

KARPAL TÜNEL SENDROMUNDA ULTRASONOGRAFİ VE MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEMENİN TANIYA KATKILARI

CONTRIBUTION OF ULTRASONOGRAPHY AND MAGNETIC RESONANCE IMAGING TO THE DIAGNOSIS OF CARPAL TUNNEL SYNDROME

Sinan DENİZ¹, Aylin ALTAN²

¹ Koç Üniversitesi Hastanesi, Radyoloji Kliniği, İstanbul, Türkiye

² Mehmet Ali Aydınlar Acıbadem Üniversitesi, Atakent Hastanesi, Radyoloji Bölümü, İstanbul, Türkiye

Cite this article as: Deniz S, Altan A. Contribution of Ultrasonography and Magnetic Resonance Imaging to the Diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome. Med J SDU 2020; 27(1): 97-103.

Öz

Amaç

Çalışmada; klinik ve elektrodiagnostik inceleme sonucu karpal tünel sendromu (KTS) tanısı alan hastalarda ultrasonografi (US) ve manyetik rezonans (MR) görüntülemenin tanıya katkısını değerlendirmek amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem

KTS ön tanısı ile uygulanan elektromiyografi (EMG) incelemesi pozitif sonuçlanan 27 hastanın 41 el bileği, US ve MR ile tetkik edilmek üzere çalışmaya dahil edildi. El bileği bölgesini ilgilendiren geçirilmiş travma, operasyon ve steroid enjeksiyonu öyküsü olan vakalar çalışma dışı bırakıldı.

Bulgular

Olguların yaş ortalaması 46,1 yıl olup %92,6'sı kadındı. Tutulum olguların 6'sında sağ, 7'sinde sol ve 14'ünde bilateral idi. US ile 41 el bileğinin %90,2'sinde, MR ile %92,7'sinde KTS'yi destekleyecek primer ve sekonder bulgular saptandı. Ayrıca iki olguda karpal kemiklerde dejeneratif kistik rezorpsiyon, bir olguda ganglion kisti ve bir olguda bifid median sinir varlığı tespit edildi.

Sonuç

Klinik muayene ve/veya elektrodiagnostik tetkik ile

KTS tanısı alan hastalarda US ve MR değerlendirmeleri; öngörülecek medikal veya cerrahi tedavi öncesinde gerek median sinirin hasarı ile ilişkili bulguları ortaya koyması gerekse yandaş anatomik ve patolojik durumları ortaya çıkarması yönünden yararlıdır.

Anahtar Kelimeler: Karpal tünel sendromu, median sinir tuzak nöropatisi, ultrasonografi, manyetik rezonans görüntüleme, elektromiyografi.

Abstract

Objective

The present study aimed to evaluate the contribution of ultrasonography (US) and magnetic resonance (MR) imaging to the diagnosis of patients diagnosed with carpal tunnel syndrome (CTS) based on clinical and electrodiagnostic studies.

Material and Methods

A total of 41 wrists of 27 patients with positive findings in electromyography (EMG) studies performed due to a pre-diagnosis of CTS were included in the study to be examined by US and MR imaging. Patients with a history of wrist trauma, surgery, and steroid injection were excluded.

Results

The mean age of the cases was 46.1 years and 92.6%

İletişim kurulacak yazar/Corresponding author: sinandr@gmail.com

Müracaat tarihi/Application Date: 23.05.2019 • Kabul tarihi/Accepted Date: 15.11.2019

Available online at <http://dergipark.gov.tr/sdutfd>

Makaleye <http://dergipark.gov.tr/sdutfd> web sayfasından ulaşılabilir.

of the cases were female. 6 patients had right-sided, 7 had left-sided and 14 patients had been proved to have bilateral CTS findings. Primary and secondary findings favouring CTS were detected by US and MR imaging in 90.2% and 92.7% of the 41 wrists, respectively. Moreover, degenerative cystic resorption of the carpal bones was detected in two, ganglion cyst was detected in one, and bifid median nerve was detected in one case.

Conclusion

US and MR imaging in patients with CTS are valuable both in terms of exhibiting the signs of median nerve injury and detecting concomitant anatomical and pathological conditions prior to treatment.

Keywords: Carpal tunnel syndrome, median nerve entrapment neuropathy, ultrasonography, magnetic resonance imaging, electromyography.

Giriş

Karpal tünel sendromu (KTS), el bileğinde median sinirin karpal tünel içerisinde geçerken basıya uğraması sonucu gelişen ve genel popülasyonda %3-5 prevalans ile en sık görülen tuzak nöropatisidir (1, 2). Kadınlarda erkeklere göre üç ila beş kat daha sık görülmektedir (1, 2). KTS sıklığı 50-59 yaş arası ve 80 yaş üzeri olmak üzere iki yaş döneminde pik yapar (2). Tutulum dominant elde daha sık olmakla beraber olguların yarısından fazlasında bilateral tutulum görülür (2).

Karpal tünel, el bileği volar yüzde, sınırlarını el bileği kemikleri ile fleksör retinakulumun oluşturduğu osteofibröz bir kanaldır. İçerisinde median sinirin yanısıra fleksör pollicis longus tendonu ve 4 adet fleksör digitorum profundus ile 4 adet fleksör digitorum süperfisiyalis tendonları yer alır. Karpal tünel sendromlu olguların çoğu idiyopatikdir. Karpal tüneli daraltan ya da içindeki basıncı artıran sistemik veya lokal nedenli her süreç median sinirin tuzaklanması için risk oluşturur. KTS ile ilişkili risk faktörleri arasında diyabet, gebelik, menoz, obezite, renal yetmezlik, konjestif kalp yetmezliği, hipotiroidizm, oral kontraseptif kullanımı, alkolizm, vitamin eksikliği veya toksisitesi, tünel içi tümör ve tümör benzeri lezyonlar, el bileği kırıkları, radius distal uç malunionları ve artrit yer almaktadır (3).

Karpal tünel sendromu; el ve el bileğinde, median sinirin dağılım bölgesinde özellikle geceleri artan parestezi, ağrı, duyu kaybı ve güç kaybı ile ortaya çıkar ve ilerleyen olgularda tenar kas atrofisine neden olur (4). KTS tedavisinde çeşitli medikal ajanlar, fizik tedavi yöntemleri ve gerektiğinde cerrahi yöntemler kullanılır (4).

Karpal tünel sendromu tanısı karakteristik şikayetleri ve fiziksel muayene bulguları olan hastalarda klinik olarak konulabilmektedir. Tinel bulgusu ve Phalen manevrası pozitifliği, hastalığın ileri evrelerinde tenar kas atrofisi tanıda yardımcı bulgulardır (4). Elektrodagnostik çalışmalar [sinir iletim çalışmaları ve elekt-

romiyografi (EMG)] atipik olgularda tanı koymaya, olayın şiddetini anlamaya ve cerrahiye planlamaya yardımcı olur (4, 5). Elektrodagnostik çalışmaların spesifitesi yüksek (%97-99) olmakla beraber genel popülasyonda %20'lere ulaşan yalancı pozitiflikler bildirilmektedir (5). KTS tanısında görüntüleme yöntemlerinin kullanılması teknolojik gelişmelerle birlikte giderek artmaktadır. Kas-iskelet sistemi ve yumuşak dokuların değerlendirilmesinde önemli bir yöntem olan manyetik rezonans (MR) görüntüleme, karpal yapıların incelemelerinde de başarılı şekilde kullanılmaktadır (6). Ultrasonografi (US) de yüksek çözünürlük sağlayan proplar ve yazılımların geliştirilmesi sonucu KTS değerlendirilmesinde ucuz ve konforlu bir yöntem olarak yerini almıştır (7). Bu çalışmada; klinik ve elektrodagnostik inceleme sonucu KTS tanısı alan hastalarda US ve MR incelemesinin tanıya katkısını değerlendirmek amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem

TCSB Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesi Nöroloji polikliniğine Mart 2010 - Ocak 2011 arası başvuran ve KTS ön tanısı ile uygulanan EMG incelemesi pozitif sonuçlanan 27 hastanın 41 el bileği, US ve MR ile tetkik edilmek üzere çalışmaya dahil edildi. El bileği bölgesini ilgilendiren geçirilmiş travma, operasyon ve steroid enjeksiyonu öyküsü olanlar çalışma dışı bırakıldı. Çalışma için Taksim Eğitim ve Araştırma Hastanesi Etik Kurulu Onayı (tarih ve no: 6.1.2010 - 1792) ve tüm hastalardan ayrıntılı bilgilendirilmiş onam formu alındı.

Olguların el bileğine yönelik yüksek rezolüsyonlu prob ile US yapılmasını takiben MR gerçekleştirildi. Hastaların el bilekleri General Electric Logiq-9 model tıbbi US cihazının (San, Jose, CA, ABD) 13 MHz'lik yüksek rezolüsyonlu matriks probu ile nötral (supin) pozisyonda incelendi. İncelemeye öncelikle el bileği düzeyinde aksiyal planda median sinir gösterilerek başlandı. Median sinir, ön kol 1/3 distal kesimi ile el ayasında izlenebildiği en distal seviyeye kadar kendi trasesi boyunca takip edildi. Sinir ve komşuluğundaki

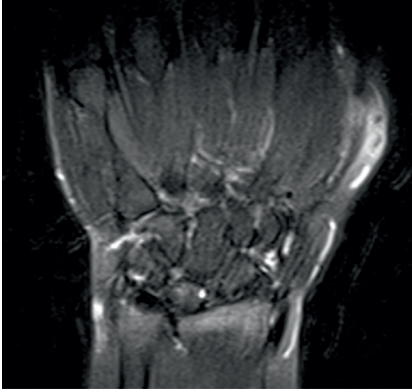
anatomik yapılar gözlemlendikten sonra trase boyunca median sinirin yapısı, konturları, internal ekojenitesi incelendi. Radiokarpal eklem ve proksimal karpal kemikler seviyesinde median sinirin AP ve transvers çapları incelendi. US ile değerlendirme işlemi; median sinir kesit alanında artış, yassılaşıma ve liflerde iki radyolog tarafından ardışık olarak gerçekleştirildi. MR incelemesi 1.5 Tesla magnet gücünde Siemens Avanto (2007) model cihazda (Erlangen, Almanya) ekstremite sargısı kullanılarak gerçekleştirildi. İncelemeler aksiyal ve koronal planda spin eko T1 ağırlıklı (TR: 500ms, TE: 10ms, [TR: "repetition time"; tekrar süresi, TE: "echo time"; eko süresi]) ve yağ baskılı T2 ağırlıklı (TR: 3600 ms, TE: 16 ms) sekansları takiben sagittal planda STIR ("short tau inversion recovery")-T2 ağırlıklı (TR: 3600 ms, TE: 45 ms, TI: 160 ms) sekans kullanılarak gerçekleştirildi. Kesit kalınlığı 4 mm, inceleme alanındaki FOV ("field-of-view") değeri

220x220 mm, matriks ise 182x256 olarak seçildi. MR işlemi iki radyolog tarafından hem bilgisayar hem de filmler üzerinde gerçekleştirildi. Değerlendirme; özellikle baskı median sinir trasesinde sinyal artışı, fleksör retinakulumda palmar yaylanma ve median sinirde yassılaşıma açısından yapıldı.

Bulgular

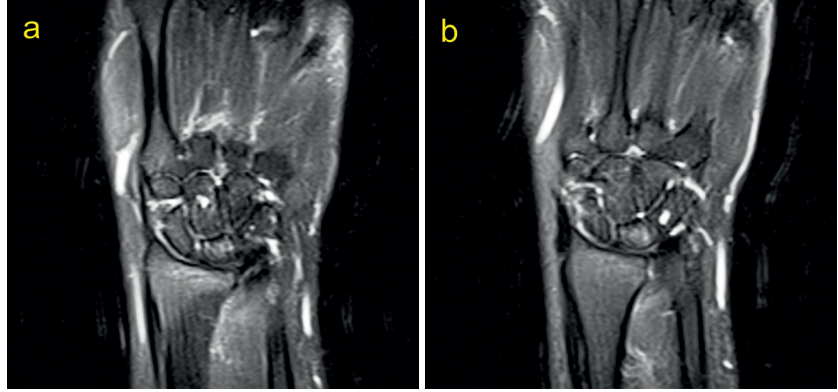
Olguların yaş ortalaması 46,1 yıl (32-67 yıl aralığında) olup 25'i (%92,6) kadın, 2'si (%7,4) erkekti. Tutulum olguların 6'sında (%22,2) sağ, 7'sinde (%25,9) sol ve 14'ünde bilateral (%51,9) idi.

Ultrasonografi ile değerlendirilen 41 el bileğinden 37'sinde (%90,2) KTS açısından pozitif olarak değerlendirilebilecek bir veya birden fazla bulgu (el bilek lokalizasyonunda median sinirde basıya bağlı oluşan



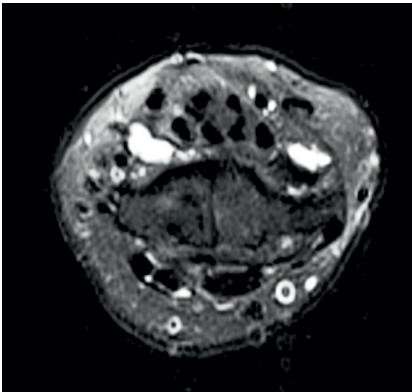
Şekil 1

37 yaşında kadın, sağ el bileği, koronal T2 ağırlıklı serilerde lunat kemik başında milimetrik dejeneratif kistik rezorpsiyon alanı ile uyumlu fokal sinyal artışı.



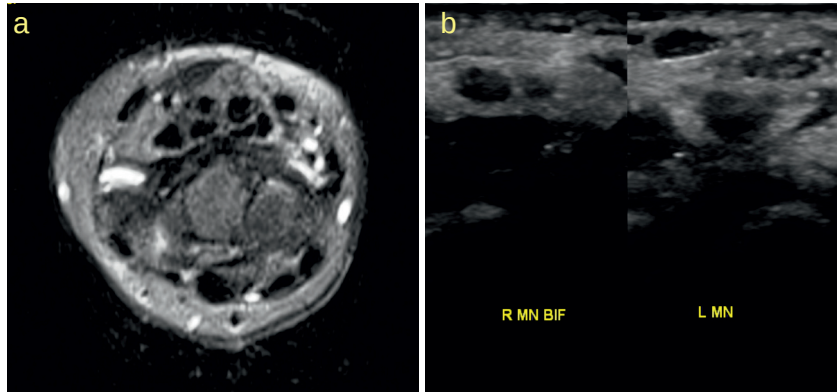
Şekil 2

39 yaşında kadın, sol el bileği, koronal yağ baskılı-T2 imajlar; a) kapitatum düzeyinde ve b) trikuetrum düzeyinde milimetrik kistik rezorpsiyon alanları.



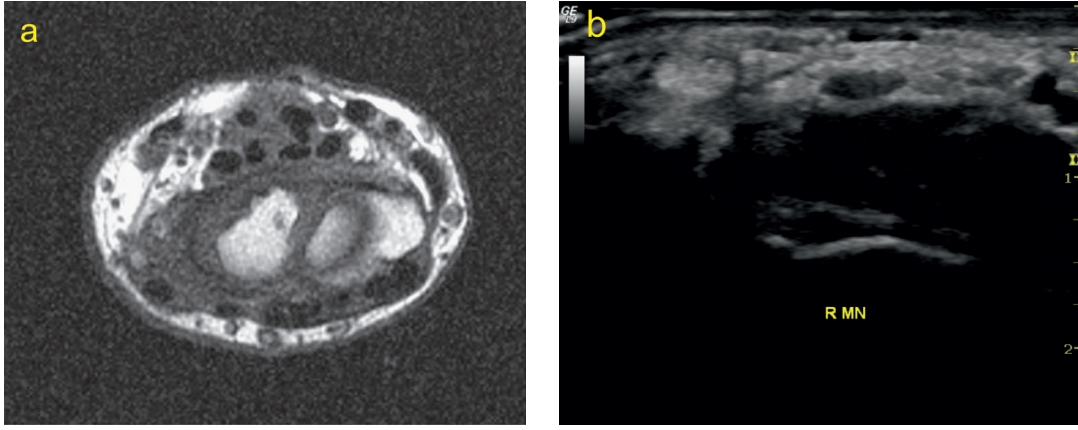
Şekil 3

37 yaşında kadın, sol el bileği, aksiyal T2, karpal kemikler seviyesinde, volar yüzde iyi sınırlı hiperintens iki adet ganglion kisti.

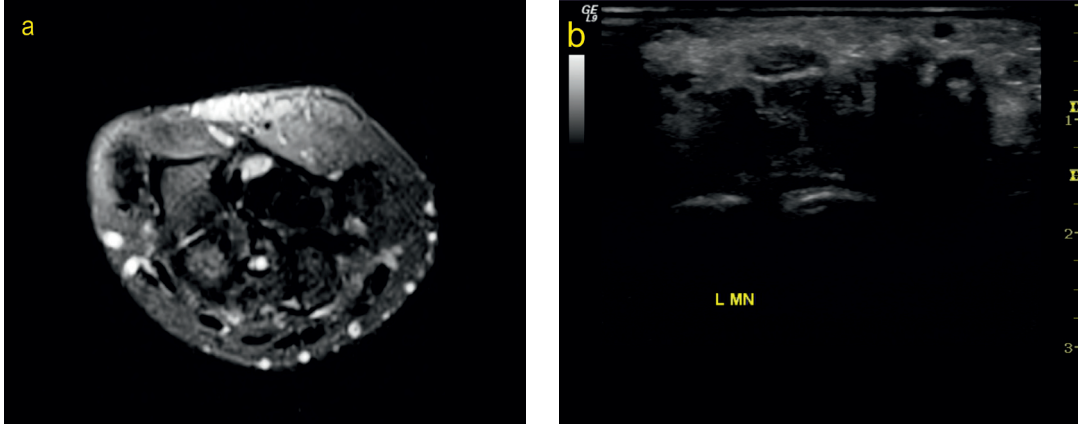


Şekil 4

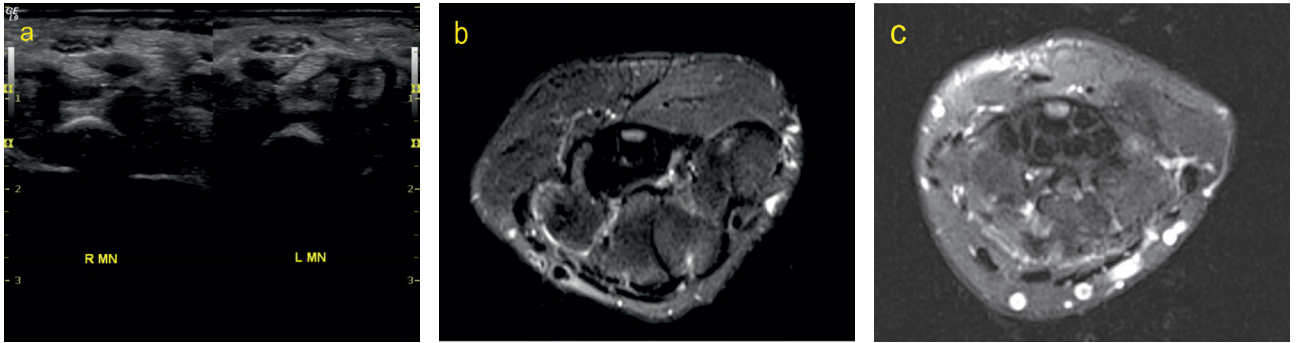
46 yaşında kadın, sağ el bileğinde bifid median sinir görünümü a) manyetik rezonans (MR) ve b) ultrasonografi (US) görüntüleri.

**Şekil 5**

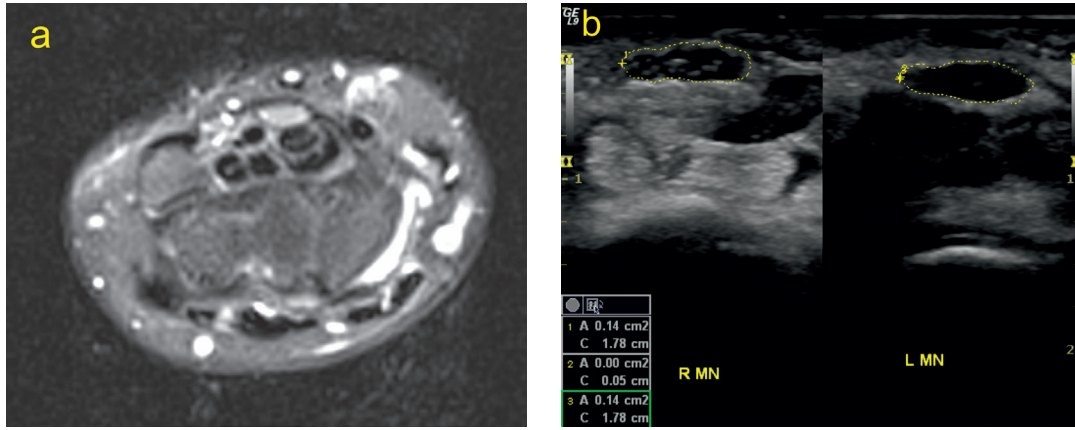
67 yaşında erkek, sağ el bileği, a) aksiyal manyetik rezonans (MR) kesiti; fizyolojik görünümde hipointens median sinir, b) aksiyal ultrasonografi (US); oval konfigürasyonda homojen ekoda median sinir.

**Şekil 6**

38 yaşında kadın, yaklaşık aynı seviyeden alınan a) aksiyal manyetik rezonans (MR) ve b) ultrasonografi (US) görüntülerinde karpal tünel sendromu (KTS)'yi destekleyen bulgular.

**Şekil 7**

47 yaşında erkek, bilateral karpal tünel sendromu (KTS)'yi destekleyen a) ultrasonografi (US) ve b) ve c) aksiyal yağ baskılı T2 ağırlıklı kesitleri



Şekil 8

41 yaşında kadın, bilateral karpal tünel sendromu (KTS)'yi destekleyen a) aksiyal yağ baskılı T2 ağırlıklı imaj ve b) ultrasonografi (US)'de yassı ve hipoekojen median sinir.

ödem, hipoekoik görünüm, sinirde yassılaşıma, çapta artış vb.) mevcuttu. Ayrıca bu hastalarda sinirin iç yapısını oluşturan nöral fasiküllerin dışını kaplayan epinörium tabakalarının oluşturduğu ince retiküler ekojenitelerin kaybı da dikkati çekmekteydi.

Manyetik rezonans değerlendirmesinde 41 olgunun 38'inde (%92,7) median sinir trasesinde sinyal artışı, 34'ünde (%82,9) fleksör retinakulumda palmar yaylanma ve 33'ünde (%80,5) median sinirde yassılaşıma tespit edildi. MR bulguları içerisinde sinirde sinyal artışı ön planda dikkate değer alınıp EMG sonuçları ile kıyaslandığında, MR ile tanı koyma oranı %92,7 olarak saptandı.

İncelemelerimiz esnasında, iki olguda karpal kemiklerde dejeneratif kistik rezorpsiyon alanları ile uyumlu milimetrik T2 hiperintensiteler tespit edildi (Şekil 1 ve 2). Olgularımızdan bir hastada el bileği volar yüzde iki adet ganglion kisti (Şekil 3) dikkati çekti. Diğer bir olguda ise bifid median sinir varyasyonu izlendi (Şekil 4). Bazı hastalara ait US ve MR görüntüleri Şekil 5, 6, 7 ve 8'de sunulmuştur.

Tartışma

Karpal tünel sendromu en sık görülen periferik sinir tuzaklanmasıdır ancak tanısında güçlükler yaşanabilmektedir. KTS tanısında kullanılan iki fiziksel muayene bulgusunun (Tinel bulgusu ve Phalen manevrası) orta düzeyde duyarlılık (%20-70) ve özgüllük (%70-83) gösterdiği bildirilmektedir (8). Klinik olarak KTS şüphesi olan olgularda sıklıkla elektrodiagnostik çalışmalar yapılmaktadır. Bununla birlikte elektrodiagnostik testlerin yalancı negatif ve yalancı pozitif sonuçlar verdiği bilinmektedir (9). Klinik bulguların KTS lehine pozitif, ancak elektrodiagnostik inceleme sonuçları-

nın negatif olduğu durumlarda cerrahi girişim yapıp yapmamanın tartışmalı olması, karpal tünelin görüntüleme metotları ile incelenmesi çalışmalarına hız vermiştir. Klinik ve elektrodiagnostik olarak kesin tanı konamayan hastalarda US ve MR gibi görüntüleme metotlarının güçlü bir tamamlayıcı rolü vardır (10-12).

Erken çalışmalarda Buchberger ve ark. (13) KTS'li hastalarda US ile tespit edilebilen bulguları şöyle tanımlamıştır: Karpal tünelin proksimal kısmında median sinir çapında belirgin artış, tünelin distal kısmında sinirde belirgin yassılaşıma, fleksör retinakulumda belirgin palmar yaylanma. Nakamichi ve ark. (14) US ile yapılan median sinir kesitsel alan ölçümü ve sinir ileti çalışmalarının birlikte değerlendirilmesi ile tanıda %84 duyarlılığa ve %94 özgüllüğe ulaştıklarını bildirmiştir. Kesitsel alan ölçümü median sinirin US ile ölçülen en önemli parametresi olarak bildirilmektedir (15). Lee ve ark. (16) klinik bulgusu olan ve elektrodiagnostik testleri negatif bulunan hastalarda US'nin tanıda yararlı olduğunu ve MR görüntülemeye kıyasla düşük maliyetli bir alternatif sağladığını bildirmiştir. Vahed ve ark. (17) KTS'li hastalarda median sinir alanı ölçümü için; hastaya az rahatsızlık veren, uygun maliyetli ve zaman kazandıran bir yöntem olan US'nin birinci basamak teknik olarak uygulanabileceğini ifade etmiştir. Çalışmamızda EMG ile KTS tanısı alan 41 el bileğinin 37'sine (%90,24) US ile doğru tanı konabildiği görülmüştür.

Ultrasonografinin avantajları ulaşılabilir; non-invaziv ve göreceli ucuz olması, taşınabilir cihazlarla yapılabilmesi, kolay ve hızlı değerlendirme sağlama ve hasta tarafından iyi tolere edilen bir metot olmasıdır (15). US, median sinirin görüntülenmesinin yanı sıra el bileği yapılarını ilgilendiren olası varyasyonları ve sinir sıkışmasının ekstresek nedenlerini tespit et-

mek açısından da avantajlı bir yöntemdir. Tenosinovit, ganglion kisti, yumuşak doku tümörleri, vasküler tümörler, kemik ve eklem anormallikleri, anormal kaslar, persistan median arter ve amiloid depolanması gibi birçok konjenital veya kazanılmış durumun tanısında yararlıdır (18). Yukarıda tanımlanan KTS nedenlerini elektrodiagnostik çalışmalar ile tanımlamak mümkün değildir. Bu gibi durumların US ile önceden tespit edilmesi cerrahi tedavi düşünülen vakalarda olası komplikasyonların önlenmesi açısından çok önemlidir. Yakın zamanda KTS cerrahisinde US eşliğinde teknik ile minimal invaziv yaklaşım uygulandığı rapor edilmiştir (19). US'nin en büyük dezavantajı kullanıcıya bağımlı olmasıdır. Doğru tanı koymak tecrübe ve bilgi birikimi gerektirdiği gibi aynı zamanda kullanılan US cihazının da teknik açıdan yeterliliği önemlidir. Bir başka dezavantajı da sinirin fonksiyonu hakkında bilgi sağlamıyor olmasıdır (15).

Weiss ve ark. (20) 80'li yıllarda el ve el bileği MR görüntülerinin anatomik yapı hakkında iyi bilgi verdiğini rapor etmiştir. Middleton ve ark. (21) da MR ile, normal gönüllülerde ve KTS'li olgularda karpal tünelin anatomik yapılarını ve patolojik bulgularını tanımlayıp MR'nin doğasındaki yüksek kontrast rezolüsyonu ve yeteneği ile KTS'de diagnostik değere sahip en iyi görüntüleme yöntemi olduğunu belirtmişlerdir (21). MR görüntüleme, KTS'li hastalarda preoperatif planlamanın yanı sıra postoperatif dönemde karşılaşılan sorunların değerlendirilmesinde de yararlıdır. Semptomların postoperatif dönemde sebat etmesi durumunda MR görüntüleme ek bilgi verip yeniden cerrahi gereksinimi açısından yol gösterici olabilmektedir (22).

Manyetik rezonans ile aksiyal görüntülemelerde median sinirin ve komşu yapıların topografik anatomisinin, koronal görüntülerde ise fleksör tendonların daha iyi izlenmesi karpal tünel içindeki anatomik ve patolojik süreçleri anlaşılır hale getirmektedir (23). Karpal tünel MR'si için, aksiyal T1 ve T2 ağırlıklı sekansları içeren protokoller en sık tercih edilenlerdir. T1 ağırlıklı sekans median sinir çapı ve sinir şişmesini saptamaya yardımcı olmakla birlikte T2 ağırlıklı seriler karpal tünelde median sinir ödemi saptamada çok etkindir. Her iki sekans da fleksör retinakulumu görüntülemeye yararlıdır (24). MR ile saptanan sinyal intensitesi ve sinir boyutu değişikliklerinin sinirin kan desteğindeki ve venöz drenajındaki değişikliklere bağlı olduğu bildirilmiştir. Sinire bası sonucunda epinöral kan akımında erken dönemde azalma, sonra gelişen perinöral ödem ve nihayetinde aksonal kan akımında etkilenme ile ödemin eşlik ettiği intranöral kan akımında azalma meydana gelmektedir. İntrafasiküler ödem bu sürecin sonucunda oluşur ve daima MR imajlarında T2 ağırlıklı serilerde hiperintensite olarak görülür (25).

Britz ve ark. (26) MR uyguladıkları KTS tanılı 43 el bileğinin 41'inde (%95) artmış median sinir sinyali izlemişlerdir. Jarvik ve ark. (27) MR ile saptanan median sinir sinyal artışının KTS tanısındaki duyarlılığını yüksek (%88) özgüllüğünü düşük (%39) olarak bildirmiştir. Pasternack ve ark. (28) derleme çalışmalarında KTS'li hastalarda median sinirde artmış T2 sinyal yoğunluğunun ve fleksör retinakulum yaylanmasının en duyarlı MR bulguları olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte MR bulgularına ait duyarlılık ve özgüllük değerlendirmesinin çalışmaların heterojenitesi nedeniyle akılcı olmadığını, valide edilmiş tanısal kriterlerle belirlenmesine ihtiyaç olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmamızda EMG ile KTS tanısı alan 41 el bileğinin 38'ine (%92,7) MR ile doğru tanı konabildiği görülmüştür.

Karpal tünel sendromlu olgularda US ve MR sonuçlarını kıyaslayan çalışmalar mevcuttur. MR'nin zorlu vakaları tanımlamada US'ye üstün görüldüğü, sinir ödeminin ve kan perfüzyon anormalliklerinin neden olduğu değişiklikleri göstermede daha iyi olduğu bildirilmiştir (18). US ve MR'nin tanıdaki değerini araştıran çalışmalarda genellikle EMG altın standart olarak kabul edilmektedir. Deniz ve ark. (29) klinik bulguları altın standart olarak kabul ettikleri çalışmalarında EMG, MR, US ve bilgisayarlı tomografinin tanısal doğruluklarını değerlendirmiş ve tüm metotların tatminkar sonuç verdiğini ifade etmiştir. Çalışmada EMG'nin en yüksek duyarlılık ve özgüllüğe sahip olduğu bununla beraber diğer testlerle arasında istatistiksel fark olmadığı bildirilmiştir (29). Hersh ve ark. (30) karpal tünel içindeki median sinirin kesitsel alan ölçümünü MR ve US ile yapmış, iki metot arasında sonuçlar mükemmel korelasyon göstermiştir. Keberle ve ark. (31) KTS tanısında US ve MR metotlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında iki metodun da benzer tanısal etkinlikte olduğunu, bununla birlikte US'nin objektif ve kesin bir tanısal metot olduğunu, kolay ve hızlı uygulandığını, daha ucuz olduğunu, MR'nin ise kemik deformasyonları ve ganglion kistler gibi bazı patolojik bulguları saptamada daha üstün olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda MR ve US yöntemleri ile iki olguda karpal kemiklerde dejeneratif kistik rezorpsiyon alanları, bir olguda el bileğinde ganglion kisti ve bir olguda bifid median sinir varyasyonu saptanmıştır. Bifid median sinir KTS ile ilişkili bir anatomik varyasyondur ve operasyon planlanan hastalarda cerrahin bu varyasyondan haberdar olması önemlidir. Bifid median siniri hem US hem de MR ile doğru şekilde saptamak mümkündür (32).

Sonuç

Klinik muayene ve/veya elektrodiagnostik tetkik ile KTS tanısı alan hastalarda US ve MR değerlendirme-

leri; öngörülecek medikal veya cerrahi tedavi öncesinde gerek median sinirin hasarı ile ilişkili bulguları ortaya koyması gerekse yandaş anatomik ve patolojik durumları ortaya çıkarması yönünden yararlıdır.

Kaynaklar

- Middleton SD, Anakwe RE. Carpal tunnel syndrome. *BMJ* 2014;349:g6437.
- Dec P, Zyluk A. Bilateral carpal tunnel syndrome - A review. *Neurol Neurochir Pol* 2018;52(1):79-83.
- Ibrahim I, Khan WS, Goddard N, Smitham P. Carpal tunnel syndrome: a review of the recent literature. *Open Orthop J* 2012;6:69-76.
- Wipperman J, Goerl K. Carpal Tunnel Syndrome: Diagnosis and management. *Am Fam Physician* 2016;94(12):993-9.
- Sonoo M, Menkes DL, Bland JDP, Burke D. Nerve conduction studies and EMG in carpal tunnel syndrome: Do they add value? *Clin Neurophysiol Pract* 2018;3:78-88.
- Steinbach LS, Smith DK. MRI of the wrist. *Clin Imaging* 2000;24(5):298-322.
- Beekman R, Visser LH. Sonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome: a critical review of the literature. *Muscle Nerve* 2003;27(1):26-33.
- Jarvik JG, Yuen E, Kliot M. Diagnosis of carpal tunnel syndrome: electrodiagnostic and MR imaging evaluation. *Neuroimaging Clin N Am* 2004;14(1):93-102, viii.
- Sears ED, Lu YT, Wood SM, Nasser JS, Hayward RA, Chung KC, Kerr EA. Diagnostic testing requested before surgical evaluation for carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg Am* 2017;42(8):623-9.e1.
- Kim S, Choi JY, Huh YM, Song HT, Lee SA, Kim SM, et al. Role of magnetic resonance imaging in entrapment and compressive neuropathy--what, where, and how to see the peripheral nerves on the musculoskeletal magnetic resonance image: part 2. Upper extremity. *Eur Radiol* 2007;17(2):509-22.
- Klauser AS, Faschingbauer R, Bauer T, Wick MC, Gabl M, Aroara R, et al. Entrapment neuropathies II: carpal tunnel syndrome. *Semin Musculoskelet Radiol* 2010;14(5):487-500.
- Wilson D, Allen GM. Imaging of the carpal tunnel. *Semin Musculoskelet Radiol* 2012;16(2):137-45.
- Buchberger W, Judmaier W, Birbamer G, Lener M, Schmidauer C. Carpal tunnel syndrome: diagnosis with high-resolution sonography. *AJR Am J Roentgenol* 1992;159(4):793-8.
- Nakamichi K, Tachibana S. Ultrasonographic measurement of median nerve cross-sectional area in idiopathic carpal tunnel syndrome: Diagnostic accuracy. *Muscle Nerve* 2002;26(6):798-803.
- Georgiev GP, Karabinov V, Kotov G, Iliev A. Medical ultrasound in the evaluation of the carpal tunnel: a critical review. *Cureus* 2018;10(10):e3487.
- Lee CH, Kim TK, Yoon ES, Dhong ES. Correlation of high-resolution ultrasonographic findings with the clinical symptoms and electrodiagnostic data in carpal tunnel syndrome. *Ann Plast Surg* 2005;54(1):20-3.
- Vahed LK, Arianpur A, Gharedaghi M, Rezaei H. Ultrasound as a diagnostic tool in the investigation of patients with carpal tunnel syndrome. *Eur J Transl Myol* 2018;28(2):7380.
- Martinoli C, Bianchi S, Gandolfo N, Valle M, Simonetti S, Derchi LE. US of nerve entrapments in osteofibrous tunnels of the upper and lower limbs. *Radiographics* 2000;20 Spec No:S199-213; discussion S213-7.
- Petrover D, Hakime A, Silvera J, Richette P, Nizard R. Ultrasound-guided surgery for carpal tunnel syndrome: a new interventional procedure. *Semin Intervent Radiol* 2018;35(4):248-254.
- Weiss KL, Beltran J, Shamam OM, Stilla RF, Levey M. High-field MR surface-coil imaging of the hand and wrist. Part I. Normal anatomy. *Radiology* 1986 160(1):143-6.
- Middleton WD, Kneeland JB, Kellman GM, Cates JD, Sanger JR, Jesmanowicz A, et al. MR imaging of the carpal tunnel: normal anatomy and preliminary findings in the carpal tunnel syndrome. *AJR Am J Roentgenol*. 1987;148(2):307-16.
- Bordalo-Rodrigues M, Amin P, Rosenberg ZS. MR imaging of common entrapment neuropathies at the wrist. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2004;12(2):265-79, vi.
- Kanaan N, Sawaya RA. Carpal tunnel syndrome: modern diagnostic and management techniques. *Br J Gen Pract* 2001;51(465):311-4.
- Bonél HM, Heuck A, Frei KA, Herrmann K, Scheidler J, Srivastav S, et al. Carpal tunnel syndrome: assessment by turbo spin echo, spin echo, and magnetization transfer imaging applied in a low-field MR system. *J Comput Assist Tomogr* 2001;25(1):137-45.
- Cudlip SA, Howe FA, Clifton A, Schwartz MS, Bell BA. Magnetic resonance neurography studies of the median nerve before and after carpal tunnel decompression. *J Neurosurg* 2002;96(6):1046-51.
- Britz GW, Haynor DR, Kuntz C, Goodkin R, Gitter A, Kliot M. Carpal tunnel syndrome: correlation of magnetic resonance imaging, clinical, electrodiagnostic, and intraoperative findings. *Neurosurgery* 1995;37(6):1097-103.
- Jarvik JG, Yuen E, Haynor DR, Bradley CM, Fulton-Kehoe D, Smith-Weller T, et al. MR nerve imaging in a prospective cohort of patients with suspected carpal tunnel syndrome. *Neurology* 2002;58(11):1597-602.
- Pasternack II, Malmivaara A, Tervahartiala P, Forsberg H, Vehmas T. Magnetic resonance imaging findings in respect to carpal tunnel syndrome. *Scand J Work Environ Health* 2003;29(3):189-96.
- Deniz FE, Oksüz E, Sarikaya B, Kurt S, Erkorkmaz U, Ulusoy H, et al. Comparison of the diagnostic utility of electromyography, ultrasonography, computed tomography, and magnetic resonance imaging in idiopathic carpal tunnel syndrome determined by clinical findings. *Neurosurgery* 2012;70(3):610-6.
- Hersh B, D'Auria J, Scott M, Fowler JR. A comparison of ultrasound and MRI measurements of the cross-sectional area of the median nerve at the wrist. *Hand (N Y)* 2018;1558944718777833.
- Keberle M, Jenett M, Kenn W, Reinert K, Peter M, Haerten R, et al. Technical advances in ultrasound and MR imaging of carpal tunnel syndrome. *Eur Radiol* 2000;10(7):1043-50.
- Iannicelli E, Chianta GA, Salvini V, Almerger M, Monacelli G, Passariello R. Evaluation of bifid median nerve with sonography and MR imaging. *J Ultrasound Med* 2000;19(7):481-5.