

메타분석 연구를 통해 증명된 손목터널증후군에 대한 초음파의 유용성

연세대학교 의과대학 재활의학교실

이 상 철

Usefulness of Ultrasound for Carpal Tunnel Syndrome Proven in Meta-Analysis Studies

Sang Chul Lee, M.D., Ph.D.

Department of Rehabilitation Medicine and Research Institute, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Carpal tunnel syndrome is a very common and important disease caused by entrapment of the median nerve in the carpal tunnel. With the widespread use of high-resolution ultrasound, ultrasound is being used usefully in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. Compared to electrodiagnostic study, ultrasound examinations are easier and, above all, non-invasive. In addition, ultrasound-guided injection can be performed alone or in combination with ultrasound examination. In the case of nerve hydrodissection, which has recently been spotlighted as a treatment for carpal tunnel syndrome, it is the procedure that could not be attempted before without ultrasound equipment. In this paper, through a comprehensive review of meta-analysis literatures, we look back at the value of ultrasound as a diagnostic tool for carpal tunnel syndrome and the effect of ultrasound-guided injection to get an objective perspective and gain new insights. The usefulness of ultrasound will be largely divided into applications of ultrasound-guided injection, diagnosis, and sonoelastography. (Clinical Pain 2023;22:9-13)

Key Words: Carpal tunnel syndrome, Ultrasound, Ultrasound-guided, Sonoelastography, Meta-analysis

서 론

손목터널 내 정중신경 포착으로 인해 발생하는 손목터널 증후군은 일생 동안 10% 사람들에게 영향을 미치는 흔한 질환이다[1]. 감각이상은 처음에는 밤에 나타나지만 이후에 진행된다면 낮에도 발생하고 엄지두덩근(thenar muscle)의 위축과 위약을 일으킨다. 고해상도 초음파가 널리 보급되면서 손목터널증후군의 진단에 초음파 검사가 유용하게 사용되고 있다. 기존의 전기진단검사에 비해 초음파 검사는 간단하고 빠르며 무엇보다 비침습적이다. 또한 초음파 검사로 전기진단검사가 제공하지 못하는 정중신경 및 손목터널 내 해부학적 구조를 직접 평가할 수 있고 초음파 검사와 병용하거나 단독으로 초음파 유도하 주사를 시행할 수도 있다. 초음파 유도하 주사는 약물의 주입 정확도를 높이고 주사 시 발생할 수 있는 주변 구조의 손상도 줄일 수 있다. 최근 손목터널증후군의 치료로 각광받는 신경 수압팽창술

(nerve hydrodissection)의 경우는 초음파 장비가 없다면 이전에는 시도할 수 없었던 시술이라 할 수 있다. 이제 손목터널증후군에서 초음파 검사가 꽤 익숙해진 지도 10년 이상의 시간이 지났다. 하지만 여전히 기존 검사를 대체하여 확신 수단으로서 사용되지 못하고 있으며 구체적인 검사 프로토콜 및 진단기준도 확립되지 않은 상태이다. 본고에서는 여러 연구결과를 종합 분석하여 결과를 보다 일반화할 수 있는 메타분석 문헌고찰을 통해 현 시점에서 손목터널증후군의 진단 도구로서 초음파의 가치와 초음파 유도하 주사의 효과를 객관적인 시각으로 돌아보고 새로운 통찰력을 얻는 기회를 갖고자 한다. 초음파의 유용성은 크게 초음파 유도하 주사, 초음파 진단, 탄성초음파(sonoelastography)의 적용으로 나누어 기술하고자 한다.

본 론

1. 초음파 유도하 주사(ultrasound-guided injection)

근골격계 질환에서 초음파의 적용은 지속적으로 확대되어왔다. 근골격계 구조를실시간으로 영상화하는 초음파 기능은 관절, 인대, 힘줄 및 말초 신경의 동적평가를 가능하게 한다. 더욱이 초음파 검사는 상대적으로 저렴하고 방사선 피폭이 없으며 휴대도 가능하여 진료실에서 편리하게 사용할 수 있다. 초음파는 진단을 넘어 초음파 유도하 침습적

<https://doi.org/10.35827/cp.2023.22.1.9>

접수일: 2023년 5월 20일, 수정일: 2023년 6월 14일,

게재승인일: 2023년 6월 16일

책임저자: 이상철, 서울시 서대문구 연세로 50-1

☎ 03722, 연세대학교 의과대학 재활의학교실

Tel: 02-2228-3711, Fax: 02-2227-8341

E-mail: BETTERTOMO@yuhs.ac

흡입, 주사 및 신경차단술에 유용하게 사용된다[2,3]. 최근에는 초음파 유도하에 신경 수압팽창술이 손목터널증후군에 대한 새로운 치료로 각광받고 있다. 정중신경과 가로손목인대, 정중신경과 하부에 위치한 힘줄 사이에 용액을 주입하여 포착된 정중신경을 연부조직으로부터 분리하여 유착 및 만성 신경손상의 위험을 줄이려는 시도이다. 다만, 이에 대한 메타분석이 아직 이루어지지 않아 본고에서는 기존의 초음파 유도하 스테로이드 주사 효과에 대해 다루려 한다.

손목터널 내 스테로이드 주사는 경증에서 중등도의 손목터널증후군에서 가장 널리 사용되는 보존적 치료 중 하나로 수십년 동안 단기 효능에서 위약, 보조기 또는 경구 약물보다 우수한 치료로 입증되었다[4-6]. 많은 연구에서 손목터널증후군 치료를 위한 스테로이드 국소주사의 효과를 평가했으며 통증과 손 기능의 임상적 개선을 보여주었다. 그러나 6개월 이상 장기 효능은 불분명하다[7]. 스테로이드 국소주사는 정중신경 및 주변 구조의 부종이나 염증을 줄이는 작용을 한다. 1차 클리닉에서 모집된 234명의 참가자를 대상으로 한 무작위 대조연구에서 손목에 20 mg 메틸프레드니솔론을 한 번 주사하면 보스틴손목터널 설문지 점수에 따라 야행성 손목 보조기 보다 훨씬 더 통증과 기능이 개선됨을 보였다[4]. 이러한 개선은 6주 및 6개월 동안 지속되었다. 스테로이드 국소주사의 최소 유효용량과 관련하여 56명의 환자를 대상으로 한 무작위 대조연구에서 10 mg 또는 40 mg의 트리암시놀론이 12주 추적 조사결과 통증 완화, 전기 생리학 및 보스틴손목터널 설문지 점수에서 동등한 개선을 나타내었다[8].

초음파 유도 하에 주사를 시행하게 되면 타겟이 되는 정중신경과 주위 힘줄, 혈관에 대한 손상을 방지하면서 주사하는 동안 실시간으로 바늘의 위치를 조정할 수 있다는 장점이 있다. 해부지표를 이용한 주사의 정확도는 82~100%까지 보고된 바 있지만 대규모 샘플연구에서는 이보다 낮은 75.7%의 정확도를 보였다[9]. 또한 맹검주사에서는 골괴사증, 힘줄 파열, 신경혈관 손상, 괴저 등 다양한 주요 합병증과 경미한 합병증이 보고되었다[10-13]. 초음파의 실시간 모니터링 기능은 바늘이 손목터널에 주입하는 동안 주변 조직을 명확하게 시각화하여 손상을 방지한다. 또한 시술자가 주사바늘의 진행 상황을 보면서 정중신경과 바늘 사이의 거리를 조정하여 가능한 타겟에 가깝게 접근할 수 있다[14,15]. 연구에 따르면 초음파 유도 하에서 바늘 끝의 위치는 치료효과에 상당한 영향을 미치는 것으로 보이며, 이는 바늘을 초음파 화면의 가운데에 정확하게 배치하는 것이 중요함을 나타낸다. 이러한 사실은 초음파 유도 주사에서 증상 완화 및 기능 회복의 더 나은 개선으로 이어질 수 있다[16]. 한편, in-plane 접근법으로 손목터널 내에 주사

를 삽입할 때는 척골 측(ulnar side)에서 접근하는 것을 주로 권유한다. 척골 측에서 접근하는 것이 더 쉬우며 요골 측에서 접근 시 요측수근굴근(flexor carpi radialis, FCR) 힘줄손상 가능성이 높기 때문이다(Fig. 1) [17].

손목터널증후군에서 초음파 유도 및 맹검 스테로이드 주사의 효과를 비교한 최초의 인체 대상 코호트 종단연구는 Evers 등[18]에 의해 발표되었다. 이 연구에서 초음파 유도 주사는 맹검주사보다 우월한 효과를 보였으며, 초음파 유도 주사가 해부지표 맹검주사보다 재치료 및 의뢰 수술의 위험이 유의하게 낮았다고 보고하였다(각각 재치료를 55% vs 72%, 참조 수술 비율 44% vs 64%). 2021년 Wang 등[19]의 메타분석 연구에 의하면 초음파 유도하 스테로이드 주사는 해부지표를 이용한 맹검주사에 비해 증상의 호전, 기능의 향상, 전기진단검사 지표(복합근육활동전위) 향상 및 부작용의 감소를 보였다. 또한 in-plane 접근법이 out-of-plane 접근법보다 나은 결과를 보였다. 이 연구는 1) 손목터널증후군에 임상적으로 부합하고 전기진단검사서 확진된 경우, 2) 초음파 유도하 및 맹검 스테로이드 주사효과를 비교한 무작위 대조연구, 3) 통증 및 기능평가로 보스틴손목터널 설문지를 사용한 경우, 전기진단검사 결과, 부작용 중 적어도 하나를 보고한 경우 기준을 모두 충족한 9개의 논문을 대상으로 분석하였다[20]. 하위그룹 분석에서 초음파 유도하 주사가 해부지표 맹검주사보다 in-plane 접근법에서 훨씬 더 나은 복합근육활동전위를 나타내었지만 out-of-plane 접근법에서는 그렇지 않은 것으로 나타났다. Lee 등[15]은 손목터널증후군 환자를 대상으로 척골 측 초음파 유도 국소 주사의 “in-plane 접근법” 대 “out-of-plane 접근법”의 임상적 효능을 비교한 결과, in-plane 접근법이 out-of-plane 접근법보다 우월함을 발견하였다. 척골



Fig. 1. Axial ultrasound image of carpal tunnel. This is an image of the right hand viewed from the distal part. A needle approach from the radial side can damage the flexor carpi radialis. FCR: flexor carpi radialis, S: scaphoid, M: median nerve.

측에서 In-plane 접근법에 의해 제공되는 전체 단면영상은 정확한 신경주위 주입을 위해 정중신경 주변의 모든 손목 내용물을 시각화한다[15,21]. 본 메타분석 연구에서 초음파 유도 군의 부작용 발생률이 맹검군의 그것보다 상당히 낮았다(20% vs. 45%). 이전에는 초음파 유도하 주사와 맹검 주사의 부작용에 대한 메타분석 연구가 없어 의미 있는 결과라 할 수 있다. 다만, 치료를 요하지 않는 부작용이 다수 포함되어 부작용 비율이 통상적으로 알려진 것보다 너무 높아 결과의 해석에서는 주의가 필요하다. Wang 등[19]의 연구가 발표되기 이전인 2018년에 Babaei-Ghazani 등[22]은 손목터널증후군에 대한 초음파 유도와 해부지표를 이용한 맹검 주사의 국소 스테로이드 주사효과를 비교한 메타분석 연구를 수행하였다. 메타분석 결과에 따르면 초음파 유도 접근법은 증상을 개선하는 데 맹검주사보다 더 나은 결과를 보였다. 하지만, 두 방법 사이에 기능적 상태나 전기 진단검사 지표에서 유의미한 차이는 발견되지 않았다고 하였다. 이 연구에서는 2017년 2월 이전에는 3개의 무작위 대조연구만 포함되었다.

2. 손목터널증후군 진단방법으로의 초음파 검사 (ultrasound for diagnosis of carpal tunnel syndrome)

잘 알려진 유병률과 임상양상에도 불구하고 손목터널증후군에 대한 최선의 진단 전략은 여전히 불확실하다. 임상 병력 및 신체검사는 스크리닝에 필수적이지만 진단의 정확도는 떨어진다. 비수술적 개입이 사용되는 경우 위양성 진단이 허용될 수 있지만 침습적 치료의 경우 높은 진단 정확도가 보장되어야 한다. 보스턴손목터널 설문지처럼 검증된 설문지, 증상 척도 및 손 증상 다이어그램을 사용하여 증상 보고를 표준화할 수 있다. Kamath 및 Stothard 설문지(민감도 및 특이도 100%)와 Katz 및 Stirrat 손 증상 다이어그램과 Phalen 검사 또는 Tinel의 검사(민감도 93%, 특이도 89%)가 가장 많이 사용된다[23]. 신체 검사와 관련하여 모든 요골 손가락에 걸친 모노필라멘트 테스트는 발표된 연구에서 가장 높은 민감도를 보였고(최대 98%), 엄지두덩근 위축의 존재에 대한 확인이 가장 높은 특이성(96~100%)을 나타낸다[24]. 따라서 임상적 진단을 내릴 때 단일 임상 매개변수에 의존하지 않아야 한다. 전기진단검사는 손목터널증후군의 임상진단 후 확진진단으로 널리 사용되고 있다[25]. 전기진단검사는 손목터널을 통한 신경전도속도의 저하 및 이차 축삭손실을 측정하여 임상평가를 보완한다. 하지만 임상적으로 확진된 환자의 16~34%에서 위음성 및 위양성결과를 보이고 변수가 다양하여 연구 간의 비교를 어렵게 한다.

손목터널증후군 진단의 대안으로 초음파 검사가 가장 많이 제안된다. 초음파 검사는 검사과정이 비교적 용이하고,

환자에 통증 및 불편감이 없을 뿐 아니라 영상에서 신경 및 신경주위 변화를 감지할 수 있는 능력이 입증되었다[26,27]. 여러 연구에서 초음파로 측정된 정중신경의 단면적이 손목터널증후군 진단에서 가장 예측력이 뛰어나고 재현가능한 측정이라는 주장이 있지만 이에 대한 합의는 아직 부족한 실정이다[28,29]. 초음파의 고주파 linear array 탐색자는 정중신경 및 주변 구조의 형태학적 세부 정보를 제공한다. 신경 모양, 크기, 에코음영의 강도 및 신경내 혈류의 변화를 관찰할 수 있다. 신경은 종종 압축 부위에서 편평해지고 이 지점까지 근위 및 원위로 팽창한다[30]. 2018년 Torres-Costoso 등[31]에 의해 수행된 메타분석 연구(8007개 손목대상, 28개 연구포함)에 의하면 초음파로 손목터널증후군 진단을 위한 정중신경 단면적의 컷오프 값은 95% 신뢰구간에서 손목터널 입구 9.0~12.6 mm², 출구 9.5~10.0 mm²로 제시되었다. 또한 진단의 정확도는 손목터널 출구보다 입구에서 측정된 단면적이 다소 높았으며, 출구 및 입구 측정을 모두 적용해도 진단 정확도가 더 올라가지 않으므로 손목터널 입구에서의 단면적 측정이 손목터널진단에 가장 적합하다고 주장하였다. 메타분석 연구 결과로 판단한다면 손목터널증후군에 대한 초음파 검사는 높은 민감도와 특이성을 보여주기 때문에 지속적인 사용이 권장된다고 할 수 있다. 초음파 검사가 더 일반화되고 표준화된다면 향후 전기진단검사는 정중신경 축삭손실이 의심되거나 전기진단학적으로 감별진단이 필요한 경우로만 검사의 범위가 축소될 수도 있겠다.

3. 손목터널증후군에서 탄성초음파의 적용(application of sonoelastography in carpal tunnel syndrome)

탄성초음파영상 B-mode 초음파를 통해 얻을 수 있는 조직형태와 혈관분포 외에 조직 강도의 정보를 제공한다. 탄성초음파에는 shear wave 탄성초음파와 strain 탄성초음파가 있다. 이 중 shear wave 탄성초음파가 손목터널증후군에서 정중신경병리를 정량화하는 수단으로 부상하였다. Shear wave 탄성초음파 영상은 strain 탄성초음파보다 증가된 정중신경 경직을 감지하는 데 더 민감하다[32]. 탄성초음파의 장점은 손상된 조직의 기계적 특성 변화를 더 잘 인식할 수 있다는 것이다. 말초신경평가를 위한 탄성초음파의 사용은 새로운 접근 방식으로 간주되며 여러 연구에서 그 신뢰성이 검증되었다[33,34].

손목터널 입구에서 정중신경 단면적의 정량화는 가장 일반적으로 사용되는 초음파 매개변수이지만 최근 몇 년 동안 손목터널증후군 환자의 탄성초음파 적용에 대한 연구가 증가하였다[35-38]. 2019년 Lin 등[39]이 1,401개의 손목을 포함하는 17개의 연구를 대상으로 메타분석 연구를 시행한 바 있다. 이 메타분석에서 사용된 탄성초음파의 촬영 모드

와 관계없이 손목터널증후군환자에서의 정중신경이 일관되게 더 경화되어 있음을 보여준다. B-mode 초음파와 비교 시 손목터널증후군에 대한 진단 민감도가 더 높다고 하였다. 이 연구의 또 다른 주요 결과는 탄성초음파가 손목터널증후군의 중증도를 평가할 수 있다는 것이다. 정중신경의 단면적은 손목터널증후군 진단에 가장 일반적으로 사용되는 초음파 매개 변수이지만 질병의 중증도를 예측하는 능력은 제한적이다. 즉, 일반 B-mode 초음파 영상에서는 중증의 손목터널증후군에서 상당한 축삭손실이 있으면 경증의 손목터널증후군에서 보다 오히려 단면적이 더 작게 측정될 수 있다[40].

손목터널증후군 진단에서 탄성초음파의 효용성에 대한 잠재력은 뛰어나지만 스캐닝 프로토콜과 다양한 초음파 기계의 기술적 특징의 차이로 인해 탄성초음파의 유용성에 대한 합의가 여전히 부족한 상태이다. 탄성초음파의 진단 성능을 더 조사하고 정량화할 다양한 매개변수에 대한 최상의 컷오프 값을 설정하기 위해서는 향후 더 많은 연구가 필요하다.

결 론

지금까지 손목터널증후군에 대한 초음파의 가치를 유도 하 주사, 진단적 검사, 탄성초음파의 관점에서 살펴보았다. 아직 더 연구가 필요하지만 메타분석 연구의 결과를 고찰해 보는 것은 초음파의 가치를 객관적으로 평가하는 방법이라 생각한다. 아직까지 초음파 검사의 결과가 손목터널증후군에 대한 확진으로 인정받지는 못하고 있다. 따라서 이에 대한 더 많은 연구가 필요할 것이다. 그럼에도 신경수압팽창술, 초미세침습 인대절제술과 같이 초음파 유도 하에 이루어지는 손목터널증후군에 대한 최신 치료방법들이 발전을 거듭하고 있어 관심을 가지고 지켜볼 만하다.

REFERENCES

1. Olney RK. Carpal tunnel syndrome: complex issues with a "simple" condition. *Neurology* 2001;56:1431-32.
2. De Mueynck M, Parlevliet T, De Cock K, Vanden Bossche L, Vanderstraeten G, Ozcakar L. Musculoskeletal ultrasound for interventional physiatry. *Eur J Phys Rehabil Med* 2012;48:675-87.
3. Joines MM, Motamedi K, Seeger LL, DiFiori JP. Musculoskeletal interventional ultrasound. *Semin Musculoskelet Radiol* 2007;11:192-8.
4. Chesterton LS, Blagojevic-Bucknall M, Burton C, Dziedzic KS, Davenport G, Jowett SM, et al. The clinical and cost-effectiveness of corticosteroid injection versus night splints for carpal tunnel syndrome (INSTINCTS trial): an open-label, parallel group, randomised controlled trial. *Lancet* 2018;392:1423-33.
5. Celiker R, Arslan R, Ananc F. Corticosteroid injection vs. nonsteroidal antiinflammatory drug and splinting in carpal tunnel syndrome. *Am J Phys Med Rehabil* 2002;81: 182-6.
6. Wong SM, Hui ACF, Tang A, Ho PC, Hung LK, Wong KS, et al. Local vs systemic corticosteroids in the treatment of carpal tunnel syndrome. *Neurology* 2001;56:1565-67.
7. Huisstede BM, Randsdorp MS, van den Brink J, Franke TPC, Koes BW, Hoogvliet P. Effectiveness of oral pain medication and corticosteroid injections for carpal tunnel syndrome: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil* 2018;99:1609-22.
8. Hsu PC, Liao KK, Lin KP, Chiu JW, Wu PY, Chou CL, et al. Comparison of corticosteroid injection dosages in mild to moderate idiopathic carpal tunnel syndrome: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2020; 101:1857-64.
9. Green DP, MacKay BJ, Seiler SJ, Fry MT. Accuracy of carpal tunnel injection: a prospective evaluation of 756 patients. *Hand(N Y)* 2020;15:54-8.
10. Brinks A, Koes BW, Volkers AC, Verhaar JA, Bierma-Zeinstra SM. Adverse effects of extra-articular corticosteroid injections: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord* 2010;11:206.
11. Kaile E, Bland JDP. Safety of corticosteroid injection for carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg Eur Vol* 2018;43: 296-302.
12. Huisstede BM, Fridén J, Coert JH, Hoogvliet P, European HANDGUIDE Group. Carpal tunnel syndrome: hand surgeons, hand therapists, and physical medicine and rehabilitation physicians agree on a multidisciplinary treatment guideline—results from the European HANDGUIDE study. *Arch Phys Med Rehabil* 2014;95:2253-63.
13. Payne JM, Brault JS. Digital ischemia after carpal tunnel injection: a case report. *Arch Phys Med Rehabil* 2008;89: 1607-10.
14. Üstün N, Tok F, Yagz AE, Kizil N, Korkmaz I, Karazincir S, et al. Ultrasound-guided vs. blind steroid injections in carpal tunnel syndrome. *Am J Phys Med Rehabil* 2013;92: 999-1004.
15. Lee JY, Park Y, Park KD, Lee JK, Lim OK. Effectiveness of ultrasound-guided carpal tunnel injection using in-plane ulnar approach: a prospective, randomized, single-blinded study. *Medicine(Baltimore)* 2014;93:e350.
16. Makhlof T, Emil NS, Sibbitt WL, Fields RA, Bankhurst AD. Outcomes and cost-effectiveness of carpal tunnel injections using sonographic needle guidance. *Clin Rheumatol* 2014;33:849-58.

17. Racasan O, Dubert T. The safest location for steroid injection in the treatment of carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg Br* 2005;30:412-4.
18. Evers S, Bryan AJ, Sanders TL, Selles RW, Gelfman R, Amadio PC. The effectiveness of ultrasound-guided compared to blind steroid injections in the treatment of carpal tunnel syndrome. *Arthritis Care Res (Hoboken)* 2017;69:1060-5.
19. Wang H, Zhu Y, Wei H, Dong C. Ultrasound-guided local corticosteroid injection for carpal tunnel syndrome: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Rehabil* 2021;35:1506-17.
20. Levine DW, Simmons BP, Koris MJ, Daltroy LH, Hohl GG, Fossel AH, et al. A self-administered questionnaire for the assessment of severity of symptoms and functional status in carpal tunnel syndrome. *J Bone Joint Surg Am* 1993;75:1585-92.
21. Smith J, Wisniewski SJ, Finnoff JT, Payne JM. Sonographically guided carpal tunnel injections: the ulnar approach. *J Ultrasound Med* 2008;27:1485-90.
22. Babaei-Ghazani A, Roomizadeh P, Forogh B, Moeini-Taba SM, Abedini A, Kadkhodaie M, et al. Ultrasound-Guided Versus Landmark-Guided Local Corticosteroid Injection for Carpal Tunnel Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Arch Phys Med Rehabil* 2018;99:766-75.
23. Dabbagh A, MacDermid JC, Yong J, Macedo LG, Packham TL. Diagnosing carpal tunnel syndrome: diagnostic test accuracy of scales, questionnaires, and hand symptom diagrams—a systematic review. *J Orthop Sports Phys Ther* 2020;50:622-31.
24. Dabbagh A, MacDermid JC, Yong J, Packham TL, Macedo LG, Ghodrati M. Diagnostic accuracy of sensory and motor tests for the diagnosis of carpal tunnel syndrome: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord* 2021;22:337.
25. Nora DB, Becker J, Ehlers JA, Gomes I. Clinical features of 1039 patients with neurophysiological diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Clin Neurol Neurosurg* 2004;107:64-9.
26. Karadağ YS, Karadağ O, Çiçekli E, Oztürk S, Kiraz S, Ozbakir S, et al. Severity of carpal tunnel syndrome assessed with high frequency ultrasonography. *Rheumatol Int* 2010;30:761-5.
27. Roll SC, Case-Smith J, Evans KD. Diagnostic accuracy of ultrasonography vs. electromyography in carpal tunnel syndrome: a systematic review of literature. *Ultrasound Med Biol* 2011;37:1539-53.
28. Sarraf P, Malek M, Ghajarzadeh M, Miri S, Parhizgar E, Emami-Razavi SZ. The best cutoff point for median nerve cross sectional area at the level of carpal tunnel inlet. *Acta Med Iran* 2014;52:613-8.
29. Nakamichi K, Tachibana S. Ultrasonographic measurement of median nerve cross-sectional area in idiopathic carpal tunnel syndrome: diagnostic accuracy. *Muscle Nerve* 2002;26:798-803.
30. Hobson-Webb LD, Padua L. Ultrasound of focal neuropathies. *J Clin Neurophysiol* 2016;33:94-102.
31. Torres-Costoso A, Martínez-Vizcaino V, Álvarez-Bueno C, Ferri-Morales A, Cavero-Redondo I. Accuracy of Ultrasonography for the Diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2018;99:758-65.
32. Park EJ, Hahn S, Yi J, Shin KJ, Lee Y, Lee HJ. Comparison of the diagnostic performance of strain elastography and shear wave elastography for the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *J Ultrasound Med* 2021;40:1011-21.
33. Aslan A, Aktan A, Aslan M, Gulseren Y, Kabaalioglu A. Shear wave and strain elastographic features of the brachial plexus in healthy adults: Reliability of the findings—A pilot study. *J Ultrasound Med* 2018;37:2353-62.
34. Zhu B, Yan F, He Y, Wang L, Xiang X, Tang Y, et al. Evaluation of the healthy median nerve elasticity: Feasibility and reliability of shear wave elastography. *Medicine (Baltimore)* 2018;97:e12956.
35. Orman G, Ozben S, Huseyinoglu N, Duymus M, Orman KG. Ultrasound elastographic evaluation in the diagnosis of carpal tunnel syndrome: Initial findings. *Ultrasound Med Biol* 2013;39:1184-9.
36. Kantarci F, Ustabasioglu FE, Delil S, Olgun DC, Korkmaz B, Dikici AS, et al. Median nerve stiffness measurement by shear wave elastography: A potential sonographic method in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Eur Radiol* 2014;24:434-40.
37. 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;270:481-6.
38. Klausner AS, Miyamoto H, Martinoli C, Tagliafico AS, Szantkay J, Feuchtner G, et al. Sonoelastographic findings of carpal tunnel injection. *Ultraschall in Med* 2015;36:618-22.
39. Lin CP, Chen IJ, Chang KV, Wu WT, Özçakar L. Utility of Ultrasound Elastography in Evaluation of Carpal Tunnel Syndrome: A Systematic Review and Meta-analysis. *Ultrasound Med Biol* 2019;45:2855-65.
40. Shen J, Cartwright MS. Neuromuscular ultrasound in the assessment of polyneuropathies and motor neuron disease. *J Clin Neurophysiol* 2016;33:86-93.