

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

**DENEYSEL TESTİS TORSİYONUNDA DİFÜZYON AĞIRLIKLİ
MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEMENİN YERİ**

**UZMANLIK TEZİ
DR. FURKAN UFUK**

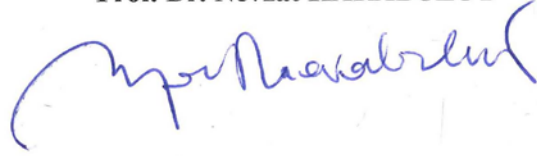
**DANIŞMAN
YARD. DOÇ. DR. DUYGU HEREK**

DENİZLİ - 2015

Yard. Doç. Dr. Duygu HEREK danışmanlığında Dr. Furkan UFUK tarafından yapılan “Deneysel Testis Torsiyonunda Difüzyon Ağırlıklı Manyetik Rezonans Görüntülemenin Yeri” başlıklı tez çalışması 07/07/2015 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonrası yapılan değerlendirme sonucu jürimiz tarafından Radyoloji Anabilim Dalı’nda TIPTA UZMANLIK TEZİ olarak kabul edilmiştir.

BAŞKAN

Prof. Dr. Nevzat KARABULUT



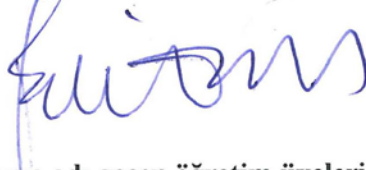
ÜYE

Prof. Dr. Yelda ÖZSUNAR DAYANIR

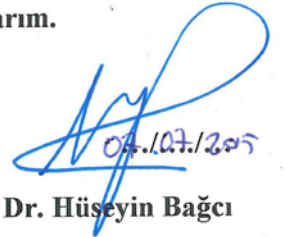


ÜYE

Doç. Dr. Fahri TERCAN



Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. Hüseyin Bağcı

Pamukkale Üniversitesi

Tıp Fakültesi Dekan V.

TEŞEKKÜR

Tez hazırlama sürecinde desteklerini esirgemeyen ve beni yönlendiren tez danışmanım Yard. Doç. Dr. Duygu HEREK'e, uzmanlık eğitimim boyunca bilgi ve deneyimlerinden yararlanma fırsatı bulduğum değerli hocalarım Prof. Dr. Nevzat KARABULUT, Prof. Dr. Nuran A. Sabir AKKOYUNLU, Doç. Dr. Yılmaz KIROĞLU, Doç. Dr. Ahmet Baki YAĞCI, Doç. Dr. Fahri TERCAN, Doç. Dr. Ali KOÇYİĞİT ve Yard. Doç. Dr. Kadir AĞLADIOĞLU'na teşekkür ve saygılarımı sunarım. Bu çalışmada büyük katkısı bulunan Çocuk Cerrahisi Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Özkan HEREK ve Patoloji Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Metin AKBULUT'a ayrıca içten teşekkür ederim.

Birlikte çalıştığım tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma, teknisyenlerimize ve personelimize, beni bugünlere getiren canım aileme, her zaman yanımda olan, desteğini hep hissettiğim sevgili eşim Eczacı Aysun UFUK'a,

Teşekkür ederim.

Dr. Furkan UFUK

2015

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ONAY SAYFASI.....	III
TEŞEKKÜR	IV
İÇİNDEKİLER	V
SİMGELER VE KISALTMALAR	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	IX
RESİMLER DİZİNİ	XI
ÖZET	XII
İNGİLİZCE ÖZET.....	XV
GİRİŞ	1
GENEL BİLGİLER	3
TESTİS VE EPİDİDİM ANATOMİSİ.....	3
Testisin Arteriyel Dolaşımı.....	4
Testisin Venöz Ve Lenfatik Dolaşımı.....	6
Testisin İnervasyonu.....	7
TESTİS VE EPİDİDİM EMBRİYOLOJİSİ.....	7
TESTİS TORSİYONUNUN EPİDEMİYOLOJİ VE ETYOLOJİSİ..	8
TESTİS TORSİYONUNDA KLİNİK BULGULAR.....	9
TESTİS TORSİYONUNDA AYIRICI TANI.....	10

TESTİS TORSİYONUNDA TANI.....	10
TANISAL GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ.....	11
Doppler Ultrasonografi.....	11
Radyonüklid Sintigrafi.....	12
Manyetik Rezonans Görüntüleme.....	13
Difüzyon Ağırlıklı Görüntüleme.....	14
GEREÇ VE YÖNTEM.....	18
ÇALIŞMA GRUBU.....	18
GRUPLANDIRMA VE CERRAHİ İŞLEM.....	23
GÖRÜNTÜLERİN ELDE EDİLMESİ.....	24
RADYOLOJİK DEĞERLENDİRME.....	25
PATOLOJİK DEĞERLENDİRME.....	27
İSTATİSTİKSEL ANALİZ.....	30
BULGULAR	31
OLGULARDAN ÖRNEKLER.....	41
TARTIŞMA	45
KAYNAKLAR	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

ADC	: Ölçülebilir Difüzyon Katsayısı
BT	: Bilgisayarlı tomografi
cm	: Santimetre
DAG	: Difüzyon Ağırlıklı Görüntüleme
EPI	: Echo Planar Imaging
FOV	: Görüntüleme alanı
FSE	: Fast Spin Echo
GRE	: Gradyent Eko
İ.V.	: İntravenöz
MHz	: Megahertz
MİP	: Maksimum İntensite Projeksiyon
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
MRG	: Manyetik Rezonans Görüntüleme
NEX	: Number of Excitation
mT/m	: Militesla metre
RDUS	: Renkli Doppler Ultrasonografi
ROI	: Region of Interest, (İlgi Alanı)
SE	: Spin Eko
sn	: Saniye
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
USG	: Ultrasonografi
T	: Tesla
T1A	: T1 ağırlıklı
T2A	: T2 ağırlıklı
°	: Derece

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1	Testis, Epididim ve Duktus Deferens Anatomisi.....	4
---------	--	---

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa No
Tablo 1 Deney gruplarının dağılımı ve deney protokolleri.....	21
Tablo 2 MRG çekim parametreleri.....	22
Tablo 3 Modifiye Cosentino Evrelemesi.....	28
Tablo 4 Orşiyektomi sonrası makroskopik değerlendirme.....	31
Tablo 5 Orşiyektomi sonrası sol testislerin modifiye Cosentino evrelemesine göre dağılımı.....	32
Tablo 6 Orşiyektomi sonrası sağ testislerin modifiye Cosentino evrelemesine göre dağılımı.....	33
Tablo 7 Gruplara göre 8. ve 24. saatteki ortalama ADC değerlerinin karşılaştırılması.....	34
Tablo 8 Gruplar içerisinde sağ ve sol testisin 8. saat ortalama ADC değerlerinin karşılaştırılması.....	35
Tablo 9 Sol testislerden 8.saatte yapılan ortalama ADC ölçümlerinin gruplara göre dağılımı.....	35
Tablo 10 Sol testislerden 8.saatte yapılan ortalama ADC ölçümlerinde gruplar arası p değerleri.....	36
Tablo 11 Gruplara göre sağ ve sol testis 24. saat ortalama ADC değerlerinin karşılaştırılması.....	37
Tablo 12 Sol testislerden 24.saatte yapılan ortalama ADC ölçümlerinin gruplara göre dağılımı.....	37
Tablo 13 Sol testislerden 24.saatte yapılan ortalama ADC ölçümlerinde gruplar arası p değerleri.....	38
Tablo 14 Sağ ve sol testisler arasında, gruplara göre patoloji skorları arasındaki p değerleri.....	38

Tablo 15	Gruplara göre 8. ve 24. saatteki ortalama alan değerlerinin karşılaştırılması.....	39
Tablo 16	Ölçümlerde kullanılan ortalama ROI değerleri.....	40

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa No
Resim 1 Cerrahi öncesi polivinil pirolidone iyot ile saha temizliği.....	19
Resim 2 Sol vertikal insizyon ile skrotumun açılması.....	20
Resim 3 Testisin vasküler yapılarıyla birlikte skrotum dışına alınması.....	20
Resim 4 Testisin vasküler yapılarıyla birlikte saat yönünde döndürülerek torsiyonun oluşturulması.....	21
Resim 5 Testisin üst ve alt pollerindeki damarsız alanlarda tunika albugineadan geçilerek, testisin skrotum ön duvarına tespit edilmesi.....	22
Resim 6 Skrotum cildinin kapatılması.....	22
Resim 7 Ratların MRG için güvenli olarak tasarladığımız taşıma tahtasına yerleştirilmesi.....	23
Resim 8 Radikal orşiyektomi öncesi testisin dışarı alınması.....	24
Resim 9 Aksiyal T2A MR görüntülerinde testis alanlarının ölçümü.....	26
Resim 10 Transvers gri skala ADC haritalarında elipsoid ilgi alanları (ROI, “region of interest”) ile ADC ölçümü.....	27
Resim 11 Evre 1, düzenli dizilmiş germinal hücreler görülen normal testis yapısı izleniyor.....	28
Resim 12 Evre 2, birbirine bağlı olmayan germ hücreleri, yakın paketlenmiş seminifer tübüller ve hafif interstiyel hemoraji varlığı izleniyor.....	29
Resim 13 Evre 3, piknotik nükleusları olan düzensiz, göllenmiş germ hücreleri, sınırları daha az belirgin seminifer tübüller ve yaygın hemoraji varlığı izleniyor.....	29
Resim 14 Evre 4, germ hücrelerinde koagülasyon nekrozuyla birlikte sıkıca paketlenmiş seminifer tübüller izleniyor.....	30

ÖZET

Deneysel Testis Torsiyonunda Difüzyon Ağırlıklı Manyetik Rezonans Görüntülemenin Yeri

Dr. Furkan UFUK

Testis torsiyonu, spermatik kord ve yapılarının dönmesi sonucu testiste iskemiye sebep olan cerrahi bir acil olup, erken teşhis ve tedavi gerektirir. Tanıda gecikme, gonad kaybına ve infertiliteye neden olur. Testis torsiyonunun tanısında renkli Doppler ultrasonografi (RDUS) en doğru sonucu veren yöntem olarak bilinmektedir. Ancak, RDUS kullanıcı ve cihaz bağımlı olup duyarlılığı değişkendir. Difüzyon ağırlıklı görüntüleme (DAG) su moleküllerinin mikroskopik hareketlerini ölçen kontrastsız bir manyetik rezonans görüntüleme (MRG) sekansıdır. Erken dönemde rat testislerinde iskemiye göstermede DAG'ın başarılı olduğu gösterilmiştir. Ancak hastaların çoğunun hastaneye başvurduğu geç dönemde testis iskemisinin orta veya geç dönem etkilerini inceleyen sistematik bir DAG çalışması mevcut değildir. Testis torsiyonu tanısı koyulduğunda, cerrah intraoperatif olarak detorsiyone ettiği testisi reperfüzyon açısından değerlendirir. Ancak, yapılan çalışmalarda kurtarılabılır testisin alındığı veya kurtarılamayacak düzeyde hasar bulunan testisin detorsiyone edilerek bırakıldığı gösterilmiştir. Bu çalışmanın amacı deneysel testis torsiyonunda, torsiyon sonrası 8. ve 24. saatte ortalama ADC değerlerinin torsiyon derecesi ve süreye göre değişimini değerlendirerek, DAG'ın testis torsiyonundaki rolünü ortaya koymaktır. Ayrıca torsiyon sonrası 24. saatteki ADC değerlerini, histopatolojik bulgularla karşılaştırarak ADC değerlerinin testisteki hasar ile ilişkisini göstermek ve torsiyone testisin kurtarılabılırlığını değerlendirmektir.

Çalışmamızda ağırlıkları 250-300 gram arasında değişen 31 adet, erkek Wistar albino cinsi rat kullanıldı. Ratlar kendi aralarında randomize olarak seçildi ve ilk grup yedi, diğer üç grup sekizer rat içerecek şekilde toplam dört grup oluşturuldu. Grup 1'de (sham grubu) testis bir dakika dışarıda bekletildikten sonra geri yerleştirildi. Grup 2'de sol testis 360°, grup 3'te sol testis 720° ve grup 4'te sol testis 1080° saat yönünde torsiyone edildi. Bu işlemlerin ardından 8. ve 24. saatte ratlar taşıma tahtasına sabitlenerek MRG cihazı içerisine yerleştirildi ve “Single Shot Echo

Planar Imaging” sekansı ile 2 farklı b değerinde (0, 800 sn/mm²) difüzyon ağırlıklı görüntüler (DAG) elde olundu. Manyetik Rezonans Görüntüleme, 1.5 Tesla (T) süper iletken magnet (Philips Ingenia; Philips Medical Systems, Best, The Netherlands) ve 16 kanallı kafa sarmalı kullanılarak yapıldı. Daha sonra ratlara bilateral radikal orşiyektomi uygulandı ve testis doku örnekleri hemotoksilen-eozin ile boyandı. Testislerdeki hasar modifiye Cosentino sınıflamasıyla değerlendirildi.

Orşiyektomi sonrası sol testisler modifiye Cosentino sınıflamasına göre değerlendirildiğinde, birinci grupta bir testiste evre 2 (%14,3) saptanırken, diğer altı testiste evre 1 (%85,7) mevcuttu. İkinci grupta ise dört testiste evre 1 (%50), üç testiste evre 2 (%37,5) mevcutken, bir testiste interstisyel hemorajinin eşlik ettiği evre 3 (%12,5) saptandı. Üçüncü gruptaki sekiz olgunun tamamında yaygın hemorajinin eşlik ettiği evre 3 (%100) bulundu. Dördüncü gruptaysa üç olguda evre 3 (%37,5), beş olguda (%62,5) evre 4 bulundu. Sağ ve sol testiste hesaplanan ortalama ADC değerleri karşılaştırıldığında birinci ve ikinci grupta, 8. ve 24. saatteki değerlerde anlamlı farklılık saptanmadı. Üçüncü grupta sol testisteki ortalama ADC değerlerinde sağa göre 8. saatte %44, 24. saatte %17 oranında azalma mevcuttu (8. saat $p=0,0001$, 24. saat $p=0,027$). Dördüncü grupta 8. saatte sol testisteki ortalama ADC değerlerinde sağa göre %42 oranında azalma mevcuttu ($p=0,0001$). Dördüncü grupta 24. saatte sol testisteki ortalama ADC değerlerindeyse sağa göre %34 oranında artış mevcuttu ($p=0,0001$). Sol testislerde 8.saatteki ortalama ADC ölçümleri sham grubuyla karşılaştırıldığında; üçüncü ($p=0,004$) ve dördüncü ($p=0,048$) grupta anlamlı derecede düşük ADC değerleri bulundu. İkinci gruptaki ölçümlerde ise sham grubuna göre anlamlı farklılık saptanmadı ($p=0,778$). Yirmidördüncü saatte dördüncü gruptaki (1080° torsiyon grubu) sol testis ortalama ADC değerleri sham grubundan ($p=0,025$) ve diğer iki gruptan (ikinci grup için $p=0,008$, üçüncü grup için $p=0,001$) anlamlı derecede yüksek bulundu. Yirmidördüncü saatte histolojik değerlendirmede dördüncü grupta sol testislerde, sağa göre anlamlı derecede ($p=0,0001$) yüksek hasar mevcuttu ve bu gruptaki sol testislerin tamamı kurtarılamaz durumdaydı.

Sonuç olarak DAG, kontrast madde kullanmadan testis torsiyonun saptanmasında yardımcı olabilir. Testis torsiyonu saptandığında, ortalama ADC

değerlerinde etkilenen tarafta, sağlam tarafa göre artış mevcut ise testiste geri dönüşümsüz hasarın varlığı söylenebilir. Bu durumda torsiyon acil cerrahi müdahale gerektirmez ve orşiyektomi için yol gösterici olabilir.

Anahtar kelimeler: testis torsiyonu, manyetik rezonans görüntüleme, difüzyon ağırlıklı görüntüleme

SUMMARY

Role of Diffusion Weighted Magnetic Resonance Imaging in Evaluation of Experimental Testicular Torsion

Dr. Furkan UFUK

Testicular torsion is a urologic emergency that causes ischemia in testicles due to twisting of spermatic cord and structures and requires early diagnosis and treatment. Delay in the diagnosis of testicular torsion causes loss of gonad and infertility. Color Doppler ultrasound (CDUS) is known as the method which provides the best result in the diagnosis testicular torsion. However, this technique is operator and device-dependent and has variable sensitivity. Diffusion weighted imaging (DWI) which measures the microscopic movements of water molecules, is a magnetic resonance imaging (MRI) sequence that does not require injection of contrast material. DWI has been shown to be successful in demonstrating the ischemia in rat testicles in the early period of testicular torsion. However, most patients attend to the hospital in late period and there is no systematic study examining the mid- and late period effects of ischemia in testicular torsion using DWI. Once the diagnosis of testicular torsion is made, the surgeon evaluates the detorsioned testicle intraoperatively for reperfusion. However, studies show that the testicles that could have been recovered were removed or testicles that had been irreversibly damaged were left after detorsion. The aim of this study is to evaluate the changes in mean ADC values according to degree and duration of torsion at 8th and 24th hours and to establish the role of DWI in testicular torsion. We also aim to show the relationship between the ADC values and testicular damage by comparing the ADC values in the 24th hour of torsion with histopathological findings and evaluate the salvability of torsioned testicles.

Thirty-one male Wistar albino rats weighing 250-300 grams were used in the study. Rats were randomly selected and a total of four groups were formed; there were seven rats in the first group and eight rats in each of the other three groups. In group 1 (sham group) the testicle was kept outside for a minute and replaced. Left testicles were twisted 360 degrees in group 2, 720 degrees in group 3 and 1080

degrees in group 4 in clockwise direction. After the operations, the rats were stabilized on a carriage board at 8th and 24th hours and underwent MRI examination using “Single Shot Echo Planar Imaging (SSEPI)” sequence, DWI was obtained with two different b values (0, 800 sn/mm^2). After MRI, all rats underwent bilateral radical orchiectomy, and testicular tissue samples were stained with hematoxylin-eosin (HE). The damage in testicles was evaluated with modified Cosentino classification.

When left testicles were evaluated according to the modified Cosentino classification after the orchiectomy, stage 2 (14.3%) was detected in one testicle in the first (sham) group and stage 1 (85.7%) was present in other six testicles. While stage 1 in 4 testicles (50%) and stage 2 in 3 testicles (37.5%) were present in the second group, stage 3 accompanied by interstitial hemorrhage (12.5%) was detected in one testicle. In all of the eight cases in group 3, stage 3 accompanied by widespread hemorrhage was found (100%). In the fourth group, stage 3 in three cases (37.5%) and stage 4 in five cases were found (62.5%). When average ADC values calculated in right and left testicles were compared, no significant difference in the values at 8th and 24th hours were detected in the first and second groups. In the third group, compared with the right testicle, 44% decrease at 8th hour and 17% decrease at 24th hour were found in average ADC values of left testicle (8th hour $p=0.0001$, 24th hour $p=0.027$). In the fourth group, there was 42% decrease in average ADC values in left testicle compared with the right testicle at 8th hour ($p=0.0001$). However, 34% increase was present in average ADC values of the left testicle when compared with the right testicle at twenty-fourth hour ($p=0.0001$) in group 4. When average ADC measurements of the left testicles at 8th hour of the torsion were compared with the sham group; significantly low ADC values were found in third ($p=0.004$) and fourth ($p=0.048$) groups. No significant difference was detected in the measurements of the second group when compared with the sham group ($p=0.778$). In twenty-fourth hour, average left testicle ADC values in the fourth group (1080 degrees torsion group) were found significantly higher than the sham group ($p=0.025$) and the other two groups ($p=0.008$ for the second and $p=0.001$ for the third group). In the histological evaluation at 24th hour there was a significantly high

($p=0.0001$) damage in left testicles in the fourth group compared with the right testicles and all the left testicles in this group were observed to be irrecoverable.

In conclusion, DWI can allow for the detection of testicular torsion without any use of contrast media. When testicular torsion is detected, it may be stated that there is an irreversible damage in the testicle if there is an increase in average ADC values in the affected side compared with the other side. So, urgent surgical intervention is not required and this may be a guide for orchiectomy.

Key words: testicular torsion, magnetic resonance imaging, diffusion-weighted imaging

GİRİŞ

Testis torsiyonu, spermatik kord ve yapılarının dönmesi sonucu testiste iskemiye sebep olan, genelde akut başlangıçlı, erken teşhis ve tedavi gerektiren cerrahi bir acildir. Testis torsiyonu oluştuğunda önce venöz dönüş bozulur ve ödem başlar. Bunu takiben hemoraji, arteriyel obstrüksiyon ve iskemi gelişir. Testis torsiyonunda oluşan doku hasarı torsiyonun derecesi ve süresiyle ilişkilidir. Tedavide temel prensip zaman geçirmeden reperfüzyonun sağlanmasıdır (1).

Testis torsiyonundan etkilenen hastaların önemli bir kısmı süt çocuğu, küçük çocuklar veya genç erkeklerdir. Testis torsiyonu %65 pubertal dönemde görülürken, 25 yaş altı erkeklerde 1/4000 oranında görülmektedir. Sıklıkla genç erkeklerde görülen testis torsiyonunun tanısında gecikme, gonad kaybına ve infertiliteye neden olur (2, 3).

Testis torsiyonunun tanısında radyonüklid sintigrafi ve renkli Doppler ultrasonografi (RDUS) en doğru sonucu veren yöntemler olup tanı için altın standart cerrahidir. Radyonüklid sintigrafi acil şartlarda uygulanabilecek bir yöntem değildir. RDUS ise kullanıcı ve cihaz bağımlıdır. Bu nedenle RDUS'un duyarlılığı incelemeyi yapan kişinin tecrübesine ve cihaz kalitesine bağlı olduğundan değişkendir. Ayrıca torsiyon geçici ve kısa süreliyse her iki yöntem de normal olabilmektedir (4). Dinamik substraksiyon kontrastlı manyetik rezonans görüntüleme (MRG) nispeten yeni kullanılmaya başlamış olup testis torsiyonunun tanısında oldukça başarılı bulunmuştur (5). Ancak kontrast madde kullanımı gerektirdiğinden ve işlem süresi uzun olduğundan pratikte kullanımı sınırlıdır.

Difüzyon ağırlıklı görüntüleme (DAG) kontrastsız bir MRG sekansı olup biyolojik dokulardaki su moleküllerinin mikroskopik hareketlerini (Brownian hareket) ölçen bir tekniktir. Bu teknik, hücre dansitesi, membran bütünlüğü ve mikro yapılar gibi doku özelliklerine duyarlıdır (6). Günümüzde selüleriteyi yansıtan tek görüntüleme yöntemi DAG'dır (7). Ayrıca görünür difüzyon katsayısı (ADC: apparent diffusion coefficient) değer ölçümü ile iskemi derecesini öngörmeye katkı sağlar. Erken dönemde rat testislerinde iskemiye göstermede DAG'ın başarılı olduğu gösterilmiştir (8). Ancak 18 yaş altında testis torsiyonu saptanan olguların, skrotal ağrının başlamasından ortalama 8 ila 20 saat sonra hastaneye başvurduğu

bildirilmiştir (9). Testisteki iskeminin orta veya geç dönem etkilerini DAG ile inceleyen sistematik bir çalışma mevcut değildir.

Testis torsiyonu tanısı koyulduğunda ise cerrah intraoperatif olarak detorsiyone ettiği testisi makroskopik olarak rengine, boyutuna, palpasyonla sertliğine bakarak reperfüzyon açısından değerlendirir. Bu değerlendirme subjektif olup, reperfüze olmayan ve enfarktlı olduğu düşünülen testis çıkarılır, reperfüze olduğu düşünülen testis ise yerinde bırakılır. Çıkarılan testis için son sözü patolojik inceleme söyler. Yapılan çalışmalarda kurtarılabılır testisin alındığı veya kurtarılamayacak düzeyde hasar bulunan testisin detorsiyone edilerek bırakıldığı gösterilmiştir. Kurtarılamayacak düzeyde hasar bulunan testisin orşiopeksi yapılarak bırakılmasının, salgılanan anti-sperm antikorları nedeniyle karşı testiste reperfüzyon hasarına yol açarak sperm sayı ve kalitesinde belirgin azalmaya, infertiliteye yol açtığı gösterilmiştir (10-12). Ayrıca torsiyone testis kurtarılabılır durumdaysa acil cerrahi yapılmalıdır. Ancak acil cerrahinin, elektif cerrahiye göre morbidite ve mortalitesi yüksektir (13). Testisin acil detorsiyon işleminden fayda görüp görmeyeceğini gösteren kantitatif yöntemlere ihtiyaç vardır. Bu yöntemler muhtemelen gereksiz birçok orşiopektomi ve hasarlı testisin bırakılmasını önleyecektir. Ayrıca kurtarılamayacak durumdaki testislerde, gereksiz acil cerrahi nedeniyle oluşan komplikasyonları da azaltacaktır.

Bu çalışmanın amacı deneysel testis torsiyonunda, torsiyon sonrası 8. ve 24. saat elde olunan DAG tetkiklerindeki ortalama ADC değerlerinin ve T2 ağırlıklı görüntülerdeki ortalama testis alanlarının, torsiyon derecesi ve süreye göre değişimini değerlendirerek, DAG'ın testis torsiyonu tanısında orta ve geç dönemdeki rolünü ortaya koymaktır. Ayrıca torsiyon sonrası 24. saatteki ADC değerlerini, histopatolojik bulgularla karşılaştırarak ADC değerlerinin testisteki hasar ile ilişkisini ortaya koymak ve torsiyone testisin, detorsiyondan fayda görüp görmeyeceğini, yani operasyon sırasında orşiopeksi veya orşiopektomi arasında kalan cerrahın seçim yapmasını sağlayacak kantitatif bir yöntem ortaya koymaktır. Diğer amacımız ise testis alanlarının torsiyon ile değişimini değerlendirerek tanı için kullanılabilirliğini saptamaktır.

GENEL BİLGİLER

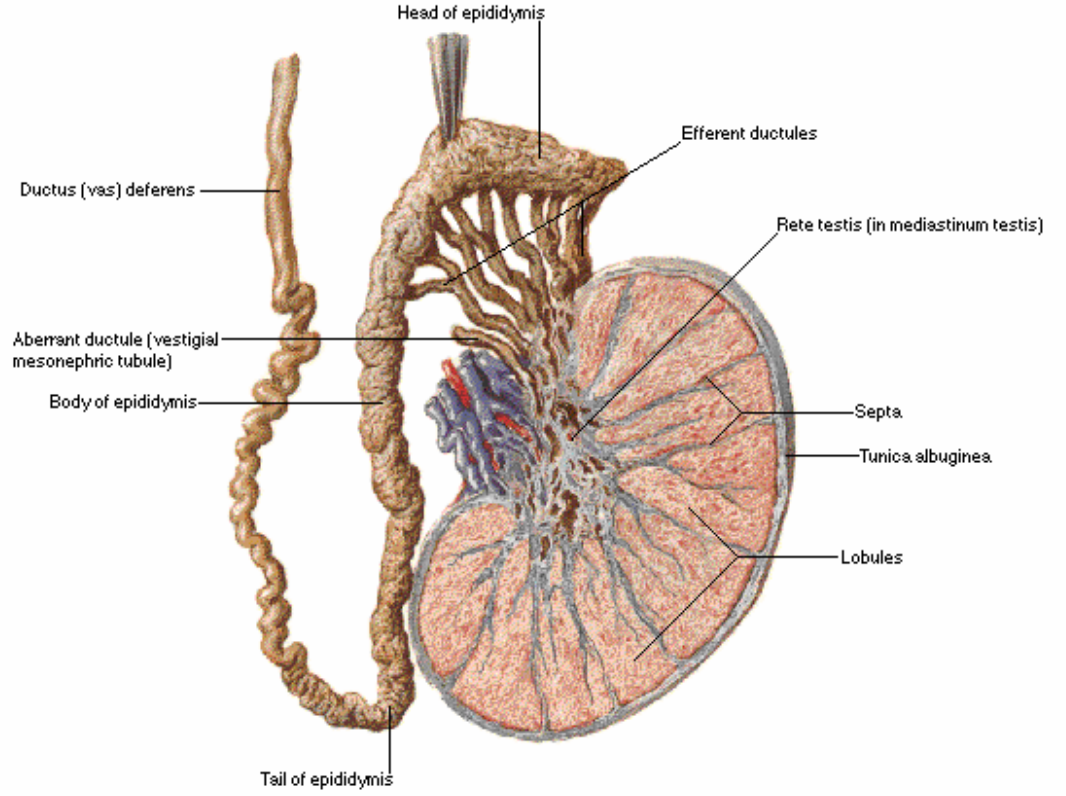
TESTİS VE EPİDİDİM ANATOMİSİ

Testis dokusu sağlıklı genç bir erkekte ortalama 4x3x2,5 cm boyutlarında olup testis hacmi 15-20 ml civarındadır. Sol testis, skrotum içerisinde sağa göre 1 cm kadar daha aşağı yerleşimlidir (14). Testis parankimi dıştan içeriye doğru tunika vajinalis, tunika albuginea ve tunika vasküloza olarak adlandırılan üç tabakadan oluşan sert bir kapsül ile sarılmıştır.

Tunika vajinalis, viseral ve pariyetal yapraklardan oluşmakta olup bu iki tabaka arasında az miktarda seröz sıvı bulunur. Bu yapı ektravajinal torsiyonun oluştuğu kompartmanı oluşturur (15).

Tunika albuginea içerisinde kollajen doku ve düz kas lifleri bulunmakta olup bu düz kas lifleri otonomik inervasyon ile kasılarak oluşan spermilerin efferent duktuslara doğru hareket etmesini sağlar. Ayrıca testiküler arterler testis kapsülünden oblik şekilde geçtiğinden tunika albuginea yapısındaki düz kas lifleri kasılıp gevşeyerek testiküler kan akımını ayarlayabilmektedir. Tunika albuginea, damarların ve duktusların testiküler kapsülü geçtiği noktadan testis içerisine uzanarak mediastinum testisi oluşturur. Septa radiata, testisi sayısı ortalama 200-300 arasında değişen lobüllere ayırarak tunika albugineanın iç yüzeyine tutunur (16). Lobüllerin içerisinde interstisyel doku ve gelişmekte olan germ hücreleri ve Sertoli hücrelerini bulunduran seminifer tübüller vardır. Seminifer tübülleri çevreleyen interstisyumda damar, sinir, lenfatikler ve testesteron üreten Leydig hücreleri vardır. Lobüllerin tepelerine doğru seminifer tübüller düzleşerek mediastende rete testisi oluştururlar. Rete testisten yaklaşık 10-20 adet duktuli efferentes çıkarak epididim başına gelir. Her bir lobülde gelen duktus tek bir epididim duktusuna drene olur. Oldukça ince olan bu kanalın çapı kuyruğa doğru giderek artar ve duktus deferensi oluşturur (Şekil - 1) (17,18).

Tunika vasküloza, tunika albugineanın hemen altında yer alır ve testis septumlarının iç yüzeyini örter.



Şekil-1: Testis, epididim ve duktus deferens anatomisi (Hansen JT. Netter's Clinical Anatomy 2nd Edition. Philadelphia: Saunders-Elsevier 2009, pp 199).

Testisin Arteriyel Dolaşımı

İnsan testis parankimi 100 mg doku için dakikada yaklaşık 9 ml kan ile beslenmektedir. Metabolik ihtiyaca göre kan akımında değişiklikler görülebilmektedir (19). Testisin arteriyel kanlanması başlıca üç arteriyel sistem tarafından sağlanmaktadır.

1. Testiküler (internal spermatik) Arter
2. Kremasterik (eksternal spermatik) Arter

3. Deferansiyel (vazal) Arter

1. Testiküler (internal spermatik) Arter

Testis kan akımının 2/3'ünü sağlayan arter olup abdominal aortadan, renal arterlerin hemen altındaki anterolateral yüzden çıkarlar. Posterior da periton dış yüzeyinde seyrederek ve seyri sırasında üreter ile eksternal ilyak arteri çaprazlayarak inguinal kanal iç halkasında spermatik korda katılır. Spermatik kord içerisinde epididimal dallarını vererek, testis parankimine orta kesim posterior dan tunika albugineayı oblik geçerek girer.

2. Kremasterik (eksternal spermatik) Arter

Testis kan akımının 1/6'sını sağlayan, a.epigastrika inferiorun inguinal kanal girişinde verdiği daldır. Esas olarak tunika vajinalisi besler ve tunika vajinaliste ağ oluşturarak sonlanır. Testiküler ve vazal arterler ile testis parankiminde anastamoz yapar.

3. Deferansiyel (vazal) Arter

Testis kan akımının 1/6'sını sağlar. A. ilyaka eksternanın uç dalı olan a. vezikalis süperior veya inferiordan çıkarak vas deferens ve epididimin globus minörünü besler. Testiküler arter ile anastamoz yapar ve testis kan akımının düzenlenmesini sağlar (20)

Testisin Venöz ve Lenfatik Dolaşımı

Testisin venöz drenajı başlıca dört venöz sistem tarafından sağlanmaktadır.

1. Testiküler (internal spermatik) Ven
2. Kremasterik (eksternal spermatik) Ven
3. Deferansiyel (vazal) Ven
4. Gubernakuler Ven

1. Testiküler (internal spermatic) Ven

İnternal spermatic artere eşlik ederek solda renal vene dik olarak, sağda ise inferior vena kavaya oblik olarak dökülür. Sol internal spermatic ven simetriğine göre daha uzundur.

2. Kremasterik (eksternal spermatic) Ven

Spermatic kordun posteriorunda yer alarak yüzeysel ve derin epigastrik venler veya derin pudental venler yoluyla eksternal ilyak vene dökülür.

3. Deferansiyel (vazal) Ven

Vaz deferense eşlik ederek, süperior veya inferior vezikal venler yoluyla internal ilyak vene dökülür.

4. Gubernakuler Ven

Eksternal pudental ven veya v.safena magna aracılığı ile eksternal ilyak vene dökülür.

İntratestiküler küçük venler, testisin yüzeysel venlerine veya rete testise dökülür. Ardından testis ve epididim venleri mediastinum testisten çıkar ve duktus deferensin önünde, testiküler arterin çevresinde 8-12 venden oluşan bir ağ şeklinde serbest anastamoz yapan panpiniform pleksusu oluşturur. Panpiniform pleksustaki vasküler yapı, bazı alanlarda sadece damar duvar kalınlığıyla ayrılan karşılıklı arter ve venlerle, ısının ve testosteron gibi küçük moleküllerin venöz sistemden arteriyel sisteme pasif difüzyon ile aktarılmasını kolaylaştırır (21).

Testisin lenfatikleri testis hilusundan başlayarak, testiküler venlerin seyri boyunca spermatic korda eşlik eder ve venler ile birlikte daha yukarıya seyrederek paraaortik ve interaortikokaval lenf nodlarına dökülmektedir. Bu lenf nodları arasında yaygın bağlantılar oluşturan lenfatik kanallar mevcuttur (22).

TESTİSİN İNERVASYONU

Testisin inervasyonu, süperior mezenterik ve renal arter bölgesindeki aortik pleksuslar ve kollateral ganglionlar ile ilişkili sempatik lifler ve genel viseral duyu lifleri ile sağlanır (23). Ayrıca bazı afferent ve efferent sinirler pelvik pleksustan sağlanır. Bazı afferent ve efferent sinirler karşı taraf pelvik pleksusa karışabilirler. Bu nöral çapraz kominikasyonlar bir testisteki patolojik olayların karşı testisin fonksiyonlarını da etkileyebileceğini açıklar. Genitofemoral sinirin genital dalları pariyetal ve viseral tunika vaginalis ve skrotumun duyusunu sağlar (24).

TESTİS VE EPİDİDİM EMBRİYOLOJİSİ

Embriyonik disk başlangıçta iki katman halinde olup bu katmanlardan amniyotik yüze bakan kısma ektoderm, yolk sak yüzüne bakan kısmına ise endoderm denir. Bu iki katman arasında mezoderm denilen üçüncü bir katman oluşur ve mezoderm daha sonra paraksiyal, intermediate ve lateral plate mezoderm olarak 3 paralel alana ayrılır. Üriner ve genital organ sistemlerinin büyük bölümü intermediate mezodermden gelişmektedir. Embriyonun cinsiyeti fertilizasyon sırasında belirlenmiş olmakla beraber, gonadların erkek veya dişi morfolojik özellikleri ancak 7. haftadan sonra gözlemlenebilir. Gonadlar başlangıçta, genital tüberkül denilen, çöломik epitelin proliferasyonu ve altındaki mezenşimin yoğunlaşmasıyla oluşmuş uzunlamasına şişkinlikler şeklinde görülür. Gelişimin 6. haftasına kadar genital tüberkül içinde germ hücresi görülmez. Primordial germ hücreleri gelişimin erken devrelerinde, yolk kesesi duvarında allantoise yakın bir yerde endoderm hücreleri arasında belirir (25).

TESTİS TORSİYONUNUN EPİDEMİYOLOJİ VE ETYOLOJİSİ

Testis torsiyonu ilk olarak 1700'lü yıllarda tanımlanmış olup testiste kalıcı iskemik yaralanmaya neden olan ürolojik bir acildir (26, 27). Çocukluk ve ergenlik döneminde akut skrotum hastalıklarının en sık görüleni olmamasına rağmen en önemlisidir. Yirmi beş yaş altındaki erkeklerde testis torsiyonunun insidansı yaklaşık

1/4000 olup yenidoğan döneminde ve 13 yaş civarında pik yapmaktadır. Yaşlılarda testis torsiyonu nadir olup literatürdeki en yaşlı hasta 68 yaşındadır (28). Testiste iskemi, fonksiyon kaybına ve infertiliteye neden olduğundan en kısa sürede düzeltilmelidir (1, 29, 30). Akut skrotum ile başvuran çocukların yaklaşık %9’unda testis torsiyonu saptanmaktadır. Torsiyonun soğuk aylarda ve özellikle Aralık ayında artış gösterdiği saptanmıştır (31).

Deneyisel çalışmalarda testiküler iskemiye en duyarlı hücrelerin, spermatogonia ve spermatositler başta olmak üzere germ hücreleri olduğu gösterilmiştir. Bunun yanı sıra tek taraflı testis torsiyonu sonrasında aynı taraf testis ile birlikte karşı testisin de olumsuz yönde etkilendiği birçok çalışmada gösterilmiştir (11, 12, 32). Karşı testisteki hasara, torsiyone testisten salınan enzimlerin, hipoksiye ikincil salınan ürünlerin ve kan-testis bariyerindeki bozulmanın neden olduğu ileri sürülmüştür (1, 32, 33).

Testis torsiyonu başlıca iki tip olarak sınıflandırılmıştır.

1. Ekstravajinal torsiyon
2. İntravajinal torsiyon

1. Ekstravajinal torsiyon: Nadir görülmekte olup sıklıkla perinatal dönemde görülür. Gubernakulumun skrotum duvarına yetersiz tutunması nedeniyle oluşmaktadır (34). Bu durumda testis, spermatik kord ve epididim vertikal ekseninde torsiyona maruz kalır. Ekstravajinal torsiyon küçük yaşlarda görülen torsiyonların büyük çoğunluğunu oluşturmakta olup bu olguların en az %25’inin daha önce en az bir kere oluşmuş ve kendiliğinden geçmiş skrotal ağrı öyküsü bulunmaktadır (35). Literatürde yetişkinlerde bildirilen ekstravajinal torsiyon sayısı azdır (36).

2. İntravajinal torsiyon: Tunika vajinalis normalde testisin ön yüzeyini sarar ve epididim ile spermatik kord düzeyinde sonlanır. Tunika vajinalis spermatik kordun üst kesimlerinde sonlanırsa, testis tunikal kaviteye asılı olarak durur. Buna “çan tokmağı (*bell-clapper*)” varyantı denir ve bu durumda testis kendi dar mezenterisi

etrafında kolayca dönebilir. Bu varyasyon sıklıkla bilateral görülmekte olup çocukluk ve adölesan dönemlerde görülen torsiyonun en sık nedenidir (37).

Pubertede serum testesteron düzeyinin artışı ve testisin hızlı büyümesinin torsiyona zemin hazırladığı düşünülmektedir. Testis torsiyonunun görülme sıklığı kriptorşid ve retraktil testislerde artmaktadır. Ayrıca testis tümörü, spermatosel, spermatik kord eklerindeki anomaliler de torsiyon riskini arttırmaktadır (38-40). Testis torsiyonu için bir takım predispozan faktörler bildirilmiş olsa da torsiyonun spermatik korddan, testis ve epididime uzanan dar bir bağlantı nedeniyle oluştuğu belirtilmiştir. Bu dar mezenterik bağlantının testisin ileri düşmesine ve testisin vajinal kavitede rahatlıkla hareket ederek torsiyone olmasına neden olduğu bildirilmiştir (37).

TESTİS TORSİYONUNDA KLİNİK BULGULAR

Klinik olarak hastalar ani başlangıçlı ve giderek artan skrotal ağrı yakınmasıyla gelirler. Bulantı, kusma ve hafif ateş eşlik edebilir (41). Torsiyonda testiküler elevasyon ile ağrı azalmazken (Phren bulgusu), başka bir skrotal acil olan epididimoorşitte elevasyon ile ağrı azalmaktadır (42). Kremaster refleksinin torsiyon olgularında yaklaşık %90-100 oranında kaybolduğu gösterilmiştir (42, 43). Ancak kremasterik refleksin sağlıklı bireylerde de %30 oranında kaybolduğu bildirilmiştir (44). Testis torsiyonu, solda daha sık görülmekte olup yaklaşık %2 oranında bilateral olur (45). Torsiyon sonucu oluşan iskemik hasar testisin dönme sayısı ve torsiyon süresiyle ilişkilidir. Testisi korumak için en kısa sürede cerrahi müdahale şarttır. Torsiyon sonrası başarılı bir cerrahi girişime rağmen bu hastaların yaklaşık %40-60'ında testis atrofisi ve infertilite geliştiği bildirilmiştir (46, 47). Krarup ve arkadaşları (48) tek taraflı torsiyon geçirme öyküsü bulunan 55 hastanın 48'inde anormal spermiyogram sonuçları saptamışlar.

TESTİS TORSİYONUNDA AYIRICI TANI

Testis torsiyonunun orşit, epididimit, apendiks testis veya epididimis torsiyonu, tümör, travmatik rüptür ve hematoma, hematosel, hidrosel, strangüle herni gibi skrotal ağrı nedenlerinden ayırt edilmesi son derece önemlidir. Çocuklarda ani başlangıçlı skrotal ağrının yaklaşık %35-67'sinden apendiks testis veya epididimis torsiyonu sorumlu olup, testis torsiyonuna göre daha yavaş başlangıçlı olması ve hastanın ağrı yerini skrotumda lokalize edebilmesi apendiks testis torsiyonunu düşündürür (49). Apendiks testis veya epididimis torsiyonu genelde 16 yaş sonrası erkeklerde görülmekte olup, epididimin üst kesiminde kitle olarak ele gelmesi tipik bulgudur. Bu hastalarda skrotum cildinde “mavi nokta bulgusu (*blue dot sign*)” görülebilir. Ani başlangıçlı skrotal ağrının çocuklardaki diğer nedenleri arasında Henoch-Schönlein purpurası ve poliarteritis nodosa yer almaktadır (50).

TESTİS TORSİYONUNDA TANI

Erken dönem torsiyonda fizik muayene normal olabileceği gibi, Phren bulgusunun varlığı ve kremasterik refleksin kaybolması klinik olarak testis torsiyonu açısından uyarıcı olmaktadır (42). İskemik hasar torsiyon süresi ve dönme sayısı ile ilişkili olup 360°'den fazla ve 24 saatten uzun torsiyonlarda testis atrofisi gelişmektedir. Şiddetli atrofi ayrıca dört saatten uzun ve 360°'den fazla dönmelerde de bildirilmiştir (47). Testis torsiyone olduğunda, torsiyone testisten salınan ve sistemik dolaşıma katılarak karşı testise zarar veren anti-testiküler ve anti-sperm antikorların gelişimine neden olduğu düşünülmektedir (51). Testis torsiyonunda tedavinin başarısı ağrının süresi ile ters orantılı olup bu hastalarda erken tanı büyük önem taşımaktadır. İlk altı saat içerisinde tanı koyulup cerrahi uygulanan vakalarda testis %100 korunabilirken, 12.saatte %20 ve 24.saatte ise %0 oranında korunabildiği gösterilmiştir (52).

TANISAL GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ

Doppler Ultrasonografi

Renkli Doppler ultrasonografi (RDUS) kolay ulaşılabilir, ucuz, hızlı ve girişimsel olmayan bir yöntem olduğu için çoğu merkezde skrotal ağrı ile gelen hastalarda ilk kullanılan görüntüleme yöntemidir. Testis kan akımının tamamen kesildiği tam torsiyonda, kan akımı görülmez. Tam olmayan torsiyonlarda ise azalmış kan akımı görülebilir. Genel olarak testis genişlemiş ve heterojen ekojenitedir (53). Nussbaum ve arkadaşları (54) testis torsiyonunda RDUS'ta ek olarak artmış epididim boyutu görülebileceğini belirtmiştir. Akut skrotal ağrısı olan hastalarda RDUS'un %88,9 tanısal duyarlılığı, %98,8 seçiciliği olduğu bildirilmiştir (55). Fakat kısmi torsiyonlarda testiste az miktardaki rezidü akım varlığında (her testis için yaklaşık 1 cm³/dakika) yalancı negatiflik oranı yüksektir (56). Atkinson ve arkadaşları (57) yaptıkları çalışmada, testis kan akımının 1 cm³'ün altında olduğu 13 testisten altı tanesinde RDUS ile akım kodlarken yedi tanesinde akım kodlanmadığını bildirmişlerdir. Tetkik uygulanırken yapılan basınç nedeniyle hastalarda ciddi rahatsızlık oluşabilmekte ve bazı hastalar işlemi tolere edememektedir. RDUS'un normal pediatrik testiste kanlanmayı belirleyemediği ve kullanıcının tecrübesine bağlı olduğu gösterilmiştir, bu nedenle torsiyon tanısında tek başına RDUS güvenilir değildir (56, 57).

Radyonüklid Sintigrafi

Radyonüklid sintigrafi, testis kan akımının hesaplanmasında kullanılmakta olup en sık kullanılan izotop teknesyum 99m (Tc 99m)'dir. Torsiyone olmuş testisin çevre dokulara göre daha az radyonüklid tutmasına bağlı "halka bulgusu" görülür. Bu bulgu sıklıkla torsiyonun geç döneminde saptanmaktadır. RDUS'un aksine radyonüklid sintigrafi, intravenöz girişim gerektirir ve süre daha uzundur (58). Radyonüklid sintigrafi ve RDUS'un testis torsiyonundaki duyarlılığı birbirine yakın bulunmuştur (59). Radyonüklid sintigrafide torsiyonun erken safhasında (semptomların başlamasından sonraki ilk 5-7 saat) etkilenen testiste hafif ödem, konjesyon veya hiperemi görülebilmekteyken, sintigrafinin anjiyografik fazında kan

akımında etkilenen tarafta simetriğine göre azalma görülebilmektedir. Ancak erken safhalarda radyonüklid sintigrafi bulguları normal olabilmektedir. Bu tetkik çocuklarda ve yenidoğanlarda küçük testis hacmi nedeniyle güvenilir bir yöntem değildir ve yalancı negatifliği yüksektir (60). Sintigrafik çalışmaların yorumlanmasında en yaygın hata nedenleri, süperimpoze skrotum cildi ve testis dokusu nedeniyle veya “soğuk” hidrosel nedeniyle olmaktadır (56). Radyonüklid sintigrafi ayrıca RDUS’un aksine testis anatomisini, herni, hidrosel varlığını gösterememekte olup acil şartlar altında uygulanması pratik değildir (61).

Manyetik Rezonans Görüntüleme

Manyetik rezonans görüntüleme (MRG) skrotal ağrı ile başvuran hastalarda yüksek duyarlılık ve özgüllüğe sahip, nispeten yeni uygulanmaya başlanan bir görüntüleme yöntemidir (62). T2 ağırlıklı ve T2* ağırlıklı görüntülerin, etkilenen testisteki hemorajik nekroza bağlı oluşan geri dönüşümsüz testis hasarını gösterebileceği bulunmuştur (63). Bazı çalışmalar testis torsiyonunun tanısında, MRG’nin özellikle arada kalınan, şüpheli vakalarda kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir (62, 64). Manyetik rezonans görüntülemenin yüksek çözünürlüklü anatomik ve anjiyografik görüntüler elde edilerek fonksiyonel bilgi sağlaması büyük avantajdır (65).

Dinamik kontrastlı MRG testis torsiyonunda kullanılan göreceli yeni bir yöntemdir. Cheng ve arkadaşları (66) yaptıkları deneysel torsiyonda gadolinyum temelli prototipik kan havuzu maddesiyle göreceli kan akımını (*relative blood volume measurement, rBV*) değerlendiren çalışmalarında morfolojik (tunikal boyanma) ve anjiyografik (venöz dolgunluk, arteriyel fazda uzama) bulguların akut testis torsiyonunda başarılı bir yöntem olabileceğini göstermiştir. Watanabe ve arkadaşları (63) tam testis torsiyonu bulunan 14 hasta üzerinde yaptıkları çalışmada, dinamik kontrastlı MRG’nin tanısal duyarlılığını %100 olarak bulmuşlardır. Dinamik kontrastlı MRG’nin acil şartlarda uygulanabilmesi zor olup, hastalara kontrast madde verilmesi, tetkikin pahalı olması ve uzun sürmesi dezavantajdır. Gadolinyum içeren kontrast ajanların kullanılmasına bağlı olarak nadiren nefrojenik sistemik fibrozis

(NSF) ve ölümcül alerjik reaksiyonlar gelişebilmektedir. Renal fonksiyonlar bir yaşı altındaki çocuklarda tam oluşmadığından gadolinyumlu kontrast maddelerin kullanılması önerilmemektedir (67). Ayrıca yenidoğan ve çocuklarda anesteziye ihtiyaç duyulması dinamik kontrastlı MRG'nin sınırlılıklarıdır (68).

Pretorius ve Roberts (69) devamlı arteriyel spin etiketlemeyle yapılan perfüzyon MRG (Continuous arterial spin-labeling perfusion MRI) yöntemiyle kontrast madde kullanmadan MRG ile normal insan testislerindeki kan akımının ve perfüzyonun gösterilebileceğini bildirmiştir. Ancak uzun sürmesi, teknik ve tecrübe gerektirmesi nedeniyle pratikte kullanılabilir bir yöntem değildir.

Difüzyon Ağırlıklı Görüntüleme

Su moleküllerinin termal kinetik enerjilerine bağlı rastgele hareketine (Brownian hareket), difüzyon denir. Bu rastgele hareket nedeniyle sıvı moleküller bir biriyle sürekli çarpışmakta ve yön değiştirip dönmektedir. Difüzyon hızı ısıya bağımlı olup, difüzyon hücre içine glikoz ve oksijenin taşınmasını sağlar (70, 71). Hücresel düzeydeki sıvı hareketi izotropik veya anizotropik olabilir. İzotropik difüzyon, difüzyonun her yöne eşit olmasıdır. Anizotropik difüzyon ise, mikroyapıları belli bir düzende yerleşmiş beyaz cevher gibi dokularda difüzyonun bazı yönlerde diğer yönlerle göre farklı olmasını ifade eder (71).

Homojen ve sıvı bir ortamda difüzyon rastgele olmaktadır dokularda su molekülünün difüzyonunu hücre içi ve hücreler arası yapılar sınırlamaktadır. Canlı dokuda hücre membranları arasında taşınan maddenin büyüklüğü difüzyon katsayısıyla (D) ifade edilmektedir. Difüzyon katsayısı, moleküler düzeyde hareketliliğin ölçütü olup difüzyon denkleminde elde edilen sinyalin doğal logaritmasıyla "b" değeri grafiğinin eğimidir. Difüzyon katsayısı makromoleküller, hücre içi organeller, hücre tipi, membranlar, viskozite ve ısıdan etkilenir (72). Biyolojik dokulardaki difüzyonun sürekli olması ve sinyal kaybının sadece su difüzyonuna değil, damar içi kan akımı, beyin omurilik sıvısı (BOS) akımı ve kalp atımına da bağlı olduğundan canlı dokularda difüzyon katsayısı (D) yerine görülebilir difüzyon katsayısı (ADC) terimi kullanılır (73).

Difüzyon ağırlıklı görüntülemenin temel özelliği doku içindeki su moleküllerinin hareketini göstermesidir. Konvansiyonel MRG sekansı kullanımında, difüzyon hareketinin sinyale etkisi çok azdır. Difüzyon ağırlıklı görüntüler elde etmek için çok hızlı sekanslar kullanılmalıdır. Moleküllerin küçük hareketine duyarlı olan bu sekans diğer hareketlerden de (örneğin hasta hareketi) çok etkilenir. Bu etkilenme büyük faz hatalarına yol açabilir. Hasta hareketi gibi faktörlerin görüntüyü etkilememesi için hızlı görüntü elde edilen eko planar görüntüleme (EPI) veya gradiyent eko (GRE) sekansları kullanılabilir (74). Dokudaki difüzyonu ölçmek için kullanılacak sekansa, biri 180^0 pulsunun öncesine ve diğeri sonrasına olmak üzere iki adet eşit şiddette ve sürede difüzyon gradiyentleri eklenir. Uyarılan protonlar birinci gradiyentle defaze, ikinci gradiyentle refaze olurlar. Protonların defaze ve refaze olan miktarı eşit olacağından güçlü bir sinyal elde edilir. İki gradiyent arasında protonlar hareket nedeniyle faz farklılığı oluşturmuşsa refaze olan proton miktarında azalma olur ve sinyal azalır. DAG'da hızlı difüzyon gösteren protonlar T2 sinyalindeki kayıp nedeniyle düşük sinyalli, kısıtlı difüzyon gösteren protonlar ise T2 sinyalleri pek değişmediğinden yüksek sinyalli yani parlak görülürler. ADC haritalarını elde etmek için, biri difüzyon gradiyentli, diğeri gradiyentsiz iki görüntü alınır ve bu iki görüntünün sinyal oranlarının negatif logaritması dokunun ADC değerini verir (75).

Difüzyon ağırlıklı görüntülemenin temel fiziksel prensibi; moleküllerin rastgele difüzyonu ile değişen manyetik alanların, salınım fazlarında bozulmaya (defaze) ve sinyal kaybına yol açmasıdır. Difüzyonun dokuda oluşturduğu voksel bazında faz bozulması ve neden olduğu sinyal kaybı şu formülle hesaplanabilir (76):

$$SI = SI_0 \times \exp(-b \times D)$$

Bu denklemde “SI” difüzyon görüntüdeki sinyal intensitesini, “ SI_0 ” ise T2 ağırlıklı görüntülerdeki sinyal yoğunluğunu (ya da $b=0$ sn/mm²) göstermektedir. “b” değeri ise difüzyon duyarlılık faktörü olup uygulanan difüzyon gradiyentlerinin süresine, şiddetine ve aralarındaki süreye bağlı bir değerdir. “D” birimi saniyede milimetrekare ya da santimetrekare olan su moleküllerinin difüzyon katsayısını

gösterir. Biyolojik sistemlerde difüzyondan başka kitle hareketi, perfüzyon gibi diğer faktörler de sinyal kaybına katkıda bulunabildiğinden “D” yerine “ADC” terimi kullanıldığını daha önce belirtmiştik. Difüzyon katsayısı (D) yerine, ölçülebilir difüzyon katsayısı (ADC) kullanıldığında eşitlik şu hale gelir (76):

$$SI = SI^0 \times \exp(-b \times ADC)$$

Difüzyon ağırlıklı görüntüler elde edilirken öncelikle EPI spin eko T2 ağırlıklı, difüzyon gradiyenti bulunmayan ($b = 0 \text{ sn} / \text{mm}^2$) görüntüler elde edilir. Daha sonra bu sekans; X, Y ve Z yönlerinde difüzyon gradiyentinin ($b = 400 - 1000 \text{ sn/mm}^2$) eklenmesiyle 3 kez tekrarlanır. X, Y ve Z yönlerinde elde olunan görüntüler, doku dizilimine bağlı difüzyon hızındaki farklılıkları ortaya koyar ki bunlara anizotropik difüzyon görüntüleri denir. Bu görüntülerde kontrastı oluşturan difüzyonun yönü, büyüklüğü ve T2 sinyalıdır. Her vokselle için X, Y, Z yönlerinde ölçülen sinyal intensitelerinin çarpımının küp kökü alınarak cihaz tarafından izotropik (trace) görüntüler oluşturulur. Böylece difüzyon yönünün, görüntü kontrastı üzerine olan etkisi kaldırılır. Bu durumda görüntü kontrastını difüzyonun büyüklüğü ve T2 sinyali oluştururken, “b” değeri arttıkça difüzyon ağırlığı artar ve T2’ye bağımlılık azalır. Pratikte 400 sn/mm^2 nin üzerinde “b” değeri yeterli difüzyon ağırlığı sağlar (77).

Difüzyon ağırlığını belirleyen “b” değeri gradiyentin süresini ve gücünü yansıtan saniye/ mm^2 birimine sahiptir. Difüzyon ölçümünde uygulanan gradiyent şiddetini ifade eden “b” değeri arttıkça hareketli protonlardaki faz dağılımı ve dolayısıyla sinyal kaybı artar. Klinik uygulamada genel olarak düşük ($b=0 \text{ sn/mm}^2$) ve yüksek (genellikle $b=600-1000 \text{ sn/mm}^2$) iki adet b değeri kullanılması önerilmektedir. $b=0 \text{ sn/mm}^2$ değeri difüzyon görüntüsünde sadece T2 ağırlıklı bilgi sağlarken, $b=1000 \text{ sn/mm}^2$ değeri x,y,z eksenlerinde saf difüzyon ağırlıklı görüntüler oluşturmaktadır (78). Yüksek “b değeri” sinyal gürültü oranını azaltmakta ancak görüntünün difüzyon ağırlığını artırmaktadır. “b değeri” aşağıdaki faktörlere bağımlıdır (79);

$$b = \gamma^2 \times G^2 \times \delta^2 \times (\Delta - \delta/3)$$

γ : protonun giromanyetik oranı

G: uygulanan gradiyentin şiddeti

δ : uygulanan gradiyentin süresi

Δ : gradiyentler arasındaki süre

Dokudaki ADC değerinin ölçülebilmesi için en az iki farklı “ b değeri” olmalıdır. Her bir “ b değeri” ile bu “ b değerine” karşılık gelen sinyal intensitesinin doğal logaritması arasındaki lineer grafiğin negatif eğimi ADC değerini verir (71, 80).

DAG’da kısıtlanmış difüzyon yüksek sinyal, hızlı difüzyon ise düşük sinyal olarak izlenir. Fakat DAG’da görüntü kontrastını, difüzyon ve T2 sinyali beraber oluşturur. Yani T2 ağırlık görüntülerde hiperintens lezyonlar, kısıtlanmış difüzyon olmasa bile DAG’da yüksek sinyalli görülebilir ve kısıtlanmış difüzyonu taklit edebilirler. Buna “T2 parlaması (*T2 shine-through*)” denir (81). Bu sorunu çözmek için ADC haritası kullanmak gereklidir. ADC haritasında her bir piksel sayısal olarak ADC değerini yansıtır. ADC haritası sinyalini oluşturan yalnızca difüzyon büyüklüğü olup bu harita difüzyon yönü ve T2 etkisinden bağımsızdır. DAG’da yüksek sinyalli bir lezyon ADC haritasında düşük sinyalli ise bunun kısıtlanmış difüzyon olduğu, DAG’da yüksek sinyalli lezyon ADC haritasında da yüksek sinyalli ise hızlanmış difüzyon düşünülür. Bu durumda DAG’da izlenen yüksek sinyal T2 parlaması ile ilgilidir (82, 83). Biyolojik dokulardaki suyun hareketinde kısıtlanma, dokunun hücre yoğunluğu ve hücre membran geçirgenliğiyle ters orantılıdır (84).

Difüzyon ağırlıklı görüntülemenin başlıca kullanım alanı santral sinir sisteminde akut inmenin görüntülenmesidir. Serebral kan akımındaki azalma kritik

bir seviyenin altına düştüğünde hücrelerde sitotoksik ödem meydana gelmektedir ve DAG iskemiyi erken dönemde tanıyabilmektedir (78). Santral sinir sistemindeki diğer kullanım alanları; intrakraniyal neoplazilerin tiplerinin ve derecesinin ayrımı, apse ile nekrotik intrakraniyal tümör ayrımı, tümör rekürrensi ve radyasyon nekrozu ayırıcı tanısı, araknoid ve epidermoid kist ayrımı ve multiple sklerozun aktivitesinin değerlendirilmesidir (75). Ayrıca DAG benign-malign vertebra kompresyon kırıklarının ve hepatik lezyonlarının ayrımında, prostat kanserinin saptanmasında ve meme lezyonlarının karakterizasyonunda kullanılmaktadır (85, 86). Böbrekte fonksiyon değişiklikleri ve enfeksiyonlarda hidronefroz-piyonefroz ayrımında ve böbrek tümörlerinin değerlendirilmesinde klinik kullanıma girmiştir (87). Kas iskelet sisteminde ise rekürren tümörlerin ve avasküler nekrozların değerlendirilmesinde, kemik iliği selüleritesi ve tutulumunun ayırıcı tanısında kullanılmaktadır (88). Normal testis parankimindeki seminifer tubüllerin fibroelastik bağ dokusuyla sıkıca sarılması nedeniyle su moleküllerinin hareketi azalır ve suyun difüzyonunda kısıtlanma, DAG'da testislerin çevre dokulara göre hiperintens olmasını sağlar. Bu sayede DAG ile inmemiş testislerin kolayca vizüalize edilebildiği gösterilmiştir (89-91) Ayrıca rat testislerindeki iskeminin gösterilmesinde DAG'ın başarılı olduğu bildirilmiştir (8). ADC'nin kullanılması kantitatif olarak dokudaki hücre yoğunluğunu vermekte ve doku karakterizasyonuna imkan sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı deneysel testis torsiyonunda, ortalama ADC değerlerinin torsiyon derecesi ve süreye göre değişimini değerlendirerek, DAG'ın testis torsiyonu tanısındaki rolünü ortaya koymaktır. Ayrıca torsiyon sonrası 24. saatteki ADC değerlerini, histopatolojik bulgularla karşılaştırarak ADC değerlerinin testisteki hasar ile ilişkisini göstermek ve torsiyone testisin kurtarılabilirliğini değerlendirmektir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmamız için Pamukkale Üniversitesi Hayvan Deneyleri Etik Kurulundan onay alındı (14.01.2014 tarih ve 01 sayılı karar). Çalışmamız Hayvan Koruma Kanunu, Çevre Bakanlığının “Hayvan Deneyleri Etik Kurullarının Çalışma Usul ve Esaslarına Dair Yönetmelik” ve Pamukkale Üniversitesi Hayvan Deneyleri Etik Kurulu Yönergesi hükümlerine uygun olarak hazırlandı. Bu çalışmanın deneysel bölümü Ekim ila Aralık 2014 tarihleri arasındaki dönemde Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi Deney Hayvanları Laboratuvarında, görüntüleme bölümü Radyoloji Anabilim Dalında, preparatların hazırlanması ve histopatolojik incelemeleri Patoloji Anabilim Dalı Laboratuvarında yapıldı. Cerrahi işlemler deney hayvanları kullanım sertifikası ve 20 yıllık deneyimi bulunan çocuk cerrahisi uzmanı tarafından gerçekleştirildi.

Çalışma Grubu

Çalışmada ağırlıkları 250-300 gram arasında değişen 31 adet, 8-10 haftalık erkek Wistar albino cinsi rat kullanıldı. Tüm ratlar çalışma süresince sabit ısı (22°C) ve havalandırmaya sahip deney hayvanları laboratuvarında, 12 saat aydınlık 12 saat karanlık siklusu bulunan odada, standart plastik kafeslerde korunup, standart sıçan yemi ve taze çeşme suyu ile beslendi.

Gruplandırma ve Cerrahi İşlem

Wistar albino cinsi ratlar kendi aralarında randomize edilerek ilk grup yedi, diğer üç grup sekizer rat içeren toplam dört grup oluşturuldu. İlk gruptaki ratlardan üç tanesi bir kafesteyken, ilk gruptaki diğer dört rat ve diğer gruplardaki ratlar kafeslerde dörderli olarak saklandı. Kafesler gruplara göre numaralandırıldı. Operasyon odasına alınan ratlara kas içi yolla 50 mg/kg ketamin (Ketalar, Pfizer Pharma GMBH, Almanya) ve 10 mg/kg ksilazin hidroklorid (Alfazyne, Alfasan International, 3440 AB, Woerden, Hollanda) uygulanarak anestezileri sağlandı, gerektiğinde ratların hareketsizliğini sürdürmek için belirtilen anestezi ajanlarının yarı

dozları tekrarlandı. Tüm ratlar kuyruklarına işaret koyularak numaralandırıldı. Anestezi uygulanıp hareketsizlik sağlandıktan sonra skrotumda ~3x3 cm'lik alan uygun bir şekilde tıraşlandı ve polivinil pirolidone iyot (Batticon %10, Adeka İlaç Sanayi, Samsun) ile saha temizliği yapıldı (Resim 1).



Resim 1: Cerrahi öncesi polivinil pirolidone iyot ile saha temizliği.

Steril örtülerle batin örtüldükten sonra her bir rata skrotum üzerinden sol vertikal insizyon yapılarak testise ulaşıldı (Resim 2). Ardından testis, vasküler yapılarıyla birlikte skrotum dışına alındı (Resim 3).



Resim 2: Sol vertikal insizyon ile skrotumun açılması.



Resim 3: Testisin vasküler yapılarıyla birlikte skrotum dışına alınması.

Grup 1’de testis bir dakika dışarıda bekletildikten sonra geri yerleştirildi. Skrotal deri 3/0 ipek sütürler ile kapatıldı. Grup 2’de sol testis 360°, grup 3’te sol testis 720° ve grup 4’te sol testis 1080° saat yönünde epididim ve vasküler yapılarıyla birlikte torsiyone edildi (Tablo-1) (Resim 4).

Tablo – 1: Deney gruplarının dağılımı ve deney protokolleri.

Deney grubu	Denek sayısı	Deney protokolü
Grup 1	7	Sol testis bir dakika dışarıda bekletilip geri yerleştirildi.
Grup 2	8	Sol testis 360° saat yönünde torsiyone edildi.
Grup 3	8	Sol testis 720° saat yönünde torsiyone edildi.
Grup 4	8	Sol testis 1080° saat yönünde torsiyone edildi.

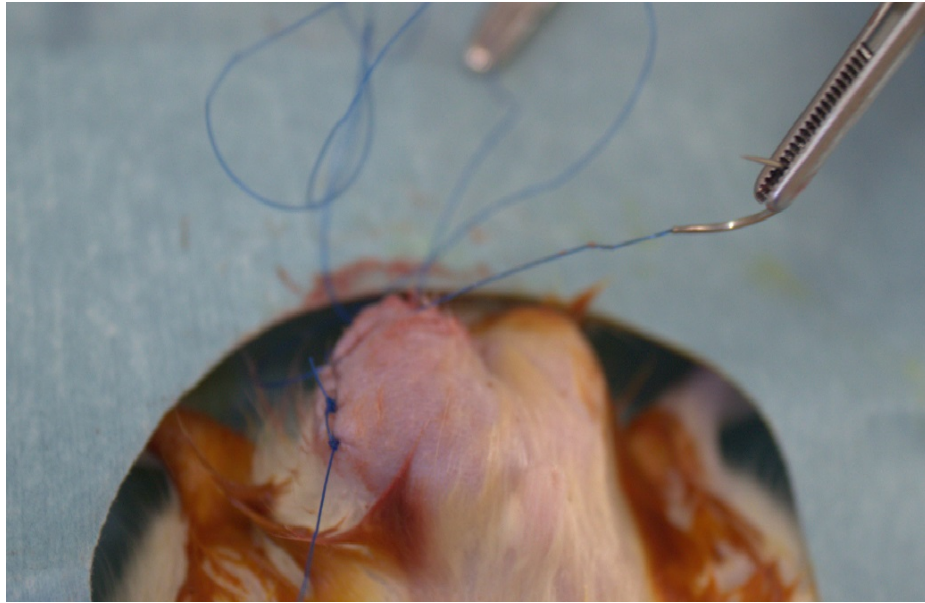


Resim 4: Testisin vasküler yapılarıyla birlikte saat yönünde 1080° döndürülerek torsiyonun oluşturulması.

Grup 2, 3 ve 4'teki testisler torsiyone haldeyken skrotuma yerleştirildi. Testisin spontan detorsiyonunu önlemek için 4/0 ipek sütürler ile testisin üst ve alt pollerindeki damarsız alanlardan ve tunika albugineadan geçilerek, testis skrotum ön duvarına iki uçtan tespit edildi (Resim 5). Skrotum 3/0 ipek sütür ile kapatıldı (Resim 6).



Resim 5: Testisin üst ve alt pollerindeki damarsız alanlardan ve tunika albugineadan geçilerek, testisin skrotum ön duvarına tespit edilmesi.



Resim 6: Skrotum cildinin kapatılması.

Cerrahi işlemin ardından ratlar kafeslerine alınarak su ve yiyecek serbest bırakıldı. Torsiyon işlemi sonrası sekiz saat boyunca standart şartlarda kafeslerinde bekletildikten sonra ratlara standart doz anestezi uygulanarak tekrar hareketsizlik sağlandı. Daha sonra ratlar MRG için güvenli olarak tasarladığımız taşıma tahtasına sırtüstü yatar vaziyette ipek flaster ve ambalaj lastiğiyle sabitlendi (Resim 7).



Resim 7: Ratların MRG için güvenli olarak tasarladığımız taşıma tahtasına yerleştirilmesi.

Ratlar taşıma tahtasına sabitlenerek MRG cihazı içerisine yerleştirildi ve torsiyon sonrası sekizinci ve 24. saatte MRG görüntüleri elde edildi. Testislerin skrotumda olduğu MRG öncesi manuel olarak kontrol edildi ve abdominal veya inguinal yerleşimli sağ testisler elle sıvazlanarak yavaşça skrotuma indirildi. Görüntüler elde edilirken testisin skrotumda olmadığı fark edilirse işlem durduruldu, testis manuel olarak skrotuma indirildikten sonra kalan görüntüler tamamlandı. İşlemler sırasında gerektiğinde ratların hareketsizliğini sürdürmek için anestezi ajanlarının yarı dozları (25 mg/kg ketamin ve 5 mg/kg ksilazin hidroklorid) tekrarlandı.

Sekizinci ve 24. saat MRG görüntüleri elde edildikten sonra operasyon odasına alınan ratlara bilateral radikal orşiyektomi uygulandı (Resim 8). Orşiyektomi materyalleri %10 formaldehit solüsyonuna koyularak histopatolojik inceleme için ayrıldı.



Resim 8: Radikal orşiyektomi öncesi testisin dışarı alınması.

Manyetik Rezonans Görüntülerinin Elde Edilmesi

Manyetik Rezonans Görüntüleme, 1.5 Tesla (T) süper iletken magnet (Philips Ingenia; Philips Medical Systems, Best, Hollanda) ve 16 kanallı kafa sarmalı kullanılarak yapıldı. Kullanılan MRG cihazının maksimum gradiyent gücü 45 mT/m ve maksimum gradiyent gücüne ulaşma eğimi (slew rate) 200 T/m/sn idi.

Ratlar taşıma tahtasında sırtüstü pozisyonda hareketsiz durumdayken, alt batından başlayarak skrotum sonuna kadar olan alanı kapsayacak şekilde görüntüleme alanı (FOV, “*field of view*”) 7x7 cm olarak ayarlandı. Kılavuz sekans olarak, sagittal ve aksiyal T1 ağırlıklı (T1A) “*turbo field eko (TFE)*” sekansı kullanıldı. Bu görüntüler üzerinden testislerin pozisyonuna göre çekim protokolümüzdeki sekansların planlaması yapıldı. Yağ baskılama tekniği ile T2 ağırlıklı (T2A) görüntüler aksiyal düzlemde “*Spectral Presaturation with Inversion Recovery (SPIR)*” sekansı kullanılarak elde edildi. Konvansiyonel MRG incelemenin ardından, “*Single Shot Echo Planar Imaging*” sekansı “*sensitivity encoding (SENSE)*” ile birlikte uygulanarak, 2 farklı *b* değeri (0, 800 sn/mm²) ile difüzyon ağırlıklı görüntüler (DAG) transvers planda elde olundu. Tüm olgularda kılavuz

sekans elde etme süresi 17 saniye, T2A görüntüleme tetkik süresi 12 saniye, DAG inceleme süresi 2 dakika 52 saniye idi. Konvansiyonel görüntüler ve DAG çekim parametreleri tablo 2’de verilmiştir.

Tablo – 2: MRG çekim parametreleri.

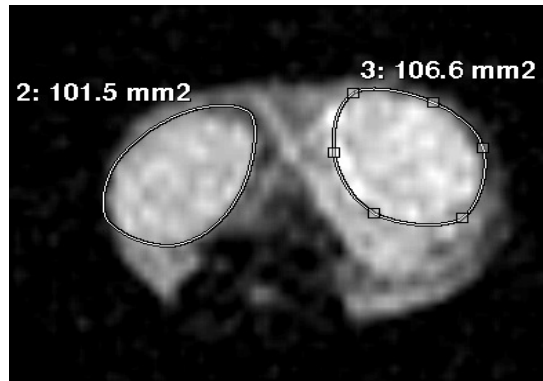
Sekanslar	TR/TE (msn)	Turbo Faktörü	NEX	Matris	Kesit Kalınlığı (mm)	Kesit Aralığı (mm)
TFE	15/5.2	42	1	129x288	5	1
SPIR	2373/110	24	2	111x160	3	1
DAG	4000/90	75	6	62x112	3	0,3

TE: Time to echo, TR: Time to repeat, NEX: number of acquisition, TFE: turbo field eko SPIR: spectral presaturation with inversion recovery, DAG: difüzyon ağırlıklı görüntüleme

Radyolojik Değerlendirme

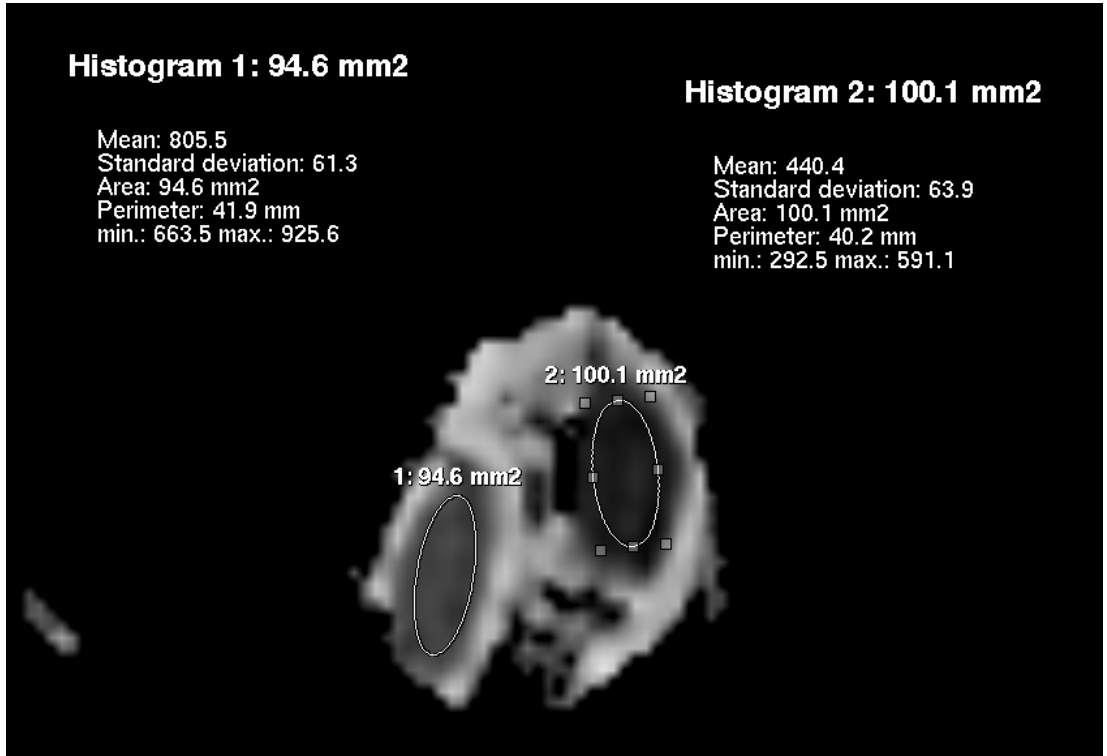
Elde olunan MRG ve DAG görüntüleri iş istasyonuna (Easyvision, release 4.4) aktarıldı. Görüntüler önce T2A ve takiben DAG olacak şekilde aynı seansta 4. yılındaki radyoloji asistanı ve 9 yıllık deneyimi bulunan radyoloji uzmanı tarafından birlikte değerlendirildi.

Konvansiyonel T2A MR görüntülerinde, her bir testisin aksiyal düzlemde en geniş alanı radyoloji asistanı tarafından ölçülerek kaydedildi (Resim 9).



Resim 9: Aksiyal T2A MR görüntülerinde testis alanlarının ölçümü.

İzotropik DAG'a ait ADC haritaları iş istasyonundaki yazılım aracılığıyla otomatik olarak oluşturuldu. Transvers gri skala ADC haritalarında, her iki testisin orta kesiminde en geniş alana sahip olduğu kesitlerden üçer adet olmak üzere, testis parankimini mümkün olduğunca geniş olarak kapsayan elipsoid ilgi alanları (ROI, “*region of interest*”) ile ADC ölçümleri radyoloji asistanı tarafından yapıldı. İlgi alanları artefaktlardan etkilenmeyecek ve testis parankimi dışına taşmayacak şekilde yerleştirildi. Testisin üst ve alt polünde cerrahi işleme bağlı oluşabilecek etkilenmelerden uzaklaşmak ve en geniş ilgi alanına sahip olabilmek amacıyla testisin orta kesimde, en geniş alanın olduğu kesitler tercih edildi. Yapılan üç ölçümdeki ortalama ADC değerlerinin ortalaması alınarak her testis için kaydedildi. İlgi alanı yerleştirimi Resim 10’da gösterilmiştir.



Resim 10: Transvers gri skala ADC haritalarında elipsoid ilgi alanları (ROI, “*region of interest*”) ile ADC ölçümü.

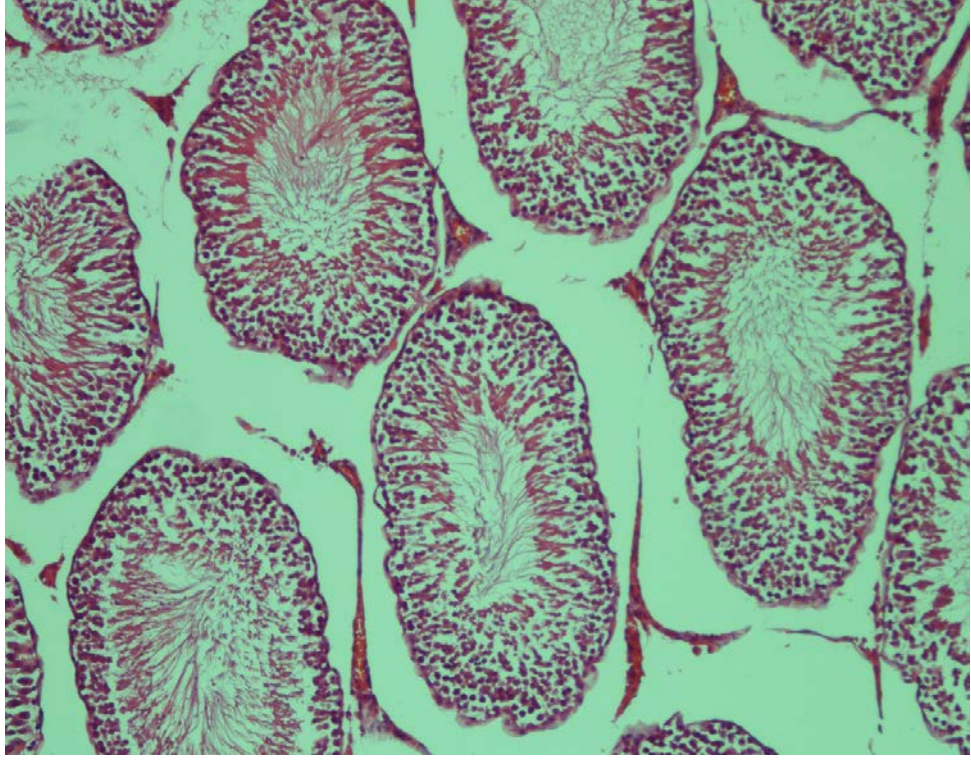
Patolojik Değerlendirme

Makroskopik olarak örneklenen dokular rutin doku takip işlemine alındı. Ardından testis doku örnekleri parafine yatırıldı ve her bloktan elde edilen 5 mikronluk kesitler hemotoksilen-eozin (H-E) ile boyandı. Tüm kesitler, yapılan işlemler hakkında bilgisi olmayan 10 yıllık tecrübesi bulunan patoloji uzmanı tarafından ışık mikroskobunda incelendi.

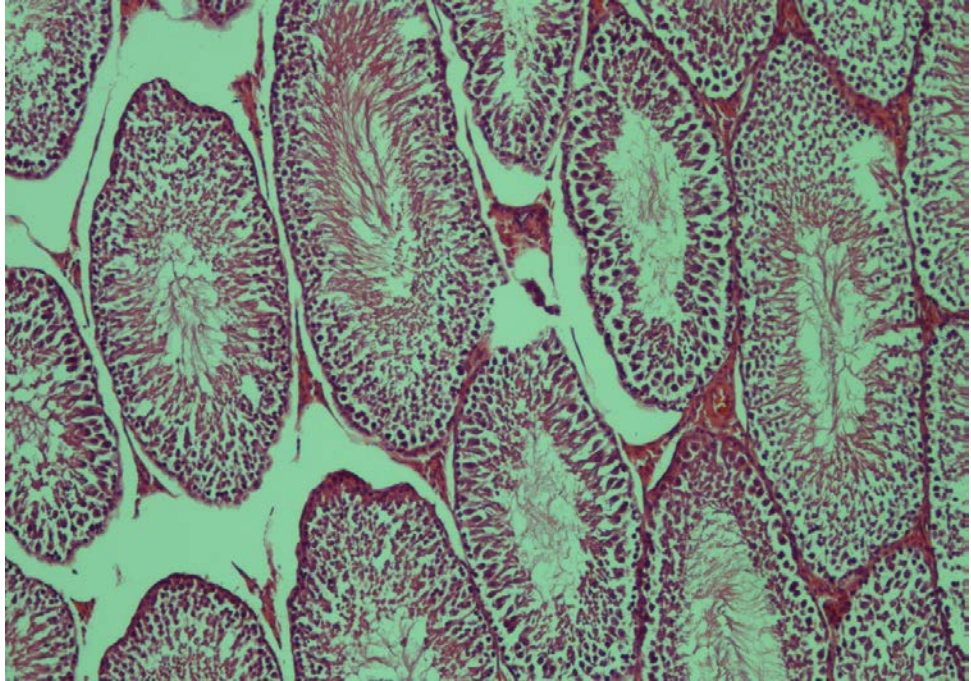
Testislerdeki morfolojik hasar Cosentino ve arkadaşlarının tanımladığı derecelendirme sisteminin (92); ödem ve hemoraji varlığı açısından modifiye edilerek oluşturulan sınıflamayla değerlendirildi (Resim 11 - 14). Kesitlerde baskın olan hücre grubuna göre evrelendirme yapıldı. Örneğin kesitlerde baskın olarak koagülasyon nekrozu ve paketlenmiş seminifer tübüller görüldüğünde evre 4 olarak değerlendirildi (Tablo 3).

Tablo 3. Modifiye Cosentino Evrelemesi

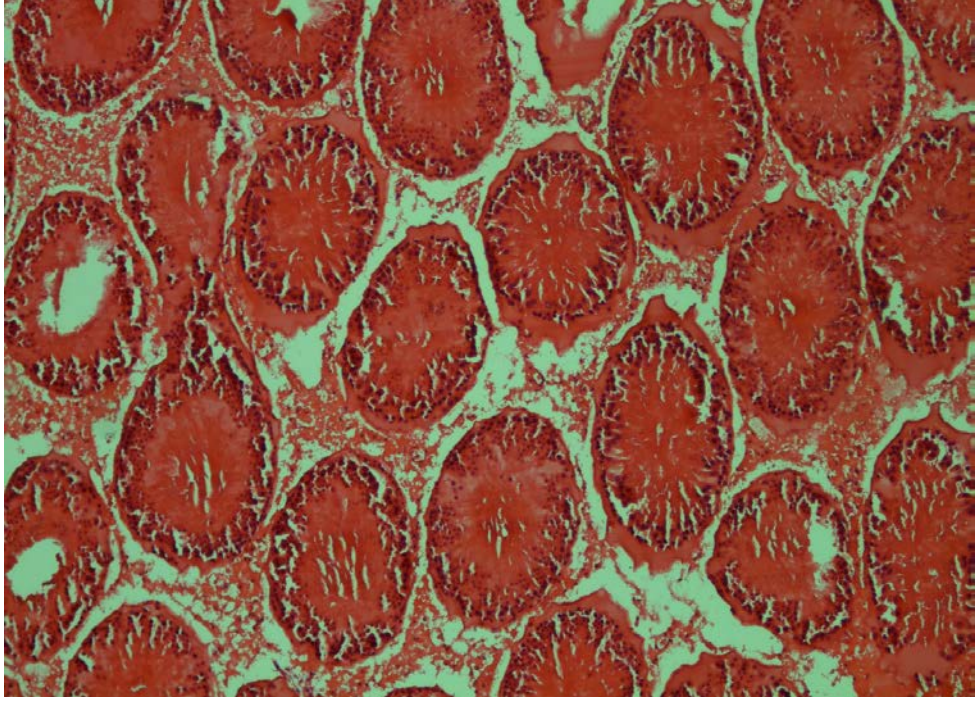
Evre 1	Düzenli dizilmiş germinal hücreler görülen normal testis yapısı
Evre 2	Daha az düzenli, birbirine bağlı olmayan germ hücreleri, yakın paketlenmiş seminifer tübüller, ödem veya hafif interstiyel hemoraji varlığı
Evre 3	Büzüşmüş, piknotik nükleusları olan düzensiz, göllenmiş germ hücreleri, sınırları daha az belirgin seminifer tübüller ve yaygın hemoraji varlığı
Evre 4	Germ hücrelerinde koagülasyon nekrozuyla birlikte sıkıca paketlenmiş seminifer tübüller



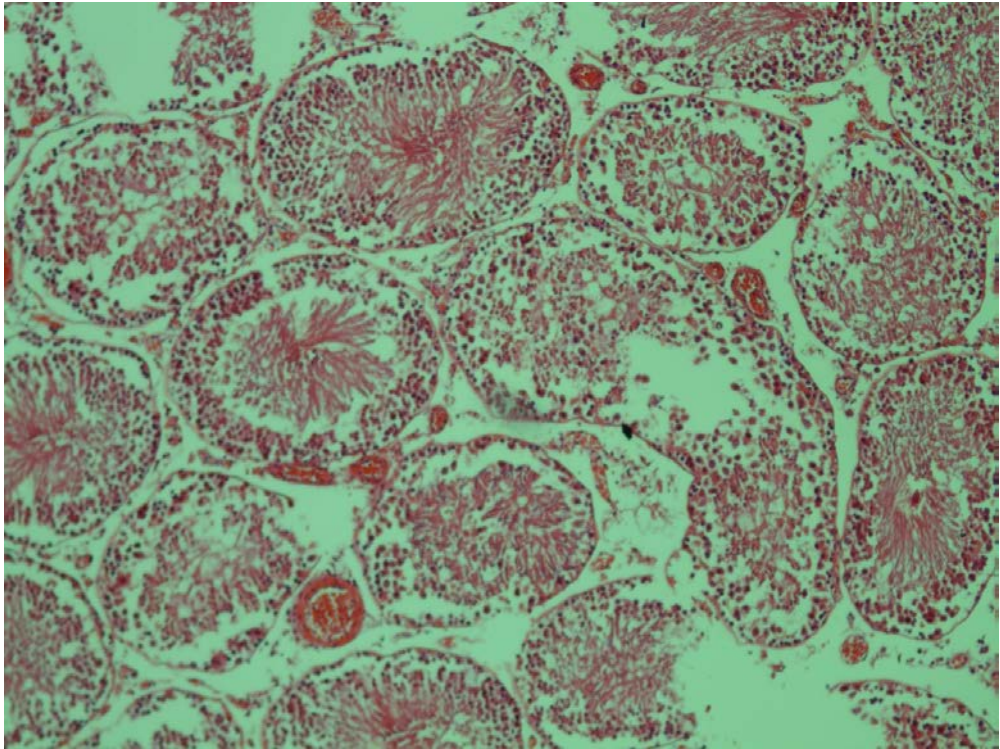
Resim 11: Evre 1, düzenli dizilmiş germinal hücreler görülen normal testis yapısı izleniyor.



Resim 12: Evre 2, birbirine bağlı olmayan germ hücreleri, yakın paketlenmiş seminifer tübüller ve hafif interstiyel hemoraji varlığı izleniyor.



Resim 13: Evre 3, piknotik nükleusları olan düzensiz, göllenmiş germ hücreleri, sınırları daha az belirgin seminifer tübüller ve yaygın hemoraji varlığı izleniyor.



Resim 14: Evre 4, germ hücrelerinde koagülasyon nekrozuyla birlikte sıkıca paketlenmiş seminifer tübüller izleniyor.

İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler kişisel bilgisayar üzerinde, SPSS 21 (Statistical Package for the Social Sciences) yazılım programıyla yapıldı. Tablolarda testis alanı, parankimal ortalama ADC değerleri gibi ölçümle belirtilen değişkenler, ortalama $\pm$ ortalamanın standart sapması olarak yer aldı. Modifiye Cosentino evresi ve ADC değerleri açısından grup içi ve gruplar arasında istatistiksel fark olup olmadığı Kruskal-Wallis varyans analizi ile değerlendirildi. $P < 0.05$ istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

BULGULAR

Deneyisel olarak testis torsiyonu oluşturulan ratların tümünde orşiyektomi sırasında torsiyonun korunduğu, yani testislerin detorsiyone olmadığı görüldü. Birinci gruptaki ratlarda ise testislerde torsiyon saptanmadı.

Orşiyektomi sonrası makroskopik değerlendirmede; birinci grupta sağ ve sol testis arasında farklılık saptanmamış olup her iki taraf testislerin de pembe renkte ve sertliklerinin benzer olduğu saptandı. İkinci grupta bir olgu hariç sol testislerin simetriğine göre hafif sertleştiği saptanırken, sağ testisler pembe, sol testisler ise kırmızı renkte görüldü. Üçüncü grupta ve ikinci gruptaki farklılık gösteren bir ratta sol testislerin şiş, ödemli ve mor-siyah renkte olduğu ve sağa göre belirgin sert kıvamda olduğu saptandı. Dördüncü grupta sol testisler koyu kırmızı renkte olup testislerde yumuşama mevcuttu (Tablo – 4). İkinci, üçüncü ve dördüncü gruplardaki sol epididim boyutlarında, karşı taraf ile karşılaştırıldığında artış gözlemlendi.

Tablo – 4: Orşiyektomi sonrası makroskopik değerlendirme.

Grup	Taraf	Renk	Sertlik	Boyut
1. Grup	Sağ	Pembe	Normal	Normal
(Sham)	Sol	Pembe	Normal	Normal
2. Grup*	Sağ	Pembe	Normal	Normal
(360°)	Sol	Kırmızı	Hafif Sert	Hafif Artmış
3. Grup	Sağ	Pembe	Normal	Normal
(720°)	Sol	Mor-Siyah	Sert	Hafif Artmış
4. Grup	Sağ	Pembe	Normal	Normal
(1080°)	Sol	Koyu Kırmızı	Yumuşak	Normal

* İkinci grupta farklılık gösteren bir olgu hariç.

Orşiyektomi sonrası sol testislerdeki morfolojik hasar modifiye Cosentino sınıflamasına göre değerlendirildiğinde, birinci grupta bir testiste evre 2 (%14,3) saptanırken, diğer altı testiste evre 1 (%85,7) mevcuttu. İkinci grupta ise dört testiste evre 1 (%50), üç testiste evre 2 (%37,5) mevcutken, bir testiste interstisyel hemorajinin eşlik ettiği evre 3 (%12,5) saptandı. Üçüncü gruptaki sekiz olgunun tamamında yaygın hemorajinin eşlik ettiği evre 3 (%100) bulundu. Dördüncü gruptaysa üç olguda evre 3 (%37,5), beş olguda (%62,5) ise evre 4 bulundu (Tablo – 5).

Tablo – 5: Orşiyektomi sonrası sol testislerin modifiye Cosentino evrelemesine göre dağılımı.

Grup	Denek sayısı ve oran	Modifiye Cosentino Evresi				Toplam
		1	2	3	4	
1. Grup	Sayı	6	1	0	0	7
	Oran	%85,7	%14,3	%0,0	%0,0	%100,0
2. Grup	Sayı	4	3	1	0	8
	Oran	%50,0	%37,5	%12,5	%0,0	%100,0
3. Grup	Sayı	0	0	8	0	8
	Oran	%0,0	%0,0	%100,0	%0,0	%100,0
4. Grup	Sayı	0	0	3	5	8
	Oran	%0,0	%0,0	%37,5	%62,5	%100,0
Toplam	Sayı	10	4	12	5	31
	Oran	%32,2	%13	%38,7	%16,1	%100,0

Orşiyektomi sonrası sağ testisler Cosentino sınıflamasına göre değerlendirildiğinde ise, birinci grupta yedi (%100), ikinci grupta yedi (%87,5),

üçüncü grupta beş (%62,5), dördüncü grupta altı (%75) testiste evre 1 (%80,6) saptandı. Hiçbir grupta evre 3 veya 4 saptanmadı (Tablo – 6).

Tablo – 6: Orşiyektomi sonrası sağ testislerin modifiye Cosentino evrelemesine göre dağılımı.

Grup	Denek sayısı ve oran	Modifiye Cosentino Evre				Toplam
		1	2	3	4	
1. Grup	Sayı	7	0	0	0	7
	Oran	%100,0	%0,0	%0,0	%0,0	%100,0
2. Grup	Sayı	7	1	0	0	8
	Oran	%87,5	%12,5	%0,0	%0,0	%100,0
3. Grup	Sayı	5	3	0	0	8
	Oran	%62,5	%37,5	%0,0	%0,0	%100,0
4. Grup	Sayı	6	2	0	0	8
	Oran	%75,0	%25,0	%0,0	%0,0	%100,0
Toplam	Sayı	25	6	0	0	31
	Oran	%80,6	%19,4	%0,0	%0,0	%100,0

Sol testiste 8 ve 24. saatte hesaplanan ortalama ADC değerleri karşılaştırıldığında; birinci gruptaki ADC değerleri arasında anlamlı fark saptanmazken diğer gruplardaki ortalama ADC değerlerinde anlamlı farklılık mevcuttu ($p<0,05$). Yirmidördüncü saatteki ortalama ADC değerleri, 8.saat ortalama ADC değerlerine göre ikinci grupta anlamlı düşüş, üçüncü ve dördüncü gruplardaysa anlamlı artış gösterdi. Sağ testiste ise 8. ve 24. saatte hesaplanan ortalama ADC değerleri arasında dört grupta da anlamlı farklılık saptanmadı (Tablo – 7).

Tablo – 7: Gruplara göre 8. ve 24. saatteki ortalama ADC değerlerinin karşılaştırılması.

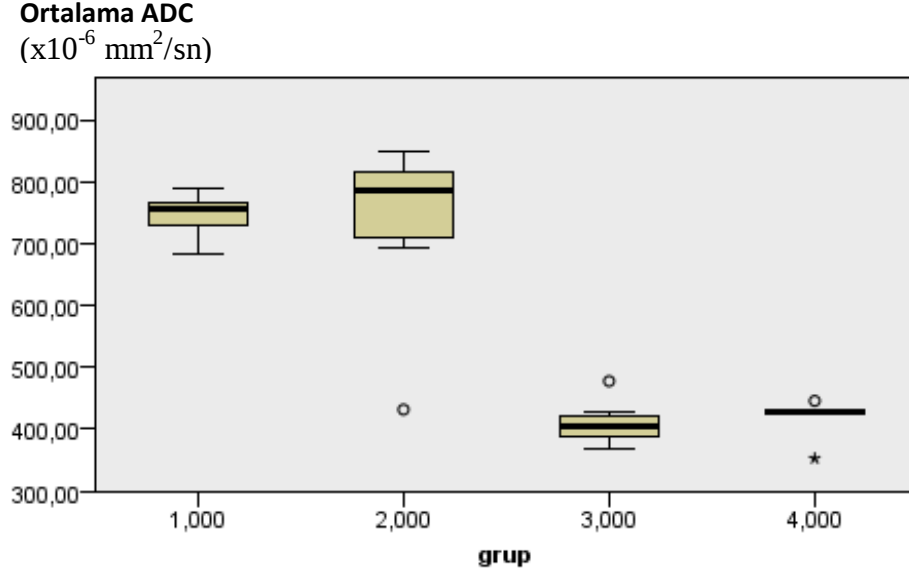
Grup	Taraf	8. saat ADC ($\times 10^{-6}$ mm ² /sn)	24. saat ADC ($\times 10^{-6}$ mm ² /sn)	p
1. Grup	Sol	744,86 $\pm$ 35,32	752 $\pm$ 48,46	0,917
	Sağ	745,43 $\pm$ 28,32	728,43 $\pm$ 47,29	0,499
2. Grup	Sol	738,25 $\pm$ 134,03	691,38 $\pm$ 147,34	0,012
	Sağ	787,63 $\pm$ 30,38	739,88 $\pm$ 56,02	0,161
3. Grup	Sol	410,38 $\pm$ 33,45	624,5 $\pm$ 165,29	0,012
	Sağ	731,5 $\pm$ 47,2	752,88 $\pm$ 95,87	0,327
4. Grup	Sol	421,25 $\pm$ 28,34	1085,63 $\pm$ 105,32	0,012
	Sağ	720,38 $\pm$ 26,57	714,38 $\pm$ 30,06	0,327

Sekizinci saatte sağ testislerden yapılan ortalama ADC ölçümlerinde ikinci ve dördüncü gruplar arasında anlamlı farklılık saptandı (p=0,004). Diğer gruplar arasında anlamlı farklılık saptanmadı. Sol testislerden 8.saat yapılan ortalama ADC ölçümlerinde birinci ile ikinci grup arasında, üçüncü ile dördüncü grup arasında anlamlı farklılık saptanmazken diğer gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık mevcuttu (p<0,05) (Tablo – 8, 9, 10).

Tablo – 8: Gruplar içerisinde sağ ve sol testisin 8. saat ortalama ADC değerlerinin karşılaştırılması.

Grup	Sağ Testis 8. saat ADC ($\times 10^{-6}$ mm ² /sn)	Sol Testis 8. saat ADC ($\times 10^{-6}$ mm ² /sn)	p
1. Grup	745,43 $\pm$ 28,32	744,86 $\pm$ 35,32	0,607
2. Grup	787,63 $\pm$ 30,38	738,25 $\pm$ 134,03	0,354
3. Grup	731,5 $\pm$ 47,2	410,38 $\pm$ 33,45	0,0001
4. Grup	720,38 $\pm$ 26,57	421,25 $\pm$ 28,34	0,0001

Tablo – 9: Sol testislerden 8.saatte yapılan ortalama ADC ölçümlerinin gruplara göre dağılımı (o: hafif farklılık gösteren olgular, * belirgin farklılık gösteren olgu).



Tablo – 10: Sol testislerden 8.saatte yapılan ortalama ADC ölçümlerinde gruplar arası p değerleri.

Grup	p
Grup 1-2	0,778
Grup 1-3	0,004
Grup 1-4	0,048
Grup 2-3	0,0001
Grup 2-4	0,009
Grup 3-4	0,377

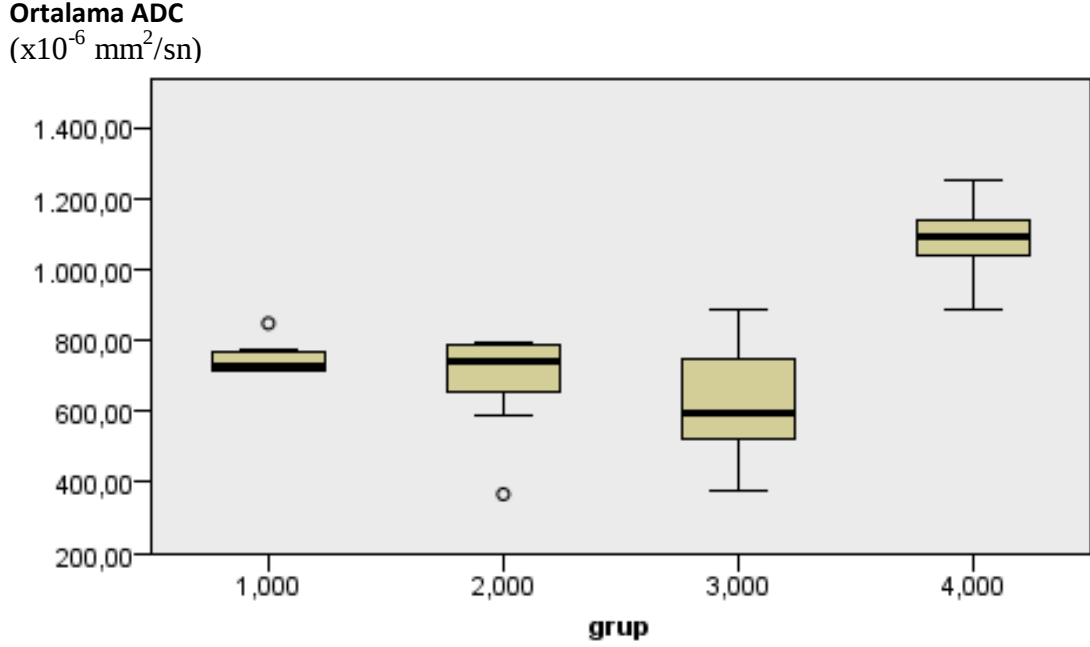
Yirmidördüncü saatte elde olunan görüntülerde sağ testislerden yapılan ortalama ADC ölçümlerinde gruplar arasında anlamlı farklılık saptanmadı ($p>0,05$). Yirmidördüncü saatte dördüncü gruptaki (1080° torsiyon grubu) sol testis ortalama ADC değerleri diğer gruplardan anlamlı derecede yüksek bulundu. Üçüncü grupta (720° torsiyon grubu) hesaplanan ortalama ADC değerleri birinci ve ikinci gruptan daha düşük bulundu ancak fark istatistiksel olarak anlamlı değildi (Tablo – 11, 12, 13).

Sağ ve sol testiste hesaplanan ortalama ADC değerleri karşılaştırıldığında birinci grupta 8. ve 24. saatteki değerlerde anlamlı farklılık saptanmadı. İkinci grupta sol testisteki ADC değerlerinde sağa göre 8. saatte %6, 24. saatte %7 azalma mevcuttu ancak istatistiksel olarak anlamlılık yoktu. Üçüncü grupta sol testisteki ortalama ADC değerlerinde sağa göre 8. saatte %44, 24. saatte %17 oranında azalma mevcuttu. Bu azalmalar istatistiksel olarak anlamlı bulundu (8. saat $p=0,0001$, 24. saat $p=0,027$). Dördüncü grupta 8. saatte sol testisteki ortalama ADC değerlerinde sağa göre %42 oranında azalma mevcuttu ($p=0,0001$). Dördüncü grupta 24. saatte sol testisteki ortalama ADC değerlerindeyse sağa göre %34 oranında artış mevcuttu ($p=0,0001$) (Tablo – 8, Tablo – 11).

Tablo – 11: Gruplara göre sağ ve sol testis 24. saat ortalama ADC değerlerinin karşılaştırılması.

Grup	Sağ Testis 24. saat ADC ($\times 10^{-6}$ mm ² /sn)	Sol Testis 24. saat ADC ($\times 10^{-6}$ mm ² /sn)	p
1. Grup	728,43 $\pm$ 47,29	752 $\pm$ 48,46	0,126
2. Grup	739,88 $\pm$ 56,02	691,38 $\pm$ 147,34	0,351
3. Grup	752,88 $\pm$ 95,87	624,5 $\pm$ 165,29	0,027
4. Grup	714,38 $\pm$ 30,06	1085,63 $\pm$ 105,32	0,0001

Tablo – 12: Sol testislerden 24.saatte yapılan ortalama ADC ölçümlerinin gruplara göre dağılımı (o: hafif farklılık gösteren olgular).



Tablo – 13: Sol testislerden 24.saatte yapılan ortalama ADC ölçümlerinde gruplar arası p değerleri.

Gruplar arası p değerleri	
Grup 1-2	0,811
Grup 1-3	0,326
Grup 1-4	0,025
Grup 2-3	0,441
Grup 2-4	0,008
Grup 3-4	0,001

Sağ ve sol testisin orşiyektomi sonrası patoloji skorları karşılaştırıldığında; birinci ve ikinci grupta sağ ve sol testis arasında modifiye Cosentino evresine göre

anlamli fark saptanmazken, üçüncü ve dördüncü gruplarda sol testiste sağı göre anlamli derece daha yüksek histolojik evre saptandı (Tablo – 14).

Tablo – 14: Sağ ve sol testisler arasında, gruplara göre patoloji skorları arasındaki p değerleri.

Grup	p değeri
1. Grup	0,317
2. Grup	0,170
3. Grup	0,006
4. Grup	0,0001

Sol testiste 8. ve 24. saatte ölçülen testis alanları karşılaştırıldığında; birinci ve dördüncü grupta hesaplanan değerlerde anlamli fark saptanmazken, sol testis alanında 24. saatte ikinci grupta anlamli azalma, üçüncü gruptaysa 24. saatte anlamli artış mevcuttu. Sağ testiste ise 8. ve 24. saatte ölçülen alan değerleri arasında anlamli fark saptanmadı. Sekizinci saatte sol testisten yapılan alan ölçümlerinde ikinci grubun ortalama alanı birinci grubun ortalama alanından anlamli derecede yüksek saptanırken ($p=0,033$), üçüncü ve dördüncü grubun ölçülen ortalama alanları birinci gruptan yüksek bulundu ancak istatistiksel anlamlılık oluşturmamaktaydı (üçüncü grup için $p=0,129$, dördüncü grup için $p=0,061$). Yirmidördüncü saatte sol testisten yapılan alan ölçümlerinde gruplar arasında anlamli farklılık saptanmadı ($p>0,05$). Sağ testisten 8. ve 24 saatte yapılan alan ölçümlerinde gruplar arasında anlamli farklılık saptanmadı ($p>0,05$) (Tablo – 15).

Tablo – 15: Gruplara göre 8. ve 24. saatteki ortalama alan değerlerinin karşılaştırılması (mm²).

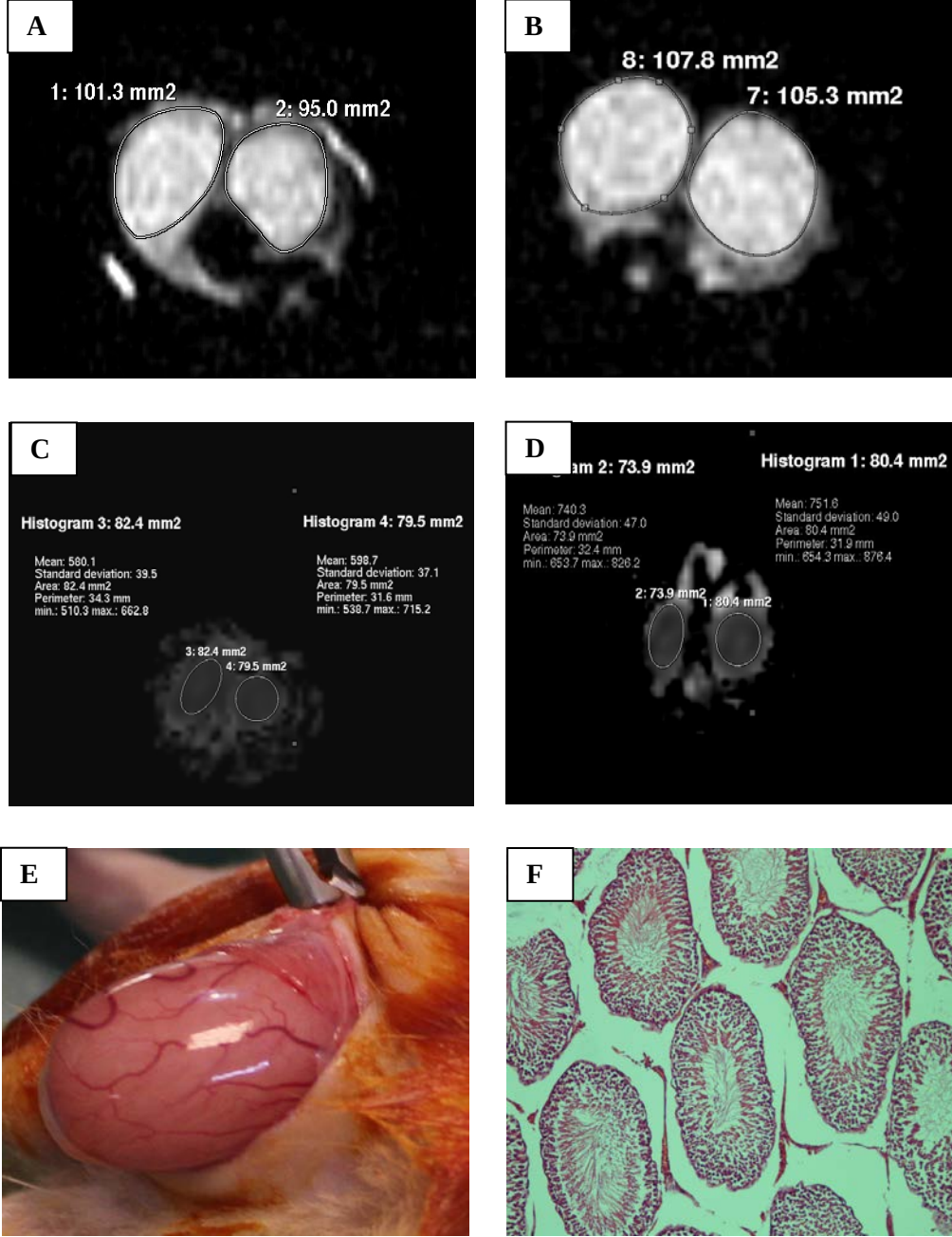
Grup	Taraf	8. Saat Alan	24. Saat Alan	p değeri
1. Grup	Sol	117,86 ± 3,24	118 ± 7,44	0,933
	Sağ	117,29 ± 2,87	113,57 ± 5,94	0,15
2. Grup	Sol	145,5 ± 15,23	127,13 ± 16,15	0,036
	Sağ	117,25 ± 12,35	115,13 ± 11,92	0,574
3. Grup	Sol	124,38 ± 13,64	136,75 ± 16,41	0,028
	Sağ	108,88 ± 9,89	103,63 ± 11,11	0,31
4. Grup	Sol	148,88 ± 24,84	149,38 ± 28,26	0,833
	Sağ	114,75 ± 10,79	114,5 ± 10,72	0,674

Tüm gruplarda sağ ve sol testisler arasında T2 ağırlıklı görüntülerde belirgin sinyal farklılığı saptanmadı. Sekizinci saatte sol testislerden yapılan ADC ölçümlerinde kullanılan ROI değerlerinde birinci ve dördüncü gruplar arasında anlamlı farklılık saptanırken (p=0,001), diğer lmlerdeki ROI değerlerinde gruplar arasında anlamlı farklılık saptanmadı (p>0,05) (Tablo – 16).

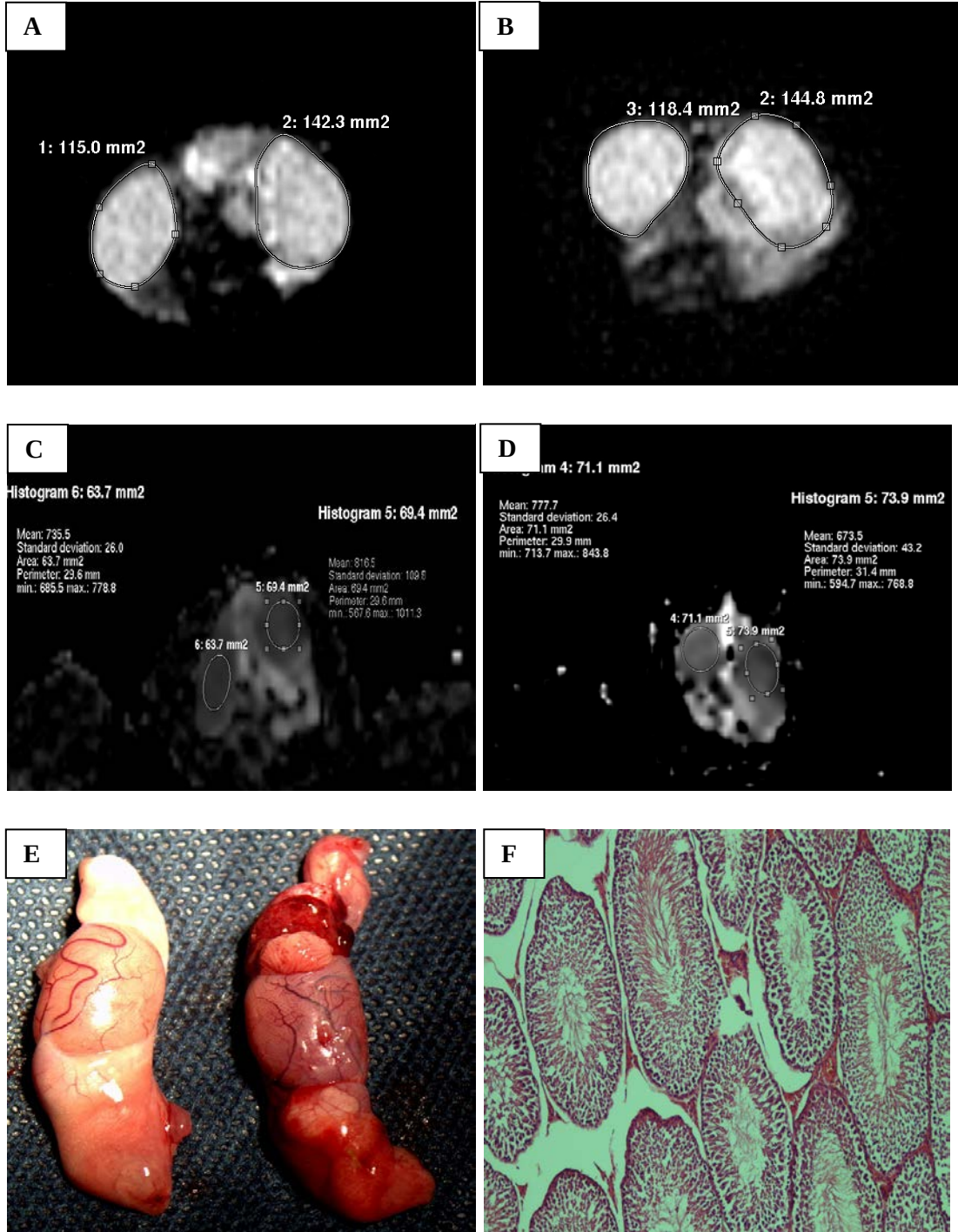
Tablo – 16: Ölçümlerde kullanılan ortalama ROI değerleri (mm²).

		8. saat	24. saat
1. Grup	Sağ	66,29 ± 4,11	71,86 ± 13,61
	Sol	64,43 ± 9,81	72,29 ± 16,85
2. Grup	Sağ	74,25 ± 17,73	73,88 ± 23,07
	Sol	71,63 ± 17	73,25 ± 12,37
3. Grup	Sağ	76,13 ± 13,07	66,13 ± 9,22
	Sol	88,63 ± 7,56	94,63 ± 11,02
4. Grup	Sağ	81,13 ± 15,1	75,25 ± 12,94
	Sol	99,88 ± 13,97	95,38 ± 20,38

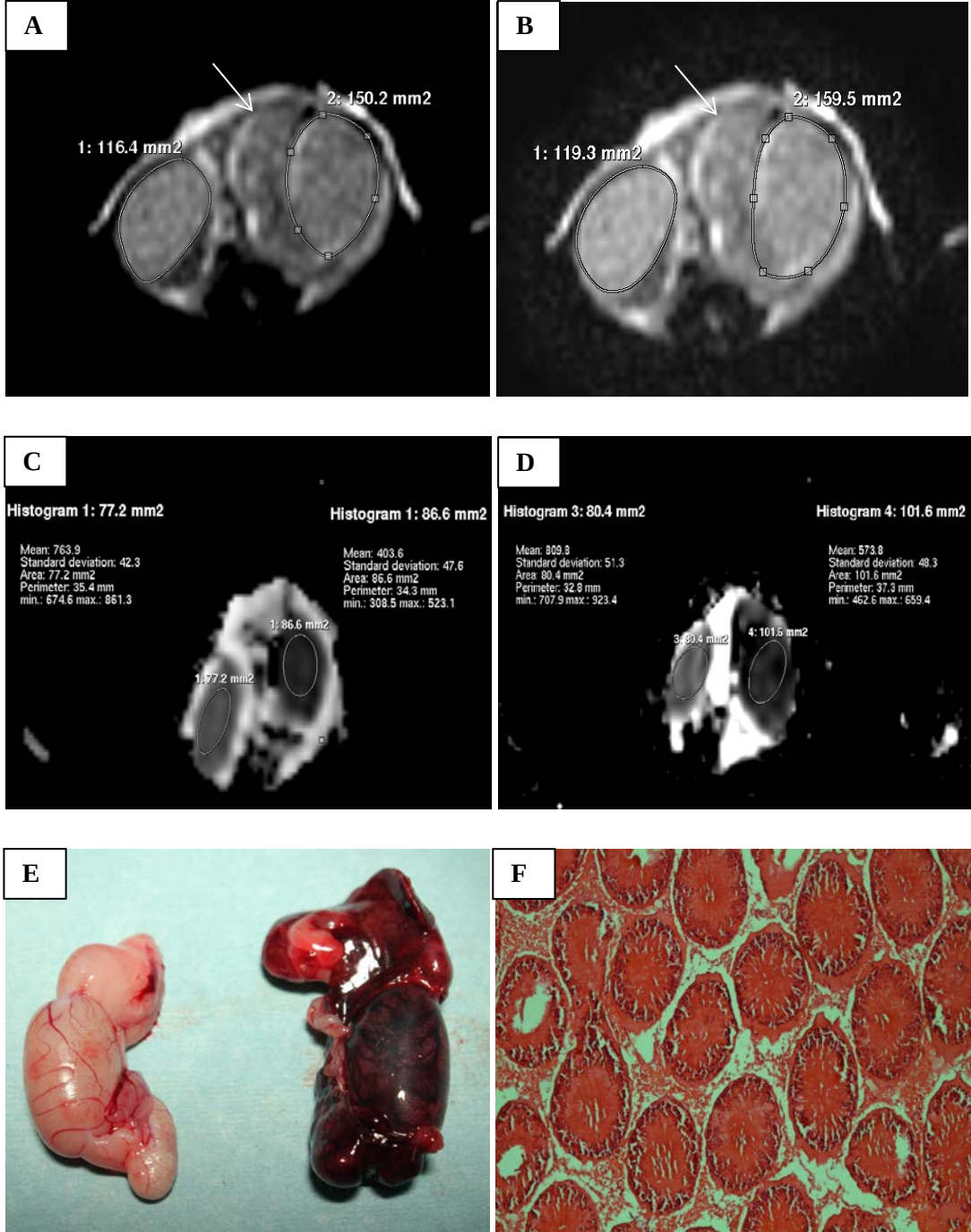
OLGULARDAN ÖRNEKLER



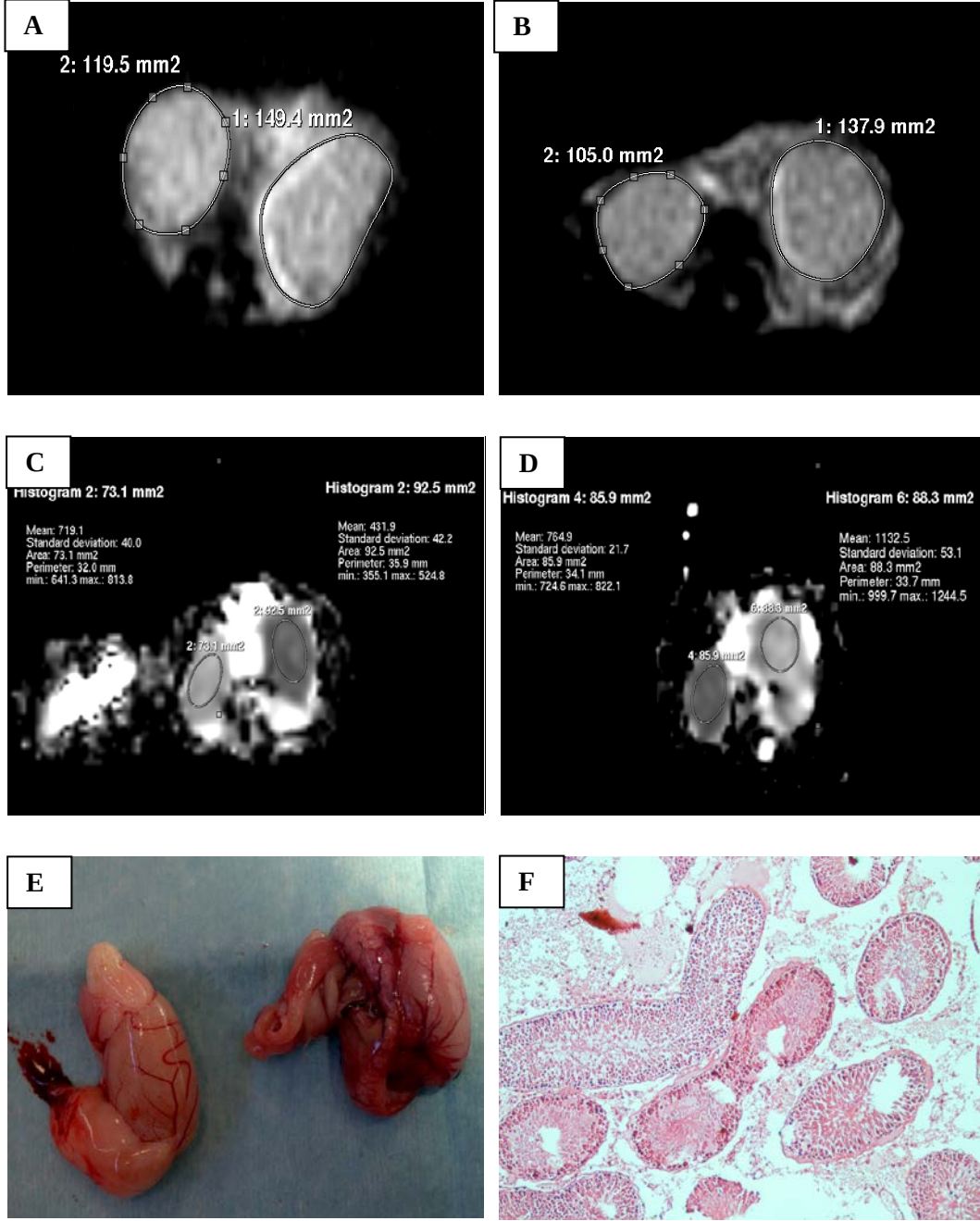
Olgu 1: Sham grubundaki olguya ait bulgular. **A, B)** Sırasıyla 8. ve 24. saatteki testis alanlarında belirgin farklılık saptanmadı. **C, D)** Sırasıyla 8. ve 24. saat ADC değerlerinin ölçümünde anlamlı farklılık saptanmadı. **E)** Sol testisin makroskopik görünümü olağan. **F)** Sol testisin histopatolojik incelemesinde hasar saptanmadı (Hemotoksilen ve eozin boyama, x40).



Olgu 2: Grup 2'deki (360° torsiyon) olguya ait bulgular. **A, B)** Sırasıyla 8. ve 24. saatteki sol testis alanında, sağa göre artış mevcut. **C, D)** Sırasıyla 8. ve 24. saat ADC değerlerinde, sol testis ADC değerlerinde azalma mevcut. **E)** Sol testisin makroskopik olarak sağa göre daha kırmızı olduğu ve boyutunun arttığı görülüyor **F)** Sol testisin histopatolojik incelemesinde, yakın paketlenmiş seminifer tübüller ve hafif interstiyel hemoraji görülüyor (Hemotoksilen ve eozin boyama, x40).



Olgu 3: Grup 3'teki (720° torsiyon) olgu. **A, B)** Sırasıyla 8. ve 24. saatteki sol testis alanında, sağa göre artış mevcut. Ayrıca solda epididimlerin boyutunda artış görülmektedir (beyaz oklar). **C, D)** Sırasıyla 8. ve 24. saat ADC değerlerinde, sol testis ADC değerleri sağa göre belirgin düşük izlenirken, solda ADC değerlerinde zamansal artış mevcut. **E)** Sol testisin makroskopik olarak mor-siyah renkte olduğu ve boyutunun arttığı görülüyor **F)** Sol testisin histopatolojik incelemesinde, yaygın interstisyel hemoraji görülüyor (Hemotoksilen ve eozin boyama, x40).



Olgu 4: Grup 4'teki (1080° torsiyon) olguya ait bulgular. **A, B)** Sırasıyla 8. ve 24. saatteki sol testis alanında, sağa göre artış mevcut. **C, D)** Sırasıyla 8. ve 24. saat ADC değerleri, 8. saatte sol testis ADC değerleri sağa göre belirgin düşük izlenirken, 24. saatte solda ADC değerleri sağa göre belirgin yüksek izleniyor. **E)** Sol testisin makroskopik olarak koyu kırmızı renkte olduğu görülüyor **F)** Sol testisin histopatolojik incelemesinde, yaygın koagülasyon nekrozu görülüyor (Hemotoksilen ve eozin boyama, x40).

TARTIŞMA

Testis torsiyonu sıklıkla genç erkeklerde ve yenidoğanlarda görülen, zamanında tedavi edilmediğinde gonad kaybına ve uzun dönemde infertiliteye neden olan acil bir durumdur. Yirmi beş yaş altındaki erkeklerde görülme sıklığı 1/4000'dir (9). Testis torsiyonu görülme sıklığı yenidoğan döneminde ve 13 yaş civarında arttığından (93), çalışmamızda pubertal ratlar kullanıldı. Bu dönemdeki ratlardan elde edilecek sonuçların klinik ile adaptasyonunun daha uygun olacağını düşünmekteyiz. Sol testisin uzun spermatik korda sahip olması nedeniyle, testis torsiyonu solda, sağa göre iki kat daha sık görülmektedir (94). Bu nedenle biz de çalışmamızda sol testis torsiyonunu inceledik.

Testis torsiyonu oluştuğunda önce venöz dönüş bozulmakta ve torsiyon derecesine bağlı olarak sırasıyla ödem, hemoraji ve arteriyel obstrüksiyon gelişmektedir (95). Retrospektif olarak 186 hastayı kapsayan klinik araştırmada torsiyon ile başvuran olguların büyük çoğunluğunda torsiyonun 360° ile 1080° arasında olduğu saptanmıştır (96). Literatürde deneysel ekstravajinal torsiyon modelinde hasarlanma için en az 540° torsiyon gerektiği bildirilmiştir (97). Değişen torsiyon derecelerinin testiste farklı etkiler yaratması nedeniyle biz de çalışmamızda sık görülen 360°, 720° ve 1080° torsiyonun DAG incelemede ADC değerleri üzerine etkisini ve 24. saatteki histopatolojik bulgularını inceledik.

Barada ve arkadaşları (9) 18 yaşın altında akut testis torsiyonu saptanan hastaların, skrotal ağrı başlangıcından ortalama 20 saat sonra, gecikmeli başvurduğunu ve bu olgularda testiküler doku kaybının daha sık görüldüğünü belirtmiştir. Kalfa ve arkadaşları (98) 44 testis torsiyonunu inceledikleri çalışmalarında olguların ortalama başvuru süresinin 9 saat olduğunu ve torsiyon derecelerinin 540° ile 1080° arasında değiştiğini göstermiştir. Başka bir çalışmadaysa testis torsiyonu saptanan 31 olgunun ortalama başvuru süresi 24 saat olarak bildirilmiştir (99). Testis torsiyonu bulunan olgular genelde ağrı başladıktan saatler sonra başvurduğundan biz de çalışmamızda testis torsiyonunun orta (8.saat) ve geç (24. saat) dönem bulgularını inceledik.

Deneyisel çalışmalarda testiste iskemi oluşturmak için kullanılan yöntemler testisi spermatik kordla birlikte döndürme, testiküler arteri bağlama veya klemplemedir (100). Yapılan bir çalışmada klempleme ile oluşturulan testis torsiyonu modelinde seminifer tübüllerdeki hasarın, gerçeğine uygun torsiyon modeline göre daha fazla olduğu gösterilmiştir (101). Klinikteki testis torsiyonu olgularıyla klemplemenin uyum göstermediğini düşünmekteyiz ve bu nedenle biz çalışmamızda gerçeğine uygun olarak, testisi döndürerek torsiyon modelini oluşturduk.

Testis Torsiyonunda Görüntüleme Bulguları

Testis torsiyonunda hasar, torsiyon derecesi ve süre ile doğru orantılı olduğundan testis torsiyonunun zaman kaybetmeden tanınması ve tedavi edilmesi gonad kaybının önlenmesinde çok önemlidir (1). Hatalı torsiyon tanısının koyulması veya torsiyon tanısının atlanması fertilité sorunlarına neden olmaktadır. Ayrıca bu durumlar klinisyen ve radyologlar için yasal yükümlülükleri de beraberinde getirmektedir (102-104). Kolay ulaşılabilir, ucuz ve girişimsel olmayan bir tanı yöntemi olması nedeniyle RDUS birçok merkezde skrotal ağrı ile başvuran hastalarda ilk yöntem olarak kullanılmaktadır (109). Ancak, 10 hafta ila 13 yaş arasındaki sağlıklı erkek çocukların %34'ünde bilateral, %8'inde tek taraflı RDUS ile kan akımının gösterilemediği bildirilmiştir (105). Bu çalışmada puberte öncesi sağlıklı çocuklarda testis boyutlarının küçük olması ve testis kan akımının az olması nedeniyle RDUS'un kanlanmayı gösteremeyebileceği, torsiyon için yanlış pozitif sonuç verebileceği bildirilmiştir (105). Allen ve Elder (106) testis torsiyonu bulunan 5 olguda, RDUS bulgularının cerrahi sonuçlar ile tutarsız olduğunu ve RDUS'un testis torsiyonu tanısında yardımcı olduğunu ancak torsiyonu ekarte ettirmeyeceği gibi torsiyonunun diğer patolojilerden ayrımında sonuçlarının kesin olmadığını bildirmişlerdir. Roth ve arkadaşları (107) testis torsiyonu bulunan dört yenidoğandan RDUS ile sadece bir olguda torsiyonun gösterilebildiğini bildirilmiştir. Torsiyon tanısı için RDUS incelemede testiste kan akımının kodlanmaması veya azalmış akım görülmesi en önemli kıstaslar olmakla birlikte bu durumda RDUS'un testis torsiyonu tanısındaki duyarlılığı %76 ila %88 arasında bulunmuştur. Bu oran tanı için yüksektir ancak %12-24 oranında yanlış negatif sonuç verdiği düşünüldüğünde

RDUS'un güvenilirliği azalmakta ve testisin riske atılmaması gerektiği bildirilmektedir (10, 55, 107). Yapılan bir çalışmada testis torsiyonu bulunan 44 olgudan, 13 tanesinde (%30) RDUS incelemede tanıda zorluk yaşandığı bildirilmiştir. Bu olgulardan 10 tanesinde etkilenen testiste RDUS'ta akım korunmuşken, 3 tanesinde ise etkilenen testisle birlikte hastanın şikayetinin bulunmadığı karşı testiste de akım kodlanamamıştır (98). Ayrıca RDUS'un kullanıcı ve cihaz bağımlı olması, kısmi torsiyonlarda yanlış negatif sonuç vermesi dezavantaj olarak görülmektedir. Testis torsiyonu olduğunda tanıda gecikme telafisi olmayan durumlara sebebiyet verebileceğinden, testis torsiyonunun tanısında RDUS'a yardımcı yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Testis torsiyonu tanısında power Doppler ultrasonografinin (PDUS) başarılı olduğu bildirilmiştir ancak RDUS ile karşılaştırıldığında, PDUS akıma daha duyarlı olduğundan torsiyone testiste ufak bir akımı göstererek yanlış negatif sonuçlara neden olabilmektedir (110-114). Testiste arteriyel akımın mevcut olduğu kısmi torsiyonlarda, spektral Doppler incelemede diyastolik kan akımında geri kaçış görülmesinin torsiyon tanısına katkı sağlayacağı bildirilmiştir (115). Çalışmamızdaki amaç, torsiyonda ADC değişikliklerini incelemek olduğundan RDUS inceleme yapılmadı.

Gri-skala ultrasonografi (USG)'de, çocuklarda spermatik kordda dönme saptanmasının (girdap bulgusu) torsiyon açısından uyarıcı olduğu bildirilmiştir (116). Arce ve arkadaşları (117) cerrahi olarak torsiyon saptanan altı olgunun tamamında, Esposito ve arkadaşları (118) ise torsiyon saptanan dört olgunun tamamında RDUS incelemede vasküler akım varken spermatik korddaki dönmeyi göstererek doğru tanıya ulaşıldığını belirtmişler. Nussbaum ve arkadaşları da (26) torsiyon bulunan 50 olgunun 47'sinde USG'de epididim boyutlarında anlamlı artış olduğunu ve epididimlerde RDUS'ta akım kodlanmadığını belirtmişler. Bizim çalışmamızda USG yapılmadı ancak T2A MRG'de benzer şekilde torsiyon bulunan ikinci, üçüncü ve dördüncü gruplarda epididim boyutlarında artış mevcuttu. Ancak epididimite, epididim tümörlerinde, sarkoidozda ve romatolojik hastalıklarda da epididim boyutu artabileceğinden, epididimde boyut artışının torsiyon tanısında yerinin oldukça sınırlı olduğunu düşünmekteyiz. Ayrıca çok nadir de olsa izole epididim torsiyonu saptanan olgular mevcuttur (119). Kısmi testis torsiyonuna eşlik eden epididimit vakalarında,

epididimde boyut artışıyla birlikte RDUS'da vasküler akım kodlanmasının, yanlış negatif sonuçlara ve testis kaybına neden olabileceğini düşünmekteyiz.

Cheng ve arkadaşları (66) deneysel testis torsiyonu modelinde gadolinyum bazlı prototipik kan havuzu maddesi kullanarak perfüzyon MRG'de göreceli kan hacmini (*relative blood volume measurement, rBV*) değerlendirmişler ve perfüzyon MRG'nin ve kan havuzu tipi gadolinyumlu kontrast maddenin akut testis iskemisinin gösterilmesinde başarılı bir yöntem olabileceğini göstermişlerdir. Devamlı arteriyel spin etiketlemeyle yapılan perfüzyon MRG (*Continuous arterial spin-labeling perfusion MRI*) yöntemiyle kontrast madde kullanmadan MRG ile normal insan testislerindeki kan akımının ve perfüzyonun gösterilebileceği bildirilmiştir (69). İşlem süresinin uzun olması (15-20 dakika), kontrast madde kullanımı, pahalı olması ve küçük çocuklarda sedasyon gerektirmesi yöntemlerin dezavantajlarıdır.

Watanabe ve arkadaşları (63) ise T2 ve T2* (T2 star) ağırlıklı konvansiyonel MRG'nin torsiyon tanısında faydalı olduğunu ve testisteki hemorajiyi gösterebileceğini bildirilmiştir. Ancak bazı çalışmalarda torsiyone testis ile karşı testis arasında T2 ve T2* ağırlıklı görüntülerde farklılık görülmemiştir (66, 120, 121). Bizim çalışmamızda da sağ ve sol testisler arasında T2 ağırlıklı görüntülerde belirgin farklılık mevcut değildi. Normal testis dokusunun T2 ağırlıklı görüntülerde fizyolojik olarak parlaması nedeniyle, iskemiye bağlı oluşabilecek testis ödemi normal testis parlamasından ayırt etmenin T2 ağırlıklı görüntülerle pek mümkün olmayacağını düşünüyoruz. Gri-skala ultrasonografideki girdap işaretinin T2 ağırlıklı görüntülerde de saptanması testis torsiyonunu desteklemektedir ancak yapılan klinik çalışmada testis torsiyonu bulunan olguların %50'sinde saptanmıştır (62).

Dinamik kontrastlı MRG, son zamanlarda skrotal patolojilerde sık kullanılmaya başlanan ve tanı için arada kalınan olgularda yüksek doğrulukla testis torsiyonunu gösteren bir yöntemdir. Asıl olarak testisin kontrastlanmasına bakılarak, testis perfüzyonu hakkında bilgi sağlanır. Çıkarma (substraksiyon) yönteminin de kullanılması görüntüleri yorumlamayı kolaylaştırır (5, 63, 122, 123). Yüksek maliyet, kontrast madde kullanımına bağlı nefrojenik sistemik fibrozis (NSF) ve alerjik reaksiyon riski, çocuklarda sedasyon gerektirmesi, işlem süresinin uzun olması (30-40 dakika), acil şartlarda uygulanabilir olmaması ve 1 yaşından küçük

çocuklarda gadolinyum bazlı kontrast madde kullanımının sakıncalı olması (67) yöntemin dezavantajlarıdır. Kontrast kullanımına bağlı görülen NSF sıklıkla kronik böbrek yetmezliği bulunan olgularda bildirilmiştir (124, 125).

Difüzyon ağırlıklı görüntüleme (DAG), akut inmenin tanısında ve beyin tümörlerinin değerlendirilmesinde vazgeçilmez bir yöntemdir (126, 127). Ayrıca klinik olarak spinal ve batin incelemelerinde DAG yaygın olarak kullanılmaktadır (128-135). Erken dönem testis torsiyonunun tanısında DAG'ın başarılı olduğu gösterilmiştir (8, 136). Ayrıca inmemiş testislerin yerinin belirlenmesinde DAG'ın başarılı olduğu gösterilmiştir (89, 137). Girişim ve kontrast madde kullanımı gerektirmemesi, iyonizan radyasyon içermemesi, hasta konforunu etkilememesi ve kısa sürede tamamlanabilmesi DAG'ın avantajlarıdır. Ancak görüntü kalitesinin düşük olması, hasta hareketinden ve duyarlılık (susceptibility) artefaktlarından etkilenmesi, küçük çocuklarda sedasyon gerektirmesi ve pahalı olması DAG'ın olumsuz yanlarıdır. Yeni kullanıma giren radyal tarama tekniğiyle, abdominal DAG incelemede hareket artefaktlarının azaltıldığı gösterilmiştir (138). Bu tekniğin testiste de kullanılması görüntü kalitesini olumlu yönde etkileyecektir.

Testis torsiyonu tanısında altın standart yöntem cerrahidir. Tanıda gecikme veya yanlış tanı olasılığı nedeniyle bazı cerrahlar torsiyon açısından klinik şüphe varlığında, tanı için radyolojik yöntemler kullanılmadan acil cerrahi eksplorasyon önermektedir (27, 139, 140). Literatürde radyolojik inceleme yapılmadan, klinik bulgularla torsiyon düşünülen ve cerrahi yapılan olgularda, gereksiz cerrahinin oranı %6,3 ila %81 arasında değişmektedir (141, 142). Gereksiz cerrahiyi önlemek ve testis torsiyonunu atlamamak için klinik ve görüntüleme bulgularının birlikte değerlendirilmesi, görüntülemeyi yapan-değerlendiren hekimin bilgi ve tecrübesi büyük önem taşımaktadır.

Testis torsiyonu tanısı koyulduğunda, testisin sağ kalıp kalmayacağını gösteren objektif bir yöntem bulunmamaktadır. Operasyon sırasında yanlış karar verilip kurtarılmayacak, ağır hasarlı testis orşiopeksi yapılarak bırakılırsa hasarlı testisten salınan serbest oksijen radikalleri ve anti-sperm antikorları nedeniyle karşı testiste hasarlanmaya neden olmaktadır. Operasyon sırasında nekroze olmamış testis çıkarılırsa gereksiz organ kaybı olmakta ve medikal-yasal sorunlara neden

olmaktadır (143). Testis torsiyonu çocuk ve adölesanlarda en sık 3. malpraktis nedeni olarak bildirilmiştir (144). Testis torsiyonunda eğer testis kurtarılabilir durumdaysa acil cerrahi yapılmalıdır. Ancak acil cerrahi yapılması ve hastanın acil şartlarda anestezi alması morbidite ve mortaliteyi arttırmaktadır. Cerrahi öncesi, tetkik ve hazırlıkların tam olarak yapılması morbidite ve mortaliteyi azaltmaktadır (13). Bu nedenle çalışmadaki diğer amacımız torsiyon tanısı konulan olgularda testisin kurtarılabilirliğini ve acil cerrahi müdahale gerekliliğini ADC ölçümleriyle ortaya koymaktır.

Testis Torsiyonunda Mikroskopik ve Makroskopik Bulgular

Testis torsiyonu oluştuğunda önce venöz dönüş bozulduğundan erken dönemde venöz konjesyon ve ödem görülür. Bunu takiben hemoraji, arteriyel obstrüksiyon ve iskemi gelişmektedir. Torsiyonun derecesine göre hafif hasarda interstisyel ödem, orta dereceli hasarda seminifer tübül nekrozunun erken bulgularıyla birlikte interstisyel hemoraji beklenir. Ağır hasardaysa koagülasyon nekrozu saptanır (1). Bizim çalışmamızda modifiye Cosentino evrelemesinde, evre 2; hafif, evre 3; orta, evre 4; ağır hasar olarak sınıflandırıldı. Çalışmamızda evre 2 hasar, interstisyel ödemi temsil etmekte olup bu aşamadaki hasarın geri döndürülebilir olduğu belirtilmiştir. Evre 3 hasarda ise testisin kurtarılabilirliğinin çok düşük olduğu, erken dönemde testis kurtarılsa bile uzun dönemde testisin atrofiye gittiği gösterilmiştir. Evre 3 hasardaki diğer problem ise detorsiyone edilen testisten salınan anti-sperm antikörlerinin karşı testiste hasar oluşturarak infertiliteye neden olabilmesidir (51). Evre 4 hasar, koagülasyon nekrozunu göstermekte olup testisin bu aşamada kurtarılabilmesi mümkün değildir (33, 92).

Çalışmamızda sol (torsiyone) testislerin histopatolojik incelemesinde sham grubunda bir olguda modifiye Cosentino sınıflamasına göre evre 2 yani hafif hasar olmasının, cerrahi sırasında minör travmaya bağlı olduğunu düşünmekteyiz. İkinci gruptaysa (360° torsiyon grubu) bir ratın sol testisinde evre 3 bulunmasının ise cerrahi sırasında olası vasküler yaralanma veya travma nedeniyle geliştiğini düşünmekteyiz.

Literatürde 360° ve altındaki testis torsiyonları kısmi torsiyon olarak adlandırılmakta olup kısmi torsiyonlarda arteriyel ve venöz akımın azaldığı gösterilmiştir (145). Gotto ve arkadaşları, RDUS incelemede olağan gözüken ancak MRG ile 360° torsiyon saptadıkları bir olguda, etkilenen tarafta çap artışının bulunduğunu bildirdiler (146). Bizim çalışmamızda da 360° torsiyon yaptığımız ikinci gruptaki ratların sol testislerinde makroskopik olarak simetriğine göre çap artışı mevcuttu. İkinci gruptaki sol testislerden yaptığımız alan ölçümlerindeyse; 8. saatte ölçtüğümüz testis alanının 24. saatte anlamlı derecede ($p=0,036$) azalması, artmış venöz basınca bağlı arteriyel akımda azalma veya vazokonstriksiyon sonucu olduğunu düşünmekteyiz.

Üçüncü grupta (720° torsiyon grubu) muhtemelen venöz akımda kayıp ve arteriyel akımda belirgin azalma nedeniyle morfolojik incelemede sol testislerde mor-siyah renkte hemorajik görünüm ve belirgin sertleşme saptadık. Üçüncü gruptaki testislerde, 24. saatteki ortalama testis alanının 8. saatteki ortalama alandan daha yüksek saptanması ($p=0,028$) arteriyel akımın az da olsa mevcut olduğunu, venöz akımın ise tamamen kesildiğini desteklemektedir. Dördüncü gruptaysa (1080° torsiyon grubu) muhtemelen torsiyon sırasında arteriyel ve venöz akımın tamamen kesilmesi nedeniyle sol testislerde yumuşama ve koyu kırmızı renk saptandı. Dördüncü grupta yapılan alan ölçümlerinde 8. ve 24. saatteki ortalama alan değerlerinin farklılık göstermemesi ($p=0,833$), hem arteriyel hem de venöz akımın torsiyon sırasında tamamen durduğunu göstermektedir. Arteriyel kan akımı ve venöz dönüşün durması için 720° torsiyonun yeterli olduğunu savunan bazı çalışmalar (1, 92) olsa da bizim çalışmamızda üçüncü grupta torsiyone testislerdeki hemorajik görünüm ve çap artışı 720° torsiyonda az da olsa arteriyel akım varlığını ve basınç artışı nedeniyle hemoraji geliştiğini düşündürmektedir. Daha yüksek derecede (1080°) torsiyon yapılan dördüncü gruptaysa, üçüncü gruptan farklı olarak testiste yumuşama görülmesi ve çap artışının saptanmaması, hem arteriyel akımın hem de venöz dönüşün torsiyon esnasında kaybolduğunu desteklemektedir. Sağ testislerden (normal testis) yapılan alan ölçümlerindeyse hiçbir grupta 8. ve 24. saat ortalama alan değerlerinde anlamlı farklılık saptanmaması, sol testisteki ölçümlerin torsiyonla ilişkisini doğrulamaktadır.

Torsiyon Derece ve Süresiyle Testisin Kurtarılabirliği Arasındaki İlişki

Kalfa ve arkadaşları (98) testis torsiyonu saptanan 44 hastayı USG ve RDUS ile inceledikleri çalışmalarında, etkilenen testislerden 31 tanesinde ödem ile uyumlu ekojenite azalması ve boyut artışı olduğunu bildirmişler ve bu testislerin kurtarılabir olmadığını öne sürmüşlerdir. Bizim çalışmamızda ise testislerdeki alan artışı, sham grubuyla karşılaştırıldığında 360° ve 720° torsiyon grubunda belirgin iken, histopatolojik incelemede 360° torsiyon grubunda bir olgu hariç hafif hasar ile uyumlu bulgular mevcuttu. Torsiyone testislerde sadece boyut artışı ve ödeme dayanarak, testisin kurtarılabirliği hakkında yorum yapmanın riskli olduğunu düşünmekteyiz.

Yapılan bir deneysel çalışmada 1080° torsiyon yapılan testiste oksijen basıncı (pO₂) 10. dakikada 0 mmHg ölçülürken, 720° torsiyondaysa altı saate kadar pO₂ değerlerinin korunduğu gösterilmiştir (147). Yapılan farklı bir çalışmada ise 720°'lik altı saat süren torsiyon sonrası kan akımının geri döndüğü gösterilmiştir (148). Ancak literatürde 1080°'lik gecikmiş torsiyon sonrası kan akımının geri döndüğünü gösteren çalışmaya rastlamadık. Çalışmamızdaki bulgular testislerdeki hasarın, süre ve testisin dönme derecesiyle doğru orantılı olduğunu göstermekte olup literatür verileriyle uyum göstermektedir (47, 149).

Bazı araştırmacılar 6 saatten uzun süren torsiyonlarda testisin kurtarılamayacağını ve operasyon için acele edilmemesi gerektiğini savunmaktadırlar. Bu durumun testisi riske attığını düşünmekteyiz. Bentley ve arkadaşları (145) 24 saat önce skrotal ağrısı başlayan, RDUS incelemede simetrik ve normal akım kodlanan 16 yaşında erkek hastada, cerrahi sırasında 360° torsiyon saptandığını ve testisin kurtarılabir olduğunu bildirmişlerdir. Lewis ve arkadaşları (150) ise şikayetleri 6 ila 48 saat önce başlayan ve testis torsiyonu saptanan olguların %50'sinde testisin kurtarılabir olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla şikayetleri 48 saatten az süredir bulunan testis torsiyonunda, testisin kurtarılma olasılığı devam etmektedir. Başka bir çalışmada testis torsiyonu bulunan ve şikayetleri 24 saatten uzun süre önce başlayan 179 olguda % 46 oranında testisin kurtarılabir olduğu bildirilmiştir (151). Klingerman ve Nourse (152) şikayetleri 48 saat önce başlayan ve kurtarılabir testis torsiyonu bulunan bir olgu bildirmiştir. Arce ve arkadaşları (117)

şikayetleri 18 saat önce başlayan ve 540° torsiyon saptanan bir olguda ve şikayetleri 12-14 saat önce başlayan ve 360° torsiyon saptanan iki olguda testislerin kurtarılabılır durumda olduğunu bildirmiştir. Heindel ve arkadaşları (153) ratlarda 360° torsiyonun fertilitede herhangi bir değişikliğe neden olmadığını, 720° ve fazlasının fertilitede azalmaya neden olduğunu belirtmişlerdir. Turner ve arkadaşlarıysa (1) 360° torsiyonun dört saatte yalnızca ödeme neden olduğunu, 720° torsiyonda ise iskemi geliştiğini bildirmişlerdir. Çalışmamızda ikinci gruptaki (360° torsiyon grubu) ratlarda 24. saatte yapılan histopatolojik değerlendirmede % 87,5 oranında hafif hasar saptanması, 360° torsiyonda testisin geç dönemde dahi kurtarılabılır olduğunu göstermektedir. Bizim çalışmamızda Turner ve arkadaşlarının çalışmasını (1) destekleyecek şekilde üçüncü grupta, yani 720° torsiyon grubunda 8. saatte ADC değerlerinde iskemi ile uyumlu belirgin azalma mevcuttu. Shadgan ve arkadaşları (154) 1080° torsiyon saptadıkları 14 aylık erkekte, ağrının başlangıcından 24 saat sonra yapılan cerrahide testisin nekroze olduğunu bildirmişlerdir. Bizim çalışmamızda da benzer şekilde dördüncü gruptaki testislerde 24. saatte ortak bulgu ağır hasar olup çoğunda nekroz saptandı. Dördüncü gruptaki (1080° torsiyon grubu), sol (torsiyone) testislerden beş tanesinde histopatolojik değerlendirmede evre 4 hasar saptanırken, üç olguda evre 3 görülmesi, evrelemenin baskın ve çoğunluğu kapsayan hücrel hasar derecesine göre yapılmasından kaynaklanmaktadır.

Testis Torsiyonunda Karşı Testisin Etkilenimi

Tek taraflı testis torsiyonu oluştuğunda karşı testiste de hasar saptandığı birçok çalışmada gösterilmiştir. Bu hasarın torsiyon sonucu salınan anti-sperm (155, 156) veya anti-testis antikorları (157) nedeniyle oluştuğu ileri sürülmektedir. Yapılan bir çalışmada karşı testisteki hasarın akrozomal enzimlerin salınması sonucu oluştuğu savunulmuştur (158). Ayrıca bazı çalışmalarda torsiyon sonrası karşı testiste kan akımının azaldığı ve mikrosirkülasyonun bozulduğu gösterilmiştir (159-161). Bizim çalışmamızda da orşiyektomi sonrası sağ (normal) testislerin histopatolojik incelemesinde ikinci grupta (360° torsiyon grubu) bir, üçüncü grupta (720° torsiyon grubu) üç, dördüncü grupta (1080° torsiyon grubu) iki testiste evre 2 hasar saptanması, torsiyon sonucu otoimmün, nörohümorale nedenler veya mikrosirkülasyon bozukluğu sonucu karşı (sağ) testisin etkilendiğini

düşündürmektedir. Sham grubunda (birinci grup) sağ testislerin hiçbirinde hasar saptanmazken ikinci, üçüncü ve dördüncü grupta sağ testislerdeki etkilenmenin tesadüfi veya cerrahiye bağlı travma sonucu olmadığını düşündürmektedir. Bizim verilerimiz karşı testisteki bu etkilenmenin hafif dereceli ve geri döndürülebilir olduğunu göstermektedir.

Testis Torsiyonunda ADC ve Mikroskopik Hasar Arasındaki İlişki

Çalışmamızda sol (torsiyone) testislerde 8. ve 24. saatte hesaplanan ortalama ADC değerlerinin karşılaştırılmasında; sham grubunda anlamlı farklılık saptanmazken ($p=0,917$), ikinci grupta (360° torsiyon grubu) ortalama ADC değerlerinde 24. saatte, artan iskemiye bağlı, anlamlı azalma ($p=0,012$) saptadık. Bu grupta ortalama ADC değerleri muhtemelen 24. saatten sonra düşmeye devam edecek ve difüzyon kısıtlanması görülecekti. Bu nedenle 24. saatten sonra 360° torsiyonun ADC ölçümüyle kolayca tanınabileceğini düşünmekteyiz. Literatürde 360° torsiyonda geç dönem bulguları gösteren çalışmaya rastalamadık. Bunu göstermek için ek çalışmalara ihtiyaç vardır. Üçüncü ve dördüncü gruptaysa 8. saatte sham grubuna göre azalmış ortalama ADC değerlerinin saptanması ve 24. saatteki ADC değerlerinde 8. saate göre anlamlı artış ($p=0,012$) bulunması, hücre hasarıyla birlikte ortalama ADC değerlerinin erken dönemde sitotoksik ödeme bağlı azaldığını, geç dönemde vazojenik ödeme bağlı ADC değerlerinin arttığını göstermektedir. Bu verilere dayanarak 8. saatten sonra 720° ve 1080° torsiyon olgularında testisin kurtarılabiliirliğinin düşük olduğunu söyleyebiliriz. Literatürde testis torsiyonunun orta dönem bulgularını inceleyen çok az çalışma mevcut olup, yapılacak ek çalışmalar testisin kurtarılabiliirliğini gösterme açısından büyük fayda sağlayacaktır.

Bizim çalışmamızda orşiyektomi sonrası modifiye Cosentino evrelerinin sağ (normal) ve sol (torsiyone) testisler arasında karşılaştırılmasında üçüncü ($p=0,006$) ve dördüncü ($p=0,0001$) grupta sol testislerde sağa göre anlamlı derecede yüksek hasar bulundu. Bununla uyumlu olarak 24. saat ortalama ADC değerleri de üçüncü ($p=0,027$) ve dördüncü ($p=0,0001$) grubun sağ ve sol testisleri arasında anlamlı farklılık göstermektedir. Bulgular ortalama ADC değerlerinin histolojik hasarla uyum gösterdiğini ortaya koymaktadır. Yirmidördüncü saatte ikinci gruptaki sol testis ortalama ADC değerlerinde sağa göre, istatistiksel olarak anlamlılığa

ulaşmayan, azalma dikkati çekmekte olup sol testiste saptanan hafif dereceli histolojik hasar ile uyumludur. Ayrıca 8. saatteki sol testisin ortalama ADC değerlerinin, sağ testisten üçüncü ve dördüncü gruplarda ($p=0,0001$) anlamlı derecede düşük saptanması bu aşamada torsiyone testislerin iskemi nedeniyle hasarlandığını göstermektedir. Bulgularımıza göre torsiyonun erken döneminde sitotoksik ödeme bağlı ADC değerlerinde azalma ve histolojik hasar başlamaktadır. İlerleyen dönemlerdeyse histolojik hasarın artmasına bağlı, nekroz oluşmakta ADC değerlerinde vazojenik ödeme bağlı artış görülmektedir.

Sekizinci saatte sol (torsiyone) testislerdeki ortalama ADC değerlerinin gruplar arası karşılaştırılmasında; ikinci grupta (360° torsiyon grubu) sham grubuna göre ADC değerlerinde anlamlılık kazanmayan hafif azalma izlenmesi ikinci grupta iskemik değişikliklerin hafif olduğunu desteklemektedir. Üçüncü (720° torsiyon grubu) ve dördüncü (1080° torsiyon grubu) gruptaysa sham grubuna göre ADC değerlerinde anlamlı azalma (üçüncü grup için $p=0,004$, dördüncü grup için $p=0,048$) saptanması bu gruplarda iskemik hasarın oluştuğunu göstermektedir. Sekizinci saatte dördüncü gruptaki ortalama ADC değerlerinin, üçüncü gruba göre daha yüksek saptanması, geri dönüşümsüz hücre hasarının başladığını ve ortalama ADC değerlerinin buna bağlı artış eğiliminde olduğunu düşündürmektedir. Yirmidördüncü saatteki ortalama ADC değerlerini karşılaştırdığımızda dördüncü gruptaki değerlerin üçüncü gruba ($p=0,001$) ve sham grubuna ($p=0,025$) göre anlamlı derecede yüksek olduğu ve geri dönüşümsüz hücre hasarına bağlı ortalama ADC artışının devam ettiğini desteklemektedir. Bu verilere dayanarak torsiyone testiste ortalama ADC değerlerinde, erken dönemde azalma görülürken zaman geçtikçe artış olduğunu ve etkilenen testisin ortalama ADC değerlerinde normal tarafa göre artış saptandığından geri dönüşümsüz hasar oluştuğunu yani testisin kurtarılamayacağını söyleyebiliriz. Çalışmamızda sham grubunda (birinci grup) ortalama ADC değerleri 8. saatte $744,86 (\pm 35,32) \times 10^{-6}$, 24. saatte $752 (\pm 48,46) \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{sn}$ bulunmuş olup, ADC değerlerinin (Tablo – 9 ve 12) yaklaşık 700 ila $800 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{sn}$ arasında dağılım gösterdiğini görmekteyiz. Olgu sayımızın az olması nedeniyle net bir eşik değer saptayamadık ancak etkilenen testiste ADC değerlerinin $700 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{sn}$ 'nin altında olması difüzyon kısıtlılığı, $800 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{sn}$ 'nin üzerinde olması ise difüzyon artışı açısından şüphe uyandırıcıdır.

Maki ve arkadaşları (136) akut skrotal ağrı ile başvuran 23 olgudan, 9 tanesinde testis torsiyonu saptadıklarını ve bu olguların yedi tanesinde difüzyon kısıtlanması mevcut olduğunu bildirmişler. Difüzyon kısıtlanması saptanan olgulardan sadece bir tanesinde testisin kurtarılabılır olduğunu ve hemorajinin bulunmadığını, diğer altı olgudaysa hemorajik nekroz bulunduğunu bildirilmişlerdir. Ancak bu çalışmada testis torsiyonlarının derecesi ve hastaların şikâyetlerinin başlangıcından MRG yapılmasına kadar geçen süre belirtilmemiştir. Bizim çalışmamız, torsiyon süresi ve derecesiyle ADC değerleri arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Maki ve arkadaşlarının bir olguda saptadığı gibi, bizim çalışmamızda da 1080° torsiyon bulunan grupta 8. saat ortalama ADC değerleri anlamlı derecede düşükken, 24. saatte yapılan patolojik incelemede belirgin hemoraji mevcut değildi. Bulgularımız bu grupta iskemiye bağlı sitotoksik ödem nedeniyle ADC değerlerinin düşüklüğünü açıklamaktadır. Akut ve subakut dönemde hemorajinin difüzyon kısıtlanmasına neden olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (162, 163). Bizim çalışmamızda da 720° torsiyon bulunan gruptaki ADC değerleri anlamlı derecede düşükken yaygın hemoraji varlığı, sitotoksik ödemin yanısıra ADC değerlerinin hemorajiden de etkilendiğini düşündürmektedir. Bulgularımız diğer çalışmalarla uyum göstermekte olup hemoraji, testis torsiyonunun DAG ile tanınmasını erken dönemde kolaylaştırmaktadır (129, 164, 165).

Onsekiz ratta yapılan bir çalışmada, 1080° torsiyona maruz bırakılan ve ardından 4. saatte orşiyektomi yapılan testislerden makroskopik olarak hiçbirinde nekroz saptanmazken, histolojik olarak bir testiste (%5,5) nekroz saptandığı gösterilmiştir. (166). Ayrıca 720° ve üzeri torsiyonlarda erken dönemde (ilk 4 saatte) ADC değerlerinin düştüğü ve testisin kurtarılabildiği gösterilmiştir (5, 63, 136). Biz de çalışmamızda torsiyon gruplarında erken dönemde orşiyektomi yapsaydık muhtemelen daha düşük hasar saptayacaktık. Torsiyon zamanının uzaması testisteki hasarı arttırmaktadır. Difüzyon kısıtlanması 720° ve üzeri torsiyonlarda erken dönemde tanı için kullanılabilir bir yöntemdir ancak testisin canlılığı hakkında net bir fikir vermemektedir. Difüzyon kısıtlılığı varken testis kurtarılabılır durumda olabilir veya bizim çalışmamızda 720° torsiyon grubundaki gibi kısıtlanmış difüzyon varlığında yaygın hemoraji saptanabilir. Ancak difüzyon artışı ağır hasarı ve testisin kurtarılamaz olduğunu göstermektedir. Çalışmamız torsiyon oluştuğunda, torsiyonun

derecesine göre farklı hızlarda ADC değerlerinin düştüğünü, belli bir düşüşün ardından ADC değerlerinde artışın ortaya çıktığını göstermektedir. Erken dönemde ADC değerlerindeki azalmanın sitotoksik ödem nedeniyle, geç dönemdeki ADC değerlerindeki artışın ise nekroza bağlı vazojenik ödem nedeniyle olduğunu düşünüyoruz. Üçüncü (720° torsiyon grubu) ve dördüncü (1080° torsiyon grubu) gruplarda 24. saat ADC değerlerinde 8. saate göre belirgin artış mevcuttu ve bu gruplarda ağır hasar saptadık. ADC değerlerindeki düşüşün ardından artış göstermeye başladığı anın testisin kurtarılabilirliği için kritik nokta olduğunu düşünmekteyiz. Bu durumda en büyük sıkıntının, azalmış ADC değerlerinin artış ile tekrar normal değerlere geldiği sırada görüntüleme yapılmasından kaynaklanacağını düşünmekteyiz. Bu yalancı normal ADC'nin torsiyon derecesine göre oluştuğu zamanın bilinmesi veya kısa bir süre (20-30 dakika) sonra tekrar DAG inceleme yapılarak ADC değerlerindeki değişimin gösterilmesi problem çözücü olacaktır. Bu tezimizi göstermek için, testis torsiyonunda kısa aralıklarla ADC ölçümlerinin yapıldığı ek çalışmalara ihtiyaç vardır.

Maki ve arkadaşları (136) torsiyon bulunan testislerdeki ortalama ADC değerlerinin sağlam testise göre %26 oranında azaldığını ve histolojik olarak çoğu olguda hemorajik nekroz olduğunu bildirmişler. Kangnasniemi ve arkadaşları (8) ise ratlarda testiküler arter ligasyonu ile oluşturdukları torsiyon modelinde ortalama ADC değerlerinin 1. saat %18, 2. saat %20 oranında azaldığını, histolojik olarak ise interstisyel ödem ve konjesyon bulunduğunu belirtmişler. Bizim çalışmamızdaysa 360° torsiyon bulunan ikinci grupta sol (torsiyone) testisteki ortalama ADC değerlerinde sağ (normal) testise göre 8. saatte %6, 24. saatte %7 azalma mevcuttu ancak istatistiksel olarak anlamlılık yoktu. Bu verilere dayanarak kısmi torsiyon olarak tanımlanan 360° ve altındaki torsiyonlarda ortalama ADC değerlerinin tanı açısından ilk 24 saatte duyarlılığının düşük olduğunu söyleyebiliriz.

Sol (torsiyone) testislerdeki ortalama ADC değerlerinde 8. saatte üçüncü grupta sağ (normal) testise göre %44, dördüncü gruptaysa %42 oranında azalma saptadık. Ortalama ADC değerlerini, sadece karşı ve etkilenen testis arasında karşılaştırarak 720° ile 1080° arasındaki testis torsiyonlarında orta dönemde (8. saat) kontrast madde verilmeden, non-invaziv olarak kısa sürede DAG ile tanı koyulabileceğini

düşünmekteyiz. Çalışmamızda dördüncü grupta (1080° torsiyon grubu) 24. saatte torsiyone sol testisteki ortalama ADC değerlerinde simetriğine göre %34 oranında artış mevcuttu ($p=0,0001$). Bu yanlış olarak karşı testiste ADC değerlerinde azalma olarak yorumlanmamalıdır. Hastanın şikâyetinin bulunduğu taraf bilinirse ve sağlıklı testisteki referans ADC değer aralığı bilinirse bu problem ortadan kalkacaktır. Ortalama ADC değerlerinde torsiyone testiste, simetriğine göre anlamlı artış bulunması geç kalınmış torsiyon tanısında kullanılabilir ve bu bulgunun kurtarılamayacak düzeyde hasarın göstergesi olduğunu düşünmekteyiz.

Testis torsiyonu yaklaşık %2 oranında bilateral görülmekte olup (45), bilateral torsiyon bulunan olgularda ve tek testisi daha önce herhangi bir nedenle alınmış olgularda testisler arasında karşılaştırma yapılamayacağından normal testislerdeki referans ADC değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Tsili ve arkadaşları (167) 147 sağlıklı testisi incelemiş ve yaş gruplarına göre referans ortalama ADC değerlerinin $1.08 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{sn}$ ile $1.31 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{sn}$ arasında olduğunu bulmuşlardır ($b=0$ ve 900 s/mm^2 kullanılmıştır). Bizim çalışmamızda sham grubundaki ortalama ADC değerleri $0.7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{sn}$ ile $0.8 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{sn}$ arasında bulunmuş olup, rat testisi ile insan testisi arasındaki mikroskopik farklılıktan veya farklı *b değeri* kullanılması nedeniyle oluştuğunu düşünmekteyiz. Tsili ve arkadaşları (167) ortalama ADC değerlerinin yaş ile anlamlı artış gösterdiğini. Yaş ile ADC değerlerinin artışını, testis içerisindeki bağ dokuda artış, hiyalinizasyon ve seminifer tübül atrofisi nedeniyle olduğu belirtmişlerdir.

Biyolojik dokularda suyun difüzyonunda kısıtlanma olması, dokunun selüleritesiyle ve hücre membranlarının sağlamlığıyla ilişkilidir. Tümör dokusu gibi yüksek selüleriteye sahip dokularda difüzyon kısıtlanırken, hücre membran geçirgenliği tamamen bozulmuş geç dönem (7-10 gün sonra) serebral iskemilerde difüzyon artışı olmaktadır (84). Bizim çalışmamızda da 1080° torsiyon yaptığımız dördüncü grupta, 24. saatte ADC artışı mevcutken histolojik değerlendirmede yaygın seminifer tübül hasarı ve nekroz mevcuttu. Ortalama ADC değerlerindeki artışın bu grupta, hücre nekrozuna, geri dönüşümsüz seminifer tübül hasarına ve hücre membran fonksiyonunda bozulmaya bağlı olduğunu düşünmekteyiz.

Ratlarda akut serebral iskeminin DAG ile değerlendirilmesinde, ADC ölçümünün görsel değerlendirmeye göre daha üstün olduğu bildirilmiştir (168, 169). Bu nedenle testis torsiyonunun DAG ile değerlendirilmesinde, görsel olarak difüzyon kısıtlanması var veya yok şeklinde yorum yapılmasından ziyade ortalama ADC değerleri hesaplanarak niceleyici, sayısal bir karşılaştırma yapılmasının daha doğru olacağını düşünüyoruz. İnmemiş testislerin lokalizasyonunun belirlenmesinde ve skrotal patolojilerin değerlendirilmesinde yüksek b değeri kullanılması önerilmiştir (89, 136). Biz de çalışmamızda T2 parlama etkisinden kurtulabilmek için yüksek b değeri ($b=800 \text{ s/mm}^2$) kullandık.

ADC ölçümleri için kullanılan ilgi alanı (ROI, “*region of interest*”) boyutunun ve yerleştirilme yerinin tümör ADC değerlerinde ve gözlemciler arasında farklılığa neden olduğu gösterilmiştir. Tüm tümör hacmini kapsayacak şekilde kullanılan ilgi alanı, gözlemciler arası farklılığı ve ADC değerlerindeki değişkenliği en aza indirmekte, ölçümlerin tekrarlanabilir olmasını sağlamaktadır (170, 171). Bu nedenle biz ölçümlerimizde artefaktlardan etkilenmeyecek şekilde en büyük ilgi alanını kullandık. Çalışmamızda gruplar arası ortalama ROI değerleri karşılaştırıldığında sadece sekizinci saatteki ölçümlerde dördüncü grupta kullanılan ortalama ROI değerinin birinci gruptan anlamlı derecede ($p=0,001$) yüksek saptanması, sekizinci saatte dördüncü gruptaki testis ortalama alanının birinci gruptan yüksek olmasıyla açıklanabilir. Diğer gruplar arasında ROI değerlerinde anlamlı farklılık saptanmaması ADC değerlerindeki olası değişkenliği en aza indirmekte ve ölçümlerin tekrarlanabilir olmasını sağlamaktadır.

Testis torsiyonunun insanlarda nispeten nadir görülmesi, karmaşık yapıya sahip olması ve acil tedavi gerekliliği nedeniyle hayvan deneyleri testis torsiyonun ve etkilerinin araştırılmasında büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma testis torsiyonundaki hücresel hasar ve nekroz gibi bulguları, ADC değerleriyle ilişkisini ortaya koymaktadır. Bulgularımız torsiyon sonucu oluşan hasarın torsiyon süresinden çok torsiyon derecesiyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Testis torsiyonu bulunan olgularda DAG incelemenin, tanının doğrulanması ve testis canlılığının gösterilmesi amacıyla, klinikte rutin kullanıma gireceğini düşünmekteyiz.

Çalışmamızın bazı kısıtlılıkları vardır. Birincisi, çalışma grubunu oluşturan olgu sayısının kısıtlı olması nedeni ile istatistiksel analizde non-parametrik testler kullanıldı. Ancak deneysel çalışmalarda bu kabul edilebilir sınırlılıktır. İkincisi, histopatolojik incelemeler sadece 24. saatte yapıldı, 8. saatte de histopatolojik inceleme yapılsaydı ADC değerleriyle testisteki hasarın ilişkisi daha net ortaya koyulabilirdi. Üçüncüsü, difüzyon görüntüleme tekniğinin çekim parametrelerine bağlı olması ve fikir birliğine varılmış bir b değerinin olmaması da sonuçlarımızı etkilemiş olabilir. Testis difüzyon çekim tekniğinde, b değerini tek değer (800 sn/mm²) almamız nedeniyle farklı b değerlerindeki ADC ölçümleriyle değerlendirme yapamadık. Dördüncüsü, testis alanlarının ölçümünde transvers düzlemde en geniş alanını ölçmemizdir. Kesitler mümkün olduğunca testisin uzun eksenine dik alınmış olsa da, kesitlerin tam dik olmadığı görüntülerde hata payı olacağından 3 boyutlu görüntüleme yapılması ve testis hacminin hesaplanması daha doğru sonuçlar verecektir. Beşinci kısıtlılık ise çalışmamızda görüntüler iki radyolog tarafından beraber değerlendirilmiş olup radyologlar arasında görüntüleri değerlendirmede oluşabilecek muhtemel farklılıklar ortaya konamadı.

Sonuç olarak DAG, kontrast madde kullanmadan testis torsiyonun saptanmasında yardımcı olabilir. Testis torsiyonu saptandığında, ortalama ADC değerlerinde etkilenen tarafta, sağlam tarafa göre artış mevcut ise testiste geri dönüşümsüz hasarın varlığı söylenebilir. Bu durumda torsiyon acil cerrahi müdahale gerektirmez ve orşiyektomi için yol gösterici olabilir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada testis torsiyonu tanısında ve torsiyone testisin kurtarılabilirliğinin değerlendirmesinde DAG'ın rolü değerlendirildi ve T2 ağırlıklı görüntülerde testis alanının torsiyon derecesi, süresiyle olan ilişkisi incelendi. Ayrıca torsiyone testislerde 24. saatteki ADC değerlerini histopatolojik bulgularla karşılaştırarak, ADC değerleriyle testisteki hasar arasındaki ilişki değerlendirildi. Çalışmamızda şu sonuçlar elde edildi:

- Orşiyektomi sonrası sol testisler modifiye Cosentino sınıflamasına göre değerlendirildiğinde;
 - Birinci grupta (sham grubu) bir testiste evre 2 (%14,3) yani hafif hasar saptanırken, diğer altı testiste evre 1 (%85,7) yani normal histoloji mevcuttu.
 - İkinci grupta (360° torsiyon grubu) dört testiste normal histoloji (%50), üç testiste evre 2 (%37,5) yani hafif hasar mevcutken, bir testiste interstisyel hemorajinin eşlik ettiği evre 3 (%12,5) saptandı. Bu gruptaki testislerin %87,5'i kurtarılabilir durumdaydı.
 - Üçüncü gruptaki (720° torsiyon grubu) sekiz olgunun tamamında yaygın hemorajinin eşlik ettiği evre 3 (%100) bulundu. Bu gruptaki testislerin tamamı kurtarılamaz durumdaydı.
 - Dördüncü grupta (1080° torsiyon grubu) üç olguda evre 3 (%37,5), beş olguda (%62,5) evre 4 bulundu. Bu gruptaki testislerin tamamı kurtarılamaz durumdaydı.
- Sol testiste 8 ve 24. saatte hesaplanan ortalama ADC değerleri karşılaştırıldığında;
 - Birinci gruptaki ADC değerleri arasında anlamlı fark saptanmazken ($p=0,917$), yirmidördüncü saatteki ortalama ADC değerleri, 8.saat ortalama ADC değerlerine göre ikinci grupta anlamlı düşüş ($p=0,012$), üçüncü ve dördüncü gruplardaysa anlamlı artış ($p=0,012$) gösterdi.

- Sol testislerde 8.saatteki ortalama ADC ölçümleri sham grubuyla karşılaştırıldığında; üçüncü ($p=0,004$) ve dördüncü ($p=0,048$) grupta anlamlı derecede düşük ADC değerleri bulundu. İkinci gruptaki ölçümlerde ise sham grubuna göre anlamlı farklılık saptanmadı ($p=0,778$).
- Yirmidördüncü saatte dördüncü gruptaki (1080° torsiyon grubu) sol testis ortalama ADC değerleri sham grubundan ($p=0,025$) ve diğer iki gruptan (ikinci grup için $p=0,008$, üçüncü grup için $p=0,001$) anlamlı derecede yüksek bulundu. Yirmidördüncü saatte histolojik değerlendirmede dördüncü grupta sol testislerde, sağa göre anlamlı derecede ($p=0,0001$) yüksek hasar mevcuttu ve bu gruptaki sol testislerin tamamı kurtarılamaz durumdaydı.
- Sağ ve sol testiste hesaplanan ortalama ADC değerleri karşılaştırıldığında;
 - Birinci grupta 8. ve 24. saatteki değerlerde anlamlı farklılık saptanmadı.
 - İkinci grupta sol testisteki ADC değerlerinde sağa göre 8. saatte %6, 24. saatte %7 azalma mevcuttu ancak istatistiksel olarak anlamlılık yoktu.
 - Üçüncü grupta sol testisteki ortalama ADC değerlerinde sağa göre 8. saatte %44 (8. saat $p=0,0001$), 24. saatte %17 (24. saat $p=0,027$) oranında azalma mevcuttu.
 - Dördüncü grupta 8. saatte sol testisteki ortalama ADC değerlerinde sağa göre %42 ($p=0,0001$) oranında azalma, 24. saatte ise sol testis ortalama ADC değerlerinde sağa göre %34 oranında artış mevcuttu ($p=0,0001$).

- Sağ ve sol testisin orşiyektomi sonrası patoloji skorları karşılaştırıldığında;
 - Birinci ve ikinci grupta sağ ve sol testis arasında modifiye Cosentino evresine göre anlamlı fark saptanmadı.
 - Üçüncü ($p=0,006$) ve dördüncü ($p=0,0001$) gruplarda sol testiste sağa göre anlamlı derece daha yüksek histolojik evre saptandı.

- Sol testiste 8. ve 24. saatte ölçülen testis alanları karşılaştırıldığında;
 - Birinci ve dördüncü grupta hesaplanan değerlerde anlamlı fark saptanmadı.
 - İkinci grupta testis alanında anlamlı azalma, üçüncü gruptaysa anlamlı artış mevcuttu.
 - Sağ testiste ise 8. ve 24. saatte ölçülen alan değerleri arasında anlamlı fark saptanmadı.
 - Sekizinci saatte sol testisten yapılan alan ölçümlerinde ikinci grubun ortalama alanı birinci grubun ortalama alanından anlamlı derecede yüksek saptanırken ($p=0,033$), üçüncü ve dördüncü grubun ölçülen ortalama alanları birinci gruptan yüksek bulundu ancak istatistiksel anlamlılık oluşturmamaktaydı (üçüncü grup için $p=0,129$, dördüncü grup için $p=0,061$).

KAYNAKLAR

1. Turner TT, Brown KJ. Spermatic cord torsion: loss of spermatogenesis despite return of blood flow. *Biol Reprod* 1993; 49:401–407.
2. Melekos M, Asbach H, Markou S. Etiology of the acute scrotum with regard to distribution. *J Urol* 1988; 139:1023–1024.
3. Miller DC. Effects of hypothermia on testicular ischemia. *J Urol* 1990; 143:1046–1048.
4. Dunnick NR, Sandler CM, Amis Jr. ES, Newhouse JH. Üroradyoloji. Şimşek M, Çev. Ed, 4. Baskı, İstanbul: Nobel Tıp Kitabevi, 2006:374-375.
5. Watanabe Y, Dohke M, Ohkubo K, et al. Scrotal disorders: evaluation of testicular enhancement patterns at dynamic contrastenhanced subtraction MR imaging. *Radiology* 2000; 217:219–227.
6. Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, Grenier P, Cabanis E, Laval-Jeantet M. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders. *Radiology* 1986; 161:401–407.
7. Sinha S, Lucas-Quesada FA, Sinha U, DeBruhl N, Bassett LW. In vivo diffusion-weighted MRI of the breast: potential for lesion characterization. *J Magn Reson Imaging* 2002; 15:693–704.
8. Kangasniemi M, Kaipia A, Joensuu R. Diffusion weighted magnetic resonance imaging of rat testes: a method for early detection of ischemia. *J Urol* 2001; 166:2542–2544.
9. Barada JH, Weingarten JL, Cromie WJ: Testicular salvage and age related delay in the presentation of testicular torsion. *J Urol* 1989; 142:746–748.
10. Filho DW, Torres MA, Bordin ALB. Spermatic cord torsion, reactive oxygen and nitrogen species and ischemia-reperfusion injury. *Molecular Aspects of Medicine*. 2004; 25:199–210.

11. Jhunjhunvalla JS, Sinha Hikim AP, Budd CA, Chakraborty J. Germ cell degeneration in the contralateral testis of the guinea pig with unilateral torsion of the spermatic cord. *J Androl.* 1986; 7:9–17.
12. Ferreira U, Netto Junior NR, Esteves SC, Rivero MA, Schirren C. Comparative study of the fertility potential of men with only one testis. *Scand J Urol nephrol.* 1991; 25:255–259.
13. Ingraham AM, Cohen ME, Raval MV, Ko CY, Nathens AB. Comparison of hospital performance in emergency versus elective general surgery operations at 198 hospitals. *J Am Coll Surg.* 2011; 212:20–28.
14. Tanagho EA, McAninch JW. *Smith's General Urology.* New York: The McGraw – Hill Companies 2000:750–787.
15. Walsh PC, Retik AB, Vaughan ED, Jr, Wein AJ, eds. *Campbell's Urology.* Philadelphia: WB Saunders 2002:1437-1476.
16. Özdiler E, Aydos K, eds. *Klinik Androloji.* Ankara: Ankara Üniversitesi Basımevi 2000:1-20.
17. Walsh PC, Retik AB, Vaughan ED, Jr, Wein AJ, eds. *Campbell's Urology.* Philadelphia: WB Saunders 2002:76-78.
18. Hansen JT. *Netter's Clinical Anatomy 2nd Edition.* Philadelphia: Saunders-Elsevier 2009, pp 199.
19. Pettersson S, Soderholm B, Persson JE et al. Testicular blood flow in man measured with versus occlusion plethysmography and xenon-133 scan. *J Urol Nephrol* 1973; 7:115-119.
20. Jarow JP. Intratesticular arterial anatomy. *J Androl* 1990; 11:255-259.
21. Harrison RG. The comparative anatomy of the blood supply of the mammalian testis. *Proc Zool Soc London* 1949; 119:325-344.
22. Pham SB, Hong MK, Teague JA, Hutson JM. Is the testis intraperitoneal? *Pediatr Surg Int.* 2005; 21:231-239.
23. Rauchenwald M, Steers WD, Desjardins C. Efferent innervation of the rat testis. *Biol Reprod.* 1995; 52:1136-1143.
24. Taguchi K, Tsukamoto, Murakami G: Anatomical studies of the autonomic nervous system in the human pelvis by the whole mount staining method: Left-right communicating nerves between bilateral pelvic plexuses. *J Urol.* 1999; 161:320-325.

25. Sadler TW. Langman's medical embryology. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2005:330-349.
26. Nussbaum Blask AR, Bulas D, Shalaby-Rana E, Rushton G, ShaoC, Majd M. Color Doppler sonography and scintigraphy of the testis: a prospective, comparative analysis in children with acute scrotalpain. *Pediatr Emerg Care* 2002; 18: 67–71.
27. McAndrew HF, Pemberton R, Kikiros CS, Gollow I. The incidence and investigation of acute scrotal problems in children. *Pediatr Surg Int.* 2002; 18:435-437.
28. Davol P, Simmons J. Testicular torsion in a 68-year-old man. *Urology* 2005;66:195-196.
29. Casa AS, Cass BP, Veeraraghavan K. Immediate exploration of the unilateral acute scrotum in young male subjects. *J Urog.* 1980; 124:829-832.
30. Williamson RCN. The continuing conundrum of testicular torsion. *Br J Surg* 1985; 72:509-510.
31. Williams CR, Heaven KJ, Joseph DB. Testicular torsion: is there a seasonal predilection for occurrence? *Urology* 2003; 61: 638–641.
32. Filho DW, Torres MA, Bordin ALB. Spermatoc cord torsion, reactive oxygen and nitrogen species and ischemia-reperfusion injury. *Molecular Aspects of Medicine.* 2004; 25:199–210.
33. Cosentino MJ, Nishida M, Rabinovvitz R, Cockett ATK. Histological changes occurring in the contralateral testes of prepubertal rats subjected to various durations of unilateral spermatoc cord torsion. *J Urol.* 1985; 133:906–911.
34. Backhouse KM. Embriology of testicular descent and maldescent. *Urol Clin North Am* 1982; 9: 315–316.
35. Knight PJ, Vassy LE. The diagnosis and treatment of the acute scrotum in children and adolescents. *Ann Surg* 1984; 200:664–666.
36. Albayrak S, Göktaş C, Cangüven Ö, Horuz R. Testis torsiyonunun erişkinde görülen nadir şekli: Ekstravajinal testis torsiyonu. *Türk Üroloji Dergisi* 2004; 30:44–46.
37. Caesar R, Kaplan G. Incidence of the bell clapper deformity in an autopsy series. *Urology* 1994; 44:114–120.

38. Marcozzi D, Suner S. The nontraumatic, acute scrotum. *Emerg Med Clin North Am.* 2001; 19:547–568.
39. Cilento BG, Najjar SS, Atala A. Cryptorchidism and testicular torsion. *Pediatr Clin North Am.* 1993;40:1133–1149.
40. Johnston JH. The undescended testis. *Arch Dis Child.* 1965; 40:113–122.
41. Lavallee ME, Cash J. Testicular torsion: evaluation and management. *Curr Sports Med Rep* 2005; 4:102–104.
42. Rabinowitz R. The importance of the cremasteric reflex in acute scrotal swelling in children. *J Urol* 1984; 132:89–90.
43. Karamazyn B, Steinberg R, Kornreich L. Clinical and sonographic criteria of acute scrotum in children: a retrospective study of 172 boys. *Pediatr Radiol* 2005; 35:302–310.
44. Bingöl-Koloğlu M, Tanyel FC, Anlar B, Büyükpamukçu N. Cremasteric reflex and retraction of a testis. *J Pediatr Surg.* 2001; 36:863–867.
45. Kuremu RT. Testicular torsion: case report. *East Afr Med J* 2004; 81: 274–276.
46. Anderson J, Williamson R. Testicular torsion in Bristol: a 25 year review. *Br J Surg* 1988; 75:988–992.
47. Tryfonas G, Violaki A, Tsikopoulos G et al. Late postoperative results in males treated for testicular torsion during childhood. *J Pediatr Surg* 1994; 29:553–556.
48. Krarup T. The testes after torsion. *Br J Urol* 1978; 50:43–46.
49. Strauss S, Faingold R, Manor H. Torsion of the testicular appendages: sonographic appearance. *J Ultrasound Med* 1997; 16:189–192.
50. Ha TS, Lee JS. Scrotal involvement in childhood Henoch-Schonlein purpura. *Acta Paediatr* 2007; 96: 552–555.
51. Akgur FM, Kılınç K, Tanyel FC, Büyükpamukçu N, Hiçsönmez A: Ipsilateral and contralateral testicular biochemical acute changes after unilateral testicular torsion and detorsion. *Urology* 1994; 44:413–418.
52. Noske HD, Kraus SW, Altinkilic BM, Weidner W. Historical milestones regarding torsion of the scrotal organs. *J Urol* 1998; 159: 13–16.

53. Mernagh JR, Caco C, De Maria J. Testicular torsion revisited. *Curr Probl Diagn Radiol* 2004; 33:60–73.
54. Nussbaum Blask AR, Rushton HG. Sonographic appearance of the epididymis in pediatric testicular torsion. *AJR Am J Roentgenol* 2006; 187:1627–1635.
55. Baker LA, Sigman D, Matthews RI, et al: An analysis of clinical outcomes using color Doppler testicular ultrasound for testicular torsion. *Pediatrics* 2000; 105: 604–607.
56. Fishman AJ, Ahmad M, Chheda H, Peto CA, Wikinson R, Strauss HW. Reliability of radionuclide scintigraphy for detection of testicular torsion: An animal study. *Eur J Nucl Med* 1990; 16:657–661.
57. Atkinson GO, Patrick LE, Ball TI, Stephenson CA, Broecker BH, Woodard JR. The normal and abnormal scrotum in children: Evaluation with color Doppler sonography. *AJR Am J Roentgenol* 1992; 158:617–618.
58. Paltiel HJ, Connolly LP, Atala A, Paltiel AD, Zurakowski D, Treves ST. Acute scrotal symptoms in boys with an indeterminate clinical presentation: comparison of color Doppler sonography and scintigraphy. *Radiology* 1998; 207:223–231.
59. Paltiel HJ, Connolly LP, Atala A et al. Acute scrotal symptoms in boys within determined clinical presentation: comparison of color Doppler sonography and scintigraphy. *Radiology* 1998; 207:223–231.
60. Lupi A, Campobasso P, Migliorati GDA. Value and limits of testicular scintigraphy in pediatric acute scrotum. *J Nucl Biol Med* 1993; 37:207–212.
61. Middleton WD, Siegel BA, Melson GL, Yates CK, Andriole GL. Acute scrotal disorders: prospective comparison of color Doppler US and testicular scintigraphy. *Radiology* 1990; 177: 177–181.
62. Trambert MA, Mattrey RF, Levine D, et al: Subacute scrotal pain: evaluation of torsion versus epididymitis with MR imaging. *Radiology* 1990; 175:53–56.
63. Watanabe Y, Nagayama M, Okumura A, et al. MR imaging of testicular torsion: features of testicular hemorrhagic necrosis and clinical outcomes. *J Magn Reson Imaging* 2007; 26:100–108.

64. Mattrey RF. Srotum and testes. In: Edelman RR, Hesselink JR, Zlatkin MB, ed. Clinical magnetic resonance imaging. Philadelphia: WB Saunders, 1996; 1401-1431.
65. Fisher M, Prichard JW, Warach S. New magnetic resonance techniques for acute ischemic stroke. JAMA 1995; 274:908-911.
66. Cheng HC, Khan MA, Bogdanov A, et al: Relative blood volume measurements by magnetic resonance imaging facilitate detection of testicular torsion. Invest Radiol 1997;32:763–769.
67. ESUR Guideline on Contrast Media European Society of Urogenital Radiology version 7.0 <http://www.esur.org/Contrast-media.51.0.html> (Accessed April 7, 2015).
68. Hörmann M, Balassy C, Philipp MO, et al: Imaging of the scrotum in children. Eur Radiol 2004; 14:974–983.
69. Pretorius ES, Roberts DA. Continuous arterial spin-labeling perfusion magnetic resonance imaging of the human testis. Acad Radiol 2004;11:106–110.
70. Belli P, Constantini M, Bufi E, Magistrelli A, Torre GL, Bonomo L. Diffusion weighted imaging in breast lesion evaluation. Radiol Med 2010; 115:51–69.
71. Bammer R. Basic principles of diffusion-weighted imaging. Eur J Radiol 2003; 45:169–184.
72. Malayeri AA, El Khouli RH, Zaheer A, Jacobs MA, Corona-Villalobos CP, Kamel IR, Macura KJ. Principles and applications of diffusion-weighted imaging in cancer detection, staging, and treatment follow-up. RadioGraphics 2011; 31:1773–1791.
73. Edelman R, Zlatkin MB, Hesseluk JR. Clinic magnetic resonance imaging. In: Principles of diffusion and perfusion MRI. 2nd ed. Philadepphia: WB Saunders Company 1996:233–249.
74. Mori S, Barker PB. Diffusion magnetic resonance imaging: its principle and applications. 1999;257:102–109.
75. Tuncel E. Klinik Radyoloji, 2. Baskı. Bursa: Güneş & Nobel Tıp Kitapevleri 2008.

76. Le Bilhan D, Turner R, Pekar J, Patronas N. Diffusion MR imaging: clinical applications. *AJR* 1992; 159:591–599.
77. Pierpaoli C, Jezzard P, Basser PJ, Barnett A, Di Chiro G. Diffusion tensor imaging of the human brain. *Radiology* 1996; 201:637–648.
78. Schaefer PW, Grant PE, Gonzalez RG. Diffusion weighted MR imaging of the brain. *Radiology* 2000; 217:331–345.
79. Oyar O. Radyolojide Temel Fizik Kavramlar. İzmir: Nobel Tıp Kitapevleri 1998.
80. Berg WA, Gutierrez L, NessAiver MS, Carter WB, Bhargavan M, Lewis RS, Ioffe OB. Diagnostic Accuracy of mammography, clinical examination, US, and MR imaging in preoperative assessment of breast cancer. *Radiology* 2004; 233:830–849.
81. Grant PE. Diffusion imaging in clinical practice. İn: Diagnostic radiology postgraduate corse. San Francisco: UCSF 1998.
82. Tsai CC, Yen TC, Tzen KY. The value of Tc-99m red blood cell SPECT in differentiating giant cavernous hemangioma of the liver from other liver solid masses. *Clin Nucl Med.* 2002; 27: 578–581.
83. Ros PR, Taylor HM. Malignant tumors of the liver in: Gore RM, Levine MS. Textbook of Gastrointestinal Radiology, 2nd edition. Philedelphia: WB Saunders,2000;1523–1568.
84. Koh DM, Collins DJ. Diffusion-weighted MRI in the body: applications and challenges in oncology. *AJR* 2007; 188:1622–1635.
85. Shimofusa R, Fujimoto H, Akamata H, Motoori K, Yamamoto S, Ueda T, Ito H. Diffusion-weighted imaging of prostate cancer. *J Comput Assist Tomogr* 2005; 29:149–153.
86. Gourtsoyianni S, Papanikolaou N, Yarmenitis S, Maris T, Karantanas A, Gourtsoyiannis N. Respiratory gated diffusion-weighted imaging of the liver: value of apparent diffusion coefficient measurements in the differentiation between most commonly encountered benign and malignant focal liver lesions. *Eur Radiol.* 2008; 18:486–492.

87. Chan JH, Tsui EY, Luk SH, Fung SL, Cheung YK, Chan MS et al. MR diffusion-weighted imaging of kidney: differentiation between hydronephrosis and pyonephrosis. *Clin Imaging* 2001; 25:110–113.
88. Colagrande S, Magnetic resonance diffusion-weighted imaging: extraneurological applications. *Radiol Med* 2006; 111:392–419.
89. Kantarci M, Doganay S, Yalcin A, Aksoy Y, Yilmaz-Cankaya B, Salman B. Diagnostic performance of diffusion-weighted MRI in the detection of nonpalpable undescended testes: comparison with conventional MRI and surgical findings. *AJR Am J Roentgenol*. 2010;195:W268–273.
90. Bammer R, Auer M, Kelling SL, et al. Diffusion tensor imaging using single-shot SENSE-EPI. *Magn Reson Med* 2002; 48:128–136.
91. Naganawa S, Sato C, Kumada H, et al. Apparent diffusion coefficient in cervical cancer of the uterus: comparison with the normal uterine cervix. *Eur Radiol* 2005; 15:71–78
92. Cosentino et al. The effect of prepubertal spermatic cord torsion on subsequent fertility in rats. *J. Androl* 1984; 5:93–98.
93. Bartsch G, Frank S, Marberger H, Mikuz G. Testicular torsion: late results with special to fertility and endocrine function. *J Urol* 1980; 124:375–377.
94. Fonkalsrud EW. Testicular undescend and torsion. *Pediatr Clin North Am* 1987; 34:1305–1317.
95. Tijoe DY, Steinberger E. A quantitative study of the effect of ischemia on the germinal epithelium of the rat testes. *J Reprod Fert* 1970; 21: 489–490.
96. Sessions Annette E. et al. "Testicular torsion: direction, degree, duration and disinfection. *J Urol* 2003; 169:663–665.
97. Janetschek G, Schreckenber G, Grimm W, Marberger M. Hemodynamic effects of experimental testicular torsion. *Urol Res* 1987;15:303–306.
98. Kalfa N, Veyrac C, Baud C, Couture A, Averous M, Galifer RB. Ultrasonography of the spermatic cord in children with testicular torsion: impact on the surgical strategy. *J Urol*. 2004; 172:1692–1695.
99. Murphy FL, Fletcher L, Pease P. Early scrotal exploration in all cases is the investigation and intervention of choice in the acute paediatric scrotum. *Pediatr Surg Int*. 2006; 22:413–416.

- 100.** Bergh A, Damber JE, Marklund SL. Morphologic changes induced by short-term ischemia in the rat testis are not affected by treatment with superoxide dismutase and catalase. *J Androl.* 1988; 9:15–20.
- 101.** Palmer JS, Plzak LF, Cromie WJ. Comparison of blood flow and histological changes in rat models of testicular ischemia. *J Urol.* 1997; 158:1138–1140.
- 102.** Anderson JB, Williamson RCN. The fate of the human testes following unilateral torsion of the spermatic cord. *Br J Urol* 1986; 58:698–704.
- 103.** Hricak H, Hamm B, Kim B. The acute scrotum. In: *Imaging of the scrotum.* 1st ed. New York: Raven Press Ltd.; 1995 pp 93–127.
- 104.** Patriquin HB, Yazbeck S, Trinh B, Jequier S, Burns PN, Grignon A. Testicular torsion in infants and children: diagnosis with Doppler sonography. *Radiology* 1993;188:781–785.
- 105.** Ingram S, Hollman AS, Azmy A. Testicular torsion: missed diagnosis on Doppler USG. *Radiology* 1993; 23: 483–484.
- 106.** Allen TD, Elder JS. Shortcomings of color Doppler sonography in the diagnosis of testicular torsion. *J Urol.* 1995; 154:1508–1510.
- 107.** Roth CC, Mingin GC, Ortenberg J. Salvage of bilateral asynchronous perinatal testicular torsion. *J Urol* 2011; 185:2464–2468.
- 108.** Wilbert DM, Schaerfe CW, Stern WD et al. Evaluation of the acute scrotum by color-coded Doppler ultrasonography. *J Urol* 1993; 149:1475–1477.
- 109.** Yagil Y, Naroditsky I, Milhem J, et al. Role of Doppler ultrasonography in the triage of acute scrotum in the emergency department. *J Ultrasound Med* 2010; 29:11–21.
- 110.** Zoller G, Kugler A, Ringert RH. “False positive” testicular perfusion in testicular torsion in power Doppler ultrasound [in German]. *Urologe A* 2000; 39:251–253.
- 111.** Coley BD, Frush DP, Babcock DS, et al. Acute testicular torsion: comparison of unenhanced and contrast-enhanced power Doppler US, color Doppler US, and radionuclide imaging. *Radiology* 1996; 199:441–446.

112. Bader TR, Kammerhuber F, Herneth AM. Testicular blood flow in boys as assessed at color Doppler and power Doppler sonography. *Radiology* 1997; 202:559–564.
113. Albrecht T, Lotzof K, Hussain HK, Shedden D, Cosgrove DO, de Bruyn R. Power Doppler US of the normal prepubertal testis: does it live up to its promises? *Radiology* 1997; 203:227–231.
114. Luker GD, Siegel MJ. Scrotal US in pediatric patients: comparison of power and standard color Doppler US. *Radiology* 1996; 198:381–385.
115. Cassar S, Bhatt S, Paltiel HJ, Dogra VS. Role of spectral Doppler sonography in the evaluation of partial testicular torsion. *J Ultrasound Med.* 2008; 27:1629–1638.
116. Baud C, Veyrac C, Couture A, Ferran JL. Spiral twist of the spermatic cord: a reliable sign of testicular torsion. *Pediatr Radiol* 1998; 28:950–954.
117. Arce JD, Cortes M, Vargas JC. Sonographic diagnosis of acute spermatic cord torsion. *Pediatr Radiol* 2002; 32:485–491.
118. Esposito F, Di Serafino M, Mercogliano C, Vitale V, Sgambati P, Vallone G. The "whirlpool sign", a US finding in partial torsion of the spermatic cord: 4 cases. *J Ultrasound.* 2014; 17:313–315.
119. Ravichandran S, Blades RA, Watson ME. Torsion of the epididymis: a rare cause of acute scrotum. *Int J Urol* 2003; 10:556–557.
120. Landa HM, Gyls-Morin V, Mattrey RF, et al. Detection of testicular torsion by magnetic resonance imaging in a rat model. *J Urol* 1988; 140:1178-1180.
121. Makela E, Lahdes-Vasama T, Ryymin P, Kähärä V, Suvanto J, Kangasniemi M, Kaipia A. Magnetic resonance imaging of acute scrotum. *Scand J Surg* 2011; 100:196-201.
122. Terai A, Yoshimura K, Ichioka K, et al. Dynamic contrast-enhanced subtraction magnetic resonance imaging in diagnostics of testicular torsion. *Urology* 2006; 67:1278–1282.
123. Costabile RA, Choyke PL, Frank JA, et al. Dynamic enhanced magnetic resonance imaging of testicular perfusion in the rat. *J Urol* 1993; 149:1195-1197.

124. Juluru K, Vogel-Claussen J, Macura KJ, Kamel IR, Steever A, Bluemke DA. MR imaging in patients at risk for developing nephrogenic systemic fibrosis: protocols, practices, and imaging techniques to maximize patient safety. *Radiographics* 2009; 29:9–22.
125. Perez-Rodriguez J, Lai S, Ehst BD, Fine DM, Bluemke DA. Nephrogenic systemic fibrosis: incidence, associations, and effect of risk factor assessment—report of 33 cases. *Radiology* 2009; 250:371–377.
126. Srinivasan A, Goyal M, Al Azri F, Lum C. State-of-the-art imaging of acute stroke. *Radiographics*. 2006; 26:75–95.
127. Al-Okaili RN, Krejza J, Wang S, Woo JH, Melhem ER. Advanced MR imaging techniques in the diagnosis of intraaxial brain tumors in adults. *Radiographics* 2006; 26:173–189.
128. Kuker W, Weller M, Klose U, Krapf H, Dichgans J, Nagele, T. Diffusion-weighted MRI of spinal cord infarction—high resolution imaging and time course of diffusion abnormality. *J Neurol* 2004; 251:818–824.
129. Thoeny HC, De Keyzer F, Oyen RH, Peeters RR. Diffusion weighted MR imaging of kidneys in healthy volunteers and patients with parenchymal diseases: initial experience. *Radiology* 2005; 235:911–917.
130. Thoeny HC, Zumstein D, Simon-Zoula S, et al. Functional evaluation of transplanted kidneys with diffusion-weighted and BOLD MR imaging: initial experience. *Radiology* 2006; 241:812–821.
131. Nasu K, Kuroki Y, Nawano S, et al. Hepatic metastases: diffusion-weighted sensitivity-encoding versus SPIO-enhanced MR imaging. *Radiology* 2006; 239:122–130.
132. Zhang J, Tehrani YM, Wang L, Ishill NM, Schwartz LH, Hricak H. Renal masses: characterization with diffusion-weighted MR imaging—a preliminary experience. *Radiology* 2008; 247:458–464.
133. Takeuchi M, Sasaki S, Ito M, et al. Urinary bladder cancer: diffusion-weighted MR imaging—accuracy for diagnosing T stage and estimating histologic grade. *Radiology* 2009; 251:112–121.

134. Lim HK, Kim JK, Kim KA, Cho KS. Prostate cancer: apparent diffusion coefficient map with T2-weighted images for detection—a multireader study. *Radiology* 2009; 250:145–151.
135. Lin G, Ng KK, Chang CJ, et al. Myometrial invasion in endometrial cancer: diagnostic accuracy of diffusion-weighted 3.0-T MR imaging—initial experience. *Radiology* 2009; 250:784–789.
136. Maki D, Watanabe Y, Nagayama M, Ishimori T, Okumura A, Amoh Y, Nakashita S, Terai A, Dodo Y. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging in the detection of testicular torsion: feasibility study. *J Magn Reson Imaging*. 2011; 34:1137–1142.
137. Abed Al-Kayat RH. The role of diffusion-weighted MRI in the evaluation of non-palpable undescended testis. *Mustansiriya Medical Journal* 2013; 12:1–6.
138. Deng J, Omary RA, Larson AC. Multishot diffusion-weighted SPLICE PROPELLER MRI of the abdomen. *Magn Reson Med* 2008; 59:947–953.
139. Kadish HA, Bolte RG: A retrospective of paediatric patients with epididymitis, testicular torsion and torsion of testicular appendages. *Paediatrics* 1998; 102:73–76.
140. Glaebeke EV, Khairouini A, Larroquet M et al: Acute Scrotal pain in children: results of 543 surgical explorations. *Pediatric Surg* 1999; 15:353–357.
141. Baker LA, Sigman D, Mathews R, Benson J, Docimo SG. An analysis of clinical outcomes using color Doppler testicular ultrasound for testicular torsion. *Pediatrics* 2000; 105:604–608.
142. Hawtrey CE. Assessment of acute scrotal symptoms and findings: a clinician's dilemma. *Urol Clin North Am* 1998; 25:715–717.
143. Kaye JD, Shapiro EY, Levitt SB, Friedman SC, Gitlin J, Freyle J, Palmer LS. Parenchymal echo texture predicts testicular salvage after torsion: potential impact on the need for emergent exploration. *J Urol* 2008; 180:1733–1736.
144. Selbst SM. Pediatric emergency medicine: legal briefs. *Pediatr Emerg Care* 2013; 29:770–772.
145. Bentley DF, Ricchiuti DJ, Nasrallah PF, McMahon DR. Spermatic cord torsion with preserved testis perfusion: initial anatomical observations. *J Urol* 2004; 172:2373–2376.

146. Gotto GT, Chang SD, Nigro MK. MRI in the diagnosis of incomplete testicular torsion. *Br J Radiol.* 2010; 83:105–107.
147. Kram HB, Miyamoto E, Rajfer J, Appel PL, Shoemaker WC. Testicular oximetry: A new method for the assessment of tissue perfusion and viability following torsion and detorsion. *J Pediatr Surg* 1989; 24:1297–1302.
148. Yurtçu M, Abasiyanik A, Biçer S, Avunduk MC. Efficacy of antioxidant treatment in the prevention of testicular atrophy in experimental testicular torsion. *J Pediatr Surg.* 2009; 44:1754–1758.
149. Frush DP, Babcock DS, Lewis AG, Paltiel HJ, Rupich R, Bove KE, Sheldon CA. Comparison of color Doppler sonography and radionuclide imaging in different degrees of torsion in rabbit testes. *Acad Radiol* 1995; 2:945–951.
150. Mäkelä E, Lahdes-Vasama T, Rajakorpi H, Wikström S. A 19-year review of paediatric patients with acute scrotum. *Scand J Surg* 2007; 96:62–66.
151. Jones DJ, Macreadie D, Morgans BT. Testicular torsion in the armed services: twelve year review of 179 cases. *Br J Surg* 1986; 73:624–626.
152. Klingerman JJ, Nourse MH. Torsion of the spermatic cord. *JAMA* 1967; 22:673–675.
153. Heindel RM, Pakyz RE, Reinking LN, Cosentino MJ. The effect of various degrees of unilateral spermatic cord torsion on fertility in the rat. *J Urol* 1990; 144:366–369.
154. Shadgan B, Fareghi M, Stothers L, Macnab A, Kajbafzadeh AM. Diagnosis of testicular torsion using near infrared spectroscopy: A novel diagnostic approach. *Can Urol Assoc J* 2014; 8:249–252.
155. Nagler HM, White RD. The effect of testicular torsion on the contralateral testis. *J Urol.* 1982; 128:1343–1348.
156. York JP, Drago JR. Torsion and the contralateral testicle. *J Urol.* 1985; 133:294–297.
157. Pelfrey RJ, Overstreet JW, Lewis EL. Abnormalities of sperm morphology in cases of persistent infertility after vasectomy reversal. *Fertil Steril* 1982; 38:112–114.
158. Wallace DM, Gunter PA, Landon GV, Pugh RC, Hendry WF. Sympathetic orchio-pathia-an experimental and clinical study. *Br J Urol* 1982;54:765–768.

- 159.** Tanyel FC, Ayhan A, Büyükpamukçu N, Hiçsönmez A. The fate of testes following unilateral incarcerated inguinal hernia in adult rats. *Br J Urol.* 1989; 64:176–179.
- 160.** Kizilcan F, Bernay I, Tanyel FC, Büyükpamukçu N, Bekdik C, Hiçsönmez A. Ipsilateral and contralateral testicular blood flows during unilateral testicular torsion by 133Xe clearance technique. *Int Urol Nephrol.* 1992; 24:515–520.
- 161.** Kolettis PN, Stowe NT, Inman SR, Thomas AJ. Acute spermatic cord torsion alters the microcirculation of the contralateral testis. *J Urol.* 1996; 155:350–354.
- 162.** Atlas SW, DuBois P, Singer MB, Lu D. Diffusion measurements in intracranial hematomas: implications for MR imaging of acute stroke. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2000; 21:1190–1194.
- 163.** Maldjian JA, Listerud J, Moonis G, Siddiqi F. Computing diffusion rates in T2-dark hematomas and areas of low T2 signal. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2001; 22:112–118.
- 164.** Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, et al. Separation of diffusion and perfusion in intravoxel incoherent motion MR imaging. *Radiology* 1988; 168:497–505.
- 165.** Yamada I, Aung W, Himeno Y, et al. Diffusion coefficients in abdominal organs and hepatic lesions: evaluation with intravoxel incoherent motion echo-planar MR imaging. *Radiology* 1999; 210:617–623.
- 166.** Romero FR, Gomes RP, Lorenzini F, Erdmann TR, Tambara Filho R. Ipsilateral testicular necrosis and atrophy after 1,080-degree torsion of the spermatic cord in rats. *Acta Cir Bras* 2009; 24:118-123.
- 167.** Tsili AC, Giannakis D, Sylakos A, Ntorkou A, Astrakas LG, Sofikitis N, Argyropoulou MI. Apparent diffusion coefficient values of normal testis and variations with age. *Asian J Androl* 2014; 16:493-497.
- 168.** Hoehn-Berlage M, Norris DG, Kohno K, Mies G, Leibfritz D, Hossmann KA. Evolution of regional changes in apparent diffusion coefficient during focal ischemia of rat brain: the relationship of quantitative diffusion NMR imaging to reduction in cerebral blood flow and metabolic disturbances. *Cereb Blood Flow Metab* 1995; 15:1002–1011.

- 169.** Olah L, Wecker S, Hoehn M. Relation of apparent diffusion coefficient changes and metabolic disturbances after 1 hour of focal cerebral ischemia and at different reperfusion phases in rats. *J Cereb Blood Flow Metab* 2001; 21:430–439.
- 170.** Lambregts DM, Beets GL, Maas M, Curvo-Semedo L, Kessels AG, Thywissen T, Beets-Tan RG. Tumour ADC measurements in rectal cancer: effect of ROI methods on ADC values and interobserver variability. *Eur Radiol* 2011; 21:2567-2574.
- 171.** Nogueira L, Brandão S, Matos E, Nunes RG, Ferreira HA, Loureiro J, Ramos I. Region of interest demarcation for quantification of the apparent diffusion coefficient in breast lesions and its interobserver variability. *Diagn Interv Radiol* 2015; 21:123-127.