve Tip 4 ağrı duyusunu algılayan serbest sinir uçlarıdır (2).

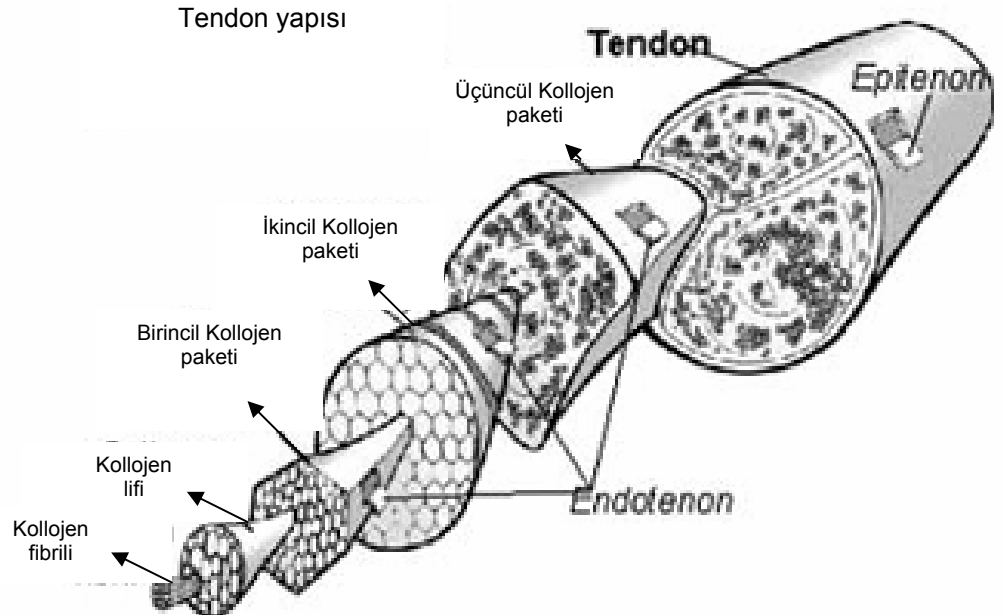
2.6.5 HİSTOLOJİK YAPISI

Tenositler (özelleşmiş fibroblastlar) ve tenoblastlar tendonun hücresel komponentinin %90-95'ini oluştururlar. Tenositler hücre dışı mesafenin hem fibriler, hem de fibriler olmayan (proteoglikan) elemanlarını üretir ve aynı zamanda da kollajen liflerini absorbe ederler. Tenosit ve tenoblastlardan geri kalan kısmı %5-10'luk bir oranla kan hücreleri, sinoviyal hücreler ve düz kas hücreleri oluşturur.

Bir tendonun kuru ağırlığında hücre dışı mesafenin %70'ini kollajen ve %2'lik az bir kısmını elastin oluşturur. Elastinin oran olarak azlığının belli bir amacı bulunmaktadır. Dinlenim halindeki bir tendonda %2'lik elastin miktarı tendona gereken gevşeyebilme özelliğini kazandırır ancak bu değerlerden daha

fazla miktarda elastin daha fazla elastikiyet yaratmadığı gibi kasılması gerektiği sırada da proksimalden gelen gücün kalkaneusa iletilmesinde zorluğa neden olur (2).

Kollajen fibrilleri birbirine paralel seyreden, kan ve lenfatik damarları ve sinirleri içeren, sıkıca paketlenmiş fasikül denilen yapıyı oluşturur. Her bir fasikül endotenon ile çevrilidir ve tüm yapı makroskopik olarak tendonu oluşturur. Endotenon kollajen fibrillerini birbirine bağlar, bu fibrilleri bir arada tutar ve tendona sinirsel, vasküler ve lenfatik drenaj sağlar. Tendon çevresi içte epitenon daha dışta paratenon ile çevrilidir. Paratenon ile epitenon arasında sürtünmeyi azaltarak tendon hareketine izin veren, ince bir sıvı tabakası bulunmaktadır. Paratenon gerçek sinoviyal bir kılıf değildir gevşek bağ dokudan oluşmaktadır (2).

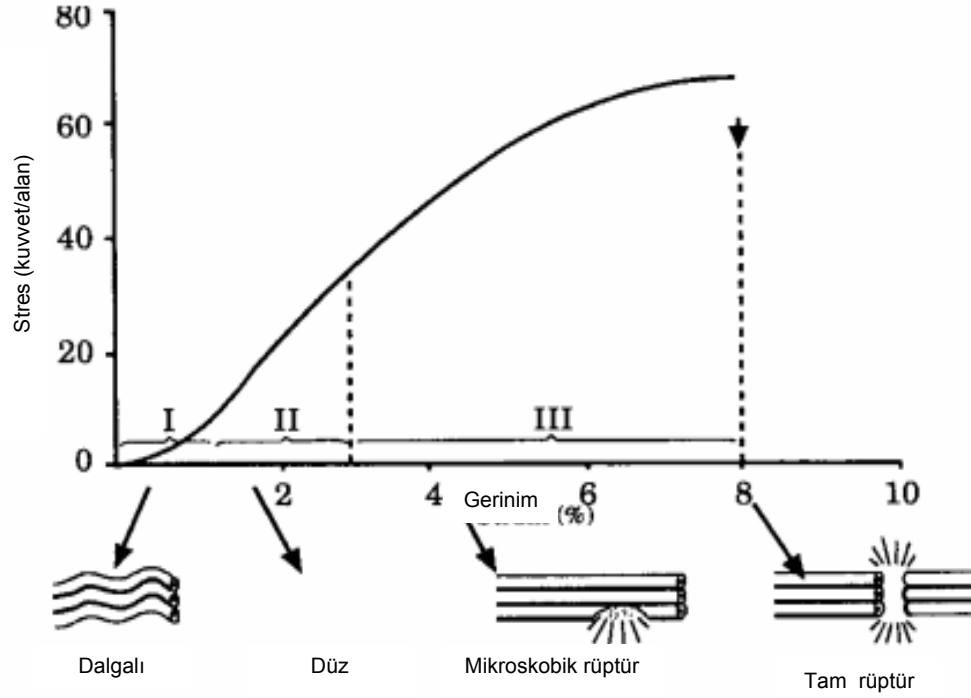


Şekil 2.18. Tendonun histolojik yapısının şematik gösterimi (2. kaynaktan alınıp türkçeleştirilmiştir)

Sağlıklı bir Aşil tendonunda kollajenin %90'ından fazlasını Tip 1 kollajen oluşturmaktadır. Ancak rüptürlerden ve tendon zedelenmelerine bağlı değişikliklerden sonra daha çok Tip 3 kollajen üretilir. Bu Tip 1 kollajenin aksine yüklenmelere karşı dirençli değildir ve özellikle tendinopatilerde rüptüre meyilli bir zemin hazırlar.

Aşil tendonu üzerine çeşitli aktiviteler sırasında farklı yükler binmekte olup bunlar yaklaşık olarak şu şekilde hesaplanmıştır. Pedal çevirme sırasında yaklaşık 1000N, yavaş yürüme ve koşma sırasında oluşan güçler sırasıyla 2,600N ve 9,000N şeklindedir. Saniyede 6m.koşma sırasında oluşan güç, vücut ağırlığının yaklaşık 10 katıdır.

İstirahat halindeki tendonlar, kollajen fibrillerinin kıvrılmasına bağlı olarak, dalgalı bir yapılanma kazanırlar. Bu dalgalı yapılanma, tendon %2 seviyesinde gerildiği zaman kaybolur; tendonun gerici kuvvetlere karşı ilk cevabı liflerin düzleşmesidir (37). Bu durum temel olarak kollajenin elastik özelliklerine bağlıdır ve "gerinim/stres (strain/ stres)" eğrisinin başlangıcını oluşturur. Eğrinin ikinci kısmında, kollajen lifleri deforme olur ve yüke doğrusal olarak cevap verirler; eğer tendondaki gerilme %4'den fazla değilse lifler orijinal yapılanmalarına geri dönerler. %4 ile %8 arasındaki gerilmelerde ise kollajen lifleri birbirleri üzerinde kayar ve çapraz bağlantılar arasında kopmalar başlar. Gerilme seviyesi %8'den fazla olduğunda ise, lifler gerici kuvvetlere karşı koyamadığından makroskopik kopmalar görülür (38).



Şekil 2.19. Tendon lifinin artan strese verdiği cevabın grafiksel görünümü. Şekilde tendonda strese bağlı meydana gelen gerimi göstermektedir. *Bölge 1*; %2' lik bir kuvvetten daha yüksek olan gerim kuvvetlerinden itibaren liflerdeki dalgali görünüm yerini düzleşmeye bırakmaktadır. *Bölge 2*'de tendon lifleri gerime doğrusal bie eğimle cevap vermektedir. *Bölge 3*'te lifler arasındaki çapraz bağlarda bozulmalar ortaya çıkmakta ve bu tendon lifleri arasında tek tük te olsa kopmalar olabileceğinin habercisi olmaktadır. Gerim, tendon liflerini %8 ve daha fazla kuvvette gerdiğinde ise *Bölge 4* te izlendiği gibi makroskopik rüptür meydana gelmektedir (2. kaynaktan alınıp türkçeleştirilmiştir).

2.6.6 NORMAL AŞIL TENDON US:

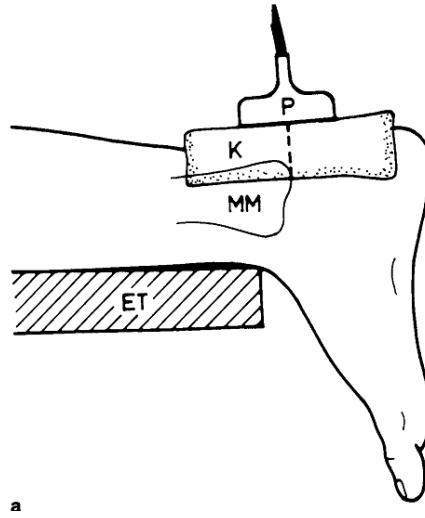
Normal bir tendon probdan giden ses dalgalarının tendon fibrilleri arasındaki kollajen yapı tarafından eşit miktarda geri yansıtılması nedeni ile uzun ya da kısa aks incelemede fibriller, kısa aks incelemelerde postero-anterior ve lateromedial olarak oblik seyirli, homojen iç ekojenitede bir yapı olarak izlenir. Peritendon denilen kılıf tendon anterior ve posterior kesimlerinde, homojen ve tendona göre daha ekoik lineer bir yapıdır. Tendon posteriorunda ekojen olarak izlenen yapı Kager'in yağ yastığıdır

Kısa aksta tendonun perifer kontürleri ses dalgalarının bu alana tam dik ulaşmaması nedeni ile silik olarak görüntüye yansır. İnceleme hangi aksta yapılıyor olunursa olunsun dikkat edilmesi gereken husus ses dalgalarının görüntülenene alana dik bir şekilde ulaşmasıdır. Non-ortogonal olan ses dalgaları tendonda anizotropi yaratarak tendinozis ya da yırtık benzeri hipoekoik alanlar oluşmasına(artefaktlara) neden olmaktadır.

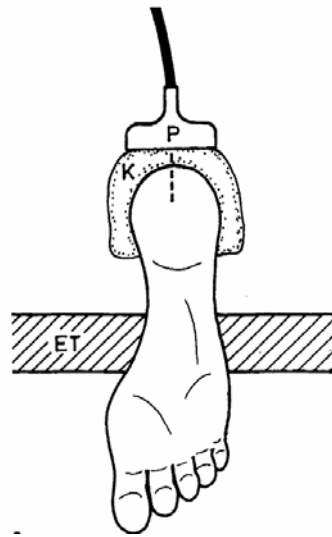
Anizotropi; tendonlar, bağlar, sinir demetleri gibi yüksek derecede organize dokularda incelenen alana gönderilen ses dalgalarının dokudan yansımalarının transdüser maksimum ulaşması için transdüser ile doku arasındaki açının önemini ve bu açı ile görüntü arasındaki ilişkiyi gösteren bir terimdir. İnsonasyon açısı tendona ne kadar dik ise transdüser dokudan geri yansıyan ses demeti miktarı da o kadar büyüktür ve bu da tendona tipik homojen, hiperekoik görünümünü oluşturmaktadır. Bunun dışındaki diğer derecelerde transdüser dönen ses miktarı ve dolayısı ile ekojenite miktarı azalır ve tendinozis ile karışabilecek artefaktlı görüntüler ortaya çıkar (8).

Aşıl tendon US incelemesi noninvaziv olması, her yerde kolaylıkla ulaşılabilir, yinelenabilir, ekonomik, duyarlı ve özgül olması nedeni ile tendon patolojilerinde dünya çapında ilk başvurulmuş görüntüleme yöntemidir. Cilt altında yüzeysel bir doku olması nedeni ile 5,0, 7,5 ya da 10 MHz gibi yüksek frekanslı transdüserler ile fibriller iç ekojenite özellikleri kolaylıkla ortaya konulabilmektedir. Tendonun kendi ve çevresindeki komşu yumuşak dokuların ekojenite özellikleri yanında patolojinin varlığı konusunda bilgi veren önemli bir özelliği de kısa ve uzun aksta

ölçülen boyutlarıdır. Aşil tendonu değerlendirilecek olan kişi muayene masasına yüzüstü yatar ve ayak bilekleri masadan aşağı rahat bir pozisyonda sarkar vaziyette durur. Aşil tendonu ile ilgili yapılan çalışmalarda hasta ayak bileği üzerine cilt ile trasdüser arasına çeşitli materyaller yerleştirilebilmektedir.



Şekil 2.20. Aşil tendonunun uzun aks US inceleme tekniğinde tendonunun, probun (P), cilt ile prob arasına konulmuş materyalin (K) durumu gösterilmektedir. MM; ölçümler arasında standardizasyonun sağlanması için medial melleol komşuluğundan ölçüm yapıldığını göstermektedir (33. kaynaktan alınmıştır).



Şekil 2.21. Aşil tendonunun kısa aks US inceleme tekniğinde tendonunun, probun (P), cilt ile prob arasına konulmuş materyalin (K) durumu gösterilmektedir (33. kaynaktan alınmıştır).

2.7 AŞIL TENDON PATOLOJİLERİ

Aşıl tendonu insan vücudunun en uzun ve en güçlü tendonu olması yanında en fazla hasarlanan bölgesidir. Aşıl tendon rahatsızlıkları futbol, basketbol oyuncularını gibi profesyonel olarak aktif spor yapanlarda aşırı yüklenme nedeni ile sık karşılan bir rahatsızlık olmakla birlikte, profesyonel olmayan genç ve orta yaşlı insanlarda da gerekli fiziksel ısınma hareketleri yapılmaksızın bir anda ani yüklenme sonrasında da ortaya çıkabilmektedir. Ayağın hiperpronasyona zorlanması özellikle de sporcularda belli bir hareket sınırı olan subtalar ekleminde zorlanmaya ve bu durumun sık yinelenmesi tendinopatiye zemin hazırlamaktadır.

Tartışma konusu olan diğer bir zemin hazırlayıcı unsur da kaslarda zayıflık ve dengesizliktir. Zayıf ve yorgun bir kas ve kas-tendon bileşkesi, enerjiyi yeterince absorbe edemeyeceğinden aşırı enerji tendon boyunca kalkanes insersiyosuna dek iletilecek ve tendon önemli bir korunma mekanizmasından mahrum kalacaktır (18).

Ayrıca yaşın ilerlemesi ile birlikte tendonun vasküler beslenmesindeki azalma, kollajen lifleri ve ara bağ dokuda ortaya çıkan değişiklikler, Romatoid artrit, sistemik inflamatuvar hastalıklar, kronik böbrek yetmezliği, tiroid patolojileri gibi başka sistemik rahatsızlıklar da tendonda dejenerasyona neden olur ve tendonun normal fibriller kollajen ve matriks düzeni bozulur Varus deformitesi gibi çeşitli şekil bozuklukları tendinopatilere zemin hazırlayan bir diğer unsurdur. Sonuç olarak kişi başta yol yürüme olmak üzere, yokuş tırmanma ya da yokuş aşağı inme işleri için fazla efor sarf etmeye başlar (16).

2.7.1 AKUT AŞIL TENDİNOPATİSİ

Akut olan aşırı egzersiz, akut kas güçsüzlüğü ya da travma sonucu meydana gelir. İnflamatuar hücre reaksiyonu, bölgesel dolaşımda azalma ve ödem gelişimine neden olur. Paratenon ile tendon arasında fibrin bir eksuda dolması ile birlikte krepitasyon gelişebilir (18). Bu aşamada ihmal edilir ya da yeterli tedavi edilmez ise inflammatuar hücrelerin oluşturduğu fibrin eksuda tendon-paratenon-krural faysa arasında yapışıklıklar ortaya çıkarabilir. Azalmış kanlanma ile birlikte bölgesel hipoksinin devamı, metabolik aktivite ve beslenmenin azalması tendonda hasarın kalıcı olmasına (tendinozise) neden olur. Bu süreçte üretilen serbest radikaller ve aşırı kullanımın neden olduğu hipertermi de dejenerasyona katkı sağlayan etmenlerdendir. Ancak, akut dönem hasar sırasında biopsi destekli çalışma bulunmadığından bunların hepsi tendon patolojisini akut dönemde açıklamaya çalışan teorilerden ibarettir.

Tendinozis yapısal dejenerasyonu histolojik ve görüntüsel olarak ifade eden bir terimdir. Yinelenen yüklenmeler, tendonda mikro hasarlara neden olur bu ise kollajen liflerinde dezorganizasyona, tenosit ölümüne, tenositlerde kondroid metaplazi gelişmesine, yapıda mukoid madde birikimine ve VEGF tetiklemesi ile birlikte anjioblastik proliferasyona ve neovaskülarizasyona neden olur (8). Ancak bu dönemde biopsi eşliğinde yapılan çalışmalarda ortamda inflammatuar hücreler ve bunlar tarafından üretilen ve enflamasyonu tetikleyen çeşitli maddelerin bulunmadığı gösterilmiştir.

Tendinit ise günümüzde yanlış kullanılmakta olan bir terimdir çünkü yapılan histopatolojik çalışmalar, kronik dönemde ortamda akut ya da kronik

enflamasyon hücrelerinin ya da bu hücreler tarafından üretilen enflamasyon maddelerinin bulunmadığını göstermiştir (8).

Tendinopati: tendonda ağrı, şişlik ve aktivitede kısıtlanmayı anlatan klinik bir terimdir.

Hastayı en çok rahatsız eden ve kliniğe en çok başvuru nedeni olan ağrının ise etiyojisi kesin olarak bilinmemekle birlikte kronik dejenerasyon zemininde ortaya çıkan henüz kesin olarak açıklanamamış zararlı bileşiklere bağlı olduğu düşünülmektedir (ortamda ağrı duyusunu uyaran glutamatın NMDA reseptörlerinde artış ve substance P'ye bağlı olduğu düşünülmektedir.)

2.7.2 HASARLI TENDONLARDA US

Akut hasarlanmalar ve rüptür genelde orta yaş erkeklerde sporla ilişkili travmalar sonrasında meydana gelir. Hasarlanan ya da kopan kısım sıklıkla kalkaneustan 2-6cm. proksimal yani 1/3 orta kesimdir. Bu durumlarda MR yüksek yumuşak doku çözünürlüğü, çok planda görüntü sağlayabilme özelliği ve çevre yumuşak doku ve kemik dokular hakkında da eş zamanlı bilgi vermesi nedeni ile önemli bir görüntüleme yöntemi ise de daha kolay ulaşılabilir olup her yerde bulunması, fiyat avantajı varlığı, yinelenebilmesi ve dinamik incelemeye olanak vermesi nedeni ile tendon patolojilerinde ilk planda başvurulması gereken görüntüleme yöntemi US dir. Ayrıca US ile parsiyel yırtığın ya da retraksiyon göstermeyen tendon uçlarının varlığı gösterilerek cerrah konservatif tedavi seçeneği açısından bilgilendirilebilir, Konservatif yaklaşılan hastalarda gelişen granülasyon dokusu, tendon uçlarının durumu ve tedavi cevabı da izlenebilir.

Sonografik olarak dejenere tendonda (tendinoziste) uzun aks incelemede fuziform kalınlaşma ve normal ekojenik fibriler yapının kaybına bağlı olarak bölgesel ya da yaygın hipoekojeniteler meydana gelir. Ancak sonografik olarak önemli noktalardan biri görüntünün kişiye bağımlı olmasıdır; transdüserle hakimiyet ve makine ayarlarının doğru şekilde düzenlenmesi tendonda gerçek ya da yalancı hipoekojenitelerin saptanmasında esastır. Tendon liflerinde devamlılığın kaybı, bölgesel şişme ve eşlik eden hipoekoik alanlar tendinozis için tipik US bulgularıdır.

Tendon kalınlığı 15mm.e kadar (ortalama 10mm.ve üzeri parsiyel rüptürü düşündürmektedir) artabilir ve kenar kontürleri normal tendondaki gibi keskin ekojen bir hat olarak izlenmez (17). İç yapısı tendondaki dejenerasyon sürecinin evresine (mukoid, hyalin, yağlı), iç yapıda meydana gelen nekroz alanlarının varlığına bağlı olarak hipo ya da daha ileri evrelerde ise mikro/makro kalsifikasyonların oluşması nedeni ile hiperekoik olabilmektedir. İstirahat halindeki bir kas-tendon bileşkesinde ve tendon içerisinde, anjiofibroblastik aktivite artışına bağlı oluşan neovaskülarizasyon yani hiperemi gösterilebilir ve kanlanma varlığının saptanması tendinozis ve genelde de hastanın ağrı yakınması ile birliktelik gösterir (14).

Tendon kılıfı içerisinde eser miktarda sıvı varlığı normal olarak kabul edilmektedir. Ancak kılıfta çevresel olarak sıvı varlığı ve buna tendon kılıfında kalınlaşmanın da eşlik etmesi *tenosinovit* lehine değerlendirilmektedir.

De Zordo ve arkadaşlarının yapmış olduğu benzer bir çalışmada da aşıl tendonu muskülotendinöz, orta (kalkaneus insersiyosundan itibaren 2-6 cm.

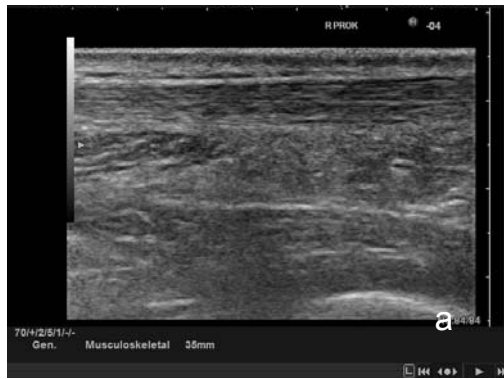
proksimal kesim) ve kalkaneal insersiyö bölgesi olmak üzere üç parçaya ayrılarak incelenmiş. Gri skala görüntüleri üç sınıfa ayrılmıştır (26).

Gri skala görüntüsüne göre :

Evre 1: Kenarları birbirine paralel seyreden, homojen ekojenitede *normal görünümlü tendon*

Evre 2: Kenarlarında bombeleşme meydana gelen, homojen ekojenitede *genişlemiş görünümlü tendon*

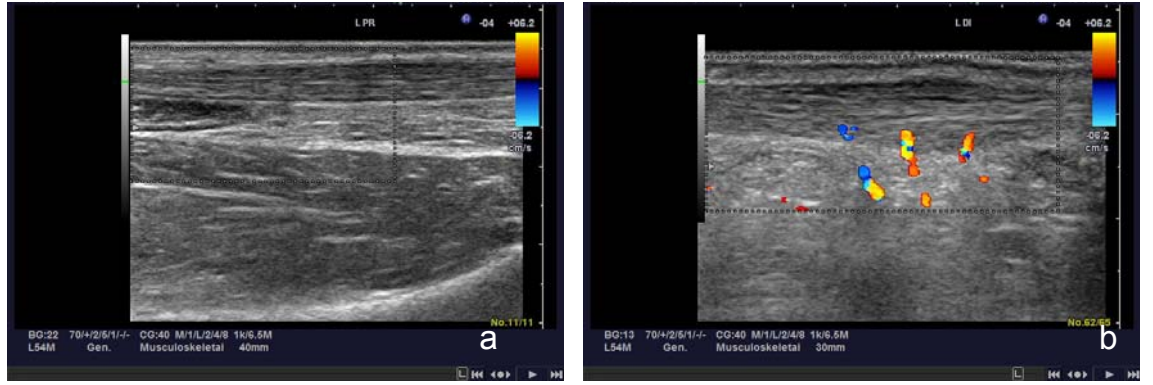
Evre 3: Kenarlarında genişlemenin eşlik ettiği/etmediği *hipoekoik alanlar içeren heterojen ekojenitedeki tendon*



Resim 2.1. (a) Homojen, paralel (b) Homojen,kenarlarda bombeleşme (c) hipoeoik alanlar içeren heterojen ekojenitedeki tendon

2.7.3 HASARLI TENDONLARDA RDUS

Malliaras ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada homojen ekojenitede ve paralel seyirli (normal) tendonlarda vaskülarizasyon hiç saptanmazken bombeleşmiş şekilli ve özellikle de daha fazla miktarda olmak üzere heterojen ekojeniteli tendon grubunda neovaskülarizasyona ait kanlanma odaklarının varlığı saptanmıştır (13).



Resim 2.2. RDUS görüntülerinde (a) aşil tendonu proksimal kesiminde kanlanma saptanmazken, (b) orta kesiminde tendonda kanlanma odakları izlenmektedir.

Boesen ve arkadaşları tarafından sağlıklı ve tendinozisli hasta gruplarında, aktivitenin kanlanmaya olan etkisini ve bunun RDUS inceleme ile gösterilmesini saptamak üzerine yapılan çalışmada; iki gruptan da koşabildikleri kadar hızlı şekilde 5km. mesafe koşmaları istenmiş, koşu sonunda iki grubun da aşil tendonları RDUS ile değerlendirilmiştir (14). Bu çalışmaya göre tendinozisli olgularda koşu sonrasında kanlanmada belirgin artış olduğu izlenmiştir. Bunun yanında sağlıklı grupta da aktivite sonrasında tendon kanlanmasında bir miktar

artış olduğu dikkati çekmiştir. Bu bireylerde kanlanma artışına eşlik eden herhangi bir yakınmanın olmaması nedeni ile durum aktiviteye gösterilen fizyolojik bir cevap olarak değerlendirilmiştir.

2.7.4 HASARLI TENDONLARDA SONOELASTOGRAFİ

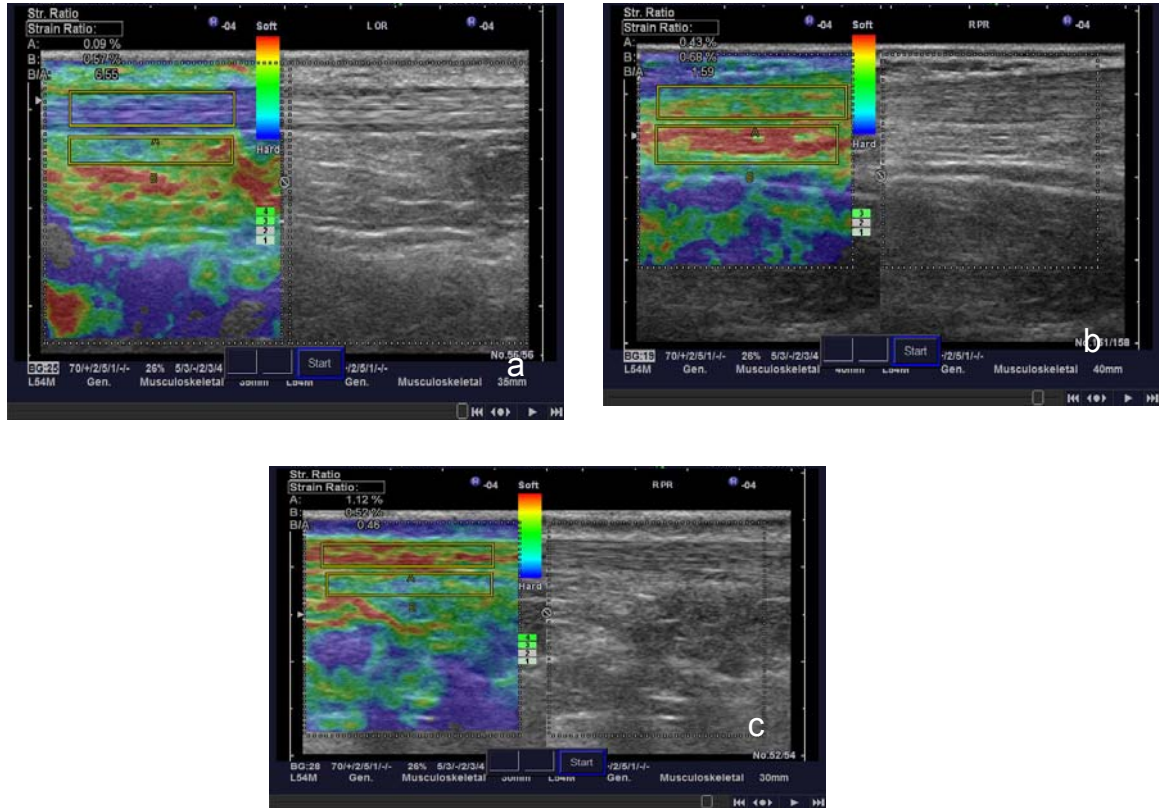
Gerçek zamanlı elastografi, dokuda meydana gelen, dokunun doğal esneklik özelliğini değiştiren patolojik durumları ortaya koymayı amaçlayan US tabanlı bir görüntüleme yöntemidir. Rutinde kullanılan konvensiyonel B-mod US ile korele edildiğinde meydana gelen değişiklik hakkında yüksek doğruluk oranı ile bilgi verebilmekte ve halen üzerinde yapılan çalışmalar ile gelişmesine devam etmektedir. Sonoelastografi mekanik uyarı öncesi ve sonrasında dokuda meydana gelen sonografik sinyal değişikliğini ölçmekte olup, başarısı dokuların vibrasyon etkisine vermiş oldukları başka tepkileri ayırt edebilme yeteneğine dayanmaktadır. Palpasyon yöntemi ile elastik bir dokuya uyguladığımız sabit bir basıncın doku üzerindeki esneme etkisine sezgisel olarak karar verilirken, sonoelastografi ile aynı basınca dokunun ve içinde var olan patolojik bölgenin verdiği esneyebilme cevapları oransal olarak karşılaştırılabilmektedir (42). De Zordo ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada aşıl tendonu muskületendinöz, orta (kalkaneus insersiyosundan itibaren 2-6 cm. proksimal kesim) ve kalkaneal insersiyos bölgesi olmak üzere üç parçaya ayrılarak incelenmiş ve elastografi görüntülerini 3 sınıfa ayırmışlardır (26).

Gerçek Zamanlı Sonoelastografi Görüntüsüne Göre :

Tip 1: Sert dokular; mavi-yeşil renk ile kodlananlar

Tip 2: Orta sertlikteki dokular ; yeşil-sarı renk ile kodlananlar (yer yer kırmızı çizgilenmeler izlenmektedir.)

Tip 3: Yumuşak dokular; kırmızı çizgilenmelerin belirgin artmış olduğu dokular
(26)



Resim 2.3. GZS görüntülerinde (a) mavi-yeşil renk kodlu Tip 1 sert doku, (b) yeşil renk kodlu dokuda yer yer kırmızı çizgiler Tip 2, (c) çok sayıda kırmızı çizgilerin izlendiği Tip 3 yumuşak doku.

2.7.5 AKUT AŞİL TENDON RÜPTÜRÜ

Tendonu oluşturan ve birbirine paralel seyreden fibrillerde bölgesel bir alanda ya da tam kat boyunca devam eden bütünlük kaybı ve kopmuş tendon uçlarında kalınlık artışı ile karakterize bir durumdur. Rüptüre olan tendon uçlarının US görüntüsü hasarın yaşı ile ilişkilidir ve akut dönemde tendon uçlarında hematoma meydana gelir. Zaman geçtikçe ve hematoma rezorbe oldukça bunun yerini önce granülasyon daha sonra da skar dokusu alır.

Tam kat rüptür olduktan sonra tendon uçları birbirleri ile çeşitli şekillerde ilişki içinde bulunabilirler. Uçlar birbiri üzerine binebilir, end-to-end, end-to-side, side-to-side komşulukları gösterebilirler (34).

2.7.6 AKUT AŞİL TENDON RÜPTÜRÜNDE US

Rüptür , US ya da MRG ile ortaya konabilen, tendon liflerinde dorsal, ventral, lateral ya da medial yüzlerde parsiyel şekilde ya da liflerin seyri boyunca tam kat devamsızlığa neden olan bir patolojidir. Retraksiyon eşlik edebilir ya da etmeyebilir. Rüptüre tendon parçaları arasında kalan mesafe kan, Kager'in yağ yastıkçığı, hematoma ya da skar dokusu tarafından doldurulur. Tipik olarak rüptüre olan tendon uçları tendondaki yoğun dejeneratif değişiklikleri gösterir şekilde kalınlaşmış ve heterojen ekojenik bir hal almıştır.

Parsiyel rüptürde US bulguları tendinit ile benzerlik gösterdiğinden ayırıcı tanı için tamamlayıcı olarak MR yöntemine ihtiyaç duyulabilir.

Tam kat rüptürde birbiri üzerine binen uçlar US'de oblik seyreden, ekojen bir hat olarak izlenebilir. Rüptüre olan uçlar birbiri üzerine binebilir, end-to-end,

end-to-side, side-to-side komşulukları gösterebilirler. Akut tam kat rüptürde kopan uçlardan örneğin proksimal ya da distali birbiri ile yakın komşulukta iken karşı taraf araya giren hematoma nedeni ile ayrık gözükabilir. End-to-side ilişkide distal uç yukarı ya da aşağı doğru bir kıvrım yapar ve proksimali uç kısmı ile ilişkili bir hale gelir. Daha karmaşık bir yırtık çeşididir ve genelde komşuluğunda hematoma eşlik eder. Hematom da önceleri homojen, hiperekoik bir alan olarak izlense de likefiye oldukça şekli ve ekojenitesi değişkenlik gösterir (34).

Bazen yırtılan uçların ayrık ya da üst üste çakışmış olduğu izlenir ve ortamda görülen tendonun yırtık uçları mı hematoma mı olduğu gri skala US ile ayırt edilemez. Bu gibi durumlarda RDUS' nin eklenmesi fayda sağlamaktadır, çünkü akut hematoma kanlanma göstermezken, yırtık tendon uçlarında kanlanma izlenir (34).

Hasarın üzerinden 3-5 gün geçmesi ile birlikte ekojen hematoma alanı rezorbe olur ve yerini neovaskülarizasyon süreci ile ortaya çıkan granülasyon dokusu alır. Haftalar sonra ise rüptür lokalizasyonundaki bu doku yırtık tendon uçlarından tamamen ayrılır. Bu iyileşme sürecinin bir göstergesidir. Yalnızca gri skala incelemesi ekojenik hematoma ekojenik granülasyon dokusundan ayırt edemez.

Tedavi olarak cerrahi ya da konservatif seçenekler mevcut olup cerrahi konservatif seçeneğe yönlendirmede radyoloğun vermesi gereken önemli kararlardan biri peritenonun intakt (sağlam) olup olmadığına US'de karar vermektir. Çünkü peritenon yırtılmışsa cilt ile tendon arasında da yapışıklıklar ortaya çıkabilir ve bu da cerrahi gerektiren bir durumdur. Normal bir peritenon

tendonun ekojen fibrillerini her iki taraftan saran ve US’de daha ekojen, düzgün, lineer bir hat olarak devam eden bir yapıdır ve hasarlandığı durumlarda normalin aksine devamlılığının izlenebilmesi kolay olmamaktadır. Ancak rüptüre olduğunu düşündüğümüz bölgede tendonun dış kısmında eşlik eden hematomun bulunmaması bize peritenonun intakt olduğuna dair bir fikir verir (34).

2.7.7 KRONİK AŞİL TENDİNOPATİSİ VE HİSTOPATOLOJİK DEĞİŞİKLİKLER

Histopatolojik olarak aşil tendinopatisinde meydana gelen değişiklikler intratendinöz ve peritendinöz olarak iki kısımda değerlendirilebilir ve genelde birbirlerine eşlik ederler.

Peritendinöz Değişiklikler

Kronik aşil tendinopatisinde makroskopik olarak tendon çevresi dokularda kalınlaşma gözlenirken; histopatolojik olarak fibröz eksuda, geniş bir alana yayılmış olarak izlenen fibroblast proliferasyonu ve yeni bağ doku oluşumu ile çevre yapılar arasında yapışıklıklar meydana gelmektedir (18).

Kronik süreçte ortamda fibroblast ve bu hücrelerden daha sonra değişikliğe uğrayarak gelişen myofibroblastlar bulunmaktadır. Myofibroblastlar stoplazmaları içinde içerdikleri aktin komponenti ile çevre dokuda meydana gelen büzüşmeden (kontraktür) sorumludur. Kontraktür, çevre vasküler yapılarda da organizasyon bozukluğuna ve vasküler sirkülasyonun azalmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak bir kaskat meydana gelmekte ve kronik zeminde tendon

çevresindeki dejenerasyonu sürekli devam ettirmekte, bu da tendonda iç basıncın artmasına tendon-paratenon-krural faysa arasında sürtünmeyi artırmaktadır (18).

Intratendinöz Değişiklikler

Kronik süreçte tendonda, ara sıra meydana gelen palpabl nodüller haricinde makroskopik olarak sınırları çizilebilir belirgin değişiklikler gözlenmese de histolojik olarak % 90 oranında dejeneratif değişiklikler saptanır (18). Bunlar:

- 1) Hipoksik dejenerasyon
- 2) Hyalin dejenerasyon
- 3) Mukoid ya da miksoid dejenerasyon
- 4) Fibrinoid dejenerasyon
- 5) Yağlı dejenerasyon
- 6) Kalsifikasyon
- 7) Fibrokartilajinöz ya da osseöz metaplazi

Bu değişikliklerin çoğu tendonda etkilenen bölgede eş zamanlı ve birbirine komşu olarak bulunur. Özellikle dejeneratif tendon rüptürlerinde hipoksik dejenerasyon % 75 ve üzerinde bir oranla meydana gelmektedir (18).

Etkilenen bölgede tenositlerin düzenlenmesinde ve aktivitesinde önemli farklar bulunmaktadır. Bazı bölgelerde artmış aktivite ile çok sayıda tenosit bulunurken bazı bölgeler hücreden yoksundur. Bağ dokuda da değişiklikler izlenmektedir. Mukoid materyal düzensiz yerleşim gösteren kollajen lifleri arasına birikerek lifleri birbirinden ayırmakta ve rüptüre zemin hazırlamaktadır. Dejenere olan ve mukoid materyal tarafından itilip sıkışan kollajen lifleri üzerinde

kalsifikasyon ya da lipid materyal birikimi de (tendolipomatozis) izlenebilmektedir (18).

Dejenerasyon sürecinin önemli özelliklerinden biri de bölgede gelişen yeni kapiller ve arteriollere bağlı hipervaskülarizasyonun meydana gelmesidir. Yeni gelişen damarlarla birlikte bölgeye daha çok makrofaj ve fibroblast göçü olur. Tüm bunların varlığı iyileşme sürecinin başladığının bir göstergesi olmakla birlikte bu süreç her zaman kusursuz iyileşme ile sonuçlanmayıp granülasyon dokusu ve ardından da skar dokusu bırakarak tamamlanabilir.

Histopatolojik olarak izlenen bu değişikliklerin hemen tamamı dejenerasyona bağlı meydana gelen rüptürde de benzer şekilde izlenmektedir.

Tanı öncelikle hastanın yakınmalarının dinlenmesi ile konulur. Hastayı hekime getiren ana yakınma olan ağrı tendon hasarının erken dönemlerinde zorlayıcı hareketlerden sonra şeklinde tariflenirken daha geç dönemlerde her türlü aktivite hatta dinlenim sırasında da olarak anlatılmaktadır.

Erken dönemde fizik muayenede etkilenen bölgede şişme, ısı artışı, kas-tendon bileşkesi düzeyinde kontür düzensizlikleri, palpasyonda hassasiyet ve bazen de krepitasyon hissedilebilir. Bu dönemde hasta ayak bileğinde instabilite ve tendon patolojisine zemin hazırlayıcı unsurlar yönünden de incelenmelidir. Kronik dönemde ise akut dönemdeki bulgular gerilemiştir. Tendon üzerinde hassasiyet ve bazen de ayağın dorsi-plantar fleksiyonu ile birlikte hareket eden nodüller saptanabilir.

2.7.8 KRONİK AŞİL TENDİNOPATİSİ NDE US

Tendondaki dejeneratif zemin, oksijen basıncında azalmaya sebep olarak hipoksi yarattığında bu durum ortamda Hidroksiapatit kristallerinin birikmesine neden olabilmektedir. Bu kristaller US'deyoğunluğuna bağlı olarak posteriorda akustik gölgelenme yapan/yapmayan ekojenik alanlar olarak izlenirler.

Tendonda kronik dejeneratif zeminde meydana gelen değişikliklerden biri olan nodüler tendinitte palpasyon bulgusu varlığı önemli bir özelliktir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 ÇALIŞMA KAPSAMI

Çalışmamız Nisan-Ağustos 2010 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya Ortopedi, Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Bölümlerine ayak bileği ve aşıl tendonuna ait bölgesel çeşitli yakınmalarla başvuran 21 semptomatik hasta ve herhangi bir yakınması olmayan 20 gönüllü dahil edilmiştir. Çalışma daha önceden ayak bileği ile ilgili ağrılı bir atak öyküsü bulunmayan, operasyon ya da girişimsel işlem öyküsü, bunların yanında yüksek kolesterol, romatoid artrit ya da aşıl tendon rahatsızlığına zemin hazırlayabilecek her hangi bir metabolik ya da endokrin rahatsızlığı olmayan, çeşitli sebeplerle steroid ya da östrojen tedavisi almayan 41 hasta-gönüllü grubu ile gerçekleştirilmiştir. Tüm olgulara işlem öncesinde yapılacak inceleme anlatılarak yazılı gönüllü onam formları alınmıştır. Bu çalışma Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır.

3.2 ÇALIŞMA METODU

İnceleme yarı karanlık US odasında, hasta-gönüllüler US masasına pron şekilde yatar ve ayaklarını masada serbest şekilde sallandırır pozisyonda, gerçek zamanlı elastografi yazılımı bulunan dijital ultrasonografi cihazı (Hitachi EUB 7500) ile 13–8 MHz lineer transduser kullanılarak tek radyolog tarafından gerçekleştirilmiştir. Tüm aşıl tendonları kalkaneal insersiyö bölgesi (distal), insersiyö bölgesinden 2-6cm proksimal kesim (orta) ve kas-tendon bileşke düzeyi (proksimal) olmak üzere üç kısma ayrılmıştır. Tariflenen üç ayrı alan sağ ve sol

ayaktaki her iki tendon için B-mod, Doppler US ve Gerçek Zamanlı Sonoelastografi yöntemleri ile ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

B-modda yapılan incelemelerde tendon kalınlıkları, kenar kontüründeki paralellik ya da bombeleşme olup olmadığı ve iç ekojenitesi değerlendirildi. Gri skala görüntüsüne göre aşıl tendon yapısı De Zordo ve arkadaşlarının yapmış olduğu sınıflamaya göre üç gruba ayrıldı (26).

Evre 1: Kenarları birbirine paralel seyreden, homojen ekojenitede *normal görünümlü tendon*

Evre 2: Kenarlarında bombeleşme meydana gelen, homojen ekojenitede *genişlemiş görünümlü tendon*

Evre 3: Kenarlarında genişlemenin eşlik ettiği ya da etmediği *hipoekoik alanlar içeren heterojen ekojenitedeki tendon*

Doppler incelemede kanlanma bulunan her hangi bir alanın olup olmadığı incelendi.

GZS yöntemi, ilgili bölge üzerine vibrasyon sağlayıcı herhangi bir aracı cihaz kullanılmadan, manuel olarak sürekli hafif kompresyonlar uygulanarak yapılmıştır. Ayrıca işlem sırasında doku ile prob arasına, teması artırmak için ayrı bir ped konulmamış bu amaç için US jeli kullanılmıştır. Kompresyon yapıldığı sırada ekranda değerlendirilen bölgenin B-mod ve B-mod üzerine süperpoze elastogram görüntüleri yan yana değerlendirilmiştir. Değerlendirilen bölge üzerinde optimal gerim ve yer değiştirmenin hesaplanabilmesi için yapılan kompresyonların yeterli olup olmadığına elastogram ekranı sağ alt köşesinde bulunan ve birden altıya kadar numaralandırılmış olan göstergeler aracılığı ile

karar verilmiştir. Bilgisayarın optimal gerimi hesaplaması için üç ve üzerindeki rakamların gösterdiği kompresyon görüntüleri incelemeye dahil edilmiş ve kaydedilmiştir. Elastogramlar elde olunduktan sonra “ilgi alanı” yardımıyla değerlendirilen her tendon parçası için kısa ve uzun aks incelemede gerinim indeksi (strain index-SI) denilen kompresyona bağlı dokuda meydana gelen ortalama yapısal esneme/yer değiştirmeyi gösteren değer hesaplandı. Bu değer tendon için olan esneme/yer değiştirme miktarı (B), tendon posteriorundaki Kager’in yağ yastıkçığının esneme/yer değiştirme miktarına (A) oranlanarak ($SI=B/A$) bulundu. Burada uzun aks elastogramlarda kullanılan “ilgi alanı” literatürde yapılan çalışma ile benzer şekilde 3-5mm. eninde, 15-17mm. boyunda olan bir dikdörtgen, kısa aks incelemelerde ise ortalama 4-5mm çapa sahip bir elips şeklinde idi (22).

Aşıl tendonunun her segmenti için kısa ve uzun aks görüntülerde en az 3'er kez bu değer ölçüldü ve kaydedildi. Olguların görüntüleri ile birlikte demografik bilgileri de kaydedildi.

Literatürde bu konu ile ilgili yapılan son çalışmalardan da yararlanılarak tendon GZS incelemede yapısına göre 3 grupta sınıflandırıldı. Buna göre

GZS'de tendon mavi-yeşil renkte ve hiç kırmızı renkte çizgilenme içermiyor ise *sert* (Tip 1, normal), içerisinde hafif kırmızı çizgilenmeler içeriyor ise *orta sertlikte* (Tip 2, normal) ve kırmızı çizgilenmeler miktar olarak fazla ise *yumuşak* tendon (Tip 3, patolojik) olarak değerlendirildi (26).

Alınan tüm görüntüler daha sonra elastografi alanında tecrübe sahibi ve hastaların klinik bulgularını bilmeyen iki radyolog tarafından kör olarak değerlendirildi ve evreleme görüş birliği ile yapıldı.

3.3 İSTATİKSEL ANALİZ

Verilerin analizi SPSS for Windows 11,5 paket programında yapıldı. Tanımlayıcı istatistikler sürekli değişkenler için ortalama $\pm$ standart sapma olarak kategorik değişkenler ise olgu sayısı ve (%) olarak gösterildi.

Yakınması olan ve olmayan grupları ayırt etmede demografik özelliklerin anlamlı etkilerinin olup olmadığı tek değişkenli lojistik regresyon analizi ile değerlendirildi. Her bir değişkene ait odds oranı ve %95 güven aralıkları hesaplandı.

Yakınması olan ve olmayan olguları birbirinden ayırt etmede tetkiklerin istatistiksel olarak anlamlı belirleyiciliğinin olup olmadığı Pearson'un Ki-Kare veya Fisher'in Kesin Sonuçlu Ki-Kare testi ile değerlendirildi. Her bir tetkik için duyarlılık, seçicilik, pozitif ve negatif tahmini değerler ve tanısal doğruluk düzeyleri hesaplandı. Tetkikler arasında pozitif ve negatif tahmini değerler yönünden farkın önemliliği ise McNemar testiyle incelendi.

Yakınması olan ve olmayan olguları birbirinden ayırt etmede tetkiklerin ikili etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı belirleyiciliğinin olup olmadığı ise Çoklu Değişkenli Lojistik Regresyon Analizi ile araştırıldı.

Proksimal ve orta segmentte elastografiye göre patolojik olan olguları patolojik olmayanlardan ayırt etmede gerinim indeksi etkili olup olmadığı ROC eğrisi altında kalan alan hesaplanarak değerlendirildi. Eğri altında kalan alanın

önemli bulunması halinde gerinim indeksine ilişkin en iyi kesim noktası Youden İndeks kullanılarak saptandı. Ayrıca, bu noktaya ilişkin duyarlılık, özgüllük, pozitif ve negatif öngörü değerleri ve tanısal doğruluk düzeyleri hesaplandı. $p<0.05$ değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

4. BULGULAR

Çalışmamıza 21 (%51,2) semptomatik, 20 (%48,8) sağlıklı gönüllü olgu dahil edildi. Semptomatik 21 olgunun 11'i kadın (%52,4), 10'u erkek(%47,6) ve yaş ortalaması $48,19 \pm 16,9$ idi. 20 sağlıklı gönüllünün 9'u kadın (%45), 11'i erkek (%55) ve yaş ortalaması $(33,45 \pm 8,5,9)$ idi. Toplam 41 olgunun 21'i erkek (%51,2), 20'si kadın (%48,8) idi. Tek taraflı semptomu bulunan olgularda sağlam taraf kontrol grubuna katıldı. Toplam 55 sağlam, 27 patolojik tendon değerlendirildi. Kırk bir olguda toplam 82 aşıl tendonu ve her tendonun proksimal, orta, distal olmak üzere 3 segmenti (toplam 246 segment) değerlendirildi. Yakınması olmayan 55 aşıl tendonunda ortalama çap $4,4 \pm 0,57$, yakınması olan 27 aşıl tendonunda ortalama çap $4,6 \pm 1,14$ olarak saptanmıştır.

Tablo 4.1. Yakınması Olan ve Olmayan Olguların Yaş Özellikleri

Değişkenler	YakınmaYok 20 (%48,8)	Yakınma Var 21 (%51,2)	<i>p</i> değeri	Odds Oranı (%95 GA)
Yaş	$33,45 \pm 8,5$	$48,19 \pm 16,9$	0,004	1,092 (1,028-1,161)

GA: Güven Aralığı

Tablo 4.1. de Yakınma varlığı ile yaş arasındaki ilişkinin istatistiksel analizi değerlendirilmiştir. Yaş artışı ile yakınma varlığı arasında istatistiksel anlamlılık ($p < 0,05$) saptanmıştır.

Tablo 4.2. Yakınması Olan ve Olmayan Olguların BMI Özellikleri

Değişkenler	YakınmaYok 20 (%48,8)	Yakınma Var 21 (%51,2)	<i>p</i> değeri	Odds Oranı (%95 GA)
Beden Kitle İndeksi	25,9±3,3	25,9±4,1	0,957	1,005 (0,849- 1,188)

GA: Güven Aralığı

Tablo 4.2. de yakınma varlığı ile BMI (Beden kitle indeksi), arasındaki ilişkinin istatistiksel analizi değerlendirilmiş olup istatistiksel anlamlılık ($p>0,05$) saptanmamıştır.

Tablo 4.3. Yakınması Olan ve Olmayan Olguların Aşıl Çap Ortalamaları

Değişkenler	Yakınma Yok 55 (%67)	Yakınma Var 27(%33)	<i>p</i> değeri	Odds Oranı (%95 GA)
Aşıl Çapı	4,4±0,57	4,6±1,14	0,375	1,253 (0,762- 2,061)

GA: Güven Aralığı

Tablo 4.3. de yakınma varlığı ile Aşıl çapları, arasındaki ilişkinin istatistiksel analizi değerlendirilmiştir. Semptomatik 27 Aşıl tendonu (%33) ve asemptomatik 55 Aşıl tendonunda (%67) arasında çapları bakımından istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmamıştır ($p>0.05$).

Tablo 4.4. Tüm Segmentlerde Tetkiklere Göre Yakınma Varlığı ve Yokluğunda Toplam Bulguların Dağılımı

Bulgular	Yakınma	
	Yok (n, %)	Var(n, %)
GRİ SKALA		
Evre I	159 (%96,4)	59 (%72,8)
Evre II	6 (% 3,6)	16 (%19,8)
Evre III	0	6 (%7,4)
DOPPLER		
Kanlanma yok	165 (%100)	72 (%88,9)
Kanlanma var	0	9 (%11,1)
ELASTOGRAFİ		
Tip I	136 (%82,4)	45(%55,6)
Tip II	26(%15,8)	12(%14,8)
Tip III	3(%1,8)	24(%29,6)
Toplam	165 (%100)	81 (%100)

Tablo 4.4’de 41 hastanın toplam 246 aşıl tendon segmentinde gri skala, Doppler ve GZS bulguları yakınma varlığı ve yokluğunda sayısal olarak verilmektedir. Tablo 3.5’te de görüldüğü gibi gri skala incelemesinde 218 (%88,6) segmentte evre 1, 22 (%8,9) segmentte evre 2, 6 (%2,4) segmentte evre 3 tendon yapısı saptanmıştır. RDUS’de 237 (%96,3) segmentte kanlanma saptanmazken 9 (%3,7) segmentte kanlanma saptanmıştır. GZS incelemesine göre ise 181 (%73,6) segmentte Tip 1, 38 (%15,4) segmentte Tip 2, 27 (%11) segmentte ise Tip 3 tendon yapısı saptanmıştır.

Tablo 4.5. GZS Bulgularının Segmentlere ve Yakınma Varlığına Göre Dağılımı

Tetkikler	Bulgular	Yakınma	
		Yok (n, %)	Var(n, %)
ELASTOGRAFİ	PROKSİMAL		
	Tip I	52 (%94,5)	20 (%74,1)
	Tip II	3 (%5,5)	3 (%11,1)
	Tip III	0	4 (%14,8)
	ORTA		
	Tip I	45 (%81,8)	13 (%48,1)
	Tip II	10 (%18,2)	5 (%18,5)
	Tip III	0	9 (%33,3)
	DİSTAL		
	Tip I	39 (%70,9)	12 (%44,4)
	Tip II	13 (%23,6)	4 (%14,8)
	Tip III	3 (%5,5)	11 (%40,7)

Tablo 4.6. Doppler Bulgularının Segmentlere ve Yakınma Varlığına Göre Dağılımı

Tetkikler	Bulgular	Yakınma	
		Yok(n, %)	Var(n, %)
DOPPLER	PROKSİMAL		
	Kanlanma yok	55 (%100)	27 (%100)
	Kanlanma var	0	0
	ORTA		
	Kanlanma yok	55(%100)	23(%85,2)
	Kanlanma var	0	4(%100)
	DİSTAL		
	Kanlanma yok	55(%100)	22(%81,5)
	Kanlanma var	0	5(%18,5)

Tablo 4.7. Gri Skala Bulgularının Segmentlere ve Yakınma Varlığına Göre Dağılımı

Tetkikler	Bulgular	Yakınma	
		Yok (n, %)	Var(n, %)
GRI SKALA	PROKSİMAL		
	Evre 1	55 (%100)	25(%92,6)
	Evre 2	0	2 (%7,4)
	Evre 3	0	0
	ORTA		
	Evre 1	42 (%94,5)	18 (%66,7)
	Evre 2	3 (%5,5)	7 (%25,9)
	Evre 3	0	2 (%7,4)
	DİSTAL		
	Evre 1	52 (%94,5)	16 (%59,3)
	Evre 2	3 (%5,5)	7 (%25,9)
	Evre 3	0	4 (%14,8)

Tablo 4.5, 4.6, 4.7 de aşı tendon segmentlerinin (proksimal, orta, distal) ayrı ayrı gri skala, Doppler ve GZS evre, kanlanma ve tiplerine göre dağılımı yakınma varlığı ve yokluğunda verilmiştir.

Tablo 4.8. Değerlendirilen 82 Aşıl Tendonunda Elastografi, Gri Skala ve Doppler Bulgularının Yakınma Varlığı ve Yokluğunda Dağılımı

Tetkikler	Bulgular	Yakınma	
		Yok (n, %)	Var(n, %)
ELASTOGRAFİ			
	Tip 1	37 (%67,2)	9(%33,3)
	Tip 2	15 (%27,3)	4(%14,8)
	Tip 3	3 (%5,5)	14(%51,9)
GRI SKALA			
	Evre 1	50 (%90,9)	13(%48,1)
	Evre 2	5 (%9,1)	9(%33,3)
	Evre 3	0	5(%18,6)
DOPPLER			
	Kanlanma Yok	55(%100)	20(%74)
	Kanlanma Var	0	7(%26)
TOPLAM		55 (%100)	27 (%100)

Tablo 4.8 da da izlendiği gibi yakınması olmayan 55 aşıl tendonunun **GZS incelemesine göre**; 37'sinde (%67,2) Tip 1, 15'inde (%27,3) Tip 2, 3'ünde (%5,5) Tip 3, **gri skala incelemesine göre** 50 aşıl tendonu (%90,9) evre 1, 5 aşıl tendonu (%9,1) evre 2 olarak sınıflandırılırken yakınma yokluğunda evre 3 tendon yapısı hiç saptanmamıştır. Ayrıca **Doppler incelemesine göre** yakınması olmayan 55 Aşıl tendonunun (%100) hiçbirinde kanlanma saptanmamıştır.

Yakınması olan 27 aşıl tendonunda ise **GZS incelemesine göre**; 9 Aşıl tendonunda (%33,3) Tip 1, 4 Aşıl tendonunda (%14,8) Tip 2, 14 Aşıl tendonunda (%51,9) Tip 3, **gri skala incelemesine göre** 13 Aşıl tendonunda (%48,1) evre 1, 9 Aşıl tendonunda (%33,3) evre 2 , 5 Aşıl tendonunda ise (%18,6) evre 3 tendon yapısı saptanmıştır. **Doppler incelemesine göre de** 20 Aşıl tendonunda (%74) kanlanma saptanmaz iken, 7 Aşıl tendonunda (%26) kanlanma izlenmiştir.

Tablo 4.9. Hastanın Yakınmasının Olup Olmadığını Öngörmeye Tetkiklerin

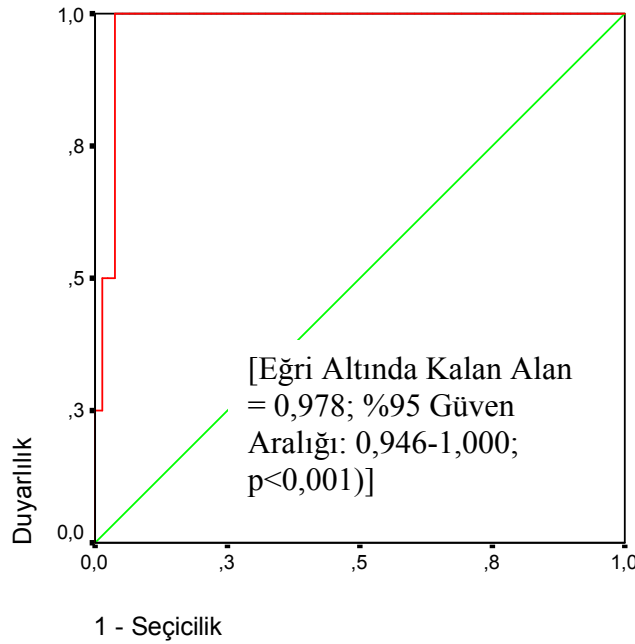
Performans Düzeyleri

Göstergeler	Duyarlılık	Özgüllük	PÖD	NÖD	Doğruluk	p değeri
Tanımlar	GP/(GP+YN)	GN/(GN+YP)	GP/(GP+YP)	GN/(YN+GN)	(GP+GN)/(N)	
Elastografi						
Proksimal	4/27 (%14,8)	55/55 (%100)	4/4 (%100)	55/78 (%70,5)	59/82 (%72,0)	0,010
Orta	9/27 (%33,3)	55/55 (%100)	9/9 (%100)	55/73 (%75,3)	64/82 (%78,0)	<0,001
Distal	11/27 (%40,7)	52/55 (%94,5)	11/14 (%78,6)	52/68 (%76,5)	63/82 (%76,8)	<0,001
Toplam	24/81 (%29,6)	162/165 (%98,2)	24/27 (%88,9)	162/219 (%74,0)	186/246 (%75,6)	<0,001
Genel	14/27 (%51,9)	52/55 (%94,5)	14/17 (%82,4)	52/65 (%80,0)	66/82 (%80,5)	<0,001
Doppler						
Proksimal	0/27 (%0)	55/55 (%100)	-	55/82 (%67,1)	55/82 (%67,1)	-
Orta	4/27 (%14,8)	55/55 (%100)	4/4 (%100)	55/78 (%70,5)	59/82 (%72,0)	0,010
Distal	5/27 (%18,5)	55/55 (%100)	5/5 (%100)	55/77 (%71,4)	60/82 (%73,2)	0,003
Toplam	9/81 (%11,1)	165/165 (%100)	9/9 (%100)	165/237 (%69,6)	174/246 (%70,7)	<0,001
Genel	7/27 (%25,9)	55/55 (%100)	7/7 (%100)	55/75 (%73,3)	62/82 (%75,6)	<0,001
Gri skala						
Proksimal	2/27 (%7,4)	55/55 (%100)	2/2 (%100)	55/80 (%68,8)	57/82 (%69,5)	0,106
Orta	9/27 (%33,3)	52/55 (%94,5)	9/12 (%75,0)	52/70 (%74,3)	61/82 (%74,4)	0,002
Distal	11/27 (%40,7)	52/55 (%94,5)	11/14 (%78,6)	52/68 (%76,5)	63/82 (%76,8)	<0,001
Toplam	22/81 (%27,2)	159/165 (%96,4)	22/28 (%78,6)	159/218 (%72,9)	181/246 (%73,6)	<0,001
Genel	14/27 (%51,9)	50/55 (%90,9)	14/19 (%73,7)	50/63 (%79,4)	64/82 (%78,0)	<0,001

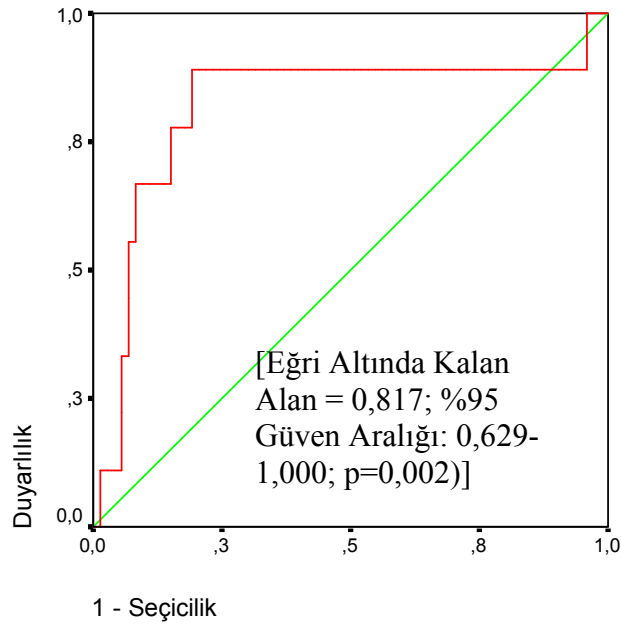
GP: Gerçek Pozitif, YN: Yalancı Negatif, GN: Gerçek Negatif, YP: Yalancı Pozitif, Pozitif

Öngörü değeri (PÖD) Negatif Öngörü Değeri (NÖD)

Tablo 4.9’ da çalışmaya dahil olan hasta ve gönüllülerde yakınma varlığı ile gri skala, Doppler, GZS’nin her tendon ve bir tendonun 3 ayrı segmenti için ayrı ayrı olarak tanısal performans oranları karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Tabloda da görüldüğü gibi 82 aşıl tendonunda GZS incelemesi için duyarlılık %51,9, özgüllük %94,5, PÖD %82,4, NÖD %80 doğruluk %80,5 olarak hesaplanmıştır. Gri skala inceleme için duyarlılık %51,9, özgüllük %90,9, PÖD %73,7, NÖD %79,4 ve doğruluk %78 olarak hesaplanmıştır. Doppler incelemesi için ise duyarlılık %25,9, özgüllük %100, PÖD %100, NÖD %73,3, doğruluk %75,6 olarak izlenmektedir.



Grafik 4.1. Proksimalde Elastografi Sonucunun Patoloji Olup Olmadığını Öngörmeye Gerinim İndeksine Ait ROC Eğrisi



Grafik 4.2. Orta Segmentte Elastografi Sonucunun Patoloji Olup Olmadığını Öngörmede Gerinim İndeksine Ait ROC Eğrisi

Tablo 4.10. Farklı Segmentlerde Elastografinin Patoloji Olup Olmamasını Öngörmede Gerinim İndeksi Performansının İncelenmesi

Göstergeler	Cut-off	Olgu Sayısı	Duyarlılık	Özgüllük	PÖD	NÖD	Doğruluk
Tanımlar		N	GP/(GP+YN)	GN/(GN+YP)	GP/(GP+YP)	GN/(YN+GN)	(GP+GN)/(N)
Proksimal	1,3	82	4/4 (%100)	75/78 (%96,2)	4/7 (%57,1)	75/75 (%100)	79/82 (%96,3)
Orta	1,4	82	8/9 (%88,9)	59/73 (%80,8)	8/22 (%36,4)	59/60 (%98,3)	67/82 (%81,7)

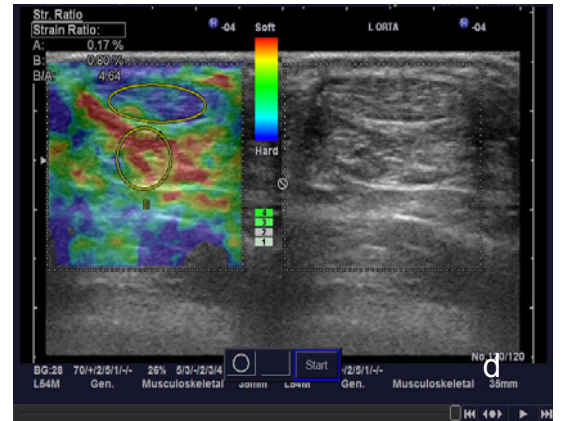
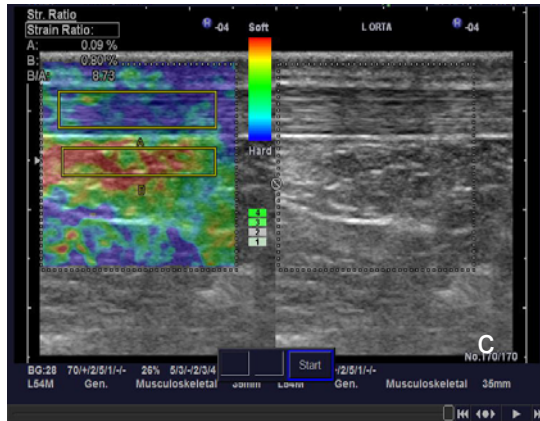
GP: Gerçek Pozitif, YN: Yalancı Negatif, GN: Gerçek Negatif, YP: Yalancı Pozitif, PÖD: Pozitif

Öngörü Değeri, NÖD: Negatif Öngörü Değeri

Tablo 4.10’de 82 aşıl tendonunda orta segmentte 1,4 olarak saptanan eşik değer için duyarlılık %88,9, özgüllük %80,8, PÖD %36,4, NÖD %98,3 doğruluk %81,7 olarak bulunmuştur.

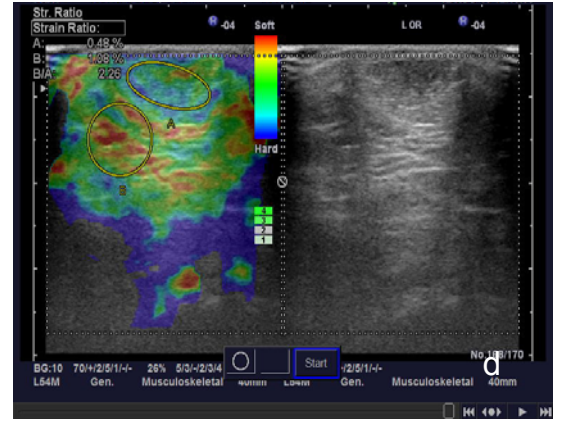
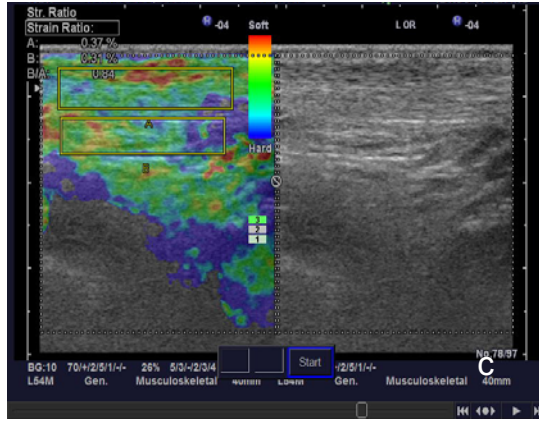
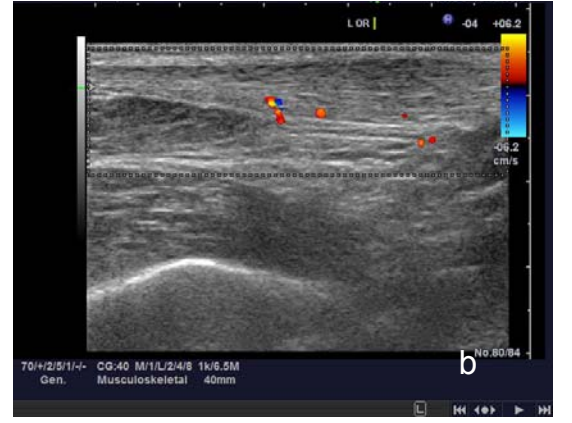
4.1. OLGU ÖRNEKLERİ

OLGU 1: Herhangi bir klinik yakınması olmayan 26 yaşındaki, haftada 3 gün futbol oynayan erkek hastada sol aşil tendonu orta kesimden alınan Gri Skala, Doppler ve GZS görüntüleri sunulmuştur.



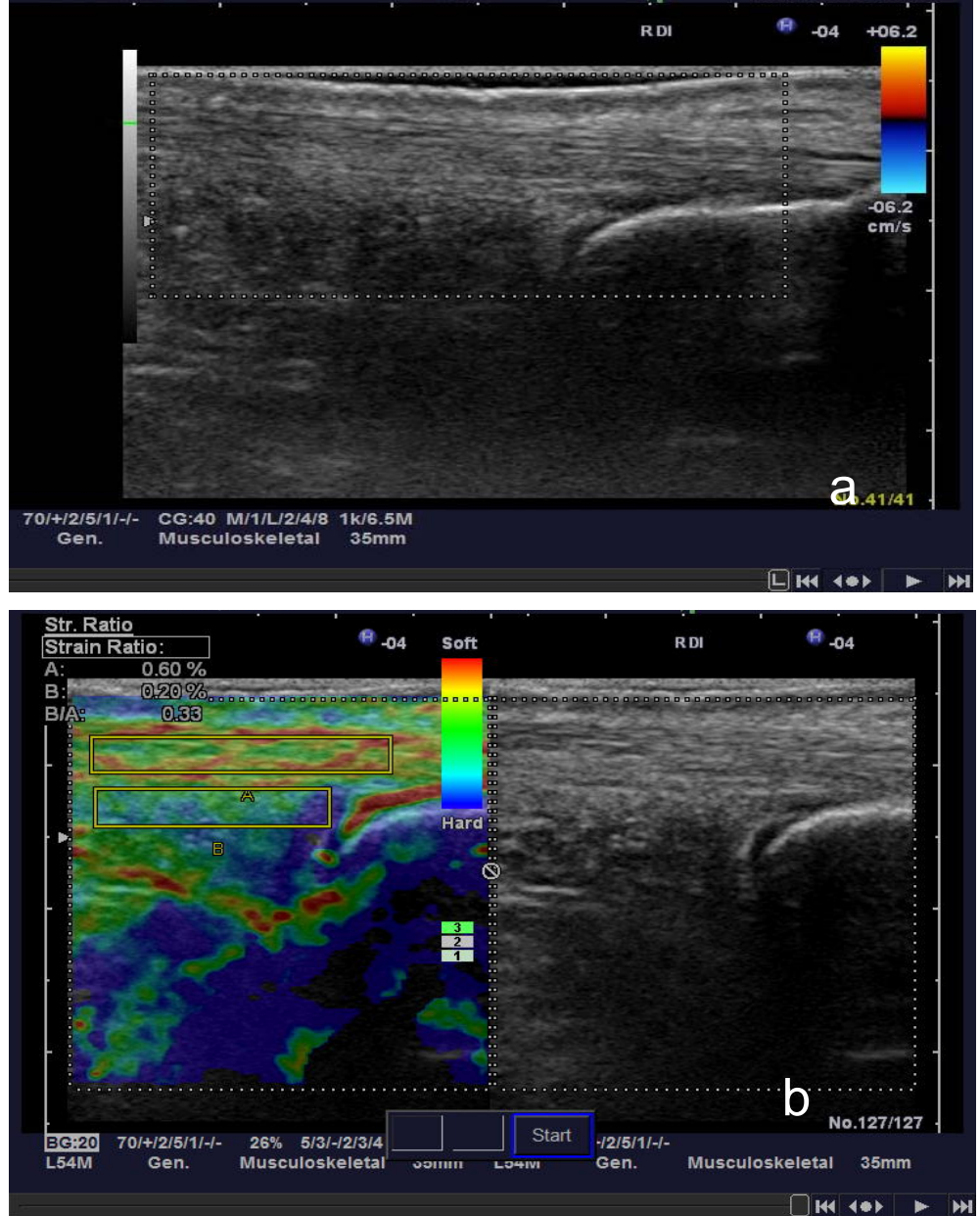
Resim 4.1.1. (a) Gri skala incelemesine göre evre 1, (b) Doppler incelemede herhangi bir alanda kanlanma göstermeyen (c,d) GZS'ye göre Tip 1 olarak sınıflandırılan olgu normal sınırlarda değerlendirilmiştir.

OLGU 2: Sol ayak bileğinde yaklaşık 3 aydır süren ve hareketle artan ağrı yakınması bulunan 31 yaşında, sedanter bir kadın olguda sol Aşil tendonu orta kesime ait gri skala, Doppler ve GZS görüntüleri sunulmuştur.



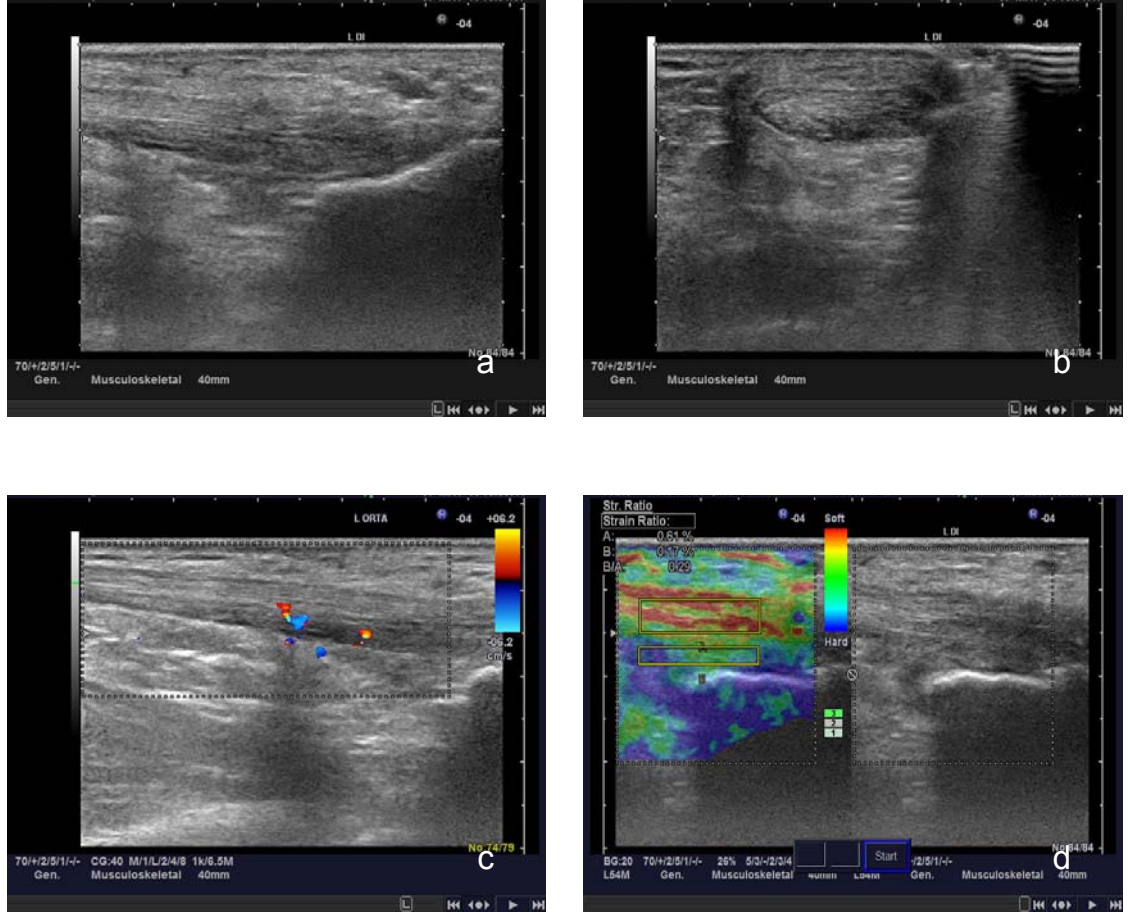
Resim 4.1.2. (a) Gri skala incelemesine göre konturda bomnbeleşme ve tendonda heterojenite izlenen olgu evre 3 olarak değerlendirildi. (b) Doppler incelemede yakınma olan bölgede özellikle posterior kesimlerde noktasal kanlanma alanları mevcut idi (c,d). Olgu GZS' e göre Tip 2 olarak sınıflandırıldı. Tendinozis olarak değerlendirdiğimiz olgu istirahat ve NSAİ ilaçla izlendi ve tedaviden fayda gördü.

OLGU 3: Sağ ayak bileğine 2 gün önce darbe alan hareketlerden bağımsız ağrısı olan 35 yaşında erkek hastada gri skala, Doppler ve GZS görüntüleri uzun aks incelemede sunulmuştur.



Resim 4.1.3.(a) Gri skala incelemesine göre evre 2, (b) GZS'ye göre Tip 3 olarak sınıflandırılmış olgu istirahat tedavisinden fayda görmüştür.

OLGU 4: Sol ayağına travma öyküsü ile acil servise başvuran 55 yaşında erkek hastanın travma sonrası gri skala, Doppler ve GZS görüntüleri sunulmuştur.



Resim 4.1.4. (a,b) Gri skala incelemesine göre evre 3 olarak değerlendirilen hastada cilt-cilt altı yumuşak doku kalınlığı artmış ve ödemli görünüm izlenmektedir. (c) Doppler incelemede yakınması olan bölgede özellikle posterior kesimlerde noktasal kanlanma alanları izlendi (d). GZS'ye göre Tip 3 olarak sınıflandırılan olgu tendinozis zemininde gelişmiş parsiyel rüptür olarak değerlendirildi. Olgu istirahat tedavisi, soğuk uygulama ve NSAİ ilaç ile tedavi edildi.

91

5.TARTIŞMA

Aşıl tendonu insan vücudunun en uzun ve en güçlü tendonu olması yanında en fazla hasarlanan bölgesidir. Aşıl tendon rahatsızlıkları futbol, basketbol oyuncularını gibi profesyonel olarak aktif spor yapanlarda aşırı yüklenme nedeni ile sık karşılan bir rahatsızlık olmakla birlikte profesyonel olmayan genç ve orta yaşlı insanlarda da gerekli fiziksel ısınma hareketleri yapılmaksızın bir anda ani yüklenme sonrasında da ortaya çıkabilmektedir. Ayağın hiperpronasyona zorlanması özellikle de sporcularda belli bir hareket sınırı olan subtalar ekleminde zorlanmaya ve bu durumun sık yinelenmesi tendinopatiye zemin hazırlamaktadır. Ayrıca yaşın ilerlemesi ile birlikte tendonun vasküler beslenmesindeki azalma, kollajen lifleri ve ara bağ dokuda ortaya çıkan değişiklikler, romatoid artrit, sistemik inflamatuvar hastalıklar, kronik böbrek yetmezliği, tiroid patolojileri gibi başka sistemik rahatsızlıklar nedeni ile de tendonda dejenerasyon olur ve normal fibriller kollajen ve matriks düzeni bozulur (16).

Noninvaziv olması, her yerde kolaylıkla ulaşılabilir, yinelenabilir, ekonomik, duyarlı ve özgül olması, fiyat avantajı, ve dinamik incelemeye olanak vermesi nedeni ile tendon rahatsızlıklarında ilk planda başvurulması gereken görüntüleme yöntemi US dir. Cilt altında yüzeysel bir doku olması nedeni ile tendonun fibriller iç ekojenite özellikleri 5,0, 7,5 ya da 10 MHz gibi yüksek frekanslı trasdüserler ile kolaylıkla ortaya konulabilmektedir.

Ayrıca US ile parsiyel yırtığın ya da retraksiyon göstermeyen tendon uçlarının varlığı gösterilerek cerrah konservatif tedavi seçeneği açısından

bilgilendirilebilir, konservatif yaklaşılan hastalarda gelişen granülasyon dokusu, tendon uçlarının durumu ve tedavi cevabı da izlenebilir.

Aşil tendonu değerlendirilecek olan kişi muayene masasına yüzüstü yatar ve ayak bilekleri masadan aşağı rahat bir pozisyonda sarkar vaziyette durur. Aşil tendonu ile ilgili yapılan çalışmalarda hasta ayak bileği üzerine cilt ile trasdüser arasına çeşitli materyaller yerleştirilebilir. Ancak biz bu çalışma dahilinde cilt ile prob arasında ekojeniteyi sağlamak için yalnızca ultrason jeli kullandık.

Tendon patolojileri tendonun kendinde ve çevre yumuşak doku planlarında ekojenite değişikliği yapması yanında uzun ve kısa aks incelemede boyut değişiklikleri ile de birlikte seyrettiğinden tendonun uzun aksta ortalama kalınlığı, kısa aksta kalınlığı ve çapı, yüzey alanı da değerlendirmeye dahil edilmelidir. Ancak uzun aksta Aşil tendonunun oblik seyir göstermesi nedeniyle ses dalgaları tendona her zaman dik olarak ulaşamadığından ölçüm hatalı olabilmektedir. Kısa aks değerlendirme ise insonasyon açısından bağımsız olduğu için kalınlık bu düzlemde değerlendirilmelidir. Burada kalınlık lateral-medial genişliğin maksimum olduğu hatta bu hatta çizilen dik çizgi ile belirlenir (16). Medial malleol komşuluğundan yapılan ölçümlerde uzun aks incelemede AP çapı ortalama olarak 4-7 mm. (11, 12), kısa aks incelemede kalınlık $5,1 \pm 0,63$ mm., yüzey alanı ise $60,78 \pm 13,09$ mm²dir (15).

Fiziksel aktivite tendonda hipertrofiye neden olurken hayvanlarda yapılan çalışmalar ara bağ dokusunda da metabolizmada artış olduğunu göstermiştir. Ancak aşırı yüklenme ya da fiziksel inaktivite tendonda yapısal ve mekanik olarak zararlı etki oluşturmaktadır. Yaşla birlikte de tendon yapısındaki

mukopolisakkarid ve kollajenin düzenlenmesinde organizasyon bozuklukları ortaya çıkmaktadır.

Beatrice ve arkadaşları tarafından 2006 yılında 20 yaş ve yukarısında olan 40 asemptomatik, sedanter kişiden oluşan grupta yapılan bir çalışmada yaş, boy ve dominant ayak bileği ölçümleri göz önüne alınarak Aşil tendonunun boyu, kalınlığı ve yüzey alanı karşılaştırılmış, sonuçta yaş ve dominant ayak bileği ile tendon uzunluğu ile kalınlığı arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptamamışlardır. Ancak 50 yaş ve üzeri olan grupta tendon yüzey alanında diğer gruplara göre anlamlı artış saptamışlardır. Yine öncelikli olarak kullanılan ayak bileğinde de yüzey alanında dominant olmayana göre anlamlı yüzey alanı fazlalığı belirlemişlerdir (15).

Kallinen ve arkadaşları yaş ve fiziksel aktivitenin birlikte değerlendirildiği çalışmada 70-81 yaş arası grubu halen fiziksel olarak aktif sporcular ile sedanter olmak üzere ikiye ayırmışlardır. Aşil tendonlarının uzun ve kısa aks incelemede AP çapları, tendon güçleri ve ekojeniteleri açısından bu iki grubu karşılaştırmışlar ve iki grup arasında yaş, boy, vücut ağırlığı ve baldır uzunlukları da göz önüne alınarak tendon çapları arasında anlamlı fark saptamamışlardır. Ancak kısa aks incelemede ölçülen tendon kalınlıkları sporcu olan grupta diğerine göre anlamlı olarak fazla bulunmuştur (32).

Biz çalışmamızda grupları ileri yaş grubu, sporcu, sedanter olarak değil klinik olarak yakınması olan ve olmayan olarak sınıflandırdık ve bu iki grup arasındaki gri skala, Doppler ve GZS yöntemlerini ve bu yöntemlerin tanısal performanslarının kendi içlerinde ve birbirleri arasındaki uyumunu, yakınması

olan grupta patolojiyi saptayabilme yeterliliğini değerlendirdik. Aşıl ap ölçümleri belli bir standardizasyonun sağlanması açısından distal kesimden, medial malleol komşuluğından yapılmış olup cilt ile transdüser arasına herhangi bir cisim konulmamış yalnızca jel kullanılmıştır. Yakınması olmayan 55 aşıl tendonunda kısa aks incelemede ortalama çap $4,4\pm0,57$ mm, yakınması olan 27 aşıl tendonunda kısa aks incelemede ortalama çap $4,6\pm1,14$ mm olarak lülmüşür.

Ayrıca alışmamızda BMI, yaşı ve cinsiyetin yakınması olan ve olmayan olgularda aşıl çap ile ilişkisi araştırılmış BMI ve cinsiyet ile aşıl çapı arasında istatistiksel anlamlı ilişki saptanmamıştır ($p>0,05$). Ancak yaşı ilerledikçe aşıl çapının istatistiksel anlamlı olarak arttığı dikkati çekmiştir. ($p<0,05$).

Aşırı ya da yineleyici mikrotravmalar sonrası daha çok gençlerde ortaya ıkırsa da fiziksel olarak çok fazla aktif olmayan, belli yaşı üzeri grupta da yaşılanma ile birlikte ortaya çıkan vasküler problemler ve kas gücündeki azalma, esneyebilme yeteneğinin kaybına neden olmakta ve bu durum tendinozis olarak sıkça karşımıza çıkmaktadır. Tendinozis ve bu zeminde gelişen parsiyel ve tam kat rüptürler özellikle aşıl tendonu 1/3 orta kesiminde meydana gelmektedir. Vasküler olarak tendonun diğer kesimlerine nazaran daha zayıf damar desteği ve bunun sonucu olarak daha az miktarda oksijen basıncı bulunan bu hipovasküler alan, olası travma ya da kronik, siklik yüklenmelere karşı kendini daha zor korumakta ve daha sık hasarlanmaktadır. Sadece paratenona komşu vasküler yapılardan beslenmesi nedeni ile primer olarak bu damarların hasara uğraması, kronik yüklenmelere adapte olmak için hipertrofiye uğramış dokuda vasküler yapıların tendonun iç kesimlerine kadar penetre olamaması orta 1/3'lük kısmın

hasarlanmaya neden bu kadar hassas olduğunu ve hasarlandıktan sonra da iyileşmesinin diğer bölgelere göre daha güç olduğunu açıklamaktadır (21).

Önceleri aslında dejeneratif bir süreci gösteren tendinozisin inflamatuvar hücrelerin tetiklediği olaylar zinciri sonrası geliştiği yönünde bir inanış hakim ise de Alfredson ve arkadaşları tarafından 2001 yılında, aşıl orta 1/3'lük segmentindeki var olan tendinozisli parçadan yapılan intratendinöz mikrodializ ve gen analizi çalışmasında, ortamda inflamatuvar hücrelerin ve ağrıya neden olduğu düşünülen ve inflamatuvar hücreler tarafından üretilen PGE2 'nin normal kontrol aşıl tendonunda bakılan değerler ile arasında anlamlı fark olmadığı saptanmış, ancak bu çalışmada patolojik olan tarafta glutamatın NMDA reseptöründe anlamlı artış olduğu görülmüştür. Glutamat, merkezi sinir sisteminde bir ağrı reseptörü olarak görev yapmaktadır ve aşıl tendinopatilerindeki bu anlamlı fazlalığı patogenezin aslında nörojenik bir inflamasyon mu olduğu sorusunu akla getirmiştir.

Diğer bir soru da tendinozisle birlikte artan vaskülaritedir. Neovaskülarizasyon tendinozisle birlikte ortaya çıkan ya da ortaya çıkması ile birlikte tendinozis gelişiminin tetiğini çeken sürecin başı mıdır? Birçok çalışmanın aksine Boesen ve arkadaşlarının 2005 yılında yaptıkları çalışmada normal aşıl tendonlarında egzersizden hemen sonra bakılan RDUS incelemesinde kanlanmada artmayı gösteren piksellerde çoğalma olduğu saptanmıştır. Bu araştırmacılar olayı normalde de ortaya çıkan ve zaten belli bir hacmi olan vasküler yatağa, egzersiz ile birlikte ulaşan kan miktarında artış olması düşüncesi ile açıklamışlardır. Yani ortaya çıkan neovaskülarizasyon değil tendon vasküler

yatağının aktiviteye verdiği fizyolojik cevaptır (14). Ancak şü da bir gerçektir ki tendinoziste fiziksel bir aktivite yapılmaksızın da belirgin miktarda vaskülarizasyon olabilmektedir. Kanlanmada meydana gelen bu artışın fizyolojik ya da patolojik olduğunun kesin olarak değerdendirilebilmesi için de Boesen ve arkadaşları Doppler miktarını gösteren eşik değerdinin tanımlanması gerektiğini ortaya koymuşlardır. Bu değerd makinarya ve yapılan ayarlamalara bağılı olarak değışen bir değerdirdir. Ancak vardıkları sonuç şudur ki tendinozis düşünölen bir olguda gri skala ve RDUS erken tanı ve tedavinin verdiğı sonucun izlenebilmesi için yapılması gereken bir yöntemdir (14).

Yapılan erken sonografi her zaman kesin sonuç ile tanıya götüremeyebilmektedir. Aşıl tendonu US'da uzun aks incelemelerde homojen, fibriller, ekojenik ve 4-7mm. arasında bir kalınlığa sahip olarak izlenirken, kısa aks incelemelerde postero-anterior ve lateromedial olarak oblik seyirli, homojen iç ekojenitede bir yapı olarak izlenir. Ancak hasarlanmalar tendonun bu özelliklerinin birinde ya da birçoğunda normalden sapmalara neden olabilmektedir. Klinik olarak ortaya çıkan yakınmanın özellikle de ağrının, değışen bu yapısal özelliklere bağılı olduğü kabul edilmektedir. Ancak 83 aşıl tendinopatili hasta grubu ile yapılan bir çalışmada bunlardan yalnızca %35 'inin sonografik olarak saptanabildiğı, geri kalanının sonografik olarak normal olduğü, buna karşılık 18 asemptomatik tendonda sonografik anormallikler bulunduğünün görölmesi de ilginçtir. Ayrıca yaşın ilerlemesi ile birlikte sagittal çap artışı, US'de iç ekojenitenin artışı ve komşu yapılar ile olan keskin sınırın azalması tendonun doğıal seyrinde ortaya çıkabilmektedir (17).

Buna benzer yapılan başka bir çalışma da ağrılı aşıl tendonlarında bu sonografik özelliklerden bazılarının hatta bazen birinin bile bulunmadığını buna karşılık bazı ağrısız tendonlarda bu patolojik yapısal değişikliklerden bazılarının izlenebildiğini göstermiştir (13). Aseptomatik grupta saptanan patolojik bulguların tendinozisin erken dönem işaretleri olup olmadığı konusu halen bir netliğe kavuşmamış olup, uzun dönem takibi gereken bir soru işareti olarak varlığını sürdürmektedir. Tüm bu sonuçlar görüntüleme bulgularındaki bu çelişki, tanının yalnız radyolojik yöntemlerle konulamayacağını, kliniğin esas teşkil ettiğini göstermektedir. Bu durum da aşıl tendon patolojilerine yalnız sonografik bulguların temel alınarak tanı konulmasını hatalı kılmaktadır.

Tendon hasarlanmalarını görüntüsel olarak ilk defa Rosenberg şu şekilde sınıflandırmıştır.

Evre 1 (düşük evre): tendonda kalınlaşma

Evre 2 (yüksek evre): atenuasyon değişikliğinin de eşlik ettiği tendonda incelme

Evre 3 (rüptür): retraksiyonun eşlik ettiği ya da etmediği bütünlük kaybı

Aşıl tendonunun şekilsel ve iç ekojenite özellikleri ile bu özelliklerin hasta yakınmaları ile olan bağlantısını saptayabilmek amacı ile Malliaras ve arkadaşları tarafından 2010 yılında yapılan bir çalışmada gri skala bulguları ile aşıl tendonu 4 alt gruba ayrılmıştır. Yüzyirmiiki tendon grubunun 68'inde (%56) ön ve arka kenarları paralel seyirli, homojen iç ekojenitede (normal), 22'inde (%18) homojen iç ekojenitede ancak bombeleşmiş, 16'sında (%13) kenarları birbirine paralel seyirli ancak heterojen iç ekojenitede ve 16 sında (%13) bombe şekilli ve heterojen iç ekojenitede yapı saptanmış. Yapılan ölçümlerde bombe şekilli,

heterojen ekojeniteye sahip tendonların kalınlığının diğer gruplardan daha fazla olduğu saptanmış (13).

2010 yılında De Zordo ve arkadaşlarının yapmış olduğu benzer bir çalışmada da Aşıl tendonu muskületendinöz, orta (kalkaneus insersiyosundan itibaren 2-6cm. proksimal kesim) ve kalkaneal insersiyon bölgesi olmak üzere üç parçaya ayrılarak incelenmiş. Gri skala görüntüleri 3 sınıfa ayrılmıştır.

Evre 1: Kenarları birbirine paralel seyreden, homojen ekojenitede *normal görünümlü tendon*

Evre 2: Kenarlarında bombeleşme meydana gelen, homojen ekojenitede *genişlemiş görünümlü tendon*

Evre 3: Kenarlarında genişlemenin eşlik ettiği/etmediği *hipoekoik alanlar içeren heterojen ekojenitedeki tendon* (26).

Biz de çalışmamızda aşıl tendonunu De Zordo ve arkadaşları gibi gri skala incelemesinde 3 sınıfa ayırdık. İncelediğimiz 41 olgunun toplam 246 aşıl tendon segmentinde 218 (%88,6) segmentte evre 1, 22 (%8,9) segmentte evre 2, 6 (%2,4) segmentte evre 3 tendon yapısı saptadık. Evre 2 ve 3 olarak değerlendirilen 28 segmentin 12 tanesi (%42,9) orta, 2 tanesi proksimalde (%7,1), 14 tanesi de distalde (%50,0) saptandı. Değerlendirilen 82 tendonunun 27 sinde yakınma mevcuttu. Gri skala incelemesi bu 27 semptomatik tendondan 14 tanesinde (%51,9) patoloji saptadı. Yakınması olmayan 55 tendonun 50 tanesinde (%90,9) ise gri skalada patolojik sonografik bulgu saptanmadı. Yakınma göz önüne alındığında gri skala incelemesinin duyarlılığı %51,9, özgüllüğü %90,9, PÖD %73,7, NÖD % 79,4 ve doğruluğu % 78 bulunmuştur. Literatür ile uyumlu olarak

bizim çalışmamızda da, Aşil tendinopatisi bulunan olgularda gri skala incelemesi ile özellikle orta ve distal kesimde patoloji saptanmıştır.

Tendon patolojilerinin değerlendirilmesinde klinik ve radyolojik yöntemlerin birbirinden bağımsız olarak ele alınması durumunda ortaya çıkan diğer bir çıkmaz da birbirinden kesin ayrımı yapılamayan pür tendinozis ile parsiyel rüptürdür. Her iki durumda da özellikle hareketle artan ağrı ile başvuran hastanın US-Sonoelastografi ve MR yöntemi ile görüntülenmesinde benzer bulgular saptanmaktadır.

Aström ve arkadaşlarının 1996 yılında US-MR ve operasyon bulgularını karşılaştırdığı 27 kişilik bir çalışmada bu iki patoloji için görüntüleme yöntemleri temel olarak benzer bulguları vermiştir. Ancak saptanan önemli bir ayrım parsiyel rüptürde sagittal incelemelerde tendon kalınlığının pür tendinozise oranla daha fazla olduğudur (Parsiyel rüptürde ortalama 15 ± 4 mm. iken, pür tendinoziste 9 ± 2 mm.)(17). Bizim çalışmamızda da olguların operasyon ya da patoloji sonucu bulunmadığından literatür ile benzer şekilde ayrım net olarak sağlanamamış olup olgularda ayrım, görüntüleme bulgularının yanında ve öncelikli olarak klinik yakınmaların gelişim süreci göz önüne alınarak yapılmıştır. Ayrıca çalışmaya dahil edilen olgular içinde bu ayrımın yapılabilmesi için yeterli görsel tecrübe sağlayacak hasta sayısı da elde olunmamıştır.

İstirahat halindeki bir kas-tendon bileşkesinde ve tendon içerisinde kanlanma beklenmemektedir. RDUS ile kanlanma varlığının saptanması tendinozis ve genelde de hastanın ağrı yakınması ile birliktelik gösterir (14).Dejenere tendonda ortaya çıkan neovaskülarizasyon klinik bulguların hepsini

açıklamasa da ağrının en önemli nedenidir (8). Yapılan bir çalışmada 20 semptomlu aşıl hastasının 8'inde Power Doppler incelemede kanlanma saptanmazken 10 asemptomlu grupta gri skala ve Doppler incelemede anormallikler saptanmıştır. Bunlara ek olarak Boesen ve arkadaşları tarafından asemptomatik aşili olan bir grupta egzersiz sonrası da kanlanmanın arttığı saptanmıştır (9). Yine yukarıda belirtilen Malliaras ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada homojen ekojenitede ve paralel seyirli (normal) tendonlarda kanlanma hiç saptanmazken bombe şekilli ve özellikle de daha fazla miktarda olmak üzere heterojen ekojeniteli tendon grubunda neovaskülarizasyona ait kanlanma odaklarının varlığı saptanmıştır (13).

Boesen ve arkadaşları tarafından sağlıklı ve tendinozisli hasta gruplarında, aktivitenin kanlanmaya olan etkisini ve bunun RDUS inceleme ile gösterilmesini saptamak üzerine yapılan çalışmada; 2 gruptan da koşabildikleri kadar hızlı şekilde 5km. mesafe koşmaları istenmiş, koşu sonunda 2 grubun da aşıl tendonları RDUS ile değerlendirilmiştir (14).

Koşu öncesi ve koşu sonrası tendinozisli olgulardaki kanlanmada belirgin artış meydana gelmektedir. Sağlıklı olan grupta da koşu sonrası noktasal kanlanma alanları görülmektedir. Bu durum fizyolojik olarak tendonun aktiviteye verdiği bir cevaptır. Kanlanmanın fizyolojik kökenli olduğunun önemli bir göstergesi herhangi bir klinik yakınma oluşmamasıdır.

Çalışmamızda değerlendirdiğimiz 246 tendon segmentinde RDUS'de 237 (%96,3) segmentte kanlanma saptanmazken 9 (%3,7) segmentte kanlanma saptanmıştır. RDUS incelemesinde 27 semptomatik tendondan 7 tanesinde

(%25,9) kanlanma saptanırken, yakınması olmayan 55 tendonun hiçbirinde (%100) kanlanma izlenmemiştir. Yakınma göz önüne alındığında Doppler incelemesinin duyarlılığı %25,9, özgüllük %100, PÖD %100, NÖD %73,3, doğruluğu %75,6 olarak saptanmıştır. RDUS incelemesi gri skala tarafından saptanabilen 14 semptomatik tendonun, 7'sinde, gri skalada evre 2 ve 3 olarak tanımlanan 28 segmentin ise sadece 9'unda kanlanma saptayabilmiştir. Buradan da anlaşılabileceği gibi RDUS'nin yakınması olan olgularda tendinopatiyi saptayabilmesi yeterli olmamakla birlikte kanlanmanın gösterilebildiği olguların hepsinde yakınmanın var olması ve bu olguların gri skala bulgularının da pozitif olması, RDUS incelemesinin tendinopati saptanmasından ziyade gri skala US incelemesine yardımcı bir modalite olarak kullanılması gerektiğini ortaya koymuştur.

Yineleyici travmanın devam etmesi ile gelişen mikro hasarlanmalar yapıda interstisiyel ya da yüzeysel alanda görülebilir makro hasarlara neden olabilir. Aşıl tendon hasarlanmalarında US ve MR yöntemini karşılaştıran yayınların yanında US'de saptanan bulguları operasyon bulguları ile karşılaştıran yayınlar da mevcut olup %94 duyarlılık, % 100 özgüllük değeri ile US'nin bu alandaki yerini daha net şekilde ifade etmiştir (34).

Tendonlar durağan dokular değildir, minör travmalara cevap verebilen (remodeling) dinamik yapılardır (21). Gibbon ve arkadaşlarının 1999 yılında yapmış olduğu çalışma sonuçlarına göre normal şartlar altında sıklık olarak meydana gelen minör travmalar hızlı şekilde onarılmaktadır. Asemptomatik kişilerde saptanan patolojik sonografik bulgular bu iyileşme döneminde saptanan

hasarlı ya da yapısal değişime uğramış fibriler alanlardır. Ancak sporcularda olduğu gibi gerilme kuvveti ve yinelenme sıklığı arttıkça meydana gelen minör hasar sayısında da artma meydana gelecek ve tendon kendini sürekli tamir etmeye çalışacaktır. Bu durum özellikle atletlerde saptanan tendon transvers çapındaki belirgin artışın ve artan rüptürlerin nedenini açıklamaktadır (21).

Dejenerasyonlar rüptüre zemin hazırlamaktadırlar. Gibbon ve arkadaşları yaptıkları çalışmada 3 ve üzerinde parsiyel yırtıklı aşil tendon grubu ile, normal ve yırtıksız tendinozisli Aşil grubunu karşılaştırmış ve parsiyel yırtığı olan gruptaki dejenerasyon miktarını diğer iki gruba göre anlamlı derecede fazla bulmuşlardır (10). DM, kronik böbrek yetmezliği, romatoid artrit, kronik steroid kullanımı gibi sistemik problemler de rüptüre zemin hazırlamaktadır.

İnsan vücudunda meydana gelen birçok patolojik süreç sonuçta doku yapısı ile birlikte elastisitesini de etkileyip değiştirmektedir (Young's Modul). Özellikle cilt yüzeyine yakın doku ve organlarda meydana gelen, dokuda olması gereken yumuşaklık-sertlikteki değişimi algılamaya dayanan ve palpasyon denilen muayene yöntemi özellikle meme, prostat patolojilerini saptamada öncül yöntemdir. Kendi muayenemizle ulaşılamayacak derinlikte olan doku ve organlardaki patolojik nedenlerle ortaya çıkan bu mekanik değişiklikleri saptayabilmeye yönelik çalışmalar da bu nedenle dünya çapında ilgi uyandıran ve araştırma aşamasında olan konulardandır. GZS, dokuda meydana gelen, dokunun doğal esneklik özelliğini değiştiren patolojik durumları ortaya koymayı amaçlayan US tabanlı bir görüntüleme yöntemidir. Rutinde kullanılan konvansiyonel B-mod US ile korele edildiğinde meydana gelen değişiklik hakkında yüksek doğruluk

oranı ile bilgi verebilmekte ve halen üzerinde yapılan çalışmalar ile gelişmesine devam etmektedir. Sonoelastografi mekanik uyarı öncesi ve sonrasında dokuda meydana gelen sonografik sinyal değişikliğini ölçmekte olup, başarısı dokuların vibrasyon etkisine vermiş oldukları başka tepkileri ayırt edebilme yeteneğine dayanmaktadır. Palpasyon yöntemi ile elastik bir dokuya uyguladığımız sabit bir basıncın doku üzerindeki esneme etkisine sezgisel olarak karar verilirken, sonoelastografi ile aynı basınca dokunun ve içinde var olan patolojik bölgenin verdiği esneyebilme cevapları oransal olarak karşılaştırılabilmektedir (42).

İlk defa Ophir tarafından çalışılan bu teknikte incelenen örnek doku parçası üzerine belli bir şiddette basınç uygulanmakta, basınç öncesi ve sonrası dokudan yansıyan eko ölçümü yapılarak doku içerisinde meydana gelen yer değiştirmenin oranı hesaplanabilmektedir (47).

Righetti operasyonla açılan köpek karaciğerleri üzerinde yaptığı bir çalışmada elastografi yöntemini direk organ üzerinde uygulamış, daha sonra patolojik olarak kanıtlanan, lezyon olan bölge ile kendi elastografi sonuçlarını karşılaştırmış ve tedaviye yanıtın takibinde gerçek zamanlı olarak kullanılmasının çok değerli olabileceğini öne sürmüştür (48).

Kallel normal köpek prostat bezi üzerinde in vitro olarak çalıştığı elastografi ve sonrasında yapılan doku örnekleme sonuçlarını karşılaştırdığında prostat bezinin elastisite sonuçlarının histolojik sonuçlarla (periferik kesimlerin Young'ın sonuçlarına göre sert doku, santral bölgenin ise daha az sert doku) uyumlu olduğunu saptamıştır (48).

Garra 12'si patolojik olarak kötü huylu bulunan, 46 meme kitlesi üzerinde yapmış olduğu elastografi çalışmasında bu 12 kitlenin 8'inin elastografi tarafından saptanabildiğini ve özellikle iyi huylu ve kötü huylu meme kitlelerinin elastografi tarafından ayırt edilebildiğini savunmuştur (48).

Gao ve arkadaşları ilgi alanındaki dokuya dışardan belli bir basınç ile vibrasyon dalgası uygulandığında dokunun verdiği tepkinin amplitüdünü ölçmüşler, içinde sert bir tümör dokusunu ifade eder lezyon (phantom) bulunan elastik bir maddeye vibrasyon ile dalga gönderildiğinde sert kitlenin çevresine göre daha az elastik olduğundan daha az yer değiştirmeye maruz kalacağını ve çevresine göre daha düşük vibrasyon amplitüdüne sahip olacağını görmüşler (48).

Parker ve arkadaşları yaptıkları çalışmalar sonucunda elastik bir yapı içinde bulunan patolojik ve çevresine göre daha sert olan bir yapıyı saptayabilmek için 3 önemli özellik bulunduğunu saptamışlardır.

- 1- Dokuya uygulanan vibrasyonun frekansı
- 2- Lezyon boyutları
- 3- Patolojik yapının çevresine göre ne kadar elastik olduğu (Elastisite oranı)

Bu çalışmalar sonucunda şu sonuçlara varılmıştır:

- Sabit boyuttaki bir lezyonda vibrasyon frekansı arttıkça saptanabilirlik artar.
- Sabit frekanslı vibrasyon uygulandığında lezyon boyutları arttıkça saptanabilirlik artar.

- Sabit boyut ve frekansta kitlenin içinde bulunduğu ortama göre elastisite farkı arttıkça saptanabilirlik artar (48).

Kitle saptanmasında konvansiyonel B-mod US'e yardımcı olarak başlayan elastografinin kullanım alanı meme, prostat, tiroid gibi yüzeysel dokulardaki kitlelerin yanı sıra pankreas, karaciğer gibi abdominal organlardaki lezyonların, endosonografi sırasında saptanan derin lenf nodları gibi yapıların iyi-kötü huylu ayrımının yapılması şeklinde genişlemiştir.

Günümüzde bunlara ek olarak kas-tendon rahatsızlıklarının erken dönemde elastografi ile saptanıp saptanamayacağı tüm dünya çapında ilgi ve merak uyandıran ve çalışmaların bu yöne de kaymasını sağlayan yeni bir konudur. Sağlıklı aşil tendonları ve kısa bir süre önce de lateral epikondilit sonoelastografinin çalışıldığı yeni alanlar olmuştur (27). Konvansiyonel B-mod US tendon patolojilerinde öncelikle başvuru alan görüntüleme yöntemi olmasına rağmen tendonun elastikiyeti ve hasara verdiği değişim yanıtı hakkında bilgi vermemektedir. Hasardan etkilenen bölge konvansiyonel US'de sağlıklı bir tendon ile eş ekojenitede izlenebilmektedir. GZS'nin temel ilkesi sert dokuların yumuşak olanlara göre daha az yer değiştirme-elastikiyetini saptayabilmesidir ve sağlıklı bir tendon patolojik olana göre daha serttir.

Tendon hasarlanması sırasında meydana gelen hipoksik, hyalin dejenerasyon, mukoid ya da miksoid, fibrinoid ve yağlı dejenerasyon, anjiofibroblastik proliferasyon gibi değişiklikler komprese edilebilme özelliğinde artmaya ve GZS'de yumuşak renk ile kodlanmaya neden olmaktadır (27).

Drakonaki ve arkadaşları 2009 yılında 50 normal aşil tendonu üzerinde yapmış oldukları çalışma sonucunda B-mod incelemeye eklenen elastografinin tendonun yüzeysel seyri nedeni ile kolay uygulanabilir ve yinelenebilir bir yöntem olduğunu, iki hafta içerisinde 2 uzman tarafından değerlendirilen tendonlar arasında uzman gözler arasında büyük ölçüde uyum olduğunu saptamışlardır. Bu çalışmada ayrıca normal tendonlar elastografik olarak Tip 1 ve Tip 2 olarak sınıflandırılmıştır. Tip 1 tendonda uzun aks görüntüde tamamen mavi-yeşil izlenmekte olup hiç kırmızı çizgilenme içermemektedir. Kısa aks görüntüde ise tendonun iç ve dış kenarlarında izlenen kırmızı renk transduser stabilitesi kısa aks incelemede tam sağlanamadığından ve vibrasyonlar sırasında bu alanlar görüntü alanına tam sokulamadığından bu renkte (artefakt) kodlanmaktadır. Tendon posteriorunda kalan Kager'in yağ yastıkçık alanı içerdiği fibröz septalar, yağ lobülleri ve içerdiği vasküler yapılar nedeni ile bası etkisine başka derecelerde cevap verdiği için mozaik paternde izlenmektedir (22).

Tip 2 özelliğinde bir tendonun proksimal kesiminden alınan uzun ve kısa aks görüntülerinde tendon içerisinde az sayıda kırmızı çizgilenmeler dikkati çekmektedir (26).

2010 yılında De Zordo ve arkadaşlarının yapmış olduğu benzer bir çalışmada da aşil tendonu muskületendinöz, orta (kalkaneus insersiyosundan itibaren 2-6cm. proksimal kesim) ve kalkaneal insersiyö bölgesi olmak üzere üç parçaya ayrılarak incelenmiştir. GZS görüntüleri 3 sınıfa ayrılmıştır (26).

Gerçek Zamanlı Sonoelastografi Görüntüsüne Göre :

Tip 1: Sert dokular; mavi-yeşil renk ile kodlananlar

Tip 2 : Orta sertlikteki dokular ; yeşil-sarı renk ile kodlananlar (yer yer kırmızı çizgilenmeler izlenmektedir.)

Tip 3: Yumuşak dokular ; kırmızı çizgilenmelerin belirgin artmış olduğu dokular
(26)

Yapılan bu çalışmada herhangi bir yakınması olmayan bir katılımcıda gri skala ve GZS incelemelerine göre sırası ile evre 1 ve Tip 3 olarak saptanmıştı. Bu durumun çalışmanın yayınlandığı sırada izlem görüntüleri ile doğrulanmaması ve patolojik tanısının da olmaması nedeniyle tendinozisin erken dönem görüntüsü olup olmadığı netleştirilememiştir.

Bizim çalışmamızda da gri skala incelemesine göre belirgin patoloji göstermemekle birlikte GZS'ye göre Tip 3 olarak saptanan olgular dikkati çekmiş olup bunların uzun dönem izlemleri elimizde olmadığından saptanan bu durumun elastografinin, tendinozis erken dönem saptayıcı bulgusu mu olduğu net olarak ifade edilememektedir.

Ayrıca De Zordo tarafından lateral epikondilit ön tanısı ile gerçekleştirilen US ve GZS incelemesinde tendonun ön ve arka kesimlerinde meydana gelen tendinozise bağlı hipoekojenite ile parsiyel rüptür nedeni ile meydana gelen hipoekojenitenin ayrımı bu iki inceleme yöntemi ile de kesin olarak yapılamamaktadır. Ayrımı yardımcı olacak şey iki inceleme yöntemindeki bulguların klinik ile birlikte olarak değerlendirilmesidir. Parsiyel rüptürde hem gri skala incelemesinde hem GZS görüntülerinde hipoekoik alanlar bölgesel olmaktan

daha fazla olup daha bir alanı kaplamakta ve gri skala incelemede kalınlık artışı daha belirgin olmaktadır (27).

Biz de çalışmamızda aşıl tendonunu De Zordo ve arkadaşları gibi GZS incelemesinde 3 sınıfa ayırdık. Tip 3 olarak saptadığımız olguları patolojik olarak değerlendirdik. İncelediğimiz 41 olgunun toplam 246 aşıl tendon segmentinde 181 (%73,6) segmentte Tip 1, 38 (%15,4) segmentte Tip 2, 27 (%11) segmentte ise Tip 3 tendon yapısı saptanmıştır. Tip 3 olarak değerlendirilen 27 segmentin 9 tanesi (%11) orta, 4 tanesi proksimalde (%4,9), 14 tanesi de distalde (%17,1) saptandı. Değerlendirilen 82 tendonunun 27 sinde yakınma mevcut idi. GZS incelemesi bu 27 semptomatik tendondan 14 tanesinde (%51,9) patoloji saptadı, yakınması olmayan 55 tendonun 52 tanesinde (%94,5) ise GZS’de patolojik sonografik bulgu saptanmadı. Yakınma göz önüne alındığında GZS incelemesinin duyarlılığı %51,9, özgüllüğü %94,5, PÖD %82,4, NÖD %80, doğruluğu %80,5 olarak bulunmuştur. Gri skala US ve GZS, yakınması olan olgularda tanısal performans yönünden karşılaştırıldığında benzer özellik göstermektedir. Ancak GZS 55 asemptomatik tendondan 52 tanesinde (%94,5) patolojik elastografi bulgusu saptamayarak özgüllük bakımından gri skala US’ye az da olsa bir üstünlük sağlamaktadır. Bununla birlikte gri skala ve GZS’nin tanısal performans açısından RDUS’e belirgin üstünlük sağladığı görülmüştür.

Çalışmamızda Aşıl tendonu orta segmentte elastografiye göre patolojik olan olguları patolojik olmayanlardan ayırt etmede gerinim indeksi etkili olup olmadığı ROC eğrisi altında kalan alan hesaplanarak değerlendirildi ve istatistiksel olarak anlamlı bulundu. Eğri altında kalan alanın önemli bulunmasının

ardından gerinim indeksine ilişkin en iyi kesim noktası Youden İndeksi kullanılarak 1,4 olarak hesaplandı. Ayrıca, bu noktaya ilişkin duyarlılık, seçicilik, pozitif ve negatif tahmini değerler ve tanısal doğruluk düzeyleri hesaplandı. Bu değer için duyarlılığı %88,9, özgüllük %80,8, PÖD %36,4, NÖD %98,3 doğruluğu %81,7 olarak bulunmuştur. Hesaplanan eşik değer için (1,4) yüksek duyarlılık ve özgüllük bulunmasına rağmen olgu sayısı kesin bir değer vermek için yetersizdir. Literatürde daha önce benzer bir çalışma olmaması nedeni ile daha kapsamlı bir çalışma ortaya konulana kadar yüksek duyarlılık ve özgüllük bulunan bu değer tendinopati değerlendirmesinde elastografi görüntülerinin yanında kullanılabileceği ve bundan sonra yapılacak çalışmalar ile geliştirilebileceği öngörülmektedir.

GZS' nin de US'de olduğu gibi kişiye bağımlı bir tetkik olması tekniğin önemli kısıtlayıcı unsurlarındandır.

İşlem sırasında özellikle kemik gibi sert yapı ile komşulukta olunan “entesis” bölgelerinde optimal kalitede kompresyon sağlanamadığından prob ile tam temas etmeyen iç ve dış kesimlerde artefaktın neden olduğu kırmızı ile kodlanan alanlar meydana gelmektedir. Bu alanlar hatalı olarak tendinozis lehine değerlendirilebilmektedir. Ancak belli bir tecrübeden sonra ve prob ile cilt yüzeyi arasına temasın artmasını sağlayacak çeşitli materyaller yerleştirilmesi ile bu artefakt minimum düzeye indirilebilir.

Belli bir kompresyon düzeyinin altında tendondan ölçülen gerinim indeksi (gerinim/yer değiştirme katsayısı) değerleri doğru esneme değerlerini

göstermeyecektir. Bu nedenle işlem sırasında ekrandaki optimal gerinim için gereken ve 1-6 arasında değişen skorlama değerleri dikkate alınmalıdır.

GZS bulguları yalnız başına değil gri skala bulguları ve hastanın kliniği ile birlikte değerlendirilerek yorumlanmalıdır. Çünkü tendinozis ile parsiyel rüptür her iki yöntem ile de yalnız başlarına değerlendirildiklerinde birbirlerinden kesin olarak ayırt edilememektedir.

Görüntüleme eşliğinde gerçekleştirilen perkütan tedavi protokol (tendon içerisine steroid enjeksiyonu, platelletten zengin plazma enjeksiyonu, perkutan tenotomi) izlemlerinin US ve GZS ile kombine şekilde yapıldığı çalışmalar henüz yayınlanmamış olup GZS'nin tedavi takibindeki yeri de halen net olarak bilinmemektedir.

6.SONUÇ

Gerçek Zamanlı Sonoelastografi özellikle cilt yüzeyine yakın doku ve organlarda meydana gelen, dokuda olması gereken yumuşaklık-sertlikteki değişimi algılamaya dayanan US tabanlı bir görüntüleme yöntemidir. Palpasyon yöntemi ile sezgisel bir sonuçtan ileri gidemeyen, özellikle meme, prostat, tiroid, lenf nodu, parotis bezi gibi yüzeysel dokuların doğal esneklik özelliğini değiştiren patolojileri ortaya koymada rutinde kullanılan konvensiyonel B-mod US ile korele edildiğinde yüksek doğruluk oranı ile tanı başarısı sağladığı ortaya çıkmıştır. Normal tendon yapısı ve patolojilerinin saptanmasındaki yeri ile ilgili ise literatürde yalnızca 3 tane çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda, sınırlı sayıdaki olgu doğal tendon yapıları ve çevre yumuşak dokular ile olan sertlik ve gerinim değerlerindeki başkalıkların ortaya konulması amacıyla çalışılmış ve bizim çalışmamızda olduğu gibi yakınması da olan tendonlar dahil edilmemiştir.

Biz çalışmamızda semptomatik ve semptomatik olmayan olgularda Aşil tendonunun mekanik uyarı öncesi ve sonrasında dokuda meydana gelen sonografik sinyal değişikliğini vibrasyon etkisine vermiş oldukları farklı tepkileri literatürde belirtilen şekilde 3 ayrı grupta sınıflandırdık ve ayrıca semptomatik olmayan olgularda Aşil tendonunun çevresindeki yumuşak dokular ile olan gerinim farkı oranını saptamaya çalıştık. Buna göre daha önce literatürde belirtilmeyen 1,4 değerini ortaya koyduk. Ayrıca elastografi bulgularını US'nin rutinde kullanılan diğer iki yöntemi gri skala ve Doppler inceleme bulguları ile karşılaştırdık ve bunların olguların yakınma varlığı ile paralellik gösterip

göstermediğini araştırdık. Buna göre ise GZS, RDUS' e göre patoloji varlığını saptamada belirgin üstün olup gri skala inceleme ile de paralellik göstermektedir. Ancak pozitif öngörü değerinin gri skaladan daha yüksek olması nedeni ile bu iki incelemenin birlikte kullanılması tanı değerini belirgin şekilde artırmaktadır.

Bazı asemptomatik tendonlarda ise gri skala ve RDUS normal olarak izlenirken GZS bazı patolojik sonografik özellikler göstermektedir. Bunun tendinopatinin erken dönem bulguları olup olmadığı ve GZS'nin bunu öngörüp göremeyeceği ise zaman içerisinde artan deneyimler ve daha geniş kapsamlı ve uzun vadeli çalışmalar sonucunda varılacaktır.

7.KAYNAKLAR

- 1- Karahan B, Erol E : TOTBİD (Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği) Dergisi, 2004; Cilt: 3 Sayı:1-2
- 2- Doral MN, Alam M : Functional anatomy of the Achilles tendon. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2010; 18:638–643
- 3- Mathieson J, Connell D : Sonography of the Achilles Tendon and Adjacent Bursae. AJR Am J Roentgenol 1988 Jul;151(1):127-31.
- 4- Jarvinen T, Jarvinen L.N, Kannus P : Collagen fibres of the spontaneously ruptured human tendons display decreased thickness and crimp angle. Journal of Orthopaedic Research 2004; 22: 1303-1309
- 5- Maffulli N, Ewen S, Waterston S : Tenocytes from Ruptured and Tendinopathic Achilles Tendons Produce Greater Quantities of Type III Collagen than Tenocytes from Normal Achilles Tendons : An In Vitro Model of Human Tendon Healing. Am J Sports Med 2000; 28: 499
- 6- Sharma P, Maffulli N : Tendon Injury and Tendinopathy: Healing and Repair J Bone Joint Surg Am. 2005;87:187-202
- 7- S L-Y.Woo : Tissue engineering: use of scaffolds for ligament and tendon healing and regeneration. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2009; 17:559–560
- 8- Chang A, Miller T.T : Imaging of Tendons. Sports Health: A Multidisciplinary Approach 2009; 1: 293
- 9- Boesen MI, Boesen A, Koenig MJ, Bliddal J, Torp-Pedersen S : Ultrasonographic Investigation of the Achilles Tendon in Elite Badminton Players Using Color Doppler. Am J Sports Med 2006; 34: 2013
- 10- Aroen A, Helgo D, Granlund O.G, Bahr R : Contralateral tendon rupture risk is increased in individuals with a previous Achilles tendon rupture. Scand J Med Sci Sports 2004; 14: 30–33

- 11- Bertolotto M, Perrone R, Martinoli C, Rollandi G.A, Patetta R, Derchi L.E : High resolution ultrasound anatomy of normal Achilles tendon. *The British Journal of Radiology*, 1995; 68, 986-991
- 12- Azzoni R, Cabitza P : Achilles tendon pathology: the role of ultrasonography. *J Orthopaed Traumatol* 2004; 5:172–177
- 13- Malliaras P, Voss C, Garau G, Richards P, Maffulli N: Achilles tendon shape and echogenicity on ultrasound among active badminton players. *Scand J Med Sci Sports*. April 2010
- 14- Boesen M.I., Koenig M.J, Torp-Pedersen S, Bliddal H, Langberg H : Tendinopathy and Doppler activity: the vascular response of the achilles tendon to exercise. *Scand J Med Sci Sports* 2006; 16: 463–469
- 15- Pang B, Ying M : Sonographic Measurement of Achilles Tendons in Asymptomatic Subjects. *J Ultrasound Med* 2006; 25:1291–1296
- 16- Van Schie H.T.M, De Vos R J,De Jonge S : Ultrasonographic tissue characterisation of human Achilles tendons: quantification of tendon structure through a novel non-invasive approach. *Br J Sports Med* August , 2009
- 17- Åström M, Gentz C-F, Nilsson P, Rausing A, Sjöberg S, Westlin N : Imaging in chronic achilles tendinopathy: a comparison of ultrasonography, magnetic resonance imaging and surgical findings in 27 histologically verified cases. *Skeletal Radiol* 1996; 25:615–620
- 18- Paavola M, Kannus P, Järvinen T, Khan K, Józsa K, Järvinen M : Achilles Tendinopathy. *J Bone Joint Surg Am* 2002;84:2062-2076
- 19- Oyar O, Gülsoy UK: Ultrasonografi Fiziği. *Tibbi Görüntüleme Fiziği* Rekmay, Ankara 2003167-230
- 20- Kayser R, Mahlfeld K, Heyde C E : Partial rupture of the proximal Achilles tendon: a differential diagnostic problem in ultrasound imaging. *Br J Sports Med* 2005; 39: 838-842

- 21- Gibbon W W, Cooper J R, Radcliffe G S: Sonographic incidence of tendon microtears in athletes with chronic Achilles tendinosis. Br J Sports Med. 1999; 33: 129-130
- 22- Drakonaki E.E., Allen G.M, Wilson D.J.: Real-time ultrasound elastography of the normal Achilles tendon: reproducibility and pattern description. Clinical Radiology 2009; 64, 1196-1202
- 23- Hagen-Ansert SL: Ultrasonun Temelleri. Tanısal Ultrasonografi Beşinci Baskı. Güneş Kitabevi 2005; S:3-23
- 24- Rumack MC, Wilson RS, Charboneau JW: Physics of ultrasound. Diagnostic Ultrasound. Üçüncü Baskı. Mosby 2005; S: 3-35
- 25- Taylor KJ, Holland S: Doppler Imaging; Principles, Limitations, Artifacts. Radiology 1990;174:1-10
- 26- De Zordo T, Fink C, Feuchtner GM, Smekal V, Reindl M, Klauser AS : Real-Time Sonoelastography Findings in Healthy Achilles Tendons. AJR 2009; 193
- 27- De Zordo T, Lill SR., Fink C, Feuchtner GM., Jaschke W, Bellmann-Weiler R, Klauser AS.: Real-Time Sonoelastography of Lateral Epicondylitis: Comparison of Findings Between Patients and Healthy Volunteers AJR 2009; 193:180–185
- 28- Mitchell DG: Color Doppler Imaging; Principles, Limitations, Artifacts. Radiology 1990;177:1-10
- 29- Bom K, De Boo J, Rijsterborgh H,: On the aliasing problem in pulsed Doppler cardiac studies. J Clin Ultrasound 1984;12:559-567
- 30- Conkbayir I, Yanik B, Senyücel C, Hekimoğlu B. Twinkling artifact in color Doppler ultrasonography. Pictorial essay. Tanı Girişim radyoloji 2003Aralık;9(4):407-410
- 31- Nelson TR, Pretorius H: The Doppler signal: Where does it come from and what does it mean? AJR 1988; 151: 439-447

- 32- Feldman MK, Katyal S, Blackwood MS.: US Artifacts. Radiographics July-August 2009; 29 (4)
- 33- Kallinen M, Suominen H.: Ultrasonographic Measurements Of The Achilles Tendon In Elderly Athletes And Sedentary Men. Acta Radiologica 1994; 6
- 34- Hollenberg GM, Adams MJ, Weinberg EP: Ultrasound and Color Doppler Ultrasound of Acute and Subacute Achilles Tendon Ruptures. Am Society of Emerg Radiology 1998; 5: 5
- 35- Komi PV, Fukashiro S, Jarvinen M: Biomechanical loading of Achilles tendon during normal locomotion. Clin Sports Med 1992, 11(3), 521-31.
- 36- Komi P: Relevance of in-vivo force measurements to human biomechanics. J Biomechanics 1990, 23(Suppl 1): 23-34.
- 37- Renstrom P, Johnson RJ: Overuse injuries in sports. A review. Sports Med 1985, 2(5): 316-33.
- 38- O'Brien M: Functional anatomy and physiology of tendons. Clin Sports Med 1992, 11(3), 505-20.
- 39- Kamaya A, Tuthill T, Rubin JM: "Twinkling artifact on color Doppler sonography: dependence on machine parameters and underlying cause. Am J Roentgenol 2003;180(1): 215-222
- 40- Rahmouni A, Bargoin R, Herment A, Bargoin N, Vasile N: Color Doppler "Twinkling artifact in hyperechoic regions. Radiology 1996;199(1):269-271
- 41- O'Reilly M.A.R, Massouh H: Pictorial Review: The Sonographic Diagnosis in the Achilles Tendon of Pathology. Clinical Radiology 1993; 48; 202-206
- 42- Taylor L.S : Three-Dimensional Sonoelastography : Principles and Practices with Application to Tumor Visualization and Volume Estimation. University of Rochester, New York 2002

- 43- Havre RH, Elde E, Gilja OH, Ödegaard S: Freehand Real-Time Elastography: Impact of scanning parameters of image quality and in vitro intra and interobserver validations. *Ultrasound in Med. & Biol.* 2008; 34 (10): 1638–1650
- 44- Klauser AS, Peetrons P: Developments in musculoskeletal ultrasound and clinical applications. *Skeletal Radiol* 2009; August
- 45- Li Y, Snedeker J G: Elastography: modality-specific approaches, clinical applications, and research horizons. *Skeletal Radiol* 2010; February
- 46- Pehlivan F. *Biyofizik. İkinci Baskı.* 1997; 390–394
- 47- Ophir J, Kallel F, Varghese T, Alam SK, Krouskop T, Garra BS et al. Elastography. *Optical and Acoustical Imaging of Biological Media* 2001; 4: 1193–1212
- 48- Taylor L.S, *Three Dimensional Sonoelastography: Principles and Practices with Application to Tumor Visualization and Volume Estimation.* Univercity of Rochester, NewYork 2002
- 49- Tuncel E. *Klinik Radyoloji. İkinci Baskı, Nobel-Güneş Kitabevi* 2007; 173–174

8. ÖZET

AMAÇ: Çalışmanın amacı Aşıl tendinopatilerinde gerçek zamanlı sonoelastografinin tanısal değerini gri skala US ve Doppler US ile karşılaştırmalı olarak araştırmaktır.

GEREÇ VE YÖNTEM: Klinik olarak Aşıl tendinopatisi düşünülen 21 semptomatik olgu ile 20 asemptomatik gönüllü çalışmaya dahil edildi. Olgular gri-skala, renkli Doppler US ve gerçek zamanlı sonoelastografi yöntemleri ile incelendi. Toplam 41 hasta ve gönüllü olgunun 82 aşıl tendonu ve her tendonun proksimal, orta ve distal olmak üzere 3 segmenti kısa ve uzun aks incelemelerde ayrı ayrı değerlendirilerek dijital ortamda kaydedildi. Görüntüler iki radyolog tarafından kör olarak değerlendirildi ve fikir birliği ile skorlandı. Olgular gri skala US incelemede çap, iç ekojenite yapısı, kenar özellikleri göz önüne alınarak; kenarları birbirine paralel seyreden, homojen ekojenitede normal görünümlü tendon (evre 1), kenarlarında bombeleşme bulunan, homojen ekojenitede genişlemiş görünümlü tendon (evre 2) ve kenarlarında genişlemenin eşlik ettiği ya da etmediği hipoekoik alanlar içeren heterojen ekojenitedeki tendon (evre 3) şeklinde üç gruba ayrıldı. Renkli Doppler US’de kanlanmanın olup olmasına göre iki gruba ayrıldı. Sonoelastografi ile tendon mavi-yeşil renkte ise ve hiç kırmızı renkte çizgilenme içermiyor ise sert (Tip 1, normal), hafif kırmızı çizgilenmeler içeriyor ise orta sertlikte (Tip 2, normal) ve kırmızı çizgilenmeler

miktar olarak fazla ise yumuşak (Tip 3, patolojik) olarak sınıflandırıldı. Tüm olgularda ortalama gerinim indeksi değerleri her segment için hesaplandı.

BULGULAR:Yakınma varlığı cinsiyet, beden kitle indeksi ve Aşıl çapı arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki saptanmamıştır. Yaş artışı ile yakınma varlığı arasında ise istatistiksel anlamlı artış gözlemlendi ($p<0,05$). Sağlıklı gönüllülerde olguların 37'si (%67,2) Tip 1-sert, 15'i (%27,3) Tip 2-orta sertlikte ve 3'ü (%5,5) Tip 3 yumuşak idi. Aşıl tendinopatisi bulunan olguların ise 9'u (%33,3) Tip 1-sert, 4'ü (%14,8) Tip 2-orta sertlikte ve 14'ü (%51,9) Tip 3-yumuşak idi. Sonoelastografinin Aşıl tendinopatilerinde duyarlılığı, özgüllüğü, pozitif öngörü değeri, negatif öngörü değeri ve doğruluğu sırasıyla %51,9, %94,5, %82,4, %80 ve %80,5 iken, aynı değerler gri skala inceleme için sırasıyla %51,9, %90,9, 73,7, % 79,4 ve % 78 olarak hesaplandı. Doppler incelemede ise duyarlılık %25,9, özgüllük %100, PÖD %100, NÖD %73,3, doğruluk %75,6 idi.

Tendinopati gelişme riski en fazla olan orta 1/3 lük kesimde gerinim indeksi eşik değeri 1,4 olarak hesaplandı.

Tanısal performans açısından bakıldığında gri skala ve sonoelastografi, renkli Doppler US'ye üstünlük sağlamakta olup kendi aralarında benzerlik göstermektedirler. Sonoelastografinin pozitif öngörü değerinin gri skalaya göre daha yüksek olması göz önüne alındığında tanının daha doğru şekilde konmasında önemli bir avantaj sağladığı ortaya konulmuştur.

SONUÇ: Aşıl tendon patolojilerinin değerlendirilmesinde sonoelastografi, gri skala inceleme ile birlikte kullanıldığında tanısal doğruluğu artırmaktadır. Erken dönem tendinopati olgularında sonoelastografinin tanısal değerini ortaya koymak için daha geniş kapsamlı ve uzun vadeli çalışmalar gerekmektedir.

9. SUMMARY

AIM: The aim of this study is to search for diagnostic value of sonoelastography in Achilles tendinopathy in comparison with grey scale and Doppler sonography.

MATERIALS AND METHODS: Twenty one symptomatic cases which were clinically suggestive of Achilles tendinopathy and 20 asymptomatic volunteers were involved in this study. All cases were evaluated with grey scale sonography, Doppler US and sonoelastography. Proximal, middle and distal segments in 82 tendons in 41 symptomatic and asymptomatic cases were evaluated separately in short and long axis views. All images were recorded digitally. Images were evaluated by two radiologists and scored in consensus. On grey scale examination cases were grouped according to diameter, internal echo texture and contour properties as; grade 1, normal-appearing tendon (parallel margins, homogeneous echo texture); grade 2, enlarged tendon (bowed margins, homogeneous echo texture); or grade 3, (heterogenous tendon containing hypoechoic areas with or without tendon enlargement). On color Doppler US case were grouped into two according to presence or absence of flow. With sonoelastography tendons were classified as; Type 1-normal (blue-green), Type 2 medium stiffness-normal (slight red coloration within mostly blue-green tendon) and Type 3 soft-pathological (larger amount of red coloration within tendon. Mean strain index values were calculated for all segments in each case.

RESULTS: There was no statistically significant correlation between presence of symptoms and sex, body mass index, Achilles tendon diameter. Statistically significant increase in presence symptoms with increasing age was observed.

In healthy volunteers 37 of the cases (67,2%) were Type 1-stiff, 15 (27,3%) were Type 2-medium stiffness, and 3 (5,5%) were Tip 3 soft. In cases with Achilles tendinopathy 9 (33,3 %) were Type 1-stiff, 4 (14,8%) were Type 2-medium stiffness, and 14 (51,9%) were Type 3-soft. Sensitivity, specificity, positive predictive value, negative predictive value and accuracy of the sonoelastography in Achilles tendinopathy were 51,9 %, 94,5 %, 82,4 %, 80 % and 80,5% respectively. The same values for the grey scale imaging were calculated as 51,9 %, 90,9 %, 73,7 %, 79,4 % and 78 % respectively. For Doppler examination sensitivity was 25,9 %, specificity was 100 %, positive predictive value was 100 %, negative predictive value was 73,3 % and accuracy was 75,6 %.

The strain index cut-off value for the middle 1/3 segment of the tendon in which incidence of tendinopathy is the highest was calculated as 1,4 Diagnostic performances of both grey-scale and real time sonoelastography were superior to color Doppler sonography. Positive predictive value of real time sonoelastography was higher than the grey scale sonography, suggesting a higher diagnostic efficiency making the test advantageous in accurate diagnosis.

CONCLUSION: In the evaluation Achilles tendinopathies, real time sonoelastography increases the diagnostic performance when used in conjunction with grey scale imaging. Long term studies with larger study population are needed to reveal the diagnostic value of sonoelastography in early tendionapthy cases.

10. EKLER

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Ses Dalgasının Genliği Dalga Boyu ve Periyodu

Şekil 2.2. Akustik Empedans şematik gösterimi

Şekil 2.3. Reverberasyon artefaktı, çizimsel açıklama

Şekil 2.4. Ayna artefaktı, çizimsel açıklama

Şekil 2.5. Kuyruklu yıldız artefaktı, çizimsel açıklama

Şekil 2.6. Akustik gölge artefaktı, çizimsel açıklama

Şekil 2.7. Güçlenme artefaktı, çizimsel açıklama

Şekil 2.8. Kırılma artefaktı, çizimsel açıklama

Şekil 2.9. Dopplerde akım yönü

Şekil 2.10. Ultrasonografide aksiyel çözünürlük (rezolüsyon)

Şekil 2.11. Ultrasonografide lateral çözünürlük (rezolüsyon)

Şekil 2.12. (Bileşik) Compound görüntüleme

Şekil 2.13. Farklı dokuların stres gerim eğrileri

Şekil 2.14. Poisson oranının şematik görünümü

Şekil 2.15. Shear stres basit şematik görünümü

Şekil 2.16. Shear stres şematik görünümü

Şekil 2.17. Fantomların elastografi ile değerlendirilmesi

Şekil 2.18. Tendonun histolojik yapısı

Şekil 2.19. Tendon lifinin artan strese verdiği yanıt

Şekil 2.20. Aşıl tendonunun uzun aks US incelemesi şematik görünüm

Şekil 2.21. Aşıl tendonunun kısa aks US incelemesi şematik görünüm

RESİMLER

Resim 2.1. Gri skala incelemesine göre aşı tendon tipleri

Resim 2.2. Aşı tendon Doppler inceleme örnekleri

Resim 2.3. GZS incelemesine göre aşı tendon tipleri

Resim 4.1.1. Tip 1 aşı tendon gri skala ve GZS görüntüleri

Resim 4.1.2. Doppler incelemede kanlanma izlenen aşı tendonunun gri skala ve GZS görüntüleri

Resim 4.1.3. GZS incelemesinde Tip 3 aşı tendonu

Resim 4.1.4. Gri skala incelemesinde evre 3, Doppler incelemesinde kanlanma izlenen olgunun görüntüleri

Resim 4.1.5. Tendinozisli olgunun tedavi öncesi ve sonrası US görüntüleri

TABLÖLAR

Tablo 2.1. Ultrasesin çeşitli ortamlardaki yayılım hızları

Tablo 2.2. Bazı doku ve organların akustik empedansları

Tablo 2.3. Bazı maddelerin young modülleri

Tablo 4.1. Yakınması Olan ve Olmayan Olguların Yaş Özellikleri

Tablo 4.2. Yakınması Olan ve Olmayan Olguların BMI Özellikleri

Tablo 4.3. Yakınması Olan ve Olmayan Olguların Aşıl Çap Ortalamaları

Tablo 4.4. Tüm Segmentlerde Tetkiklere Göre Yakınma Varlığı ve Yokluğunda Toplam Bulguların Dağılımı

Tablo 4.5. GZS Bulgularının Segmentlere ve Yakınma Varlığına Göre Dağılımı

Tablo 4.6. Doppler Bulgularının Segmentlere ve Yakınma Varlığına Göre Dağılımı

Tablo 4.7. Gri Skala Bulgularının Segmentlere ve Yakınma Varlığına Göre Dağılımı

Tablo 4.8. Değerlendirilen 82 Aşıl Tendonunda Elastografi, Gri Skala ve Doppler Bulgularının Yakınma Varlığı ve Yokluğunda Dağılımı

Tablo 4.9. Hastanın Yakınmasının Olup Olmadığını Öngörmeye Tetkiklerin Performans Düzeyleri

Tablo 4.10. Farklı Segmentlerde Elastografinin Patoloji Olup Olmamasını Öngörmeye Gerinim İndeksi Performansının İncelenmesi

GRAFİKLER:

Grafik 4.1. Proksimalde Elasto Sonucunun Patolojik Olup Olmadığını Öngörmeye Strain İndekse Ait ROC Eğrisi

Grafik 4.2. Orta Segmentte Elasto Sonucunun Patolojik Olup Olmadığını Öngörmeye Strain İndekse Ait ROC Eğrisi