

손목터널증후군에 대한 초음파 유도하 신경박리술

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

이 상 철

Ultrasound-Guided Nerve Hydrodissection for Carpal Tunnel Syndrome

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 the most common entrapment neuropathy. Treatment for carpal tunnel syndrome varies according to the severity of the disease, ranging from conservative treatment to surgical intervention. Conservative treatments such as steroid injection within carpal tunnel are helpful for most patients with mild to moderate carpal tunnel syndrome. However, in the case of the most commonly used steroid injection, the effect is short or limited within 6 months. In this paper, I will review ultrasound-guided nerve hydrodissection for carpal tunnel syndrome, which has recently attracted attention. (Clinical Pain 2023;22:82-87)

Key Words: Carpal tunnel syndrome, Entrapment, Nerve hydrodissection, Ultrasound, Ultrasound-guided

서 론

손목터널증후군은 가장 흔한 포착성 신경병증으로 알려져 있다. 손목터널증후군의 유병률은 사용된 진단 기준에 따라 다르지만 1~5%로 보고되며 전기진단검사 기준에 근거한 추정치는 임상 기준에 근거한 추정치보다 낮게 보고된다.¹ 가장 많이 발병하는 연령은 45세에서 54세이며 여성이 남성보다 손목터널증후군에 걸릴 확률이 3배 더 높다.² 손목터널증후군에 대한 직업 관련성이 알려져 있으며, 생산 근로자(production worker), 자재 운반자(material mover) 및 사무실 관리직원(office administrative staff)에서 많이 발생한다. 손목터널의 해부학적 지표는 지붕을 이루는 가로손목인대(trans carpal ligament/flexor retinaculum)와 바닥을 이루는 손목뼈(carpal bone)이다. 손목뼈는 근위부의 scaphoid, trapezium, lunate, pisiform과 원위부의 trapezium, trapezoid, capitate, hamate로 구성된다.³ 손목터널증후군의 원인은 다양하지만 손목터널 내에서 정중신경의 포착(entrapment)으로 정의할 수 있다. 기계적 손상, 외상성, 염증성 또는 호르몬 영향을 통해 손목터널 내 압력 증

가를 유발할 수 있는 상태가 손목터널증후군의 위험요소이다. 이러한 상태에는 당뇨병, 폐경기, 갑상선 기능저하증, 비만, 관절염 및 임신이 포함된다.¹

잘 알려진 임상증상에도 불구하고 손목터널증후군에 대한 최선의 진단 전략은 여전히 불확실하다. 임상병력 및 신체검사는 스크리닝에 필수적이지만 진단 정확도는 다양하게 보고된다. 검증된 설문지, 증상 척도 및 수부증상에 대한 자가보고설문지(예: Boston Carpal Tunnel Questionnaire [BCTQ])를 사용하여 증상 보고를 표준화할 수 있다. BCTQ는 증상 척도(symptom severity scale, SSS)와 기능 상태 척도(functional status scale, FSS)로 구성된다. 스크리닝 방법 중 Kamath 및 Stothard 설문지(민감도 및 특이도 100%)와 Katz 및 Stirrat 수부 증상다이아그램과 Phalen test 또는 Tinel sign (민감도 93%, 특이도 89%)이 많이 사용된다.⁴ 신체검사와 관련하여 Semmes-Weinstein monofilament test가 가장 높은 민감도를 보였지만(최대 98%), 악력(94%), 핀치 강도(78~95%) 및 엄지두덩근(thenar muscle) 위축의 존재에 대한 테스트(96~100%)가 가장 높은 특이성을 나타낸다.⁵⁻⁷ 따라서 임상적 진단을 내릴 때 단일 임상 매개변수에 의존하지 않는 것이 좋다. 전기진단검사는 손목터널을 통한 신경전도속도의 저하 및 이차 축삭손실을 측정하여 임상평가를 보완한다. 전기진단검사는 정량적 데이터를 제공함으로써 임상적 진단을 넘어 추가적으로 진단적 확실성을 부여한다. 검사가 정상이면 임상적 민감도(80~90%)와 특이도(> 95%)가 높은 비교분절검사(comparative and segmental tests)를 수행하는 것이 바람직하다.

<https://doi.org/10.35827/cp.2023.22.2.82>

접수일: 2023년 12월 2일, 게재승인일: 2023년 12월 5일

책임저자: 이상철, 서울특별시 서대문구 연세로 50-1

☎ 03722, 연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

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

E-mail: bettertomo@yuhs.ac

전기진단검사 외에 지난 20년 동안 초음파 검사가 손목터널증후군을 평가하는 데 점점 더 중요한 역할을 하고 있다. 정중신경은 종종 포착부위에서 편평해지고 이 지점 근위 및 원위부에서는 팽창한다.⁸ 손목터널입구(carpal tunnel inlet)에서 정중신경의 단면적 측정이 손목터널증후군 진단에 일반적으로 사용된다. 최근 메타분석에서 이 접근 방식의 진단 정확도는 손목터널입구에서 정중신경 단면적 cuff-off value 범위가 9.0~12.6 mm², 출구에서 9.5~10.0 mm²로 제시되었다. 진단의 정확도는 손목터널 출구보다 입구에서 측정된 단면적이 다소 높았으며, 출구 및 입구 측정을 모두 적용해도 진단 정확도가 더 올라가지 않아 손목터널 입구에서의 단면적 측정이 손목터널증후군에 가장 적합하다는 보고가 있다.⁹

손목터널증후군의 가장 좋은 치료법에 대해서는 아직 논란이 있다. 보존적 치료에서 그 동안 가장 주목받은 것은 스테로이드 국소 주사와 손목 보조기 치료이다. 많은 연구에서 경도 및 중증도의 손목터널증후군에 대해 스테로이드 국소 주사의 치료효과를 평가했으며 통증과 손 기능의 임상적 개선을 보여주었다. 그러나 6개월 이상의 장기 효능은 불분명하다.¹⁰ 손목 보조기는 정중신경에 가해지는 압력을 완화하기 위해 손목을 중립적 위치나 약간 신전 상태로 고정시켜 손목 관절을 안정화함으로써 정중신경에 대한 포착을 완화한다. 일반적으로 보조기는 밤에 착용하지만 키보드 사용과 같이 손목터널증후군의 증상을 악화시킬 수 있는 활동 중에도 권장될 수 있다. 궁극적으로 환자의 예후가 좋지 않을 것으로 예상되는 경우 수술적 치료가 필요할 수 있다. American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS) 가이드라인은 손 근육 위축, 돌이킬 수 없는 정중신경 손상, 장기적인 합병증의 위험이 있는 개인에게 수술을 권장한다. 가이드라인에서는 수술 전 진단을 확정하기 위해 전기진단 검사를 권장하고 있다.¹¹ 하지만 수술 12개월 이후 장기적인 결과에 대한 추가 연구는 부족한 상태이다.¹² 또한 손목터널증후군의 증상은 환자의 3~20%에서 지속되거나 재발할 수 있으며 최대 12%에서 재수술로 이어진다.¹³ 일시적인 완화없이 지속되는 증상은 불안정한 감압으로 인해 발생할 수 있다. 해부학적 변이로 인해 정중신경을 포착하는 또 다른 부위가 있는 경우, 만성 포착성 신경병증과 관련된 비가역적 신경손상, 부정확한 수술 전 진단 등이 원인이다. 일반적으로 수술 후 6개월의 무증상 기간 뒤에 증상 재발이 신경 주위 유착(환자의 약 88%), 과도한 반흔, 가로손목인대의 재생 또는 건활막 증식과 같은 이차적 상태에 의해 발생할 수 있다. 수술 후 합병증으로는 신경손상이 53%를 차지한다.¹³ 혈관 합병증 및 방아쇠 손가락도 발생할 수 있다.¹⁴

지금까지 살펴본 바와 같이 손목터널증후군에 대한 치료

는 보존적 치료부터 외과적 개입에 이르기까지 질병의 중증도에 따라 다르다. 대부분의 경증에서 중등도 손목터널증후군 환자에게 보존적 치료가 도움이 되지만 Cochrane Review에서는 이러한 치료의 효과가 단기적이거나 제한적일 뿐이라 하였다.¹⁵ 따라서 수술 이전 단계에서 손목터널증후군에 대한 보다 효과적인 새로운 개입이 필요한 상황이다. 이에 본고에서는 최근에 주목받고 있는 신경박리술(nerve hydrodissection)에 대해 살펴보고자 한다.

본 론

1. 신경박리술(nerve hydrodissection)이란?

신경병성 통증과 관련된 신경포착은 통증의 원인일 뿐 아니라 신경의 구조적 변화를 초래하는 원인이 된다. 다양한 조건이 포착에 대한 감각신경의 민감성을 증가시킬 수 있다. 신경포착의 제거는 신경 또는 신경주위 혈관의 기능 회복으로 이어진다. 신경박리술은 원래 수술 중 절개 및 유착용해(adhesiolysis)를 용이하게 하기 위해 다량의 용액을 주입하는 방법이었다.¹⁶ Smith 등¹⁷은 손목터널증후군 환자에서 초음파 유도하 주사로 리도카인 및 스테로이드를 포함하여 다량의 주사액을 주입하는 신경박리술 개념을 제시하였다. 그들은 정중신경과 가로손목인대, 정중신경과 하부에 위치한 힘줄 사이에 용액을 주입하여 정중신경의 유착을 제거하고 증상을 감소시킬 수 있다고 제안하였다. 이처럼 신경박리술의 치료 효과는 포착된 신경을 연부조직으로부터 분리하면 유착 및 만성 신경 손상의 위험을 줄일 수 있다는 이론에 근거한다.¹⁸⁻²¹

손목터널 내에서 병적 부종과 염증으로 유발된 두꺼워진 가로손목인대가 터널 내 압력 증가의 원인이며, 이는 정중신경의 정상적인 움직임을 감소시킨다.^{22,23} 상승된 압력 및 유착으로 인해 정중신경의 움직임이 감소하면 신경병증이 가속화될 수 있다.²⁴ 일반적으로 정중신경은 손가락 굴근힘줄의 압력으로 손등 방향으로 상향하여 움직이는 데 손목터널증후군 환자에서는 이러한 보상 운동이 제한되어 가로손목인대와 신경 사이 눌림이 발생한다.²⁵ 신경과 주변 구조 사이의 밀착은 종방향 전단 응력(longitudinal shear stress)과 신경외막(epineurium) 손상을 유발할 수 있다.²⁶ 장기간 섬유화된 주변 조직에 유착되는 것은 또한 신경 허혈 손상을 유발한다.²⁷⁻²⁹ 실제로 이들 조직에서 정중신경을 분리시키면 손목터널증후군의 증상을 개선하는 것으로 나타났다.^{30,31} Evers 등³²은 또한 생리식염수를 사용한 초음파 유도하 신경박리술이 사체 손목터널 내에서 정중신경의 활주저항(sliding resistance)을 감소시킬 수 있음을 보여주었다.

손목터널증후군에서 신경박리술의 명확한 기전은 아직 밝혀지지 않았지만 주입된 주사액은 손목터널 내에서 포착

된 신경의 움직임을 원활하게 하고 정중신경의 반복적인 포착을 감소시키는 데 필요한 공간을 확보할 수 있게 해주어 혈류 촉진 및 신경전도를 향상시킨다.^{18,19,22} 신경박리술의 효과가 얼마나 오랫동안 유지되는 지도 관심 대상이다. 임상연구에서 Wu 등²⁰은 시술 후 1시간 후에 주입된 용액이 거의 흡수된다는 사실에도 불구하고 신경박리술의 치료 효과가 장시간 지속되는 것을 관찰하였다. Evers 등³² 역시 신경박리술의 효과가 오래 지속될 수 있으며 윤활제 역할을 하는 주사용액의 지속성에 전적으로 의존하지 않는다는 것을 입증하였다. 신경박리술의 기전에 대한 더 많은 연구가 필요한 것은 사실이나 초기 치료효과는 기계적인 박리에 기인하고 이후에는 신경재생 및 회복이 장기효과에 기여할 것으로 추정하고 있다.³³

손목터널증후군에 시행되는 기존의 다른 주사와 구별되는 신경박리술만의 시술 목적은 크게 두가지이다. 첫째는 시술 중 지속적으로 용액을 주입하여 정중신경을 잘 보이게 하고 주위 조직과 분리시켜 부주의로 유발되는 신경손상을 방지하는 것이고 둘째는 포착을 유발하는 연부조직의 유착 또는 압박을 제거하는 것이다.¹⁸ 하지만 신경박리술을 정의하는 것도 학자마다 달라 정확한 용어 정립이 되지 못한 상태이다. 우선 신경박리술에 필요한 최소한 주입용량이 정해져 있지 않다. 초음파 유도하 신경박리술을 시행할 때 5 mL의 생리식염수를 손목터널 내에 주입하는 것이 이상적이라는 연구도 있지만 저자가 확인한 바로는 연구마다 주입된 용량이 최소 3 mL에서 20 mL로 다양하게 사용되었다.³⁴ 저자의 견해로는 손목터널과 같이 위아래가 명확히 한정된 공간에서는 5~10 mL의 주사액을 사용하는 것이 적절하고 여타 말초신경 포착 중 비교적 많은 주사액이 주입될 여지가 있는 부위에 대해서는 20~30 mL까지 주사하는 것이 가능하다고 생각한다. 주입되는 주사액의 종류도 연구마다 모두 차이가 있어 스테로이드, 리도카인, 생리식염수, 5% 포도당액, 자가혈소판부활장 등이 모두 사용되고 있다. 따라서, 이상적인 주입액의 용량과 성분에 대한 메타분석이 필요한 상태이다.

기존의 스테로이드와 가장 대비되는 주사액 중 하나는 5% 포도당액이다. 포도당액은 스테로이드와 달리 Transient Receptor Potential Vanilloid Receptor-1 (TRPV1) 이온 채널의 하향 조절과 신경 및 신경주변 혈당감소증 교정이 기전으로 제시되고 있다.¹⁸ 과거 캡사이신 수용체라 불린 TRPV1 이온 채널의 상향 조절은 만성 신경병성 통증의 지속성과 밀접한 관련이 있다.^{35,36} 6탄소 원자 당인 만니톨은 캡사이신에 노출된 후 작열감을 감소시키는 것으로 밝혀졌으며, 이는 TRPV1 상향 조절에 대한 길항효과로 여겨진다. 또, 만성 신경병성 통증은 해당 신경 주변의 당감소증을 의미한다. 이에 포도당을 주사하면 당감소증을 즉시 교정할 수 있

고 결과적으로 신경병성 통증을 줄일 수 있다.³⁷ 뇌와 말초신경 모두 포도당에 대한 요구량이 높고 지속적으로 이를 필요로 한다. 따라서 포도당 용액 주입에 의한 당감소증의 감소는 매력적인 가설이라 할 수 있다. 다만, 10% 포도당 용액처럼 고농도의 포도당은 주입 부위에 염증을 유발할 수 있어 기보고된 5% 포도당 용액을 사용하는 것이 바람직하다.

2. 손목터널에서의 초음파 유도하 정중신경 신경박리술 (ultrasound-guided median nerve hydrodissection in carpal tunnel)

신경박리술은 초음파와 분리해서 생각하기 어려운 시술이다. 신경박리술 자체가 신경이 움직이거나 정지 상태에서 신경을 포착하거나 자극하는 인접 구조, 일반적으로 근막(fascia)에서 신경을 분리하기 위한 고해상도 초음파 유도하 주사로 정의하는 문헌도 있다.^{18,37} 실제로 초음파의 발달에 따른 해상도의 개선과 이에 따른 절차의 정확도 향상이 없었다면 신경박리술은 불가능했을 것이다. 초음파 유도하 신경박리술의 기본 과정은 바늘에 의한 말초신경 주변 조직의 박리가 아닌 주입된 주사액에 의한 박리이다. 시술자가 신경박리술 과정에서 지속적으로 주사액을 주입하고 바늘을 천천히 전진시키며 초음파 상에서 바늘의 주행을 놓치지 않는 것이 중요하다. 주사하는 동안 바늘을 천천히 전진하면 중요한 연부조직의 파괴도 최소화된다. 예를 들어, 혈관 다발은 정중신경과 평행하게 주행할 수 있다. 지속적인 주사액 분사로 주변 조직이 부드럽게 밀려날 수 있도록 하고 이에 맞추어 천천히 주사바늘을 움직여야 한다.²¹

가장 많이 소개되는 초음파 유도 방법은 초음파의 탐침자(probe)를 정중신경 주행과 수직방향으로 위치시킨 후 주사를 유도하는 방법이다. 즉 transverse view를 사용하는 것이다. 주사바늘은 손목의 척골 측에서 삽입하는 것이 선호된다 (Fig. 1).³⁴ 바늘과 초음파의 탐침자 모두 신경의 장축에 수직으로 위치시킨다. 바늘은 탐침자와 같은 평면에서 움직이는 in-plane method를 사용하여 정중신경 위와 아래의 조직 즉, 가로손목인대와 손가락 굴근 힘줄의 결합조직을 모두 분리시킬 수 있다. Transverse view에서의 신경박리술은 손목터널 내에서 타 조직과 정중신경을 명확하게 식별할 수 있기 때문에 신경손상 발생 확률이 적고 정확도를 더 높일 수 있다.¹⁷ 바늘은 먼저 바늘 베벨이 위로 위치된 상태(bevel up)에서 신경의 하부 표면에 접근하고, 바늘 베벨이 아래(bevel down)에 위치한 상태에서 신경의 상부 표면에 접근한다(Fig. 2). 베벨 방향을 이와 같이 하여야만 주사액 주입시 주변 연부조직의 저항으로 바늘이 신경방향으로 다가가 신경에 손상을 입히는 것을 방지할 수 있다.³⁸

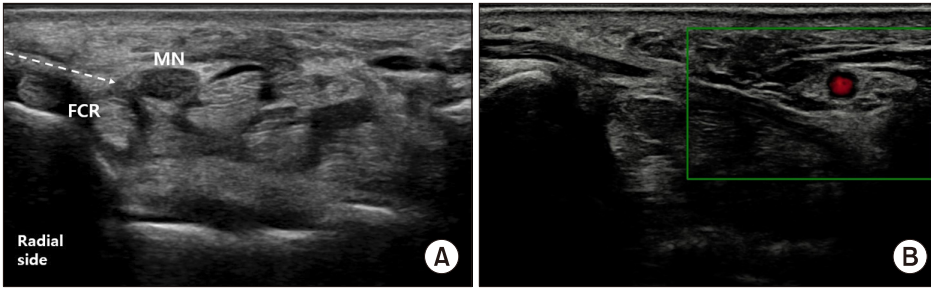


Fig. 1. In-plane ultrasound injection. A needle approach from the ulnar side is preferred. This is because there is a possibility of damage to the FCR tendon when approaching from the radial side (A). However, caution is needed for the ulnar artery and nerve on the ulnar side as well (B). FCR: flexor carpi radialis, MN: median nerve.

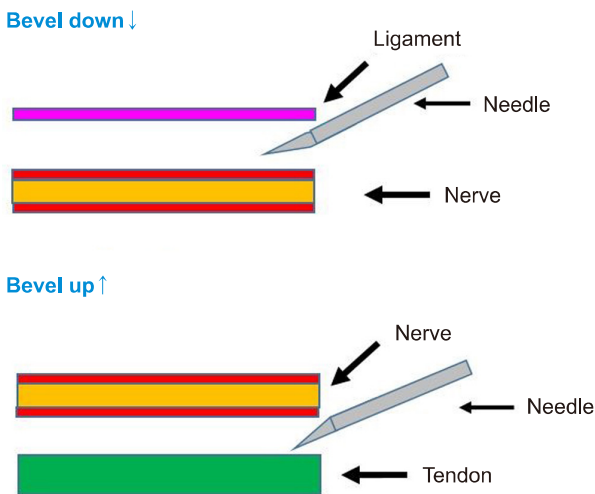


Fig. 2. The direction of the bevel during injection. The needle first approaches the lower surface of the nerve with the needle bevel up and then approaches the upper surface of the nerve with the needle bevel down. Positioning the bevel in this way reduces damage to the nerve.

Longitudinal view를 이용하여 신경박리술을 시행할 수도 있다. 정중신경의 주행과 평행하게 탐침자를 위치시킨 뒤 원위부로부터 정중신경과 가로손목인대 사이로 바늘을 주입하는 방법이다. 이 경우 정중신경의 포착된 부위를 더 잘 확인하며 시술할 수 있는 장점이 있다. 하지만 longitudinal view에서 신경박리술을 시행하면 정중신경 아래 쪽으로는 박리를 시킬 수 없어 결국 transverse view를 병행하여야 한다. 베벨 방향, 지속적인 바늘 끝(needle tip) 관찰, 느린 바늘 전진 외에도 환자가 절차 중에 느끼는 불편감에 대해 시술자와 지속적으로 대화하는 것이 안전성을 향상시킨다. 신경을 바늘로 직접 건드릴 때 외에도 신경이 주변 연부조직에서 박리될 때 특히 근막이 이완되는 순간에 환자는 통증, 무감각, 화끈거림 또는 신경 분포의 경련을 경험할 수 있다. 따라서 이를 환자에게 미리 설명해야 불필요한 오해와 환자의 불안을 줄일 수 있다. 신경박리술의 성공여부는

정중신경이 초음파에서 타원형으로 보이고 주사액이 정중신경을 무에코 영역으로 둘러싸는 것으로 확인할 수 있다.³⁹

아직 더 연구가 필요하지만 초음파 유도하 신경박리술은 매우 안전한 시술로 여겨진다. 실제 주의사항을 잘 지키면 정중신경을 바늘로 손상 입히는 경우가 많지 않고, 설령 있다하더라도 특별한 조치없이 단기간에 회복되는 가벼운 손상이 대부분이다. 그럼에도 불구하고 신경박리술의 테크닉은 초보자가 수행하기에는 높은 난이도의 시술이어서 초음파 유도하 주사에 대한 많은 경험이 있는 시술자에 의해 행해지는 것이 바람직하며 처음 시행하는 초보자는 관련 기술을 완전히 숙지하고 많은 연습을 거쳐 시행하여야 한다.

결론

지금까지 최근 손목터널증후군의 새로운 보존적 치료로 각광받고 있는 신경박리술에 대해 알아보았다. 특히 5% 포도당액을 사용하여 신경박리술을 시행하는 것이 손목터널 내 스테로이드 주사에 좋은 대안이 될 수 있을 것이다. 신경박리술은 초음파 유도하에서 시행하는 것이 바람직하다. 지금까지의 연구 결과는 신경박리술이 손목터널증후군에서 안전하고 효과적인 치료임을 보여준다. 하지만 여전히 사용되는 주사제의 종류와 효과적인 용량에 대해 충분한 연구가 이루어지지 않아 초음파 유도하 신경박리술에 대한 추가 연구가 더 필요할 것으로 보인다.

REFERENCES

1. Padua L, Coraci D, Erra C, Pazzaglia C, Paolasso I, Loreti C, et al. Carpal tunnel syndrome: clinical features, diagnosis, and management. *Lancet Neurol* 2016;15:1273-84.
2. McDiarmid M, Oliver M, Ruser J, Gucer P. Male and female rate differences in carpal tunnel syndrome injuries: personal attributes or job tasks? *Environ Res* 2000;83:23-32.

3. Srinivas Reddy R, Compson J. Examination of the wrist—surface anatomy of the carpal bones. *Curr Orthop* 2005;19:171-9.
4. 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.
5. Atroshi I, Gummesson C, Johnsson R, Ornstein E, Ranstam J, Rosén I. Prevalence of carpal tunnel syndrome in a general population. *JAMA* 1999;282:153-8.
6. Donnelly JP, Hanna M, Sperry BW, Seitz Jr WH. Carpal tunnel syndrome: a potential early, red-flag sign of amyloidosis. *J Hand Surg Am* 2019;44:868-76.
7. 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.
8. Hobson-Webb LD, Padua L. Ultrasound of focal neuropathies. *J Clin Neurophysiol* 2016;33:94-102.
9. 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.
10. 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.
11. Joshi A, Patel K, Mohamed A, Oak S, Zhang MH, Hsiung H, et al. Carpal Tunnel Syndrome: Pathophysiology and Comprehensive Guidelines for Clinical Evaluation and Treatment. *Cureus* 2022;14:e27053.
12. Bobos P, Lalone EA, Warren L, MacDermid JC. Comparison of the short-term and long-term effects of surgery and non-surgical intervention in treating carpal tunnel syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Hand (N Y)* 2020;15:13-22.
13. Lauder A, Mithani S, Leversedge FJ. Management of recalcitrant carpal tunnel syndrome. *J Am Acad Orthop Surg* 2019;27:551-62.
14. Lin FY, Wu CI, Cheng HT. Coincidence or complication? A systematic review of trigger digit after carpal tunnel release. *J Plast Surg Hand Surg* 2018;52:67-73.
15. O'Connor D, Marshall S, Massy-Westropp N. Non-surgical treatment (other than steroid injection) for carpal tunnel syndrome. *Cochrane Database Syst Rev* 2003:CD003219.
16. Lee SJ, Choyke LT, Locklin JK, Wood BJ. Use of hydrodissection to prevent nerve and muscular damage during radiofrequency ablation of kidney tumors. *J Vasc Intervent Radiol* 2006;17:1967-9.
17. Smith J, Wisniewski SJ, Finnoff JT, Payne JM. Sonographically guided carpal tunnel injections: the ulnar approach. *J Ultrasound Med* 2008;27:1485-90.
18. Cass SP. Ultrasound-guided nerve hydrodissection: What is it? A review of the literature. *Curr Sports Med Rep* 2016;15:20-2.
19. Wu YT, Ho TY, Chou YC, Ke MJ, Li TY, Huang GS, et al. Six-month efficacy of platelet-rich plasma for carpal tunnel syndrome: a prospective randomized, single-blind controlled trial. *Sci Rep* 2017;7:94.
20. Wu YT, Ho TY, Chou YC, Ke MJ, Li TY, Tsai CK, et al. Six-month efficacy of perineural dextrose for carpal tunnel syndrome: a prospective, randomized, double-blind, controlled trial. *Mayo Clin Proc* 2017;92:1179-89.
21. Lam SKH, Reeves KD, Cheng AL. Transition from deep regional blocks toward deep nerve hydrodissection in the upper body and torso: method description and results from a retrospective chart review of the analgesic effect of 5% dextrose water as the primary hydrodissection injectate to enhance safety. *Biomed Res Int* 2017;2017:7920438.
22. Ettema AM, Amadio PC, Zhao C, Wold LE, An KN. A histological and immunohistochemical study of the sub-synovial connective tissue in idiopathic carpal tunnel syndrome. *J Bone Joint Surg Am* 2004;86-A:1458-66.
23. Tat J, Wilson KE, Keir PJ. Pathological changes in the sub-synovial connective tissue increase with self-reported carpal tunnel syndrome symptoms. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2015;30:360-5.
24. Bland JDP. Hydrodissection for treatment of carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve* 2018;57:4-5.
25. Schrier VJMM, Brault JS, Amadio PC. Ultrasound-Guided Hydrodissection With Corticosteroid Injection in the Treatment of Carpal Tunnel Syndrome: A Pilot Study. *J Ultrasound Med* 2020;39:1759-68.
26. Hunter J. Recurrent carpal tunnel syndrome, epineural fibrous fixation, and traction neuropathy. *Hand Clin* 1991;7:491-504.
27. Wang Y, Filius A, Zhao C, Pässe SM, Thoreson AR, An KN, et al. Altered median nerve deformation and transverse displacement during wrist movement in patients with carpal tunnel syndrome. *Acad Radiol* 2014;21:472-80.
28. van Doesburg MH, Henderson J, Mink van der Molen AB, An KN, Amadio PC. Transverse plane tendon and median nerve motion in the carpal tunnel: ultrasound comparison of carpal tunnel syndrome patients and healthy volunteers. *PLoS One* 2012;7:e37081.
29. Filius A, Scheltens M, Bosch HG, van Doorn PA, Stam HJ, Hovius SE, et al. Multidimensional ultrasound imaging of

- the wrist: changes of shape and displacement of the median nerve and tendons in carpal tunnel syndrome. *J Orthopaed Res* 2015;33:1332-40.
30. Kim SD. Efficacy of tendon and nerve gliding exercises for carpal tunnel syndrome: a systematic review of randomized controlled trials. *J Phys Ther Sci* 2015;27:2645-8.
 31. Page MJ, O'Connor D, Pitt V, Massy-Westropp N. Exercise and mobilization interventions for carpal tunnel syndrome. *Cochrane Database Syst Rev* 2012;6:CD009899.
 32. Evers S, Thoreson AR, Smith J, Zhao C, Geske JR, Amadio PC. Ultrasound-guided hydrodissection decreases gliding resistance of the median nerve within the carpal tunnel. *Muscle Nerve* 2018;57:25-32.
 33. Wu YT, Chen SR, Li TY, Ho TY, Shen YP, Tsai CK, et al. Nerve hydrodissection for carpal tunnel syndrome: A prospective, randomized, double-blind, controlled trial. *Muscle Nerve* 2019;59:174-80.
 34. Chen SR, Ho TY, Shen YP, Li TY, Su YC, Lam KHS, et al. Comparison of short- and long-axis nerve hydrodissection for carpal tunnel syndrome: A prospective randomized, single-blind trial. *Int J Med Sci* 2021;18:3488-97.
 35. Malek N, Pajak A, Kolosowska N, Kucharczyk M, Starowicz K. The importance of TRPV1-sensitisation factors for the development of neuropathic pain. *Mol Cell Neurosci* 2015;65:1-10.
 36. Szolcsányi JLSZ, Sándor Z. Multimeric TRPV1 nociceptor: a target for analgesics. *Trends Pharmacol Sci* 2012;33:646-55.
 37. Andreone BJ, Lacoste B, Gu C. Neuronal and vascular interactions. *Annu Rev Neurosci* 2015;38:25-46.
 38. Misra S, Reed KB, Schafer BW, Ramesh KT, Okamura AM. Mechanics of flexible needles robotically steered through soft tissue. *Int J Rob Res* 2010;29:1640-60.
 39. Lam KHS, Hung CY, Chiang YP, Onishi K, Su DCJ, Clark TB, et al. Ultrasound-Guided Nerve Hydrodissection for Pain Management: Rationale, Methods, Current Literature, and Theoretical Mechanisms. *Pain Res* 2020;13:1957-68.