



REVISTA ESPAÑOLA DE PODOLOGÍA

Publicación Oficial del Consejo General de Colegios Oficiales de Podólogos

Artículo Aceptado para su pre-publicación / Article Accepted for pre-publication

Título / Title:

Estimulación eléctrica percutánea como tratamiento del dolor ocasionado por los síndromes compresivos nerviosos más frecuentes en pie y tobillo / Percutaneous electrical stimulation as a pain treatment caused by the most common compressive nerve syndromes in the foot and ankle

Autores / Authors:

Laura Regife Fernández, Marta Moreno Fresco, Ramón Mahillo Durán

DOI: [10.20986/revesppod.2024.1687/2024](https://doi.org/10.20986/revesppod.2024.1687/2024)

Instrucciones de citación para el artículo / Citation instructions for the article:

Regife Fernández Laura, Moreno Fresco Marta, Mahillo Durán Ramón. Estimulación eléctrica percutánea como tratamiento del dolor ocasionado por los síndromes compresivos nerviosos más frecuentes en pie y tobillo / Percutaneous electrical stimulation as a pain treatment caused by the most common compressive nerve syndromes in the foot and ankle. Rev. Esp. Pod. 2024. doi: 10.20986/revesppod.2024.1687/2024.



Este es un archivo PDF de un manuscrito inédito que ha sido aceptado para su publicación en la Revista Española de Podología. Como un servicio a nuestros clientes estamos proporcionando esta primera versión del manuscrito en estado de pre-publicación. El manuscrito será sometido a la corrección de estilo final, composición y revisión de la prueba resultante antes de que se publique en su forma final. Tenga en cuenta que durante el proceso de producción se pueden dar errores lo que podría afectar el contenido final.



REVISIÓN

Artículo bilingüe español / inglés

Rev Esp Podol. 2024;xx(x):xx-xx

DOI: <http://dx.doi.org/10.20986/revesppod.2024.1687/2024>

Estimulación eléctrica percutánea como tratamiento del dolor ocasionado por los síndromes compresivos nerviosos más frecuentes en pie y tobillo. Revisión bibliográfica

Percutaneous electrical stimulation as a pain treatment caused by the most common compressive nerve syndromes in the foot and ankle. Literature review

Laura Regife Fernández, Marta Moreno Fresco y Ramón Mahillo Durán

Departamento de Podología. Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología. Universidad de Sevilla, España

Palabras clave:

Atrapamiento nervioso, dolor, neuromodulación, PENS, pie, tobillo.

Resumen

El dolor crónico desencadena consecuencias emocionales, físicas, económicas y sociales para el paciente, ocasionando así uno de los problemas de salud más costosos para la sociedad. Esta experiencia desagradable se manifiesta en los síndromes de atrapamiento nervioso de múltiples maneras. Es por ello que, ante terapias conservadoras fallidas, la introducción de nuevos tratamientos como la estimulación eléctrica percutánea reflejan mostrar buenos resultados en cuanto a la disminución de la clínica dolorosa. De esta manera, el objetivo principal de esta revisión bibliográfica fue conocer la efectividad de la técnica de estimulación eléctrica percutánea en el tratamiento del dolor neuropático/crónico, ocasionado por los síndromes de atrapamiento nervioso más frecuentes en el pie y tobillo.

Se ha realizado una búsqueda en diversas bases de datos científicas durante los meses de febrero y marzo de 2023. Tras aplicar criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron y analizaron un total de 30 artículos. De estos, 18 cumplieron con los criterios de búsqueda y se incluyeron en la discusión.

Como conclusiones se obtiene que la técnica demuestra su efectividad a corto plazo en cuanto a la reducción del dolor musculoesquelético, neuropático o postoperatorio, así como en la ingesta de medicamentos. Hemos tenido dificultades para evidenciar su efectividad en los síndromes de atrapamiento nervioso en el pie y tobillo, aunque sí para los ocasionados en otras partes del cuerpo. Los autores contrastados utilizan diferentes protocolos de actuación. Si bien la mayoría alternan altas y bajas frecuencias en un intervalo de 20-30 minutos.

Keywords:

Nerve entrapment, pain, neuromodulation, PENS, foot, ankle.

Abstract

Chronic pain triggers emotional, physical, economic, and social consequences for patients, thus causing one of the most costly health problems for society. This unpleasant experience manifests in nerve entrapment syndromes in multiple ways. Therefore, in the face of failed conservative therapies, the introduction of new treatments such as percutaneous electrical stimulation reflects promising results in reducing painful symptoms. Thus, the main objective of this literature review is to assess the effectiveness of the percutaneous electrical stimulation technique in the treatment of neuropathic/chronic pain caused by the most frequent nerve entrapment syndromes in the foot and ankle.

A search has been conducted on various scientific databases during the months of February and March 2023. After applying inclusion and exclusion criteria, a total of 30 articles were selected and analyzed. Of these, 18 articles meeting the search criteria were identified and, consequently, included in the discussion.

In conclusion, it is observed that the technique demonstrates its short-term effectiveness in reducing musculoskeletal, neuropathic, or postoperative pain, as well as medication intake. We have encountered difficulties in demonstrating its effectiveness in nerve entrapment syndromes in the foot and ankle, although it has shown efficacy for those occurring in other parts of the body. Established authors employ varied intervention protocols, with the majority alternating high and low frequencies within a 20-30 minute interval.

Recibido: 13-01-2024

Aceptado: 09-03-2024



0210-1238 © Los autores. 2024.
Editorial: INSPIRA NETWORK GROUP S.L.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC Reconocimiento 4.0 Internacional
(www.creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Correspondencia:

Laura Regife Fernández
lauraregife@gmail.com

Introducción

El dolor es una experiencia subjetiva y compleja definida por la asociación internacional para el estudio del dolor como *“una experiencia sensorial o emocional desagradable, asociada a una lesión tisular presente o potencial, o que se describe en términos de dicha lesión”*¹. Cuando persiste y pasa a ser crónico, los efectos fisiopatológicos y las respuestas de comportamiento que este ocasiona difieren de las asociadas con el dolor agudo. Los datos muestran una incidencia del 25.7 % (1.5 mil millones de personas) a nivel mundial², entre un 19 y 31 % en Europa y un 30 % en España³.

El dolor neuropático es aquel dolor crónico causado por una enfermedad o lesión del sistema nervioso somatosensorial, lo que conlleva a la manifestación de signos y síntomas específicos de hiperexcitabilidad. Entre los dolores de tipo crónico es uno de los que mayor prevalencia presenta con un 6.9-10 %¹.

Un atrapamiento nervioso se define como aquella compresión prolongada sobre un nervio periférico en cualquier punto de su recorrido debido a fuerzas mecánicas extrínsecas o intrínsecas⁴. Frecuentemente se presentan síntomas que surgen de una combinación del dolor nociceptivo y neuropático¹. Estos ocasionan, en una primera etapa, parestesias y dolor nocturno⁵; a medida que se cronifica, entumecimiento, quemazón⁶, dolor tipo eléctrico con irradiación proximal⁷ y debilidad o atrofia muscular en casos avanzados⁴. Las ocurrencias de estas mononeuropatías son cada vez más frecuentes en consulta, aun así, sigue siendo una patología subdiagnosticada y de escasa recurrencia⁸. Además, la variabilidad de etiologías y manifestaciones clínicas que presentan, así como el déficit de conocimiento anatómico por parte del clínico, suponen, a menudo, un reto diagnóstico⁹.

En ocasiones el tratamiento conservador resulta no ser del todo efectivo, por lo que esto ha conllevado a incluir algunas terapias propias de especialidades como la fisioterapia para tratar al paciente con dolor crónico¹⁰. La neuromodulación es una técnica relativamente actual definida por la Sociedad Internacional de Neuromodulación como *“la alteración de la actividad nerviosa a través de la administración dirigida de un estímulo, como la estimulación eléctrica o agentes químicos, a sitios neurológicos específicos en el cuerpo”*. Esta definición algo obsoleta es actualizada a mano de Albornoz y Maya, donde definen dicha técnica como *“el uso de tecnologías avanzadas para mejorar o suprimir la actividad del sistema nervioso en el tratamiento de enfermedades, incluyendo dispositivos implantables o no implantables”*¹¹.

Dentro de los procedimientos actuales descritos, y centrándonos en su aplicación sobre el sistema nervioso periférico (SNP), la estimulación eléctrica puede ser aplicada de forma transcutánea (TENS) o percutánea, de manera temporal (PENS) o implantada (PNS)¹². La PENS es definida por Fidalgo y cols.¹³ como *“la estimulación eléctrica de un nervio periférico mediante el uso de una aguja como electrodo para disminuir el dolor y restaurar las funciones neuromusculares y del sistema nervioso”*.

Como profesionales de la salud debemos mantener actualizados nuestros conocimientos con el fin de poder brindar a nuestros pacientes la mejor asistencia sanitaria. Es por ello que con este trabajo pretendemos obtener la información y la evidencia necesaria para poner en un futuro los conocimientos en práctica.

Objetivos

Objetivo principal

Se realiza una revisión bibliográfica con el objetivo de valorar la efectividad de la técnica de estimulación eléctrica percutánea en el tratamiento del dolor neuropático/crónico ocasionado por los síndromes de atrapamiento nervioso más frecuentes en el pie y tobillo.

Objetivos secundarios

1. Mostrar los parámetros más adecuados utilizados en la terapia de estimulación eléctrica percutánea.
2. Evidenciar la eficiencia que la técnica PENS presenta en cuanto a la reducción de diferentes tipos de dolor y los síndromes de atrapamiento nervioso en el cuerpo.

Material y métodos

Para la realización de la presente revisión bibliográfica se han valorado 29 artículos y 1 libro recopilados y seleccionados durante los meses de febrero y marzo de 2023 a través de las bases de datos de Pubmed, Dialnet, Science Direct, Scopus y la Biblioteca de Salud de la Universidad de Sevilla.

Las palabras clave utilizadas fueron: *“nerve entrapment”, “pain”, “neuromodulation”, “PENS”, “Foot” y “ankle”*. Todas ellas se combinaron entre sí utilizando los operadores booleanos *“AND” y “OR”*.

Criterios de inclusión:

- Artículos publicados desde 1999 hasta la actualidad.
- Estudios realizados en humanos o animales.
- Revisiones bibliográficas, sistemáticas y/o metanálisis, ensayos clínicos aleatorizados o no aleatorizados, estudios observacionales o informes de casos.

Criterios de exclusión:

- Artículos no relacionados con la temática descrita en este trabajo.

La amplia amplitud temporal ha sido seleccionada en función de la relevancia científica de estos estudios, tomando en cuenta el número de citas, la pertinencia del tema tratado, los protocolos y el método de aplicación utilizados, que pueden ser factibles de aplicar en el ámbito de la podología, así como las limitaciones presentes en la investigación actual.

Resultados

Para la valoración de los resultados se seleccionaron un total de 18 artículos. Con el propósito de representar de manera más esquemática la obtención de estos resultados, se elaboró un diagrama de flujo (Figura 1).

Eficacia de la terapia PENS para el tratamiento del dolor

Dolor musculoesquelético

En primer lugar, Plaza y cols.¹⁴ en su estudio sugieren que la terapia con PENS, aplicada como único tratamiento, posee un efecto

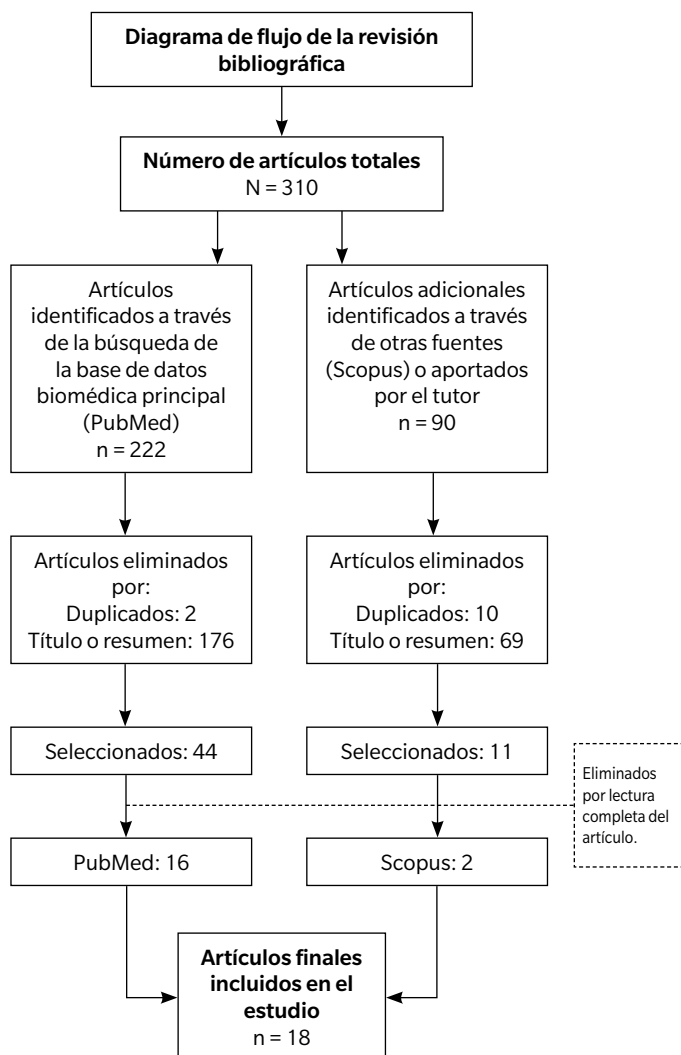


Figura 1. Diagrama de flujo.

moderado sobre el dolor y la discapacidad relacionada. Además, encontraron que su combinación con otras intervenciones resultaba ser más efectiva, aunque esta suposición parecía ser dependiente de la población. Estos resultados mostraron su efectividad, aunque las pruebas eran escasas y valoradas a corto plazo.

Fidalgo y cols.¹³ revisaron su aplicación en lesiones neuromusculares y encontraron que la técnica redujo significativamente el dolor y mejoró otros aspectos como fuerza y resistencia muscular, funcionalidad, equilibrio, discapacidad e ingesta de medicamentos.

Rodríguez y cols.¹⁵ evaluaron los efectos de la terapia TENS y PENS sobre los mecanismos endógenos del dolor en pacientes que presentaran dolor musculoesquelético agudo o crónico. Concluyeron que ambas técnicas producen un efecto inmediato de leve a moderado en la hiperalgesia mecánica local, aunque no se pudo determinar si estos perduraban en el tiempo.

Dolor lumbar crónico

Weiner y cols.¹⁶ encontraron que la terapia con PENS administrada dos veces por semana durante un mes y medio redujo el dolor y mejoró la función física durante seis meses. Además, la terapia fue más efectiva cuando se combinó con ejercicios aeróbicos y fisioterapia durante seis semanas.

Ghoname y cols.¹⁷ demostraron que PENS fue más efectivo que TENS y el ejercicio a corto plazo, con una reducción inmediata del dolor del 82 %, en comparación con el 26 % y el 4 % de TENS y el ejercicio, respectivamente. Además, PENS redujo el uso de medicamentos en un 50 %.

Años más tarde, Yokoyama y cols.¹⁸ determinaron que PENS resultó más efectiva después de 4 sesiones, y al aplicarla dos veces por semana durante 8 semanas, el alivio del dolor se mantuvo durante los siguientes 2 meses.

Dolor neuropático

La neuromodulación se ha convertido en una buena opción de tratamiento cuando el trastorno es resistente a otras terapias y los fenómenos de sensibilización e hiperexcitabilidad se instauran de forma definitiva¹⁹.

Raphael y cols.²⁰ redujeron el dolor neuropático crónico e hiperalgesia superficial de 31 pacientes de 7.5 a 0.5 en la escala numérica de dolor (NRS), demostrando la eficacia analgésica de la estimulación a corto plazo.

Años después, Rossi y cols.¹⁹ evaluaron un nuevo dispositivo PENS en 76 pacientes con dolor neuropático crónico periférico resistente a medicamentos. Su estudio demostró la efectividad y seguridad a corto, medio y largo plazo, proporcionando meses de alivio del dolor.

Dolor postoperatorio

Ilfeld y cols.²¹ aplicaron una corriente eléctrica a través de la implantación de una sonda sobre el nervio ciático, el nervio femoral y el plexo braquial en una cirugía de pie, tobillo, ligamento cruzado anterior y manguito rotador. La estimulación se realizó durante 14 días postcirugía a 100 Hz y a 2 cm del epineuro. Como resultado se obtuvo que las puntuaciones de dolor y el consumo de opiáceos se redujeron al menos durante la primera semana tras la cirugía.

A pesar de los beneficios en la analgesia, la implantación de una sonda puede conllevar riesgos como infección, rotura, desprendimiento del cable o daño nervioso. Además de requerir cirugía y revisiones periódicas, solo un cirujano calificado puede realizarla²².

Una terapia menos invasiva basada en su eficacia en el dolor musculoesquelético y neuropático, como PENS, podría ser una opción valiosa para el dolor postoperatorio agudo. Esto podría reducir riesgos y mejorar la satisfacción del paciente, por ejemplo, en cirugías como el abordaje del túnel tarsiano con dolor persistente postoperatorio.

Parámetros PENS para el dolor

La elección de los parámetros es controvertida debido a la falta de un protocolo universalmente aceptado. La frecuencia es considerada

el parámetro más relevante según la mayoría de autores, a pesar de la diversidad de literatura al respecto^{10,13}.

Según exponen Beltrá y cols.²², la plasticidad sináptica es “la capacidad de las sinapsis para fortalecerse o debilitarse con el tiempo, en respuesta a aumentos o disminuciones en su actividad”. Existen dos mecanismos de plasticidad sináptica con diferentes objetivos: deprimir la vía nociceptiva (LTD o *long term depression*) o potenciar la vía no nociceptiva (LTP o *long term potentiation*).

Klein y cols.²³ buscaron evaluar la modulación neuronal de larga duración en la percepción del dolor tras someterse a los protocolos LTD y LTP sobre la vía nociceptiva del dolor, es decir, sobre las fibras C. Aplicaron un tren de pulso continuo, 1 Hz durante 16 minutos y 40 segundos a dos intensidades: 10 y 20 veces el umbral de detección de cada individuo. La aplicación del protocolo de alta intensidad en la vía nociceptiva provocó estímulos dolorosos, aumentó las respuestas neuronales en el asta dorsal de la médula y generó vasodilatación, lo que sugiere que podría contribuir a la hiperalgesia neurogénica y el dolor crónico. Por otro lado, el protocolo de baja intensidad disminuyó la percepción del dolor, proporcionando analgesia durante más de una hora al inducir una depresión de las fibras nociceptivas, lo que podría ser beneficioso en pacientes con dolor crónico.

En base a la teoría del “gate control” de Melzack y Wall, propuesta en 1965, surgió la idea de investigación de Sdrulla y cols.²⁴ cuyo principal objetivo era evaluar cómo la potenciación sináptica a largo plazo (LTP) de las fibras A β (vía no nociceptiva) afecta a las respuestas de la vía nociceptiva induciendo una inhibición prolongada de la corriente postsináptica excitatoria evocada (eEPSC) por la llegada aferente de las fibras de alto umbral en las neuronas de la sustancia gelatinosa. Utilizaron diferentes frecuencias de estimulación y encontraron que las frecuencias más altas (50 y 1000 Hz) provocaron una mayor inhibición de las eEPSCs en animales tanto sanos como con daño nervioso.

Este protocolo podría resultar interesante en aquellos pacientes con dolor crónico o neuropático en los que se ha visto disminuida su capacidad para activar la vía descendente inhibitoria del dolor, ya que este protocolo podría utilizarse para provocar esa analgesia endógena mediante la potenciación de las fibras AB y la consecuente inhibición de transmisión nociceptiva de las fibras C en el asta dorsolateral de la médula.

Los estudios realizados por Klein y cols.²³ y Sdrulla y cols.²⁴ sirvieron de sustento al ensayo clínico realizado por Beltrá y cols.²², en el que pretendían evaluar los efectos sensoriales y motores de ambos protocolos en individuos sin patología previa para así determinar cuál de los dos resultaba superior en la reducción de la percepción dolorosa. Evaluaron los efectos de estos inmediatamente y 24 horas después de estimular el nervio mediano. Los autores desarrollaron un nuevo protocolo LTP basado en los hallazgos previos de Sdrulla y cols.²⁴. Descubrieron que, utilizando pulsos de 100 Hz en 5 ráfagas de 5 segundos separadas por descansos de 55 segundos, podían inducir una depresión sináptica sobre la vía nociceptiva sin necesidad de aumentar la frecuencia. A su vez, crearon un protocolo LTD que consistía en estimulación a 2 Hz durante 16 minutos. Como resultado se obtuvo que el protocolo LTP condujo a una hipoalgesia distal sin afectar al rendimiento motor ni producir ninguna percepción dolorosa. Por otro lado, el protocolo LTD no causó hipoalgesia, redujo la fuerza y los individuos si percibieron sensaciones molestas.

Al investigar la opinión de otros autores acerca de los diferentes parámetros de aplicación se encontraron diversas perspectivas y puntos de vista. Estos protocolos se exponen a modo resumen en la Tabla I.

En cuanto al tiempo de aplicación, tanto Beltrá y cols.²², Yokoyama y cols.¹⁸, Arias y cols.²⁵, como Fidalgo y cols.¹³, coinciden en que aplicaciones más largas (> 15 minutos) proporcionan mejores resultados clínicos. Autores como Ghoname y cols.²⁶, Fidalgo y cols.¹³, Plaza y cols.¹⁴, Rossi y cols.¹⁹, Raphael y cols.²⁰ y Yokoyama y cols.¹⁸, están de acuerdo en que la combinación de frecuencias altas y bajas mejoran la efectividad de la terapia al activar receptores opioides (μ , δ y κ) y en consecuencia diferentes tipos de opioides relacionados con el “gate control” (dinorfinas, encefalinas o endorfinas). Sin embargo, la diferencia radica en que el protocolo LTP de Beltrá y cols.²² incluye cortos descansos entre los impulsos para evitar una depresión continua a nivel medular, mientras que otros protocolos no lo hacen. En el futuro, un estudio comparativo con un tamaño de muestra más amplio sería valioso para aumentar la evidencia científica y facilitar la aplicación clínica de estos protocolos.

Eficacia de la técnica PENS en la reducción del dolor ocasionado por los síndromes de atrapamiento nervioso

Ferreira y cols.²⁸ abordaron a un paciente con radiculopatía lumbosacra crónica que no respondía a tratamientos previos, incluyendo estimulación medular, al cual se le implantó un SNP percutáneo a lo largo del trayecto del nervio peroneo superficial. En solo dos semanas, el paciente experimentó una disminución del dolor, de 8/10 a 1/10 en la escala NRS, junto con mejoras en la movilidad. La analgesia se mantuvo cuando se revaluó después de tres meses. Estos resultados sugieren que esta técnica puede ser una alternativa efectiva para pacientes con compresión nerviosa que no han respondido a otras opciones de tratamiento.

En otro caso, Langford y cols.²⁹ presentaron el caso de un hombre de 57 años con meralgia parastésica crónica. Después de que el tratamiento farmacológico causara efectos secundarios, se sometió a estimulación periférica implantada quirúrgicamente, lo que redujo su dolor (de 8/10 a 0/10 en la escala NRS). A pesar de retirar el dispositivo después de 2 meses, el alivio del dolor persistió durante 1 año.

En 2020, García y cols.²⁷ llevaron a cabo un ensayo clínico aleatorizado para investigar los efectos de la técnica PENS a corto plazo al aplicarla sobre el nervio femoral en pacientes con dolor inespecífico en la parte anterior de la rodilla, considerando que podría deberse a un atrapamiento nervioso, entre otras hipótesis. Los resultados indicaron mejoras en el dolor, funcionalidad y rango de movimiento de los pacientes durante una semana después de una sola estimulación. Los autores sugieren aplicar esta terapia semanalmente, aunque no especifican la duración total del tratamiento.

En el mismo año, Fernández y cols.³⁰ presentaron un caso de un paciente de 48 años con neuropatía ocasionada por el síndrome del túnel cubital. A pesar de un año con sintomatología, y de un intento previo sin éxito con tratamientos conservadores durante seis meses, se sometió a tres sesiones con PENS realizadas una vez por semana. En cada sesión se aplicó una frecuencia de 2 Hz durante 30 minutos. La mejoría se observó después de la tercera sesión, lo que llevó a la incorporación de ejercicios de deslizamiento activo durante 2-3 semanas. Un mes después de la última sesión, el paciente experimentó

Tabla I. Resumen de los diferentes protocolos descritos por los autores^{16-20,22,25-27}.

Autores	Estudio	Frecuencia	Duración del pulso	Intensidad	Tiempo	Duración del tratamiento
Beltrá y cols.²², 2022	Efectos sensoriomotores de los protocolos de estimulación percutánea de los nervios periféricos inductores de plasticidad	LTD: 2 Hz LTP: 100 Hz + descanso 5 seg	250 µs	LTD: umbral de dolor de cada sujeto LTP: 200 µa	LTD: 16 min. LTP: 5 min.	No aportado
Yokoyama y cols.¹⁸, 2004	Comparación de la estimulación con PENS y TENS para el alivio del dolor a largo plazo en pacientes con dolor lumbar crónico	4/30 Hz	No aportado	Sensación eléctrica tolerable sin contracción muscular	20 min	2 x 8 semanas
Arias y cols.²⁵, 2019	PENS ecoguiado para un paciente con síndrome del túnel cubital	2 Hz	250 µs	Respuesta motora visible (5-6 mA)	30 min	2 x 2 semanas (resolución completa de los síntomas a los 5-6 meses de ser tratado)
Ghonomie y cols.¹⁷, 1999	PENS para el dolor lumbar crónico	4 Hz	0.5 ms	Sensación eléctrica tolerable sin contracción muscular	30 min	3 x 3 semanas
Ghonomie y cols.²⁶, 1999	Efecto de la frecuencia del estímulo en la respuesta analgésica a PENS en pacientes con lumbalgia crónica	15/30 Hz	0.5 ms	Sensación eléctrica tolerable sin contracciones musculares	30 min	3 x 2 semanas
Raphael y cols.²⁰, 2011	PENS en el dolor neuropático	2/100 Hz	3 seg	No aportado	25 min	No aportado
Rossi y cols.¹⁹, 2016	Un nuevo enfoque mininvasivo para el tratamiento del dolor neuropático: el estudio PENS	2/100 Hz	3 seg	0.5 V	25 min	1 sesión (> 10 % necesidad de 2 sesiones)
Weiner y cols.¹⁶, 2008	Eficacia de PENS y el ejercicio terapéutico para adultos mayores con dolor lumbar crónico	100 Hz	No aportado	Moderada. Perceptibilidad constante del estímulo	30 min	2 x 6 semanas (reducción del dolor y mejora de la discapacidad en 6 semanas con beneficios mantenidos durante 6 meses)
García y cols.²⁷, 2020	Neuromodulación percutánea guiada por ultrasonido en pacientes con dolor unilateral en la parte anterior de la rodilla	10 Hz	250 µs	Contracción muscular visible	1.5 min	1 vez a la semana

Hz: hercio. mA: miliamperio. Min: minutos. ms: milisegundo. µa: microamperio. µs: microsegundo. seg: segundos. V: voltio. LTD: long term depression. LTP: long term potentiation.

una mejoría que duró un año sin necesidad de intervenciones adicionales.

En 2019, Arias y cols.²⁵ presentaron el caso de un paciente de 43 años que inicialmente fue diagnosticado con epicondialgia late-

ral de codo. Tras experimentar una mejoría durante dos años, sufrió una recaída después de golpearse realizando actividad física. A pesar de tratamientos conservadores, fisioterapia y ejercicios, el dolor no cesaba, además de presentarse con cualidades eléctricas e irradiarse

por el antebrazo. Los síntomas clínicos actuales sugerían la presencia de un posible síndrome del túnel radial. Tras una intervención con PENS sobre el tronco del nervio radial y el nervio interóseo posterior, además de un programa de ejercicios de 4 semanas, el paciente experimentó una mejoría en el dolor y la función, logrando una resolución completa de los síntomas en los 5-6 meses posteriores.

Discusión

La técnica PENS parece prometedora en el tratamiento de atrapamientos nerviosos, aunque la evidencia actual es limitada, principalmente basada en informes de casos. Además, la falta de investigaciones específicas en el pie y el tobillo representa una brecha en el conocimiento de la especialidad.

Desde el inicio de nuestra investigación, buscamos ampliar nuestros conocimientos intercambiando experiencias con profesionales de la fisioterapia y la podología que emplean la técnica PENS. Inicialmente, consultamos a un fisioterapeuta experto en estimulación nerviosa para adquirir los conocimientos necesarios, dada la falta de profundidad con la que se aborda este tema en el grado de Podología. Sin embargo, al profundizar en nuestra revisión bibliográfica, notamos la carencia de estudios que respaldaran la eficacia de PENS en el tratamiento del dolor originado por atrapamientos nerviosos en el pie y el tobillo. Como consecuencia, nos pusimos en contacto con dichos especialistas con la intención de presenciar telemática y personalmente los buenos resultados que todos ellos referían con respecto a su aplicación en diferentes casos de atrapamientos nerviosos como neuroma de Morton, neuroma de Hausser o síndrome del túnel del tarso, entre otros.

Hemos podido comprobar el alto nivel de satisfacción del paciente en cuanto a la disminución del dolor y la mejora de la funcionalidad, tanto en los casos clínicos proporcionados como en los que hemos presenciado. Aunque los resultados que se obtienen en base a la experiencia de cada profesional son positivos, cabe destacar que cada uno de ellos utiliza diferentes protocolos de actuación en cuanto a parámetros/dosificación (frecuencia y tiempo), colocación de la aguja o tipo de dispositivo, entre otros.

Finalmente, y por dicho motivo, valoramos la conveniencia de realizar en un futuro próximo un estudio con el diseño metodológico adecuado en el que se evalúe la efectividad de la técnica PENS para el dolor ocasionado por los atrapamientos nerviosos más frecuentes del pie y tobillo, con la intención de poder dejar recogidos y demostrados los buenos resultados que hemos podido apreciar en la práctica clínica.

Conclusiones

La técnica ha demostrado efectividad a corto plazo en cuanto a la reducción del dolor musculoesquelético, neuropático o postoperatorio, así como la ingesta de medicamentos. Los autores contrastados utilizan diferentes protocolos de actuación. Si bien la mayoría alternan altas y bajas frecuencias en un intervalo de 20-30 minutos. Existen dificultades para evidenciar la efectividad de la técnica PENS en los síndromes de atrapamiento nervioso en el pie y tobillo, aunque sí para los ocasionados en otras partes del cuerpo.

CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

FINANCIACIÓN

Ninguna.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño del estudio: LRF.

Recopilación de datos: LRF.

Análisis e interpretación de resultados: LRF.

Creación, redacción y preparación del borrador inicial del artículo: LRF, MMF.

Revisión y aceptación versión final previa publicación: LRF, MMF, RMD.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sociedad Española del Dolor. Manual de Medicina del Dolor. Fundamentos, evaluación y tratamiento. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2016.
2. Rodríguez EJ, Granados V. La percepción del dolor. Milenaria. 2020;(16):16-8. DOI: 10.35830/mcya.vi16.136.
3. Velasco M. Dolor neuropático. Rev Med Clin Condes. 2014;25(4):625-34. DOI: 10.1016/S0716-8640(14)70083-5. DOI: 10.1016/S0716-8640(14)70083-5.
4. Neculhueque X, Moyano A, Paolinelli C. Neuropatías por Atrapamiento. Reumatol. 2007;23(1):7-11.
5. Flanigan R, DiGiovanni B. Peripheral Nerve Entrapments of the Lower Leg, Ankle, and Foot. Foot Ankle clin. 2011;16(2):255-74. DOI: 10.1016/j.fcl.2011.01.006.
6. Ferkel E, Davis WH, Ellington JK. Entrapment Neuropathies of the Foot and Ankle. Clin Sports Med. 2015;34(4):791-801. DOI: 10.1016/j.csm.2015.06.002.
7. Guerrero SJ, Coheña M, Montaña P, Perea J, Alfonso N. Síndromes de atrapamiento nervioso en el pie: túnel tarsiano, túnel tarsiano anterior y atrapamiento del nervio de baxter. Rev Esp Pod. 2015;26(4):134-8.
8. Pomeroy G, Wilton J, Anthony S. Entrapment neuropathy about the foot and ankle: an update. J Am Acad Orthop Surg. 2015;23(1):58-66. DOI: 10.5435/JAAOS-23-01-58.
9. Fabre T, Mouton A, Durandeu A. Compresiones nerviosas del tobillo y del pie. EMC - Podología. 2007;9(3):1-12. DOI: 10.1016/S1762-827X(07)70707-1.
10. Valera F, Minaya F. Fisioterapia invasiva. 2.a ed. Barcelona: Elsevier; 2016.
11. Albornoz M, Maya J. Electroestimulación transcutánea y neuromuscular, y neuromodulación. 2.a ed. Barcelona: Elsevier; 2020.
12. Láinez JM, Morcillo E. Neuromodulación: una alternativa en las enfermedades neurológicas. Anales (Reial Acadèmia de Medicina de la Comunitat Valenciana). 2015;16:2172-8925.
13. Fidalgo I, Ramos JJ, Murias R, Rodríguez ES. Effects of percutaneous neuromodulation in neuromusculoskeletal pathologies: A systematic review. Medicine. 2022;101(41):e31016. DOI: 10.1097/MD.00000000000031016.
14. Plaza G, Gómez GF, Cleland JA, Arias JL, Fernández C, Navarro MJ. Effectiveness of percutaneous electrical nerve stimulation for musculoskeletal pain: A systematic review and meta-analysis. Eur J Pain. 2020;24(6):1023-44. DOI: 10.1002/ejp.1559.
15. Rodríguez L, Arribas A, Fernández J, González Y, Laguarda 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):397-414. DOI: 10.1093/pm/pnac140.
16. Weiner DK, Perera S, Rudy TE, Glick RM, Shenoy S, Delitto A. Efficacy of Percutaneous Electrical Nerve Stimulation and Therapeutic Exercise for Older Adults with Chronic Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial. Pain. 2008;140(2):344. DOI: 10.1016/j.pain.2008.09.005.
17. Ghoname ESA, Craig WF, White PF, Ahmed HE, Hamza MA, Henderson BN, et al. Percutaneous Electrical Nerve Stimulation for Low Back Pain: A Randomized Crossover Study. JAMA. 1999;281(9):818-23. DOI: 10.1001/jama.281.9.818.
18. Yokoyama M, Sun X, Oku S, Taga N, Sato K, Mizobuchi S, et al. Comparison of percutaneous electrical nerve stimulation with transcutaneous electrical nerve stimulation for long-term pain relief in patients with chron-

- ic low back pain. *Anesth Analg*. 2004;98(6):1552-6. DOI: 10.1213/01.ANE.0000112312.94043.DF.
19. 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):121-8.
 20. Raphael JH, Raheem TA, Southall JL, Bennett A, Ashford RL, Williams S. Randomized double-blind sham-controlled crossover study of short-term effect of percutaneous electrical nerve stimulation in neuropathic pain. *Pain Med*. 2011;12(10):1515-22. DOI: 10.1111/j.1526-4637.2011.01215.x.
 21. Ilfeld BM, Plunkett A, Vijjeswarapu AM, Hackworth R, Dhanjal S, Turan A, et al. Percutaneous Peripheral Nerve Stimulation (Neuromodulation) for Post-operative Pain: A Randomized, Sham-controlled Pilot Study. *Anesthesiology*. 2021;135(1):95-110. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003776.
 22. Beltrá P, Ruiz-del-Portal I, Ortega FJ, Valdesuso R, Delicado-Miralles M, Velasco E. Sensorimotor effects of plasticity-inducing percutaneous peripheral nerve stimulation protocols: a blinded, randomized clinical trial. *Eur J Pain*. 2022;26(5):1039-55. DOI: 10.1002/ejp.1928.
 23. Klein T, Magerl W, Hopf HC, Sandkühler J, Treede RD. Perceptual Correlates of Nociceptive Long-Term Potentiation and Long-Term Depression in Humans. *J neurosci*. 2004;24(4):964-71. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1222-03.2004.
 24. Sdrulla AD, Xu Q, He SQ, Tiwari V, Yang F, Zhang C, et al. Electrical stimulation of low-threshold afferent fibers induces a prolonged synaptic depression in lamina II dorsal horn neurons to high-threshold afferent inputs in mice. *Pain*. 2015;156(6):1008-17. DOI: 10.1097/01.j.pain.0000460353.15460.a3.
 25. Arias JL, Cleland JA, El Bachiri YR, Plaza G, Fernández 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. DOI: 10.2519/jospt.2019.8570.
 26. Ghoname ESA, Craig WF, White PF, Ahmed HE, Hamza MA, Gajraj NM, et al. The effect of stimulus frequency on the analgesic response to percutaneous electrical nerve stimulation in patients with chronic low back pain. *Anesth Analg*. 1999;88(4):841-6.
 27. García P, De-la-Cruz B, Romero C. Ultrasound-Guided Percutaneous Neuromodulation in Patients with Unilateral Anterior Knee Pain: A Randomized Clinical Trial. *Appl Sci*. 2020;10(13):4647. DOI: 10.3390/app10134647.
 28. Ferreira-Dos-Santos G, Hurdle MFB, Gupta S, Clendenen SR. Ultrasound-Guided Percutaneous Peripheral Nerve Stimulation for the Treatment of Lower Extremity Pain: A Rare Case Report. *Pain Pract*. 2019;19(8):861-5. DOI: 10.1111/papr.12810.
 29. Langford B, Mauck WD. Peripheral Nerve Stimulation: A New Treatment for Meralgia Paresthetica. *Pain Med*. 2021;22(1):213-6. DOI: 10.1093/pm/pnaa326.
 30. Fernández C, Arias JL, El Bachiri YR, Plaza G, Cleland JA. Ultrasound-guided percutaneous electrical stimulation for a patient with cubital tunnel syndrome: a case report with a one-year follow-up. *Physiother Theory Pract*. 2022;38(10):1564-9. DOI: 10.1080/09593985.2020.1843211.



REVIEW

Bilingual article English/Spanish

Rev Esp Podol. 2024;xx(x):xx-xx

DOI: <http://dx.doi.org/10.20986/revesppod.2024.1687/2024>

Percutaneous electrical stimulation as a pain treatment caused by the most common compressive nerve syndromes in the foot and ankle. Literature review

Estimulación eléctrica percutánea como tratamiento del dolor ocasionado por los síndromes compresivos nerviosos más frecuentes en pie y tobillo. Revisión bibliográfica

Laura Regife Fernández, Marta Moreno Fresco y Ramón Mahillo Durán

Departamento de Podología. Facultad de Enfermería, Fisioterapia y Podología. Universidad de Sevilla, España

Keywords:

Nerve entrapment, pain, neuromodulation, PENS, foot, ankle.

Abstract

Chronic pain triggers emotional, physical, economic, and social consequences for patients, thus causing one of the most costly health problems for society. This unpleasant experience manifests in nerve entrapment syndromes in multiple ways. Therefore, in the face of failed conservative therapies, the introduction of new treatments such as percutaneous electrical stimulation reflects promising results in reducing painful symptoms. Thus, the main objective of this literature review is to assess the effectiveness of the percutaneous electrical stimulation technique in the treatment of neuropathic/chronic pain caused by the most frequent nerve entrapment syndromes in the foot and ankle.

A search has been conducted on various scientific databases during the months of February and March 2023. After applying inclusion and exclusion criteria, a total of 30 articles were selected and analyzed. Of these, 18 articles meeting the search criteria were identified and, consequently, included in the discussion.

In conclusion, it is observed that the technique demonstrates its short-term effectiveness in reducing musculoskeletal, neuropathic, or postoperative pain, as well as medication intake. We have encountered difficulties in demonstrating its effectiveness in nerve entrapment syndromes in the foot and ankle, although it has shown efficacy for those occurring in other parts of the body. Established authors employ varied intervention protocols, with the majority alternating high and low frequencies within a 20-30 minute interval.

Palabras clave:

Atrapamiento nervioso, dolor, neuromodulación, PENS, pie, tobillo.

Resumen

El dolor crónico desencadena consecuencias emocionales, físicas, económicas y sociales para el paciente, ocasionando así uno de los problemas de salud más costosos para la sociedad. Esta experiencia desagradable se manifiesta en los síndromes de atrapamiento nervioso de múltiples maneras. Es por ello que, ante terapias conservadoras fallidas, la introducción de nuevos tratamientos como la estimulación eléctrica percutánea reflejan mostrar buenos resultados en cuanto a la disminución de la clínica dolorosa. De esta manera, el objetivo principal de esta revisión bibliográfica fue conocer la efectividad de la técnica de estimulación eléctrica percutánea en el tratamiento del dolor neuropático/crónico, ocasionado por los síndromes de atrapamiento nervioso más frecuentes en el pie y tobillo.

Se ha realizado una búsqueda en diversas bases de datos científicas durante los meses de febrero y marzo de 2023. Tras aplicar criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron y analizaron un total de 30 artículos. De estos, 18 cumplieron con los criterios de búsqueda y se incluyeron en la discusión.

Como conclusiones se obtiene que la técnica demuestra su efectividad a corto plazo en cuanto a la reducción del dolor musculoesquelético, neuropático o postoperatorio, así como en la ingesta de medicamentos. Hemos tenido dificultades para evidenciar su efectividad en los síndromes de atrapamiento nervioso en el pie y tobillo, aunque sí para los ocasionados en otras partes del cuerpo. Los autores contrastados utilizan diferentes protocolos de actuación. Si bien la mayoría alternan altas y bajas frecuencias en un intervalo de 20-30 minutos.

Received: 13-01-2024

Accepted: 09-03-2024



0210-1238 © The Authors. 2024.
Editorial: INSPIRA NETWORK GROUP S.L.
This is an Open Access paper under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (www.creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Correspondence:

Laura Regife Fernández
lauraregife@gmail.com

Introduction

Pain is a subjective and complex experience defined by the International Association for the Study of Pain (IASP) as “*an unpleasant sensory or emotional experience associated with actual or potential tissue damage, or described in terms of such damage*”¹. When it persists and becomes chronic, the pathophysiological effects and behavioral responses it causes differ from those associated with acute pain. Data shows an incidence of 25.7 % (1.5 billion people) overall², between 19 % and 31 % in Europe, and 30 % in Spain³.

Neuropathic pain is chronic pain caused by a disease or injury of the somatosensory nervous system, leading to the manifestation of signs and symptoms specific to hyperexcitability. Among chronic pain types, it is one with a higher prevalence, ranging from 6.9 % up to 10 %¹.

Nerve entrapment is defined as the prolonged compression on a peripheral nerve at any point along its course due to extrinsic or intrinsic mechanical forces⁴. Symptoms frequently arise from a combination of nociceptive and neuropathic pain¹. Initially, these cause paresthesias and nocturnal pain⁵, and as they become chronic, numbness, burning sensations⁶, electric-like pain with proximal radiation⁷, and muscle weakness or atrophy in advanced cases⁴. Occurrences of these mononeuropathies are increasingly common in clinical practice; however, it remains an underdiagnosed condition with low recurrence⁸. Additionally, the variability of etiologies and clinical manifestations, as well as the deficit in anatomical knowledge by clinicians, often pose a diagnostic challenge⁹.

Sometimes conservative treatment proves to be ineffective, leading to the inclusion of therapies from specialties such as physical therapy to treat patients with chronic pain¹⁰. Neuromodulation is a relatively modern technique defined by the International Neuromodulation Society as “*the alteration of nerve activity through targeted delivery of a stimulus, such as electrical stimulation or chemical agents, to specific neurological sites in the body*”. This somewhat outdated definition is updated by Albornoz M. and Maya J., who define this technique as “*the use of advanced technologies to enhance or suppress nervous system activity in the management of diseases, including implantable or non-implantable devices*”¹¹.

Among the current procedures described, focusing on their application on the Peripheral Nervous System (PNS), electrical stimulation can be applied transcutaneously (TENS) or percutaneously, either temporarily (PENS) or implanted (PNS)¹². PENS is defined by Fidalgo et al.¹³ as “*the electrical stimulation of a peripheral nerve using a needle as an electrode to reduce pain and restore neuromuscular and nervous system functions*”.

As health care professionals, we must keep our knowledge up to date to provide the best possible health care to our patients. Therefore, with this work, we aim to obtain the information and evidence necessary to put our knowledge into practice in the future.

Objectives

Primary endpoint

A bibliographic review was conducted to assess the effectiveness of the percutaneous electrical stimulation technique in the management of neuropathic/chronic pain caused by the most frequent nerve entrapment syndromes in the foot and ankle.

Secondary objectives

1. Show the most suitable parameters used in percutaneous electrical stimulation therapy.
2. Demonstrate the efficiency that the PENS technique presents in terms of reducing different types of pain and nerve entrapment syndromes in the body.

Material and methods

To conduct this bibliographic review, a total of 29 articles and 1 book compiled and selected from February through March 2023 were evaluated through the databases of Pubmed, Dialnet, Science Direct, Scopus, and the Health Library of Universidad de Sevilla in Seville, Spain.

The keywords used were: “nerve entrapment”, “pain”, “neuromodulation”, “PENS”, “Foot” and “ankle”. All of them were combined using the Boolean operators “AND” and “OR”.

Inclusion criteria:

- Articles published from 1999 to this date.
- Studies conducted in humans or animals.
- Bibliographic reviews, systematic and/or meta-analyses, randomized or non-randomized clinical trials, observational studies, or case reports.

Exclusion criteria:

- Articles not related to the topic described in this work.

The broad time span was selected based on the scientific relevance of these studies, taking into account the number of citations, the relevance of the topic addressed, the protocols, and the method of application used, which may be feasible to apply in the field of podiatry, as well as the limitations present in current research.

Results

For the assessment of the results, a total of 18 articles were selected. To represent that the results were obtained in a more schematic way, a flowchart was developed (Figure 1).

Efficacy of PENS therapy for the management of pain

Musculoskeletal pain

Firstly, in their study, Plaza et al.¹⁴ suggest that PENS therapy, when applied as a sole treatment, has a moderate effect on pain and related disability. Additionally, they found that combined with other interventions PENS therapy proved to be more effective, although this assumption seemed to be population-dependent. These results showed its effectiveness, although the evidence was scarce and evaluated in the short term.

Fidalgo et al.¹³ reviewed its application in neuromusculoskeletal injuries and found that the technique significantly reduced pain and improved other aspects such as muscle strength and endurance, functionality, balance, disability, and medication intake.

Rodríguez et al.¹⁵ evaluated the effects of TENS and PENS therapy on endogenous pain mechanisms in patients with acute or chronic

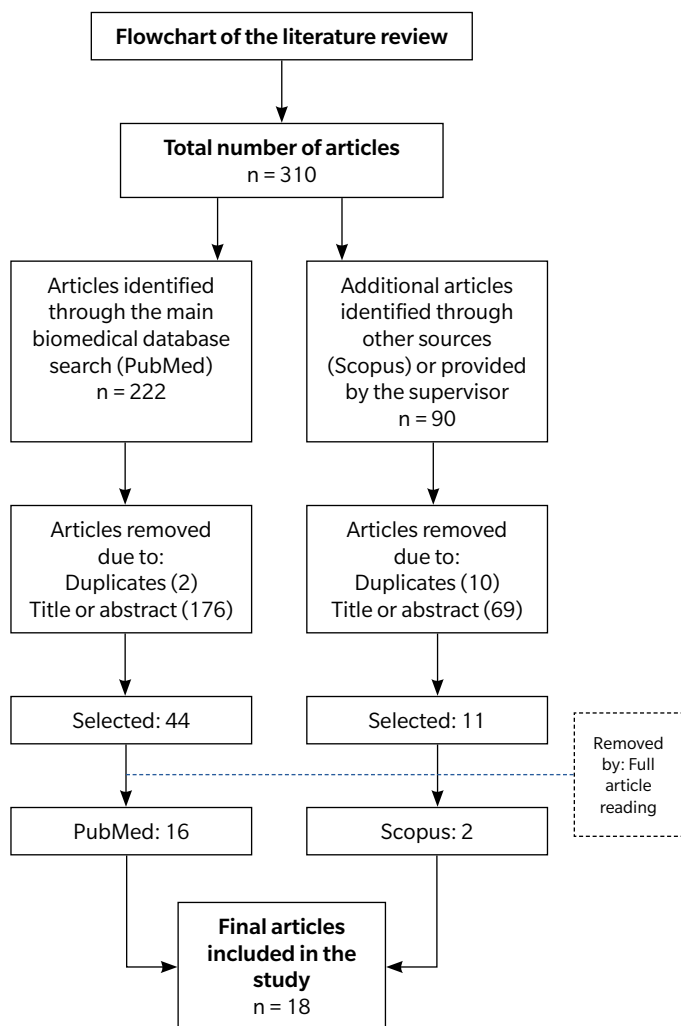


Figure 1. Flowchart.

musculoskeletal pain. They concluded that both techniques produce an immediate effect from mild to moderate in local mechanical hyperalgesia, although it could not be determined if these effects persisted over time.

Chronic low back pain

Weiner et al.¹⁶ found that PENS therapy administered twice a week for a month and a half reduced pain and improved physical function for six months. Additionally, therapy was more effective when combined with aerobic exercises and physical therapy for six weeks.

Ghonomie et al.¹⁷ demonstrated that PENS was more effective than TENS and exercise in the short term, with an immediate pain reduction of 82 %, vs. 26 % and 4 % for TENS and exercise, respectively. Additionally, PENS reduced drug use by 50 %.

Years later, Yokoyama et al.¹⁸ determined that PENS was more effective after 4 sessions, and when applied twice a week for 8 weeks, pain relief persisted for the following 2 months.

Neuropathic pain

Neuromodulation has become a good treatment option when the disorder is resistant to other therapies and phenomena of sensitization and hyperexcitability have established¹⁹.

Raphael et al.²⁰ reduced chronic neuropathic pain and superficial hyperalgesia in 31 patients from 7.5 down to 0.5 on the numerical pain scale (NRS), demonstrating the short-term analgesic efficacy of stimulation.

Years later, Rossi et al.¹⁹ evaluated a new PENS device in 76 patients with chronic peripheral neuropathic pain resistant to medication. Their study demonstrated effectiveness and safety in the short, medium, and long term, providing months of pain relief.

Postoperative pain

Ilfeld et al.²¹ applied electrical currents through the implantation of a probe over the sciatic nerve, femoral nerve, and brachial plexus in foot, ankle, anterior cruciate ligament, and rotator cuff surgery. Stimulation was performed for 14 days after surgery at 100 Hz and 2 cm from the epineurium. As a result, pain scores and opioid consumption were reduced, at least, within the first week after surgery.

Despite the benefits in analgesia, probe implantation may carry risks such as infection, rupture, cable detachment, or nerve damage. In addition to requiring surgery and regular check-ups, just one qualified surgeon is all it takes to perform it²². A less invasive therapy based on its efficacy in musculoskeletal and neuropathic pain, such as PENS, could be a valuable option for acute postoperative pain. This could reduce risks and improve patient satisfaction, for example, in surgeries such as tarsal tunnel approach with persistent postoperative pain.

PENS parameters for pain

The choice of parameters is controversial due to the lack of a universally accepted protocol. Frequency is considered the most relevant parameter according to most authors, despite the diversity of literature on the subject^{10,13}. As Beltrá et al.²² explain, synaptic plasticity is “*the ability of synapses to strengthen or weaken over time in response to increases or decreases in their activity.*” There are two mechanisms of synaptic plasticity with different objectives: depressing the nociceptive pathway (LTD or long-term depression) or enhancing the non-nociceptive pathway (LTP or long-term potentiation).

Klein et al.²³ sought to evaluate long-term neuronal modulation in pain perception following LTD and LTP protocols on the nociceptive pain pathway, i.e., on C fibers. They applied a continuous pulse train, 1 Hz for 16 minutes and 40 seconds in 2 different intensities: 10 and 20 times the detection threshold of each individual. The application of high-intensity protocol on the nociceptive pathway elicited painful stimuli, increased neuronal responses in the dorsal horn of the spinal cord, and generated vasodilation, suggesting it could contribute to neurogenic hyperalgesia and chronic pain. On the other hand, the low-intensity protocol reduced pain perception, providing analgesia for over an hour by inducing depression of nociceptive fibers, which could be beneficial in patients with chronic pain.

Based on Melzack and Wall’s “gate control” theory proposed in

1965, Sdrulla et al.²⁴ investigated how long-term synaptic potentiation (LTP) of A β fibers (non-nociceptive pathway) affects responses of the nociceptive pathway by inducing prolonged inhibition of evoked excitatory postsynaptic current (eEPSC) by afferent arrival of high-threshold fibers in substantia gelatinosa neurons.

They used different stimulation frequencies and found that higher frequencies (50 and 1000 Hz) caused greater inhibition of eEPSCs in both healthy and nerve-damaged animals.

This protocol would be interesting to use in patients with chronic or neuropathic pain whose ability to activate the descending pain inhibitory pathway has been diminished, as this protocol could be used to induce that endogenous analgesia by enhancing AB fibers and the inhibition of nociceptive transmission from C fibers in the dorsal horn of the spinal cord.

Studies by Klein et al.²³ and Sdrulla et al.²⁴ provided the basis for the clinical trial conducted by Beltrá et al.²², in which they aimed to evaluate the sensory and motor effects of both protocols in individuals without previous disease to determine which one was superior regarding the reduction of pain perception. They assessed the effects of these immediately and 24 hours after stimulating the median nerve. The authors developed a new LTP protocol based on previous findings of Sdrulla et al.²⁴. They found that by using 100 Hz pulses in 5 bursts of 5 seconds separated by 55-second rests they could induce synaptic depression on the nociceptive pathway without having to increase frequency. In turn, they created an LTD protocol consisting of the stimulation at 2 Hz for 16 minutes. As a result, the LTP protocol led to distal hypoalgesia without affecting motor performance or producing any painful perception. On the other hand, the LTD protocol did not cause hypoalgesia, reduced strength, and individuals did perceive discomfort.

When investigating the opinion of other authors about the different application parameters, diverse perspectives and viewpoints were found. These protocols are summarized in a Table I.

Regarding the application time, both Beltrá et al.²², Yokoyama et al.¹⁸, Arias et al.²⁵, and Fidalgo et al.¹³ agree that longer applications (>15 minutes) provide better clinical results. Authors such as Ghoname et al.²⁶, Fidalgo et al.¹³, Plaza et al.¹⁴, Rossi et al.¹⁹, Raphael et al.²⁰, and Yokoyama et al.¹⁸ agree that the combination of high and low frequencies improves therapeutic effectiveness by activating opioid receptors (μ , δ , and κ) and consequently different types of opioids related to "gate control" (dynorphins, enkephalins, or endorphins). However, the difference lies in that the LTP protocol by Beltrá et al.²² includes short breaks between impulses to avoid continuous depression at the medullary level, while other protocols do not.

In the future, a comparative study with a larger sample size would be valuable to increase scientific evidence and facilitate the clinical application of these protocols.

Efficacy of PENS technique to reduce pain caused by nerve entrapment syndromes

Ferreira et al.²⁸ addressed a patient with chronic lumbosacral radiculopathy that did not respond to previous treatments, including spinal cord stimulation, who underwent percutaneous placement of a superficial peroneal nerve stimulator. In just two weeks, the patient experienced a decrease in pain, from 8/10 down to 1/10 on the NRS scale, along with improvements in mobility. Analgesia per-

sisted when reassessed after three months. These results suggest that this technique may be an effective alternative for patients with nerve compression who have failed to respond to other therapeutic options.

In another case, Langford et al.²⁹ presented the case of a 57-year-old man with chronic meralgia paresthetica. After pharmacological treatment caused side effects, he underwent surgically implanted peripheral stimulation, which reduced his pain (from 8/10 down to 0/10 on the NRS scale). Despite device removal after 2 months, pain relief persisted for 1 year.

In 2020, García et al.²⁷ conducted a randomized clinical trial to investigate the short-term effects of PENS technique by applying it to the femoral nerve in patients with nonspecific anterior knee pain, considering it could be due to nerve entrapment, among other hypotheses. The results indicated improvements in the patients' pain, functionality, and range of motion for one week after a single stimulation. The authors suggest applying this therapy weekly, although they do not specify the total duration of the treatment.

That same year, Fernández et al.³⁰ presented a case of a 48-year-old patient with neuropathy caused by cubital tunnel syndrome. Despite spending 1 year with symptoms, and a previous unsuccessful attempt with conservative treatments for six months, the patient underwent 3 PENS sessions once a week. In each session, a frequency of 2 Hz was applied for 30 minutes. Improvement was observed after the third session, leading to the addition of active sliding exercises for 2-3 weeks. One month after the last session, the patient experienced improvement that lasted for a year without the need for any additional interventions.

In 2019, Arias et al.²⁵ presented the case of a 43-year-old patient initially diagnosed with lateral epicondylalgia. After experiencing improvement for two years, he relapses after hitting himself while doing physical activity. Despite conservative treatments, physical therapy, and exercises, the pain persisted, with electrical qualities and irradiation to the forearm. Current clinical symptoms suggested the presence of possible radial tunnel syndrome. After intervention with PENS on the trunk of the radial nerve and the posterior interosseous nerve, in addition to a 4-week exercise program, the patient experienced significant improvement in pain and function, achieving complete symptom resolution in the subsequent 5-6 months.

Discussion

The PENS technique appears promising to treat nerve entrapments, although current evidence is limited, mainly based on case reports. Additionally, the lack of specific research in the foot and ankle represents a gap in specialty knowledge.

From the beginning of our research, we sought to expand our knowledge by exchanging experiences with physical therapy and podiatry professionals who use the PENS technique. Initially, we consulted with a physical therapist experienced in nerve stimulation to acquire the necessary knowledge, given the lack of depth with which this topic is addressed in Podiatry degree programs. However, upon further review of the currently existing literature, we noticed the lack of studies supporting the efficacy of PENS in treating pain caused by nerve entrapments in the foot and ankle. As a result, we contacted

Table I. Summary of the different protocols described by the authors^{16-20,22,25-27}.

Authors	Study	Frequency	Pulse duration	Intensity	Time	Treatment duration
Beltrá et al.²²	Sensorimotor effects of percutaneous stimulation protocols of plasticity-inducing peripheral nerves	LTD: 2 Hz LTP: 100 Hz + 5-second rest	250 µs	LTD: pain threshold of each subject LTP: 200 µa	LTD: 16 min. LTP: 5 min	Not provided
Yokoyama et al.¹⁸	Comparison of PENS and TENS stimulation for long-term pain relief in patients with chronic low back pain	4/30 Hz	Not provided	Tolerable electric sensation without muscle contraction	20 min	2 x 8 weeks
Arias et al.²⁵	Ultrasound-guided PENS for a patient with cubital tunnel syndrome	2 Hz	250 µs	Visible motor response (5-6 mA)	30 min	2 x 2 weeks (Complete symptom resolution at 5-6 months post-treatment)
Ghohane et al.¹⁷	PENS for chronic low back pain	4 Hz	0.5 ms	Tolerable electric sensation without muscle contraction	30 min	3 x 3 weeks
Ghohane et al.²⁶	Effect of stimulus frequency on analgesic response to PENS in patients with chronic low back pain	15/30 Hz	0.5 ms	Tolerable electric sensation without muscle contractions	30 min	3 x 2 weeks
Raphael et al.²⁰	PENS in neuropathic pain	2/100 Hz	3 sec	Not provided	25 min	Not provided
Rossi et al.¹⁹	A new minimally invasive approach for neuropathic pain treatment: The PENS study	2/100 Hz	3 sec	0.5 V	25 min	1 session (> 10 % need 2 sessions)
Weiner et al.¹⁶	Efficacy of PENS and therapeutic exercise for older adults with chronic low back pain	100 Hz	Not provided	Moderate. Constant perceptibility of stimulus	30 min	2 x 6 weeks (Pain reduction and disability improvement in 6 weeks with benefits maintained for 6 months)
García et al.²⁷	Ultrasound-guided percutaneous neuromodulation in patients with unilateral anterior knee pain	10 Hz	250 µs	Visible muscle contraction	1.5 min	Once a week

Hz: hertz. mA: milliampere. min: minutes. ms: millisecond. µa: microampere. µs: microsecond. sec: seconds. V: volt.

these specialists with the intention of witnessing firsthand the good results they all reported regarding its application in different cases of nerve entrapments such as Morton's neuroma, Hausser's neuroma, or Tarsal Tunnel Syndrome, among others.

We have been able to confirm the high level of patient satisfaction regarding pain reduction and improvement in functionality, both in the case reports provide and those we have witnessed. Although the results obtained based on each professional's experience are positive, we should mention that each of them uses different action protocols regarding parameters/dosage (frequency and time), needle placement, or type of device, among others.

Finally, and for this reason, we consider it appropriate to conduct a future study with the appropriate methodological design to evaluate the effectiveness of the PENS technique for pain caused by the most frequent nerve entrapments in the foot and ankle, with the intention of documenting and demonstrating the good results we have been able to observe in the routine clinical practice.

Conclusions

The technique has demonstrated short-term effectiveness in reducing musculoskeletal, neuropathic, or postoperative pain, as well as medication intake. Established authors use different action protocols. However, most alternate high and low frequencies within a 20-30 minute interval. There are difficulties in demonstrating the effectiveness of the PENS technique in nerve entrapment syndromes in the foot and ankle, although evidence exists for those occurring in other parts of the body.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

Funding

None.

Authors' contributions

Conception and study design: LRF.
Data collection: LRF.
Result analysis and interpretation: LRF.
Creation, drafting, and preparation of the initial draft of the paper: LRF, MMF.
Review and final acceptance: LRF, MMF, RMD.

References

- Sociedad Española del Dolor. Manual de Medicina del Dolor. Fundamentos, evaluación y tratamiento. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2016.
- Rodríguez EJ, Granados V. La percepción del dolor. Milenaria. 2020;(16):16-8. DOI: 10.35830/mcya.vi16.136.
- Velasco M. Dolor neuropático. Rev Med Clin Condes. 2014;25(4):625-34. DOI: 10.1016/S0716-8640(14)70083-5. DOI: 10.1016/S0716-8640(14)70083-5.
- Neculhueque X, Moyano A, Paolinelli C. Neuropatías por Atrapamiento. Reumatol. 2007;23(1):7-11.
- Flanigan R, DiGiovanni B. Peripheral Nerve Entrapments of the Lower Leg, Ankle, and Foot. Foot Ankle clin. 2011;16(2):255-74. DOI: 10.1016/j.fcl.2011.01.006.
- Ferkel E, Davis WH, Ellington JK. Entrapment Neuropathies of the Foot and Ankle. Clin Sports Med. 2015;34(4):791-801. DOI: 10.1016/j.csm.2015.06.002.
- Guerrero SJ, Coheña M, Montaña P, Perea J, Alfonso N. Síndromes de atrapamiento nervioso en el pie: túnel tarsiano, túnel tarsiano anterior y atrapamiento del nervio de baxter. Rev Esp Pod. 2015;26(4):134-8.
- Pomeroy G, Wilton J, Anthony S. Entrapment neuropathy about the foot and ankle: an update. J Am Acad Orthop Surg. 2015;23(1):58-66. DOI: 10.5435/JAAOS-23-01-58.
- Fabre T, Mouton A, Durandeu A. Compresiones nerviosas del tobillo y del pie. EMC - Podología. 2007;9(3):1-12. DOI: 10.1016/S1762-827X(07)70707-1.
- Valera F, Minaya F. Fisioterapia invasiva. 2.a ed. Barcelona: Elsevier; 2016.
- Albornoz M, Maya J. Electroestimulación transcutánea y neuromodulación. 2.a ed. Barcelona: Elsevier; 2020.
- Láinez JM, Morcillo E. Neuromodulación: una alternativa en las enfermedades neurológicas. Anales (Real Academia de Medicina de la Comunitat Valenciana). 2015;16:2172-8925.
- Fidalgo I, Ramos JJ, Murias R, Rodríguez ES. Effects of percutaneous neuromodulation in neuromusculoskeletal pathologies: A systematic review. Medicine. 2022;101(41):e31016. DOI: 10.1097/MD.00000000000031016.
- Plaza G, Gómez GF, Cleland JA, Arias JL, Fernández C, Navarro MJ. Effectiveness of percutaneous electrical nerve stimulation for musculoskeletal pain: A systematic review and meta-analysis. Eur J Pain. 2020;24(6):1023-44. DOI: 10.1002/ejp.1559.
- Rodríguez L, Arribas A, Fernández J, González Y, Laguarda 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):397-414. DOI: 10.1093/pm/pnac140.
- Weiner DK, Perera S, Rudy TE, Glick RM, Shenoy S, Delitto A. Efficacy of Percutaneous Electrical Nerve Stimulation and Therapeutic Exercise for Older Adults with Chronic Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial. Pain. 2008;140(2):344. DOI: 10.1016/j.pain.2008.09.005.
- Ghoname ESA, Craig WF, White PF, Ahmed HE, Hamza MA, Henderson BN, et al. Percutaneous Electrical Nerve Stimulation for Low Back Pain: A Randomized Crossover Study. JAMA. 1999;281(9):818-23. DOI: 10.1001/jama.281.9.818.
- Yokoyama M, Sun X, Oku S, Taga N, Sato K, Mizobuchi S, et al. Comparison of percutaneous electrical nerve stimulation with transcutaneous electrical nerve stimulation for long-term pain relief in patients with chronic low back pain. Anesth Analg. 2004;98(6):1552-6. DOI: 10.1213/01.ANE.0000112312.94043.DF.
- 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):121-8.
- Raphael JH, Raheem TA, Southall JL, Bennett A, Ashford RL, Williams S. Randomized double-blind sham-controlled crossover study of short-term effect of percutaneous electrical nerve stimulation in neuropathic pain. Pain Med. 2011;12(10):1515-22. DOI: 10.1111/j.1526-4637.2011.01215.x.
- Ilfeld BM, Plunkett A, Vijjeswarapu AM, Hackworth R, Dhanjal S, Turan A, et al. Percutaneous Peripheral Nerve Stimulation (Neuromodulation) for Postoperative Pain: A Randomized, Sham-controlled Pilot Study. Anesthesiology. 2021;135(1):95-110. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003776.
- Beltrá P, Ruiz-del-Portal I, Ortega FJ, Valdesuso R, Delicado-Miralles M, Velasco E. Sensorimotor effects of plasticity-inducing percutaneous peripheral nerve stimulation protocols: a blinded, randomized clinical trial. Eur J Pain. 2022;26(5):1039-55. DOI: 10.1002/ejp.1928.
- Klein T, Magerl W, Hopf HC, Sandkühler J, Treede RD. Perceptual Correlates of Nociceptive Long-Term Potentiation and Long-Term Depression in Humans. J neurosci. 2004;24(4):964-71. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1222-03.2004.
- Sdrulla AD, Xu Q, He SQ, Tiwari V, Yang F, Zhang C, et al. Electrical stimulation of low-threshold afferent fibers induces a prolonged synaptic depression in lamina II dorsal horn neurons to high-threshold afferent inputs in mice. Pain. 2015;156(6):1008-17. DOI: 10.1097/01.pa.in.0000460353.15460.a3.
- Arias JL, Cleland JA, El Bachiri YR, Plaza G, Fernández 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. DOI: 10.2519/jospt.2019.8570.

26. Ghoname ESA, Craig WF, White PF, Ahmed HE, Hamza MA, Gajraj NM, et al. The effect of stimulus frequency on the analgesic response to percutaneous electrical nerve stimulation in patients with chronic low back pain. *Anesth Analg*. 1999;88(4):841-6.
27. García P, De-la-Cruz B, Romero C. Ultrasound-Guided Percutaneous Neuromodulation in Patients with Unilateral Anterior Knee Pain: A Randomized Clinical Trial. *Appl Sci*. 2020;10(13):4647. DOI: 10.3390/app10134647.
28. Ferreira-Dos-Santos G, Hurdle MFB, Gupta S, Clendenen SR. Ultrasound-Guided Percutaneous Peripheral Nerve Stimulation for the Treatment of Lower Extremity Pain: A Rare Case Report. *Pain Pract*. 2019;19(8):861-5. DOI: 10.1111/papr.12810.
29. Langford B, Mauck WD. Peripheral Nerve Stimulation: A New Treatment for Meralgia Paresthetica. *Pain Med*. 2021;22(1):213-6. DOI: 10.1093/pm/pnaa326.
30. Fernández C, Arias JL, El Bachiri YR, Plaza G, Cleland JA. Ultrasound-guided percutaneous electrical stimulation for a patient with cubital tunnel syndrome: a case report with a one-year follow-up. *Physiother Theory Pract*. 2022;38(10):1564-9. DOI: 10.1080/09593985.2020.1843211.