

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ENFERMERÍA, FISIOTERAPIA Y PODOLOGÍA



TESIS DOCTORAL

Evaluación y tratamiento de la mecanosensibilidad del nervio
radial en pacientes con dolor lateral de codo

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Daniel Albert Lucena

DIRIGIDA POR

Gustavo Plaza Manzano

Marcos José Navarro Santana

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ENFERMERÍA, FISIOTERAPIA Y PODOLOGÍA



TESIS DOCTORAL

Evaluación y tratamiento de la mecanosensibilidad del nervio radial en pacientes con dolor lateral de codo

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Daniel Albert Lucena

DOCTORADO EN CUIDADOS EN SALUD

Directores

Prof. Dr. Gustavo Plaza Manzano

Prof. Dr. Marcos José Navarro Santana

Madrid, 2024

“No existen preguntas sin respuesta, solo preguntas mal formuladas”

Matrix (1999)

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es fruto de un largo recorrido donde han ocurrido muchos sucesos y se han experimentado muchas emociones. Voy a tratar de resumir parte del agradecimiento en este texto, pero sé que me quedaría corto.

En primer lugar, quiero dar las gracias a mis directores de tesis. Por un lado, al Dr. Gustavo Plaza Manzano, por ser un referente en la fisioterapia y por inocular a través de todos estos años el virus de la investigación en mi persona. Por tu sabiduría, tu rigor y tu dedicación con este proyecto, gracias. Por otro lado, agradecer al Dr. Marcos José Navarro Santana su dedicación, su compromiso y su empatía. Ya nos conocíamos antes de este proyecto, pero he descubierto una persona que me ha marcado, tanto en lo profesional como en lo personal. Un orgullo poder seguir tus pasos. Simplemente, gracias.

Me gustaría seguir agradeciendo a compañeros de profesión que han sumado su granito de arena a este proyecto, aunque ellos no lo sepan. A Guido, Ángel, Nacho, Juan Antonio y Pilar, muchas gracias por ser referentes futuros en nuestra ciencia y por la gran esfera personal que tenéis. También quiero agradecer a José Luis Arias Buría, dirigiéndome hacia su persona: “desde que hice las prácticas en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón en el año 2013 y estuve bajo tu tutela, puedo afirmar que eres la persona que me hizo creer en la fisioterapia y en ponerle más rigor científico a lo que hacíamos. Eternamente agradecido y feliz de poder compartir profesión contigo. Muchas Gracias”.

A Dimas, Santi, Iván y todo el grupo, muchas gracias por estar ahí y aportar a la vida el adjetivo de “divertida”. Por seguir sumando experiencias.

A Javi, Luison y Teresa, por ser personas maravillosas de las que rodearse y seguir creciendo.

A Mario, por ser algo más que un amigo desde que comenzamos la carrera.

A Juan, por ser como un “héroe” para mí.

A Fran, mi mejor amigo, mi hermano de otra madre. Por seguir creciendo juntos y que ambos lo veamos.

A Bea, Paco, Rodrigo y Jezabel, por ser mi segunda familia y cuidarme como si tuviésemos la misma sangre.

A mi abuelo Luis porque sé que esto le enorgullece más que cualquier otra cosa.

A mis padres y mi hermana, por ser el núcleo que me ha permitido crecer y vivir. No os he elegido, pero os elegiría en mil vidas más. Siempre juntos, podemos con todo.

A todos los participantes de este estudio y su contribución a que la ciencia avance, sin vosotros esto no sería posible.

A la Universidad Complutense de Madrid por permitirme el espacio y el material para poder realizar mi proyecto.

Por último, y por supuesto no menos importante, a mi otra mitad. Gracias a ti he descubierto sentimientos que no sabía que podía desarrollar. Por apoyarme más que nadie y por creer en mí más que yo mismo. Por aguantarme y entenderme. Gracias por elegirme, Marina.



ÍNDICE

ÍNDICE.....	- 13 -
ÍNDICE DE FIGURAS.....	- 15 -
ÍNDICE DE TABLAS	- 16 -
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	- 17 -
RESUMEN	- 19 -
ABSTRACT.....	- 21 -
1. INTRODUCCIÓN	- 25 -
1.1 TERMINOLOGÍA RELACIONADA CON EL DOLOR LATERAL DE CODO	- 27 -
1.2 EPIDEMIOLOGÍA.....	- 29 -
1.3 CURSO CLÍNICO Y FACTORES DE RIESGO	- 30 -
1.4 FISIOPATOLOGÍA	- 31 -
1.5 EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO	- 35 -
1.5.1 Exploración física del dolor lateral de codo	- 35 -
1.5.2 Escalas e instrumentos de valoración	- 36 -
1.5.3 La influencia del nervio radial en el dolor lateral de codo	- 38 -
1.5.4 Test neurodinámicos del miembro superior.....	- 42 -
1.5.4.1 Tipos.....	- 44 -
1.5.4.2 Criterios.....	- 44 -
1.6 TRATAMIENTOS.....	- 46 -
1.6.1 Estimulación eléctrica nerviosa percutánea	- 47 -
2. JUSTIFICACIÓN	- 53 -
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	- 57 -
3.1 HIPÓTESIS DEL ESTUDIO.....	- 59 -
3.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO	- 59 -
3.2.1 Objetivo principal.....	- 59 -
3.2.2 Objetivos secundarios.....	- 59 -



4. RESULTADOS.....	- 61 -
4.1 PUBLICACIÓN 1.....	- 67 -
4.2 PUBLICACIÓN 2.....	- 83 -
5. DISCUSIÓN	- 99 -
5.1 EVALUACIÓN	- 101 -
5.2 TRATAMIENTO	- 105 -
5.3 IMPLICACIONES CLÍNICAS DEL ESTUDIO	- 110 -
5.4 LIMITACIONES	- 112 -
6. CONCLUSIONES	- 115 -
7. BIBLIOGRAFÍA	- 119 -
8. ANEXOS	- 143 -
ANEXO I. DECLARACIÓN STROBE: LISTA DE VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUE DEBEN INCLUIRSE EN LOS INFORMES DE ESTUDIOS OBSERVACIONALES.	- 145 -
ANEXO II. DECLARACIÓN CONSORT 2010. LISTA DE VERIFICACIÓN DE CONSORT 2010 DE INFORMACIÓN PARA INCLUIR AL INFORMAR UN ENSAYO ALEATORIZADO.	- 148 -
ANEXO III. HOJA DE INFORMACIÓN SOBRE EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO Nº1.	- 151 -
ANEXO IV. HOJA DE INFORMACIÓN SOBRE EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DEL ESTUDIO Nº2.	- 153 -
ANEXO V. CONSENTIMIENTO INFORMADO POR ESCRITO.	- 156 -
ANEXO VI. HOJAS DE RECOGIDA DE DATOS DEL ESTUDIO Nº1	- 157 -
ANEXO VII. HOJA DE RECOGIDA DE DATOS DEL ESTUDIO Nº2.	- 162 -
ANEXO VIII. REGISTRO DEL ESTUDIO EXPERIMENTAL EN CLINICALTRIALS.GOV	- 164 -



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cartografía del dolor lateral de codo (ejemplo en el lado derecho).	- 27 -
Figura 2. Terminología sobre la etiopatogenia empleada en los diferentes estudios analizados, expresada en porcentajes. Adaptado de Di Filippo et al. ⁵	- 28 -
Figura 3. Modelo integrativo multifactorial sobre la fisiopatología en el dolor lateral de codo. Adaptado de Coombes et al. ³⁸	- 33 -
Figura 4. Cinco lugares de compresión del nervio radial. ERCC: Extensor radial corto del carpo; NIP: Nervio interóseo posterior; NR: Nervio radial; RSNR: Rama superficial del nervio radial; S: Supinador. 1: Tejido fibroso; 2: Vasos recurrentes radiales; 3: Margen del ERCC; 4: Borde proximal del supinador; 5: Borde distal del supinador. Adaptada con permiso de Węgiel et al. ⁷⁶	- 40 -
Figura 5. Test neurodinámico del miembro superior (nervio radial). Ejemplo de ejecución de la técnica. A: posición de inicio. B: posición final.	- 43 -
Figura 6. Estimulación eléctrica nerviosa percutánea (EENP) ecoguiada. Ejemplo de ejecución de la técnica de tratamiento.	- 49 -



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Test neurodinámicos del miembro superior (TNMS)	- 45 -
--	--------



GLOSARIO DE ABREVIATURAS

CONSORT: CONSolidated Standard Of Reporting Trials (Título Original en inglés)

DASH: Cuestionario de discapacidades del brazo, hombro y mano – (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand [Título Original en inglés])

DMCI: Diferencia Mínima Clínicamente Importante.

EENP: Estimulación Eléctrica Nerviosa Percutánea

EENT: Estimulación Eléctrica Nerviosa Transcutánea

EVA: Escala Visual Analógica

FALD: Fuerza de Agarre Libre de Dolor

NR: Nervio Radial

NIP: Nervio Interóseo Posterior

PRTEE: Cuestionario de evaluación del codo de tenista autopercebido - (Patient-Rated Tennis Elbow Evaluation [Título Original en inglés])

STR: Síndrome del Túnel Radial

SNIP: Síndrome del Nervio Interóseo Posterior

TNMS: Test Neurodinámicos del Miembro Superior

STROBE: Strengthening The Reporting of OBServational studies in Epidemiology (Título Original en inglés)

UDP: Umbral del Dolor a la Presión



RESUMEN

Introducción: El dolor lateral de codo es una condición frecuente en la población, que causa un impacto considerable en el ámbito biopsicosocial de las personas afectadas, además de generar repercusiones importantes en los costes sociosanitarios. Diversas estructuras anatómicas pueden estar implicadas en esta condición, entre las cuales se encuentra el nervio radial. En las últimas décadas, la literatura científica sobre la influencia del nervio radial en la fisiopatología del dolor lateral de codo ha experimentado un crecimiento significativo; sin embargo, los estudios que analizan específicamente la importancia de este nervio en sujetos con dolor lateral de codo son aún escasos.

Objetivos: Analizar las respuestas en los síntomas obtenidas con las pruebas neurodinámicas del nervio radial y determinar el efecto del tratamiento específico del nervio radial en pacientes con dolor lateral de codo.

Métodos: Para dar respuesta a este objetivo, se realizaron dos estudios de investigación. Se obtuvo la aprobación del comité de ética del Hospital Clínico San Carlos de Madrid y se llevaron a cabo en la Universidad Complutense de Madrid. El primer estudio, de tipo observacional, evaluó los efectos de las diferentes posiciones y secuencias del test neurodinámico del miembro superior del nervio radial (secuencia estándar, secuencia proximal-distal y secuencia estándar con supinación resistida) y el test de supinación resistida aislado en las respuestas a los síntomas en 66 pacientes con dolor lateral de codo. Se evaluaron la intensidad del dolor, la sensación de parestesia, la familiaridad de los síntomas y el porcentaje de positivos y negativos, así como de distribución de los síntomas dolorosos.

El segundo estudio, de carácter experimental, consistió en un ensayo clínico aleatorizado a doble ciego donde se comparó el efecto inmediato de la estimulación eléctrica nerviosa percutánea sobre el nervio radial frente a una estimulación percutánea placebo en 60 sujetos con dolor lateral de codo. En este estudio se analizaron el umbral del dolor a la presión como variable principal y la intensidad del dolor, la fuerza de agarre libre de dolor y la autopercepción del cambio como variables secundarias tras una sesión de estimulación eléctrica nerviosa percutánea real frente a una estimulación placebo.

Resultados: En el estudio observacional se observaron diferencias significativas ($p < 0.001$) en la reproducción de sensaciones parestésicas y en los síntomas reconocidos como familiares



por los pacientes entre las diferentes secuencias, con una mayor diferencia entre la secuencia estándar del test neurodinámico del nervio radial y los otros tres test propuestos. La intensidad del dolor no mostró diferencias significativas ($p = 0.098$) entre los diferentes test, pero si el porcentaje de positivos y negativos del test ($p < 0.001$). También se hallaron diferencias significativas en la distribución de los síntomas dolorosos entre las distintas pruebas ($p < 0.01$, con más diferencias entre la secuencia estándar del nervio radial y los otros tres test propuestos en las proyecciones posteriores y laterales y entre la secuencia estándar del nervio radial y el test de supinación resistida en la proyección anterior).

En el estudio experimental se observó que no hubo diferencias significativas entre los grupos en relación con el umbral del dolor a la presión. Por el contrario, la intensidad del dolor si que mostró diferencias significativas (-11.55 , IC 95 % -21.79 a -1.30 ; $p < 0.028$) entre grupos a favor de la estimulación eléctrica nerviosa percutánea real. La fuerza de agarre libre de dolor tampoco mostró diferencias entre grupos, pero hubo diferencias significativas intragrupo (3.62 , IC 95 % 1.43 a 5.80 ; $p = 0.002$) a favor de la estimulación percutánea real. Además, el porcentaje de pacientes que refirieron una mejoría autopercibida de moderada a grande fue significativamente mayor ($p = 0.026$) a favor de la estimulación percutánea real.

Conclusiones: el primer estudio demostró que las diferentes secuencias del test neurodinámico del nervio radial y el test de supinación resistida desencadenan diferentes respuestas (sensaciones de parestesia, síntomas reconocidos por los pacientes, el porcentaje de positivos y negativos y la distribución de los síntomas dolorosos, aunque no en cuanto a la intensidad del dolor) en sujetos con dolor lateral de codo. Además, el segundo estudio mostró que una sola sesión de estimulación eléctrica nerviosa percutánea real puede disminuir la intensidad del dolor y aumentar la fuerza de agarre libre de dolor, pero no produce cambios en el umbral del dolor a la presión en pacientes con dolor lateral de codo frente a una estimulación placebo. Ambos estudios parecen poner de manifiesto la influencia del nervio radial en el dolor lateral de codo crónico y la necesidad de la evaluación y tratamiento del mismo durante el abordaje de esta afección.

Palabras clave: Nervio radial, dolor lateral de codo, epicondialgia lateral, test neurodinámico del miembro superior, estimulación eléctrica nerviosa percutánea.



ABSTRACT

Introduction: Lateral elbow pain is a common condition in our society, causing a considerable impact on the biopsychosocial sphere of the affected individual, with the associated socio-sanitary costs it implies. There are various structures that can cause this condition, among which is the radial nerve. Literature on the influence of the radial nerve in the pathophysiology of lateral elbow pain has grown in recent decades, but there are few studies that analyze the importance of the radial nerve in individuals with lateral elbow pain.

Objectives: To analyze the symptom responses obtained with radial nerve neurodynamic testing and to determine the effect of radial nerve specific treatment in patients with lateral elbow pain.

Methods: To address this objective, two research studies were conducted. Approval was obtained from the ethics committee of the Hospital Clínico San Carlos in Madrid, and the studies were carried out at the Universidad Complutense de Madrid. A first observational study was conducted to evaluate the effects of different positions and sequences of the upper limb neurodynamic test of the radial nerve (standard sequence, proximal-to-distal sequence, and standard sequence with resisted supination) and isolated resisted supination test on symptom responses in 66 patients with lateral elbow pain. Pain intensity, sensation of paresthesia, familiarity of symptoms, and percentage of positive/negative outcomes and distribution of painful symptoms were evaluated.

A second experimental study (a double-blind randomized clinical trial) compared the immediate effect of percutaneous electrical nerve stimulation on the radial nerve versus placebo stimulation in 60 subjects with lateral elbow pain. This study analyzed pressure pain thresholds as main variable and pain intensity, pain-free grip strength, and self-perceived change as secondary variables after a session of real percutaneous electrical nerve stimulation versus placebo stimulation.

Results: The observational study showed significant differences ($p < 0.001$) in reproducing paresthetic sensations and symptoms recognized as familiar by patients across the tests (specially between the standard sequence of the radial nerve neurodynamic test and the other three proposed tests). Pain intensity did not show significant differences ($p = 0.098$) between the different tests, but the percentage of positive and negative test results did ($p < 0.001$).



Significant differences were also found in the distribution of painful symptoms scores between the test ($p < 0.01$, with most differences observed between the standard radial nerve sequence and the other three proposed tests in posterior and lateral views and between the standard radial nerve sequence and the resisted supination test in the anterior view).

In the experimental study, there were no significant differences between groups in relation to pressure pain thresholds. However, pain intensity showed significant differences (-11.55 , CI 95 % -21.79 to -1.30 ; $p < 0.028$) between groups in favor of real percutaneous electrical nerve stimulation. Pain-free grip strength did not show differences between groups, but there were significant intragroup differences (3.62 , 95 % CI 1.43 to 5.80 ; $p = 0.002$) in favor of real percutaneous stimulation. Additionally, the percentage of patients reporting a self-perceived moderate to large improvement was significantly higher ($p = 0.026$) in favor of real percutaneous stimulation.

Conclusions: The first study demonstrated that different sequences of the radial nerve neurodynamic test and the resisted supination test trigger different responses (paresthesia sensations, symptoms recognized by patients, positive and negative test outcomes and distribution of painful symptoms, but not in terms of pain intensity) in subjects with lateral elbow pain. Furthermore, the second study showed that a single session of real percutaneous electrical nerve stimulation can decrease pain intensity and increase pain-free grip strength but does not produce changes in pressure pain thresholds in subjects with lateral elbow pain compared to placebo stimulation. Both studies seem to highlight the influence of the radial nerve on chronic lateral elbow pain and the need for its assessment and treatment during the management of this condition.

Key words: Radial nerve, lateral elbow pain, lateral epicondylalgia, upper limb neurodynamic test, percutaneous electrical nerve stimulation.



1. INTRODUCCIÓN



1. Introducción

1.1 Terminología relacionada con el dolor lateral de codo

El dolor lateral de codo se define clínicamente como dolor o quemazón en la región del epicóndilo lateral del húmero, que a veces irradia por la cara dorsal de antebrazo y muñeca, durante actividades que requieran la contracción de la musculatura supinadora y extensora de muñeca y dedos^{1,2} (**Figura 1**). Esta entidad continúa siendo un problema para los pacientes, profesionales sanitarios e investigadores incluso después de un siglo de investigaciones de causas y tratamientos³. El dolor lateral de codo puede causar importantes afectaciones en el ámbito laboral, deportivo o de la vida diaria, llevando a limitaciones funcionales significativas, así como un aumento de los costes de los recursos sanitarios y de los asociados con la disminución de la productividad y las bajas laborales⁴.

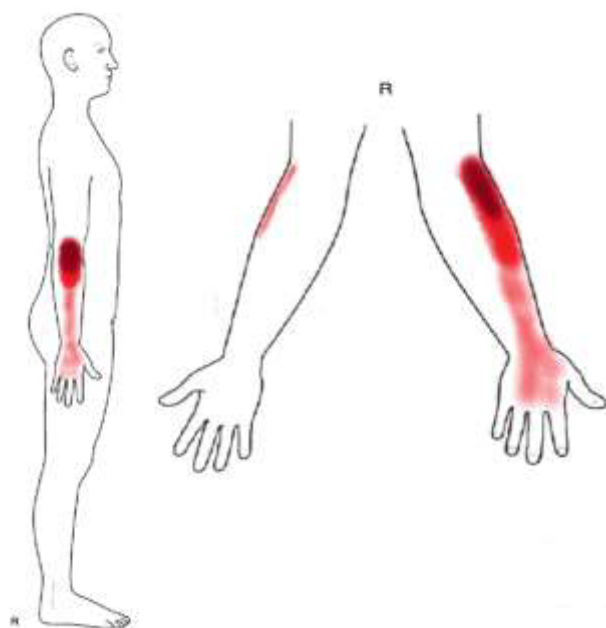


Figura 1. Cartografía del dolor lateral de codo (ejemplo en el lado derecho). (Elaboración propia).

Para hablar del dolor lateral de codo, primero abordaremos la terminología empleada. Di Filippo et al.⁵ publicaron en 2022 un resumen de revisiones sistemáticas y los términos empleados en los estudios incluidos (227 ensayos) para referirse a esta condición (**Figura 2**).

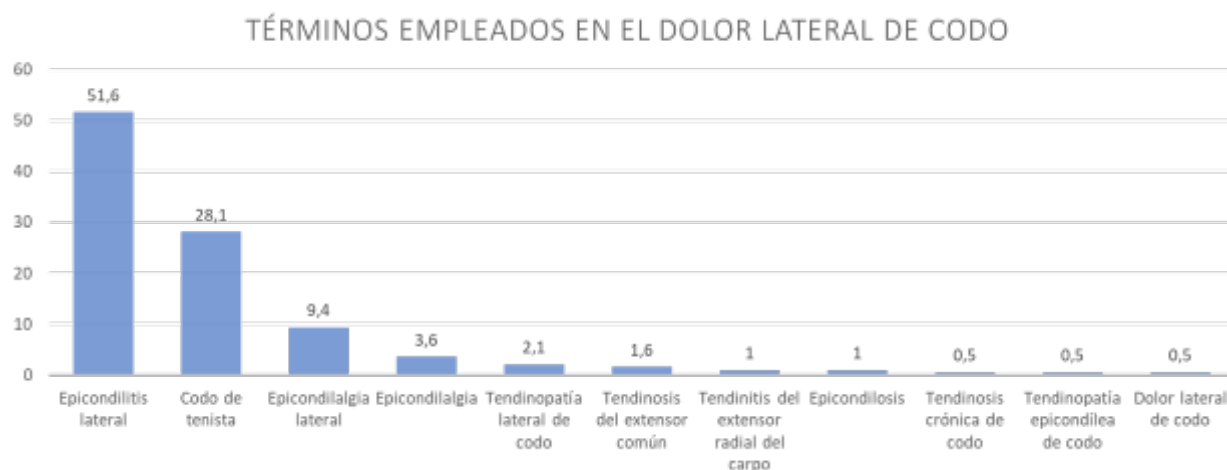


Figura 2. Terminología sobre la etiopatogenia empleada en los diferentes estudios analizados, expresada en porcentajes. Adaptado de Di Filippo et al. ⁵

El término más empleado fue “epicondilitis lateral” (en un 51% de los estudios), que aboga por un mecanismo tradicional de inflamación. En este modelo pato-anatómico, el tendón común extensor sufre desgarros debido al sobreuso de movimientos de muñeca y dedos, por lo que provoca un desequilibrio entre los mecanismos de curación, generando un estado de inflamación crónica⁶. Sin embargo, estudios posteriores han reportado una ausencia de inflamación en el tendón común extensor y en el extensor radial corto del carpo en dolor lateral de codo crónico, informando además de otros hallazgos, como la desorganización del colágeno, aumento de los fibroblastos o hiperplasia vascular que sugieren un proceso degenerativo^{7,8}.

Estos hallazgos provocaron un cambio en la forma entender el dolor lateral de codo como una “tendinitis” a referirse a esta condición como una “tendinosis”⁹. Pese a esta terminología, estudios recientes en patología tendinosa han encontrado que es posible la presencia de células inflamatorias en tendones con signos de degeneración, sugiriendo la presencia de respuestas agudas dentro de la cronicidad^{10,11}, lo que apunta a que los términos “tendinitis” y “tendinosis” no serían los más correctos para referirnos al dolor lateral de codo. Por consiguiente, Stasinopoulos et al.¹² afirmaron que el término más adecuado para referirnos a esta condición es el de “tendinopatía lateral de codo”. Con este término, pretenden abarcar la implicación tanto de tendones extensores de muñeca y dedos como del músculo supinador y referirse a patología en el tendón, sin distinciones. Sin embargo, existen estudios que observaron que los hallazgos de pruebas de imagen (resonancia magnética nuclear o ecografía)



no mostraron correlación con la severidad clínica de los síntomas y su influencia en la función^{13,14}, lo que pone en duda la plena validez del término “tendinopatía”.

Siguiendo la revisión de Di Filippo et al.⁵, el segundo término más empleado para referirse al dolor lateral de codo en los estudios (28 %) es el de “codo de tenista”, introducido por Major en el año 1883¹⁵. Esta patología se ha relacionado comúnmente con una mayor incidencia en deportes de raqueta, específicamente en el tenis, de ahí su nombre. Se ha observado que el dolor lateral de codo es más prevalente en deportistas aficionados que en profesionales¹⁶. Un hallazgo distintivo entre los deportistas aficionados y profesionales es la mayor incidencia de epicondilalgia medial en los deportistas profesionales¹⁶. Sin embargo, el grupo poblacional más afectado por el dolor lateral de codo son trabajadores manuales con altas demandas de movimientos de muñeca y dedos (por ejemplo, procesado de alimentos o cadenas de montaje)^{17,18}. Por tanto, el término “codo de tenista” no refleja con precisión la verdadera incidencia de esta condición.

El tercer término más empleado según la revisión⁵ fue el de “epicondilalgia lateral”. Este término permite englobar todas las posibles causas que produzcan dolor en el epicóndilo lateral, sin asumir ninguna condición subyacente específica, independientemente de la naturaleza o causa que provoque sintomatología en este área^{9,19}. Además del componente musculotendinoso epicondíleo, existen otras causas de dolor en la región lateral del codo como pueden ser el tendón distal del bíceps braquial, el ligamento colateral lateral, la plica sinovial o el nervio radial (NR)²⁰. Por esta razón, nos vamos a referir a esta afectación como “dolor lateral de codo”, ya que es un término que aborda la patología desde un enfoque biopsicosocial, sin señalar una causa concreta⁵.

1.2 Epidemiología

El dolor lateral de codo es una condición con una prevalencia en la población general estimada entre el 1 y el 3 %²¹, pero con una mayor prevalencia en la población trabajadora (hasta el 12 % dependiendo del tipo de trabajo, siendo mayor en trabajos con alta demanda manual)¹⁷. Además, los grupos de edad con una incidencia mayor se encuentran en dos intervalos: entre 40-49 y 50-60 años (entre 7 y 10 %, respectivamente)²². Una revisión realizada por Degen et al.²³ sobre la población diagnosticada con dolor lateral de codo en Estados Unidos



mostró una incidencia anual constante de 15.1 casos/10.000 pacientes y la proporción de casos tratados de manera quirúrgica se mantuvo baja (2 %). Sin embargo, al realizar la investigación en una base de datos nacional de los Estados Unidos, encontraron que muchos sanitarios no codificaban correctamente la lesión debido a la falta de estandarización de métodos (como la diferencia en la terminología empleada para referirse a la patología)²³. Esto sugiere que la incidencia y prevalencia real de esta condición podría ser mayor que los datos estudiados.

1.3 Curso clínico y factores de riesgo

El dolor lateral de codo puede desarrollarse como una condición leve o como una condición realmente debilitante para muchas personas, afectando diversos aspectos de su vida²⁴. Bot et al.²⁵ en su estudio sobre el curso clínico del dolor lateral de codo mostraron que en torno al 13 % de los pacientes alcanzó una recuperación total en 3 meses y tan solo un tercio de los pacientes se recuperó completamente antes del año. Esto refleja que el dolor lateral de codo podría no seguir siempre un curso clínico favorable y que, mientras algunos pacientes experimentan una recuperación rápida, otros presentarán dolor persistente y sintomatología recurrente²⁴.

Los factores de riesgo para el desarrollo del dolor lateral de codo se pueden dividir en factores de riesgo personales y laborales. En el ámbito personal, Sayampanathan et al.²⁶, en su revisión sistemática con meta-análisis, encontraron que el lado dominante, el consumo de tabaco, la edad avanzada y el sexo femenino se relacionaron con una mayor probabilidad de desarrollo de dolor lateral de codo. Siguiendo estos resultados, Park et al.²⁷ encontraron la misma relación con el sexo femenino y el lado dominante, además de realizar trabajos manuales y afectación ipsilateral del manguito rotador del hombro. Titchener et al.²⁸ también encontraron que la presencia de patologías del manguito de los rotadores del hombro, la tendinopatía de De Quervain, el síndrome del túnel del carpo y ser fumador eran factores de riesgo para desarrollar dolor lateral de codo. Un meta-análisis reciente encontró que el sexo femenino, el consumo de tabaco (no encontraron una fuerte relación con el consumo de alcohol), tener trabajos manuales y la hipercolesterolemia (más relacionado con el consumo de estatinas para su tratamiento que por la hipercolesterolemia per se) podrían aumentar el riesgo de desarrollar esta condición²⁹. Además, Zhang et al.³⁰ hicieron un trabajo del impacto del estilo de vida en el pronóstico del



dolor lateral de codo y encontraron una fuerte relación entre el consumo de tabaco y de alcohol y una mala evolución del dolor lateral de codo, lo que influye negativamente en la recuperación de esta condición. De todos los factores de riesgo, se podría concluir que el sexo femenino, realizar trabajos manuales y el consumo de tabaco son los factores de riesgo más comunes entre las distintas revisiones²⁶⁻²⁹ para el desarrollo de dolor lateral de codo.

En cuanto al entorno laboral, Bretschneider et al.³¹ realizaron una revisión sistemática sobre los posibles factores de riesgo laborales asociados al desarrollo de dolor lateral de codo y encontraron una asociación significativa entre la variable Índice de Tensión y dolor lateral de codo. El Índice de Tensión es una herramienta que evalúa el riesgo de desarrollar algún tipo de lesión del miembro superior relacionada con el trabajo³². El Índice de Tensión se basa en 3 variables cuantitativas (duración del esfuerzo, número de esfuerzos y duración de una tarea al día) y 3 cualitativas (intensidad del esfuerzo, postura de la muñeca/mano y velocidad del trabajo)^{31,32}. Esta revisión encontró que a mayores puntuaciones del Índice de Tensión (> 5.1) existía un mayor riesgo (Odds ratio: 1.75) de desarrollar dolor lateral de codo, y también una relación moderada entre la pronosupinación del antebrazo y el dolor lateral de codo³¹. En esta revisión no se encontró una asociación significativa directa entre la repetición de tareas y el dolor lateral de codo, mientras que en otras revisiones realizadas^{18,33} si encontraron dicha asociación. Además, Herquelot et al.³⁴ hallaron que existía una fuerte asociación entre la combinación de un gran esfuerzo físico percibido y los movimientos de codo en la incidencia del dolor lateral de codo. Sin embargo, en este estudio³⁴ no se tuvieron en cuenta los factores psicosociales. Se requieren más estudios que aborden tanto el ámbito laboral como los factores psicosociales para evaluar los factores de riesgo en el desarrollo del dolor lateral de codo.

1.4 Fisiopatología

Tradicionalmente, como se ha mencionado previamente, se utilizaba principalmente el término "epicondilitis", que hacía referencia a una inflamación aguda del tendón común extensor. Sin embargo, se observó que la patología tendinosa presentaba componentes crónicos y degenerativos, lo que contradecía la idea de que la inflamación aguda era la única responsable de los síntomas clínicos³⁵.



Según el modelo propuesto por Cook y Purdam³⁵, la patología tendinosa sigue un proceso continuo que se desarrolla en tres fases: tendinopatía reactiva, desorden tendinoso y degeneración tendinosa. Alfredson et al.³⁶ mostraron una ausencia de células inflamatorias en el tendón del extensor radial corto del carpo en sujetos con dolor lateral crónico, descartando la inflamación como el proceso principal, y describieron la tendinopatía como una condición degenerativa, caracterizada por una "reparación disfuncional e inmadura". Sin embargo, otras investigaciones han mostrado que es posible observar la presencia de un proceso inflamatorio agudo dentro de esta degeneración, cuestionando los criterios que emplean los estudios para detectar inflamación aguda¹⁰ y sugiriendo que esta inflamación aguda podría ser necesaria para iniciar el proceso de reparación³⁷. Los hallazgos encontrados en la patología tendinosa fueron denominados por Kraushaar y Nirschl⁸ bajo el término de “hiperplasia angiofibroblástica”, basada en hallazgos histopatológicos caracterizados por hiper celularidad, hiperplasia vascular o neovascularización, alteración y desorganización del colágeno y presencia de sustancias neuroquímicas. Las alteraciones en la estructura del tendón son observables mediante ecografía, reconociéndose por un adelgazamiento o engrosamiento del área de sección transversal, presencia de áreas hipoecoicas, o incluso a nivel macroscópico, como pequeños desgarros tendinosos³⁸. A pesar de que estas alteraciones tendinosas son comunes en pacientes con dolor lateral de codo, diversos estudios muestran que la presencia de hallazgos histopatológicos en el tendón no se correlacionan de manera significativa con la severidad clínica de los pacientes, tanto en términos de dolor como de funcionalidad^{19,39-41}, lo que apunta a que la fisiopatología subyacente es más compleja. Pringels et al.⁴² propusieron posteriormente un modelo teórico-patogénico del tendón basado en la presión intratendinosa, la cual había recibido poca o ninguna atención hasta la fecha. Estos autores postulan que la alteración en la presión intratendinosa está involucrada en la percepción del dolor. Sin embargo, es una hipótesis teórica muy reciente, y la falta de investigación no permite llegar a una conclusión firme.

Debido a la falta de correlación clínica entre los cambios histológicos, la imagen y la clínica del paciente, Coombes et al.³⁸ propusieron un nuevo modelo fisiopatológico que incluye no solo la dimensión anatómica y estructural, sino también otras dos dimensiones adicionales para comprender mejor el comportamiento del dolor lateral de codo. Este modelo consta de tres dimensiones: patología local del tendón, cambios en los sistemas del dolor y alteraciones motoras (**Figura 3**).

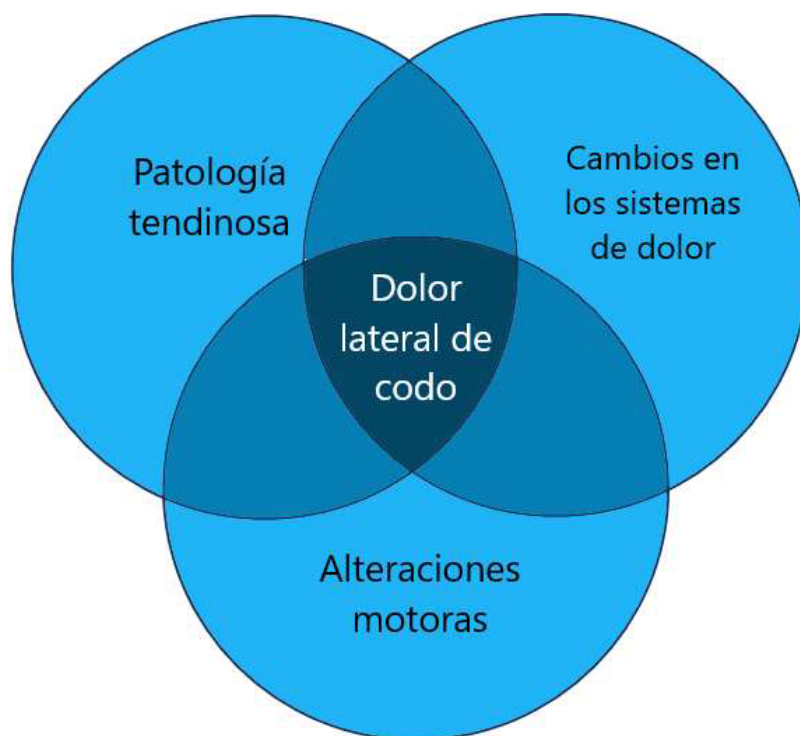


Figura 3. Modelo integrativo multifactorial sobre la fisiopatología en el dolor lateral de codo. Adaptado de Coombes et al.³⁸

Los cambios en los sistemas de dolor hacen referencia a la influencia del sistema nervioso (tanto periférico como central) en condiciones crónicas de dolor, como el dolor lateral de codo⁴³⁻⁴⁶. La función normal del sistema nociceptivo es proteger la vulnerabilidad de un tejido lesionado mediante la evitación o retirada del estímulo doloroso. Ante un daño tisular, la estimulación repetida de los nociceptores puede provocar que éstos aumenten su respuesta, y a este fenómeno se le conoce como sensibilización periférica⁴⁷. Esto podría contribuir a explicar la hiperalgesia primaria (aumento de la sensibilidad al dolor en la zona de lesión), ya sea mecánica o térmica, que pueden experimentar los pacientes con dolor lateral de codo crónico^{44,45}. Cuando esta adaptación persiste en el tiempo (más allá del tiempo de curación de los tejidos) ya no se considera un comportamiento “protector”, sino que constituye un proceso patológico o mal adaptativo⁴⁸. Por tanto, los cambios o mal adaptaciones en la modulación del dolor deben considerarse a la hora de abordar una condición crónica⁴⁶.

Además de la influencia del sistema nervioso periférico, también debe considerarse el sistema nervioso central. Aparte de la hiperalgesia primaria, existe una hiperalgesia secundaria definida como el aumento de la sensibilidad al dolor extendida en zonas adyacentes o más allá



de la zona de lesión^{48,49}. Se cree que la hiperalgesia secundaria está provocada principalmente por alteraciones en el procesamiento del dolor a nivel central, aunque también parecen estar involucrados los mecanismos periféricos⁴⁹. En relación con estas alteraciones en el sistema nervioso, Fernández-Carnero et al.⁵⁰ encontraron la presencia de puntos gatillo miofasciales latentes del lado contralateral, o dicho de otro modo, zonas de hiperalgesia en el antebrazo no afectado en pacientes con dolor lateral de codo unilateral. Además, otro estudio también encontró una hipersensibilidad mecánica generalizada mediante de la disminución del umbral del dolor a la presión (UDP) en regiones locales y distales en pacientes con dolor lateral de codo⁴⁴. Estos hallazgos permiten suponer la influencia de la sensibilización periférica y central en la patogénesis y cronificación del dolor lateral de codo. Por tanto, aunque comúnmente la condición pueda verse bajo una perspectiva simplista, la realidad es que involucra mecanismos subyacentes muy complejos, que implican al sistema nervioso tanto a nivel periférico como central⁴⁵.

En cuanto a la última dimensión del modelo, la alteración motora, existen diversos estudios que aluden a la presencia de alteraciones sensoriomotoras en pacientes con dolor lateral de codo. Por ejemplo, Coombes et al.⁵¹ encontraron un déficit de fuerza isométrica atribuible a la debilidad de los músculos flexores y extensores de codo en sujetos con dolor lateral de codo frente a controles sanos. Asimismo, Rojas et al.⁵² encontraron diferencias en la coactivación de los músculos extensores de muñeca durante distintas acciones, lo que podría ser indicativo de la existencia de un desequilibrio motor en sujetos con dolor lateral de codo. En cuanto a la fuerza de agarre libre de dolor (FALD), Chourasia et al.⁵³ mostraron que las extremidades con dolor lateral de codo presentaban una disminución de la FALD en comparación con las que no lo tenían y, además, observaron un retraso electromiográfico bilateral de los músculos extensor radial corto y largo del carpo en sujetos con dolor lateral de codo frente a controles sanos. Siguiendo esta línea, Bisset et al.⁵⁴ encontraron que los sujetos con dolor lateral de codo ejercían el agarre con una ligera flexión de muñeca y presentaban tiempos de reacción y velocidades de movimiento menores que el grupo control. Lo curioso de estos hallazgos es que se encontraron de manera bilateral en personas con dolor de codo unilateral^{53,54}, lo que podría reforzar la idea de que los mecanismos nerviosos centrales también contribuyen a las alteraciones motoras en esta patología.



1.5 Evaluación y diagnóstico

El diagnóstico del dolor lateral de codo es principalmente clínico, basado en la exploración física y en la historia del paciente^{3,4}. Además, si se sospechan de otras causas que puedan provocar dolor lateral de codo, se pueden emplear técnicas de imagen, tales como la ecografía o la resonancia magnética nuclear, con el objetivo de ayudar al diagnóstico diferencial².

1.5.1 Exploración física del dolor lateral de codo

Dentro de la exploración física, se emplean frecuentemente distintos test ortopédicos cuya finalidad es reproducir dolor en el área del epicóndilo lateral, entre los que se encuentran: palpación directa del epicóndilo lateral, extensión resistida de muñeca, extensión resistida del III dedo (también conocido como Test de Maudsley) y test de agarre^{3,4}. El test de Maudsley se propuso para valorar los casos de dolor lateral de codo refractario y se pensó inicialmente que indicaba la compresión del NR por el extensor radial corto del carpo⁵⁵. Fairbank y Corlett⁵⁶ encontraron en su estudio que el músculo extensor común de los dedos presentaba vientres separados para cada uno de los dedos y que, en concreto, el vientre muscular del dedo medio era el único que llegaba a insertarse en el epicóndilo lateral. Llegaron a la conclusión de que el test de Maudsley involucraba más al extensor común de los dedos (en concreto al vientre del III dedo) que al extensor radial corto del carpo⁵⁶, lo que difiere del estudio original de Roles y Maudsley⁵⁵.

También existen otros test específicos para la valoración de esta condición, como el Test de Cozen o el Test de Mills. Para el test de Cozen, el paciente se encuentra sentado con el codo extendido, en pronación y la muñeca en desviación radial y se le pide una extensión de muñeca contra resistencia²⁴. En cuanto al test de Mills, el paciente se sitúa con el codo flexionado, antebrazo en pronación y muñeca en flexión palmar. El examinador lleva el codo a extensión máxima provocando un estiramiento de los extensores de muñeca². Di Filippo et al.⁵ encontraron que las pruebas más usadas en los estudios recogidos en el diagnóstico clínico del dolor lateral de codo fueron la palpación directa del epicóndilo (46,8 %), el test de Cozen



(42,1 %), el test de Maudsley (22,2 %) y la FALD (19 %). Sin embargo, a pesar de estos datos, no existe una prueba “gold standard” para el diagnóstico del dolor lateral de codo¹⁹.

Es importante destacar que además del tendón común extensor, existen otras estructuras que pueden provocar dolor en la parte lateral del codo, por lo que es necesario emplear otras pruebas ortopédicas para realizar un buen diagnóstico diferencial²⁴. Por un lado, se debe valorar la presencia de patología intra-articular o capsuloligamentosa³ como pinzamiento de la plica radial, condromalacia radio-capitellum o sinovitis^{57,58}, por lo que podemos emplear el test de cajón rotatorio posterolateral⁵⁹ y el test de recolocación en mesa⁶⁰, ambos utilizados para valorar la inestabilidad del codo. Por otro lado, es imprescindible descartar otras condiciones neurológicas como radiculopatía cervical, mediante pruebas específicas que evalúan la columna cervical y dorsal⁶¹ o trastornos en la columna, como el test de Spurling o pruebas neurodinámicas⁶².

1.5.2 Escalas e instrumentos de valoración

La evaluación del dolor lateral de codo no solo se basa en la exploración física, sino también en el análisis de la función y la discapacidad. Para ello, existen diversos cuestionarios que permiten medir de manera objetivable el impacto funcional que esta condición tiene en la vida diaria del paciente. A continuación, se describen algunos de los cuestionarios más utilizados en la práctica clínica y en la investigación para evaluar el dolor lateral de codo, así como su fiabilidad y consistencia.

Para valorar la intensidad del dolor, se utilizan escalas de auto-evaluación como la escala visual analógica (EVA) o la escala de valoración numérica²⁴. Ambas consisten en una línea de 100 milímetros donde el 0 significaría “sin o no dolor” y el 100 correspondería al “máximo dolor imaginable”, con la diferencia entre ambas en que la escala de valoración numérica tiene números sobre ella y la EVA no. En ambas el paciente señala su percepción de dolor^{63,64}. La diferencia mínima clínicamente importante (DMCI) para condiciones de dolor crónico en relación a la EVA se ha establecido en una reducción del 30 % respecto a la medida basal o una mejora de 20 milímetros, aunque esta revisión incluyó múltiples estudios de diferentes condiciones de dolor crónico⁶⁵.



En cuanto a la evaluación de la función y discapacidad, uno de los cuestionarios más utilizados para evaluar estos componentes es el cuestionario de evaluación del codo de tenista autopercebido o “Patient-Rated Tennis Elbow Evaluation” (PRTEE) en su versión original en inglés. Se trata de un cuestionario de quince preguntas, donde las cinco primeras evalúan el dolor y las otras diez se centran en la capacidad funcional, valorándose ambos módulos durante la última semana⁶⁶. Las puntuaciones van de 0 a 100 (el módulo del dolor se puntúa de 0 a 50 y el módulo de discapacidad va de 0 a 100, dividido entre 2) donde las puntuaciones más altas se relacionan con mayor discapacidad o afectación^{67,68}. Este cuestionario ha demostrado una alta consistencia interna (α de Cronbach: 0.96) y una alta fiabilidad test-retest (0.90 [0.89-0.94])⁶⁶. Un estudio en pacientes con dolor lateral de codo observó que la DMCI se determinó en una reducción de al menos 11 puntos o una mejora del 37 % respecto a la media basal⁶⁸.

Otro cuestionario que se emplea para valorar la funcionalidad del miembro superior es el cuestionario de discapacidades del brazo, hombro y mano o “Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand” (DASH) en su versión original en inglés. Como el PRTEE, es un cuestionario autoadministrado que consta de treinta ítems, donde cada ítem se puntúa de 1 a 5, con dos módulos opcionales de cuatro ítems cada uno. El resultado se transforma en una escala de 0 a 100, donde las mayores puntuaciones se relacionan con peor valoración funcional⁶⁹. Para calcular la puntuación, hay que sumar la puntuación de las preguntadas contestadas y dividirla por el número de preguntas contestadas. A ese resultado se le resta 1 y después se multiplica por 25, lo que proporciona la puntuación final⁷⁰. Este cuestionario ha mostrado una elevada consistencia interna (α de Cronbach: 0.96) y una alta fiabilidad test-retest (coeficiente de correlación intraclase: 0.96)⁶⁹. Además, la DMCI se determinó en un cambio de 10.83 puntos para una mejora moderada⁷⁰.

Otra manera de evaluar la función es mediante la valoración de la FALD. Este test evalúa la cantidad de fuerza de agarre que una persona puede realizar hasta el punto de inicio del dolor mediante la utilización de un dinamómetro de agarre⁷¹. Se han descrito varias posiciones para la ejecución del test, desde el paciente en supino con el codo en extensión y pronación hasta una posición de sedestación con el codo en 90° de flexión y el antebrazo en posición neutra⁷². Primero se le pide al paciente que aprete el dinamómetro con el lado no afecto de manera progresiva hasta la fuerza máxima que pueda realizar y después se le pide que realice el mismo procedimiento con el brazo afectado, dejando de hacer fuerza cuando sienta dolor. El test se realiza tres veces, descansando un minuto entre las series y después se



calcula la media de las tres series como resultado final del test⁷¹. Este test ha mostrado excelente fiabilidad (coeficiente de correlación intraclase: 0.97) y su cambio mínimo detectable se ha establecido en 1.4 kilogramos en pacientes con dolor lateral de codo⁷³.

1.5.3 *La influencia del nervio radial en el dolor lateral de codo*

El NR es la rama más grande del cordón posterior del plexo braquial⁷⁴. Desciende de medial a lateral por la axila y la parte posterior del brazo, oblicuamente entre la cabeza lateral y medial del tríceps braquial, llegando hasta el surco radial del húmero. Después, atraviesa el septo intermuscular lateral donde hace la transición de la parte posterior a la parte anterior. Una vez situado en la parte anterior discurre entre los músculos braquial y braquiorradial hasta llegar al antebrazo y unos 3 cm proximal (en algunos sujetos la división es distal) al epicóndilo lateral, se divide en una rama superficial (principalmente sensitiva) y una rama motora profunda (principalmente motora)⁷⁵⁻⁷⁷. Antes de dividirse en estas ramas terminales, el NR inerva de manera directa todas las cabezas del tríceps braquial, una porción del braquiorradial, el ancóneo y al extensor radial largo del carpo y genera unas ramas laterales sensitivas que se encargan de la zona posterolateral del brazo y posterior del antebrazo. La rama sensitiva superficial inerva la parte posterior y lateral de la muñeca y mano y la parte dorsal, medial y lateral del primer y mitad del segundo dedo y la parte dorsal y lateral de la mitad del tercer dedo⁷⁶.

Después de dividirse, la rama motora profunda del NR continua su recorrido distal por una zona aponeurótica denominada túnel radial. El túnel radial tiene una longitud aproximada de 5-6 cm y abarca desde el epicóndilo lateral hasta el borde distal del músculo supinador^{74,75}. Esta rama discurre entre ambos vientres del músculo supinador a través de la arcada de Frohse, y a partir de este punto se denomina nervio interóseo posterior (NIP)⁷⁸, innervando al extensor radial corto del carpo y al propio músculo supinador⁷⁶. Existen ciertas variaciones en la innervación del extensor radial corto del carpo, como lo hallado por Nayak et al.⁷⁹, donde encontraron que aproximadamente en el 50 % de los casos la innervación provenía del NIP, en el 35 % de la rama superficial recurrente y en el 15 % del tronco del NR directamente.



Algunos autores denominan a la rama profunda terminal directa del NR como NIP, pero otros hacen referencia al NIP sólo después de su salida por la arcada de Frohse, lo que genera cierta controversia en su nomenclatura. Esta confusión afecta la manera en que los autores nombran a los diversos síndromes provocados según la localización de la lesión^{76,78}. Una vez que sale del borde distal del supinador, el NIP se divide en ramas motoras superficial recurrente y rama profunda descendente, donde la rama superficial inerva a los músculos extensor ulnar del carpo y extensor corto y largo del pulgar⁸⁰. La rama profunda inerva al extensor común de los dedos, al extensor propio del índice, al extensor propio del meñique y la musculatura propia del pulgar como el abductor largo y los extensores corto y largo del pulgar^{74,76}.

Como hemos mencionado, el NR sigue un recorrido tortuoso, donde se encuentra en contacto con muchas estructuras, lo que aumenta la posibilidad de compresión en alguna parte del trayecto. En su parte más proximal, puede verse afectado tras fracturas de la diáfisis humeral o por la “parálisis del sábado noche”⁷⁶. En la parte distal del antebrazo, puede verse afectada la rama sensitiva superficial del radial por compresión, lo que se denomina Síndrome de Wartenberg⁸¹. Sin embargo, el túnel radial es el lugar más común de compresión nerviosa⁸². Diversos estudios^{76,78,82} describen cinco posibles puntos de compresión en el recorrido del túnel radial (**Figura 4**):

- Bandas fibrosas de la cabeza radial.
- Ramas recurrentes de vasos radiales a nivel del cuello radial (zona conocida como correa de Henry).
- El borde tendinoso proximal del extensor radial corto del carpo.
- El borde proximal de la porción superficial del supinador (conocida como la arcada de Frohse), siendo esta la zona más frecuente de compresión dentro del túnel radial (en torno a un 64,4 % de los casos)⁸².
- El borde distal del supinador.

A nivel de la articulación del codo, la compresión del NR puede provocar dos síndromes en función de la rama afectada y de la localización⁷⁴. Algunos autores lo diferencian como síndrome del túnel radial (STR) por un lado, y síndrome del nervio interóseo posterior (SNIP) por otro, pero la nomenclatura de dichos síndromes puede resultar confusa debido a la inconsistencia de las descripciones de dolor, funcionalidad y anatomía⁸³. El STR se caracteriza por dolor e irritabilidad en la región dorsal y radial proximal del antebrazo, pudiendo abarcar



desde el codo hasta la muñeca⁷⁵ y suele cursar sin deficiencias motoras evidentes, salvo las provocadas por el dolor y no por la denervación muscular⁷⁴. Por otro lado, el SNIP cursa con debilidad motora, siendo su característica distintiva, en la extensión del pulgar y los dedos (pero no en la extensión de muñeca), pero sin afectación sensorial (el dolor no suele ser un síntoma principal)^{76,80,84}. Debido a esto, es imprescindible una historia y exploración física que permita hacer una diferenciación entre ambos síndromes⁷⁵.

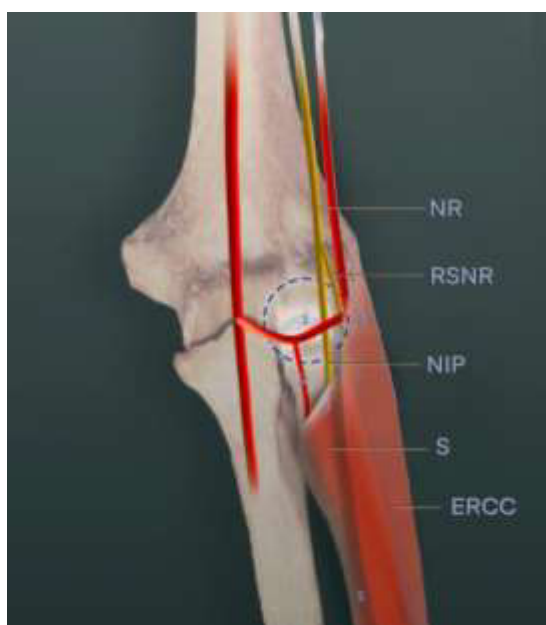


Figura 4. Cinco lugares de compresión del nervio radial. ERCC: Extensor radial corto del carpo; NIP: Nervio interóseo posterior; NR: Nervio radial; RSNR: Rama superficial del nervio radial; S: Supinador. 1: Tejido fibroso; 2: Vasos recurrentes radiales; 3: Margen del ERCC; 4: Borde proximal del supinador; 5: Borde distal del supinador. Adaptada con permiso de Węgiel et al.⁷⁶

De estos dos síndromes, el STR comparte muchas similitudes con la concepción tradicional del dolor lateral de codo^{78,84}. Uno de los síntomas claves del STR es el incremento del dolor frente a actividades que requieran supinación y extensión de muñeca, lo que puede parecerse mucho a los síntomas experimentados por los pacientes con dolor lateral de codo⁷⁶. Además, se utilizan algunas pruebas comunes para evaluar el dolor lateral de codo, como la extensión resistida de muñeca, la extensión resistida del tercer dedo o test de Maudsley, y el test de supinación resistida, lo que complica aún más el diagnóstico diferencial^{85,86}. Desde el punto de vista clínico, la diferencia principal entre ambas condiciones es la localización de los



síntomas^{76,87}. Loh et al.⁸⁸ propusieron un test denominado “La regla del nueve”, que consiste en dibujar un cuadrante 3 x 3 desde el pliegue de flexión del codo (usando esta medida como delimitación de los lados del cuadrado) para encontrar zonas de mayor irritabilidad y descartar otras condiciones diferentes del STR⁷⁵. La mayor irritabilidad de los dos primeros cuadrantes de la columna lateral indica una posible sensibilización del NR^{85,88} aunque no hay ningún dato que respalde la precisión diagnóstica de esta prueba⁸⁹. Además, los estudios de conducción nerviosa y de electromiografía suelen ser normales o no concluyentes en pacientes con STR^{75,85}. Kupfer et al.⁹⁰ desarrollaron una técnica diferente de la técnica de conducción nerviosa habitual que consistía en estudiar la latencia motora del NR comparando pacientes con sospecha de STR frente a controles sanos. Concluyeron que las diferencias en las latencias motoras del nervio podían considerarse una herramienta sensible en el diagnóstico del STR. Las pruebas de imagen (en concreto las resonancias magnéticas nucleares) suelen dar resultado negativo, pero suelen usarse para descartar otras condiciones que imiten estos síntomas^{75,76}. Teniendo en cuenta todo lo anterior, no existe una prueba estándar de referencia aceptada para el diagnóstico del STR⁸⁹.

Todas estas características hacen que su presentación clínica sea muy parecida a la del dolor lateral de codo, incluso es posible que estas dos condiciones se presenten de manera concomitante⁷⁶. En algunos casos, al STR se le ha denominado como “dolor lateral de codo resistente al tratamiento” o “refractario” debido a su ambigüedad en la historia clínica⁷⁸. Un estudio transversal realizado por Bonczar et al.⁹¹ encontró que el dolor lateral de codo crónico y el atrapamiento del nervio interóseo posterior coexistían en un 18,8 % de los pacientes evaluados, destacando la necesidad de realizar un razonamiento clínico óptimo para evaluar si el paciente presenta un dolor lateral de codo refractario o si no se está abordando la verdadera fuente de dolor.

La posible influencia del NR en el dolor lateral de codo no es algo nuevo, ya que existen estudios que relacionan ambos conceptos mediante diversos hallazgos. En 1993, Yaxley y Jull⁹² realizaron un estudio sobre la presencia de tensión neural adversa del NR en sujetos con dolor lateral de codo y concluyeron que 11 de 20 participantes refirieron que el dolor durante el test se correspondía con su dolor lateral de codo. Otro estudio encontró una disminución bilateral del UDP sobre el NR en mujeres con dolor lateral de codo⁹³. También se han realizado estudios ecográficos que evidencian cambios en el NR, siendo uno de los hallazgos más significativos el aumento del área de sección transversal del NR en el lado sintomático^{94,95}.



También se ha relacionado un aumento del espesor del NR del lado sintomático con una mayor afectación funcional en pacientes con dolor lateral de codo crónico²⁰. En un estudio realizado por Cancela-Cilleruelo et al.⁹⁶ encontraron hallazgos similares a los anteriores estudios^{20,94,95}, como aumento de la sensibilidad a la presión del NR o hinchazón del propio nervio (a través de un aumento del área de sección transversal) del lado afectado en sujetos con dolor lateral de codo crónico. Estos resultados postulan que existe una posible relación entre el dolor lateral de codo y el NR, y la probable influencia de dicho nervio en la alteración del procesamiento del dolor de estos pacientes⁹⁶.

Debido a esta relación tan estrecha, es necesaria la existencia de pruebas que permitan establecer la mayor diferenciación posible entre las distintas condiciones que puedan provocar dolor en la región lateral del codo. Entre estas, se destacan las pruebas neurodinámicas del miembro superior.

1.5.4 Test neurodinámicos del miembro superior

Los test neurodinámicos del miembro superior (TNMS) se pueden definir como una serie de movimientos pasivos de ciertas partes del cuerpo para identificar o tratar alteraciones en la mecanosensibilidad neural^{97,98}. El término comenzó a acuñarse en la primera mitad del siglo XX por Bragard⁹⁹, pero fue en la segunda mitad del siglo XX cuando estas pruebas empezaron a adquirir más interés y su estudio se consolidó en el ámbito de la fisioterapia¹⁰⁰⁻¹⁰². En un principio, los TNMS fueron diseñados como una herramienta diagnóstica pura¹⁰² pero con el tiempo también han demostrado que pueden usarse como maniobras de tratamiento, tanto pasivas como activas^{103,104}.

Al realizar una exploración neurológica clásica, las afecciones nerviosas que se caracterizan por un incremento en la mecanosensibilidad neural pueden pasar desapercibidas, ya que la velocidad de conducción puede ser normal¹⁰⁵. Los test neurodinámicos se diseñaron basándose en el estrés mecánico traducido en fuerzas de tensión, compresión o cizalla que reciben los nervios debido a los movimientos normales del cuerpo^{100,106} (**Figura 5A y 5B**). Los nervios están rodeados por diversos tejidos o estructuras a lo largo de su recorrido que se denominan lecho nervioso¹⁰⁰ y los movimientos articulares generan elongaciones y compresiones en dicho lecho nervioso que provocan deformación y tensión en el propio

nervio¹⁰⁶. Uno de los aspectos clave de los test neurodinámicos es que los movimientos corporales no sólo generan tensión, compresión o elongación en el propio nervio, sino que permiten el movimiento del nervio en relación con su lecho nervioso^{100,107}. Esto es posible debido al diseño anatómico intraneural y extraneural, ya que el sistema nervioso está diseñado para el movimiento (de ahí la palabra neurodinámica)¹⁰⁷. La idea fundamental detrás de estas pruebas radica en que los tejidos neurales sensibilizados y dolorosos podrían perder su adaptabilidad cuando aumenta la longitud relativa del lecho nervioso al cual el nervio debe adaptarse¹⁰¹. Es por ello que, a raíz del principio de los TNMS, se planteó también la movilización neural como maniobra de tratamiento, mediante maniobras de tensión o deslizamiento, ya sean activas o pasivas, que podrían mejorar la tolerancia a la deformación y extensión del nervio en su lecho, y en consecuencia, los síntomas clínicos¹⁰⁷.

Los movimientos corporales y multiarticulares afectan tanto al tejido nervioso como al no nervioso¹⁰⁰. Por este motivo es importante establecer unos criterios para aislar el movimiento del tejido nervioso con el lecho nervioso. Los TNMS se diseñaron para evaluar el plexo braquial y principalmente los tres grandes nervios del miembro superior: mediano, radial y ulnar (o cubital)^{100,102}.



Figura 5. Test neurodinámico del miembro superior (nervio radial). Ejemplo de ejecución de la técnica. A: posición de inicio. B: posición final.



1.5.4.1 Tipos

Cada nervio tiene su propio test que lo evalúa, siendo TNMS-1 y TNMS-2a los que evalúan el nervio mediano, TNMS-2b el nervio radial y TNMS-3 el nervio ulnar como se observa en la **Tabla 1**^{100–102,108,109}.

A través de estudios cadavéricos, se ha demostrado que cada test propuesto evalúa específicamente el nervio correspondiente sin afectar significativamente al resto^{110–113}. Además de los TNMS convencionales, es posible la variación del orden de los parámetros de los test para conseguir distintos efectos y objetivos^{101,114}. Esta premisa se debe a que el elongamiento o tensión de una parte del nervio es mayor cuando la articulación más cercana a esa parte es la que se mueve primero en el test neurodinámico¹¹⁵ y, por tanto, esto puede ayudar al proceso de razonamiento clínico a la hora de emplear los TNMS.

1.5.4.2 Criterios

Los TNMS se consideran positivos si cumplen dos condiciones: (a) reproducir parcial o totalmente los síntomas descritos por el paciente y (b) la diferenciación estructural modifica esos síntomas^{100,108}. La reproducción de los síntomas descritos por el paciente es relevante para diferenciar de las posibles reacciones normales al mover/estirar estructuras no neurales o en pacientes asintomáticos¹¹⁶. Estas reacciones normales pueden abarcar desde dolorimiento y estiramiento hasta quemazón u hormigueo en dedos, mano o antebrazo¹¹⁷. En cuanto al otro criterio, la diferenciación estructural se define como movimientos de zonas corporales alejadas del tejido diana que pueden aumentar o disminuir la tensión en el tejido nervioso sin modificarla en tejidos adyacentes al nervio como músculos o tendones^{100,105,118}. Esto viene a decir que, si se modifican los síntomas del paciente mediante maniobras de diferenciación estructural, esos síntomas podrían estar relacionados con un aumento de la mecanosensibilidad nerviosa¹⁰⁸. Wainner et al.^{119,120} realizaron estudios de agudeza diagnóstica donde se evaluaron el TNMS-1 y el TNMS-2b y los criterios para ser considerados positivos fueron (al menos 1 de ellos): (1) reproducir los síntomas del paciente, (2) diferencias de al menos 10° en el rango de movimiento del codo o muñeca entre ambos miembros en el TNMS-1 y el TNMS-2b respectivamente y (3) la diferenciación estructural modifica los síntomas. Según Nee et al.¹⁰⁸



no existen datos que justifiquen ese punto de corte en la diferencia en el rango de movimiento como criterio de positividad y, aún más importante, en los estudios de Wainner et al.^{119,120} la diferenciación estructural no era necesaria en algunos casos para considerar un test positivo.

Los TNMS han sido estudiados como maniobras diagnósticas en diversas condiciones, como radiculopatía cervical¹²⁰⁻¹²⁴ o el síndrome del túnel del carpo^{118,119,125-128}, mostrando una fiabilidad moderada¹⁰⁵. Sin embargo, para el dolor lateral de codo apenas tenemos información de la utilización de TNMS como maniobra dentro del proceso diagnóstico, como el estudio de Yaxley y Jull⁹², el de Berglund, Persson y Denison¹²⁹ o el de Lim et al.¹³⁰. Además, existen estudios donde se emplean movilizaciones neurodinámicas como parte del tratamiento de pacientes con dolor lateral de codo crónico o refractario, como el estudio de Arumugam et al.¹³¹ o el de Yilmaz et al.¹³², pero, aún con estos datos, la literatura es escasa.

Tabla 1. Test neurodinámicos del miembro superior (TNMS)				
	TNMS-1	TNMS-2a	TNMS-2b	TNMS-3
Nervio	Nervio mediano	Nervio mediano	Nervio radial	Nervio ulnar
Secuencia				
1	Depresión y estabilización escapular	Depresión y estabilización escapular	Depresión y estabilización escapular	Flexión de muñeca y dedos
2	Abducción del hombro	Rotación externa del hombro	Extensión del codo	Pronación del antebrazo
3	Extensión de muñeca y dedos	Extensión del codo	Rotación interna del hombro	Flexión del codo
4	Supinación del antebrazo	Supinación del antebrazo	Pronación del antebrazo	Rotación externa del hombro
5	Rotación externa del hombro	Extensión de muñeca y dedos	Flexión de muñeca y dedos	Depresión y estabilización escapular
6	Extensión del codo	Abducción del hombro	Abducción del hombro	Abducción del hombro
Maniobras de diferenciación estructural:	Inclinación lateral cervical Soltar la extensión de muñeca y dedos	Inclinación lateral cervical	Inclinación lateral cervical	Inclinación lateral cervical



1.6 Tratamientos

El tratamiento del dolor lateral de codo se ha estudiado de manera extensa en la literatura. Existen decenas de tratamientos propuestos para el dolor lateral de codo, con resultados similares y/o diferentes entre los estudios¹³³. Esta heterogeneidad entre los tratamientos se puede deber a muchos factores, tanto relacionados con el profesional sanitario que lo aborda como con las características del propio paciente¹³⁴.

Aunque no hay un consenso acerca del mejor abordaje, el tratamiento conservador es el recomendado como primera línea de tratamiento en el dolor lateral de codo^{4,134}. Desde el punto de vista de la fisioterapia, se ofrecen una gran cantidad de tratamientos y abordajes, como educación, ejercicio, terapia manual, diversas formas de electroterapia, y otros como vendajes, órtesis o tratamiento invasivo^{24,134}. Las guías de práctica clínica recomiendan el uso de fisioterapia pero, a pesar de las diferentes modalidades de tratamiento, no hay un consenso sobre cuál es la mejor combinación de terapias¹³⁵. Cuando el abordaje mediante fisioterapia falla o no consigue los resultados esperados, existen otras vías dentro del tratamiento conservador, como las infiltraciones (con corticoides o plasma enriquecido con plaquetas)¹³⁵ pero no se recomiendan como primera línea de tratamiento⁴. En algunos pacientes se plantea la cirugía como última instancia si el tratamiento conservador falla¹³⁶, donde los abordajes más frecuentemente usados son: abierto, artroscópico y percutáneo¹³⁷.

A pesar de existir una gran variedad de tratamientos, Lucado et al.²⁴, en su reciente guía de práctica clínica sobre el dolor lateral de codo (más enfocado hacia la tendinopatía), concluyeron que no existía un tratamiento superior a otro de forma aislada. Una explicación a esto puede ser los amplios criterios de inclusión de los estudios, así como las estimaciones poco fiables y el escaso rigor metodológico de los estudios incluidos, según la revisión de Campos et al¹³³. La frase “cada persona es un mundo” es más que acertada para hablar del dolor lateral de codo, por lo que es importante establecer un contexto individual de cada paciente antes de abordarlo con un programa multimodal de fisioterapia “estándar”.

Como hemos señalado, existen numerosos estudios que analizan distintas formas de tratamiento enfocadas al dolor lateral de codo. Estos abarcan desde programas de ejercicio^{138–141}, terapia manual^{24,142}, punción seca^{143,144}, diversas formas de electroterapia^{145–148} y/u ortesis¹⁴⁹. Dentro de los tratamientos de electroterapia, Dingemanse et al.¹⁴⁶ realizaron una



revisión sobre los tratamientos de electroterapia para el dolor lateral y medial de codo e incluyeron los ultrasonidos, el láser, la estimulación nerviosa periférica y las ondas de choque. Sin embargo, no incluyeron otras modalidades de electroterapia invasiva como la electrolisis percutánea intratisular ni la estimulación eléctrica nerviosa percutánea.

1.6.1 Estimulación eléctrica nerviosa percutánea

La estimulación eléctrica nerviosa percutánea (EENP) es una forma de estimulación nerviosa periférica (ENP) mínimamente invasiva que consiste en la aplicación de corriente eléctrica con unos parámetros concretos a través de agujas filiformes, no huecas, con un objetivo terapéutico¹⁵⁰. Primero es importante hablar de la ENP para establecer un contexto para la EENP.

La ENP es un procedimiento que lleva estudiándose varias décadas¹⁵¹, ya que se trata de un método de neuromodulación (definida como la cualidad del sistema nervioso de regular o modificar los impulsos eléctricos) muy atractivo para los profesionales sanitarios encargados del manejo del dolor, como terapia aislada o dentro de un programa multimodal^{152,153}. El principio de la ENP comparte muchas similitudes con la electroacupuntura o la estimulación eléctrica nerviosa transcutánea (EENT), usadas para el manejo del dolor mucho antes de la irrupción de la ENP¹⁵⁴. En sus inicios, y en los primeros estudios^{155–157}, la ENP requería la implantación mediante cirugía abierta de un estimulador adherido al nervio, pero esto podía conllevar ciertos efectos adversos, como lesión nerviosa, desanclaje del estimulador o infecciones debido a la cirugía¹⁵¹. En 1999, Weiner y Reed¹⁵⁸ realizaron un estudio donde situaron los estimuladores de manera percutánea junto al nervio occipital mayor para el tratamiento del dolor de cabeza sin necesidad de realizar una cirugía abierta para llevar a cabo su implantación, pudiendo disminuir los posibles efectos adversos derivados de la cirugía. Debido a las ventajas en su seguridad, su realización ambulatoria y la efectividad analgésica preliminar que proporcionaba, hubo un aumento del interés en la ENP tanto a nivel clínico como investigador, convirtiéndose hoy en día en una modalidad terapéutica más. De igual forma, la investigación en la última década ha mejorado los protocolos de intervención y de práctica clínica, así como las tecnologías destinadas a este tipo de intervenciones¹⁵⁹.



Desde el punto de vista de la fisioterapia, la EENP se realiza con agujas de punción percutáneas (tipo acupuntura) que se sitúan en diversas localizaciones (estructuras musculoesqueléticas o tejido neural) con la ayuda de un ecógrafo, lo que lo convierte en un procedimiento ecoguiado para garantizar seguridad y evitar los posibles efectos adversos^{160,161}. Una vez situadas en los puntos objetivo, las agujas se conectan a un electroestimulador (**Figura 6**) y se aplica una corriente eléctrica (siendo la corriente bifásica el tipo más frecuente) con diferentes frecuencias, que pueden ir desde baja frecuencia, en torno a 2-10 Hz¹⁶², hasta alta frecuencia, en torno a 80-100 Hz¹⁶³, y anchuras de pulso (desde 250 a 500 μ s)¹⁶⁴. La elección de los parámetros eléctricos, así como la localización de la aguja, son importantes ya que pueden influir en las variables a estudiar¹⁶⁴. Hamza et al.¹⁶⁵ encontraron que aplicaciones de EENP de al menos 30 minutos eran más beneficiosas que aquellas de 15 minutos o menos, sin que se encontraran diferencias estadísticamente significativas entre aplicaciones de 30 y 45 minutos. También se observó que las corrientes de baja frecuencia (2-10 Hz) parecen estimular las fibras motoras de pequeño diámetro (A δ y C) y liberar encefalinas, mientras que las corrientes de alta frecuencia (50-100 Hz) parecen estimular las fibras de gran diámetro A β y liberar dinorfinas^{150,166}.

El mecanismo por el cual actúa la EENP no está del todo definido^{150,151}, aunque se han propuesto varias teorías sobre ello¹⁶⁷. El objetivo de la EENP es generar una respuesta sensorial y/o motora que alivie el dolor y restaure el funcionamiento normal de las estructuras afectadas¹⁵⁰, así como mejorar la función neuromuscular (conocido como efecto neuromodulador)¹⁶⁰. Debido a esto, se propone que en la EENP actúan tanto mecanismos centrales como periféricos^{164,167}. Entre los mecanismos centrales propuestos se incluye la teoría de la compuerta de entrada, desarrollada por Melzack y Wall en 1965¹⁵⁷. Esta teoría propone que la estimulación de las fibras A β de bajo umbral (de gran diámetro y no nociceptivas) genera una activación sobre las interneuronas inhibitorias del asta dorsal de la médula espinal, lo que genera un bloqueo de las señales nociceptivas de las fibras nerviosas A δ y C, inhibiendo la transmisión hacia niveles neurales más altos^{157,168}. También como mecanismos centrales, Lin et al.¹⁵⁴ mencionan en su revisión la modulación a través de las vías serotoninérgicas (5HT2 y 5HT3), GABAérgicas y glicinérgicas, y también a través de la inhibición de las neuronas dorsales de amplio rango dinámico, lo que podría explicar los efectos centrales de la EENP en la reducción de la sensibilidad central e hiperalgesia^{169,170}. Una línea reciente de investigación sugiere que la EENP puede aliviar o reducir la sensibilización central mejorando la modulación

condicionada del dolor, reduciendo los potenciales motores evocados e incrementando la inhibición intracortical¹⁷¹.



Figura 6. Estimulación eléctrica nerviosa percutánea (EENP) ecoguiada. Ejemplo de ejecución de la técnica de tratamiento.

Por otro lado, en referencia a los mecanismos periféricos, uno de ellos puede extrapolarse del estudio de Torebjork y Hallin¹⁷², donde la estimulación repetitiva de nervios periféricos redujo la excitabilidad de las fibras A δ y C. Otros mecanismos periféricos propuestos son la modificación de la concentración bioquímica local de neurotransmisores y mediadores de inflamación¹⁷³ y la reducción de descargas ectópicas al disminuir la degeneración Walleriana¹⁷⁴. Con todos los posibles mecanismos propuestos, es más que probable que la EENP alcance su efecto analgésico a través tanto de vías centrales como de vías periféricas.

Es importante hacer una diferenciación entre varios conceptos similares que pueden dar lugar a equívoco. Es necesario diferenciar entre EENT y EENP. Ambos son formas de estimulación nerviosa de manera periférica pero la EENT consiste en la aplicación de corrientes



mediante electrodos de superficie (adheridos a la piel) y la EENP utiliza agujas percutáneas¹⁶¹. Otra diferenciación importante es entre la electroacupuntura y la EENP. La electroacupuntura basa sus principios en la medicina tradicional china y los canales de energía, mientras que la EENP sigue un proceso de razonamiento clínico y medicina basada en la evidencia a la hora de establecer las zonas de estimulación^{161,164}, aunque la aplicación de ambas técnicas presenta características similares, como el tipo y los parámetros de la corriente eléctrica.

La literatura existente sobre la aplicación de la ENP es relativamente amplia, ya que abarca desde dolor facial¹⁷⁵ o cefalea en racimos¹⁷⁶ hasta dolor neuropático^{153,159,174} o la incontinencia urinaria por vejiga reactiva^{177,178}. Sin embargo, desde el punto de vista de su aplicación en fisioterapia, la EENP presenta una literatura más escasa. Existen algunos estudios sobre dolor lumbar¹⁷⁹, dolor cervical¹⁸⁰, dolor de rodilla^{181,182} o síndrome del túnel del carpo¹⁶², así como una revisión sistemática en condiciones musculoesqueléticas¹⁶⁴ o una revisión de alcance sobre la EENP aplicada en tejido nervioso¹⁶¹. También hay otros estudios cuyo objetivo no es la reducción del dolor, sino la normalización o mejora de la función motora¹⁸³⁻¹⁸⁵, todos realizados en la última década.

En cuanto a la aplicación de la EENP en dolor lateral de codo, hemos encontrado dos artículos que realizan la intervención sobre el NR. Uno es un caso descrito por Arias-Buria et al.¹⁸⁶ y otro es un estudio piloto realizado por De-la-Cruz-Torres et al.¹⁸⁷, ambos en pacientes con dolor lateral de codo crónico. Ambos estudios obtuvieron mejoras significativas en el dolor y la función tras la aplicación de varias sesiones de EENP^{186,187}. Sin embargo, estos resultados no se pueden generalizar debido al diseño limitado de ambos estudios, ya que cuentan con una muestra pequeña y se realizaron con diferentes parámetros de tratamiento y de corriente eléctrica.

Hay que mencionar que tradicionalmente el tratamiento del dolor lateral de codo se ha enfocado desde una perspectiva musculotendinosa, teniendo como objetivo principalmente el músculo extensor radial corto del carpo, componente del tendón común extensor, o a la musculatura epicondílea en general^{1,24}. Bordachar comenta que el papel del sistema nervioso en el dolor lateral de codo es mucho más representativo y complejo de lo que se pensaba y también habla de la posibilidad de que la condición “dolor lateral de codo” no sea considerada simplemente como una tendinopatía sino como una manifestación clínica de afectación nerviosa¹.



2. JUSTIFICACIÓN



2. Justificación del estudio

El dolor lateral de codo es una de las patologías musculoesqueléticas más comunes, con una prevalencia en la población general que oscila entre el 1 y el 3 % y en población trabajadora hasta el 12 % dependiendo del tipo de trabajo²¹, lo que produce importantes y duraderas limitaciones en las actividades laborales, deportivas y en la calidad de la vida diaria de las personas^{3,188}. Durante la práctica clínica, un paciente derivado a consulta de fisioterapia con un diagnóstico de “epicondilalgia lateral”, “epicondilitis” o “codo de tenista”, supone un desafío debido al pronóstico y a los posibles factores contribuyentes que presenta esta condición, complicando su abordaje⁴.

Como se ha mencionado, existen numerosos estudios en varios campos sobre esta condición: epidemiología^{22,29}, diagnóstico¹⁸⁹ o tratamiento^{133,144}, por señalar algunos muy recientes. Sin embargo, a pesar de que cada vez se realiza más investigación y la tendencia es la de relacionar la salud con la evidencia científica, todavía no hemos encontrado recomendaciones sólidas que sirvan como “gold standard” sobre el manejo de esta condición²⁴. Esto resalta la necesidad de evaluar no solo estructuras musculoesqueléticas concretas, sino también otras estructuras, como es el caso del NR². La influencia del NR ha ido adquiriendo importancia en la literatura desde hace años, incrementándose especialmente en la última década¹. Algunos estudios muestran las repuestas a la evaluación del NR en sujetos con dolor lateral de codo^{92,130} pero son escasos. Además, existe una falta de investigación donde se ponga el foco en el NR como objetivo de tratamiento en pacientes con dolor lateral de codo crónico^{131,132,186,187}. Tampoco se menciona el tratamiento mediante EENP para el dolor lateral de codo en la última guía de práctica clínica realizada por Lucado et al.²⁴.

El propósito de esta tesis nace de la necesidad de incluir una evaluación de la mecanosensibilidad neural del NR, mediante los TNMS, en el proceso de razonamiento clínico de pacientes con dolor lateral de codo de larga evolución, y a su vez, proponer tratamientos enfocados en el componente neural. De esta manera, se evitará centrarse únicamente en estructuras musculoesqueléticas (como en la visión tradicional de la tendinopatía)¹⁹⁰, y se podrán programar estrategias de tratamiento más efectivas para evaluar su impacto en variables clínicas como el dolor y la funcionalidad.



3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

HYPOTHESES •
AND OBJECTIVES

..... OBJECTIVES



3.1 Hipótesis del estudio

Las hipótesis de esta tesis doctoral son:

- Los síntomas que presentan los pacientes con dolor lateral de codo pueden reproducirse con el uso de la prueba neurodinámica del NR, así como las diferentes variaciones del test pueden dar lugar a diferentes variaciones en su respuesta.
- El tratamiento específico del NR puede ser efectivo en pacientes con dolor lateral de codo.

3.2 Objetivos del estudio

3.2.1 Objetivo principal

Los objetivos principales de la tesis doctoral son:

- A. Evaluar las respuestas sintomáticas de las diferentes secuencias de los test neurodinámicos del NR y el test de supinación resistida en pacientes con dolor lateral de codo.
- B. Evaluar la efectividad de la EENP sobre el NR en comparación con un grupo control en sujetos con dolor lateral de codo.

3.2.2 Objetivos secundarios

1. Determinar las diferencias de las diferentes secuencias de los test neurodinámicos del NR y el test de supinación resistida en el grado de reproducción de síntomas familiares, parestesias, intensidad del dolor, porcentaje de positivos y negativos y distribución de dichos síntomas en sujetos con dolor lateral de codo.
2. Evaluar la efectividad del tratamiento del NR mediante EENP en el UDP de sujetos con dolor lateral de codo.
3. Evaluar la efectividad del tratamiento del NR mediante EENP en la intensidad del dolor y la FALD en sujetos con dolor lateral de codo.



RESULTS

4. RESULTADOS

RESULTS



4. Resultados

COMPENDIO DE PUBLICACIONES

Esta tesis se ha realizado por compendio de publicaciones. Los artículos que la conforman son los siguientes:

Publicación 1

Albert-Lucena D, Navarro-Santana MJ, Díaz-Arribas MJ, Valera-Calero JA, Fernández-de-Las-Peñas C, Plaza-Manzano G. Exploring Symptom Responses to Upper Limb Neural Test Variations of the Radial Nerve in Patients With Lateral Epicondylalgia: An Observational Study. Phys Ther. 2024 Jun 4;104(6):pzae041. doi: 10.1093/ptj/pzae041. PMID: 38501862.

Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38501862/>

Impacto científico en *Journal Citation Reports* (JCR año 2023): Revista indexada en JCR-SCIE: REHABILITATION. Posición 10/169; Primer decil. Factor de impacto: 3.5

Publicación 2

Albert-Lucena D, Navarro-Santana MJ, López-de-Uralde-Villanueva I, Díaz-Arribas MJ, Valera-Calero JA, Fernández-de-Las-Peñas C, Plaza-Manzano G. Immediate effects of percutaneous electrical nerve stimulation in patients with lateral elbow pain. Physiother Theory Pract. 2023 Dec 26;1-12. doi: 10.1080/09593985.2023.2296063. PMID: 38146921.

Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38146921/>

Impacto científico en *Journal Citation Reports* (JCR año 2023): Revista indexada en JCR-SCIE: REHABILITATION. Posición 78/169; Q2. Factor de impacto: 1.6



La publicación 1 se ha desarrollado siguiendo la declaración STROBE para estudios observacionales (**ANEXO I**) y la publicación 2 ha seguido la declaración CONSORT para ensayos clínicos aleatorizados (**ANEXO II**). Los pacientes reclutados recibieron una hoja de información para cada estudio (**ANEXO III y IV**) y firmaron un consentimiento informado (**ANEXO V**). Además, las hojas de recogida de datos del estudio 1 se presentan en el **ANEXO VI** y las hojas de recogida de datos del estudio 2 en el **ANEXO VII**. El registro del estudio 2 en ClinicalTrials.gov se muestra en el **ANEXO VIII**.



4.1 Publicación 1



Exploring Symptom Responses to Upper Limb Neural Test Variations of the Radial Nerve in Patients with Lateral Epicondylalgia: An Observational Study

Albert-Lucena D, Navarro-Santana MJ, Díaz-Arribas MJ, Valera-Calero JA, Fernández-de-Las-Peñas C, Plaza-Manzano G. Phys Ther. 2024; Jun 4;104(6):pzac041.

<https://doi.org/10.1093/ptj/pzac041>



Resumen

Objetivo: Las guías de práctica clínica recomiendan la evaluación de la mecanosensibilidad del nervio radial en pacientes con epicondilalgia lateral. A pesar de las diferentes posiciones y secuencias descritas, no existe una investigación que analice como cada variante desencadena los síntomas asociados con la epicondilalgia lateral. El objetivo de este estudio fue explorar los efectos de las diferentes posiciones y secuencias del test neurodinámico de miembro superior 2b (TNMS2b) en las respuestas a los síntomas en pacientes con epicondilalgia lateral. **Métodos:** En este estudio observacional, 66 pacientes se sometieron a 4 test: TNMS2b estándar, TNMS2b secuencia proximal-distal, TNMS2b con supinación resistida y test de supinación resistida aislado. Se recogieron los datos sobre parestesias, la reproducción de los síntomas familiares, la intensidad del dolor (medido con una escala visual analógica), el porcentaje de positivos y negativos y la distribución de los síntomas dolorosos. **Resultados:** Se observaron diferencias significativas en las sensaciones parestésicas entre grupos, con diferencias significativas más prominentes entre el TNMS2b estándar y las otras variaciones del TNMS2b y el test de supinación resistida. La reproducción de los síntomas también difirió de manera significativa entre los grupos, con diferencias significativas entre el TNMS2b estándar y las otras variaciones del TNMS2b y el test de supinación resistida. La positividad o negatividad del test y el porcentaje de la distribución de los síntomas dolorosos en las vistas laterales y frontales variaron significativamente entre las cuatro condiciones. Aunque la intensidad de dolor durante los test fue equiparable entre las pruebas, la distribución de los síntomas dolorosos difirió significativamente. **Conclusión:** Las variaciones en el TNMS2b pueden afectar a la respuesta a los síntomas en pacientes con epicondilalgia lateral. El TNMS2b estándar parece ser más efectivo en la reproducción de los síntomas reconocidos como familiares, la intensidad de las parestesias y la distribución de los síntomas dolorosos comparados con otras variaciones del TNMS2b y el test de supinación resistida.



Exploring Symptom Responses to Upper Limb Neural Test Variations of the Radial Nerve in Patients With Lateral Epicondylalgia: An Observational Study

Daniel Albert-Lucena, PT¹, Marcos José Navarro-Santana, PT, PhD^{1,2,*},
María José Días-Arribas, PT, PhD^{1,2}, Juan Antonio Valera-Calero, PT, PhD^{1,2},
César Fernández-de-las-Peñas, PT, PhD^{3,4}, Gustavo Plaza-Manzano, PT, PhD^{1,2}

¹Radiology, Rehabilitation and Physiotherapy Department, Faculty of Nursery, Physiotherapy and Podiatry, Complutense University of Madrid, Madrid, Spain

²Grupo InPhysio, Instituto de Investigación Sanitaria del Hospital Clínico San Carlos (IdiSSC), Madrid, Spain

³Department of Physical Therapy, Occupational Therapy, Rehabilitation and Physical Medicine, Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, Madrid, Spain

⁴Cátedra Institucional en Docencia, Clínica e Investigación en Fisioterapia: Terapia Manual, Punción Seca y Ejercicio Terapéutico, Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, Madrid, Spain

*Address all correspondence to Dr Navarro-Santana at: marconav@ucm.es

Abstract

Objective. Clinical practice guidelines recommend the radial nerve mechanosensitivity evaluation in patients with lateral epicondylalgia. Despite different positions and sequences having been described, no research analyzed how each variation triggers symptoms associated with lateral epicondylalgia. The aim of this study was to explore the effects of different positions and sequences in the upper limb neural tension test 2b (ULNT2b) in symptom responses in patients with lateral epicondylalgia.

Methods. In this observational study, 66 patients underwent 4 test conditions: standard ULNT2b, ULNT2b proximal to distal, ULNT2B with resisted supination, and resisted supination isolated. Paresthesia sensations, symptom reproduction, pain intensity (measured using a visual analog scale), and distribution of painful symptoms data were collected.

Results. Significant differences in paresthesia sensations were observed between groups, with significant differences between the standard ULNT2B and other ULNT variations or resisted supination maneuvers. Symptom reproduction also differed significantly across groups, with significant differences between the standard ULNT2B and other ULNT or resisted supination tests. The positive/negative test and percentage of distribution of painful symptoms scores varied significantly across 4 conditions in both lateral and frontal views. Although pain intensity scores during tests were comparable among the tests, distribution of painful symptoms differed significantly.

Conclusion. Variations in the ULNT2b test can affect symptom responses in patients with lateral epicondylalgia. The standard ULNT2b test appears more effective at reproducing symptoms, intensity of paresthesia, and distribution of painful symptoms compared to other ULNT variations and the resisted supination test.

Impact. ULNT2b sequences have been shown to elicit varying responses concerning paresthesia, replication of familiar symptoms, positive/negative test results, and distribution of painful symptoms. Clinicians should consider specific test variations during the patients' radial nerve mechanosensitivity assessment to identify aggravating factors reproducing recognizable symptoms. A control group of asymptomatic participants and the role of presence of other comorbidities, psychological factors, or the duration of symptoms were not considered in this study and might play an important role influencing the results of the tests.

Keywords: Lateral Elbow Pain, Neural Tension Test, Radial Nerve, Upper Limb Neurodynamic Test

Received: July 17, 2023. Revised: October 26, 2023. Accepted: December 20, 2023

© The Author(s) 2024. Published by Oxford University Press on behalf of the American Physical Therapy Association. All rights reserved.
For permissions, please email: journals.permissions@oup.com

Introduction

The most common chronic musculoskeletal pain pathology affecting the elbow is lateral epicondylalgia, commonly referred to as tennis elbow^{1,2} with an overall annual incidence of 3.4 per 1000 individuals.³ Although the literature focused on the extensor carpi radialis brevis tendon as it was considered the most affected structure associated with lateral epicondylalgia, current evidence suggests the involvement of other potential sources of pain, such as the radial nerve.⁴

The radial nerve, 1 of the 3 major nerves of the brachial plexus, innervates the posterior muscles of the arm and forearm, including the extensor carpi radialis brevis muscle, and plays a key role in wrist and finger extension.^{5,6} Irritation or entrapment of the radial nerve could occur at multiple points along its course.⁶ One of these locations is the arcade of Frohse (the space between the 2 layers of the supinator muscle) and the compression of the posterior interosseous nerve (which is the deep branch of the radial nerve) at this point is known as radial tunnel syndrome.⁷ Although this syndrome is uncommon, patients with radial tunnel syndrome can perceive symptoms quite similar to those from lateral epicondylalgia, so it is important to differentiate between these conditions to avoid misdiagnosis and to perform a correct management.^{6,8}

In this context, upper limb neural tension tests (ULNTs) are orthopedic tests frequently used by physical therapists to evaluate the nerves' mechanosensitivity and to test the involvement of neural structures as a possible source of pain.⁹ The ULNTs are designed to predominantly stress the nerve associated with each test (median: ULNT1 and ULNT2a; radial: ULNT2b; ulnar: ULNT3),¹⁰ and this mechanical stress can produce symptoms due to the elongation and/or compression caused by surrounding tissue.¹¹

ULNTs have shown moderate to substantial reliability for assessing the neurodynamic function of the radial nerve.^{9,12} Manvell et al¹³ found that the tension applied to the radial nerve during ULNT2b was found to be significantly higher compared with the median and ulnar nerves. A previous study has demonstrated that the presence of positive ULNT2b findings appears to have influence in patients with lateral epicondylalgia.¹⁴ However, there is a gap in knowledge regarding the specific test positions and sequences of the radial nerve that yield the most reliable and accurate results in lateral epicondylalgia.

The primary aim of this study was to evaluate the effects on response of different positions and sequences in the ULNT2b to detect the radial nerve involvement on patients with lateral epicondylalgia and determine the differences in triggering symptoms recognizable by the patients as familiar, paresthetic sensations, pain intensity, distribution of painful symptoms, and positive and negative test outcomes. The primary hypothesis was that different responses would be provoked with different sequences of the ULNT2b and that 1 or some of the sequences would reproduce symptoms similar to those experienced by patients with lateral epicondylalgia, suggesting the involvement of the radial nerve in this condition.

Methods

Design

In this study, an observational design was used to investigate the effects of various positions and sequences of the ULNT2b on symptom reproduction in patients with lateral

epicondylalgia. The study was carried out at the Universidad Complutense de Madrid (Madrid, Spain) between November 2020 and December 2022. The design and conduct of this observational study were guided by the Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology statement.¹⁵ The study design was approved and supervised by the Institutional Ethics Committee of Hospital Clínico San Carlos de Madrid (Madrid, Spain), and the rights of the participants were respected in accordance with the Declaration of Helsinki. Informed consent was obtained for all of the patients.

Participants

Patients with chronic lateral epicondylalgia were selected for the study. They were recruited through leaflets at the city of Madrid (Spain). The inclusion criteria were age of 18 years or older; lateral epicondylalgia with a duration of at least 3 months; and symptoms confirmed by at least 2 of these 4 tests: palpation of the lateral epicondyle, resisted extension of the wrist, resisted extension of the middle finger, and grip test.

On the other hand, the exclusion criteria were history of previous fractures, dislocations, or surgeries on the upper limb; inflammatory, degenerative, and/or neurological diseases; pregnancy; cervical radiculopathy or other neuropathy; and a lack of movement or pathology that could limit the mechanical application of the ULNT2b, as shown by any of the screening tests of shoulder abduction.

Procedures

Sociodemographic data (age, sex, weight, height, and body mass index) and clinical data (dominant side, side of pain, duration of symptoms, pressure pain thresholds, intensity of pain, pain-related disability, and pain-free grip strength) were collected before the examination with ULNT2b variations. After collection of these data, 3 variations of the ULNT2b and the resisted supination test were conducted 2 times each¹⁶; one to familiarize the patients with the sensation and the other to reproduce the test.

Upper Limb Neural Test 2b Sequences

The ULNT2b primarily targets the radial nerve and is performed using a series of controlled movements that aim to provoke symptoms and evaluate the nerve's response to tension.^{17,18} To perform the ULNT2b, the patient was positioned in the supine position on a treatment table, with the tested arm supported by the examiner. Three sequences defined in the Supplementary Table (standard ULNT2b, ULNT2b proximal to distal, and ULNT2b with resisted supination) were conducted cautiously, as excessive force or speed can potentially aggravate the patient's symptoms or cause injury to the radial nerve.¹⁹ The tests were conducted in a randomized order for each participant to minimize any order effects. A 10-minute interval was allowed between each test to mitigate any potential carry-over effects.¹⁶ If a participant continued to experience symptoms after the 10-minute interval, additional time was allowed until the participant returned to their baseline condition. Figures 1 to 3 illustrate standard ULNT2b, ULNT2b proximal to distal, and ULNT2b with resisted supination, respectively. ULNT2b with different positions was previously tested and showed excellent intra- and interrater reliability for strain in the combination of movements (intraclass correlation coefficient [ICC] = 0.86–0.87), as well as excellent intrarater reliability for abduction



Figure 1. Upper limb neurodynamic test 2b: standard sequence. (A) Initial position. (B) Final position.



Figure 2. Upper limb neurodynamic test 2b: proximal to distal sequence. (A) Initial position. (B) Final position.

(ICC = 0.92).¹³ For each test, the sequence was performed up to the point of pain tolerance, defined as the moment when the participant became too uncomfortable to continue with the test. This procedure has been conducted in a previous study and demonstrated excellent reliability for measuring shoulder abduction during ULNT3 (ICC = 0.92–0.94).²⁰ When symptoms appeared, a differential maneuver was performed, changing 1 or more positions of the test to relieve symptoms. Additional details about the sequence and test procedure are included in the Supplementary Material.

Resisted Supination Test

Resisted supination test was performed placing the patient in the supine position to observe whether this movement produced pain in the patients with the tested arm supported by the examiner. The patient's elbow was extended, and the forearm initially placed in a pronated position. The examiner asked the patient to attempt supination against resistance, turning their palm upward while the examiner provided an opposing force, maintaining the patient's forearm in the pronated position, as illustrated in Figure 4. This test can help differentiate between pain resulting from radial nerve tension and pain caused by other structures, such as the muscles involved in supination or the lateral epicondyle itself.²¹ A previous study reported an aggravation of symptoms in all patients ($n=26$) with the supination test.²²



Figure 3. Upper limb neurodynamic test with resisted supination.



Figure 4. Resisted supination test.

Outcomes

Clinical Severity of Lateral Epicondylalgia

The Patient-Rated Tennis Elbow Evaluation is divided into 2 parts. The first part includes 5 questions about pain, scored from 0 (no pain) to 10 (worst pain ever), with a total score out of 50. The second part consists of 10 questions, scored from 0 to 10, about function; the scores are divided by 2 to reach a total score out of 50. Both parts are summed, and a total score out of 100 is reported. This instrument has shown high internal consistency (Cronbach $\alpha=0.96$) and high test-retest reliability (ICC = 0.90).²³ The Disabilities of the Arm,

Shoulder, and Hand Questionnaire was used for assessing the upper limb disability. The total score ranges from 0 to 100, with higher scores indicating greater disability.²⁴ Lateral elbow pain intensity was evaluated using a 10-cm visual analog scale.²⁵ Finally, the pain-free grip strength test was evaluated using a grip dynamometer (Jamar hand dynamometer; Performance Health, Chicago, IL, USA). The pain-free grip strength test was performed in a seated position, with the elbows flexed at 90 degrees and the forearms in a neutral position.²⁶ Participants were asked to gradually increase their isometric grip strength until the pain started (affected side) or the patient was no longer able to squeeze more (nonaffected side). The mean of 3 trials with 30-second resting periods (measured in kilograms) was calculated for analyses.²⁷

Symptoms Triggered During the Maneuvers

In this study, several variables were collected to assess the patients' pain and symptoms during the performance of the ULNT2b and its variations and the isolated resisted supination test.

Patients reported the presence and severity of paresthesia experienced during the tests (using a categorical scale: none, mild to moderate, or severe). Also patients reported the extent to which the tests reproduced their familiar symptoms (using a categorical scale: none, slightly familiar, considerably familiar, or exact reproduction of symptoms) and the positive/negative result of the test, considering a positive response if the patient experienced familiar symptoms during the maneuver in the lateral aspect of the elbow or along the radial nerve distribution and if these symptoms were reduced/eliminated or worsened by releasing or increasing the tension in 1 or more positions, respectively (eg, ipsilateral/contralateral cervical lateral flexion).^{10,28} Anekstein et al²⁹ reported moderate to excellent interobserver reliability with an ICC range of 0.78 to 0.96 for the questionnaire used.

For assessing pain intensity, patients were asked to rate the current pain during the tests using the visual analog scale. Patients were asked to mark from 0 (no pain) to 100 (worst pain ever) at the point of pain tolerance, defined as the point at which the participant was too uncomfortable to continue with the test.²⁰ The visual analog scale has shown to be a reliable tool for assessing the intensity of musculoskeletal pain (ICC = 0.64–0.84).²⁵ Regarding the distribution of painful symptoms, participants were asked to shade on a body diagram in a frontal and lateral view the distribution of painful symptoms during the tests. The pain drawings were scanned and saved as digital images with a consistent size (eg, JPEG), and ImageJ software v.1.53a (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA) was used for quantifying the distribution of painful symptoms. The images were transformed to a 32-bit format (a 256 gray-scale image). Then, a range of pixels were selected on the basis of brightness to select the shaded area and the body chart (from 0 for selecting totally black pixels to 160 as the upper limit to avoid the inclusion of scanning noise). With these settings, a white template (0% distribution of painful symptoms) and a totally shaded template (100% distribution of painful symptoms) were measured to calculate the lower and upper thresholds. Finally, the patients' images were analyzed to transform the number of pixels shaded to a distribution of the percentage of painful symptoms (based on these references values). This procedure was conducted for the lateral, frontal, and back views. The interrater reliability was previously tested, yielding excellent reliability estimates

(ICC = 0.989),³⁰ and the minimal detectable change was previously reported as 222.67 to 256.76 pixels.³¹ In our study, this difference, when converted to a percentage, equates to 1.4% to 1.61%.

Sample Size Calculation

The sample size was determined using R software (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria), specifically with the pwr statistical package. For a balanced 1-way analysis of variance with 4 groups, an effect size of $f = 0.25$, a statistical significance level of .05, and a power of 0.90, the required number of participants in each group was initially calculated to be approximately 57.67. However, to account for potential losses during the study, estimated at 15%, the sample size was adjusted. Consequently, after this adjustment, the recommended number of participants for each group was approximately 66.

Data Analysis

All statistical analyses were carried out using SPSS v.25 software (IBM SPSS, Chicago, IL, USA), with a significance level of $P < .05$ being considered indicative of statistically significant differences. The Friedman test was used to compare the distribution of paresthesia sensations and symptom reproduction across the different test conditions. The Chi-square test was applied to compare the proportions of positive and negative test results among the test conditions. An analysis of variance was used to examine the mean pain intensity and distribution of painful symptoms among the various test conditions, including ULNT2b, ULNT2b proximal to distal, ULNT2b with resisted supination, and resisted supination alone. Eta-squared (η^2) is a measure of effect size that provides a measure of the proportion of variance in the dependent variable that is attributable to the independent variables. Values can be interpreted according to this rule: 0.01 indicates a small effect size, 0.06 indicates a medium effect size, and 0.14 or greater indicates a large effect size.³² After the overall tests (analysis of variance and Friedman test) were conducted, post hoc pairwise comparisons were performed to assess the differences between specific pairs of test conditions using the Wilcoxon test or the Student *t*-test.

Results

The sample analyzed in this study consisted of 72 patients diagnosed with lateral epicondylalgia. Six patients did not meet the inclusion and exclusion criteria (3 because of restrictions in shoulder range of motion and 3 because of concurrent neck pain); therefore, 66 patients were finally analyzed (Fig. 1). The baseline characteristics of the sample are presented in Table 1.

The provocation of paresthetic symptoms differed significantly across the maneuvers ($P < .001$). Notably, post hoc tests revealed significant differences ($P < .05$) between standard ULNT2b and ULNT2b with a proximal to distal sequence, ULNT2b with resisted supination, and resisted supination test, suggesting that standard ULNT2b could induce greater paresthesia sensation. Also, the ULNT2b with a proximal to distal sequence showed higher provocation of paresthetic symptoms ($P < .05$) compared to both the ULNT2b with resisted supination and the resisted supination test. Details are presented in Table 2.

Table 1. Characteristics of the Sample of Patients With Lateral Epicondylalgia (N = 66)^a

Characteristic	Value
Age, y	43.86 (10.39)
No. (%) of women/men	21 (31.8)/45 (68.2)
Body mass index, kg	25.33 (3.52)
Weight, kg	75.95 (13.56)
Height, m	1.72 (0.08)
Symptom duration, mo	10.35 (17.04)
Intensity of current pain (VAS)	57.41 (16.87)
Pain-free grip strength of affected side, kg	27.25 (10.39)
Pain-free grip strength of nonaffected side, kg	35.35 (11.95)
DASH, scored from 0–100	33.73 (13.05)
PRTEE, scored from 0–100	53.30 (24.81)

^aData are reported as mean (SD) unless otherwise indicated. DASH = Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand Questionnaire; PRTEE = Patient-Rated Tennis Elbow Evaluation; VAS = visual analog scale.

Regarding the provocation of symptoms recognized as familiar by the patients during the tests, significant differences were observed across the tests ($P < .001$) as detailed in Table 2. Pairwise comparisons revealed significant differences ($P < .05$) between standard ULNT2b and the other ULNTs, or the resisted supination test, indicating superior symptom reproduction by standard ULNT2b. Furthermore, all ULNTs exhibited significant differences compared to the resisted supination test ($P < .05$).

In the matter of positive and negative test outcomes, the Chi-square test revealed a significant association between the test conditions and the outcomes ($P < .001$) as summarized in Table 2. All ULNTs demonstrated significant differences ($P < .05$) compared to the resisted supination test but not among themselves.

Finally, pain-related outcomes are also presented in Table 2. The comparison of these 4 tests revealed no significant differences in terms of pain intensity provocation ($F(3, 62) = 2.121$; $P = .098$). However, significant differences ($P < .01$) were found in terms of distribution of painful symptoms triggered during the tests. Post hoc analysis revealed significant variations ($P < .01$) between standard ULNT2b and other test variations such as ULNT2b in a proximal to distal sequence, ULNT2b with resisted supination, and the resisted supination test, particularly in the posterior and lateral views. Regarding the area of distribution of painful symptoms in the anterior view, the post hoc analysis revealed significant differences ($P < .01$) between the standard ULNT2b and the resisted supination test.

Discussion

The present study aimed to evaluate whether different sequences and variations of the ULNT2b and supination tests provoke recognizable symptoms of lateral epicondylalgia, paresthetic sensations, familiar pain intensity and distribution of painful symptoms, and positive and negative test outcomes in patients with lateral epicondylalgia. Our main findings revealed significant differences in paresthesia sensations, triggering recognizable symptoms, response and distribution of painful symptoms across the 4 test conditions, with the most prominent differences observed between standard ULNT2b and the others.

Table 2. Comparison of Symptom Provocation Among the Four Tests^a

Parameter	A (N = 66) ^b	B (N = 66) ^b	C (N = 66) ^b	D (N = 66) ^b	Analysis of Variance P	η^2	A vs B	A vs C	A vs D	B vs C	B vs D	C vs D
Paresthesia					<.001 ^c							
Median (IQR) ^d	1 (0 to 1)	1 (0 to 1)	0 (0 to 1)	0 (0 to 0)								
None	30 (45.5)	35 (53)	44 (66.7)	50 (77.27)								
Mild to moderate	28 (42.4)	29 (43.9)	22 (33.3)	14 (21.21)								
Severe	8 (12.1)	2 (3)	1 (1.5)	1 (1.5)								
Symptom reproduction					<.001 ^c							
Median (IQR) ^d	2 (1 to 2)	1 (1 to 2)	1 (1 to 2)	1 (0.50 to 1)								
No symptoms	8 (12.1)	12 (18.2)	10 (15.2)	16 (24.24)								
Slightly familiar	20 (30.3)	26 (39.4)	28 (42.4)	39 (59.09)								
Considerably familiar	26 (39.4)	23 (34.8)	27 (40.9)	9 (13.63)								
Exact reproduction	12 (18.2)	5 (7.5)	1 (1.5)	2 (3.03)								
Test outcome					<.001 ^c							
Positive	51 (77.3)	48 (72.7)	49 (74.2)	18 (27.27)								
Negative	15 (22.7)	18 (27.3)	17 (25.8)	48 (72.72)								
VAS during test ^e , mean (SD)	50.34 (21.27)	48.93 (21.76)	47.81 (20.80)	41.06 (17.77)	.098							
Distribution of painful symptoms, anterior view, % mean (SD)	1.81 (0.15)	1.75 (0.17)	1.72 (0.14)	1.66 (0.10)	.005							
Distribution of painful symptoms, posterior view, % mean (SD)	1.94 (0.22)	1.81 (0.17)	1.76 (0.15)	1.73 (0.11)	<.001							
Distribution of painful symptoms, lateral view, % mean (SD)	1.29 (0.14)	1.24 (0.11)	1.19 (0.08)	1.22 (0.22)	<.001							

^aA = standard upper limb neurodynamic test; B = proximal to distal upper limb neurodynamic test; C = upper limb neurodynamic test plus resisted supination; D = resisted supination test; df = degree of freedom; IQR = interquartile range. ^bData for tests A–D are reported as numbers (percentages) of patients unless otherwise indicated. ^cFriedman test. ^d0 (none) to 3 (exact reproduction of symptom). ^eChi-square test. ^fSignificantly different ($P < .05$). ^gVAS = visual analog scale scored from 0 to 100. ^hSignificantly different ($P < .01$).



The differences in symptom reproduction and paresthesia across the different test sequences can be attributed to a combination of factors related to the specific test maneuvers and individual differences in pain perception, psychological factors and the biomechanics of the involved anatomical structures, such as muscles, tendons, and joints, in addition to the peripheral nerves. The differences in test positions and sequences may result in varying degrees of mechanical stress and tension on the peripheral nerves,^{14,33} particularly the radial nerve, which is predominantly affected in lateral epicondylalgia.^{6,34,35} For example, Lohkamp et al¹⁶ found that, when examining normal responses to neurodynamic tests 1 and 2a, the sensations of tingling and other paresthesia-like symptoms were reported in only 8% to 11% of the participants. This suggests that the presence and intensity of paresthesia during neurodynamic testing can vary widely and may be influenced by factors such as the patient population and the specific test being performed. This is supported by Nee et al,³³ who demonstrated that the order of movement during neurodynamic testing can significantly impact nerve strain and longitudinal excursion. The resisted supination component in ULNT2b with resisted supination may place additional stress on the affected tendons and muscles (eg, supinator muscle), potentially evoking a more accurate reproduction of the patient's symptoms,²¹ as supported by our findings. In contrast, test variations without resisted supination may primarily target the nerves, leading to different responses in symptom reproduction.³³ Further supporting the potential diagnostic utility of resisted supination test, a study²² observed that all patients with radial tunnel syndrome experienced an aggravation of their symptoms upon performing resisted supination. However, it is important to note that current data on the reliability and diagnostic accuracy of this test are lacking. Additionally, factors such as myofascial trigger point at supinator muscle, pain mechanisms, peripheral and central sensitization could influence the interpretation of the test, adding another layer of complexity to its diagnostic utility.

In addition, individual factors such as depressed scapular alignment, which has been linked to increased neural mechanosensitivity,³⁶ may interact with specific test conditions, resulting in variations in paresthesia sensations or symptom reproduction. Furthermore, the potential influence of central sensitization and the role of the central nervous system in pain perception modulation must be considered. Altered pain processing and elevated pain sensitivity are prevalent in patients with lateral epicondylalgia potentially leading to diverse responses in symptom reproduction and paresthesia sensations across the various test conditions.^{37,38}

In our study, no significant differences were observed in pain intensity during the various test conditions. One potential reason explaining this finding is that the different tests, although varying in their specific techniques and targeted structures, may evoke similar levels of mechanical stress at the end of the test on the affected tendons and neural tissues, leading to comparable pain experiences for the patients.³³

Concerning the distribution of painful symptoms, to our knowledge, this is the first study to investigate the differences in distribution of painful symptoms during testing. The standard ULNT2b triggered a larger area over all views compared to other tests. An experimental study has shown significant differences in the area of pain following saline injections into the supinator muscle, the extensor carpi radialis brevis

muscle, and the common extensor tendon.³⁹ These differences found in our study could be attributed to the mechanical stress placed on the structures and the subsequent referred pain during testing, possibly due to stimulation of myofascial trigger points⁴⁰ or the radial nerve.⁴¹ As the test that best reproduces symptoms, standard ULNT2b may generate a broader area of pain, potentially due to greater tension on more structures compared to the other tests. Resisted supination test resulted in a lower positive test rate and a smaller area of distribution of painful symptoms compared to other tests used, potentially attributable to its isolated engagement of the supinator muscle, bypassing other adjacent structures. However, the differences did not exceed the minimal detectable change as reported by a previous study.³¹ This observation may be attributed to the fact that, since the pain was localized solely to the elbow region, participants marked only about 1% to 2% of the illustration. As a result, extrapolating the minimal detectable changes to a population with lateral elbow pain becomes challenging. Future studies should consider exploring the reliability and minimal change in individuals with lateral epicondylalgia and further clarify the potential utility of distribution of painful symptoms in the diagnostic process.

Clinical Implications

These results provide valuable insights for clinicians and researchers in the field of rehabilitation, as they highlight the importance of considering the specific test conditions when evaluating patients with lateral epicondylalgia using the ULNT2b test and planning targeted interventions. By understanding the variations in the ULNT2b test and their implications on symptom reproduction and paresthesia sensations, clinicians can make more informed decisions regarding the appropriate test to use, which in turn facilitates the development of effective treatment plans. Our study suggests that the standard ULNT2b test may be the most effective in provoking paresthetic symptoms and symptoms recognized as familiar by patients. Therefore, it could serve as the primary test for initial evaluation in a clinical setting. However, the choice of test may be influenced by the specific clinical presentation. For example, if the focus is on assessing nerve-related symptoms, the ULNT2b with a proximal to distal sequence may be more appropriate, particularly for suspecting cervical issues or radiculopathy. On the other hand, the use of resisted supination could be more relevant when there is suspicion of entrapment or involvement of the supinator muscle. This nuanced approach allows clinicians to tailor their diagnostic strategies on the basis of an individual patient's symptoms and presentation, thereby enhancing the quality of care.

However, it is also important to consider that the ULNT2b test is just 1 component of a comprehensive clinical assessment.² Clinicians should not rely solely on this test but rather use it in conjunction with a detailed patient history, physical examination, and other relevant tests to obtain a holistic understanding of the patient's condition.⁴² Previously, it was believed that neural provocation tests could diagnose entrapment neuropathies.⁴² Most recent Clinical Practice Guidelines for Lateral Elbow Pain and Muscle Function Impairments⁴³ supports and recommends a history and physical exam, including the proper execution of special tests (eg, ULNT2b) for differential diagnosis (eg, cervical radiculopathy, radial tunnel syndrome, or posterior

interosseous syndrome). However, increased mechanosensitivity can be present even when there is no nerve lesion^{44,45} and, conversely, patients with confirmed entrapment neuropathies might not exhibit heightened mechanosensitivity.⁴⁶ This discrepancy could explain why a significant proportion (about 70%) of participants in our study displayed positive results for the ULNT. This is in line with the guidelines,⁴³ which recommend the use of electrodiagnostic studies to rule out the origin of nerve pain when nerve-related pain is suspected. Our findings could be used to determine which patients require further investigation. Future research should focus on identifying which tests can detect nerve-related disorders in lateral elbow pain.

One of the primary implications of these findings is the need for a comprehensive assessment process that considers individual patient factors. Several studies proposed the benefits of the inclusion of neurodynamic techniques in a multimodal treatment approach for managing some conditions, including lateral epicondylalgia.⁴⁷⁻⁴⁹ Furthermore, understanding the variations in the ULNT2b test can help physical therapists to identify patients who might benefit from neurodynamic techniques such as neural gliding or tension neural mobilization (with different effects on nerve excursion and strain) which could result in different therapeutic effects.⁵⁰

Limitations

There are several limitations to this study that should be considered when interpreting the results. Participants were recruited from a single clinical setting, which may also limit the generalizability of the results to other settings and populations. The study did not include a control group of individuals who were healthy, which could have provided additional understanding into the specificity of the ULNT2b test variations for lateral epicondylalgia. One limitation of this study is that we did not assess the reliability of symptom reproduction across the different test sequences, even though the questionnaire used in this study is based on previous research²⁹ that has demonstrated moderate to excellent interexaminer reliability. Future research should focus on examining both intra- and interexaminer reliability. Additionally, despite randomizing the order of the tests, there may still be a carry-over effect that could bias the interpretation of symptoms. However, we believe this effect is likely minimal, as a 10-minute rest period was allowed between tests, and testing did not proceed until symptoms from the previous test had resolved. The study did not investigate the potential influence of other factors, such as the presence of comorbidities, psychological factors, or the duration of symptoms on the test outcomes. Finally, the study did not evaluate the interrater reliability of the test conditions, which may affect the consistency and validity of the results.

Conclusion

In conclusion, this study demonstrated that ULNT2b sequences and the resisted supination tests triggered differently paresthesia sensations, symptoms recognizable by the patients, and distribution of painful symptoms in patients with lateral epicondylalgia. The standard ULNT2b exhibited notable differences when compared to the others, indicating its potential utility in the assessment of this population.

Author Contributions

All authors equally contributed to (1) concept/idea/research design, (2) acquisition of data, (3) analysis and interpretation of data, (4) writing/review/editing of manuscript, (5) final approval of the manuscript, (6) providing facilities, and (7) providing participants.

Daniel Albert-Lucena (Conceptualization, Data curation, Investigation, Methodology, Resources, Software, Writing—original draft), Marcos José Navarro-Santana (Conceptualization, Formal analysis-Supporting, Investigation, Resources, Software, Supervision, Validation, Visualization, Writing—original draft, Writing—review & editing), María José Díaz-Arribas (Conceptualization, Investigation, Methodology, Project administration, Supervision, Writing—original draft, Writing—review & editing), Juan Antonio Valera-Calero (Data curation, Formal analysis, Investigation, Methodology, Resources, Software, Writing—review & editing), César Fernández-de-las-Peñas (Conceptualization, Methodology, Supervision, Validation, Visualization, Writing—original draft, Writing—review & editing), and Gustavo Plaza-Manzano (Conceptualization, Investigation, Methodology, Project administration, Supervision, Validation, Visualization, Writing—original draft, Writing—review & editing)

Ethics Approval

This study design was approved and supervised by the Institutional Ethics Committee of Hospital Clínico San Carlos de Madrid (Spain).

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Disclosures

The authors completed the ICMJE Form for Disclosure of Potential Conflicts of Interest and reported no conflicts of interest.

References

1. Bisset L, Vicenzino B. Physiotherapy management of lateral epicondylalgia. *J Physiother*. 2015;61:174-181. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2015.07.015>.
2. Coombes BK, Bisset L, Vicenzino B. Management of lateral elbow tendinopathy: one size does not fit all. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2015;45:938-949. <https://doi.org/10.2519/jospt.2015.5841>.
3. Sanders TL, Maradit Kremers H, Bryan AJ, Ransom JE, Smith J, Morrey BF. The epidemiology and health care burden of tennis elbow: a population-based study. *Am J Sports Med*. 2015;43:1066-1071. <https://doi.org/10.1177/0363546514568087>.
4. Abhimanyu V, Ritika P, Osama N, Seishti N, Gita H. Lateral epicondylitis: are we missing out on radial nerve involvement? A cross-sectional study. *J Bodyw Mov Ther*. 2021;27:352-357. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2021.01.014>.
5. Agarwal A, Chandra A, Jaipal U, Saini N. A panorama of radial nerve pathologies —an imaging diagnosis: a step ahead. *Insights Imaging*. 2018;9:1021-1034. <https://doi.org/10.1007/s13244-018-0662-X>.
6. Wegiel A, Karauda P, Zielinska N, Tubbs RS, Olewnik Ł. Radial nerve compression: anatomical perspective and clinical consequences. *Neurosurg Rev*. 2023;46:53-16. <https://doi.org/10.1007/s10143-023-01944-2>.
7. Levina Y, Dantuluri PK. Radial tunnel syndrome. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2021;14:205-213. <https://doi.org/10.1007/s12178-021-09703-W>.



8. Bonczar M, Ostrowski P, Dziedzic M, et al. Evaluation of lateral epicondylopathy, posterior interosseous nerve compression, and plica syndrome as co-existing causes of chronic tennis elbow. *Int Orthop*. 2023;47:1787-1795. <https://doi.org/10.1007/s00264-023-05805-x>.
9. Schmid AB, Brunner F, Luomajoki H, et al. Reliability of clinical tests to evaluate nerve function and mechanosensitivity of the upper limb peripheral nervous system. *BMC Musculoskelet Disord*. 2009;10:1-9. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-10-11>.
10. Nee RJ, Jull GA, Vicenzino B, Coppieters MW. The validity of upper-limb neurodynamic tests for detecting peripheral neuropathic pain. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2012;42:413-424. <https://doi.org/10.2519/jospt.2012.3988>.
11. Topp KS, Boyd BS. Structure and biomechanics of peripheral nerves: nerve responses to physical stresses and implications for physical therapist practice. *Phys Ther*. 2006;86:92-109. <https://doi.org/10.1093/PTJ/86.1.92>.
12. Leoni D, Storer D, Gatti R, Egloff M, Barbero M. Upper limb neurodynamic test 1 on healthy individuals: intra-and inter-session reliability of the angle between pain onset and sub-maximal pain. *Pain Res Manag*. 2016;2016:1-7. <https://doi.org/10.1155/2016/9607262>.
13. Manvell JJ, Manvell N, Snodgrass SJ, Reid SA. Improving the radial nerve neurodynamic test: an observation of tension of the radial, median and ulnar nerves during upper limb positioning. *Man Ther*. 2015;20:790-796. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.03.007>.
14. Yaxley G, Jull GA. Adverse tension in the neural system. A preliminary study of tennis elbow. *Aust J Physiother*. 1993;39:15-22. [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(14\)60465-7](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(14)60465-7).
15. von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP. The strengthening of reporting of observational studies in epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *Int J Surg*. 2014;12:1495-1499. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2014.07.013>.
16. Lohkamp M, Small K. Normal response to upper limb neurodynamic test 1 and 2A. *Man Ther*. 2011;16:125-130. <https://doi.org/10.1016/j.math.2010.07.008>.
17. Elvey RL. Physical evaluation of the peripheral nervous system in disorders of pain and dysfunction. *J Hand Ther*. 1997;10:122-129. [https://doi.org/10.1016/S0894-1130\(97\)80066-X](https://doi.org/10.1016/S0894-1130(97)80066-X).
18. Butler DS. *Mobilisation of the Nervous System. Vol. 78, Physiotherapy*. 78. Melbourne: Churchill Livingstone; 1991: 288- 953. [https://doi.org/10.1016/S0031-9406\(10\)60526-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9406(10)60526-3).
19. Shacklock M. Improving application of neurodynamic (neural tension) testing and treatments: a message to researchers and clinicians. *Man Ther*. 2005;10:175-179. <https://doi.org/10.1016/j.math.2005.03.001>.
20. Martínez MDA, Cubas CI, Gorbés EL. Ulnar nerve neurodynamic test: study of the normal sensory response in asymptomatic individuals. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2014;44:450-456. <https://doi.org/10.2519/jospt.2014.5207>.
21. Moradi A, Ebrahimzadeh MH, Jupiter JB. Radial tunnel syndrome, diagnostic and treatment dilemma. *Arch Bone Jt Surg*. 2015;3: 156-162.
22. Sarhadi NS, Korday SN, Bainbride LC. Radial tunnel syndrome: diagnosis and management. *J Hand Surg Br*. 1998;23:617-619. [https://doi.org/10.1016/S0266-7681\(98\)80015-6](https://doi.org/10.1016/S0266-7681(98)80015-6).
23. Gallego-Izquierdo T, Ruiz-Vindel J, Ferragut-Garcías A, et al. Adaptation and transcultural translation into Spanish of the patient-rated tennis elbow evaluation questionnaire. *J Orthop Res*. 2020;38:2601-2607. <https://doi.org/10.1002/JOR.24820>.
24. Hervás MT, Navarro Collado MJ, Peiró S, Rodrigo Pérez JL, López Matéu P, Martínez TI. Versión Española del cuestionario DASH. Adaptación transcultural, fiabilidad, validez y sensibilidad a los cambios. *Med Clin*. 2006;127:441-447. <https://doi.org/10.1157/13093053>.
25. Boonstra AM, Schiphorst Preuper HR, Reneman MF, Posthumus JB, Stewart RE. Reliability and validity of the visual analogue scale for disability in patients with chronic musculoskeletal pain. *Int J Rehabil Res*. 2008;31:165-169. <https://doi.org/10.1097/MRR.0B013E3282FC0F93>.
26. Hillman TE, Nunes QM, Hornby ST, et al. A practical posture for hand grip dynamometry in the clinical setting. *Clin Nutr*. 2005;24: 224-228. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.09.013>.
27. Wyn Lim EC. Pain free grip strength test. *J Physiother*. 2013;59:59. [https://doi.org/10.1016/S1836-9553\(13\)70152-8](https://doi.org/10.1016/S1836-9553(13)70152-8).
28. Lim ECW, Sterling M, Podler A, Coombes BK, Vicenzino B. Evidence of spinal cord hyperexcitability as measured with nociceptive flexion reflex (NFR) threshold in chronic lateral epicondylalgia with or without a positive neurodynamic test. *J Pain*. 2012;13: 676-684. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2012.04.005>.
29. Anekstein Y, Blecher R, Smorgick Y, Mirovsky Y. What is the best way to apply the spurling test for cervical radiculopathy? *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470:2566-2572. <https://doi.org/10.1007/S11999-012-2492-3>.
30. dos Reis FJJ, de Barrose Silva V, de Lucena RN, Mendes Cardoso RA, Nogueira LC. Measuring the pain area: an intra- and inter-rater reliability study using image analysis software. *Pain Pract*. 2016;16:24-30. <https://doi.org/10.1111/PAPR.12262>.
31. Caseiro M, Woznowski-Vu A, De Oliveira AS, Reis FJJ, Wideman TH. From paper to digitalized body map: a reliability study of the pain area. *Pain Pract*. 2019;19:602-608. <https://doi.org/10.1111/papr.12780>.
32. Fritz CO, Morris PE, Richler JJ. Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation. *J Exp Psychol Gen*. 2012;141: 2-18. <https://doi.org/10.1037/A0024338>.
33. Nee RJ, Yang CH, Liang CC, Tseng GF, Coppieters MW. Impact of order of movement on nerve strain and longitudinal excursion: a biomechanical study with implications for neurodynamic test sequencing. *Man Ther*. 2010;15:376-381. <https://doi.org/10.1016/j.math.2010.03.001>.
34. Gürçay E, Karahmet ÖZ, Kara M, et al. Ultrasonographic evaluation of the radial nerves in patients with unilateral refractory lateral epicondylitis. *Pain Med*. 2017;18:pnw181-pnw402. <https://doi.org/10.1093/pm/pnw181>.
35. Zhang JY, Manirajan A, Wolf JM. The epidemiology of radial tunnel syndrome and its overlap with lateral epicondylitis. *J Hand Surg Am*. 2023;48:1172.e1-1172.e7. <https://doi.org/10.1016/j.jhssa.2023.03.007>.
36. Martínez-Merino P, Lluch E, Gallego-Izquierdo T, et al. The influence of a depressed scapular alignment on upper limb neural tissue mechanosensitivity and local pressure pain sensitivity. *Musculoskelet Sci Pract*. 2017;29:60-65. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2017.03.001>.
37. Fernández-De-Las-Peñas C, Navarro-Santana MJ, Cleland JA, Arias-Burja JL, Plaza-Manzano G. Evidence of bilateral localized, but not widespread, pressure pain hypersensitivity in patients with upper extremity tendinopathy/overuse injury: a systematic review and meta-analysis. *Phys Ther*. 2021;101:1-12. <https://doi.org/10.1093/PTJ/PZAB131>.
38. Rio E, Sandler J, Cheng K, Lorimer Moseley G, Cook J, Girdwood M. Sensory processing in people with and without tendinopathy: a systematic review with meta-analysis of local, regional, and remote sites in upper- and lower-limb conditions. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2021;51:12-26. <https://doi.org/10.2519/JOSPT.2021.9417>.
39. Slater H, Arendt-Nielsen L, Wright A, Graven-Nielsen T. Sensory and motor effects of experimental muscle pain in patients with lateral epicondylalgia and controls with delayed onset muscle soreness. *Pain*. 2005;114:118-130. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2004.12.003>.
40. Fernández-Carnero J, Fernández-De-Las-Peñas C, De La Llave-Rincón AI, Ge HY, Arendt-Nielsen L. Prevalence of and referred pain from myofascial trigger points in the forearm muscles in patients with lateral epicondylalgia. *Clin J Pain*. 2007;23:353-360. <https://doi.org/10.1097/AJP.0b013e31803b3785>.
41. Petersen CM, Zimmermann CL, Hall KD, Przchedera SJ, Julian JV, Coderre NN. Upper limb neurodynamic test of the radial nerve: a study of responses in symptomatic and asymptomatic



- subjects. *J Hand Ther.* 2009;22:344–354. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2009.05.001>.
42. Schmid AB, Fundaun J, Tampin B. Entrapment neuropathies: a contemporary approach to pathophysiology, clinical assessment, and management. *Pain Reports.* 2020;5:e829. <https://doi.org/10.1097/PR9.0000000000000829>.
43. Lucado AM, Day JM, Vincent JL, et al. Lateral elbow pain and muscle function impairments. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2022;52:CPG1–CPG111. <https://doi.org/10.2519/jospt.2022.0302>.
44. Van Der Heide B, Bourgoignie C, Eils G, Garnevall B, Blackmore M. Test-retest reliability and face validity of a modified neural tissue provocation test in patients with cervicobrachial pain syndrome. *J Man Manip Ther.* 2006;14:30–36. <https://doi.org/10.1179/106698106790820863>.
45. Tampin B, Slater H, Briffa NK. Neuropathic pain components are common in patients with painful cervical radiculopathy, but not in patients with nonspecific neck-arm pain. *Clin J Pain.* 2013;29:846–856. <https://doi.org/10.1097/AJP.0B013E318278D434>.
46. Basalgia LT, Bennett DL, Silbiger RM, Schmid AB. Negative neurodynamic tests do not exclude neural dysfunction in patients with entrapment neuropathies. *Arch Phys Med Rehabil.* 2017;98:480–486. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.06.019>.
47. Basson A, Olivier B, Ellis R, Coppieters M, Stewart A, Mudzi W. The effectiveness of neural mobilization for neuromusculoskeletal conditions: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2017;47:593–615. <https://doi.org/10.2519/JOSPT.2017.7117>.
48. Plaza-Manzano G, Cancela-Clilleruelo I, Fernández-De-Las-Penás C, et al. Effects of adding a neurodynamic mobilization to motor control training in patients with lumbar radiculopathy due to disc herniation: a randomized clinical trial. *Am J Phys Med Rehabil.* 2020;99:124–132. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001295>.
49. Ballesterio-Pérez R, Plaza-Manzano G, Urraca-Gesto A, et al. Effectiveness of nerve gliding exercises on carpal tunnel syndrome: a systematic review. *J Manip Physiol Ther.* 2017;40:50–59. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2016.10.004>.
50. Coppieters MW, Butler DS. Do “sliders” slide and “tensioners” tension? An analysis of neurodynamic techniques and considerations regarding their application. *Man Ther.* 2008;13:213–221. <https://doi.org/10.1016/j.math.2006.12.008>.



SUPPLEMENTAL MATERIAL

TABLE. Comparison of upper limb neural mobility testing movement sequence

Standard ULNT2b	Proximal to distal ULNT2b	ULNT2b with resisted supination	Resisted supination
Shoulder girdle depression	Shoulder girdle depression	Shoulder girdle depression	Resisted supination without neural tension
Elbow Extension	Shoulder Abduction	Elbow Extension	
Pronated forearm position	Pronated forearm position	Pronated forearm position	
Flexed Wrist	Elbow Extension	Flexed Wrist	
Flexed Fingers and Thumb	Flexed Wrist	Slight Flexed Fingers and Thumb	
Shoulder Abduction	Flexed Fingers and Thumb	Resisted supination	

ULNT: Upper Limb Neural Test

Explanation upper limb neurodynamic test-2b sequences and resisted supination test.

Standard ULNT2b

The ULNT2b primarily targets the radial nerve (RN) and is performed using a series of controlled movements that aim to provoke symptoms and evaluate the nerve's response to tension. To perform the ULNT2b, the patient is positioned supine on a treatment table with the tested arm supported by the examiner. For each test, the sequence was performed up to the point of pain tolerance, defined as the moment when the participant became too uncomfortable to continue with the test. The examiner then performs the following steps (if the patient did not report any symptoms continue to the next step):

1. **Shoulder:** The examiner begins by gently depressing the patient's shoulder to stabilize the scapula and minimize compensatory movements during the test.
2. **Elbow Extension:** The examiner slowly extends the patient's elbow.
3. **Forearm:** The patient's forearm is placed in a pronated position.



4. Wrist: The examiner flexes and ulnar deviates the patient's wrist while maintaining the elbow in a flexed position.
5. Fingers and Thumb: The examiner flexes the patient's fingers and thumb, increasing the tension along the radial nerve.
6. Shoulder: The examiner finished the test with shoulder abduction if the patient did not report any symptoms.

A positive ULNT2b test result is indicated when the patient experiences familiar symptoms, such as pain or discomfort, in the lateral aspect of the elbow or along the radial nerve distribution and these symptoms should be reduced or eliminated by releasing the tension in one or more of the positions (e.g., ipsilateral cervical flexion). It is essential to perform the test gently and cautiously, as excessive force or speed can potentially aggravate the patient's symptoms or cause injury to the radial nerve.

ULNT2b – Proximal to distal sequence (ULNT2b-2)

To perform the ULNT2b-proximal to distal, the patient is in supine position on a treatment table with the tested arm supported by the examiner who performs the following steps:

1. Shoulder: The examiner begins by gently depressing the patient's shoulder to stabilize the scapula and minimize compensatory movements during the test and 70° of shoulder abduction.
2. Elbow Extension: The examiner slowly extends the patient's elbow, creating additional tension on the radial nerve
3. Forearm: The patient's forearm is placed in a pronated position.
4. Wrist: The examiner flexes and ulnar deviates the patient's wrist.
5. Fingers and Thumb: The examiner flexes the patient's fingers and thumb, further increasing the tension along the radial nerve.



Like the standard ULNT2b, the subsequent neurodynamic test is considered positive when the patient experiences familiar symptoms, such as pain or discomfort, in the area being assessed or along the corresponding nerve distribution. The sequence was performed up to the point of pain tolerance, defined as the moment when the participant became too uncomfortable to continue with the test. These symptoms should be reduced or eliminated by releasing the tension in one or more of the positions involved in the test (e.g. wrist or fingers and thumb flexion).

ULNT2b – With resisted supination (ULNT2b-3)

To perform the modified ULNT2b test with resisted supination, the patient is again in supine position on a treatment table with the tested arm supported by the examiner. The examiner then performs the following steps:

1. Shoulder: The examiner begins by gently depressing the patient's shoulder to stabilize the scapula and minimize compensatory movements during the test and 10° of shoulder abduction.
2. Elbow Extension: The examiner slowly extends the patient's elbow, creating additional tension on the radial nerve. This movement is performed until the patient reports symptoms, such as pain or discomfort, or the examiner observes a clear resistance or limitation in the range of motion.
3. Forearm: The patient's forearm is initially placed in a pronated position.
4. Wrist: The examiner flexes the patient's wrist while maintaining the elbow in a flexed position. This is done without inducing excessive symptoms, as the next step in the test sequence involves resisted supination, which must be feasible to perform.



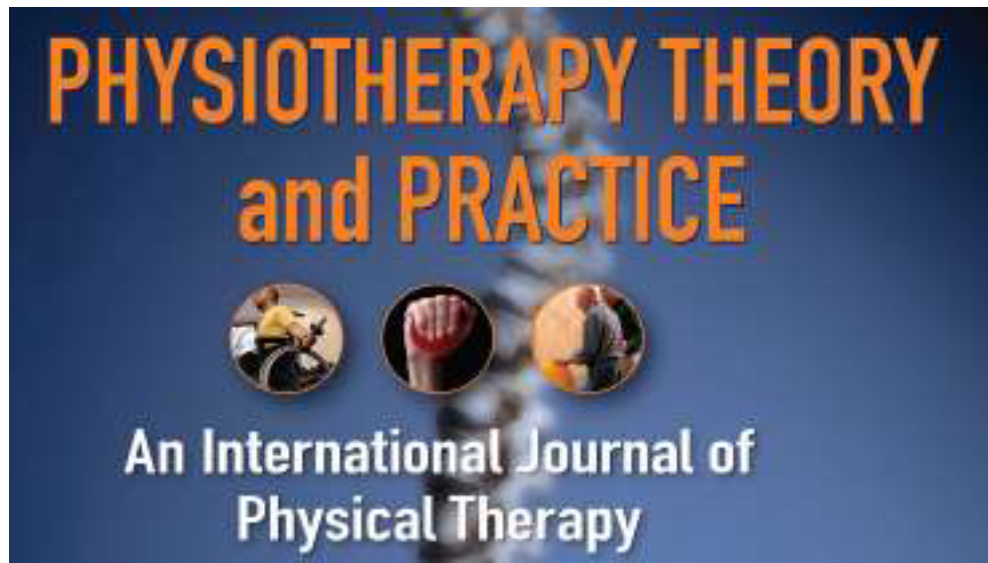
5. **Resisted Supination:** While maintaining the previous positions, the examiner asks the patient to perform a resisted supination by attempting to turn their palm upwards against the examiner's resistance. This additional movement further stresses the radial nerve and surrounding structures.

The subsequent neurodynamic test is considered positive when the patient experiences familiar symptoms, such as pain or discomfort, in the area being assessed or along the corresponding nerve distribution. These symptoms should be reduced or eliminated by releasing the tension in one or more of the positions involved in the test.

Resisted Supination Test

A separate resisted supination test was performed with the patient in the supine position to observe whether this movement produced pain in the patients with the tested arm supported by the examiner. The patient's elbow was extended, and the forearm is initially placed in a pronated position. The examiner asks the patient to attempt supination against resistance, turning their palm upwards while the examiner provides an opposing force, maintaining the patient's forearm in the pronated position. The purpose of performing the resisted supination test in the supine position, separate from the modified ULNT2b test, is to isolate the supination movement and assess its potential contribution to pain in patients with lateral epicondylalgia. This test can help differentiate between pain resulting from RN tension and pain caused by other structures, such as the muscles involved in supination or the lateral epicondyle itself.

4.2 Publicación 2



Immediate effects of percutaneous electrical nerve stimulation in patients with lateral elbow pain

Albert-Lucena D, Navarro-Santana MJ, López-de-Uralde-Villanueva I, Díaz-Arribas MJ, Valera-Calero JA, Fernández-de-Las-Peñas C, Plaza-Manzano G. *Physiother Theory Pract.* 2023; Dec 26:1-12.

<https://doi.org/10.1080/09593985.2023.2296063>



Resumen

Introducción: La estimulación eléctrica nerviosa percutánea parece ser efectiva en el tratamiento del dolor musculoesquelético crónico. **Objetivo:** Determinar el efecto inmediato de una sesión de estimulación eléctrica nerviosa percutánea sobre el nervio radial en el dolor lateral de codo. **Métodos:** Se realizó un ensayo clínico aleatorizado. Sesenta (60) pacientes con dolor lateral de codo crónico fueron asignados al grupo de verdadera estimulación nerviosa eléctrica percutánea ($n = 30$) o al grupo de estimulación nerviosa eléctrica percutánea placebo ($n = 30$) donde los pacientes recibieron una sesión de estimulación nerviosa eléctrica percutánea verdadera o placebo en el nervio radial, respectivamente. El umbral del dolor a la presión, la intensidad del dolor, la fuerza de agarre libre de dolor y la mejoría autopercebida fueron evaluadas tras la intervención. **Resultados:** Se encontraron diferencias significativas entre grupos para la intensidad del dolor (-11.55 , IC 95 % -21.79 a -1.30 , $p < 0.028$) pero no para el umbral del dolor a la presión o la fuerza de agarre libre de dolor. Los pacientes que recibieron la estimulación nerviosa eléctrica percutánea verdadera tuvieron mejoras significativas en la fuerza de agarre libre de dolor en el lado tratado (3.62 , IC 95 % 1.43 a 5.80 ; $p = 0.002$). La proporción de individuos que reportaron mejoras autopercebidas de moderadas a grandes (≥ 4) fue significativamente mayor ($p = 0.026$) tras la estimulación nerviosa eléctrica percutánea verdadera que la estimulación placebo. **Conclusión:** Una sola sesión de estimulación nerviosa eléctrica percutánea enfocada al nervio radial en sujetos con dolor lateral de codo disminuye la intensidad del dolor entre grupos y aumenta la fuerza de agarre libre de dolor en el lado del tratamiento, pero no entre grupos.



Physiotherapy Theory and Practice

An International Journal of Physical Therapy

ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/iptp20>

Immediate effects of percutaneous electrical nerve stimulation in patients with lateral elbow pain

Daniel Albert-Lucena, Marcos José Navarro-Santana, Ibai López-de-Uralde-Villanueva, María José Díaz-Arribas, Juan Antonio Valera-Calero, César Fernández-de-Las-Peñas & Gustavo Plaza-Manzano

To cite this article: Daniel Albert-Lucena, Marcos José Navarro-Santana, Ibai López-de-Uralde-Villanueva, María José Díaz-Arribas, Juan Antonio Valera-Calero, César Fernández-de-Las-Peñas & Gustavo Plaza-Manzano (26 Dec 2023): Immediate effects of percutaneous electrical nerve stimulation in patients with lateral elbow pain, *Physiotherapy Theory and Practice*, DOI: 10.1080/09593985.2023.2296063

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/09593985.2023.2296063>



Published online: 26 Dec 2023.



Submit your article to this journal [↗](#)



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=iptp20>



Immediate effects of percutaneous electrical nerve stimulation in patients with lateral elbow pain

Daniel Albert-Lucena^a, Marcos José Navarro-Santana^{a,b}, Ibai López-de-Uralde-Villanueva^{a,b}, María José Díaz-Arribas^{a,b}, Juan Antonio Valera-Calero^{a,b}, César Fernández-de-Las-Peñas^{c,d}, and Gustavo Plaza-Manzano^{a,b}

^aDepartment of Radiology, Rehabilitation and Physiotherapy, Faculty of Nursery, Physiotherapy and Podiatry, Complutense University of Madrid, Madrid, Spain; ^bGrupo InPhysio, Instituto de Investigación Sanitaria del Hospital Clínico San Carlos (IdiSSC), Calle del Profesor Martín Lagos, Madrid, Spain; ^cDepartment of Physical Therapy, Occupational Therapy, Rehabilitation and Physical Medicine, Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, Spain; ^dCátedra Institucional en Docencia, Clínica e Investigación en Fisioterapia: Terapia Manual, Punción Seca y Ejercicio Terapéutico, Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, Spain

ABSTRACT

Introduction: Ultrasound guided-percutaneous electrical nerve stimulation appears to be effective in the treatment of chronic musculoskeletal pain.

Objective: To investigate the immediate effects of one session of percutaneous electrical nerve stimulation on the radial nerve in patients with lateral elbow pain.

Methods: A randomized clinical trial was conducted. Sixty patients with chronic lateral elbow pain were allocated into real-percutaneous electrical nerve stimulation ($n = 30$) or sham-percutaneous electrical nerve stimulation ($n = 30$) where the patients received one single session of the real or sham percutaneous stimulation on the radial nerve, respectively. Pressure pain thresholds, pain intensity, pain-free grip strength, and the self-perceived improvement were evaluated after the intervention.

Results: Significant differences between groups for pain intensity (-11.55 , 95% CI -21.79 to -1.30 , $p < .028$), but not for pressure pain threshold or pain-free grip strength, were found. Patients receiving real-percutaneous stimulation had significant improvement in pain-free grip strength on the treated side. The proportion of individuals reporting moderate to large self-perceived improvement (≥ 4) was significantly higher ($p = .026$) after real-percutaneous stimulation than after sham-percutaneous stimulation.

Conclusion: A single session of real-percutaneous electrical nerve stimulation targeting the radial nerve in subjects with lateral elbow pain decreased pain intensity between groups and increased pain-free grip strength on the treated side but not between groups.

ARTICLE HISTORY

Received 17 July 2023

Revised 5 December 2023

Accepted 6 December 2023

KEYWORDS

Lateral elbow pain;
percutaneous electrical
nerve stimulation; radial
nerve; pressure pain
threshold

Introduction

Lateral elbow pain (LEP) is a condition affecting between 1% and 3% of the worldwide population with a peak prevalence at 35–55 years of age (Bot et al., 2005). Historically, LEP is considered an overuse tendinopathy of the wrist extensors, particularly of the extensor carpi radialis brevis (ECRB) muscle (Bordachar, 2019). An integrative model proposed that LEP should be considered as a multidimensional pain condition integrating histological tendon changes with altered nociceptive gain and motor impairments (Coombes, Bisset, and Vicenzino, 2009). The radial nerve innervates the lateral part of the elbow and also the wrist extensors, so this nerve could potentially be a source of nociception in people with LEP (Abhimanyu et al., 2021). In fact, previous studies found a decrease in bilateral pressure pain hyperalgesia (Fernández-de-Las-Peñas et al., 2010) and

bilateral excitability (De-La-Cruz-Torres, 2020) over the radial nerve in patients with LEP. Thus, the role of radial nerves in individuals with LEP has gained interest in recent years. Bordachar (2019) proposed that elbow-related pain may originate in and propagate from any of the structures related to the radial nerve or even from the nerve itself. A recent study found generalized hyperalgesia to pressure pain and swelling of the radial nerve in people with LEP, suggesting that the radial nerve could represent a potential peripheral drive to initial and maintain altered pain processing in this population (Cancela-Celleruelo et al., 2023).

Current evidence supports the application of different therapeutic interventions (e.g. therapeutic exercise, dry needling, and manual therapy for managing LEP) but results between studies differ (Dingemanse, Randsdorp, Koes, and Huisstede, 2014; Navarro-Santana et al., 2020;

CONTACT Marcos José Navarro-Santana marconav@ucm.es Department of Radiology, Rehabilitation and Physiotherapy, Faculty of Nursery, Physiotherapy and Podiatry, Plaza de Ramón y Cajal 3, Complutense University of Madrid, Madrid 28040, Spain

© 2023 Taylor & Francis Group, LLC



Weber et al., 2015). Interestingly, most of the treatment strategies applied for LEP focus on soft tissues, particularly the wrist extensor musculature and tendon (Bisset and Vicenzino, 2015; Wood et al., 2022) but ignoring the potential contribution of the radial nerve (Taylor and Wolff, 2021).

Percutaneous electrical nerve stimulation (PENS) consists of the application of an electrical current through solid filiform needles placed around different tissues such as muscle, ligament, or nerve. Different studies have investigated the application of PENS in different chronic pain conditions of the cervical (García-de-Miguel et al., 2020; Hernández et al., 2021) or lumbar spine (Pérez-Palomares et al., 2010; San-Emeterio-Iglesias, Minaya-Muñoz, Romero-Morales, and De-la-Cruz-Torres, 2021) and also of the upper (Álvarez et al., 2022) or lower (García-Bermejo, De-la-Cruz-Torres, and Romero-Morales, 2020) extremity. However, Plaza-Manzano et al. (2020) identified that the effectiveness of PENS for managing chronic musculoskeletal pain is based on low-quality evidence. This meta-analysis found that most published studies applied PENS over the nerve tissues. A meta-analysis comparing the effectiveness of PENS and transcutaneous electrical stimulation (TENS) suggested a greater reduction in pain intensity in favor of PENS, though the superiority of PENS over TENS was not conclusively established (Beltrán-Alacreu et al., 2022). A scoping review focused on PENS targeting nerve tissues found a small number of studies, particularly in the upper extremity (García-Collado, Valera-Calero, Fernández-de-Las-Peñas, and Arias-Burja, 2022). Arias-Burja et al. (2019) described a case study where PENS targeting the radial nerve was effective in a single patient with persistent LEP. De-La-Cruz-Torres, Abu, Navarro-Flores, and Calvo-Lobo (2021) reported improvements in pain and related-disability in individuals with LEP after the application of PENS targeting the radial nerve. However, this study did not include a group receiving a sham intervention and the sample size was small, since it was a pilot study.

The neurophysiological mechanisms of PENS are not completely understood. Different theories including peripheral and central mechanisms have been proposed (Deer et al., 2020). A recent meta-analysis reported that PENS has an effect on local sensitivity to pressure pain (i.e. peripheral mechanism) and also an effect on descending inhibitory pain by activating conditioned pain modulation (i.e. central mechanism), although studies are needed to establish clearer conclusions (Rodríguez Lagos et al., 2023). No previous study has investigated changes in clinical and neurophysiological outcomes in people with LEP after the application of PENS targeting

the radial nerve. Therefore, the primary objective of this study was to analyze the immediate effects of US-PENS targeting the radial nerve on widespread pressure pain sensitivity, and the secondary aim was to test the effects of PENS on pain, hand-grip strength, and the self-perceived improvement in patients with chronic LEP.

Methods

Study design

A randomized, parallel-group, controlled, double-blind, clinical trial comparing the effect of a single session of US-PENS on the radial nerve versus one session of sham PENS in patients with chronic LEP was performed. The study was conducted between November 2020 and March 2023. This study followed the Consolidated Standards of Reporting Trials (CONSORT) for clinical trials (Schulz, Altman, and Moher, 2010). It was approved by the Local Ethics Committee (CI 19/043) of Hospital Clínico San Carlos (Madrid, Spain) and conducted according to the Declaration of Helsinki. The study was prospectively registered on clinicaltrials.gov (NCT04576195).

Sociodemographic (i.e. age, sex, weight, height, body mass index (BMI), and tobacco consumption) and clinical (i.e. dominant side, affected side, duration of symptoms, and pain intensity) data were self-collected. One sensory (pressure pain thresholds) and one motor (pain-free grip strength) outcome were also collected before and immediately after the intervention by an assessor blinded to treatment allocation. Finally, a global rating of change (GROC) was collected just immediately after the intervention.

Participants

Consecutive individuals with LEP were recruited for potential eligibility criteria by announcements in the city of Madrid (Spain) and presented to the Faculty of Nursery, Physiotherapy and Podiatry (Complutense University of Madrid). The inclusion criteria were as follows: 1) age 18 years or older; 2) LEP of at least 3 months of duration; and 3) symptoms reproduced by at least two of the following tests: palpation of the lateral epicondyle, resisted extension of the wrist, resisted extension of the middle finger, or grip test (Coombes, Bisset and Vicenzino, 2015). The exclusion criteria were as follows: 1) history of fractures, subluxations/dislocations, surgery, and/or musculoskeletal disorders in the upper limb not related with lateral elbow pain (e.g. shoulder pain); 2) neurological disorders, inflammatory and/or degenerative diseases; 3) Having received treatment techniques that involved needles in the previous

6 months before study enrollment, or having received PENS as previous treatment; 4) cervical pathology (for screening cervical radiculopathy was used the criteria defined by Wainner et al. (2003), fibromyalgia, unstable cardiovascular diseases, pregnant women or suspected pregnancy; 5) contraindications of needle's insertions: anticoagulant therapy, needle phobia, diabetes, hypothyroidism, lymphedema, muscular diseases; or 6) contraindications to electrical current application.

Randomization and blinding

Patients were randomly assigned to the experimental (real US-PENS) or control (sham US-PENS) group. Randomization was performed using the computer program Random Allocation Software v10.0 for a block allocation. An investigator blinded to the treatment (GPM, neither performed the evaluations nor the treatments) put the results in opaque envelopes. One physiotherapist blinded to the treatment received (MJN) performed the evaluations (initial and final). The opaque envelopes were opened after the initial evaluation and before the treatment by the physiotherapist who performed the intervention (DAL), who was blinded to any evaluation.

Interventions

Real ultrasound-guided percutaneous nerve stimulation (real US-PENS)

Patients allocated to the experimental group received a single session of US-PENS in the following fashion. They were placed in supine with their elbows slightly flexed and the forearm pronated. First, the physical therapist located the radial nerve in the affected arm by using an ultrasound Samsung HS50 (Samsung,

Seoul, Republic of Korea) with a linear array transducer LA3-14AD following the protocol proposed by Arias-Buria et al. (2019). The radial nerve was targeted at two different points identified in a transverse way: 1) upper point, 10 cm superior to the lateral epicondyle between the brachioradialis and brachialis (Figure 1a and 2); lower point, at the upper third of the forearm at the arcade of Frohse (between both bellies of the supinator muscle, Figure 2a). Once these points were visualized with US, the overlaying skin was disinfected with antiseptic (Cutasept, Hartmann) and a solid filiform needle (0.30 × 40 mm AguPunt, Barcelona, Spain) was inserted US-guided until it was placed as close as possible to the epineurium of the radial nerve on each point (Figures 1b–2b). To confirm that the radial nerve was properly targeted, a Pointer Plus stimulator (Goldberg International Enterprises Ltd, Kowloon; Hong Kong) was used to stimulate the innervated muscles by means of two or three electrical pulses at a frequency of 10 Hz and 1.5 mA of intensity.

For the treatment, both needles were connected to an electro-stimulator (PRIM Physio Endomed 484, ENRAF NONIUS IBÉRICA, S.A.; Madrid) and a biphasic square wave electrical current at a low frequency (2 Hz) with a 250-microsecond pulse width was applied for 30 min (Figure 3). The intensity was increased to obtain an involuntary contraction below the pain threshold (Arias-Buria et al., 2019). Participants were asked to notify the therapist of any adverse events both during the intervention and days after.

Sham ultrasound-guided percutaneous nerve stimulation (sham US-PENS)

Patients allocated to the control group received a single session of a sham US-PENS technique. We followed the same procedure as in the experimental group (i.e.

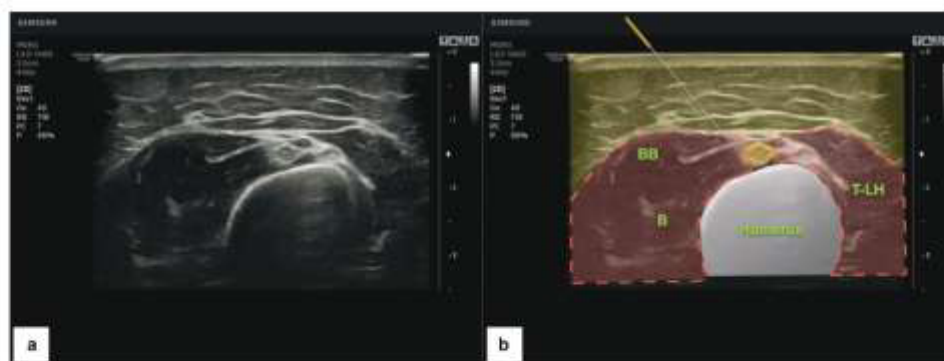


Figure 1. Ultrasound imaging for identifying the radial nerve at the proximal point. (a) Raw image and (b) musculoskeletal structures are labeled. BB-LH: Biceps brachii-long head; BR: Brachioradialis; B: Brachialis; ECRL: Extensor carpi radialis longus.



Figure 2. Ultrasound imaging for identifying the radial nerve at the distal point. (a) Raw image and (b) Musculoskeletal structures labeled. ECRB: Extensor carpi radialis brevis; ED: Extensor digitorum; S: Supinator; ECRL: Extensor carpi radialis longus.

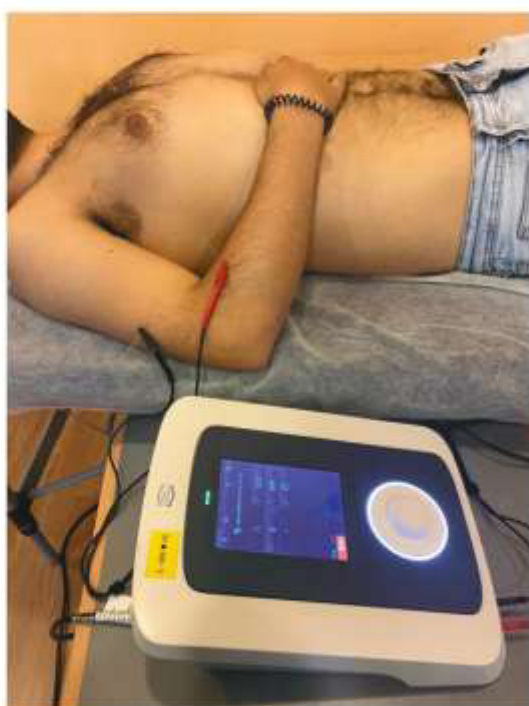


Figure 3. Ultrasound-guided percutaneous electrical nerve stimulation.

position, location of the radial nerve and needle insertion at the same points) without the application of any type of electrical current. The needles were connected to the electro-stimulator mimicking the experimental group, but in a different channel so the light of the device was brightening, and the patient could hear the final whistle. To ensure the blinding of patients, we informed them that the expected effect was below

a sensory threshold, and they might or might not feel any sensation. This method has been used in other studies with sham percutaneous stimulation (Álvarez et al., 2022; Weiner et al., 2003).

Outcomes

Primary outcome

Pressure pain threshold (PPT), the primary outcome, was measured with a hand-held digital algometer (Algometer Commander, JTech Med Industries, Utah, USA). Pressure was applied perpendicularly with an increasing rate of 30 kilopascals/s (kPa) with a round surface area of 1 cm. The PPT was defined as the force needed to induce the first sensation of pain and it was assessed over the lateral epicondyle, the radial nerve between the triceps brachii and brachialis muscle, the tibialis anterior muscle, and the C5-C6 zygapophyseal joint. PPT was bilaterally evaluated on both left and right sides to determine if there was any central (spinal cord) effect on pressure pain sensitivity. Three consecutive trials with a 30-s resting period on each point were obtained, and the mean was used for the main analysis (in kPa). This procedure has been shown to exhibit moderate reliability (ICC 0.72–0.77), whereas the minimal detectable change (MDC) has been found to be 147 kPa in the affected side and 127 kPa in the unaffected side in people with LEP (Smidt et al., 2002). The minimal clinical important difference (MCID) has not been previously reported.

Secondary outcomes

The pain intensity of LEP was evaluated by using a 100 cm visual analog scale (VAS) before and 10 min after intervention. Patients were asked to mark from 0 (no

pain) to 100 (worst pain ever) the mean pain intensity. The VAS has been shown to be a reliable tool for assessing the intensity of musculoskeletal pain (Boonstra et al., 2008). A reduction of 30% from baseline or 20 points can be considered as MCID (Frahm Olsen et al., 2018).

Pain-free grip strength (PFGS) was evaluated by using a grip dynamometer (Jamar hand dynamometer, Performance Health, Chicago, Illinois) with the participant seated with the elbows flexed at 90° and the forearms in a neutral position (Hillman et al., 2005). Participants were asked to gradually increase their isometric grip strength until the pain started (affected side) or the patient was no longer able to squeeze more (non-affected side). The mean of three trials in kilograms with a 30-s resting period were calculated for analyses. The ICC for PFGS was 0.97, whereas the MDC was found to be 1.40 kg in subjects with LEP (Smidt et al., 2002). The MCID has not been previously reported.

Finally, participants rated their self-perceived change immediately and 10 min after the treatment in a 15-points Likert scale (GROC) ranging from -7 (a very great deal worse) to +7 (a very great deal better). Scores of +4 and +5 on the GROC are indicative of moderate changes in patient status, whereas scores of +6 and +7 indicate large changes in the self-reported status of the patient (Jaeschke, Singer, and Guyatt, 1989).

Sample size estimation

The sample size was calculated using the G*Power software 3.1.9.2 (Heinrich, Heine University, Düsseldorf, Germany). An *a priori* power analysis with an *F* test ANOVA for repeated measures was conducted, at a 5% significance level ($\alpha = 0.05$) and with 90% statistical power. The calculation was based on a previous study of PENS in the median nerve, which obtained an effect size of 2.90 (14.70, 95% CI 4.40 to 25.00) converted to $F = 0.410$ (Álvarez et al., 2023). Based on these assumptions, a sample size of 50 subjects (25/group) was calculated. Considering a potential dropout of 20%, the final sample size was 60 subjects (30 per group).

Statistical analysis

Statistical analyses were performed using the IBM SPSS Statistics v.25 for Windows and were conducted according to the intention-to-treat analysis principle. The normal distribution of the variables was assessed with the Kolmogorov-Smirnov test ($p > .05$). Frequency (%) was reported for categorical data, whereas quantitative variables were reported with central tendency or dispersion metrics. Between-groups difference at baseline was

compared by using the Fisher's exact test for gender distribution, the Student's *t*-test for independent samples for parametric data or the Mann-Whitney U-test for non-parametric data. A $2 \times 2 \times 4$ repeated-measures analysis of variance (ANOVA) with time (baseline, immediately after) and side (affected, unaffected) as within-subject factors and group (real vs. sham US-PENS) as between-subjects factor were applied to determine between-groups differences in the PPTs and pain-free grip strength. A 2×2 repeated-measures ANOVA with time (baseline and immediately after) as within-subjects factor and group (real vs. sham US-PENS) as between-subjects factor was applied for investigating differences in pain intensity. Post hoc pairwise comparisons were analyzed using Student *t*-tests for independent samples. We considered the partial eta squared (η_p^2) for estimate the effect size according to recommendation in ANOVA models (Richardson, 2011). An effect size of 0.01 was considered small, 0.06 medium, and 0.14 large in partial eta squared (Cohen, 1969). An alpha level of 0.05% and 95% confidence intervals (CI) was assumed for all analyses. We did not differentiate based on the pain-free grip strength generated by the participants for the statistical analysis.

Results

Of the 70 patients initially recruited for the study, 60 met all criteria, agreed to participate, signed an informed consent, and were randomly selected to the real ($n = 30$) or sham ($n = 30$) US-PENS group. During treatment, one patient in each group did not tolerate needle insertion, so they withdrew from the study, leaving a total of 58 participants to be analyzed (29 in each group). The flow diagram is shown in Figure 4. Both groups were comparable at baseline (Table 1).

Pressure pain thresholds

The ANOVA did not reveal significant group by time by side interaction for PPTs at any point: lateral epicondyle ($F = 0.961$; $p = 0.331$; $\eta_p^2 = 0.016$); radial nerve ($F = 1.184$; $p = 0.281$; $\eta_p^2 = 0.020$); C5-C6 ($F = 0.608$; $p = 0.439$; $\eta_p^2 = 0.010$); and tibialis anterior muscle ($F = 1.930$; $p = 0.170$; $\eta_p^2 = 0.032$). Similarly, no significant time by group interaction for PPT at any point was seen: lateral epicondyle ($F = 1.150$; $p = 0.287$; $\eta_p^2 = 0.020$); radial nerve ($F = 0.787$; $p = 0.379$; $\eta_p^2 = 0.013$); C5-C6 ($F = 1.514$; $p = 0.223$; $\eta_p^2 = 0.025$); and tibialis anterior ($F = 0.983$; $p = 0.326$; $\eta_p^2 = 0.017$). Finally, no significant time effect was either observed:

lateral epicondyle ($F = 0.352$; $p = 0.555$; $\eta_p^2 = 0.006$); radial nerve ($F = 3.923$; $p = 0.052$; $\eta_p^2 = 0.063$); C5-C6 ($F = 0.350$; $p = 0.556$; $\eta_p^2 = 0.025$); and tibialis anterior ($F = 3.387$; $p = 0.071$; $\eta_p^2 = 0.055$). Table 2 shows changes of PPTs after real or sham US-PENS.

Pain intensity

The ANOVA revealed a significant group by time interaction for pain intensity at the elbow ($F = 12.130$; $p < 0.001$; $\eta_p^2 = 0.173$): patients receiving real US-PENS exhibited a greater decrease in pain intensity (large

effect) when compared with those receiving sham US-PENS (Table 3).

Pain-free grip strength

The ANOVA revealed a significant group by time by side interaction ($F = 4.421$; $p = 0.040$; $\eta_p^2 = 0.071$), but not a group by time interaction ($F = 2.416$; $p = 0.126$; $\eta_p^2 = 0.040$) or time effect ($F = 3.910$; $p = 0.053$; $\eta_p^2 = 0.063$): patients receiving the real US-PENS showed a significant improvement in PFGS on the treated side (change: 3.62, 95% CI 1.43, 5.80, $p = 0.002$) as compared



CONSORT 2010 Flow Diagram

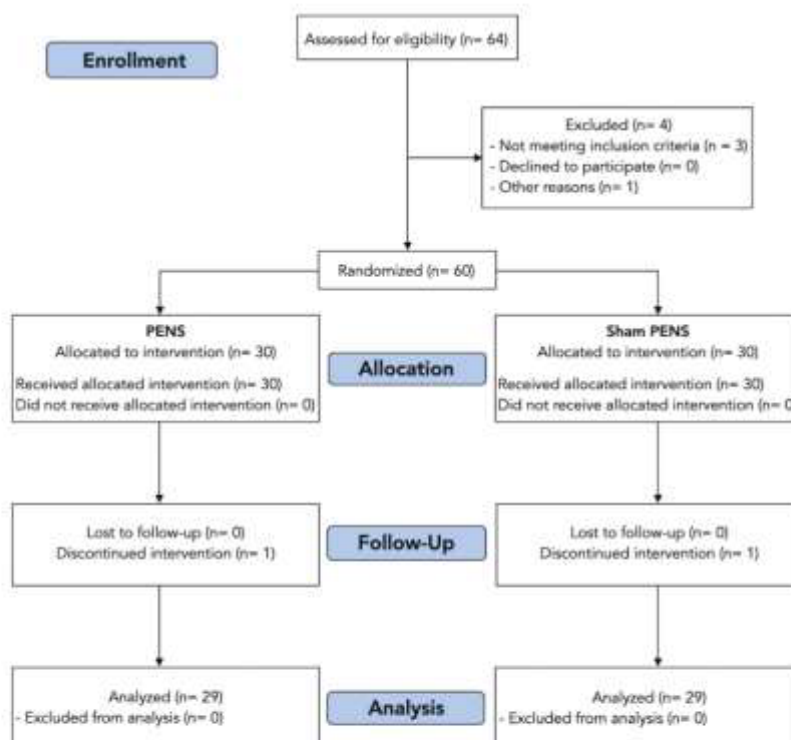


Figure 4. CONSORT participants' flow diagram.

Table 1. Characteristics of the sample.

	Sham US-PENS Group (n = 30)	Real US-PENS Group (n = 30)	Between groups differences at baseline (p value)
Demographic Data			
Sex (Male/Female)	22/8	19/11	0.405
Smoker (Yes/No)	4/26	3/27	0.999
Weight (kg)	76.26 ± 11.10	77.63 ± 16.56	0.709
Height (m)	1.73 ± .07	1.72 ± .09	0.851
BMI (kg/m ²)	25.51 ± 2.75	25.89 ± 4.06	0.672
Age (years)	42.92 ± 9.86	45.10 ± 1.63	0.417
Clinical Data			
Dominant side (Left/Right)	4/26	1/29	0.353
Side of intervention (Left/Right)	6/24	2/28	0.254
Duration of symptoms (months)*	5 [4–11]	6 [4–9]	0.672
Pain intensity (VAS, 0–100)	54.41 ± 17.42	56.80 ± 15.98	0.583
PFGS [Affected side] (kg)	28.61 ± 12.00	26.01 ± 8.29	0.334
PFGS [Non-Affected side] (kg)	36.75 ± 12.71	34.70 ± 11.58	0.515
PPT Lateral Epicondyle [Affected side] (kPa)	307.37 ± 112.98	292.54 ± 1.04	0.593
PPT Lateral Epicondyle [Non-Affected side] (kPa)	342.36 ± 108.39	352.59 ± 103.86	0.710
PPT Radial Nerve [Affected side] (kPa)	281.57 ± 95.39	273.26 ± 106.44	0.751
PPT Radial Nerve [Non-Affected side] (kPa)	296.84 ± 109.39	299.95 ± 117.50	0.916
PPT C5-C6 [Affected side] (kPa)	284.09 ± 87.32	288.57 ± 103.81	0.857
PPT C5-C6 [Non-Affected side] (kPa)	301.44 ± 7.69	318.93 ± 107.63	0.460
PPT Tibialis Anterior [Affected side] (kPa)	478.62 ± 158.51	485.34 ± 142.22	0.857
PPT Tibialis Anterior [Non-Affected side] (kPa)	498.20 ± 16.34	49.63 ± 129.01	0.841

US-PENS: ultrasound-guided percutaneous electrical nerve stimulation; BMI: body mass index; m: meters; kg: kilograms; kPa: kilopascals; PPT: pressure pain threshold; VAS: visual analog scale; PFGS: pain-free grip strength. *Median and Interquartile range.

Table 2. Pressure pain thresholds mean scores and between-groups changes by treatment.

	Mean ± SD (95% CI)		
Outcomes	Sham US-PENS	Real US-PENS	Between-Group Differences: Mean (95% CI)
PPT Lateral Epicondyle Homolateral Side (kPa)			
Baseline	307.37 ± 112.98	292.54 ± 100.04	–14.82 (–40.32; 69.81)
Immediate after	310.18 ± 98.92	322.79 ± 88.21	12.60 (–33.26; 58.47)
PPT Lateral Epicondyle Contralateral Side (kPa)			
Baseline	342.36 ± 108.39	352.59 ± 103.86	10.23 (–44.63; 65.09)
Immediate after	332.87 ± 82.80	345.47 ± 112.99	12.60 (–38.59; 63.80)
PPT Radial Nerve Homolateral Side (kPa)			
Baseline	281.57 ± 95.39	273.26 ± 106.44	–8.31 (–43.93; 60.53)
Immediate after	304.10 ± 121.07	300.10 ± 100.95	–4.00 (–61.61; 53.60)
PPT Radial Nerve Contralateral Side (kPa)			
Baseline	296.84 ± 109.39	299.95 ± 117.50	3.11 ± (–55.55; 61.78)
Immediate after	292.39 ± 108.85	320.56 ± 137.23	28.17 (–35.84; 92.18)
PPT C5-C6 Homolateral Side (kPa)			
Baseline	284.09 ± 87.32	288.57 ± 103.81	4.48 (–54.06; 45.10)
Immediate after	278.45 ± 79.57	306.48 ± 89.11	28.02 (–15.63; 71.68)
PPT C5-C6 Contralateral Side (kPa)			
Baseline	301.44 ± 70.69	318.93 ± 107.63	17.49 (–29.53; 64.54)
Immediate after	297.67 ± 68.31	327.83 ± 106.16	30.16 (–15.98; 76.29)
PPT Tibialis Anterior Homolateral Side (kPa)			
Baseline	478.62 ± 158.51	485.34 ± 142.22	6.72 (–80.83; 67.40)
Immediate after	494.93 ± 146.52	504.27 ± 145.11	9.35 (–66.02; 84.70)
PPT Tibialis Anterior Contralateral Side (kPa)			
Baseline	498.20 ± 160.34	490.63 ± 129.01	–7.56 (–82.77; 67.65)
Immediate after	496.56 ± 153.60	520.66 ± 122.02	24.09 (–47.60; 95.79)

PPT: pressure pain threshold; US-PENS: ultrasound-guided percutaneous electrical nerve stimulation; kPa: kilopascals; SD: standard deviation; CI: confidence intervals.

Table 3. Pain intensity and pain-free grip strength mean scores and between-groups changes by treatment.

Outcomes	Mean $\pm$ SD (95% CI)		Between-Group Differences: Mean (95% CI)
	Sham US-PENS	Real US-PENS	
Intensity of pain (VAS, 0–100)			
Baseline	54.41 $\pm$ 17.42	56.80 $\pm$ 15.98	2.39 (–6.26; 11.02)
Immediate after	42.63 $\pm$ 23.61	30.08 $\pm$ 15.10	–11.55 (–21.79; –1.30) <i>p</i> < .028*
PFGS Homolateral Side (kg)			
Baseline	28.61 $\pm$ 12.00	26.01 $\pm$ 8.29	–2.60 (–7.93; 2.73)
Immediate after	29.16 $\pm$ 11.58	29.63 $\pm$ 9.97	0.47 (–5.11; 6.06)
PFGS Contralateral Side (kg)			
Baseline	36.75 $\pm$ 12.71	34.70 $\pm$ 11.58	–2.05 (–8.34; 4.22)
Immediate after	36.54 $\pm$ 12.48	33.93 $\pm$ 11.05	–2.61 (–8.70; 3.48)

PFGS: pain-free grip strength; US-PENS: ultrasound-guided percutaneous electrical nerve stimulation; VAS: visual analog scale; kg: kilograms; SD: standard deviation; CI: confidence intervals. *Statistically significant differences.

with the contralateral side and with those individuals receiving sham US-PENS. Table 3 shows changes of PFGS in both groups.

Perception of change

The proportion of individuals experiencing moderate to large self-perceived improvement (GROC ≥ 4) immediately after the intervention was significantly higher (*p* = 0.026) within the real US-PENS (*n* = 8, 26.70%) as compared to the sham US-PENS (*n* = 1, 3.30%).

Adverse events

The adverse event most frequently reported by the patients was post-needling soreness, 20% (*n* = 6) of individuals receiving real US-PENS and 43% (*n* = 13) of those who received sham US-PENS (*p* = 0.063). Post-needling soreness disappeared 48 h after the intervention without further treatment for all patients. No other adverse events were reported by the patients.

Discussion

This is the first clinical trial investigating changes in sensory and motor outcomes after the application of US-PENS targeting the radial nerve in individuals with LEP. The results did not show any significant changes in PPTs after either real or sham US-PENS targeting the radial nerve. A significant decrease in pain intensity and a higher self-perceived improvement were observed after real, but not after sham US-PENS. Finally, no significant between-group differences in grip strength were found.

Pressure pain thresholds

The current study did not observe changes in pressure pain sensitivity after the application of a single session of real US-PENS targeting the radial nerve in patients with LEP, and these between-group differences were not superior to the MDC (147 kPa on the affected side and 127 kPa on the unaffected side), suggesting no effect on mechanical sensitivity (Smidt et al., 2002). Current evidence is still heterogeneous since some studies, in agreement with our results, found no changes in pain sensitivity after the application of PENS (Hernandez et al., 2021; Pérez-Palomares et al., 2010), whereas others reported a significant increase on PPTs in favor of PENS (Álvarez et al., 2022; Garcia-de-Miguel et al., 2020). However, none of these previous studies applied PENS over nerve tissue. In fact, the current results agree with a meta-analysis report showing no-significant immediate effect on PPT after the application of dry needling in people with LEP (Navarro-Santana et al., 2020). One possible explanation could be related to the presence of post-needling soreness (i.e. an event related to potential tissue damage due to needle insertion) which may mask the true inhibitory effect of the intervention, and, hence, improvements in PPT may be observed several days after the treatment. Álvarez et al. (2023) evaluated the effects of high-frequency PENS on PPTs, and they found significant improvement in favor of a PENS intervention; however, this study applied high-frequency (30 kHz) electrical current, whereas we used a low-frequency (2 Hz) electrical current, suggesting that the hypoalgesic effect may depend on the frequency and intensity of the electric current.

Pain intensity

There was a statistically significant between-group improvement in pain intensity after real US-PENS. These results are consistent with findings from previous studies evaluating the immediate effect of a single session of PENS targeting the muscle tissue (Garcia-de-Miguel et al., 2020; San-Emeterio-Iglesias, Minaya-Muñoz, Romero-Morales, and De-la-Cruz-Torres, 2021). The effect size between groups was large, similar to data from a previous meta-analysis of PENS in musculoskeletal chronic pain populations reporting a large effect (SMD 1.22, 95% CI –1.66 to –0.79) at short term (Plaza-Manzano et al., 2020). Nevertheless, between-group statistical significance (mean: –11.55, 95% CI –21.79 to –1.30) did not reach the MCID of 20 mm for the VAS (Frahm Olsen et al., 2018). In a pilot study involving individuals diagnosed with LEP (De-La-Cruz-Torres et al., 2021) a significant reduction in pain intensity was

observed after three treatment sessions compared to an inactive control group. In contrast, García-Bermejo, De-la-Cruz-Torres, and Romero-Morales (2020) did not observe immediate changes after a single session of PENS on the femoral nerve as compared with PENS on the contralateral femoral nerve and significant differences were maintained after 1 week. The heterogeneity in the results may be attributed to differences in procedures, the electrical current parameters, pain condition (involvement of nerve tissue or not), or the time of application. It is also possible that the effects of PENS on pain intensity are still not fully understood. For instance, a recent meta-analysis found low-quality evidence suggesting a greater immediate pain intensity reduction with PENS ($MD: -1.21 [-1.92, -0.50]$, $n = 403$) when compared with TENS. However, when high risk of bias studies has been removed from meta-analysis, there were no significant differences in the immediate follow-up ($MD: -0.82 [-1.77; 0.13]$, $n = 55$) between group but with a small size (Beltrán-Alacré et al., 2022). Also, a greater analgesic effect is suggested with PENS, but the differences do not achieve the MCID (Frahm Olsen et al., 2018). Further investigation into the role of PENS in comparison with TENS is needed.

The effects on pain intensity could be explained by several factors, but the exact mechanisms remain unknown. At the peripheral level, PENS disrupts the transmission of nociceptive afferent fibers. Repeated electrical stimulation of specific nerves can lead to the excitation failure of certain nerve fibers. In rat models with specific neuromas, prolonged silent periods were observed after targeted nerve stimulation (Lin et al., 2020). However, the analgesic effect of PENS seems to occur at intensities that are perceptible but not painful, suggesting that it might not work solely by disrupting nociceptive nerve conduction (Swett and Law, 1983). On a molecular scale, peripheral nerve stimulation alters local microenvironment's biochemistry, reducing neurotransmitters, endorphins, and inflammatory mediators (Papuć and Rejdak, 2013). Additionally, PENS has been associated with reduced ectopic discharges in electrophysiological studies (Lin et al., 2020). In addition, it has been proposed that PENS can activate central mechanisms and inhibitory descending pathways of pain (Botelho et al., 2018). One of these mechanisms is the gate control theory, where the electrical stimulation of the large diameter myelinated afferent peripheral nerve fibers leads to the excitation of inhibitory dorsal horn interneurons. These interneurons play a role in processing and transmitting nociceptive information (Campbell, 1973; Deer, Jain, Hunter, and Chakravarthy, 2019; Melzack and Wall, 1965). The primary effects of PENS on the central nervous system include modulating serotonergic, GABAergic, and glycinergic pathways in the spinal cord. PENS also enhances endogenous pain

inhibition by increasing the inhibition of dorsal wide dynamic range neurons and interfering with the interaction of large nociceptive fibers at the spinal dorsal level, reducing central sensitization, hyperalgesia, and excessive peripheral nociceptive activity (Lin et al., 2020; Rodríguez Lagos et al., 2023). Therefore, the application of PENS is believed to activate both central and peripheral mechanisms of pain related to the nervous system.

Pain-free grip strength

We found a significant improvement in PFGS on the treated side after the application of real-PENS, but we did not find significant between-groups differences. Furthermore, the change exceeded the MDC (1.40 kg) for this outcome (Smidt et al., 2002). Similar findings have been reported in studies that evaluated changes in strength after the application of PENS intervention (Álvarez-Prats, Carvajal-Fernández, Pérez-Mallada, and Minaya-Muñoz, 2019; Gallego-Sendarrubias et al., 2021). Furthermore, a previous review found that PENS could provoke an increase in muscle fibers cross-sectional area, improve isometric and dynamic strength, and motor performance skills (Sánchez, Puche, and González-Badillo, 2005). Conversely, a decrease in maximal strength has also been observed by some authors (Álvarez et al., 2022; Beltrán et al., 2022). These authors hypothesized that the reduction in maximal strength could have been related to the contraction of the musculatures during the treatment and the resulting fatigue. In addition, this difference can also be explained by the targeted population since they applied PENS intervention in healthy subjects, and we recruited individuals with pain. Further, we assessed PFGS, not maximal strength, so the immediate reduction in pain obtained in our study could explain the improvements of PFGS.

Limitations

Although this is the first study including a sham US-PENS comparison group, some limitations exist. First, we only applied a single session of US-PENS which is not common clinical practice. Clinicians usually combine real PENS intervention with other treatments and more than one session is typically applied. Second, we cannot exclude the placebo effect of the needling intervention itself. In fact, within the control group, a needle was inserted into the supinator muscle, since this muscle has been suggested as a possible source of symptoms in LEP (Fernández-de-Las-Peñas et al., 2021). Thus, needle insertion itself could activate descending inhibitory pain mechanisms (Kelly and Willis, 2019) which could explain the reduction of pain in the sham group. We did not include a group

receiving a session of TENS, which could be meaningful to determine which stimulation (percutaneous or transcutaneous) leads to better outcomes. Third, no consensus on the parameters of the electric current exists. Low frequencies (2–15 Hz) tend to produce an activation of μ opioid receptors, which are related to peripheral anti-nociceptive effect rather than agonist (Plaza-Manzano et al., 2020). Further, it seems that 30 min of application is more effective than shorter applications (<15 min) for obtaining clinical results (Hamza et al., 1999). Based on these results, we applied the electric current at a low frequency (2 Hz), with a pulse width of 250 microseconds and for 30 min. Future clinical trials comparing low vs. high frequency with different time durations are now needed. Furthermore, the absence of a MCID for PPT and PFGS in patients with LEP limited the extrapolation and interpretation of the results. Additionally, we did not include patients based on radial nerve pain involvement in clinical presentation. Further investigation, with a specific clinical presentation of the patient, with or without radial nerve involvement, is needed. Finally, we evaluated the immediate effects of PENS but did not assess the short- or long-term effects. Future studies exploring more extended time effects are needed.

Conclusion

The results of this study suggest that a single session of real US-PENS targeting the radial nerve in people with chronic LEP decreased pain intensity and increased pain-free grip strength, but did not produce changes in pressure pain sensitivity, when compared with sham US-PENS. Future clinical trials investigating the effectiveness of a greater number of sessions of US-PENS targeting the radial nerve and with long-term follow-up period in people with LEP are needed.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

Funding

The author(s) reported that there is no funding associated with the work featured in this article.

References

Abhimanyu V, Ritika P, Osama N, Srishti N, Gita H 2021 Lateral epicondylitis: Are we missing out on radial nerve involvement? A cross-sectional study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 27: 352–357. doi:10.1016/j.jbmt.2021.01.014.

Álvarez-Prats D, Carvajal-Fernández Ó, Pérez-Mallada N, Minaya-Muñoz F 2019 Changes in maximal isometric quadriceps strength after the application of ultrasound-guided percutaneous neuromodulation of the femoral nerve: A case series. *Journal of Invasive Techniques in Physical Therapy* 2: 39–45. doi:10.1055/s-0039-1688551.

Álvarez DM, Serrano-Muñoz D, Fernández-Pérez JJ, Moreno JS, Gómez-Soriano J, Avendaño-Coy J 2022 The effect on handgrip strength of low-frequency percutaneous electric stimulation applied to the median and cubital nerves: A randomized, double-blind controlled trial. *Anatomical Record* 306: 4 720–727. doi:10.1002/ar.24887.

Arias-Burúa JL, Cleland JA, El BYR, Plaza-Manzano G, Fernández-de-las-Peñas C 2019 Ultrasound-guided percutaneous electrical nerve stimulation of the radial nerve for a patient with lateral elbow pain: A case report with a 2-year follow-up. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 49: 5 347–354. doi:10.2519/jospt.2019.8570.

Beltrán-Alacreu H, Serrano-Muñoz D, Martín-Caro Álvarez D, Fernández-Pérez JJ, Gómez-Soriano J, Avendaño-Coy J 2022 Percutaneous versus transcutaneous electrical nerve stimulation for the treatment of musculoskeletal pain: A systematic review and meta-analysis. *Pain Medicine* 23: 8 1387–1400. doi:10.1093/pm/pnac027.

Beltrá P, Ruiz-del-Portal I, Ortega FJ, Valdesuso R, Delicado-Miralles M, Velasco E 2022 Sensorimotor effects of plasticity-inducing percutaneous peripheral nerve stimulation protocols: A blinded, randomized clinical trial. *European Journal of Pain* 26: 5 1039–1055. doi:10.1002/ejp.1928.

Bisset L, Vicenzino B 2015 Physiotherapy management of lateral Epicondylalgia. *Journal of Physiotherapy* 61: 4 174–181. doi:10.1016/j.jphys.2015.07.015.

Boonstra AM, Schiphorst Preuper HR, Reneman MF, Posthumus JB, Stewart RE 2008 Reliability and validity of the visual analogue scale for disability in patients with chronic musculoskeletal pain. *International Journal of Rehabilitation Research* 31: 2 165–169. doi:10.1097/MRR.0b013e3282fc0f93.

Bordachar D 2019 Lateral epicondylalgia: A primary nervous system disorder. *Medical Hypotheses* 123: 101–109. doi:10.1016/j.mehy.2019.01.009.

Botelho L, Angoleri L, Zortea M, Deitos A, Brietzke A, Iis T, Fregni F, Caumo W 2018 Insights about the neuroplasticity state on the effect of intramuscular electrical stimulation in pain and disability associated with chronic myofascial pain syndrome (MPS): A double-blind, randomized, sham-controlled trial. *Frontiers in Human Neuroscience* 12: 388. doi:10.3389/fnhum.2018.00388.

Bot SD, Waal JM, Cb VDT, Windt DA, Van Der, Bouter LM, Dekker J 2005 Course and prognosis of elbow complaints: A cohort study in general practice. *Annals of the Rheumatic Diseases* 64: 1331–1336. doi:10.1136/ard.2004.030320.

Campbell JN, Taub A 1973 Local analgesia from percutaneous electrical stimulation. A peripheral mechanism. *Archives of Neurology* 28: 5 347–350. doi:10.1001/archneur.1973.00490230083012.

Cancela-Celleruelo I, Rodríguez-Jiménez J, Fernández-de-las-Peñas C, JA C, JL A-B 2023 Pressure pain hypersensitivity and ultrasound changes in the radial nerve in patients with unilateral lateral epicondylalgia: A case-control study. *Diagnostics* 13: 2488. doi:10.3390/DIAGNOSTICS13152488.

- Cohen J. 1969 Statistical power analysis for the behavioural sciences. New York: Academic Press.
- Coombes BK, Bisset L, Vicenzino B 2009 A new integrative model of lateral epicondylalgia. *British Journal of Sports Medicine* 43: 4 252–258. doi:10.1136/bjsm.2008.052738.
- Coombes BK, Bisset L, Vicenzino B 2015 Management of lateral elbow tendinopathy: One size does not fit all. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 45: 11 938–949. doi:10.2519/jospt.2015.5841.
- Deer TR, Esposito MF, McRoberts WP, Grider JS, Sayed D, Verrills P, Lamer TJ, Hunter CW, Slavin KV, Shah JM, et al. 2020 A systematic literature review of peripheral nerve stimulation therapies for the treatment of pain. *Pain Medicine* 21:8. 1590–1603. doi:10.1093/pm/pnaa030
- De-La-Cruz-Torres B 2020 Strength-duration curves of radial nerve in patients with lateral elbow pain. *Journal of Sport Rehabilitation* 29: 6 754–759. doi:10.1123/jsr.2018-0405.
- De-La-Cruz-Torres B, Abu V, Navarro-Flores E, Calvo-Lobo C 2021 Ultrasound-guided percutaneous neuromodulation in patients with chronic lateral epicondylalgia: A pilot randomized clinical trial. *International Journal of Environmental Research & Public Health* 18: 9 4877. doi:10.3390/ijerph18094877.
- Dingemans R, Randsdorp M, Koes BW, Huisstede BM 2014 Evidence for the effectiveness of electrophysical modalities for treatment of medial and lateral epicondylitis: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine* 48: 12 957–965. doi:10.1136/bjsports-2012-091513.
- DM Á, Serrano-Muñoz D, JJ F-P, Gómez-Soriano J, Avendaño-Coy J 2023 Effect of percutaneous electrical stimulation with high-frequency alternating currents at 30 kHz on the sensory-motor system. *Frontiers in Neuroscience* 17: 1048986. doi:10.3389/fnins.2023.1048986.
- Fernández-de-las-Peñas C, López-De-Celis C, Rodríguez-Sanz J, Hidalgo-García C, JM D, SA C-B, Pérez-Bellmunt A 2021 Is dry needling of the supinator a safe procedure? a potential treatment for lateral epicondylalgia or radial tunnel syndrome. A cadaveric study. *International Journal of Environmental Research & Public Health* 18: 17 9162. doi:10.3390/ijerph18179162.
- Fernández-de-las-Peñas C, Ortega-Santiago R, Ambite-Quesada S, Jiménez-García R, Arroyo-Morales M, Cleland JA 2010 Specific mechanical pain hypersensitivity over peripheral nerve trunks in women with either unilateral epicondylalgia or carpal tunnel syndrome. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 40: 11 751–760. doi:10.2519/jospt.2010.3331.
- Frahm Olsen M, Bjerre E, Hansen MD, Tendal B, Hilden J, Hróbjartsson A 2018 Minimum clinically important differences in chronic pain vary considerably by baseline pain and methodological factors: Systematic review of empirical studies. *Journal of Clinical Epidemiology* 101: 87–106.e2. doi:10.1016/j.jclinepi.2018.05.007.
- Gállego-Sendarrubias GM, Arias-Burja JL, Úbeda-D'ocasar E, Hervás-Pérez JP, Rubio-Palomino MA, Fernández-de-las-Peñas C, Valera-Calero JA 2021 Effects of percutaneous electrical nerve stimulation on countermovement jump and squat performance speed in male soccer players: A pilot randomized clinical trial. *Journal of Clinical Medicine* 10: 4 690. doi:10.3390/jcm10040690.
- García-Bermejo P, De-la-Cruz-Torres B, Romero-Morales C 2020 Ultrasound-guided percutaneous neuromodulation in patients with unilateral anterior knee pain: A randomized clinical trial. *Applied Sciences* 10: 13 4647. doi:10.3390/app10134647.
- García-Collado A, Valera-Calero JA, Fernández-de-las-Peñas C, Arias-Burja JL 2022 Effects of ultrasound-guided nerve stimulation targeting peripheral nerve tissue on pain and function: A scoping review. *Journal of Clinical Medicine* 11: 13 3753. doi:10.3390/jcm11133753.
- García-de-Miguel S, Pecos-Martin D, Larroca-Sanz T, Sanz-de-Vicente B, García-Montes L, Fernández-Matías R, Gállego-Izquierdo T 2020 Short-term effects of PENS versus dry needling in subjects with unilateral mechanical neck pain and active myofascial trigger points in levator scapulae muscle: A randomized controlled trial. *Journal of Clinical Medicine* 9: 6 1665. doi:10.3390/jcm9061665.
- Hamza MA, Ghoname ES, White PF, Craig WF, Ahmed HE, Gajraj NM, Vakharia AS, Noe CE 1999 Effect of the duration of electrical stimulation on the analgesic response in patients with low back pain. *Anesthesiology* 91: 6 1622–1627. doi:10.1097/0000542-199912000-00012.
- Hernandez JV, Calvo-Lobo C, Zugasti AM, Fernandez-Carnero J, Alacreu HB 2021 Effectiveness of dry needling with percutaneous electrical nerve stimulation of high frequency versus low frequency in patients with myofascial neck pain. *Pain Physician* 24:2 135–143. doi:10.36076/ppi.2021.24.135-143.
- Hillman TE, Nunes QM, Hornby ST, Stanga Z, Neal KR, Rowlands BJ, Allison SP, Lobo DN 2005 A practical posture for hand grip dynamometry in the clinical setting. *Clinical Nutrition* 24: 2 224–228. doi:10.1016/j.clnu.2004.09.013.
- Jaesckhe R, Singer J, Guyatt GH 1989 Measurement of health status: Ascertaining the minimal clinically important difference. *Controlled Clinical Trials* 10: 4 407–415. doi:10.1016/0197-2456(89)90005-6.
- Kelly RB, Willis J 2019 Acupuncture for pain. *American Family Physician* 100:2 89–96.
- Lin T, Gargya A, Singh H, Sivanesan E, Gulati A 2020 Mechanism of peripheral nerve stimulation in chronic pain. *Pain Medicine* 21: Suppl 1 S6–S12. doi:10.1093/pm/pnaa164
- Melzack R, Wall PD 1965 Pain mechanisms: A new theory. *Science* 150: 3699 971–979. doi:10.1126/science.150.3699.971.
- Navarro-Santana MJ, Sanchez-Infante J, Gómez-Chiguano GF, Cleland JA, López-de-Uralde-Villanueva I, Fernández-de-las-Peñas C, Plaza-Manzano G 2020 Effects of trigger point dry needling on lateral epicondylalgia of musculoskeletal origin: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation* 34: 11 1327–1340. doi:10.1177/0269215520937468.
- Papuč E, Rejdak K 2013 The role of neurostimulation in the treatment of neuropathic pain. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 1: 14–17.
- Pérez-Palomares S, Oliván-Blázquez B, Magallón-Botaya R, De-La-Torre-Beldarraín MM, Gaspar-Calvo E, Romo-Calvo L, García-Lázaro R, Serrano-Aparicio B 2010 Percutaneous electrical nerve stimulation versus dry needling: Effectiveness in the treatment of chronic low back pain. *Journal of Musculoskeletal Pain* 18: 1 23–30. doi:10.3109/10582450903496047.



- Plaza-Manzano G, Gómez-Chigüano GF, Cleland JA, Arias-Buría JL, Fernández-de-las-Peñas C, Navarro-Santana MJ 2020 Effectiveness of percutaneous electrical nerve stimulation for musculoskeletal pain: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Pain* 24: 6 1023–1044. doi:10.1002/ejp.1559.
- Richardson JT 2011 Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. *Educational Research Review* 6: 2 135–147. doi:10.1016/j.edurev.2010.12.001.
- Rodríguez Lagos L, Arribas-Romano A, Fernández-Carnero J, González-Zamorano Y, Laguarda Val S 2023 Effects of percutaneous and transcutaneous electrical nerve stimulation on endogenous pain mechanisms in patients with musculoskeletal pain. A systematic review and meta-analysis. *Pain Medicine* 24: 4 397–414. doi:10.1093/pm/pnac140.
- Sánchez BR, Puche PP, González-Badillo JJ 2005 Percutaneous electrical stimulation in strength training: An update. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19: 2 438–448. doi:10.1519/00124278-200505000-00033.
- San-Emeterio-Iglesias R, Minaya-Muñoz F, Romero-Morales C, De-la-Cruz-Torres B 2021 Correct sciatic nerve management to apply ultrasound-guided percutaneous neuromodulation in patients with chronic low back pain: A pilot study. *Neuromodulation* 24: 6 1067–1074. doi:10.1111/ner.13396.
- Schulz KF, Altman DG, Moher D 2010 CONSORT 2010 statement: Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *British Medical Journal* 340: mar23 1 698–702. doi:10.1136/bmj.c332.
- Smidt N, Van der WDA, Assendelft WJ, Mourits AJ, Devill WL, De WAF, Bouter LM 2002 Interobserver reproducibility of the assessment of severity of complaints, grip strength, and pressure pain threshold in patients with lateral epicondylitis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 83: 8 1145–1150. doi:10.1053/apmr.2002.33728.
- Swett JE, Law JD 1983 Analgesia with peripheral nerve stimulation: Absence of a peripheral mechanism. *Pain* 15: 1 55–70. doi:10.1016/0304-3959(83)90006-4.
- Taylor A, Wolff AL 2021 The forgotten radial nerve: A conceptual framework for treatment of lateral elbow pain. *Journal of Hand Therapy* 34: 2 323–329. doi:10.1016/j.jht.2021.05.009.
- TR D, Jain S, Hunter C, Chakravarthy K 2019 Neurostimulation for intractable chronic pain. *Brain Sciences* 9: 2 23. doi:10.3390/brainsci9020023.
- Wainner RS, Fritz JM, Irrgang JJ, Boninger ML, Delitto A, Allison S 2003 Reliability and diagnostic accuracy of the clinical examination and patient self-report measures for cervical radiculopathy. *Spine* 28: 1 52–62. doi:10.1097/00007632-200301010-00014.
- Weber C, Thai V, Neuheuser K, Groover K, Christ O 2015 Efficacy of physical therapy for the treatment of lateral epicondylitis: A meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders* 16: 1 223. doi:10.1186/s12891-015-0665-4.
- Weiner DK, Rudy TE, Glick RM, Robert Boston J, Lieber SJ, Morrow LA, Taylor S 2003 Efficacy of percutaneous electrical nerve stimulation for the treatment of chronic low back pain in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society* 51: 5 599–608. doi:10.1034/j.1600-0579.2003.00202.x.
- Wood SM, Yoon AP, Tseng HJ, Yang LY, Chung KC 2022 Comparative effectiveness of physical therapy and electro-physiotherapy for the treatment of lateral epicondylitis: A network meta-analysis. *Plastic and Reconstructive Surgery* 150: 3 594e–607e. doi:10.1097/PRS.00000000000009437.



5. DISCUSIÓN



5. Discusión

El objetivo de los estudios que forman esta tesis fue evaluar por un lado los síntomas reproducidos atribuibles al NR en pacientes con dolor lateral de codo mediante el estudio de diferentes secuencias de las pruebas neurodinámicas del NR y, a su vez, evaluar la efectividad del tratamiento a través de la EENP del NR en pacientes con dolor lateral de codo. El primer estudio mostró diferencias en los síntomas reproducidos de los pacientes en función de la secuencia utilizada, demostrando la importancia de las diferentes secuencias de los test neurodinámicos del NR a la hora de evaluar pacientes con dolor lateral de codo. A su vez, los resultados mostraron que la secuencia estándar del NR reproduce de manera más efectiva las parestesias y los síntomas reconocidos como familiares por el paciente con esta condición. En el segundo artículo, se observa que una sola sesión de EENP sobre el NR redujo la intensidad del dolor, pero no tuvo un efecto significativo relevante sobre el UDP y la FALD comparado con EENP placebo en sujetos con dolor lateral de codo. Ambos artículos ponen de manifiesto la relevancia del NR en el dolor lateral de codo crónico y la necesidad de incluir evaluaciones y tratamientos específicos de esta estructura a la hora de manejar dicha condición.

5.1 Evaluación

En el primer estudio que forma esta tesis por publicaciones se analizaron las diferentes secuencias de los TNMS del NR y el test de supinación resistida, siendo el primer estudio que evalúa síntomas, parestesias y porcentaje de distribución del dolor durante la prueba en personas con dolor lateral de codo. De manera similar, Yaxley y Jull⁹² estudiaron la posible influencia del NR mediante pruebas neurodinámicas mostrando que el 55 % de los sujetos refirieron que el dolor provocado por el test estándar del NR reproducía los síntomas de su dolor lateral de codo. Resultados similares se encontraron en el estudio de Berglund, Persson y Denison¹²⁹. Nuestro estudio encontró que la secuencia estándar del NR generó un 77,3 % de resultados positivos, pero es importante señalar que se consideró como positivo la reproducción total o parcial de los síntomas junto con la diferenciación estructural (Criterios de Nee¹⁰⁸). Sin embargo, no se distinguió el porcentaje de positivos con la variable cantidad de personas que



reportaron los síntomas reproducidos como familiares. Otro estudio documentó el uso de TNMS (tanto del nervio mediano como del nervio radial) en pacientes con dolor lateral de codo y evaluaron la respuesta clínica y la influencia del nervio en dicha patología. Los investigadores se centraron en la aparición de reflejos nociceptivos de retirada, y llegaron a la conclusión de la existencia de un componente de hiperalgesia secundaria en el dolor lateral de codo¹⁹¹. No obstante, estos hallazgos no son del todo consistentes en la literatura como se muestra en un estudio similar realizado por Lim et al.¹⁸¹, en el que no encontraron una relación significativa entre la secuencia estándar del NR y el reflejo nociceptivo de retirada. Una de las posibles explicaciones argumentadas por Lim et al.¹⁸¹ fue la posible existencia de un subgrupo dentro de los pacientes con dolor lateral de codo con un aumento de la hiperexcitabilidad espinal caracterizado como la disminución del umbral de aparición del reflejo nociceptivo de retirada, justificando así las diferencias entre los diferentes estudios. Por tanto, las diferencias de las secuencias en los test neurodinámicos del NR y las diferentes respuestas clínicas en personas con dolor lateral de codo no se han estudiado lo suficiente en la literatura.

En nuestra investigación se evaluaron las distintas secuencias de las pruebas neurodinámicas del NR y el test de supinación resistida aislada, así como sus respuestas en personas con dolor lateral de codo, debido a la influencia que dicho nervio parece tener en casos de esta condición crónica y la posible coexistencia y necesidad de establecer un diagnóstico diferencial con un posible síndrome de atrapamiento (STR o SNIP)^{84,91}. Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la reproducción de parestesias, en la reproducción de síntomas familiares, en el porcentaje de test positivos y negativos y en la distribución de los síntomas dolorosos en visiones frontal y lateral entre las cuatro pruebas realizadas, pero no en cuanto a la intensidad del dolor. De las cuatro pruebas evaluadas, se observó que durante la secuencia estándar del NR el porcentaje de pacientes que comunicaron síntomas algo parecidos fue 30,3 %, síntomas muy parecidos en un 39,4 % o exactamente los mismos en 18,2 %. Las otras dos secuencias del NR evaluadas presentan resultados similares, aunque el porcentaje de sujetos que describieron exactamente los mismos síntomas fue menor con respecto a la secuencia estándar (7,5 % para la secuencia proximal-distal y 1,5 % para el TNMS del radial con supinación resistida). La reproducción de parestesias también tuvo resultados similares a los anteriormente descritos. Los resultados mostraron que la secuencia estándar del NR presentó diferencias significativas más destacadas ($p < 0.05$) frente a los otros tres test en cuanto a la generación de sensaciones parestésicas y a la reproducción de síntomas



reconocidos como familiares por parte de los pacientes, así como en la distribución de síntomas dolorosos en las visiones posterior y lateral. Además, todas las secuencias neurodinámicas del NR mostraron diferencias significativas en comparación con el test de supinación resistida aislada en las variables de reproducción de síntomas percibidos como familiares y en la cantidad de positivos y negativos. Las diferencias encontradas entre las pruebas pueden deberse a una combinación de factores, entre las características específicas de cada test y factores individuales como la percepción del dolor o la biomecánica de las estructuras involucradas.

Esta investigación pone de manifiesto la implicación del NR en el dolor lateral de codo y refleja la relación y similitud en la presentación clínica del STR y el dolor lateral de codo⁷⁶. La realización de test neurodinámicos ha sido utilizada para evaluar posibles atrapamientos nerviosos en otras patologías, como el síndrome del túnel del carpo¹⁹². Sin embargo, como se mencionó previamente, hemos encontrado escasos estudios que evalúen el test neurodinámico del NR en sujetos con dolor lateral de codo para valorar la posible influencia nerviosa en dicha patología^{92,129}, pero no proporcionan datos sobre su precisión diagnóstica. Por tanto, ante la falta de pruebas ortopédicas validadas científicamente para diferenciar el STR y el dolor lateral de codo, se plantea un desafío para el diagnóstico diferencial y la evaluación durante la práctica clínica habitual. En base al conocimiento disponible, se podría considerar la localización de los síntomas como el criterio más fiable descrito para diferenciar entre el STR y el dolor lateral de codo de origen musculotendinoso, puesto que en el STR los síntomas se localizan más caudalmente al epicóndilo lateral⁸⁷, aunque en ocasiones esta descripción puede coincidir en ambas condiciones¹⁹³. El test de supinación resistida ha sido propuesto como una prueba para valorar el atrapamiento del NR por la arcada de Froshe en su recorrido a través del supinador corto, pero su agudeza diagnóstica no ha sido validada¹⁹⁴. En nuestro estudio, el test de supinación resistida mostró una menor cantidad de positivos durante su realización (27,27 %). Sin embargo, los resultados obtenidos no permiten determinar la existencia de una relación entre la respuesta del test y la presencia del STR. La respuesta positiva podría deberse a la sensibilización del propio NR o la sensibilización del músculo supinador corto, el cual se le ha señalado como posible fuente de síntomas en pacientes con dolor lateral de codo¹⁹⁵. Futuras investigaciones deberían centrarse en relacionar la capacidad diagnóstica de la prueba de supinación resistida y de las variantes de las secuencias neurodinámicas del NR con la presencia de neuropatías por atrapamiento del NR y dolor lateral de codo.



Es importante hacer una distinción entre la influencia que puede tener el NR en la alteración del procesamiento del dolor en sujetos con dolor lateral de codo crónico y la existencia de una neuropatía por compresión del NR (como el STR) que genere una clínica similar al dolor lateral de codo. Cancela-Cilleruelo et al.⁹⁶ hipotetizaron acerca de la nocicepción del tejido nervioso, proponiendo que la sensibilización de las fibras tipo C del “nervi nervorum” y la inflamación neurogénica pueden estar involucradas en el desarrollo y perpetuación de los síntomas del dolor lateral de codo crónico. En este sentido, es importante distinguir entre la respuesta positiva en el test neurodinámico del NR y la presencia de una neuropatía periférica por compresión (como es el caso del STR⁶⁹), ya que la respuesta positiva durante el test neurodinámico podría ser tan solo una manifestación de la alteración del procesamiento del dolor en estos pacientes y no necesariamente indica una neuropatía o un desorden mecánico del sistema nervioso^{96,100}.

Varios estudios que han sido diseñados para detectar la posible influencia del NR en el dolor lateral de codo (aunque no emplearon pruebas neurodinámicas como en nuestra investigación) mostraron alteraciones sobre el NR, en línea de los resultados de nuestro estudio. En ellos se emplearon mediciones ecográficas del área transversal del NR^{20,94-96}, mediciones de los UDPs en dicho nervio y en zonas remotas^{93,96} y mediciones electrofisiológicas^{94,95}. Todos los estudios encontrados que han evaluado el NR ecográficamente coinciden al encontrar en que existe un aumento significativo del área de sección transversal de este sugiriendo una inflamación o engrosamiento neural en sujetos con dolor lateral de codo crónico^{20,94-96}. Por otra parte, las mediciones del UDP sobre el NR muestran una mayor sensibilidad o hiperalgesia del tejido neural en sujetos con dolor lateral de codo crónico en los estudios mencionados^{93,96}. Por último, las mediciones electrofisiológicas en el NR realizadas por Gürçay et al.⁹⁴ mostraron que no existen diferencias en los estudios electrodiagnósticos en el NR de sujetos con dolor lateral de codo frente a controles sanos. Curiosamente, este también es un hallazgo común en el STR, donde los estudios electrodiagnósticos suelen mostrar resultados “no concluyentes” o normales, debido a que no hay denervación motora¹⁹⁶, por lo que el uso de estudios electrofisiológicos, a diferencia de otras neuropatías periféricas, podría no ser suficiente para el diagnóstico diferencial. Sin embargo, existen estudios electrodiagnósticos sobre el NR donde se evalúan otros parámetros, como las diferencias en las latencias motoras del NR⁹⁰ o las curvas de resistencia-duración⁹⁵.



De-la-Cruz-Torres et al.⁹⁵ realizaron mediciones electrofisiológicas del NR usando las curvas de resistencia-duración para valorar su excitabilidad (tanto del lado afecto como del lado no afecto), encontrando una disminución de la excitabilidad del NR de ambos lados en sujetos con dolor lateral de codo. Estos cambios podrían estar relacionados con alteraciones en el procesamiento central que serían compatibles con los resultados obtenidos por Bisset et al.⁵⁴, los cuales encontraron alteraciones en la activación muscular medida con electromiografía en ambos lados durante la ejecución de tareas. Estos hallazgos se relacionan con los resultados de nuestro estudio, donde se obtuvo un gran porcentaje de positivos (alrededor del 70 %) durante las diferentes secuencias neurodinámicas, lo que muestra cambios en la mecanosensibilidad del NR y su posible influencia en sujetos con dolor lateral de codo crónico¹⁰⁵. Sin embargo, la elección de la secuencia neurodinámica del NR debería adaptarse en función de la sintomatología del paciente para potenciar la sensibilidad de la prueba y las estrategias de tratamiento.

Futuros estudios deberían realizarse para analizar la combinación de las secuencias de los test neurodinámicos para el NR, su agudeza diagnóstica y su relación con los hallazgos y características ecográficas y electrofisiológicas intrínsecas del nervio con el fin de facilitar el proceso diagnóstico en la práctica clínica diaria.

5.2 Tratamiento

El objetivo del segundo estudio fue evaluar la efectividad de la EENP en pacientes con dolor lateral de codo de forma inmediata. En nuestro estudio se analizó el efecto inmediato de una sesión de EENP sobre el NR frente a una sesión de EENP placebo en sujetos con dolor lateral de codo en variables como el UDP, la intensidad de dolor, la FALD y la autopercepción del cambio. Existen investigaciones previas que han empleado la EENP sobre el NR en sujetos con dolor lateral de codo crónico: un estudio de un caso clínico¹⁸⁶ y un estudio piloto¹⁸⁷, ambos casos mostrando un efecto positivo en la intensidad de dolor. Aunque ambas investigaciones tienen una base parecida a la nuestra, estos estudios no analizaron el UDP ni la FALD, y únicamente el estudio de Arias-Buria et al.¹⁸⁶ presentó parámetros de corriente eléctrica similares a nuestro estudio. Por tanto, la literatura sobre la intervención específica mediante



estimulación eléctrica sobre el NR es escasa, siendo este el primer ensayo clínico aleatorizado que muestra el efecto de la EENP sobre el NR en variables sensitivas y motoras de pacientes con dolor lateral de codo.

En relación con el UDP, no se encontraron diferencias significativas entre grupos en las zonas cercanas al dolor (epicóndilo lateral y NR) ni en las zonas remotas (cigapofisarias C5-C6 y músculo tibial anterior) homolaterales y contralaterales y no superaron el cambio mínimo detectable de 147 kilopascales en el lado afecto y 127 kilopascales en el lado no afecto⁷³. El efecto de la EENP en el UDP ha sido investigado por otros autores, encontrando resultados similares a nuestro estudio¹⁹⁷. Una teoría que puede explicar esto es la presencia de dolor post-punción, que podría ocultar el efecto de la intervención. Sin embargo, Álvarez et al.¹⁸⁴ estudiaron la EENP de alta frecuencia sobre el nervio mediano en sujetos sanos y encontraron que los UDP aumentaban de manera significativa, lo que difiere con los resultados de nuestro estudio. Una posible explicación es que el tipo de frecuencia en la corriente utilizada puede influir de manera diferente sobre el sistema nervioso y el sistema de analgesia, lo que podría explicar los diferentes resultados (nuestro estudio analizó corrientes de baja frecuencia [2 Hz] mientras que ellos emplearon corrientes de alta frecuencia [30 KHz]). Otra posible explicación es que realizaron la intervención en sujetos sin dolor.

Los resultados obtenidos mostraron diferencias estadísticamente significativas entre grupos [-11.55 (IC 95 % -21.79 a -1.30) $p < 0.028$] a favor de la EENP real en la intensidad del dolor. Sin embargo, la diferencia obtenida entre grupos no obtuvo la DMCI de 20 mm⁶⁵ en la EVA, aunque las diferencias obtenidas fuesen estadísticamente significativas. Esto muestra un posible efecto analgésico de EENP en pacientes con dolor lateral de codo a pesar de no alcanzar la relevancia clínica. De manera similar (con respecto a la muestra y la aplicación de la EENP sobre el NR en pacientes con dolor lateral de codo) De-la-Cruz-Torres et al.¹⁸⁷ observaron mejoras en el dolor en comparación con un grupo control sin intervención, aunque utilizaron otros parámetros de tratamiento. Existen otros estudios^{131,132} que han utilizado el NR como diana terapéutica para el tratamiento dolor lateral de codo, aunque sin emplear EENP en su tratamiento. Por ejemplo, Arumugam et al.¹³¹ realizaron un estudio cuasiexperimental en el que realizaron movilizaciones neurodinámicas del NR como tratamiento en usuarios de ordenador con dolor lateral de codo. Por su parte, Yilmaz et al.¹³² compararon movilizaciones neurodinámicas del NR frente a un tratamiento de rehabilitación conservador. Ambos estudios



encontraron diferencias significativas en el dolor a favor de la movilización neurodinámica del NR, lo cual lleva a pensar que esta estructura puede ser una diana terapéutica. Sin embargo, son estudios con grandes limitaciones, como una muestra escasa y con falta de seguimiento a medio-largo plazo y no permiten obtener conclusiones firmes^{131,132}.

A pesar de que el estudio de la EENP es escaso y reciente desde el punto de vista de la fisioterapia, existen algunos estudios como el nuestro cuyo foco de tratamiento es el tejido neural y que han obtenido resultados similares. García-Collado et al.¹⁶¹ llevaron a cabo una revisión panorámica acerca de los estudios existentes sobre EENP aplicada al tejido neural, mostrando la efectividad de la técnica. Sin embargo, estos autores¹⁶¹ seleccionaron 18 investigaciones, entre los que se incluyeron series de casos y estudios de ensayos clínicos mediante implantación de electrodos, lo que podría limitar la extrapolación de los resultados. Entre los estudios seleccionados por esta revisión (y otros que no) encontramos varias investigaciones siguiendo la línea de investigación del tratamiento enfocado al tejido nervioso en el que observamos resultados similares como en la región de la rodilla donde estudiaron la EENP sin dispositivos implantados sobre tejido nervioso observando mejoras en el dolor¹⁸¹, el efecto de la EENP en el nervio ciático de sujetos con dolor lumbar crónico con resultados positivos en el dolor, la funcionalidad, el rango pasivo de cadera y el equilibrio¹⁷⁹, o el estudio realizado Fernández-de-Las-Peñas et al.¹⁶² donde compararon el efecto de la EENP sobre el nervio mediano frente a la cirugía en mujeres con síndrome del túnel del carpo. A corto plazo, la EENP mostró mejores resultados en el dolor, la funcionalidad y la severidad de los síntomas, pero a medio-largo plazo no hallaron diferencias entre ambos abordajes, lo que indica a pensar que el tratamiento conservador podría ser considerado como primera línea de tratamiento¹⁶². La evidencia disponible¹⁶⁴ y los resultados de nuestro estudio sugieren que la EENP sobre el tejido neural puede ser un tratamiento efectivo para poblaciones con dolor musculoesquelético.

En cuanto a la FALD, no se observaron diferencias significativas entre grupos [0.47 (IC 95 % -5.11 a 6.06)], pero sí hubo diferencias significativas intragrupo a favor de la EENP real [3.62 (IC 95 % 1.43 a 5.80) $p = 0.002$], superando el cambio mínimo detectable de 1.40 kg⁷³. Se ha observado un efecto similar en la mejora de la fuerza al realizar la EENP sobre el nervio femoral en sujetos sanos¹⁸³. Sin embargo, en un estudio realizado por Álvarez et al.¹⁸⁵, donde estudiaron el efecto de la EENP sobre los nervios mediano y cubital en sujetos sanos, encontraron una disminución de la fuerza de agarre máxima a las 24 horas tras la intervención,



lo que difiere con los resultados de nuestro estudio. No obstante, como se ha señalado anteriormente, realizaron el estudio en sujetos sanos y midieron la fuerza de agarre máxima, mientras que nuestro estudio analizó la FALD en sujetos con dolor y, debido a la reducción inmediata del dolor, se podría explicar la mejoría en la fuerza de estos pacientes. Además, se aplicaron otros parámetros de la EENP (aplicaron 60 segundos de intervención por cada nervio mientras que nosotros realizamos 30 minutos de intervención), lo que podría explicar las diferencias en los resultados.

La cantidad de sujetos que experimentaron una mejora autopercebida de moderada a grande fue significativamente mayor en el grupo de EENP real ($n = 8$) que en el grupo de EENP placebo ($n = 1$). El único efecto adverso reportado fue el dolor post-punción, el cual desapareció a las 48 horas como máximo (20 % en el grupo EENP real y 46 % en el grupo EENP placebo). Una revisión realizada por Beltrán-Alacreu et al.¹⁹⁸ comparó el efecto de la EENT frente a la EENP en diferentes estudios y encontraron que la EENP mostraba mejores resultados en puntuaciones de dolor o calidad de vida. No obstante, cuando los estudios con alto riesgo de sesgo fueron eliminados, no se encontraron diferencias entre la EENT y la EENP, por lo que estos autores recomiendan usar la EENT debido a la posibilidad de desarrollar efectos adversos con la EENP. Sin embargo, y viendo los escasos efectos adversos de nuestro estudio, el uso del ecógrafo hace que sea un procedimiento seguro.

La explicación al efecto beneficioso sobre pacientes con dolor no está del todo clara, pero todo apunta a que puede producir un efecto neuromodulador sobre el sistema nervioso. Tal como se mencionó anteriormente, Fernández-de-Las-Peñas et al.¹⁶² mostraron la efectividad de la EENP aplicada al nervio mediano y una posible hipótesis a la luz de los resultados obtenidos es que la EENP ayuda a modular los procesos de sensibilización central y periférica, comúnmente encontrados en estos pacientes¹⁹⁹. Al igual que en el caso anterior, las alteraciones en el sistema nervioso son comunes en poblaciones con dolor lateral de codo, como se refleja en el estudio de Fernández-Carnero et al.⁴⁴, los cuales encontraron una disminución del UDP bilateral en sujetos con dolor lateral de codo crónico, sugiriendo la presencia de mecanismos de sensibilización central. Por tanto, estos hallazgos permiten pensar acerca de los posibles efectos beneficiosos que puede tener la EENP aplicada en el NR sobre variables como la intensidad del dolor, el UDP, la FALD y la funcionalidad en sujetos con dolor lateral de codo crónico donde es probable la existencia de una sensibilización periférica



y/o central. Futuras líneas de investigación deberían centrarse en comparar diferentes parámetros de corriente eléctrica para observar los diferentes efectos obtenidos en patologías crónicas, como el dolor lateral de codo.

Otra de las explicaciones del efecto beneficioso de la EENP es su posible efecto directo sobre el NR, tanto a nivel de su sensibilización como de su estructura. Como se mencionó anteriormente, Cancela-Cilleruelo et al.⁹⁶ encontraron un engrosamiento de la sección transversal del NR que podría ser compatible con la contribución del NR a los síntomas en los pacientes con dolor lateral de codo. Sin embargo, la relación entre la influencia del tratamiento y la mejora del área de sección transversal con los síntomas clínicos no está del todo clara. Por un lado, encontramos que en el estudio piloto de De-la-Cruz-Torres et al.¹⁸⁷ analizaron el efecto de la estimulación eléctrica nerviosa del NR y evaluaron el área de sección transversal de dicho nervio en sujetos con dolor lateral de codo. Estos autores encontraron que el área de sección transversal disminuía con la EENP frente al grupo control. Por otro lado, Vasudeva et al.²⁰⁰ compararon el efecto de un tratamiento conservador (antiinflamatorios orales, descanso de actividades, terapia manual, hielo, ejercicios de fortalecimiento y órtesis) más infiltración de corticoides frente al tratamiento conservador aislado y encontraron que no había diferencias significativas inter o intragrupo en el área de sección transversal, lo que les llevó a la conclusión de que el engrosamiento del NR no tenía relevancia en la sensibilización de estos pacientes. No obstante, es importante señalar que no realizaron un tratamiento directo del NR, sino un programa general de fisioterapia y una infiltración en el tendón común extensor²⁰⁰. Futuras investigaciones deberían centrarse en la valoración del efecto de los tratamientos focalizados en el NR y su relación con parámetros intrínsecos del propio nervio, como el área de sección transversal.

Tenemos que tener en cuenta que el dolor lateral de codo y el STR pueden coexistir^{91,201}. En los casos en los que el tratamiento conservador no obtenga los resultados esperados, se propone como tratamiento la descompresión quirúrgica del NR en pacientes con STR¹⁹³. Por ejemplo, Lee et al.²⁰² encontraron que en torno al 65 % de los pacientes presentaron un alivio o un ligero malestar, mientras que el resto (35 %) refirió síntomas desde moderados a severos incluso después de la cirugía. Un hallazgo importante de este estudio²⁰² es que los sujetos que presentaban una clínica mixta del STR y dolor lateral de codo o codo de tenista (mencionado así en el estudio) presentaron menos niveles de satisfacción tras la cirugía que los sujetos con



STR aislado, poniendo de manifiesto la etiología multifactorial como un aspecto relevante en el tratamiento. Por su parte, Tsolias et al.²⁰³ realizaron un ensayo clínico donde se comparó el tratamiento quirúrgico (aponeurotomía de los músculos extensores) en pacientes con dolor lateral de codo crónico junto con una liberación del NR frente a la aponeurotomía sin liberación radial. Aunque hubo mejores puntuaciones en los cuestionarios evaluados a favor de la liberación del NR, no se encontraron diferencias significativas entre grupos y la liberación del NR no aportó mejoras importantes frente al control²⁰³. Por tanto, estos resultados muestran una dudosa tasa de efectividad del tratamiento quirúrgico de liberación del NR, por lo que no debe ser considerado como primera línea de abordaje. De igual manera, estos resultados sugieren que el tratamiento enfocado únicamente en el NR puede no ser suficiente y que debe combinarse con otras modalidades de tratamiento que abarquen otros aspectos como los déficits motores y funcionales, así como otras estructuras, con el fin de garantizar el éxito de la terapia. En consonancia, Fernández-de-Las-Peñas et al.¹⁶² mostraron los beneficios clínicos que podría aportar la EENP del nervio mediano en comparación con la cirugía del síndrome del túnel de carpo a corto, medio y largo plazo, señalando a esta intervención como una modalidad a usar en el tratamiento conservador. De manera similar y a la luz de los resultados obtenidos en nuestro estudio (alivio significativo inmediato del dolor y mejora de la fuerza), sería interesante observar el efecto a corto, medio y largo plazo de esta intervención en patologías similares de atrapamiento nervioso, como el STR.

5.3 Implicaciones clínicas del estudio

Teniendo en cuenta los resultados de los estudios publicados para el compendio de esta tesis doctoral y la evidencia actual presentada, sigue existiendo una escasez de investigaciones desde el punto de vista de la fisioterapia sobre abordajes del NR en sujetos con dolor lateral de codo. Debido a ello, los resultados obtenidos (tanto del estudio nº1 como del estudio nº2) permiten ayudar a los profesionales sanitarios encargados del manejo de sujetos con dolor lateral de codo crónico, enfatizando la importancia de incluir a una estructura como el NR en la práctica diaria (tanto en la evaluación como el tratamiento) con el objetivo de optimizar y mejorar los abordajes convencionales de esta patología que presenta una presentación clínica variable y compleja.



El estudio nº1 muestra la importancia de considerar las diferentes secuencias del test neurodinámico del NR en el proceso de evaluación de pacientes con dolor lateral de codo. Parece ser que la secuencia estándar del radial es la que mejor reproduce los síntomas del paciente, por lo que debe de incluirse en la evaluación de todos los sujetos con dolor lateral de codo para ayudar al proceso diagnóstico. Si se sospecha de síntomas nerviosos, la secuencia proximal-distal podría ser más apropiada. Esto parece estar relacionado con el estudio de Nee et al.¹¹⁴, donde encontraron que el orden de parámetros no tiene una relevancia importante en cuanto a la cantidad de estiramiento sino al tiempo en el que esa parte del nervio parece sufrir más estiramiento, dependiendo de si se comienza por una región u otra. Por ello, al comenzar por una secuencia proximal, las regiones proximales parecen estar más tiempo en tensión y esta secuencia sería más relevante si se sospecha de síntomas cervicales o radiculares. Si se sospecha de participación del músculo supinador, el test de supinación resistida puede ser más relevante, como proponen algunos autores^{75,85}, aunque su agudeza diagnóstica no se ha establecido. Las guías de práctica clínica suelen recomendar la realización de pruebas ortopédicas para estructuras musculoesqueléticas (como extensión resistida de muñeca o del tercer dedo, palpación del epicóndilo, etc.³) pero hacen menos mención a la evaluación mecanosensitiva del nervio en sus recomendaciones, lo que podría dificultar un buen diagnóstico diferencial. Al haberse observado en nuestro estudio una gran tasa de positivos (más del 70 % aproximadamente), se recomienda el uso de la evaluación neurodinámica para poder establecer aquellos pacientes que podrían beneficiarse específicamente de intervenciones sobre el NR o en casos de sospecha de neuropatías compresivas o de radiculopatía cervical.

El estudio nº2 parece mostrar que el tratamiento inmediato mediante EENP enfocado al NR mejora la intensidad del dolor y la fuerza en sujetos con dolor lateral de codo crónico. La mayoría de los tratamientos propuestos para el dolor lateral de codo se centran en estructuras musculoesqueléticas, pero nuestros resultados ponen de manifiesto que existen otros posibles contribuidores al dolor lateral de codo, como el NR¹⁹⁰ y la necesidad de abordar esta estructura de manera específica. La EENP es un tratamiento mínimamente invasivo que presenta un gran atractivo para los fisioterapeutas en la última década, y es necesario más investigación sobre como este abordaje puede optimizar el manejo de pacientes con dolor lateral de codo y en otras condiciones similares.



5.4 Limitaciones

Existen varias limitaciones en los dos estudios que conforman la tesis. Una de las limitaciones generales que encontramos es que, como fisioterapeutas, en nuestra práctica clínica diaria realizamos más de un tipo de valoración y tratamiento. Sobre todo, y en referencia al estudio nº2, no es habitual aplicar una sola sesión aislada de EENP, ya que se suele combinar con otro tipo de abordajes. También encontramos una limitación importante a la hora de establecer los parámetros de tratamiento de la EENP en el estudio nº2, ya que todavía no existe un consenso sobre los parámetros de la corriente eléctrica y sus efectos. En nuestra investigación se emplearon los parámetros siguiendo el estudio de Arias-Buria et al.¹⁸⁶, pero otros estudios emplean diferentes parámetros y parecen necesarias investigaciones que combinen diferentes parámetros de corriente y observar los efectos obtenidos.

Otra limitación es la inclusión de varios grupos para comparar resultados. En el estudio nº1 no se incluyó un grupo control para valorar los efectos de las secuencias de los test neurodinámicos del radial en sujetos sanos o en pacientes con STR. En esta línea, en el estudio nº2 se incluyó un grupo control placebo donde se aplicó la introducción de las agujas sin corriente. Con la introducción de la aguja pueden activarse mecanismos inhibitorios descendentes de dolor, lo que podría explicar que no se encontraran diferencias entre grupos en los UDP²⁰⁴. Aunque se introdujo un grupo control, no se introdujo un grupo donde los pacientes recibiesen EENT para determinar qué tipo de estimulación (si transcutánea o percutánea) conlleva mejores resultados.

En el estudio nº1 encontramos limitaciones en cuanto a la falta de estudio tanto de la fiabilidad intra e inter examinador en la reproducción de los síntomas con las diferentes secuencias propuestas como de la fiabilidad interexaminador en la ejecución de los test. Tampoco se investigó la posible influencia de otros factores en el resultado del test, como factores psicológicos o presencia de comorbilidades. Otra limitación es la posible existencia de un “fenómeno de arrastre” sobre los síntomas generados entre un test y el siguiente. Sin embargo, creemos que este efecto puede ser mínimo ya que el orden de los test fue asignado de manera aleatoria y se dejó un tiempo de descanso prudencial entre los test, garantizando que el siguiente test se realizase una vez que los síntomas del test anterior hubiesen desaparecido.



El estudio nº2 presenta un seguimiento mínimo (se trata de una evaluación inmediata tras la intervención) por lo que sería recomendable realizar seguimientos a medio y largo plazo para ver si los resultados obtenidos con el tratamiento se mantienen en el tiempo. Asimismo, el estudio nº2 se realizó en sujetos con dolor lateral de codo crónico, pero no se realizó ninguna evaluación para valorar la posible influencia del NR en dicha afección. Sería interesante realizar evaluaciones mediante las secuencias neurodinámicas del NR en sujetos con dolor lateral de codo para valorar qué pacientes se pueden beneficiar de un tratamiento mediante EENP enfocado en dicho nervio. También tenemos que mencionar que, debido a la ausencia de DMCI en las variables UDP y FALD en sujetos con dolor lateral de codo, se debe limitar la extrapolación e interpretación de los resultados.



6. CONCLUSIONES



6. Conclusiones

Las diferentes secuencias de los test neurodinámicos del nervio radial y el test de supinación resistida desencadenan de forma diferente las sensaciones de parestesia, los síntomas familiares de los pacientes, el porcentaje de positivos y negativos y la distribución de los síntomas dolorosos en pacientes con dolor lateral de codo.

La secuencia estándar del test neurodinámico del nervio radial muestra notables diferencias comparada con las otras secuencias, indicando su posible utilidad en la evaluación de pacientes con dolor lateral de codo.

El tratamiento mediante una sesión de estimulación eléctrica nerviosa percutánea sobre el nervio radial en sujetos con dolor lateral de codo crónico no muestra diferencias significativas en el umbral del dolor a la presión frente a la estimulación eléctrica nerviosa percutánea placebo.

El tratamiento mediante una sesión de estimulación eléctrica nerviosa percutánea sobre el nervio radial en sujetos con dolor lateral de codo no muestra diferencias significativas en la fuerza de agarre libre de dolor entre grupos (aunque sí intragrupo a favor de la estimulación eléctrica nerviosa percutánea) pero sí muestra diferencias significativas entre grupos en la intensidad del dolor a favor de la estimulación eléctrica nerviosa percutánea real.



7. BIBLIOGRAFÍA



7. Bibliografía

1. Bordachar D. Lateral epicondylalgia: A primary nervous system disorder. *Med Hypotheses*. 2019;123(1):101–9.
2. Ma KL, Wang HQ. Management of Lateral Epicondylitis: A Narrative Literature Review. *Pain Res Manag*. 2020;2020:6965381.
3. Bisset LM, Vicenzino B. Physiotherapy management of lateral epicondylalgia. *J Physiother*. 2015;61(4):174–81.
4. Coombes BK, Bisset L, Vicenzino B. Management of lateral elbow tendinopathy: One size does not fit all. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2015;45(11):938–49.
5. Di Filippo L, Vincenzi S, Pennella D, Maselli F. Treatment, Diagnostic Criteria and Variability of Terminology for Lateral Elbow Pain: Findings from an Overview of Systematic Reviews. *Healthc (Basel, Switzerland)*. 2022;10(6):1095.
6. Cyriax JE. THE PATHOLOGY AND TREATMENT OF TENNIS ELBOW. *J Bone Jt Surg*. 1936;18(4):921–40.
7. Khan KM, Cook JL, Kannus P, Maffulli N, Bonar SF. Time to abandon the “tendinitis” myth. *BMJ*. 2002;324(7338):626–7.
8. Kraushaar B, Nirschl RP. Current Concepts Review - Tendinosis of the Elbow (Tennis Elbow). Clinical Features and Findings of Histological, Immunohistochemical, and Electron Microscopy Studies. *J Bone Jt Surg*. 1999;81(2):259–78.
9. Waugh EJ. Lateral epicondylalgia or epicondylitis: What’s in a name? *J Orthop Sports Phys Ther*. 2005;35:200–2.
10. Mosca MJ, Rashid MS, Snelling SJ, Kirtley S, Carr AJ, Dakin SG. Trends in the theory that inflammation plays a causal role in tendinopathy: a systematic review and quantitative analysis of published reviews. *BMJ open Sport Exerc Med*. 2018;4(1).
11. Jomaa G, Kwan CK, Fu SC, Ling SK, Chan KM, Yung PS, et al. A systematic review of inflammatory cells and markers in human tendinopathy. *BMC Musculoskelet Disord*.



2020;21(1):78. 10.1186/S12891-020-3094-Y

12. Stasinopoulos D, Johnson MI. “Lateral elbow tendinopathy” is the most appropriate diagnostic term for the condition commonly referred-to as lateral epicondylitis. *Med Hypotheses*. 2006;67(6):1400–2.
13. Chourasia AO, Buhr KA, Rabago DP, Kijowski R, Lee KS, Ryan MP, et al. Relationships between biomechanics, tendon pathology, and function in individuals with lateral epicondylitis. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2013;43(6):368–78.
14. Pasternack I, Tuovinen EM, Lohman M, Vehmas T, Malmivaara A. MR findings in humeral epicondylitis. A systematic review. *Acta Radiol*. 2001;42(5):434–40.
15. Major H. Lawn tennis elbow (letter). *BMJ*. 1883;2:557.
16. Dines JS, Bedi A, Williams PN, Dodson CC, Ellenbecker TS, Altchek DW, et al. Tennis Injuries : Epidemiology, pathophysiology and treatment. *J Am Acad Orthop Surg*. 2015;23(3):181–9.
17. Shiri R, Viikari-Juntura E. Lateral and medial epicondylitis: Role of occupational factors. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2011;25(1):43-57.
18. Walker-Bone K, Palmer KT, Reading I, Coggon D, Cooper C. Occupation and epicondylitis: a population-based study. *Rheumatology (Oxford)*. 2012;51(2):305–10.
19. Dones VC, Grimmer K, Thoirs K, Suarez CG, Luker J. The diagnostic validity of musculoskeletal ultrasound in lateral epicondylalgia: a systematic review. *BMC Med Imaging*. 2014;14:10.
20. Abhimanyu V, Ritika P, Osama N, Srishti N, Gita H. Lateral epicondylitis: Are we missing out on radial nerve involvement? A cross-sectional study. *J Bodyw Mov Ther*. 2021;27:352–7.
21. Shiri R, Viikari-Juntura E, Varonen H, Heliövaara M. Prevalence and determinants of lateral and medial epicondylitis: a population study. *Am J Epidemiol*. 2006;164(11):1065–74.
22. Sanders TL, Maradit Kremers H, Bryan AJ, Ransom JE, Smith J, Morrey BF. The Epidemiology and Health Care Burden of Tennis Elbow: A Population-Based Study.



- Am J Sports Med. 2015;43(5):1066-71.
23. Degen RM, Conti MS, Camp CL, Altchek DW, Dines JS, Werner BC. Epidemiology and Disease Burden of Lateral Epicondylitis in the USA: Analysis of 85,318 Patients. HSS J. 2018;14(1):9-14.
 24. Lucado AM, Day JM, Vincent JJ, MacDermid JC, Fedorczyk J, Grewal R, et al. Lateral Elbow Pain and Muscle Function Impairments. J Orthop Sports Phys Ther. 2022;52(12):CPG1–111.
 25. Bot SD, Van Der Waal JM, Terwee CB, Van Der Windt DA, Bouter LM, Dekker J. Course and prognosis of elbow complaints: a cohort study in general practice. Ann Rheum Dis. 2005;64(9):1331–6.
 26. Sayampanathan AA, Basha M, Mitra AK. Risk factors of lateral epicondylitis: A meta-analysis. Surgeon. 2020;18(2):122–8.
 27. Park H Bin, Gwark JY, Im JH, Na JB. Factors Associated With Lateral Epicondylitis of the Elbow. Orthop J Sport Med. 2021;9(5).
 28. Titchener AG, Fakis A, Tambe AA, Smith C, Hubbard RB, Clark DI. Risk factors in lateral epicondylitis (tennis elbow): A case-control study. J Hand Surg Eur Vol. 2013;38(2):159–64.
 29. Chen Q, Shen P, Zhang B, Chen Y, Zheng C. A meta-analysis of the risk factors for lateral epicondylitis. J Hand Ther. 2024;37(1):44-52.
 30. Zhang C, Jia Z, Li J, Wang X, Yang S. Impact of lifestyle and clinical factors on the prognosis of tennis elbow. Sci Reports. 2024;14(1):3063.
 31. Bretschneider SF, Los FS, Eygendaal D, Kuijer PP, van der Molen HF. Work-relatedness of lateral epicondylitis: Systematic review including meta-analysis and GRADE work-relatedness of lateral epicondylitis. Am J Ind Med. 2022;65(1):41–50.
 32. Bao S, Spielholz P, Howard N, Silverstein B. Application of the Strain Index in multiple task jobs. Appl Ergon. 2009;40(1):56–68.
 33. van Rijn RM, Huisstede BM, Koes BW, Burdorf A. Associations between work-related factors and specific disorders at the elbow: a systematic literature review. Rheumatology



- (Oxford). 2009;48(5):528–36.
34. Herquelot E, Guéguen A, Roquelaure Y, Bodin J, Sérazin C, Ha C, et al. Work-related risk factors for incidence of lateral epicondylitis in a large working population. *Scand J Work Environ Health*. 2013;39(6):578–88.
 35. Cook JL, Purdam CR. Is tendon pathology a continuum? A pathology model to explain the clinical presentation of load-induced tendinopathy. *Br J Sports Med*. 2009;43(6):409–16.
 36. Alfredson H, Ljung BO, Thorsen K, Lorentzon R. In vivo investigation of ECRB tendons with microdialysis technique-no signs of inflammation but high amounts of glutamate in tennis elbow. *Acta Orthop Scand*. 2000;71(5):475–9.
 37. Alakhdar Mohmara Y, Cook J, Benítez-Martínez JC, McPeck ER, Aguilar AA, Olivas ES, et al. Influence of genetic factors in elbow tendon pathology: a case-control study. *Sci Rep*. 2020;10(1):6503.
 38. Coombes BK, Bisset L, Vicenzino B. A new integrative model of lateral epicondylalgia. *Br J Sports Med*. 2009;43(4):252–8.
 39. Bal E, Cetin O. Demonstrating the relationship of ultrasonographic parameters with disease activity and pain in lateral epicondylitis. *Medicine (Baltimore)*. 2023;102(40):E35499.
 40. Du Toit C, Stieler M, Saunders R, Bisset L, Vicenzino B. Diagnostic accuracy of power Doppler ultrasound in patients with chronic tennis elbow. *Br J Sports Med*. 2008;42(11):572–6.
 41. Palaniswamy V, Ng SK, Manickaraj N, Ryan M, Yelland M, Rabago D, et al. Relationship between ultrasound detected tendon abnormalities, and sensory and clinical characteristics in people with chronic lateral epicondylalgia. *PLoS One*. 2018;13(10):e0205171.
 42. Pringels L, Cook JL, Witvrouw E, Burssens A, Vanden Bossche L, Wezenbeek E. Exploring the role of intratendinous pressure in the pathogenesis of tendon pathology: a narrative review and conceptual framework. *Br J Sports Med*. 2023;57(16):1042–8.



43. Khan KM, Cook JL, Maffulli N, Kannus P. Where is the pain coming from in tendinopathy? It may be biochemical, not only structural, in origin. *Br J Sports Med.* 2000;34(2):81-3.
44. Fernández-Carnero J, Fernández-de-Las-Peñas C, De La Llave-Rincón AI, Ge HY, Arendt-Nielsen L. Widespread mechanical pain hypersensitivity as sign of central sensitization in unilateral epicondylalgia: a blinded, controlled study. *Clin J Pain.* 2009;25(7):555–61.
45. Coombes BK, Bisset L, Vicenzino B. Thermal hyperalgesia distinguishes those with severe pain and disability in unilateral lateral epicondylalgia. *Clin J Pain.* 2012;28(7):595–601.
46. Bisset L, Carty M, Smith A. Unilateral lateral epicondylalgia shows a pro-nociceptive pain profile. *Clin J Pain.* 2018;34(10):954–9.
47. Pedrajas Navas JM., Molino González ÁM. Bases neuromédicas del dolor. *Clínica y Salud.* 2008;19(19):277–93.
48. Sandkühler J. Models and mechanisms of hyperalgesia and allodynia. *Physiol Rev.* 2009;89(2):707–58.
49. Cervero F, Laird JM, García-Nicas E. Secondary hyperalgesia and presynaptic inhibition: An update. *Eur J Pain.* 2003;7(4):345–51.
50. Fernández-Carnero J, Fernández-de-Las-Peñas C, De La Llave-Rincón AI, Ge HY, Arendt-Nielsen L. Bilateral myofascial trigger points in the forearm muscles in patients with chronic unilateral lateral epicondylalgia: A blinded, controlled study. *Clin J Pain.* 2008;24(9):802–7.
51. Coombes BK, Bisset L, Vicenzino B. Elbow flexor and extensor muscle weakness in lateral epicondylalgia. *Br J Sports Med.* 2012;46(6):449–53.
52. Rojas M, Mañanas MA, Müller B, Chaler J. Activation of Forearm Muscles for Wrist Extension in Patients Affected by Lateral Epicondylitis. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2007:4858-61.
53. Chourasia AO, Buhr KA, Rabago DP, Kijowski R, Irwin CB, Sesto ME. Effect of lateral



- epicondylitis on grip force development. *J Hand Ther.* 2012;25(1):27–37.
54. Bisset LM, Russell T, Bradley S, Ha B, Vicenzino BT. Bilateral sensorimotor abnormalities in unilateral lateral epicondylalgia. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(4):490–5.
 55. Roles NC, Maudsley RH. Radial tunnel syndrome: resistant tennis elbow as a nerve entrapment. *J Bone Jt Surg Br.* 1972;54(3):499–508.
 56. Fairbank SM, Corlett RJ. The role of the extensor digitorum communis muscle in lateral epicondylitis. *J Hand Surg Am.* 2002;27 B(5):405–9.
 57. Arrigoni P, Cucchi D, Menon A, Randelli P. It’s time to change perspective! New diagnostic tools for lateral elbow pain. *Musculoskelet Surg.* 2017;101(Suppl 2):175–9.
 58. Kniesel B, Huth J, Bauer G, Mauch F. Systematic diagnosis and therapy of lateral elbow pain with emphasis on elbow instability. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2014;134(12):1641–7.
 59. O’Driscoll SW. Classification and evaluation of recurrent instability of the elbow. *Clin Orthop Relat Res.* 2000;370(370):34–43.
 60. Arvind CH, Hargreaves DG. Table top relocation test-New clinical test for posterolateral rotatory instability of the elbow. *J Shoulder Elb Surg.* 2006;15(4):500–1.
 61. Lee A, Lee-Robinson A. Evaluating concomitant lateral epicondylitis and cervical radiculopathy. *J Musculoskelet Med.* 2010;27(3):111–5.
 62. Lam KN, Rushton A, Thoomes E, Thoomes-de Graaf M, Heneghan NR, Falla D. Neck pain with radiculopathy: A systematic review of classification systems. *Musculoskelet Sci Pract.* 2021;54:102389.
 63. Jensen MP, Miller L, Fisher LD. Assessment of pain during medical procedures: A comparison of three scales. *Clin J Pain.* 1999;14(4):343–9.
 64. Hjerstad MJ, Fayers PM, Haugen DF, Caraceni A, Hanks GW, Loge JH, et al. Studies comparing numerical rating scales, verbal rating scales, and visual analogue scales for assessment of pain intensity in adults: A systematic literature review. *J Pain Symptom Manage.* 2011;41(6):1073–93.



65. Frahm Olsen M, Bjerre E, Hansen MD, Tendal B, Hilden J, Hróbjartsson A. Minimum clinically important differences in chronic pain vary considerably by baseline pain and methodological factors: systematic review of empirical studies. *J Clin Epidemiol.* 2018;101:87-106.
66. Gallego-Izquierdo T, Ruiz-Vindel J, Ferragut-Garcías A, Martínez-Merinerio P, Montañez-Aguilera FJ, Noriega-Matanza C, et al. Adaptation and transcultural translation into Spanish of the Patient-Rated Tennis Elbow Evaluation Questionnaire. *J Orthop Res.* 2020;38(12):2601–7.
67. Rompe JD, Overend TJ, MacDermid JC. Validation of the Patient-rated Tennis Elbow Evaluation Questionnaire. *J Hand Ther.* 2007;20(1):3–11.
68. Poltawski L, Watson T. Measuring clinically important change with the Patient-rated Tennis Elbow Evaluation. *Hand Ther.* 2011;16(3):52–7.
69. Hervás MT, Navarro Collado MJ, Peiró S, Rodrigo Pérez JL, López Matéu P, Martínez Tello I. Versión Española del cuestionario DASH. Adaptación transcultural, fiabilidad, validez y sensibilidad a los cambios. *Med Clin (Barc).* 2006;127(12):441–7.
70. Franchignoni F, Vercelli S, Giordano A, Sartorio F, Bravini E, Ferriero G. Minimal clinically important difference of the disabilities of the arm, shoulder and hand outcome measure (DASH) and its shortened version (QuickDASH). *J Orthop Sports Phys Ther.* 2014;44(1):30–9.
71. Lim EC. Pain Free Grip Strength test. *J Physiother.* 2013;59(1):59.
72. Hillman TE, Nunes QM, Hornby ST, Stanga Z, Neal KR, Rowlands BJ, et al. A practical posture for hand grip dynamometry in the clinical setting. *Clin Nutr.* 2005;24(2):224–8.
73. Smidt N, van der Windt DA, Assendelft WJ, Mourits AJ, Devill WL, De Winter AF, et al. Interobserver reproducibility of the assessment of severity of complaints, grip strength, and pressure pain threshold in patients with lateral epicondylitis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83(8):1145–50.
74. Becciolini M, Pivec C, Raspanti A, Riegler G. Ultrasound of the Radial Nerve: A Pictorial Review. *J Ultrasound Med.* 2021;40(12):2751–71.



75. Levina Y, Dantuluri PK. Radial Tunnel Syndrome. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2021;14(3):205–13.
76. Węgiel A, Karauda P, Zielinska N, Tubbs RS, Olewnik Ł. Radial nerve compression: anatomical perspective and clinical consequences. *Neurosurg Rev*. 2023;46(1):53.
77. Latef TJ, Bilal M, Vetter M, Iwanaga J, Oskouian RJ, Tubbs RS. Injury of the Radial Nerve in the Arm: A Review. *Cureus*. 2018;10(2):e2199.
78. Seroussi RE, Singh V, Karl HW. Deep branch of the radial nerve entrapment. En: Trescot AM, editor. *Peripheral nerve entrapments: Clinical diagnosis and management*. Springer Cham; 2016:349-358.
79. Nayak SR, Ramanathan L, Krishnamurthy A, Prabhu L V., Madhyastha S, Potu BK, et al. Extensor carpi radialis brevis origin, nerve supply and its role in lateral epicondylitis. *Surg Radiol Anat*. 2010;32(3):207–11.
80. Bevelacqua AC, Hayter CL, Feinberg JH, Rodeo SA. Posterior Interosseous Neuropathy: Electrodiagnostic Evaluation. *HSS J*. 2012;8(2):184-9.
81. Thatte MR, Mansukhani KA. Compressive neuropathy in the upper limb. *Indian J Plast Surg*. 2011;44(2):283–97.
82. Anania P, Fiaschi P, Ceraudo M, Balestrino A, Zaottini F, Martinoli C, et al. Posterior interosseous nerve entrapments: review of the literature. Is the entrapment distal to the arcade of Frohse a really rare condition? *Acta Neurochir (Wien)*. 2018;160(9):1857–64.
83. Ang GG, Bolzonello DG, Johnstone BR. Radial Tunnel Syndrome: Case Report and Comprehensive Critical Review of a Compression Neuropathy Surrounded by Controversy. *Hand*. 2023;18:146S-153S.
84. Kotnis NA, Chiavaras MM, Harish S. Lateral epicondylitis and beyond: Imaging of lateral elbow pain with clinical-radiologic correlation. *Skeletal Radiol*. 2012;41(4):369–86.
85. Moradi A, Ebrahimzadeh MH, Jupiter JB. Radial tunnel syndrome, diagnostic and treatment dilemma. *Arch Bone Jt Surg*. 2015;3(3):156–62.
86. Bolster MA, Bakker XR. Radial tunnel syndrome: Emphasis on the superficial branch



- of the radial nerve. J Hand Surg Eur Vol. 2009;34(3):343–7.
87. Bo Tang J. Radial tunnel syndrome: definition, distinction and treatments. J Hand Surg Eur Vol. 2020;45(8):882–9.
 88. Loh YC, Lam WL, Stanley JK, Soames RW. A new clinical test for radial tunnel syndrome--the Rule-of-Nine test: a cadaveric study. J Orthop Surg (Hong Kong). 2004;12(1):83–6.
 89. van den Ende KI, Steinmann SP. Radial Tunnel Syndrome. J Hand Surg Am. 2010;35(6):1004–6.
 90. Kupfer DM, Bronson J, Lee GW, Beck J, Gillet J. Differential latency testing: A more sensitive test for radial tunnel syndrome. J Hand Surg Am. 1998;23(5):859–64.
 91. Bonczar M, Ostrowski P, Dziedzic M, Kasprzyk M, Obuchowicz R, Zacharias T, et al. Evaluation of lateral epicondylopathy, posterior interosseous nerve compression, and plica syndrome as co-existing causes of chronic tennis elbow. Int Orthop. 2023;47:1787–95.
 92. Yaxley G, Jull GA. Adverse tension in the neural system. A preliminary study of tennis elbow. Aust J Physiother. 1993;39(1):15–22.
 93. Fernández-de-Las-Peñas C, Ortega-Santiago R, Ambite-Quesada S, Jiménez-García R, Arroyo-Morales M, Cleland JA. Specific mechanical pain hypersensitivity over peripheral nerve trunks in women with either unilateral epicondylalgia or carpal tunnel syndrome. J Orthop Sports Phys Ther. 2010;40(11):751–60.
 94. Gürçay E, Karaahmet ÖZ, Kara M, Onat ŞŞ, Ata AM, Ünlü E, et al. Ultrasonographic Evaluation of the Radial Nerves in Patients with Unilateral Refractory Lateral Epicondylitis. 2017;18(3):396–402.
 95. De-la-Cruz-Torres B. Strength-Duration Curves of Radial Nerve in Patients with Lateral Elbow Pain. J Sport Rehabil. 2020;29(6):754–9.
 96. Cancela-Cilleruelo I, Rodríguez-Jiménez J, Fernández-de-Las-Peñas C, Cleland JA, Arias-Buría JL. Pressure Pain Hypersensitivity and Ultrasound Changes in the Radial Nerve in Patients with Unilateral Lateral Epicondylalgia: A Case-Control Study.



- Diagnostics (Basel, Switzerland). 2023;13(15):2488.
97. Covill LG, Petersen SM. Upper extremity neurodynamic tests: Range of motion asymmetry may not indicate impairment. *Physiother Theory Pract.* 2012;28(7):535–41.
 98. Petersen SM, Covill LG. Reliability of the radial and ulnar nerve biased upper extremity neural tissue provocation tests. *Physiother Theory Pract.* 2010;26(7):476–82.
 99. Bragard K. Die Nervendenhnung als diagnostisches Prinzip ergibt eine Reihe neue Nervenphänomene. *Munch Med Wochenschr.* 1929;76:1999–2003.
 100. Butler D, Gifford L. The Concept of Adverse Mechanical Tension in the Nervous System Part 1: Testing for “Dural tension.” *Physiother (United Kingdom).* 1989;75(11):622–9.
 101. Elvey RL. Physical evaluation of the peripheral nervous system in disorders of pain and dysfunction. *J Hand Ther.* 1997;10(2):122–9.
 102. Elvey R. Brachial plexus tension tests and the pathoanatomical origin of arm pain. *Asp Manip Ther.* 1979;105–10.
 103. Basson A, Olivier B, Ellis R, Coppieters M, Stewart A, Mudzi W. The Effectiveness of Neural Mobilization for Neuromusculoskeletal Conditions: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2017;47(9):593–615.
 104. Cuenca-Martínez F, La Touche R, Varangot-Reille C, Sardinoux M, Bahier J, Suso-Martí L, et al. Effects of Neural Mobilization on Pain Intensity, Disability, and Mechanosensitivity: An Umbrella Review With Meta-Meta-Analysis. *Phys Ther.* 2022;102(6):pzac040.
 105. Schmid AB, Brunner F, Luomajoki H, Held U, Bachmann LM, Künzer S, et al. Reliability of clinical tests to evaluate nerve function and mechanosensitivity of the upper limb peripheral nervous system. *BMC Musculoskelet Disord.* 2009;10:11.
 106. Topp KS, Boyd BS. Structure and Biomechanics of Peripheral Nerves: Nerve Responses to Physical Stresses and Implications for Physical Therapist Practice. *Phys Ther.* 2006;86(1):92–109.
 107. Walsh MT. Upper limb neural tension testing and mobilization: Fact, fiction, and a



- practical approach. *J Hand Ther.* 2005;18(2):241–58.
108. Nee RJ, Jull GA, Vicenzino B, Coppieters MW. The validity of upper-limb neurodynamic tests for detecting peripheral neuropathic pain. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012;42(5):413–24.
 109. Koulidis K, Veremis Y, Anderson C, Heneghan NR. Diagnostic accuracy of upper limb neurodynamic tests for the assessment of peripheral neuropathic pain: A systematic review. *Musculoskelet Sci Pract.* 2019;40(1):21–33.
 110. Manvell N, Manvell JJ, Snodgrass SJ, Reid SA. Tension of the Ulnar, Median, and Radial Nerves During Ulnar Nerve Neurodynamic Testing: Observational Cadaveric Study. *Phys Ther.* 2015;95(6):891–900.
 111. Manvell JJ, Manvell N, Snodgrass SJ, Reid SA. Improving the radial nerve neurodynamic test: An observation of tension of the radial, median and ulnar nerves during upper limb positioning. *Man Ther.* 2015;20(6):790–6.
 112. McLellan DL, Swash M. Longitudinal sliding of the median nerve during movements of the upper limb. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1976;39(6):566-70.
 113. Kleinrensink GJ, Stoeckart R, Mulder PG, Hoek G, Broek T, Vleeming A, et al. Upper limb tension tests as tools in the diagnosis of nerve and plexus lesions - Anatomical and biomechanical aspects. *Clin Biomech.* 2000;15(1):9–14.
 114. Nee RJ, Yang CH, Liang CC, Tseng GF, Coppieters MW. Impact of order of movement on nerve strain and longitudinal excursion: a biomechanical study with implications for neurodynamic test sequencing. *Man Ther.* 2010;15(4):376–81.
 115. Butler DS. Neurodynamics. En: *The sensitive nervous system.* Edinburg: Churchill Livingstone; 2000:96-127.
 116. Martínez MD, Cubas CL, Gírbés EL. Ulnar nerve neurodynamic test: Study of the normal sensory response in asymptomatic individuals. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2014;44(6):450–6. 10.2519/jospt.2014.5207
 117. Reisch R, Williams K, Nee RJ, Rutt RA. ULNT2 - Median nerve bias: Examiner reliability and sensory responses in asymptomatic subjects. *J Man Manip Ther.*



- 2005;13(1):44–55.
118. Bueno-Gracia E, Tricás-Moreno JM, Fanlo-Mazas P, Malo-Urriés M, Haddad-Garay M, Estébanez-de-Miguel E, et al. Validity of the Upper Limb Neurodynamic Test 1 for the diagnosis of Carpal Tunnel Syndrome. The role of structural differentiation. *Man Ther.* 2016;22(2016):190–5.
 119. Wainner RS, Fritz JM, Irrgang JJ, Delitto A, Allison S, Boninger ML. Development of a clinical prediction rule for the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86(4):609–18.
 120. Wainner RS, Fritz JM, Irrgang JJ, Boninger ML, Delitto A, Allison S. Reliability and diagnostic accuracy of the clinical examination and patient self-report measures for cervical radiculopathy. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003;28(1):52–62.
 121. Apelby-Albrecht M, Andersson L, Kleiva IW, Kvåle K, Skillgate E, Josephson A. Concordance of upper limb neurodynamic tests with medical examination and magnetic resonance imaging in patients with cervical radiculopathy: A diagnostic cohort study. *J Manipulative Physiol Ther.* 2013;36(9):626–32.
 122. Grondin F, Cook C, Hall T, Maillard O, Perdrix Y, Freppel S. Diagnostic accuracy of upper limb neurodynamic tests in the diagnosis of cervical radiculopathy. *Musculoskeletal Sci Pract.* 2021;55:102427.
 123. Ghasemi M, Golabchi K, Mousavi SA, Asadi B, Rezvani M, Shaygannejad V, et al. The value of provocative tests in diagnosis of cervical radiculopathy. *J Res Med Sci.* 2013;18(Suppl. 1):35–8.
 124. Sleijser-Koehorst MLS, Coppieters MW, Epping R, Rooker S, Verhagen AP, Scholten-Peeters GGM. Diagnostic accuracy of patient interview items and clinical tests for cervical radiculopathy. *Physiotherapy.* 2021;111:74–82.
 125. Beddaa H, Kably B, Mouhi I, Marzouk B, Marfak A, Nafai S, et al. The validity of the upper limb neurodynamic test 2A in women with a clinical diagnosis of carpal tunnel syndrome: a prospective diagnostic accuracy study. *Pan Afr Med J.* 2022;42:61.
 126. Trillos MC, Soto F, Briceno-Ayala L. Upper limb neurodynamic test 1 in patients with clinical diagnosis of carpal tunnel syndrome: A diagnostic accuracy study. *J Hand Ther.*



- 2018;31(3):333–8.
127. Vanti C, Bonfiglioli R, Calabrese M, Marinelli F, Guccione A, Violante FS, et al. Upper limb neurodynamic test 1 and symptoms reproduction in carpal tunnel syndrome. A validity study. *Man Ther.* 2011;16(3):258–63.
 128. Vanti C, Bonfiglioli R, Calabrese M, Marinelli F, Violante FS, Pillastrini P. Relationship between interpretation and accuracy of the upper limb neurodynamic test 1 in carpal tunnel syndrome. *J Manipulative Physiol Ther.* 2012;35(1):54–63.
 129. Berglund KM, Persson BH, Denison E. Prevalence of pain and dysfunction in the cervical and thoracic spine in persons with and without lateral elbow pain. *Man Ther.* 2008;13(4):295–9.
 130. Lim EC, Sterling M, Pedler A, Coombes BK, Vicenzino B. Evidence of spinal cord hyperexcitability as measured with nociceptive flexion reflex (NFR) threshold in chronic lateral epicondylalgia with or without a positive neurodynamic test. *J Pain.* 2012;13(7):676–84.
 131. Arumugam V, Selvam S, MacDermid JC. Radial nerve mobilization reduces lateral elbow pain and provides short-term relief in computer users. *Open Orthop J.* 2014;8(1):368–71.
 132. Yilmaz K, Yigiter Bayramlar K, Ayhan C, Tufekci O. Investigating the effects of neuromobilization in lateral epicondylitis. *J Hand Ther.* 2020;35(1):97-106.
 133. Campos MGM, Maia LB, Mascarenhas RO, Lourenço BM, Henschke N, Oliveira VC. Effectiveness of non-invasive therapies on pain, maximum grip strength, disability, and quality of life for lateral elbow tendinopathy: A systematic review and meta-analysis. *Brazilian J Phys Ther.* 2024;28(2):100596.
 134. Bateman M, Saunders B, Littlewood C, Hill JC. Development of an optimised physiotherapist-led treatment protocol for lateral elbow tendinopathy: a consensus study using an online nominal group technique. *BMJ Open.* 2021;11(12):e053841.
 135. Bateman M, Evans JP, Vuvan V, Jones V, Watts AC, Phadnis J, et al. Development of a core outcome set for lateral elbow tendinopathy (COS-LET) using best available evidence and an international consensus process. *Br J Sports Med.* 2022;56(12):657-66.



136. Solheim E, Hegna J, Øyen J. Arthroscopic versus open tennis elbow release: 3- to 6-year results of a case-control series of 305 elbows. *Arthroscopy*. 2013;29(5):854–9. 10.1016/j.arthro.2012.12.012
137. Kholinne E, Singjie LC, Anastasia M, Liu F, Anestessia IJ, Kwak JM et al. Comparison of Clinical Outcomes After Different Surgical Approaches for Lateral Epicondylitis A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop J Sport Med*. 2024;12(5).
138. Yoon SY, Kim YW, Shin IS, Kang S, Moon HI, Lee SC. The Beneficial Effects of Eccentric Exercise in the Management of Lateral Elbow Tendinopathy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2021;10(17):3968.
139. Hoogvliet P, Randsdorp MS, Dingemanse R, Koes BW, Huisstede BM. Does effectiveness of exercise therapy and mobilisation techniques offer guidance for the treatment of lateral and medial epicondylitis? A systematic review. *Br J Sports Med*. 2013;47(17):1112–9.
140. Mostafaei N, Divandari A, Negahban H, Kachooei AR, Moradi A, Ebrahimzadeh MH, et al. Shoulder and scapula muscle training plus conventional physiotherapy versus conventional physiotherapy only: a randomized controlled trial of patients with lateral elbow tendinopathy. *Physiother Theory Pract*. 2022;38(9):1153–64.
141. Day JM, Lucado AM, Uhl TL. A COMPREHENSIVE REHABILITATION PROGRAM FOR TREATING LATERAL ELBOW TENDINOPATHY. *Int J Sports Phys Ther*. 2019;14(5):818-29.
142. Laimi K, Mäkilä A, Bärlund E, Katajapuu N, Oksanen A, Seikkula V, et al. Effectiveness of myofascial release in treatment of chronic musculoskeletal pain: a systematic review. *Clin Rehabil*. 2018;32(4):440–50.
143. Rodríguez-Huguet M, Góngora-Rodríguez J, Lomas-Vega R, Martín-Valero R, Díaz-Fernández Á, Obrero-Gaitán E, et al. Percutaneous Electrolysis in the Treatment of Lateral Epicondylalgia: A Single-Blind Randomized Controlled Trial. *J Clin Med*. 2020;9(7):2068.
144. Navarro-Santana MJ, Sanchez-Infante J, Gómez-Chiguano GF, Cleland JA, López-de-Uralde-Villanueva I, Fernández-de-Las-Peñas C, et al. Effects of trigger point dry



- needling on lateral epicondylalgia of musculoskeletal origin: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2020;34(11):1327–40.
145. Macedo LB, Josué AM, Maia PH, Câmara AE, Brasileiro JS. Effect of burst TENS and conventional TENS combined with cryotherapy on pressure pain threshold: randomised, controlled, clinical trial. *Physiotherapy.* 2015;101(2):155–60.
 146. Dingemanse R, Randsdorp M, Koes BW, Huisstede BM. Evidence for the effectiveness of electrophysical modalities for treatment of medial and lateral epicondylitis: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2014;48(12):957–65.
 147. Defoort S, De Smet L, Brys P, Peers K, Degreef I. Lateral elbow tendinopathy: surgery versus extracorporeal shock wave therapy. *Hand Surg Rehabil.* 2021;40(3):263–7.
 148. Dundar U, Turkmen U, Toktas H, Ulasli AM, Solak O. Effectiveness of high-intensity laser therapy and splinting in lateral epicondylitis; a prospective, randomized, controlled study. *Lasers Med Sci.* 2015;30(3):1097–107.
 149. Heales LJ, McClintock SR, Maynard S, Lems CJ, Rose JA, Hill C, et al. Evaluating the immediate effect of forearm and wrist orthoses on pain and function in individuals with lateral elbow tendinopathy: A systematic review. *Musculoskelet Sci Pract.* 2020;47:102147.
 150. Fidalgo-Martin I, Ramos-Álvarez JJ, Murias-Lozano R, Rodríguez-López ES. Effects of percutaneous neuromodulation in neuromusculoskeletal pathologies: A systematic review. *Medicine (Baltimore).* 2022;101(41):E31016.
 151. Abd-Elsayed A, D’Souza RS. Peripheral nerve stimulation: The evolution in pain medicine. *Biomedicines.* 2021;10(1):18.
 152. Chakravarthy K, Nava A, Christo PJ, Williams K. Review of Recent Advances in Peripheral Nerve Stimulation (PNS). *Curr Pain Headache Rep.* 2016;20(11):60.
 153. Goroszeniuk T, Pang D. Peripheral neuromodulation: A review. *Curr Pain Headache Rep.* 2014;18(5):412.
 154. Lin T, Gargya A, Singh H, Sivanesan E, Gulati A. Mechanism of Peripheral Nerve Stimulation in Chronic Pain. *Pain Med.* 2020;21(Suppl. 1):S6–12.



155. Long DM. Electrical Stimulation for the Control of Pain. Arch Surg. 1977;112(7):884–8.
156. Law JD, Swett J, Kirsch WM. Retrospective analysis of 22 patients with chronic pain treated by peripheral nerve stimulation. J Neurosurg. 1980;52(4):482–5.
157. Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory. Science. 1965;150(3699):971–9.
158. Weiner RL, Reed KL. Peripheral neurostimulation for control of intractable occipital neuralgia. Neuromodulation. 1999;2(3):217–21.
159. Deer TR, Esposito MF, McRoberts WP, Grider JS, Sayed D, Verrills P, et al. A Systematic Literature Review of Peripheral Nerve Stimulation Therapies for the Treatment of Pain. Pain Med. 2020;21(8):1590–603.
160. Valera-Garrido F, Minaya-Muñoz F. Neuromodulación percutánea ecoguiada. En: Fisioterapia Invasiva. Madrid: Elsevier; 2016:283-94.
161. García-Collado A, Valera-Calero JA, Fernández-de-Las-peñas C, Arias-Buría JL. Effects of Ultrasound-Guided Nerve Stimulation Targeting Peripheral Nerve Tissue on Pain and Function: A Scoping Review. J Clin Med. 2022;11(13):3753.
162. Fernández-de-Las-Peñas C, Ortega-Santiago R, De-la-Llave-Rincón AI, Cleland JA, Pareja JA, Fahandezh-Saddi-Díaz H, et al. Ultrasound-guided percutaneous electrical nerve stimulation versus surgery for women with unilateral carpal tunnel syndrome: A randomized parallel-group trial. Eur J Pain. 2023;27(7):860-70.
163. Rossi M, de Carolis G, Liberatoscioli G, Iemma D, Nosella P, Nardi LF. A novel mini-invasive approach to the treatment of neuropathic pain: The PENS study. Pain Physician. 2016;19(1):E121–8.
164. Plaza-Manzano G, Gómez-Chiguano GF, Cleland JA, Arias-Buría JL, Fernández-de-Las-Peñas C, Navarro-Santana MJ. Effectiveness of percutaneous electrical nerve stimulation for musculoskeletal pain: A systematic review and meta-analysis. Eur J Pain. 2020;24(6):1023–44.
165. Hamza MA, Ghoname EA, White PF, Craig WF, Ahmed HE, Gajraj NM, et al. Effect of the duration of electrical stimulation on the analgesic response in patients with low



- back pain. *Anesthesiology*. 1999;91(6):1622–7.
166. Hamza MA, White PF, Ahmed HE, Ghoname EA. Effect of the frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation on the postoperative opioid analgesic requirement and recovery profile. *Anesthesiology*. 1999;91(5):1232–8.
167. Strand NH, D’Souza R, Wie C, Covington S, Maita M, Freeman J, et al. Mechanism of Action of Peripheral Nerve Stimulation. *Curr Pain Headache Rep*. 2021;25(7):47.
168. Campbell JN, Taub A. Local Analgesia from Percutaneous Electrical Stimulation: A Peripheral Mechanism. *Arch Neurol*. 1973;28(5):347–50.
169. Meyer-Frießem CH, Wiegand T, Eitner L, Maier C, Mainka T, Vollert J, et al. Effects of Spinal Cord and Peripheral Nerve Stimulation Reflected in Sensory Profiles and Endogenous Pain Modulation. *Clin J Pain*. 2019;35(2):111–20.
170. Rodríguez Lagos L, Arribas-Romano A, Fernández-Carnero J, González-Zamorano Y, Laguarda Val S. Effects of percutaneous and transcutaneous electrical nerve stimulation on endogenous pain mechanisms in patients with musculoskeletal pain. A systematic review and meta-analysis. *Pain Med*. 2023;24(4):397–14.
171. da Graca-Tarragó M, Deitos A, Brietzke AP, Torres IL, Stefani LC, Fregni F, et al. Electrical intramuscular stimulation in osteoarthritis enhances the inhibitory systems in pain processing at cortical and cortical spinal system. *Pain Med (United States)*. 2016;17(5):877–91.
172. Torebjork HE, Hallin RG. Responses in human A and C fibres to repeated electrical intradermal stimulation. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1974;37(6):653–64.
173. Papuč E, Rejdak K. The role of neurostimulation in the treatment of neuropathic pain. *Ann Agric Environ Med*. 2013; 1(1):14–7.
174. Deer TR, Jain S, Hunter C, Chakravarthy K. Neurostimulation for Intractable Chronic Pain. *Brain Sci*. 2019;9(2):23.
175. Vajramani G. Percutaneous Electrical Nerve Stimulation for Facial Pain. *Prog Neurol Surg*. 2020;35:45–59.
176. Li H, Xu QR. Effect of percutaneous electrical nerve stimulation for the treatment of



- migraine. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(39).
177. Biemans JM, van Balken MR. Efficacy and effectiveness of percutaneous tibial nerve stimulation in the treatment of pelvic organ disorders: a systematic review. *Neuromodulation*. 2013;16(1):25–34.
 178. Moossdorff-Steinhauser HF, Berghmans B. Effects of percutaneous tibial nerve stimulation on adult patients with overactive bladder syndrome: A systematic review. *Neurourol Urodyn*. 2013;32(3):206–14.
 179. San-Emeterio-Iglesias R, Minaya-Muñoz F, Romero-Morales C, De-la-Cruz-Torres B. Correct Sciatic Nerve Management to Apply Ultrasound-Guided Percutaneous Neuromodulation in Patients With Chronic Low Back Pain: A Pilot Study. *Neuromodulation*. 2021;24(6):1067–74.
 180. Garcia-de-Miguel S, Pecos-Martin D, Larroca-Sanz T, Sanz-de-Vicente B, Garcia-Montes L, Fernandez-Matias R, et al. Short-Term Effects of PENS versus Dry Needling in Subjects with Unilateral Mechanical Neck Pain and Active Myofascial Trigger Points in Levator Scapulae Muscle: A Randomized Controlled Trial. *J Clin Med*. 2020;9(6):1665.
 181. García-Bermejo P, De-la-Cruz-Torres B, Romero-Morales C. Ultrasound-Guided Percutaneous Neuromodulation in Patients with Unilateral Anterior Knee Pain: A Randomized Clinical Trial. *Appl Sci*. 2020;10(13):4647.
 182. Álvarez-Prats D, Carvajal-Fernández Ó, Pérez-Mallada N, Minaya-Muñoz F. Changes in Maximal Isometric Quadriceps Strength after the Application of Ultrasound-Guided Percutaneous Neuromodulation of the Femoral Nerve: A Case Series. *J Invasive Tech Phys Ther*. 2019;02(1):39–45.
 183. Gallego-Sendarrubias GM, Arias-Buría JL, Úbeda-D'Ocasar E, Hervás-Pérez JP, Rubio-Palomino MA, Fernández-de-Las-Peñas C, et al. Effects of percutaneous electrical nerve stimulation on countermovement jump and squat performance speed in male soccer players: A pilot randomized clinical trial. *J Clin Med*. 2021;10(4):690.
 184. Álvarez DM, Serrano-Muñoz D, Fernández-Pérez JJ, Gómez-Soriano J, Avendaño-Coy J. Effect of percutaneous electrical stimulation with high-frequency alternating currents



- at 30 kHz on the sensory-motor system. *Front Neurosci.* 2023;17:1048986.
185. Álvarez DM, Serrano-Muñoz D, Fernández-Pérez JJ, Moreno JS, Gómez-Soriano J, Avendaño-Coy J. The effect on handgrip strength of low-frequency percutaneous electric stimulation applied to the median and cubital nerves: A randomized, double-blind controlled trial. *Anat Rec.* 2022;306:720–7.
 186. Arias-Buría JL, Cleland JA, El Bachiri YR, Plaza-Manzano G, Fernández-de-Las-Peñas C. Ultrasound-guided percutaneous electrical nerve stimulation of the radial nerve for a patient with lateral elbow pain: A case report with a 2-year follow-up. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2019;49(5):347–54.
 187. De-la-Cruz-Torres B, Abuín-Porras V, Navarro-Flores E, Calvo-Lobo C, Romero-Morales C. Ultrasound-Guided Percutaneous Neuromodulation in Patients with Chronic Lateral Epicondylalgia : A Pilot Randomized Clinical Trial. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(9):4877.
 188. Smidt N, van Der Windt DA, Assendelft WJ, Devillé WL, Korthals-de Bos IB, Bouter LM. Corticosteroid injections, physiotherapy, or a wait-and-see policy for lateral epicondylitis: A randomised controlled trial. *Lancet.* 2002;359(9307):657–62.
 189. Karanasios S, Korakakis V, Moutzouri M, Drakonaki E, Koci K, Pantazopoulou V, et al. Diagnostic accuracy of examination tests for lateral elbow tendinopathy (LET) – A systematic review. *J Hand Ther.* 2022;35(4):541–51.
 190. Taylor A, Wolff AL. The forgotten radial nerve: A conceptual framework for treatment of lateral elbow pain. *J Hand Ther.* 2021;34(2):323–9.
 191. Wright A, Thurnwald P, O’Callaghan J, Smith J, Vicenzino B. Hyperalgesia in tennis elbow patients. *J Musculoskelet Pain.* 1994;2(4):83–97.
 192. De Arenas-Arroyo S, Cavero-Redondo I, Torres-Costoso A, Reina-Gutiérrez S, Guzmán-Pavón MJ, Martínez-Vizcaíno V. Accuracy of the Most Common Provocation Tests for Diagnosing Carpal Tunnel Syndrome: A Systematic Review With Meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2022;52(8):522–31.
 193. Kaswan S, Deigni O, Tadisina KK, Totten M, Kraemer BA. Radial tunnel syndrome complicated by lateral epicondylitis in a middle-aged female. *Eplasty.* 2014;14:ic44.



194. Lister GD, Belsole RB, Kleinert HE. The radial tunnel syndrome. *J Hand Surg Am.* 1979;4(1):52–9.
195. Erak S, Day R, Wang A. The role of supinator in the pathogenesis of chronic lateral elbow Pain: A biomechanical Study. *J Hand Surg Am.* 2004;29(5):461–4.
196. Naam NH, Nemani S. Radial Tunnel Syndrome. *Orthop Clin North Am.* 2012;43(4):529–36.
197. Pérez-Palomares S, Oliván-Blázquez B, Magallón-Botaya R, De-La-Torre-Beldarraín MML, Gaspar-Calvo E, Romo-Calvo L, et al. Percutaneous electrical nerve stimulation versus dry needling: Effectiveness in the treatment of chronic low back pain. *J Musculoskelet Pain.* 2010;18(1):23–30.
198. Beltran-Alacreu H, Serrano-Muñoz D, Martín-Caro Álvarez D, Fernández-Pérez JJ, Gómez-Soriano J, Avendaño-Coy J. Percutaneous Versus Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation for the Treatment of Musculoskeletal Pain. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pain Med.* 2022;23(8):1387–400.
199. Fernandez-de-Las-Peñas C, Plaza-Manzano G. Carpal tunnel syndrome: just a peripheral neuropathy? *Pain Manag.* 2018;8:209–16.
200. Vasudeva A, Parihar R, Neyaz O, Bharti A, Handa G. Efficacy of a local corticosteroid injection on pain, disability and radial nerve thickness in patients with lateral epicondylitis. *J Fam Med Prim Care.* 2021;10(12):4502-08.
201. Miller TT, Reinus WR. Nerve entrapment syndromes of the elbow, forearm, and wrist. *AJR Am J Roentgenol.* 2010;195(3):585–94.
202. Lee JT, Azari K, Jones NF. Long term results of radial tunnel release - the effect of co-existing tennis elbow, multiple compression syndromes and workers' compensation. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg.* 2008;61(9):1095–9.
203. Tsoalias A, Detrembleur C, Druez V, Lequint T, Lefebvre B. Effect of Radial Nerve Release on Lateral Epicondylitis Outcomes: A Prospective, Randomized, Double-Blinded Trial. *J Hand Surg Am.* 2019;44(3):216–21.
204. Kelly RB, Willis J. Acupuncture for Pain. *Am Fam Physician.* 2019;100(2):89–96.



8. ANEXOS



8. Anexos

ANEXO I. Declaración STROBE: lista de verificación de elementos que deben incluirse en los informes de estudios observacionales.

	N.º de artículo	Recomendación
Título y resumen	1	(a) Indicar el diseño del estudio con un término de uso común en el título o el resumen b) Proporcionar en el resumen un resumen informativo y equilibrado de lo que se hizo y lo que se encontró
Introducción		
Antecedentes/justificación	2	Explicar los antecedentes científicos y la justificación de la investigación que se informa
Objetivos	3	Establecer objetivos específicos, incluyendo cualquier hipótesis preespecificada
Métodos		
Diseño del estudio	4	Presentar los elementos clave del diseño del estudio al principio del documento
Ajuste	5	Describir el entorno, las ubicaciones y las fechas relevantes, incluidos los periodos de reclutamiento, exposición, seguimiento y recopilación de datos
Participantes	6	(a) <i>Estudios de cohortes</i> : indique los criterios de elegibilidad y las fuentes y métodos de selección de los participantes. Describir los métodos de seguimiento <i>Estudios de casos y controles</i> : proporcione los criterios de elegibilidad y las fuentes y métodos de determinación de casos y selección de controles. Dar la justificación para la elección de casos y controles <i>Estudios transversales</i> : indique los criterios de elegibilidad y las fuentes y métodos de selección de los participantes. (b) <i>Estudios de cohortes</i> : para estudios emparejados, indique criterios de coincidencia y número de expuestos y no expuestos <i>Estudios de casos y controles</i> : para estudios pareados, indique los criterios de coincidencia y el número de controles por caso
Variables	7	Defina claramente todos los resultados, exposiciones, predictores, posibles factores de confusión y modificadores de efecto. Dar criterios de diagnóstico, si corresponde
Fuentes de datos/ medición	8*	Para cada variable de interés, indique las fuentes de datos y los detalles de los métodos de evaluación (medición). Describir la comparabilidad de los métodos de evaluación si hay más de un grupo
Predisposición	9	Describa cualquier esfuerzo para abordar las posibles fuentes de sesgo
Tamaño del estudio	10	Explicar cómo se llegó al tamaño del estudio
Variables cuantitativas	11	Explicar cómo se manejaron las variables cuantitativas en los análisis. Si corresponde, describa qué grupos se eligieron y por qué.
Métodos estadísticos	12	a) Describir todos los métodos estadísticos, incluidos los utilizados para controlar los factores de confusión; b) Describir cualquier método utilizado para examinar subgrupos e interacciones; c) Explique cómo se abordaron los datos faltantes



(d) *Estudios de cohortes*: si corresponde, explique cómo se abordó la pérdida durante el seguimiento

Estudios de casos y controles: si corresponde, explique cómo se abordó la correspondencia de casos y controles

Estudios transversales: si procede, describir los métodos analíticos teniendo en cuenta la estrategia de muestreo

e) Describir cualquier análisis de sensibilidad

Resultados		
Participantes	13*	(a) Informar el número de individuos en cada etapa del estudio, por ejemplo, números potencialmente elegibles, examinados para determinar su elegibilidad, confirmados elegibles, incluidos en el estudio, completando el seguimiento y analizados. b) Indicar los motivos de la no participación en cada etapa c) Considerar la posibilidad de utilizar un diagrama de flujo
Datos descriptivos	14*	(a) Dar características de los participantes del estudio (por ejemplo, demográficas, clínicas, sociales) e información sobre exposiciones y posibles factores de confusión b) Indicar el número de participantes a los que les faltan datos para cada variable de interés. (c) <i>Estudios de cohortes</i>: resumir el tiempo de seguimiento (por ejemplo, cantidad promedio y total)
Datos de resultado	15*	<i>Estudios de cohortes</i>: informe el número de eventos de resultado o medidas de resumen a lo largo del tiempo <i>Estudios de casos y controles</i>: informe de números en cada categoría de exposición o medidas resumidas de exposición <i>Estudios transversales</i>: informe el número de eventos de resultado o medidas de resumen
Resultados principales	16	(a) <i>Dar estimaciones no ajustadas</i> y, si corresponde, estimaciones ajustadas por factores de confusión y su precisión (por ejemplo, intervalo de confianza del 95%). Deje en claro para qué factores de confusión se ajustaron y por qué se incluyeron b) Informar sobre los límites de las categorías cuando se categorizaron las variables continuas c) Si procede, considerar la posibilidad de traducir las estimaciones del riesgo relativo en riesgo absoluto durante un periodo de tiempo significativo.
Otros análisis	17	Informar otros análisis realizados, por ejemplo, análisis de subgrupos e interacciones, y análisis de sensibilidad
Discusión		
Resultados clave	18	Resumir los resultados clave con referencia a los objetivos del estudio
Limitaciones	19	Discutir las limitaciones del estudio, teniendo en cuenta las fuentes de posible sesgo o imprecisión. Discutir tanto la dirección como la magnitud de cualquier sesgo potencial
Interpretación	20	Dar una interpretación general cautelosa de los resultados considerando objetivos, limitaciones, multiplicidad de análisis, resultados de estudios similares y otra evidencia relevante
Generalizabilidad	21	Discutir la generalizabilidad (validez externa) de los resultados del estudio
Otra información		
Financiación	22	Indique la fuente de financiación y el papel de los financiadores para el presente estudio y, si corresponde, para el estudio original en el que se basa el presente artículo.



*Proporcione información por separado para casos y controles en estudios de casos y controles y, si corresponde, para grupos expuestos y no expuestos en estudios de cohortes y transversales.

Nota: Un artículo de Explicación y Elaboración discute cada elemento de la lista de verificación y proporciona antecedentes metodológicos y ejemplos publicados de informes transparentes. La lista de verificación STROBE se utiliza mejor junto con este artículo (disponible gratuitamente en los sitios web de PLoS Medicine en <http://www.plosmedicine.org/>, Annals of Internal Medicine en <http://www.annals.org/> y Epidemiology en <http://www.epidem.com/>). La información sobre la Iniciativa STROBE está disponible en www.strobe-statement.org.



ANEXO II. Declaración CONSORT 2010. Lista de verificación de CONSORT 2010 de información para incluir al informar un ensayo aleatorizado.



Lista de verificación de CONSORT 2010 de información para incluir al informar un ensayo aleatorizado*

Sección/Tema	N.º de artículo	Elemento de lista de comprobación	Informado en la página No
Título y resumen	1a	Identificación como ensayo aleatorizado en el título	_____
	1b	Resumen estructurado del diseño, métodos, resultados y conclusiones del ensayo (para orientación específica, consulte CONSORT para obtener resúmenes)	_____
Introducción Antecedentes y objetivos	2a	Antecedentes científicos y explicación de la justificación	_____
	2b	Objetivos específicos o hipótesis	_____
Métodos Diseño del ensayo	3a	Descripción del diseño del ensayo (como paralelo, factorial) incluyendo la razón de asignación	_____
	3b	Cambios importantes en los métodos después del comienzo del juicio (como los criterios de elegibilidad), con razones	_____
Participantes	4a	Criterios de elegibilidad para los participantes	_____
	4b	Configuración y ubicaciones donde se recopilaron los datos	_____
Intervenciones	5	Las intervenciones para cada grupo con detalles suficientes para permitir la replicación, incluyendo cómo y cuándo se administraron realmente	_____
Resultados	6a	Medidas de resultado primarias y secundarias preespecificadas completamente definidas, incluyendo cómo y cuándo se evaluaron	_____
	6b	Cualquier cambio en los resultados del ensayo después del inicio del ensayo, con las razones	_____
Tamaño de la muestra	7a	Cómo se determinó el tamaño de la muestra	_____
	7b	Cuando corresponda, explicación de cualquier análisis intermedio y directrices de suspensión	_____



Aleatorización: Generación de secuencias	8a	Método utilizado para generar la secuencia de asignación aleatoria	_____
	8b	Tipo de aleatorización; detalles de cualquier restricción (como bloqueo y tamaño de bloque)	_____
Mecanismo de ocultación de asignaciones	9	Mecanismo utilizado para implementar la secuencia de asignación aleatoria (como contenedores numerados secuencialmente), que describe cualquier paso tomado para ocultar la secuencia hasta que se asignaron las intervenciones.	_____
Implementación	10	Quién generó la secuencia de asignación aleatoria, quién inscribió a los participantes y quién asignó a los participantes a las intervenciones	_____
Cegador	11a	Si se hizo, quién fue cegado después de la asignación a las intervenciones (por ejemplo, participantes, proveedores de atención, aquellos que evalúan los resultados) y cómo	_____
	11b	Si es relevante, descripción de la similitud de las intervenciones	_____
Métodos estadísticos	12a	Métodos estadísticos utilizados para comparar los grupos para los resultados primarios y secundarios	_____
	12b	Métodos para análisis adicionales, como análisis de subgrupos y análisis ajustados	_____
Resultados			
Flujo de participantes (se recomienda encarecidamente un diagrama)	13a	Para cada grupo, el número de participantes que fueron asignados al azar, recibieron el tratamiento previsto y se analizaron para el resultado primario	_____
	13b	Para cada grupo, pérdidas y exclusiones después de la aleatorización, junto con los motivos	_____
Reclutamiento	14a	Fechas que definen los períodos de contratación y seguimiento	_____
	14b	Por qué terminó o se detuvo el juicio	_____
Datos de referencia	15	Una tabla que muestra las características demográficas y clínicas basales para cada grupo	_____
Números analizados	16	Para cada grupo, número de participantes (denominador) incluidos en cada análisis y	_____



		si el análisis fue por grupos asignados originales	
Resultados y estimación	17a	Para cada resultado primario y secundario, los resultados para cada grupo y el tamaño del efecto estimado y su precisión (como el intervalo de confianza del 95%)	
	17b	Para los resultados binarios, se recomienda la presentación de los tamaños del efecto absolutos y relativos	
Análisis auxiliares	18	Resultados de cualquier otro análisis realizado, incluidos los análisis de subgrupos y los análisis ajustados, distinguiendo los análisis preespecificados de los exploratorios	
Daños	19	Todos los daños importantes o efectos no deseados en cada grupo (para orientación específica, consulte CONSORT para los daños)	
Discusión			
Limitaciones	20	Limitaciones de los ensayos, que abordan las fuentes de sesgo potencial, imprecisión y, si es relevante, multiplicidad de análisis	
Generalizabilidad	21	Generalizabilidad (validez externa, aplicabilidad) de los resultados del ensayo	
Interpretación	22	Interpretación consistente con los resultados, equilibrio de los efectos beneficiosos y perjudiciales, y consideración de otras pruebas relevantes	
Otra información			
Registro	23	Número de registro y nombre del registro del ensayo	
Protocolo	24	Dónde se puede acceder al protocolo de prueba completo, si está disponible	
Financiación	25	Fuentes de financiación y otro tipo de apoyo (como el suministro de medicamentos), papel de los financiadores	

Citación: Schulz KF, Altman DG, Moher D, por el Grupo CONSORT. Declaración CONSORT 2010: directrices actualizadas para informar ensayos aleatorios de grupos paralelos. BMC Medicina. 2010;8:18.

© 2010 Schulz et al. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia de Atribución Creative Commons (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que el trabajo original sea citado adecuadamente.

*Recomendamos encarecidamente leer esta declaración junto con la Explicación y Elaboración de CONSORT 2010 para aclaraciones importantes sobre todos los elementos. Si es relevante, también se recomienda leer las extensiones CONSORT para ensayos aleatorios grupales, ensayos de no inferioridad y equivalencia, tratamientos no farmacológicos, intervenciones a base de hierbas y ensayos pragmáticos. Próximamente se



ANEXO III. Hoja de información sobre el proyecto de investigación del estudio nº1.

Equipo de investigación: Daniel Albert Lucena, Gustavo Plaza Manzano, Marcos José Navarro Santana.

Usted ha sido invitado para participar en un estudio observacional cuya finalidad es comprobar las respuestas a pruebas manuales enfocadas en tejido neural en sujetos con dolor lateral de codo.

Por favor, lea con atención el siguiente documento y plantee tantas preguntas como considere necesarias para la correcta comprensión de este. Puede consultar sus inquietudes al personal del estudio, o contactar con el responsable de este a través del correo electrónico (daalbert@ucm.es) o al número de teléfono (606882569).

Objetivo

Con este proyecto se busca observar las diferentes respuestas a las pruebas neurodinámicas de miembro superior enfocadas al nervio radial en sujetos con dolor lateral de codo.

¿En qué consiste el estudio?

El estudio consiste en la valoración de unas pruebas manuales empleadas en fisioterapia denominadas test neurodinámicos, donde se reproducen posiciones corporales para evaluar la mecanosensibilidad nerviosa.

Se aplicarán **cuatro** pruebas manuales, cada una diferente del resto, y se evaluarán las respuestas a dichas pruebas con preguntas que usted contestará en una hoja con preguntas.

Se evaluarán cuestiones acerca de las sensaciones referidas por usted durante la realización de las cuatro pruebas manuales y tendrá que dibujar la distribución de las sensaciones en unos anagramas del cuerpo humano en blanco.

Duración: La intervención del estudio tendrá una duración de 1 sesión.

Beneficios: No se esperan beneficios, aunque existen estudios que emplean maniobras neurodinámicas como tratamiento. Sólo nos centraremos en la valoración. La información que estas valoraciones nos aporten nos ayudará en futuros estudios de investigación.

¿Puedo sufrir efectos secundarios o complicaciones al ser tratado con estas técnicas?

No se conocen efectos adversos de la evaluación con pruebas neurodinámicas. Tampoco se emplearán pruebas invasivas o farmacológicas.

Condiciones que impiden su participación en el estudio.



Si usted tiene historia previa de fracturas, luxaciones, cirugías y/o desórdenes musculoesqueléticos en el miembro superior, desórdenes neurológicos, enfermedades inflamatorias y/o degenerativas, patología cervical, fibromialgia, enfermedades cardiovasculares inestables no podrá participar en el estudio.

Si tiene algún otro problema o patología que puede interferir en el mismo, por favor, comuníquese al personal del estudio

Si considera necesario obtener más información acerca de algún aspecto, no dude en comentárselo al personal del estudio o contactar con el responsable de este a través de los medios citados anteriormente en el documento.

Manejo de los datos y confidencialidad

El tratamiento de los datos recogidos para el estudio se hará de acuerdo a las medidas establecidas se ajustarán a lo dispuesto en el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 de Protección de Datos (RGPD), recogidos en el Reglamento General de Protección de Datos (en adelante, RGPD) aplicable desde el 25 de mayo de 2018, y de acuerdo con la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales.

El investigador principal, tendiendo el deber de guardar la confidencialidad, será el único que tenga acceso a todos los datos recogidos durante este estudio. En todo momento sus datos serán tratados con absoluta confidencialidad y únicamente utilizados para el estudio, manteniendo siempre su anonimato.

Le recordamos que la participación es totalmente voluntaria y que abandonar el estudio en cualquier momento sin que suponga perjuicio de ningún tipo.

El estudio que se lleva a cabo se presentará como tesis doctoral para la obtención de Título de Doctor en Cuidados en salud por la Universidad Complutense de Madrid. Los resultados de este podrían ser remitidos a publicaciones científicas para su difusión, pero siempre se mantendrá la confidencialidad de los participantes, respetando su anonimato.



ANEXO IV. Hoja de información sobre el proyecto de investigación del estudio nº2.

Equipo de investigación: Daniel Albert Lucena, Gustavo Plaza Manzano, Marcos José Navarro Santana.

Usted ha sido invitado para participar en un estudio cuya finalidad es comprobar el efecto de un tratamiento de fisioterapia para el dolor lateral de codo.

Por favor, lea con atención el siguiente documento y plantee tantas preguntas como considere necesarias para la correcta comprensión de este. Puede consultar sus inquietudes al personal del estudio, o contactar con el responsable de este a través del correo electrónico (daalbert@ucm.es) o al número de teléfono (606882569).

Objetivo

Con este proyecto se busca comprobar los efectos del tratamiento mediante estimulación eléctrica percutánea adyacente al nervio radial en el dolor lateral de codo.

¿En qué consiste el estudio?

El estudio consiste en una intervención de fisioterapia llamada estimulación eléctrica nerviosa percutánea (neuromodulación) para el manejo del dolor lateral de codo y el tratamiento de sus síntomas.

El estudio consta de dos grupos de tratamiento. Dependiendo del grupo al que sea asignado, recibirá una de las dos técnicas de estimulación eléctrica percutánea adyacente al nervio que están siendo estudiadas.

Usted debe tener en cuenta que al ser incluido en el estudio podría recibir cualquiera de las dos intervenciones, lo que dependerá del azar, ya que la distribución en un grupo de tratamiento u otro se llevará a cabo de forma aleatoria.

También debe saber que ambas intervenciones se consideran un tratamiento válido para el manejo de su patología, por lo que independientemente del grupo de intervención en el que sea incluido, usted estará recibiendo un tratamiento efectivo.

Para poder llevar un seguimiento del tratamiento, se llevarán a cabo valoraciones donde se valorará el umbral del dolor a la presión, la intensidad del dolor y la fuerza de prensión en ausencia de dolor, así como la autopercepción del tratamiento recibido. Las valoraciones serán llevadas a cabo antes de iniciar la intervención y al finalizar la misma.



Duración: La intervención del estudio tendrá una duración de 1 sesión.

Beneficios: Ambos tratamientos se emplean para mejorar su sintomatología. No obstante, es posible no obtener ningún beneficio directo.

¿Puedo sufrir efectos secundarios o complicaciones al ser tratado con estas técnicas?

Con la punción que se le va a realizar para la técnica de estimulación eléctrica es habitual sentir molestias en el lugar de aplicación de la técnica, que desaparecen tras unas horas.

Las personas muy sensibles pueden sufrir mareos durante la punción, pero como siempre se aplicada con el paciente tumbado, esta complicación no representa ningún riesgo para la salud. También son posibles otros efectos secundarios (dermatitis por contacto, hematomas, espasmo muscular, mioedema, infección...) aunque son muy poco frecuentes. Para evitar la infección se aconseja dejar transcurrir 24 horas tras el tratamiento antes de bañarse en una piscina o baños públicos.

Asimismo, al pinchar en zonas cercanas al nervio, la incisión de la aguja podría provocar una sensación de descarga eléctrica desagradable. Debe avisar al fisioterapeuta para que pueda modificar la zona del pinchazo para evitar que el nervio afectado se lesione. Así mismo, la estimulación eléctrica sobre la aguja con el puntero, utilizado para determinar la profundidad a la que se coloca la aguja, puede producir sensaciones de hormigueo y respuestas musculares desagradables, pero en ningún caso representan un riesgo para su salud.

Condiciones que impiden su participación en el estudio.

Si usted tiene historia previa de fracturas, luxaciones, cirugías y/o desórdenes musculoesqueléticos en el miembro superior, desórdenes neurológicos, enfermedades inflamatorias y/o degenerativas, ha sido tratado con estimulación eléctrica percutánea o alguna técnica de punción acompañada o no de algún tipo de corriente eléctrica en los últimos 6 meses, patología cervical, fibromialgia, enfermedades cardiovasculares inestables, y situaciones donde la punción y la estimulación eléctrica está contraindicada (tratamiento con anticoagulantes, belonefobia, diabetes, hipotiroidismo, linfedema, enfermedades musculares o marcapasos) no podrá participar en el estudio.

Para participar en el estudio no puede recibir tratamiento de fisioterapia durante la duración de este. No hay ninguna prohibición con respecto a tratamientos farmacológicos.

Si tiene algún otro problema o patología que puede interferir en el mismo, por favor, comuníquese al personal del estudio



Si considera necesario obtener más información acerca de algún aspecto, no dude en comentárselo al personal del estudio o contactar con el responsable de este a través de los medios citados anteriormente en el documento.

Manejo de los datos y confidencialidad

El tratamiento de los datos recogidos para el estudio se hará de acuerdo a las medidas establecidas se ajustarán a lo dispuesto en el Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de abril de 2016 de Protección de Datos (RGPD), recogidos en el Reglamento General de Protección de Datos (en adelante, RGPD) aplicable desde el 25 de mayo de 2018, y de acuerdo con la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales.

El investigador principal, tendiendo el deber de guardar la confidencialidad, será el único que tenga acceso a todos los datos regidos durante este estudio. En todo momento sus datos serán tratados con absoluta confidencialidad y únicamente utilizados para el estudio, manteniendo siempre su anonimato.

Le recordamos que la participación es totalmente voluntaria y que abandonar el estudio en cualquier momento sin que suponga perjuicio de ningún tipo.

El estudio que se lleva a cabo se presentará como tesis doctoral para la obtención de Título de Doctor en Cuidados en salud por la Universidad Complutense de Madrid. Los resultados de este podrían ser remitidos a publicaciones científicas para su difusión, pero siempre se mantendrá la confidencialidad de los participantes, respetando su anonimato.



ANEXO V. Consentimiento informado por escrito.

Consentimiento informado por escrito

D/Dña. (nombre y apellidos)

con años de edad y **DNI**

DECLARO

- Haber recibido la hoja de información sobre el proyecto de investigación
- Haber podido plantear todas las preguntas que he considerado oportunas para la correcta comprensión del documento y del estudio, y haber recibido respuestas satisfactorias a las mismas.
- Haber recibido suficiente información sobre el estudio.

COMPRENDO

- Que mi participación en el estudio es voluntaria
- Que mis datos serán tratados en todo momento de manera confidencial, teniendo derecho a su acceso, modificación o cancelación.
- Que puedo abandonar el estudio cuando lo desee.

Y ACEPTO la participación en el estudio.

En consecuencia, doy mi consentimiento.

Fecha y firma del participante

Fecha y firma del investigador

REVOCACIÓN DEL CONSENTIMIENTO

Yo, D/Dña. revoco el consentimiento prestado en fecha y no deseo continuar como participante en el proyecto de tesis “Evaluación y tratamiento de la mecanosensibilidad del nervio radial en sujetos con dolor lateral de codo”.

Fecha y firma del participante

Fecha y firma del investigador



ANEXO VI. Hojas de recogida de datos del estudio nº1

Fecha de valoración: _____ N° de historia: _____

Valoración N°: _____

PRUEBA NERVIO RADIAL 1

Señale en la siguiente línea (con una X) donde localiza la intensidad de su dolor de DURANTE LA PRUEBA. Valore su intensidad de DURANTE LA PRUEBA, donde 0 corresponde a ausencia de dolor (nada de dolor) y 10 el peor dolor (máximo dolor) imaginable;

0 _____ 10

Nada de dolor Peor dolor imaginable

Indique con una X la intensidad de las parestesias (hormigueos) que ha sentido durante la realización de la prueba.

☐ No he sentido ☐ Suave-moderad ☐ Severa

¿Se parece la sensación a su dolor habitual de codo?

☐ Nada ☐ Se parece un poco ☐ Se parece bastante ☐ Es exactamente igual

¿Se alivian las sensaciones cuando gira el cuello?

☐ Si ☐ No

PRUEBA NERVIO RADIAL 2

Señale en la siguiente línea (con una X) donde localiza la intensidad de su dolor de DURANTE LA PRUEBA. Valore su intensidad de DURANTE LA PRUEBA, donde 0 corresponde a ausencia de dolor (nada de dolor) y 10 el peor dolor (máximo dolor) imaginable;

0 _____ 10

Nada de dolor Peor dolor imaginable

Indique con una X la intensidad de las parestesias (hormigueos) que ha sentido durante la realización de la prueba.

☐ No he sentido ☐ Suave-moderad ☐ Severa

¿Se parece la sensación a su dolor habitual de codo?

☐ Nada ☐ Se parece un poco ☐ Se parece bastante ☐ Es exactamente igual

¿Se alivian las sensaciones cuando gira el cuello?

☐ Si ☐ No



Fecha de valoración:

Nº de historia:

Valoración Nº:

PRUEBA NERVIO RADIAL 3

Señale en la siguiente línea (con una X) donde localiza la intensidad de su dolor de DURANTE LA PRUEBA. Valore su intensidad de DURANTE LA PRUEBA, donde 0 corresponde a ausencia de dolor (nada de dolor) y 10 el peor dolor (máximo dolor) imaginable:



Indique con una X la intensidad de las parestesias (hormigueos) que ha sentido durante la realización de la prueba.

☐ No he sentido ☐ Suave-moderad ☐ Severa

¿Se parece la sensación a su dolor habitual de codo?

☐ Nada ☐ Se parece un poco ☐ Se parece bastante ☐ Es exactamente igual

¿Se alivian las sensaciones cuando gira el cuello?

☐ Sí ☐ No

PRUEBA NERVIO RADIAL 4

Señale en la siguiente línea (con una X) donde localiza la intensidad de su dolor de DURANTE LA PRUEBA. Valore su intensidad de DURANTE LA PRUEBA, donde 0 corresponde a ausencia de dolor (nada de dolor) y 10 el peor dolor (máximo dolor) imaginable:



Indique con una X la intensidad de las parestesias (hormigueos) que ha sentido durante la realización de la prueba.

☐ No he sentido ☐ Suave-moderad ☐ Severa

¿Se parece la sensación a su dolor habitual de codo?

☐ Nada ☐ Se parece un poco ☐ Se parece bastante ☐ Es exactamente igual

¿Se alivian las sensaciones cuando gira el cuello?

☐ Sí ☐ No

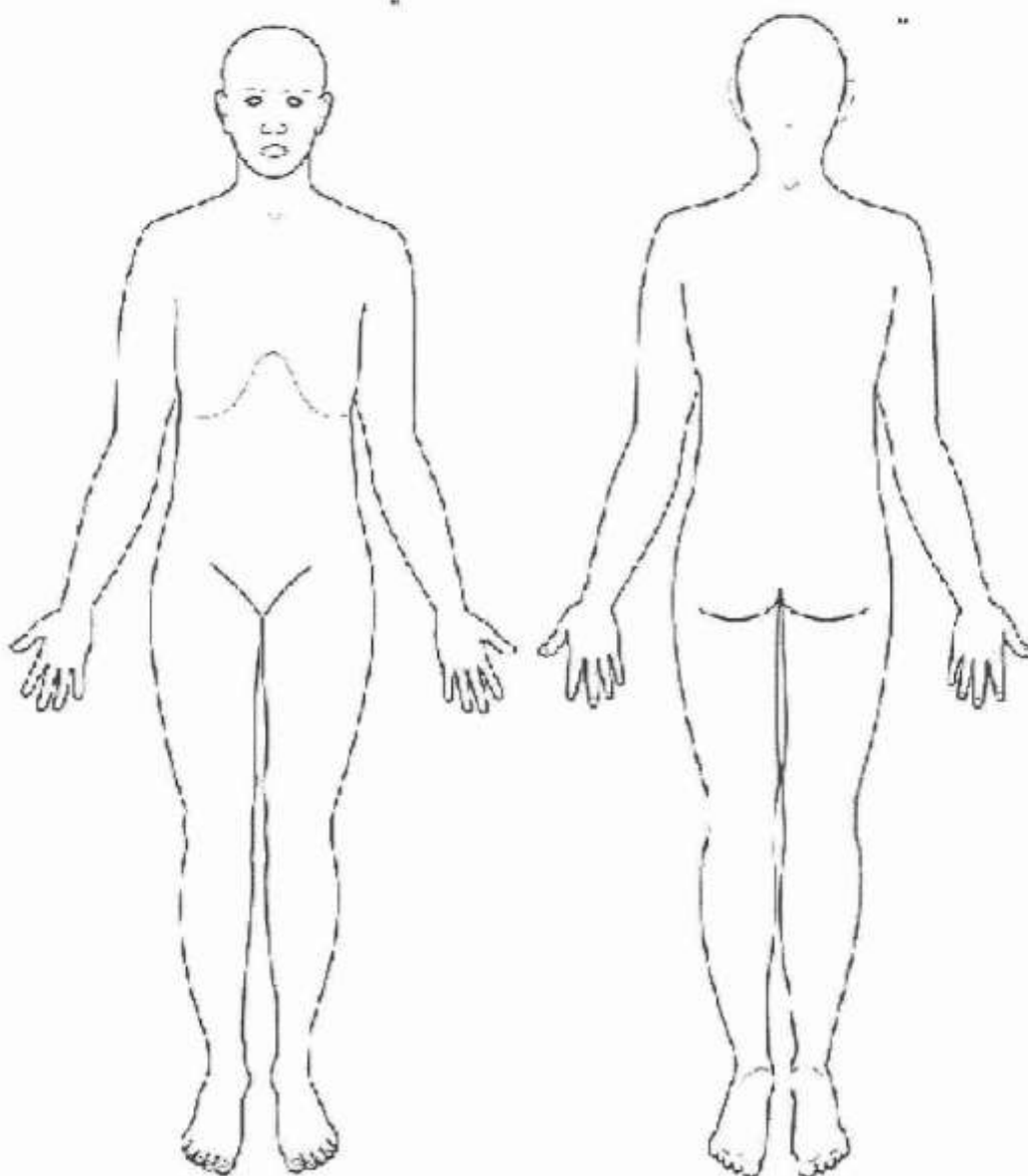
Fecha de valoración:

Nº de historia:

Valoración Nº:

PINTE SU DOLOR DE CODO ACTUAL

Esta pregunta es acerca del dolor que ha experimentado. Por favor pinte en el dibujo a continuación cualquier molestia o dolor que ha experimentado al menos por un día o más en la **ÚLTIMA SEMANA**. (Por favor no incluya el dolor debido a enfermedades febriles como gripe).

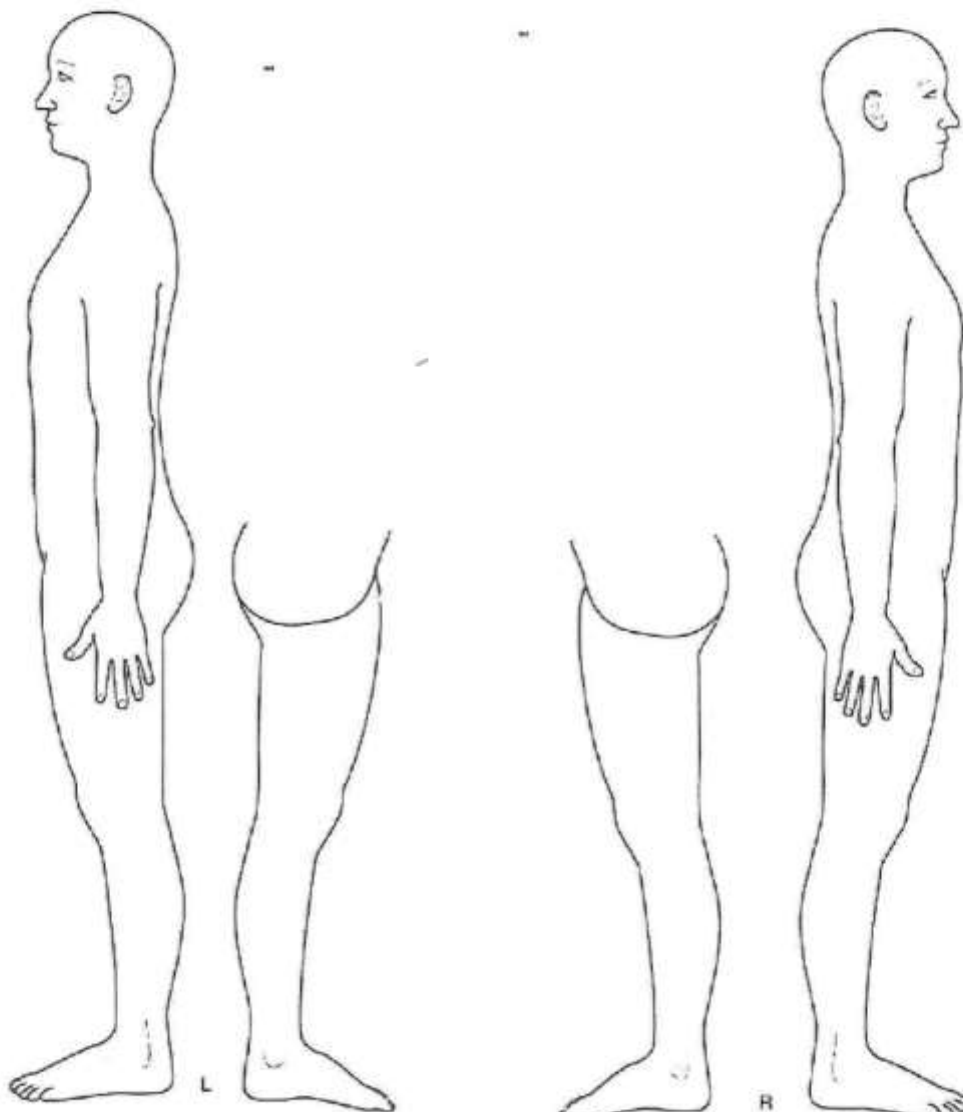


Fecha de valoración:

Nº de historia:

Valoración Nº:

PINTE SU DOLOR DE CODO ACTUAL



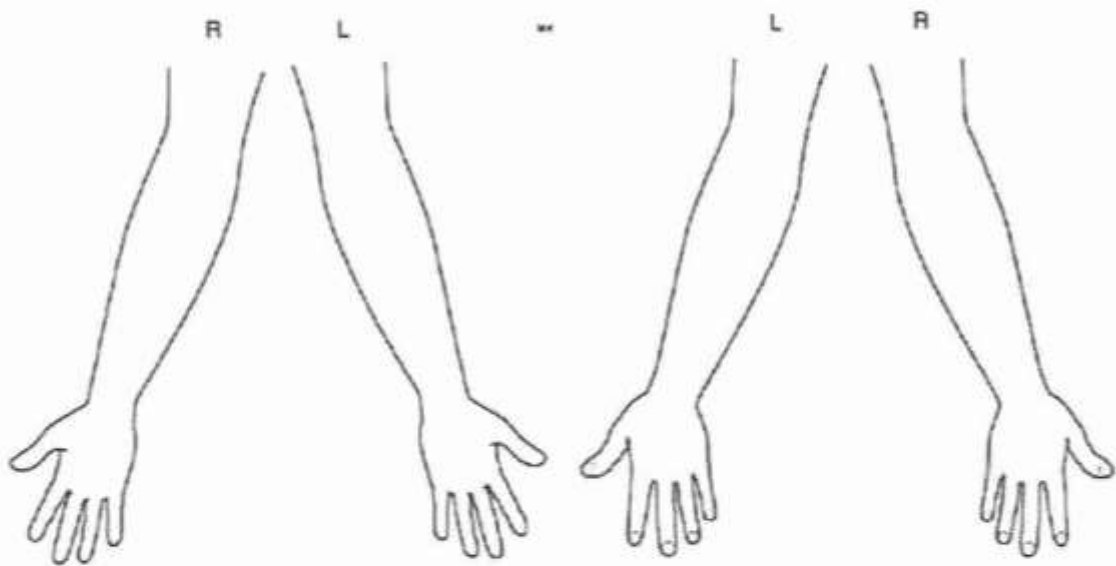


Fecha de valoración:

Nº de historia:

Valoración N°:

PINTE SU DOLOR DE CODO ACTUAL





ANEXO VII. Hoja de recogida de datos del estudio nº2.

Nº de Historia:
Fecha de valoración

DATOS DEL USUARIO									
NOMBRE			APELLIDOS						
FECHA DE NACIMIENTO			SEXO	H	M	OCIO			
BRAZO DOMINANTE	DER	IZQ	PROFESIÓN						
BRAZO DEL DOLOR	DER	IZQ	ALTURA		PESO		IMC		

VARIABLES						
	BASAL			POST INTERVENCIÓN		
DOLOR (EVA)						
FUERZA DE AGARRE LIBRE DE DOLOR (Dominante)						
FUERZA DE AGARRE LIBRE DE DOLOR (no dominante)						
GROC						
UMBRAL DEL DOLOR A LA PRESIÓN						
	BASAL			POST INTERVENCIÓN		
Epicóndilo lateral derecho						
Nervio radial derecho						
Cigapofisarias C5-C6 derecha						
Tibial anterior derecho						
Epicóndilo lateral izquierdo						
Nervio radial izquierdo						
Cigapofisarias C5-C6 izquierda						
Tibial anterior izquierdo						



Fecha de valoración:

N.º de historia:

Señale en la siguiente línea (con una x) donde localiza la intensidad de su dolor habitual de codo. Valore su intensidad de dolor habitual de codo, donde 0 corresponde a ausencia de dolor (nada de dolor) y 10 el peor dolor (máximo dolor) imaginable:

0	10
No dolor	Peor dolor imaginable

GLOBAL RATING OF CHANGE SCALE (GROC)

Instrucciones: Por favor puntúe el cambio general en su estado desde el momento en el que empezó el tratamiento hasta ahora. Elija sólo una de las opciones:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| -7: Todo lo peor que puedo estar | +7: Todo lo mejor que puedo estar |
| -6: Muchísimo peor | +6: Muchísimo mejor |
| -5: Bastante peor | +5: Bastante mejor |
| -4: Moderadamente peor | +4: Moderadamente mejor |
| -3: Algo peor | +3: Algo mejor |
| -2: Un poco peor | +2: Un poco mejor |
| -1: Muy poco peor (casi igual) | +1: Muy poco mejor (casi igual) |



ANEXO VIII. Registro del estudio experimental en ClinicalTrials.gov

ClinicalTrials.gov

NIH National Library of Medicine
National Center for Biotechnology Information



The U.S. government does not review or approve the safety and science of all studies listed on this website.

Read our full [disclaimer](https://clinicaltrials.gov/about-site/disclaimer) (<https://clinicaltrials.gov/about-site/disclaimer>) for details.

COMPLETED ⓘ

Immediate Neurophysiological Effects of PENS on Radial Nerve in Patients With Lateral Epicondylalgia

ClinicalTrials.gov ID ⓘ NCT04576195

Sponsor ⓘ Universidad Complutense de Madrid

Information provided by ⓘ Universidad Complutense de Madrid (Responsible Party)

Last Update Posted ⓘ 2023-03-23

Study Details Tab

Study Overview

Brief Summary

Lateral epicondylalgia is a common musculoskeletal condition that approximately affects 1-3% of the general population. Several authors have found greater mechanical pain sensitivity in the radial nerve when compared with healthy subjects. Radial tunnel syndrome exhibits a similar clinical presentation to lateral epicondylalgia. Percutaneous electrical stimulation has shown reduce pain in several conditions. Percutaneous electrical stimulation on the radial nerve could cause an important relief in lateral epicondylalgia.

Hypothesis: Percutaneous electrical stimulation on radial nerve plus in patients with lateral epicondylalgia is better than sham percutaneous electrical stimulation

Detailed Description

Randomized, double-blind, placebo controlled clinical trial, using Percutaneous Electrical Nerve Stimulation (PENS). PENS is technique to provide a transcutaneous electrical nerve stimulation current throughout needling filaments place close to the nerve.

Study Aims:



Aim #1: The primary aim of the study is to compare the immediate effect of a single session of PENS on pressure pain sensitivity as measured by pressure pain threshold in patients with lateral epicondylalgia with random assignment to two treatments: PENS or Sham PENS

Aim #2: The secondary aim of the study is to compare the immediate effect on pain free grip strength, on intensity of pain as measured by visual analogue scale (VAS) in patients with lateral epicondylalgia with random assignment to two treatments: PENS or Sham PENS.

Official Title

Immediate Neurophysiological Effects of Ultrasound-Guided Percutaneous Electrical Stimulation on Radial Nerve in Patients With Lateral Epicondylalgia

Conditions

Tennis Elbow

Intervention / Treatment

- Other: Real PENS
- Other: Sham PENS

Other Study ID Numbers

- 19/043 (b)

Study Start (Actual)

2020-10-09

Primary Completion (Actual)

2023-03-21

Study Completion (Actual)

2023-03-21

Enrollment (Actual)

60

Study Type

Interventional

Phase

Not Applicable

Resource links provided by the National Library of Medicine



[MedlinePlus \(https://medlineplus.gov/\)](https://medlineplus.gov/) related topics: [Elbow Injuries and Disorders \(https://medlineplus.gov/elbowinjuriesanddisorders.html\)](https://medlineplus.gov/elbowinjuriesanddisorders.html)

[FDA Drug and Device Resources \(https://clinicaltrials.gov/fda-links\)](https://clinicaltrials.gov/fda-links)

Contacts and Locations

This section provides the contact details for those conducting the study, and information on where this study is being conducted.

This study has 1 location

Spain

 **Madrid, Spain, 28040**
Universidad Complutense de Madrid

[Click to view interactive map](#)

Participation Criteria

Researchers look for people who fit a certain description, called [eligibility criteria](#). Some examples of these criteria are a person's general health condition or prior treatments.

For general information about clinical research, read [Learn About Studies \(https://clinicaltrials.gov/study-basics/learn-about-studies\)](https://clinicaltrials.gov/study-basics/learn-about-studies).



Eligibility Criteria

Description

Inclusion Criteria:

- Lateral epicondylalgia symptoms confirmed with at least 2 of the 4 following test:
 1. pain during palpation of lateral epicondyle
 2. pain on resisted wrist extension
 3. pain on resisted middle finger extension
 4. pain during hand-grip

Exclusion Criteria:

- History of fractures, luxations, surgery and/or musculoskeletal disorders in upper limb.
- Neurological disorders, inflammatory and/or degenerative diseases.
- Having received as treatment techniques that involve needles on the previous 6 months to study enrollment, or having received percutaneous electrical stimulation as a treatment before.
- Cervical pathology, fibromyalgia, unstable cardiovascular diseases, pregnant women or under suspect of pregnancy.
- Contraindications of needle's insertions: anticoagulant therapy, needle phobia, diabetes, hypothyroidism, lymphoedema, muscular diseases).
- Contraindications of electrical current application

Ages Eligible for Study

18 Years to 65 Years (Adult, Older Adult)

Sexes Eligible for Study

All

Accepts Healthy Volunteers

No

Study Plan

This section provides details of the study plan, including how the study is designed and what the study is measuring.

How is the study designed?



Design Details

Primary Purpose ⓘ : Treatment

Allocation ⓘ : Randomized

Interventional Model ⓘ : Parallel Assignment

Masking ⓘ : Triple (Participant, Investigator, Outcomes Assessor)



Arms and Interventions

Participant Group/Arm ①	Intervention/Treatment ②
Experimental: Real PENS One single session of PENS	Other: Real PENS The technique will be performed ultrasound-guided on the radial nerve, the places of the needle's insertions will be the following: Needle will be placed at under the lateral intermuscular septum between the triceps brachii and brachialis, approximately 10cm superior to the lateral epicondyle Needle will be placed at the upper third of the forearm on the posterior interosseous nerve after passing the arcade of Frohse's The percutaneous electrical stimulation will be realized with a transcutaneous electric nerve stimulation (TENS) current: TENS Frequency 2 Hz TENS Pulse width - 250 microseconds Duration - 30 minutes. TENS Intensity - Increased at an intensity of visible motor response of the innervated musculature and maximal tolerable intensity. Administration - One single session.
Sham Comparator: Sham PENS One single session of Sham-PENS	Other: Sham PENS The technique will be performed ultrasound-guided on the radial nerve, the places of the needle's insertions will be the following: Needle will be placed at under the lateral intermuscular septum between the triceps



brachii and brachialis, approximately 10cm superior to the lateral epicondyle Needle will be placed at the upper third of the forearm on the posterior interosseous nerve after passing the arcade of Frohse's

The electrical current will not be working, and the needles will be placed during 30 minutes:

- Administration - One single session

What is the study measuring?

Primary Outcome Measures ¹

Outcome Measure	Measure Description	Time Frame
Changes in Pressure pain threshold using an algometer	Measurement of pressure pain threshold in the lateral epicondyle, radial nerve in the spiral groove, C5-C6 zygapophyseal joints, and the tibialis anterior muscle.	Baseline and immediate (10 minutes after intervention)

Secondary Outcome Measures ¹

Outcome Measure	Measure Description	Time Frame
Changes in Pain Intensity: Visual Analogue Scale	Pain intensity measured with a 100 mm (0 - No pain - 100 The worst pain) visual analogue scale	Baseline and immediate (10 minutes after intervention)
Changes in Pain-Free Grip	Measurement the amount of force that the patient generates to the onset of	Baseline and



Strength	pain as measured with a dynamometer	immediate (10 minutes after intervention)
Changes in Self-perceived Improvement between baseline and follow-up periods	Global ratings on changes in regards to their level of elbow well-being since the treatment on a 15-point self-report scale (from -7, very much worse, to 7, completely recover)	Time Frame: Baseline,10 minutes post- intervention

Collaborators and Investigators

This is where you will find people and organizations involved with this study.

Sponsor ⓘ

Universidad Complutense de Madrid

Study Record Dates

These dates track the progress of study record and summary results submissions to ClinicalTrials.gov. Study records and reported results are reviewed by the National Library of Medicine (NLM) to make sure they meet specific quality control standards before being posted on the public website.

Study Registration Dates

First Submitted ⓘ

2020-09-28

First Submitted that Met QC Criteria ⓘ

2020-10-05

First Posted ⓘ

2020-10-06



Study Record Updates

Last Update Submitted that met QC Criteria ⓘ

2023-03-22

Last Update Posted ⓘ

2023-03-23

Last Verified ⓘ

2023-01

More Information

Terms related to this study

Keywords Provided by Universidad Complutense de Madrid

Lateral Epicondylalgia

Lateral Epicondylitis

Lateral Elbow Tendinopathy

Lateral Elbow Pain

Percutaneous Electrical Nerve Stimulation

Additional Relevant MeSH Terms

Elbow Tendinopathy

Tendinopathy

Muscular Diseases

Musculoskeletal Diseases

Elbow Injuries

Arm Injuries

Wounds and Injuries

Tendon Injuries

Tennis Elbow

