



KARPAL TÜNEL SENDROMU TANISINDA ULTRASONOGRAFİNİN YERİ

The Role of Ultrasonography in The Diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome

Şadiye SARATAŞ 

Malkara Devlet Hastanesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Kliniği, Tekirdağ, Türkiye.

Öz

Karpal tünel sendromu (KTS) median sinirin karpal tünel içerisinde sıkışmasına bağlı gelişen ve toplumda en sık görülen tuzak nöropatidir. KTS tanısında genel yaklaşım klinik ve fizik muayene testleri ile klinik olarak konulan tanının elektrofizyolojik çalışmalar ve/veya çeşitli görüntüleme modaliteleri ile desteklenmesidir. Ultrasonografinin KTS değerlendirmesinde kullanımı giderek artmaktadır. Ultrasonografi ile sinirdeki yapısal değişikliklerin yanı sıra elektrofizyolojik incelemeler ile tespit edilemeyen diğer patolojiler de değerlendirilebilmektedir. Hasta için zararsız olması, iyonlaştırıcı radyasyon içermemesi, invaziv olmaması, taşınabilir olması, dinamik değerlendirme sağlaması, daha ucuz ve ulaşılabilir bir yöntem olması avantajlardır. Bu derlemede amacımız KTS tanısında kullanılan bir yöntem olan ultrasonografinin yerini tartışmaktır.

Anahtar kelimeler: karpal tünel sendromu, tanı, ultrasonografi.

Abstract

Carpal tunnel syndrome (CTS) is the most common entrapment neuropathy in the community due to the compression of the median nerve in the carpal tunnel. The general approach in the diagnosis of CTS is clinical diagnosis based on the use of clinical and physical examination tests and the diagnosis is supported by electrophysiological studies and / or various imaging modalities. The using of ultrasonography in the evaluation of CTS is increasing day by day. The other pathologies, except the structural changes in the nerve, which cannot be detected by electrophysiological examinations can also be evaluated by ultrasonography. The advantages of ultrasonography are being harmless for the patient, free of ionizing radiation, non-invasive, portable, dynamic evaluation, cheaper and accessible method. In this review, our aim is to discuss the diagnostic potential of ultrasonography in the evaluation of the diagnosis of CTS.

Key words: carpal tunnel syndrome, diagnosis, ultrasonography.

GİRİŞ

Karpal tünel sendromu (KTS) median sinirin karpal tünel içerisinde sıkışmasına bağlı gelişen ve toplumda en sık görülen tuzak nöropatidir¹. Genel popülasyonda tahmini KTS prevalansı % 1-5 arasında olup, kadın erkek oranı yaklaşık üçe birdir¹⁻².

Karpal tünel sendromunun ayırt edici özelliği özellikle ilk üç parmak ile dördüncü parmağın radial tarafına doğru yayılan, geceleri belirginleşen, zaman zaman uykudan uyandıran uyuşma, karıncalanma, yanma ve ağrıdır. Bazı hastalar bu semptomları ellerini sıkarak,

silkeleyerek veya ılık suyun altına tutarak rahatlatmaya çalışırlar³. KTS'nin patofizyolojisi çok faktörlüdür. İntrakarpal kanalda artan basınç klinik KTS gelişiminde kilit rol oynar. Anatomik sıkışma, fleksör tendonları çevreleyen bağ dokusunu etkileyen enflamatuvar olmayan bir fibrozisten kaynaklanabilir. Diğer olası sıkışma nedenleri arasında konjenital küçük anatomik boşluk, kist, neoplazm, persistan median arter gibi anatomik varyasyonlar ve Romatoid artrit gibi sistemik hastalıklardan kaynaklanan enflamatuvar durumlar yer almaktadır. Bu nedenle patofizyolojisini anlamak için karpal tünel içeriğindeki morfolojik değişikliklerin araştırılması

Corresponding Author / Sorumlu Yazar:

Şadiye SARATAŞ

Adres: Malkara Devlet Hastanesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Kliniği, Tekirdağ, Türkiye.

E-posta: sadiye_cicek@hotmail.com

Article History / Makale Geçmişi:

Date Received / Geliş Tarihi: 06.02.2019

Date Accepted / Kabul Tarihi: 18.03.2019

önemlidir⁴. KTS tanısında genel yaklaşım klinik ve fizik muayene testleri ile klinik olarak konulan tanının elektrofizyolojik çalışmalar ve/veya çeşitli görüntüleme modaliteleri ile desteklenmesidir.

Bu derlemede amacımız KTS tanısında kullanılan bir yöntem olan ultrasonografinin yerini tartışmaktır.

KARPAL TÜNEL ANATOMİSİ

Karpal tünel dorsalde ve lateralde kemik yapılar, volar yüzde ise transvers karpal ligaman (fleksör retinakulum) ile çevrelenmiştir. Fleksör retinakulum radial tarafta skafoid tübersitazına ve trapezium tepesine, ulnar tarafta pisiforma ve hamatın çengeline tutunur. Fleksör retinakulum proksimalde distal bilek fleksiyon çizgisine doğru uzanır ve ön kolun antebrakial fasyasının bir devamıdır. Distalde ise metakarpal kemiklerin başlarına kadar uzanır ve midpalmar fasyanın liflerine karışır. Karpal tünelin içerisinde dört fleksör digitorum profundus tendonu, dört fleksör digitorum superfisiyalis tendonu, fleksör pollicis longus tendonu ve median sinir geçer. Transvers karpal ligamanın kalınlığı yaklaşık 1-4 mm'dir⁵. Persistan median arter, bifid median sinir, palmaris longus kasının anatomik varyasyonları da KTS oluşumu için predispozan faktörlerdir⁶.

KARPAL TÜNEL SENDROMUNDA TANI YÖNTEMLERİ

KTS tanısında genel yaklaşım yukarıda da bahsedildiği gibi klinik ve fizik muayene testleri ile klinik olarak konulan tanının ön planda elektrofizyolojik çalışmalar ile desteklenmesidir. Klinik özelliklerinin diğer tuzak nöropatilerle olan benzerliği nedeniyle zaman zaman tanı karmaşası yaşanabilmektedir. Tinel bulgusu ve Phalen manevrası gibi fizik muayene bulguları ise yanlış negatif değerleri nedeniyle kesin tanıda

yeterli değildir. Bu testlerle ilgili çalışmalarda duyarlılık ve özgüllük değerleri çok değişken olup duyarlılık Tinel bulgusunda %9-89, Phalen manevrasında % 10-71; özgüllük ise Tinel bulgusunda % 55-96, Phalen manevrasında %55-86, arasında değişmektedir⁷. Tanıyı desteklemek amacıyla kullanılan elektrofizyolojik çalışmalar fizik muayeneden daha objektif ve değerli bir teknik olmasına rağmen %10 yanlış negatif sonuç verebilmektedir⁸. Bu nedenle tanıyı destekleyebilmek adına çeşitli görüntüleme yöntemlerinden faydalanılmaya çalışılmaktadır. Direkt grafi ve bilgisayarlı tomografinin (BT) tanısal değeri yumuşak doku kalsifikasyonları, osseöz karpal stenoz ve sistemik hastalıklara sekonder gelişen karpal tünel içi birikimlerin gösterilmesi dışında sınırlıdır. Diğer görüntüleme yöntemlerinden manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve yüksek çözünürlüklü ultrasonografi karpal tünel içerisinde sıkışmış median siniri ve diğer yumuşak dokuları direkt görme imkânı sağlamaktadır.

Birçok MRG çalışmasında median sinirde artmış sinyal intensitesi, artmış median sinir kesit alanı, hamat düzeyinde fleksör retinakulumda volar yaylanma ve yine aynı düzeyde median sinirde yassılaşıma tespit edilmekle beraber^{9,10}, MRG'a ulaşmanın her zaman mümkün olmaması, yüksek maliyet, yüksek kaliteli görüntü elde etmenin zorluğu, hareket artefaktlarına duyarlı olması ve yukarıda sayılan kriterlerin bazen asemptomatik hastalarda da görülmesi günlük pratikte kullanılabilirliğini azaltmaktadır¹¹⁻¹⁴. Ultrasonografinin avantajları ise hasta için zararsız olması, iyonlaştırıcı radyasyon içermemesi, invaziv olmaması, taşınabilir olması, dinamik değerlendirme sağlaması, daha ucuz ve ulaşılabilir bir yöntem olmasıdır¹⁵. KTS tanısında

kullanılan yöntemler Tablo 1'de özet olarak sunulmuştur.

Tablo 1: Karpal tünel sendromu tanısında kullanılan yöntemler

Fizik muayene bulguları	Tinel bulgusu Phalen manevrası Tenar atrofi Median sinir innervasyonlu el derisinde iki nokta diskriminasyonunun uzaması
Elektrofizyolojik yöntemler	Sinir ileti çalışmaları •Bilek- 2. parmak duyu distal latansı •Avuç içi- 2. parmak duyu distal latansı •Bilek-abdüktör pollicis brevis motor distal latansı •Karpal tünel segmenti duyu ileti hızı •Dördüncü parmak median- ulnar sinir duyu yanıt latans farklılığı •Ön kol motor ileti hızı ve F dalgasıdır •Elektromiyografi
Görüntüleme yöntemleri	Ultrasonografi Direkt grafi Bilgisayarlı tomografi Manyetik rezonans görüntüleme

ULTRASONOGRAFİ

Ultrasonografinin KTS değerlendirmesinde kullanımı giderek artmaktadır. Ultrasonografi ile sinirdeki yapısal değişikliklerin (sinirde hipoekoik şişme, fasiküler patern kaybı) yanı sıra elektrofizyolojik incelemeler ile tespit edilemeyen diğer patolojiler de (kas hipertrofisi, anatomik varyasyonlar, tenosinovit, tümörler vb.) değerlendirilebilmektedir. Ultrasonografi ile tespit edilebilen bifid median sinir ya da persistan median arter gibi anatomik varyasyonlar cerrahi yaklaşımı da etkilemektedir^{16,17}. Ayrıca çoğunlukla asemptomatik olan bu anatomik varyasyonlar bazen KTS'nin klinik semptomlarını taklit edebilir. Cartwright ve ark. manuel çalışma pozisyonlarında tam zamanlı çalışan hastalarda 1026 el bileğini ultrasonografi ile değerlendirmiş ve karpal tünel düzeyinde anatomik kas varyasyonlarının görülme sıklığının KTS'den mustarip çalışanlarda sağlıklı olanlara göre daha yüksek olduğunu göstermişlerdir¹⁸.

Median sinir ultrasonografide transvers kesitte fleksör tendonların hemen üzerinde, hiperekoik fleksör retinakulumun altında, hiperekoik çizgilerle çevrili yuvarlak hipoekoik sinir lifleri şeklinde görülmektedir¹⁶. Median sinirin karpal tünel içerisinde sıkışması ödem ve proksimalden kompresyon olan bölgeye doğru fibröz dokunun proliferasyonuna neden olur. Bu durum ultrasonografide sinirin şişmesi ve kesit alanının artması şeklinde gözlenir¹⁹.

İlk kez 1992 yılında Buchberger ve ark. tarafından KTS'de tanımlanan ultrasonografik bulgular proksimal karpal tünel girişinde (pisiform kemik düzeyinde) median sinir kesit alanında belirgin artış, pisiform kemik düzeyinde yapılan sinirin kesitsel alan ölçümlerinin distal radial düzeyde yapılan ölçümlerle karşılaştırıldığında belirgin farklılık olması, distal karpal tünel düzeyinde (hamatum çentiği düzeyinde) sinirde belirgin yassılaşıma, fleksör retinakulumda belirgin palmar yaylanmadır²⁰. KTS'de ultrasonografi bulguları Tablo 2'de özet olarak sunulmuştur.

Tablo 2: Karpal tünel sendromunda ultrasonografi bulguları

1. Proksimal karpal tünel girişinde (pisiform kemik düzeyinde) median sinir kesit alanında belirgin artış
2. Median sinirin transvers karpal ligamanın altından geçerken sıkışmasına bağlı şişlik
3. Yüksek intranöral vaskülarite
4. Fleksör retinakulumda belirgin palmar yaylanma
5. Pisiform kemik düzeyinde yapılan sinirin kesitsel alan ölçümlerinin distal radial düzeyde yapılan ölçümlerle karşılaştırıldığında belirgin farklılık olması
6. Distal karpal tünel düzeyinde (hamatum çentiği düzeyinde) sinirde belirgin yassılaşıma
7. Transvers karpal ligaman kalınlığında artış
8. Median sinir ekojenitesinde azalma

Median sinir kesit alanını ölçmek için iki yöntem kullanılır. İlk yöntemde sinir hiperekoik sınır boyunca kesintisiz bir çizgi ile belirlenir, daire içine alınmış alanın kesit alanı bilgisayar yazılımı ile hesaplanır. İkinci yöntemde ise sinirin anteroposterior ve transvers çapı ölçülür ve elipsin kesit alanı daha sonra bu parametrelerden

matematiksel bir formülle hesaplanır. İki yöntem de yakın korelasyonla kullanılabilir²¹. Moran ve ark. 'nın çalışmasında karpal tünelin proksimalinden yapılan median sinir kesit alanı ölçümlerinin elektrofizyolojik testler ile daha korele olduğu, distalden yapılan ultrasonografik ölçümlerin muhtemelen sinirin çıkış noktasının daha dorsal pozisyonda olması nedeniyle daha az güvenilir olduğu gösterilmiştir²².

KTS tanısında ultrasonografik bulgular içinde en popüler ve önemli parametre median sinir kesit alanıdır. On mm'yi aşan ölçümler KTS için tanısal olarak kabul edilmektedir²³. KTS'de median sinir kesit alanının tanısal değerini araştıran çalışmalar Tablo 3'de özet olarak sunulmuştur. Literatür taramasında tanısal kesit alanı için çoğunlukla 10 ila 14 mm² arasında değişen geniş bir aralık mevcuttur. Bunun nedenleri arasında ilk olarak median sinirin ve karpal tünelin büyüklüğünün kişinin beden özelliklerine ve fizyolojik varyasyonlara bağlı değişkenlik göstermesi, ikinci olarak median sinir alanının ölçüm yerinin sinirin maksimum şiştiği yere bağlı olarak tünel girişi-içi veya çıkışı olarak değişiklik göstermesi yer almaktadır. Üçüncü olarak ise median sinirdeki sıkışmanın dinamik bir süreç olması, ya hep ya hiç fenomeni olmamasından kaynaklanmaktadır²⁴.

KTS tanısında ikinci önemli sonografik parametre median sinirin transvers karpal ligamanın altından geçerken sıkışmasıdır. Sıkışma globuler şişlik olarak gözlemlenebilir. Bu bulgunun hassasiyeti bilinmemekle beraber özgüllüğü %95,8 ila %100 arasında değişmektedir⁵². Üçüncü parametre ise yüksek intranöral vaskülaritedir. Bu, gri skalada görülebilmekle

beraber KTS tanısında renkli doppler ultrasonografide %91 doğruluk oranına sahip bulunmuştur²⁸. Median sinir kesit alanında artış, ekojenitesinde azalma ve vaskülarizasyon artışı parametrelerinin üçü de pozitifse elektrofizyolojik çalışmalar normal olsa dahi %90 olasılıkla KTS tanısı konulabildiği gösterilmiştir⁵³.

KTS tanısında median sinirin proksimal ile distaldeki kesitsel alan ölçümleri arasındaki farkın ve oranın tanısal doğruluğunu bildiren çalışmalar da mevcuttur. Bu parametrelerin validasyonu için daha fazla çalışmaya gerek duyulsa da sadece tanıda tek başına kesitsel alan ölçümü yapmaktan daha kullanışlı olduğu öne sürülmektedir⁵⁴. Klauser ve ark. median sinirin distalde karpal tünel düzeyinde ölçülen maksimum kesit alanı ile proksimalde pronator kuadratus düzeyindeki kesit alanı arasındaki farkın (delta kesit alanı) 2 mm² üzerinde olmasının %99 duyarlılık ve %100 özgüllükle tanısal olduğunu bildirmişlerdir⁵⁵. Tajika ve ark. 83 KTS tanısı olan, 83 normal bileği değerlendirdikleri çalışmalarında ultrasonografi ile KTS tanısında kesitsel alan yönteminin mükemmel performans gösterdiğini, KTS olan hastalarda motor sinir hasarını ve semptom şiddetini değerlendirmek için delta kesit alanını hesaplamanın daha kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir (%100 duyarlılık, %99 özgüllük)⁵⁶. Roll ve ark. 83 KTS semptomu olan, 83 asemptomatik bileği değerlendirdikleri çalışmalarında, pisiform kemik düzeyi ile distal bilek çizgisinin 6 cm proksimalindeki median sinir kesitsel alan oranının 1,70 ve üzerinde olmasının %80,4 duyarlılık ve %81,2 özgüllükle KTS tanısında kullanılabileceğini göstermişlerdir⁵⁷.

Tablo 3: Karpal tünel sendromunda median sinir kesit alanının tanısal değerini araştıran çalışmalar.

Yazar	Değerlendirilen bilek sayısı	Ölçümün yapıldığı yer	Tanısal median sinir kesit alanı değeri (mm)	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)
Lee ve ark ²² .	100 KTS 56 kontrol	Skafoit tüberkül ve pisiform	15	88	96
Klauser ve ark ²³ .	100 KTS 93 kontrol	Karpal tünel içerisindeki maksimum kesit alanının olduğu yer	12	94	95
Nakamichi ve ark ²⁶ .	414 KTS 408 kontrol	Proksimal orta ve distal karpal tünel düzeyi	12	67	97
Kele ve ark ²⁷ .	110 KTS 55 kontrol	Karpal tünel girişi	11	74	98
Mallouhi ve ark ²⁸ .	172 KTS Kontrol grubu yok	Karpal tünel içerisindeki maksimum kesit alanının olduğu yer	11	91	47
Wiesler ve ark ²⁹ .	44 KTS 86 kontrol	Distal bilek çizgisi	11	91	84
Sarría ve ark ³⁰ .	64 KTS 42 kontrol	Hamatum kancası	11	75	57
Miyamoto ve ark ³¹ .	43 KTS 44 kontrol	Pisiform kemik düzeyi	11	82	75
Kwon ve ark ³² .	41 KTS 41 kontrol	Karpal tünel girişi	10,7	66	63
Ghasemi-Esfe ve ark ³³ .	85 KTS 49 kontrol	Pisiform kemik düzeyi	10,5	69	94
Ulaşlı ve ark ³⁴ .	95 KTS 48 kontrol	Karpal tünel içerisindeki maksimum kesit alanının olduğu yer	10,5	91	81
Roll ve ark ³⁵ .	83 KTS 83 kontrol	Pisiform kemik düzeyi	10,3	80,4	90,6
Fowler ve ark ³⁶ .	55 KTS 30 kontrol	Pisiform kemik düzeyi	10	89	90
Visser ve ark ³⁷ .	265 KTS 137 kontrol	Karpal tünel girişi	10	78	91
Sernik ve ark ³⁸ .	40 KTS 63 kontrol	Pisiform kemik düzeyi	10	85	92,1
Ziswiler ve ark ³⁹ .	78 KTS 23 kontrol	Karpal tünel içerisindeki maksimum kesit alanının olduğu yer	10	82	87
El Miedany ve ark ⁴⁰ .	96 KTS 156 kontrol	Karpal tünel girişi	10	98	100
Swen ve ark ⁴¹ .	63 KTS 20 kontrol	Pisiform kemik düzeyi	10	70	63
Ooi ve ark ⁴² .	95 KTS 30 kontrol	Pisiform kemik düzeyi	9,8	92	90
Wong ve ark ²⁴ .	35 KTS 35 kontrol	Karpal tünel girişi	9,8	89	83
Naranjo ve ark ⁴³ .	80 KTS 25 kontrol	Karpal tünel girişi	9,7	86	48
Kantarci ve ark ⁴⁴ .	60 KTS 36 kontrol	Karpal tünel girişi	9,5	60	91,7
Kang ve ark ⁴⁵ .	110 KTS 38 kontrol	Distal bilek çizgisi	9,5	96	92
Keleş ve ark ⁴⁶ .	35 KTS 40 kontrol	Orta karpal tünel seviyesi	9,3	80	76
Ashraf ve ark ⁴⁷ .	70 KTS 80 kontrol	Orta karpal tünel seviyesi	9,3	80	77,5
Pastare ve ark ⁴⁸ .	97 KTS Kontrol grubu yok	Karpal tünel girişi	9	62	100
Altinok ve ark ⁴⁹ .	40 KTS 40 kontrol	Pisiform kemik düzeyi	9	65	93
Duncan ve ark ⁵⁰ .	102 KTS 68 kontrol	Pisiform kemik düzeyi	9	82	97
Mohammadi ve ark ⁵¹ .	132 KTS 32 kontrol	Karpal tünel girişi	8,5	97	98

KTS: Karpal tünel sendromu.



NKMJ
Namık Kemal Tıp Dergisi
Namık Kemal Medical Journal

Review/Deleme

Elektrofizyolojik testler ile hafif-orta ya da ağır KTS saptanan 110 bilek ile 38 asemptomatik bileğin incelendiği Kang ve ark. 'nın çalışmasında, distal bilek seviyesi ile 12 cm proksimalindeki median sinir kesit alanı oranının elektrofizyolojik testlerdeki KTS şiddetiyle orantılı olarak arttığı ve bilek düzeyindeki median sinir kesit alanı ile karşılaştırıldığında daha özgül ve duyarlı olduğu gösterilmiştir (%99,9 duyarlılık ve %100 özgüllük)⁴⁵. Fu ve ark. klinik ve elektrofizyolojik testler ile KTS tanısı alan hastalarda median sinirin karpal tünel girişindeki kesit alanının çıkışındaki kesit alanına oranını değerlendirmişlerdir. Karpal tünel girişindeki ortalama median sinir kesit alanı sağlıklı bireylerde 8,7 mm, KTS'li hastalarda 14,6 mm bulunmuştur. Median sinirin karpal tünel girişi ile çıkışı arasındaki kesit alanının oranı ise sağlıklı bireylerde 1,0 mm, KTS'li hastalarda 1,6 mm olarak bulunmuştur. Bu çalışmada kesit alan oranının 1,3 ve üzerinde olmasının %93 özgüllük ve %91 duyarlılık ile KTS tanısı koydurabileceği gösterilmiştir⁵⁸.

Bir diğer çalışmada Wessel ve ark. KTS semptomları olan 38 hastanın klinik semptomlarının şiddetini sonografik olarak median sinir kesit alanı (hamatum, pisiform ve pronator kuadratus seviyelerinden) ve transvers karpal ligamanın kalınlığı ile karşılaştırmışlardır. Median sinirin pronator kuadratus-hamatum ve pisiform-hamatum arasındaki kesitsel alan

artışının klinik semptom şiddetindeki artış ile ayrıca transvers karpal ligaman kalınlığındaki artışın yüksek klinik semptom skorları ile korele olduğunu bulmuşlardır⁵⁹.

KTS'de ultrasonografinin duyarlılık ve özgüllüğünün analiz edildiği bir meta-analizde toplam 3131 bileğin dâhil edildiği toplam 19 makale incelenmiştir. Bu meta-analiz, ultrasonografi ile KTS tanısının duyarlılığını ve özgüllüğünü sırasıyla %77,6 (%71,6-83,6) ve %86,8 (%78,9-94,8) olarak göstermiştir. Belirtilen duyarlılık ve özgüllük yüzde aralığının nispeten geniş olması, KTS tanısında ultrasonografinin yararları hakkındaki fikirlerin çeşitliliğini göstermektedir⁶⁰. Tanı kriteri olarak birkaç farklı parametrenin birleştirildiği çalışmalarda, sonografik incelemenin hassasiyetinin arttığı görülmektedir. Örneğin Chan ve ark. median sinir kesit alanının iki seviyede (karpal tünel giriş ve çıkışında) ölçülmesinin tek seviyedeki ölçümlere göre daha duyarlı ve özgül olduğunu göstermişlerdir⁶¹. Nakamichi ve Tachibana, 408 idiopatik KTS, 408 kontrolün dâhil edildiği çalışmada 3 ayrı seviyeden median sinir kesit alanını ölçmüşlerdir. Tek seviyeden yapılan ölçümlerde %43-57 hassasiyet ve %96-97 özgüllük saptanırken, üç ölçümün ortalaması alındığında ultrasonografi sinir ileti çalışmaları kadar duyarlı bulunmuştur (%67duyarlılık, %97özgüllük)⁶².

Corresponding Author / Sorumlu Yazar:

Şadiye SARATAŞ
Adres: Malkara Devlet Hastanesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Kliniği, Tekirdağ, Türkiye.
E-posta: sadiye_cicek@hotmail.com

Article History / Makale Geçmişi:

Date Received / Geliş Tarihi: 06.02.2019
Date Accepted / Kabul Tarihi: 18.03.2019

Elektrofizyolojik çalışmalar KTS tanısında yaygın olarak kullanılmakla beraber kantitatif altın standart bir referans yoktur. Literatürde ultrasonografi ile elektrofizyolojik testleri karşılaştıran çalışmalar mevcuttur. Fowler ve ark.'nın Karpal Tünel Sendromu 6 (CTS-6) değerlendirme ölçeği esas alınarak yapılan, ultrasonografi ile elektrofizyolojik testleri karşılaştıran çalışması, ultrasonografinin KTS tanısında elektromiyografiden (EMG) daha iyi duyarlılık ve özgüllükte kullanılabileceğini göstermiştir^{63,64}. Visser ve ark., klinik olarak KTS tanısı konulan hastalarda, ultrasonografi ile karpal tünel girişindeki median sinirin kesitsel alanının tayini ve EMG'nin tanıyı benzer oranlarda doğruladığını rapor etmişlerdir⁶⁵.

Ooi ve ark.'nın çalışmasında ise elektrofizyolojik testler referans olarak kullanılarak ultrasonografide gri skala, doppler ultrasonografi ve dinamik görüntülemenin tanısal performansını değerlendirmek amaçlanmıştır. Ayrıca çalışmada median sinirin kesit alanı ve elektrofizyolojik testler ile belirlenen KTS ciddiyeti arasındaki korelasyon değerlendirilmiştir. Elli bir hastanın değerlendirildiği çalışmada, pisiform kemik düzeyindeki median sinir kesit alanı ile semptomların süresi arasında doğru orantılı korelasyon tespit edilmiş, KTS'nin kronik dönemi ile ultrasonografik bulgular arasında korelasyon bulunamamıştır. Ultrasonografi ile 4 hastada bifid median sinir, diğer 3 hastada ise ana patolojik faktörün dejeneratif tofus ile tenosinovit olduğu gözlenmiştir. Ultrasonografik yöntemin avantajı özellikle atipik EMG bulguları olan hastalarda, KTS'yi simüle edebilen tümörler gibi durumlarda median sinir ve çevresindeki yapıların morfolojisini göstererek yanlış tanıdan kaçınmaya yardımcı olabilmesidir. Yazarlar ultrasonografi ile median sinir kesit alanı ölçümünün KTS tanısı

için doğru bir yöntem olduğunu ve median sinir hasarının derecesi için ek bilgi sağladığını belirtmişlerdir⁴².

Son yıllarda yapılan çalışmalarda EMG'deki KTS şiddetini gösteren median sinir kritik kesitsel alanı belirlenmektedir. Nkrumah ve ark. KTS semptom ve bulgusu olan hastalarda elektrofizyolojik testler ile ağır KTS tanısı alan ve almayanlar arasındaki median sinir kesit alanını karşılaştırmışlardır. İki yüz yetmiş dört bilekte pisiform kemik düzeyinden yapılan ultrasonografik ölçümlerde, ağır KTS için kritik kesit alanı 12 mm² olarak gösterilmiştir (%37,5 duyarlılık, %81,9 özgüllük)⁶⁶.

Klauser ve ark. klinik ve elektrofizyolojik olarak doğrulanmış ve tuzaklanma seviyesine göre gruplanmış 427 KTS'li hastada (623 bilek) sonografik olarak delta kesit alanı ve kesit oranının KTS şiddetini ön görmedeki doğruluğunu değerlendirmiştir. Sırasıyla elektrofizyolojik testlerde de hafif, orta ve ağır KTS tespit edilen hastalarda ortalama delta kesit alanı 4,2 ± 2,6, 6,95 ± 2,2 ve 10,7 ± 4,9 mm², kesit alan oranı ise 1,5 ± 0,4, 1,95 ± 0,4 ve 2,4 ± 0,7 olarak tespit edilmiştir. Hafif KTS'yi orta KTS'den ayıran kritik delta kesit alanı ve kesit oranı sırasıyla 6 mm² ve 1,7, orta KTS'yi ağır KTS'den ayıran ise 9 mm² ve 2,2 olarak bulunmuştur. Bu ultrasonografik bulguların elektrofizyolojik testlerle kıyaslandığında KTS'nin şiddetini değerlendirmede kullanılabileceği gösterilmiştir⁶⁷.

Elektrofizyolojik testlerin normal olduğu, klinikten şüphelenilen hastalarda sonografik değerlendirme faydalı olabilmektedir. Aseem ve ark. klinik olarak KTS tanısı alan, ancak EMG çalışmaları normal olan hastaları ultrasonografi ile değerlendirmiştir. Yirmi iki bileğin incelendiği çalışmada, hastaların %92,3'ünde el bileğinde

median sinir kesit alanında artış (ortalama 16,3 mm²), %100'ünde el bileği ile ön kol arasındaki sinir alanı oranında artış (ortalama 2,4), %82,4'ünde median sinir ekojenitesinde azalma, %75,0'inde median sinir mobilitesinde azalma ve %7,1'inde median sinir vaskülaritesinde artış tespit edilmiştir⁶⁸.

Billakota ve Hobson-Webb retrospektif çalışmalarında EMG ile KTS tanısı almış 670 hasta ve 1021 ekstremitayı değerlendirmişlerdir. Yetmiş dokuz kişiyi kapsayan küçük bir grupta EMG normal olmasına rağmen KTS ile ilgili anormal ultrasonografik bulgular saptanmıştır⁶⁹.

Literatürde ultrasonografinin cerrahi sonrası terapötik cevabı izlemek için de yararlı olabileceğini gösteren çalışmalar mevcuttur. Smidt ve ark. median sinirin kesit alanının ameliyattan en az 6 ay sonra iyi sonucu olan hasta grubunda 14 mm²'den 11 mm²'ye düştüğünü, kötü sonucu olan grupta ise neredeyse aynı kaldığını bildirmişlerdir⁷⁰. Kim ve ark. da median sinir kesit alanının ameliyat sonrası ilk 3 haftada azaldığını tespit etmişlerdir⁷¹. Bu bulgular, median sinir kesit alanı ölçümünün KTS cerrahisine yanıtı tahmin etmede kullanılabilirliğini göstermektedir. Ayrıca eğer cerrahi dekompresyon median sinir kesit alanının normalleşmesine yol açıyorsa, semptomları devam eden hastalardan hangilerinin ikinci ameliyattan fayda görebileceğini seçmeye de yardımcı olabileceği söylenmektedir¹⁹.

KARPAL TÜNELİ DEĞERLENDİRMEDE ULTRASONOGRAFİNİN SINIRLILIĞI

Ultrasonografi, cihazın tipine ve yapan kişinin deneyimine bağlı değişebilen sübjektif bir yöntemdir. Kullanıcı bağımlı olması nedeniyle sinir ve çevre yapı anatomisi bilgisinin yetersiz olması halinde, yanlış yorumlamalar

yapılabilmektedir. Ultrasonografinin aksonal dejenerasyon sonrası median sinirin kesit alanının azaldığı hasta grubunda kullanımı kısıtlıdır⁷². Miwa ve ark'nın çeşitli yaş gruplarındaki KTS hastalarında median sinir kesit alan ölçümünün tanısız önemini araştıran çalışmasında, KTS şiddetinin özellikle 80 yaş üstü hastalarda yaşla beraber artmasına karşın median sinir kesit alanında aynı artış olmamıştır. Median sinir kesit alan ölçümü çok yaşlı hastalarda, ağır dereceli KTS' nin değerlendirilmesi için güvenilir bir ölçüm olmayabilir⁷³. Klinik ve sonografik değerlendirme tanı koymakta yetersiz ise elektrofizyolojik incelemeler ile devam edilmesi önerilmektedir. KTS'de sonografik değerlendirmenin özgüllüğü ve duyarlılığını arttıracak power doppler, mikrovasküler görüntüleme ve elastografi gibi ultrason teknikleri ile ilgili gittikçe daha fazla çalışma yayınlanmaktadır^{31,74}. Ultrasonografinin önemli bir dezavantajı ise sinirin fonksiyonuna dair bilgi vermemesi ve bu nedenle elektrofizyolojik incelemedeki gibi değişikliklere hassas olmamasıdır²¹.

SONUÇ

Günümüzde ultrasonografi ile karpal tünel değerlendirmesi fiziyatristler, romatologlar, nörologlar, beyin cerrahları ve ortopedistler tarafından günlük pratikte eskiye oranla daha sık kullanılmaktadır. Ultrasonografi ucuzdur, invaziv değildir, uygulama kısa sürer, hasta uygulamaya rahat adapte olur, radyasyon içermez, bu özellikler çocuk hastalarda önem kazanmaktadır ayrıca sadece tanı değil patofizyoloji hakkında da bilgi vermektedir. Bu nedenlerle klinik uygulamada KTS taramasında EMG'ye alternatif olarak ultrasonografi birinci basamak bir yaklaşım olarak kullanılabilir. Median sinir yaralanmalarında ve yer kaplayan lezyonların

değerlendirilmesinde kullanılabilirliği gibi preoperatif ek bir değerlendirme için ya da KTS cerrahisi sonrası iyileşmeyen hastalarda da kullanılabilir.

Kaynaklar

1. Atroshi I, Gummesson C, Johnsson R, Ornstein E, Ranstam J, Rosen I. Prevalence of carpal tunnel syndrome in a general population. *Jama*. 1999;282(2):153-8.
2. Pourmemari MH, Heliovaara M, Viikari-Juntura E, Shiri R. Carpal tunnel release: Lifetime prevalence, annual incidence, and risk factors. *Muscle & nerve*. 2018;58(4):497-502.
3. Preston DC SB. Median neuropathy at the wrist- Electromyography and Neuromuscular Disorders. *Clinical-Electrophysiologic Correlations*. 3rd ed: Elsevier; 2013. p. 267.
4. Bland JD. Carpal tunnel syndrome. *Current opinion in neurology*. 2005;18(5):581-5.
5. Schueknke M SE, Schumacher U. The carpal tunnel. In: Lamperti ED RR, editor. *General Anatomy and the Musculoskeletal System*. New York: Thieme; 2006. p. 354.
6. Seiler JG, 3rd, Daruwalla JH, Payne SH, Faucher GK. Normal Palmar Anatomy and Variations That Impact Median Nerve Decompression. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. 2017;25(9):e194-e203.
7. Kuhlman KA, Hennessey WJ. Sensitivity and specificity of carpal tunnel syndrome signs. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 1997;76(6):451-7.
8. Szabo RM, Gelberman RH, Dimick MP. Sensibility testing in patients with carpal tunnel syndrome. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 1984;66(1):60-4.
9. 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. *European radiology*. 2007;17(2):509-22.
10. Samanci Y, Karagoz Y, Yaman M, Atci IB, Emre U, Kilickesmez NO, et al. Evaluation of median nerve T2 signal changes in patients with surgically treated carpal tunnel syndrome. *Clinical neurology and neurosurgery*. 2016;150:152-8.
11. Jarvik JG, Yuen E, Kliot M. Diagnosis of carpal tunnel syndrome: electrodiagnostic and MR imaging evaluation. *Neuroimaging clinics of North America*. 2004;14(1):93-102.
12. Radack DM, Schweitzer ME, Taras J. Carpal tunnel syndrome: are the MR findings a result of population selection bias? *AJR American journal of roentgenology*. 1997;169(6):1649-53.
13. Hochman MG, Zilberfarb JL. Nerves in a pinch: imaging of nerve compression syndromes. *Radiologic clinics of North America*. 2004;42(1):221-45.
14. Buchberger W. Radiologic imaging of the carpal tunnel. *European journal of radiology*. 1997;25(2):112-7.
15. Vahed LK, Arianpur A, Gharedaghi M, Rezaei H. Ultrasound as a diagnostic tool in the investigation of patients with carpal tunnel syndrome. *European Journal of Translational Myology*. 2018;28(2).
16. 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(suppl_1):S199-S217.
17. Roll SC, Volz KR, Fahy CM, Evans KD. Carpal tunnel syndrome severity staging using sonographic and clinical measures. *Muscle & nerve*. 2015;51(6):838-45.
18. Cartwright MS, Walker FO, Newman JC, Arcury TA, Mora DC, Haiying C, et al. Muscle intrusion as a potential cause of carpal tunnel syndrome. *Muscle & nerve*. 2014;50(4):517-22.
19. Tas S, Staub F, Dombert T, Marquardt G, Senft C, Seifert V, et al. Sonographic short-term follow-up after surgical decompression of the median nerve at the carpal tunnel: a single-center prospective observational study. *Neurosurgical focus*. 2015;39(3):E6.
20. Buchberger W, Judmaier W, Birbamer G, Lener M, Schmidauer C. Carpal tunnel syndrome: diagnosis with high-resolution sonography. *AJR American journal of roentgenology*. 1992;159(4):793-8.
21. 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.
22. Moran L, Perez M, Esteban A, Bellon J, Arranz B, del Cerro M. Sonographic measurement of cross-sectional area of the median nerve in the diagnosis of carpal tunnel syndrome: correlation with nerve conduction studies. *Journal of clinical ultrasound : JCU*. 2009;37(3):125-31.
23. Klauser AS, Halpern EJ, De Zordo T, Feuchtner GM, Arora R, Gruber J, et al. Carpal tunnel syndrome assessment with US: value of additional cross-sectional area measurements of the median nerve in patients versus healthy volunteers. *Radiology*. 2009;250(1):171-7.
24. Wong SM, Griffith JF, Hui AC, Tang A, Wong KS. Discriminatory sonographic criteria for the diagnosis of

- carpal tunnel syndrome. *Arthritis and rheumatism*. 2002;46(7):1914-21.
25. Lee D, van Holsbeeck MT, Janevski PK, Ganos DL, Ditmars DM, Darian VB. Diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Ultrasound versus electromyography*. *Radiologic clinics of North America*. 1999;37(4):859-72.
26. 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.
27. Kele H, Verheggen R, Bittermann HJ, Reimers CD. The potential value of ultrasonography in the evaluation of carpal tunnel syndrome. *Neurology*. 2003;61(3):389-91.
28. Mallouhi A, Pulz P, Trieb T, Piza H, Bodner G. Predictors of carpal tunnel syndrome: accuracy of gray-scale and color Doppler sonography. *AJR American journal of roentgenology*. 2006;186(5):1240-5.
29. Wiesler ER, Chloros GD, Cartwright MS, Smith BP, Rushing J, Walker FO. The use of diagnostic ultrasound in carpal tunnel syndrome. *The Journal of hand surgery*. 2006;31(5):726-32.
30. Sarria L, Cabada T, Cozcolluela R, Martinez-Berganza T, Garcia S. Carpal tunnel syndrome: usefulness of sonography. *European radiology*. 2000;10(12):1920-5.
31. Miyamoto H, Halpern EJ, Kastlunger M, Gabl M, Arora R, Bellmann-Weiler R, et al. Carpal tunnel syndrome: diagnosis by means of median nerve elasticity—improved diagnostic accuracy of US with sonoelastography. *Radiology*. 2014;270(2):481-6.
32. Kwon BC, Jung KI, Baek GH. Comparison of sonography and electrodiagnostic testing in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *The Journal of hand surgery*. 2008;33(1):65-71.
33. Ghasemi-Esfe AR, Khalilzadeh O, Mazloumi M, Vaziri-Bozorg SM, Niri SG, Kahnouji H, et al. Combination of high-resolution and color Doppler ultrasound in diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Acta radiologica*. 2011;52(2):191-7.
34. Ulaşlı AM, Duymuş M, Nacir B, Rana Erdem H, Koşar U. Reasons for using swelling ratio in sonographic diagnosis of carpal tunnel syndrome and a reliable method for its calculation. *Muscle & nerve*. 2013;47(3):396-402.
35. Roll SC, Evans KD, Li X, Freimer M, Sommerich CM. Screening for carpal tunnel syndrome using sonography. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2011;30(12):1657-67.
36. Fowler JR, Munsch M, Tosti R, Hagberg WC, Imbriglia JE. Comparison of ultrasound and electrodiagnostic testing for diagnosis of carpal tunnel syndrome: study using a validated clinical tool as the reference standard. *JBJS*. 2014;96(17):e148.
37. Visser LH, Smidt MH, Lee ML. High-resolution sonography versus EMG in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. 2008;79(1):63-7.
38. Sernik RA, Abicalaf CA, Pimentel BF, Braga-Baiak A, Braga L, Cerri GG. Ultrasound features of carpal tunnel syndrome: a prospective case-control study. *Skeletal radiology*. 2008;37(1):49-53.
39. Ziswiler HR, Reichenbach S, Vögelin E, Bachmann LM, Villiger PM, Jüni P. Diagnostic value of sonography in patients with suspected carpal tunnel syndrome: a prospective study. *Arthritis & Rheumatism: Official Journal of the American College of Rheumatology*. 2005;52(1):304-11.
40. El Miedany Y, Aty S, Ashour S. Ultrasonography versus nerve conduction study in patients with carpal tunnel syndrome: substantive or complementary tests? *Rheumatology*. 2004;43(7):887-95.
41. Swen WA, Jacobs JW, Bussemaker FE, de Waard JW, Bijlsma JW. Carpal tunnel sonography by the rheumatologist versus nerve conduction study by the neurologist. *The Journal of rheumatology*. 2001;28(1):62-9.
42. Ooi CC, Wong SK, Tan AB, Chin AY, Bakar RA, Goh SY, et al. Diagnostic criteria of carpal tunnel syndrome using high-resolution ultrasonography: correlation with nerve conduction studies. *Skeletal radiology*. 2014;43(10):1387-94.
43. Naranjo A, Ojeda S, Mendoza D, Francisco F, Quevedo JC, Erausquin C. What is the diagnostic value of ultrasonography compared to physical evaluation in patients with idiopathic carpal tunnel syndrome? *Clinical and experimental rheumatology*. 2007;25(6):853-9.
44. Kantarci F, Ustabasioglu FE, Delil S, Olgun DC, Korkmazer B, Dikici AS, et al. Median nerve stiffness measurement by shear wave elastography: a potential sonographic method in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *European radiology*. 2014;24(2):434-40.
45. Kang S, Kwon HK, Kim KH, Yun HS. Ultrasonography of median nerve and electrophysiologic severity in carpal tunnel syndrome. *Annals of rehabilitation medicine*. 2012;36(1):72-9.
46. Keles I, Karagulle Kendi AT, Aydin G, Zog SG, Orkun S. Diagnostic precision of ultrasonography in patients with carpal tunnel syndrome. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 2005;84(6):443-50.
47. Ashraf AR, Jali R, Moghtaderi AR, Yazdani AH. The diagnostic value of ultrasonography in patients with electrophysiologically confirmed carpal tunnel syndrome.

- Electromyography and clinical neurophysiology. 2009;49(1):3-8.
48. Pastare D, Therimadasamy AK, Lee E, Wilder-Smith EP. Sonography versus nerve conduction studies in patients referred with a clinical diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Journal of clinical ultrasound : JCU*. 2009;37(7):389-93.
49. Altinok T, Baysal O, Karakas HM, Sigirci A, Alkan A, Kayhan A, et al. Ultrasonographic assessment of mild and moderate idiopathic carpal tunnel syndrome. *Clinical radiology*. 2004;59(10):916-25.
50. Duncan I, Sullivan P, Lomas F. Sonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *AJR American journal of roentgenology*. 1999;173(3):681-4.
51. Mohammadi A, Afshar A, Etemadi A, Masoudi S, Baghizadeh A. Diagnostic value of cross-sectional area of median nerve in grading severity of carpal tunnel syndrome. *Archives of Iranian medicine*. 2010;13(6):516-21.
52. Wang LY, Leong CP, Huang YC, Hung JW, Cheung SM, Pong YP. Best diagnostic criterion in high-resolution ultrasonography for carpal tunnel syndrome. *Chang Gung medical journal*. 2008;31(5):469-76.
53. Rahmani M, Esfe AG, Bozorg S, Mazloumi M, Khalilzadeh O, Kahnouji H. The ultrasonographic correlates of carpal tunnel syndrome in patients with normal electrodiagnostic tests. *La radiologia medica*. 2011;116(3):489-96.
54. Miyamoto H, Morizaki Y, Kashiyama T, Tanaka S. Grey-scale sonography and sonoelastography for diagnosing carpal tunnel syndrome. *World journal of radiology*. 2016;8(3):281.
55. Klauser AS, Halpern EJ, De Zordo T, Feuchtner GM, Arora R, Gruber J, et al. Carpal tunnel syndrome assessment with US: value of additional cross-sectional area measurements of the median nerve in patients versus healthy volunteers. *Radiology*. 2009;250(1):171-7.
56. Tajika T, Kobayashi T, Yamamoto A, Kaneko T, Takagishi K. Diagnostic utility of sonography and correlation between sonographic and clinical findings in patients with carpal tunnel syndrome. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2013;32(11):1987-93.
57. Roll SC, Evans KD, Li X, Freimer M, Sommerich CM. Screening for carpal tunnel syndrome using sonography. *Journal of ultrasound in medicine : official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine*. 2011;30(12):1657-67.
58. Fu T, Cao M, Liu F, Zhu J, Ye D, Feng X, et al. Carpal tunnel syndrome assessment with ultrasonography: value of inlet-to-outlet median nerve area ratio in patients versus healthy volunteers. *PloS one*. 2015;10(1):e0116777.
59. Wessel LE, Marshall DC, Stepan JG, Sacks HA, Nwawka OK, Miller TT, et al. Sonographic Findings Are Associated With Carpal Tunnel Symptom Severity. *J Hand Surg Am*. 2018; pii: S0363-5023(17)31113-9.
60. Fowler JR, Gaughan JP, Ilyas AM. The sensitivity and specificity of ultrasound for the diagnosis of carpal tunnel syndrome: a meta-analysis. *Clinical orthopaedics and related research*. 2011;469(4):1089-94.
61. Chan K-Y, George J, Goh K-J, Ahmad TS. Ultrasonography in the evaluation of carpal tunnel syndrome: Diagnostic criteria and comparison with nerve conduction studies. *Neurology Asia*. 2011;16(1):57-64.
62. Nakamichi KI, Tachibana S. Ultrasonographic measurement of median nerve cross-sectional area in idiopathic carpal tunnel syndrome: diagnostic accuracy. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*. 2002;26(6):798-803.
63. Fowler JR, Munsch M, Tosti R, Hagberg WC, Imbriglia JE. Comparison of ultrasound and electrodiagnostic testing for diagnosis of carpal tunnel syndrome: study using a validated clinical tool as the reference standard. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2014;96(17):e148.
64. Fowler JR, Maltenfort MG, Ilyas AM. Ultrasound as a first-line test in the diagnosis of carpal tunnel syndrome: a cost-effectiveness analysis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2013;471(3):932-7.
65. Visser LH, Smidt MH, Lee ML. High-resolution sonography versus EMG in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*. 2008;79(1):63-7.
66. Nkrumah G, Blackburn AR, Goitz RJ, Fowler JR. Ultrasonography Findings in Severe Carpal Tunnel Syndrome. *Hand*. 2018;1558944718788642.
67. Klauser AS, Allah MMA, Halpern EJ, Siedentopf C, Auer T, Eberle G, et al. Sonographic cross-sectional area measurement in carpal tunnel syndrome patients: can delta and ratio calculations predict severity compared to nerve conduction studies? *European radiology*. 2015;25(8):2419-27.
68. Aseem F, Williams JW, Walker FO, Cartwright MS. Neuromuscular ultrasound in patients with carpal tunnel syndrome and normal nerve conduction studies. *Muscle & nerve*. 2017;55(6):913-5.
69. Billakota S, Hobson-Webb LD. Standard median nerve ultrasound in carpal tunnel syndrome: A retrospective

- review of 1,021 cases. *Clinical neurophysiology practice*. 2017;2:188-91.
70. Smidt MH, Visser LH. Carpal tunnel syndrome: clinical and sonographic follow-up after surgery. *Muscle & nerve*. 2008;38(2):987-91.
71. Kim JY, Yoon JS, Kim SJ, Won SJ, Jeong JS. Carpal tunnel syndrome: Clinical, electrophysiological, and ultrasonographic ratio after surgery. *Muscle & nerve*. 2012;45(2):183-8.
72. Colak A, Kutlay M, Pekkaşalı Z, Saracoglu M, Demircan N, Şimşek H, et al. Use of sonography in carpal tunnel syndrome surgery. *Neurologia medico-chirurgica*. 2007;47(3):109-15.
73. Miwa T, Miwa H. Ultrasonography of carpal tunnel syndrome: clinical significance and limitations in elderly patients. *Internal Medicine*. 2011;50(19):2157-61.
74. Kantarci F, Ustabasioglu FE, Delil S, Olgun DC, Korkmazer B, Dikici AS, et al. Median nerve stiffness measurement by shear wave elastography: a potential sonographic method in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *European radiology*. 2014;24(2):434-40.