

doi: 10.63360/ipmm.v1.e11

Revisión Sistemática

Efecto de la Estimulación Eléctrica Percutánea sobre la Funcionalidad Muscular Activa. Una Revisión Sistemática

Marc Badia Rosells¹  0000-0003-4355-687X

Jimena Figueroa²  0000-0003-4502-9491

Paola Penagos³  0000-0003-4089-3774

Alberto Carcasona-Otal⁴   0009-0003-8000-7084

¹Tecnocampus, Universitat Pompeu Fabra, Grup de Recerca Evidència i Innovació en Fisioteràpia (GREIF), 08302 Mataró, Barcelona, España.

²Centro de Investigación en Ciencias de la Salud Anáhuac, Av. Universidad Anáhuac, 52786 Lomas Anáhuac, CDMX, México.

³Grupo de investigación en capacidades humanas, salud e inclusión. Escuela Colombiana de Rehabilitación, Bogotá, Colombia.

⁴Grupo de Investigación iHealthy, Instituto de Investigación Sanitaria (IIS) Aragón, University of Zaragoza, 50009 Zaragoza, España.

RESUMEN

Antecedentes y Objetivos: Las intervenciones de Estimulación Eléctrica Percutánea (EEP), en particular las técnicas de neuromodulación percutánea (NMP) y electroacupuntura (EA), han mostrado potencial para actuar sobre los tejidos neuromusculares, principalmente para mejorar el dolor y la funcionalidad. Respecto a la funcionalidad, este estudio tiene como objetivo específico analizar el impacto de las intervenciones de EEP sobre la funcionalidad muscular activa en poblaciones tanto sanas como con patología neuromuscular.

Métodos: Se registró una revisión sistemática en PROSPERO (CRD42024605747) siguiendo las directrices PRISMA. Se realizó una búsqueda bibliográfica en julio de 2024 en las bases de datos PubMed, Cochrane, BVS, Science Direct, Web of Science y Scopus. Se incluyeron ensayos controlados aleatorizados en los cuales un grupo recibió una intervención aislada de EEP y se abordaron variables relacionadas con la funcionalidad muscular activa (como la fuerza, la resistencia o las propiedades contráctiles). La calidad metodológica se evaluó mediante la escala PEDro y el riesgo de sesgo se analizó con la herramienta RoB2.

Resultados: Se incluyó un total de 359 participantes provenientes de 8 estudios. En cuanto a las variables de funcionalidad muscular activa, 5 estudios evaluaron la fuerza, 1 estudio la resistencia, 1 estudio el tiempo de contracción y 1 estudio la excitabilidad nerviosa. La EEP mostró efectos positivos en todas las variables excepto en el tiempo de contracción, donde la EEP no resultó más efectiva que intervenciones no percutáneas.

Discusión: Se sugiere que las intervenciones de EEP son efectivas para mejorar la funcionalidad muscular activa, particularmente en individuos con condiciones neuromusculares que presentan mayor probabilidad de deterioro muscular. No obstante, estos hallazgos deben interpretarse con precaución debido a la heterogeneidad significativa en los protocolos de EEP, los grupos control empleados y las poblaciones estudiadas, lo que dificulta la comparación directa entre estudios.

Conclusiones: La EEP, incluyendo las intervenciones de EA y NMP, constituye un enfoque efectivo para mejorar la funcionalidad muscular activa, específicamente en términos de fuerza isométrica máxima, resistencia y excitabilidad nerviosa, tanto en individuos sanos como en poblaciones con patologías musculoesqueléticas. Se requieren más investigaciones para establecer protocolos estandarizados de aplicación de EEP en entornos de rehabilitación.

Palabras clave: Estimulación Eléctrica Percutánea; Neuromodulación Percutánea; Electroacupuntura; Funcionalidad Muscular Activa; Fuerza; Resistencia; Excitabilidad Nerviosa.

1. Introducción

Los músculos esqueléticos, clasificados como musculatura estriada, se caracterizan por la organización precisa de sus fibras, que son células multinucleadas de gran tamaño dispuestas en fascículos recubiertos por tejido conectivo⁽¹⁾. Esta disposición estructural es esencial para el correcto funcionamiento^(2,3). Las funciones principales de los músculos esqueléticos es mantener la postura corporal, generar fuerza y, en consecuencia, permitir el movimiento del sistema esquelético a través de su inserción en los huesos⁽⁴⁾. Esta generación de fuerza, denominada fuerza muscular, resulta tanto de cambios morfológicos (hipertrofia) como de adaptaciones neuromusculares, las cuales desempeñan un papel clave especialmente en las primeras etapas del desarrollo de la fuerza⁽⁵⁾.

La estimulación eléctrica percutánea (EEP) ha emergido como un enfoque innovador y eficaz para el tratamiento de patologías neuromusculoesqueléticas, principalmente en relación con el dolor y la funcionalidad⁽⁶⁾. Las técnicas clínicas más comunes basadas en EEP son la neuromodulación percutánea (NMP) y la electroacupuntura (EA). Aunque ambas técnicas utilizan una aguja como electrodo para estimular los nervios periféricos, la EA implica la inserción de la aguja en puntos de acupuntura predefinidos⁽⁷⁾, mientras que la NMP consiste en insertar la aguja cerca del trayecto nervioso para estimularlo directamente⁽⁸⁾.

Además de su utilidad para mejorar variables clínicas clave como el dolor y la funcionalidad en poblaciones patológicas, diversos estudios han señalado el potencial de la EEP para mejorar la funcionalidad muscular activa tanto en poblaciones sanas como patológicas⁽⁹⁻¹³⁾. Esta funcionalidad muscular activa hace referencia a aquellos aspectos en los que el músculo participa de forma activa, incluyendo la fuerza, la resistencia, la función contráctil y la excitabilidad nerviosa, sin considerar aspectos pasivos como la elasticidad o la flexibilidad. Las mejoras observadas en la funcionalidad muscular activa tras la aplicación de EEP pueden atribuirse a distintos mecanismos, todos ellos basados en el principio de que la EEP activa las unidades motoras en una secuencia diferente a la del patrón de activación voluntaria normal⁽¹⁴⁾.

Una de las perspectivas sugiere que, cuando la EEP se combina con ejercicio y se aplica en individuos sanos, potencia las ganancias de fuerza a través de tres factores principales: una actividad contráctil continua y extenuante dentro del mismo grupo de unidades motoras durante todo el periodo de ejercicio, un reclutamiento temporal supramáximo cuando se utilizan frecuencias altas (hasta 40 Hz), y una activación sincrónica de las fibras musculares vecinas⁽¹⁵⁾. Otras teorías proponen que las fibras musculares tipo II, caracterizadas por unidades motoras rápidas, son más susceptibles a la estimulación eléctrica, requiriendo una menor intensidad para su activación y, por tanto, una dosis menor para alcanzar mejoras en la fuerza^(15,16). Además, la EEP no solo induce la activación muscular en los músculos tratados directamente, sino que también puede desencadenar contracciones reflejas mediante la estimulación de fibras sensoriales, lo que podría contribuir a una producción adicional de fuerza en el músculo esquelético⁽¹⁷⁾.

Dado el creciente uso de terapias basadas en EEP en el ámbito médico y de la fisioterapia, se justifica la realización de una revisión sistemática que sintetice los datos provenientes de estudios clínicos experimentales, con el objetivo de ofrecer un análisis integral del efecto de las técnicas de EEP sobre la funcionalidad muscular activa.

2. Métodos

La Revisión Sistemática se desarrolló de acuerdo con el protocolo PRISMA⁽¹⁸⁾ y ha sido registrada en el registro prospectivo internacional de revisiones sistemáticas PROSPERO (número de referencia: CRD42024605747).

2.1 Criterios de Elegibilidad

La elegibilidad de los estudios se basó en la lista de verificación PRISMA y en la fórmula PICOS (P = Participantes; I = Intervenciones; C = Comparadores; O = Resultados; S = Diseño del estudio). Se incluyeron los estudios que cumplieron con los siguientes criterios: 1) población sana o con alguna patología; 2) los pacientes recibieron EEP de forma aislada; 3) se comparó con cualquier otro tratamiento; 4) se reportaron resultados relacionados con la funcionalidad muscular activa; 5) solo se consideraron ensayos clínicos aleatorizados redactados en inglés o español. Los criterios de exclusión fueron: 1) estudios que emplearan estimulación eléctrica transcutánea, estimulación mediante implantes quirúrgicos, estimulación transcraneal o estimulación del sistema nervioso central; 2) estudios que incluyeran entrenamiento muscular o tratamientos farmacológicos.

2.2 Fuentes de Datos y Estrategia de Búsqueda

Se realizó una búsqueda electrónica de ensayos clínicos aleatorizados, la cual finalizó el 10 de julio de 2024. Se consultaron las bases de datos PubMed, Cochrane, BVS, Science Direct, Web of Science y Scopus para identificar los estudios. En cuanto a los términos de búsqueda, se definieron cuatro categorías: la primera relacionada con la EEP (“Electric Stimulation Therapy”[-Mesh]) OR (electric*) OR (“percutaneous”); la segunda, con el uso de agujas (needle*); la tercera, con la funcionalidad muscular activa ((“Muscles”[Mesh]) AND (“Contraction” OR “Strength” OR “functionality” OR “endurance” OR “power” OR “neuromuscular”)); y la cuarta, con los criterios de exclusión (“transcutaneous” OR “TENS” OR “TES” OR “EMG”). Una vez establecidos estos términos, se introdujeron en los motores de búsqueda de las diferentes bases de datos y se combinaron mediante los operadores booleanos “AND”, “OR” y “NOT”.

Dos investigadores independientes (MB, JF) revisaron los títulos y resúmenes de las publicaciones identificadas mediante la estrategia de búsqueda y evaluaron los textos completos para su posible inclusión. Cualquier desacuerdo entre ambos investigadores se resolvió mediante discusión y consulta con un tercer revisor (AC).

2.3 Selección de Estudios

Para determinar si los estudios cumplían con los criterios de inclusión, dos revisores (MB, JF) evaluaron cada informe de manera independiente para evitar sesgos, posteriormente compararon sus resultados.

Primero, se recuperaron todos los registros de las seis bases de datos y se eliminaron las publicaciones duplicadas. Posteriormente, se realizó una primera criba de los artículos, seleccionando aquellos que, según la información disponible en el título y resumen, podían cumplir con los criterios de inclusión. Luego se realizó una segunda fase de cribado, en la cual se leyeron

los estudios a texto completo, seleccionando aquellos que cumplieran con todos los criterios de inclusión. Los estudios seleccionados fueron comparados por ambos revisores (MB, JF) y, en caso de desacuerdo, se consultó a un tercer investigador para obtener consenso (AC).

2.4 Proceso de Extracción de Datos

Los mismos dos revisores (MB, JF) que realizaron la selección de los estudios extrajeron los datos de manera independiente. Las discrepancias fueron discutidas, y se consultó a un tercer revisor (AC) cuando fue necesario. Durante la extracción de datos, se recogió la siguiente información de cada estudio: autores y año de publicación, características de la muestra (tamaño muestral, sexo, edad y valores basales de dolor y funcionalidad), criterios de inclusión, intervención (tipo de intervención, parámetros de aplicación y duración), grupo comparador/control, variables principales y sus puntos de evaluación (dolor y/o funcionalidad), variables secundarias, resultados principales y resultados secundarios.

2.5 Evaluación de la Calidad Metodológica/Riesgo de Sesgo

Para evaluar la calidad metodológica de los estudios incluidos se utilizó la escala PEDro. Los dos revisores trabajaron de forma independiente (MB, JF) y posteriormente compararon sus resultados. No fue necesaria la intervención de un tercer revisor. La escala PEDro, desarrollada específicamente para ensayos clínicos aleatorizados, consta de 11 ítems, asignando 1 punto si el artículo cumple con el criterio y 0 si no lo cumple. El ítem 1 verifica si se establecieron criterios de elegibilidad (validez externa), los ítems 2 a 9 evalúan el diseño del estudio (validez interna) y los ítems 10 y 11 evalúan la interpretabilidad de los resultados. La puntuación máxima es de 10 puntos, ya que el primer ítem no se considera en el resultado final. En cuanto a la interpretación, los artículos que obtuvieron al menos 6 de 10 puntos fueron considerados de “alta calidad”, los estudios con entre 4 y 5 puntos fueron considerados de “calidad moderada” y los artículos con menos de 4 puntos fueron considerados de “baja calidad”^(19,20).

Por otro lado, en cuanto al riesgo de sesgo de los estudios incluidos, los dos revisores trabajaron de forma independiente (MB, JF) y posteriormente compararon sus resultados, sin necesidad de involucrar a un tercer revisor. Dado que solamente se incluyeron ensayos clínicos aleatorizados, se utilizó la herramienta Cochrane Risk of Bias 2.0 (RoB2)⁽²¹⁾. El riesgo de sesgo se evaluó con base en la ‘asignación a la intervención’ para los cinco dominios: 1) proceso de aleatorización, 2) desviaciones respecto a las intervenciones planificadas, 3) datos faltantes de resultados, 4) medición de los resultados y 5) selección del informe de resultados. El riesgo general de sesgo se clasificó como “bajo”, “medio” o “alto” para cada resultado.

3. Resultados

3.1 Selección de Estudios

Tras de aplicar las estrategias previamente descritas, se identificaron un total de 1321 estudios en las 6 bases de datos (PubMed: 281, Cochrane: 666, BVS: 59, WOS: 63, Science Direct: 57, Scopus: 195). Tras eliminar los estudios duplicados, se seleccionaron 1272 artículos para la fase de cribado por título y resumen, quedando un total de 49 artículos. Estos 49 estudios fueron analizados en texto completo, y 41 de ellos fueron excluidos por no cumplir con los criterios de inclusión. Por lo tanto, un total de 8 artículos fueron considerados para la revisión sistemática. El diagrama de flujo (Figura 1) muestra con mayor detalle el proceso de búsqueda y selección de estudios, así como los diferentes motivos de exclusión, de acuerdo con los criterios PRISMA.

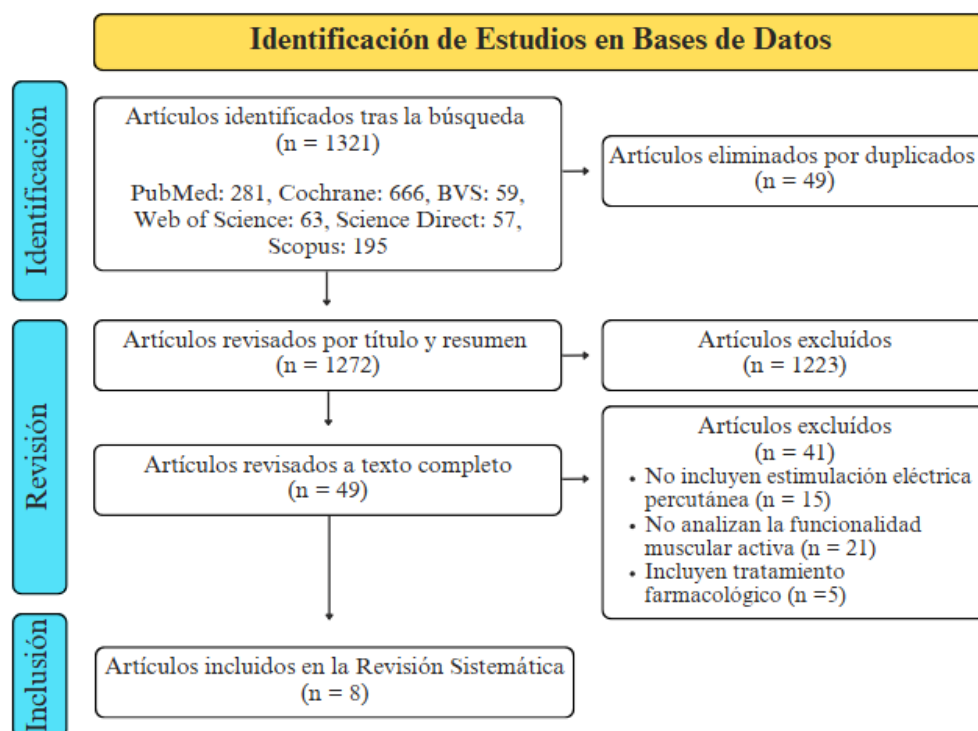


Figura 1. Diagrama de flujo.

3.2 Características de los Estudio

Los datos extraídos de los ocho artículos incluidos en la revisión sistemática se presentan en la Tabla 1 y la Tabla 2, ordenados alfabéticamente por el apellido del primer autor.

3.2.1 Características de la Muestra

Se incluyó un total de 359 participantes en el análisis. Todos los participantes recibieron una intervención de fisioterapia basada en la estimulación eléctrica percutánea (EEP) y orientada a mejorar la fuerza muscular ($n = 234$), las propiedades contráctiles del músculo esquelético ($n = 80$) o la resistencia muscular ($n = 45$). El tamaño muestral de los estudios seleccionados osciló entre 20 y un máximo de 80 participantes. En cuatro estudios, la proporción entre hombres y mujeres fue del 50 %, mientras que un estudio incluyó únicamente hombres⁽¹²⁾, otro únicamente mujeres⁽⁹⁾, uno reportó un 43,3 % de participantes masculinos⁽²²⁾ y un estudio no especificó la distribución por sexo⁽²³⁾. La edad media de los participantes fue de $28,79 \pm 7,5$ años, con un rango de 17 a 54 años. Las poblaciones incluidas en los estudios variaron desde personas sanas hasta grupos específicos, como bailarinas de ballet profesionales, bailarines con aprensión psicológica personal y pacientes con afecciones como epicondilitis lateral, síndrome de acortamiento bilateral de isquiotibiales y dolor lumbar. Las variables relacionadas con la funcionalidad muscular activa incluidas en esta revisión sistemática fueron la fuerza isométrica máxima, la resistencia muscular, las propiedades contráctiles y la excitabilidad nerviosa.

3.2.2 Intervención y Seguimiento

Las intervenciones y el seguimiento variaron entre los estudios. Todos los estudios realizaron una evaluación previa a la intervención como medición basal. Las evaluaciones posteriores a la intervención fueron diversas en cuanto a número y temporalidad: algunos estudios realizaron una única evaluación inmediatamente después del tratamiento^(9,10), a las 2 semanas⁽²³⁾, a la semana⁽¹³⁾ o al mes⁽¹¹⁾. Otros incluyeron múltiples puntos de seguimiento, con una duración de hasta 3 semanas⁽¹²⁾, 10 días⁽²⁴⁾ o 15 minutos⁽²²⁾. En cuanto al número de intervenciones, el 62 % de los estudios aplicaron una única sesión de NMP-e^(9,10,13,22,24) o DN-e⁽¹⁰⁾, mientras que los estudios restantes incluyeron múltiples sesiones: 24 sesiones de EA durante 8 semanas⁽¹²⁾, 6 sesiones de EA durante 2 semanas⁽²³⁾ y 3 sesiones de NMP-e durante 3 semanas⁽¹¹⁾. El 75 % de los estudios emplearon NMP-e^(9-11,13,22,24), mientras que el 25 % restante utilizaron EA^(12,23).

3.2.3 Resultados

La funcionalidad muscular activa fue analizada en todos los estudios incluidos^(9-13,22-24). Además, algunos estudios analizaron el rango de movimiento^(9,10,13), el dolor^(11,13,22,24), variables neurológicas que contribuyen a la función muscular⁽¹⁰⁻¹²⁾ y la temperatura⁽²²⁾.

Respecto a la funcionalidad muscular activa, el 30 % de los estudios analizaron variables relacionadas con los cambios a nivel neural que afectan directamente a dicha funcionalidad. Por un lado, la cronaxia y el índice de acomodación se evaluaron mediante la curva fuerza-tiempo⁽¹¹⁾, una prueba de excitabilidad nerviosa basada en la relación entre la intensidad de un impulso eléctrico rectangular monofásico y su duración necesaria para provocar una respuesta motora al estimular eléctricamente un nervio motor⁽²⁵⁾. Por otro lado, el tiempo de contracción

se evaluó mediante tensiomiografía⁽¹⁰⁾, una técnica utilizada para valorar las propiedades contráctiles de la musculatura esquelética^(26,27).

El 70 % restante de los estudios analizaron variables relacionadas con capacidades musculares activas más genéricas, como la resistencia muscular⁽⁹⁾ y la fuerza máxima isométrica (FMI) en diversos grupos musculares: dorsiflexores del tobillo⁽¹²⁾, músculos de la cadera⁽¹³⁾, músculos de la prensión manual^(23,24) y flexores de los dedos⁽²²⁾. La resistencia se evaluó mediante la repetición de un ejercicio hasta la fatiga o la imposibilidad de continuar⁽⁹⁾, utilizando específicamente un ejercicio de elevación del talón. La FMI se evaluó principalmente mediante dinamometría^(13,22,24), un dispositivo que mide la fuerza en función de la compresión o elongación de un resorte, siguiendo la ley de elasticidad de Hooke dentro de su rango de medición. En otro estudio, la FMI se evaluó con un vigorímetro⁽²³⁾, un tipo de dinamómetro de prensión manual que consiste en un globo de goma comprimido con la mano, conectado por un tubo a un manómetro que registra la presión del aire en kilopondios por centímetro cuadrado. Por último, la FMI también se evaluó mediante la prueba de contracción voluntaria máxima⁽¹²⁾, que consiste en realizar contracciones isométricas máximas contra un transductor de fuerza, de forma rápida y con la máxima fuerza posible.

Tabla 1. Características de los estudios incluidos.

Autores y año	Características de la muestra	Criterios de inclusión	Intervención	Comparador	Variables principales y Seguimiento	Resultados principales
De-la-Cruz-Torres et al., 2021	N: NMP-e (12); GC (12) Género (Hombre/Mujer): NMP-e (6/6); GC (6/6) Edad (años): NMP-e (49.4 ± 7.6); GC (49.4 ± 5.5) IMC (kg/m2): NMP-e (23.44 ± 2.5); GC (22.98 ± 2.23) Duración de los síntomas (meses): NMP-e (13.6 ± 9.10); GC (12.4 ± 8.06) Cronaxia basal (curva fuerza-tiempo): NMP-e (0.70 ± 0.2); GC (0.74 ± 0.2) Índice de acomodación basal (curva fuerza-tiempo): NMP-e (2.35 ± 0.5); GC (2.45 ± 0.4)	Dolor unilateral en la cara lateral del codo ≥3 meses. Dolor unilateral a menos de 2 cm del epicóndilo lateral en extensión resistida de la muñeca.	NMP-e	Sin intervención	Cronaxia e Índice de acomodación (curva fuerza-tiempo): Valoración basal y 1 mes post-intervención	Cronaxia: No se encontraron DES ni intragrupo ni entre grupos. Índice de Acomodación: Se encontraron DES a favor del grupo de NMP-e en la evaluación post-intervención (p = 0.001).
De-la-Cruz-Torres et al., 2020	N: NMP-e (20); Punción (20); NeuroD (20); Estiramiento (20) Género (Hombre/Mujer): NMP-e (10/10); Punción (10/10); NeuroD (10/10); Estiramientos (10/10) Edad (años): NMP-e (22.8 ± 3.01); Punción (23.7 ± 4.26); NeuroD (22.8 ± 6.76); Estiramientos (21.3 ± 4.26) IMC (Kg/m2): NMP-e (23.01 ± 2.08); Punción (22.8 ± 2.15); NeuroD (23.1 ± 2.33); Estiramientos (22.3 ± 1.73) TcBF-I basal (ms): NMP-e (37.9 ± 14.18); Punción (36.5 ± 10.23); NeuroD (37.5 ± 10.40); Estiramientos (39.5 ± 13.11) TcBF-D basal (ms): NMP-e (41.4 ± 7.74); Punción (45.6 ± 7.62); Neuro D (40.4 ± 10.03); Estiramientos (40.8 ± 5.09) TcST-I basal (ms): NMP-e (39.1 ± 7.41); Punción (38.8 ± 7.34); NeuroD (38.9 ± 7.90); Estiramientos (29.3 ± 11.78) TcST-D basal (ms): NMP-e (37.9 ± 7.72); Punción (34.7 ± 6.45); NeuroD (39.1 ± 11.55); Estiramientos (37.7 ± 6.72)	Síndrome bilateral de isquiotibiales acortados. Test de Elevación de Pierna Recta ≤ 70.	NMP-e	Estiramiento: Estiramiento pasivo NeuroD: Deslizamientos neurodinámicos Punción: Punción neural ecoguiada	Tiempo de Contracción de la Pierna No Intervenida (tensiomiografía): Valoración basal e inmediatamente post-intervención.	Tiempo de Contracción de la Pierna No Intervenida: No hubo DES entre grupos ni para el bíceps femoral (p = 0.068) ni para el semitendinoso (p = 0.998). El análisis intragrupo no se realizó para esta variable. Sin embargo, la pierna no intervenida en el post-intervención mostró los siguientes cambios en media y D _S para el tiempo de contracción: Biceps femoral: NMP-e (−1.6 ± 5.36), Estiramiento (−0.1 ± 2.42), NeuroD (−0.1 ± 3.27), y Punción (−3.0 ± 3.87) Semitendinoso: NMP-e (0.7 ± 6.43), Estiramiento (1.4 ± 6.19), NeuroD (1.8 ± 35.77), y Punción (1.5 ± 4.69).
De-la-Cruz-Torres et al., 2019	N: NMP-e (15); Excéntricos (15); Estiramientos (15) Género (Hombre/Mujer): 0/45 IMC (Kg/cm2): NMP-e (18±4.12); Excéntricos (18±2.62); Estiramientos (17±2.91) Edad (años): NMP-e (21±3.07); Excéntricos (19±3.07); Estiramientos (20±4.07) Test de resistencia basal (nº de repeticiones): NMP-e (19.7±5.18); Excéntricos (19.7±5.07); Estiramientos (16.9±3.50)	Mujeres bailarinas profesionales de ballet. Escala Personal de Aprensión Psicológica: puntuación > 37.5.	NMP-e	Estiramientos: Estiramientos estáticos Excéntricos: Ejercicios excéntricos	Resistencia – Flexores plantares (Test Modificado de Fatiga por Elevación Unilateral del Talón): Valoración basal e inmediatamente post-intervención.	Resistencia – Flexores plantares: Se observaron DES a favor del grupo NMP-e en la valoración post-intervención (p < 0.001).
Huang et al., 2015	N: EA (10); sEA (8); AM (9); sAM (8); GC (10) Género (Hombre/Mujer): 45/0 Edad (años): EA (22.5 ± 2.5); sEA (22.1 ± 2.2); AM (21.6 ± 1.7); sAM (20.9 ± 1.8); GC (24.2 ± 1.5) IMC (Kg/m2): EA (22.7); sEA (24.2); AM (21.2); sAM (24.3); GC (22.5) Baseline FMI left ankle dorsiflexion (MVC test): EA (211.7 ± 38.5); sEA (253.3 ± 27.7); AM (228.0 ± 55.9); sAM (223.2 ± 50.4); GC (260.3 ± 24.4) Baseline FMI right ankle dorsiflexion (MVC test): EA (229.7 ± 47.8); sEA (254.1 ± 20.7); AM (239.2 ± 53.2); sAM (244.9 ± 34.2); GC (255.8 ± 15.2)	Hombres sanos voluntarios. Sin patología musculoesquelética. Sin experiencia previa en sesiones de acupuntura. Diestros de pie.	EA: Electroacupuntura sEA: Electroacupuntura simulada	AM: Acupuntura manual sAM: Acupuntura manual simulada GC: Sin intervención	FMI – Flexores dorsales del tobillo (Test de contracción voluntaria máxima): Valoración basal, inmediatamente post-intervención, y 2 y 3 semanas post-intervención.	FMI – Flexores dorsales del tobillo: Aparecieron DES a favor de la EA y sEA en la valoración inmediatamente post-intervención y a las 3 semanas (p < 0.001). No hubo DES entre grupos en la valoración tras 3 semanas.
Martin-Caro et al., 2023	N: NMP-e (10); sNMP-e (10) Género (Hombre/Mujer): NMP-e (5/5); sNMP-e (6/4) Edad (años): NMP-e (28 ± 8.6); sNMP-e (26.8 ± 9.8) IMC (kg/m2): NMP-e (24.8 ± 3.1); sNMP-e (23.8 ± 23.7)	Voluntarios sanos sin diagnóstico de ninguna patología física, cognitiva o psicológica. Sin medicación ni tratamiento fisioterapéutico durante el estudio ni en los 10 días anteriores. Sin contraindicaciones para recibir punción y/o estimulación eléctrica.	NMP-e	sNMP-e: Neuromodulación percutánea ecoguiada simulada	FMI – Prensión manual (dinamómetro digital de mano): Valoración basal, inmediatamente post-intervención, y 1 y 10 días post-intervención.	FMI - Prensión manual: No se encontraron DES entre los grupos NMP-e y sNMP-e. No se observaron DES intra-grupo para el grupo sNMP-e. Sin embargo, el grupo NMP-e experimentó un descenso significativo del 10.4% (p = 0.02) el día posterior a la intervención. Posteriormente, apareció un aumento significativo del 14.3% (p = 0.01) a los 10 días post-intervención.

Autores y año	Características de la muestra	Criterios de inclusión	Intervención	Comparador	Variables principales y Seguimiento	Resultados principales
Martin-Caro et al., 2022	N: 10 KHz (20); 20 KHz (20); sNMP-e (20) Género (Hombre/Mujer): 10 KHz (11/9); 20KHz (9/11); sNMP-e (6/14) Edad (años): 10 KHz (22.9 ± 4.8); 20KHz (20.8 ± 1.9); sNMP-e (21 ± 2.5) IMC(Kg/m2): 10 KHz (23.7 ± 3.9); 20KHz (22.6 ± 3.3); sNMP-e (23.2 ± 2.4)	Voluntarios sanos entre 18-40 años.	10 KHz:	sNMP-e: NMP-e simulada	FMI – Flexores de los dedos de la mano (dinamómetro digital de mano): Valoración basal, inmediatamente post-intervención, y 15 minutos post-intervención.	FMI - Flexores de los dedos de la mano: Se encontraron DES entre los dos grupos de intervención y el grupo sNMP-e (p < 0.001). Ambos grupos de intervención experimentaron un descenso en la FMI de los flexores de los dedos inmediatamente post-intervención y a los 15 minutos. En contraste con el grupo sNMP-en el que no se observaron cambios.
		Sin alergia al níquel ni intolerancia a la aplicación percutánea de estimulación eléctrica. Sin operaciones previas en los miembros superiores. Sin miedo a las agujas o alguna otra contraindicación para recibir un tratamiento de fisioterapia invasiva.	NMP-e a una frecuencia de 10 KHz 20 KHz: NMP-e a una frecuencia de 20 KHz			
San-Emeterio-Iglesias et al., 2022	N= EstimProx (20); EstimMed (20); EstimDis (20) Género (Hombre/Mujer): EstimProx (10/10); EstimMed (10/10); EstimDis (10/10) Edad (Años): EstimProx (42.40±12.1); EstimMed (43.9±15.3); EstimDis (39.65±11.3) IMC (kg/m2): EstimProx (24.56±3.23); EstimMed (24.22±3.84); EstimDis (23.9±2.76)	Pacientes con dolor lumbar sin tratamiento farmacológico, prótesis de rodilla, trocanteritis o belonefobia.	EstimProx: NMP-e en el recorrido proximal del nervio ciático	Cada grupo de intervención actúa como un comparador activo de los otros dos grupos.	FMI – Músculos de la cadera (dinamómetro digital portátil): Valoración basal y 1 semana post-intervención.	FMI – Músculos de la cadera: Hubo DES intra-grupo (p=0.001) para todas las variables de FMI de la cadera en todos los grupos de intervención. Solamente se encontraron DES entre grupos para la variable FMI de flexión de cadera de la pierna no tratada (p=0.029).
			EstimMed: NMP-e en el recorrido medial del nervio ciático EstimDis: NMP-e en el recorrido distal del nervio ciático			
Tsui et al., 2002	N = EA (10); AM (10)	Dolor a la palpación del epicóndilo lateral, extensión de muñeca resistida, extensión resistida de dedos, y estiramiento pasivo de los extensores del antebrazo.	EA: Electroacupuntura	AM: Acupuntura manual	FMI – Presión manual indolora (vigorímetro): Valoración basal y 2 semanas post-intervención.	Pain Free Handgrip FMI: Se observaron DES a favor del grupo EA (p=0.045).

Los datos se presentan como media ± desviación standard. IMC: índice de masa corporal; DES: diferencias estadísticamente significativas; EA: electroacupuntura; EstimDis: estimulación distal; EstimMed: estimulación medial; EstimProx: estimulación proximal; FMI: fuerza máxima isométrica; GC: grupo control; AM: acupuntura manual; NeuroD: deslizamientos neurodinámicos; NMP-e: neuromodulación percutánea ecoguiada; sEA: electroacupuntura simulada; sAM: acupuntura manual simulada; TcBF-I: tiempo de contracción del biceps femoral izquierdo; TcBF-D: tiempo de contracción del biceps femoral derecho; TcST-I: tiempo de contracción del semitendinoso izquierdo; TcST-D: tiempo de contracción del semitendinoso derecho.

Tabla 2. Descripción de las intervenciones.

Autores y año	Intervenciones	Descripción de la intervención	Parámetros de aplicación	Duración de la intervención
De-la-Cruz-Torres et al., 2021	GI: NMP-e GC: Sin intervención	NMP-e: fue administrada por un fisioterapeuta experimentado. Los sujetos se encontraban en decúbito supino, con los antebrazos en pronación y los codos moderadamente flexionados. El nervio radial se localizó a 4 cm proximal al epicóndilo lateral del húmero mediante ecografía. Antes de insertar la aguja, se utilizó alcohol isopropílico para limpiar la piel.	NMP-e: Se insertó una aguja de acupuntura de acero inoxidable (0,30 mm × 30 mm) con un abordaje en eje corto, perpendicular a la piel, hasta alcanzar el perineurio del nervio radial. Se administró estimulación eléctrica mediante una corriente eléctrica bifásica de onda cuadrada, con una frecuencia de 10 Hz, un ancho de pulso de 250 μs y una intensidad suficiente para provocar una contracción muscular visible durante 1,5 minutos.	NMP-e: una vez a la semana durante 3 semanas.
De-la-Cruz-Torres et al., 2020	GI: NMP-e GC-1: Estiramiento Pasivo GC-2: Deslizamientos Neurdinámicos GC-3: Dry Needling	NMP-e: El participante se encontraba en decúbito prono, con los pies fuera de la camilla. El nervio ciático se localizó en un corte transversal al 50% de la distancia entre el trocánter mayor y la línea articular de la rodilla mediante un ecógrafo con un transductor lineal de alta frecuencia. Antes de insertar la aguja, la piel se limpió con alcohol isopropílico. Un fisioterapeuta experimentado realizó la intervención. Estiramiento Pasivo: Los participantes recibieron estiramiento pasivo de los músculos isquiotibiales de la pierna derecha. El estiramiento se realizó con el participante en posición de decúbito supino, mientras un investigador mantenía pasivamente la pierna en la posición del test de elevación de la pierna recta (SLR, por sus siglas en inglés) (cadera en flexión, rodilla en extensión y tobillo en posición neutra) hasta alcanzar la barrera del movimiento. Durante todo el procedimiento, el investigador supervisó a los participantes para evitar cualquier movimiento compensatorio que pudiera alterar la posición del estiramiento. Deslizamientos Neurdinámicos: Los participantes recibieron deslizamientos neurodinámicos pasivos del nervio ciático en la pierna derecha. Se colocó a los participantes en decúbito supino, con el cuello y la columna torácica apoyados en una posición de flexión. Los deslizamientos consistieron en la aplicación de movimiento/estrés al sistema nervioso de manera proximal mientras se liberaba el movimiento/estrés de manera distal, y posteriormente se invirtió la secuencia. Se alternaron dinámicamente la flexión simultánea de cadera y rodilla con la extensión simultánea de ambas. Esta técnica fue aplicada por un fisioterapeuta experimentado en terapia neurodinámica. Punción Neural Ecoguiada: Los participantes recibieron estimulación mecánica del nervio ciático mediante una aguja. Una vez que la aguja llegó al nervio, ésta no se movilizó. Se utilizó el mismo ecógrafo que en el grupo NMP-e para guiar la intervención..	NMP-e: Se insertó una aguja de acupuntura de acero inoxidable (0,30 mm × 40 mm) mediante un abordaje en eje corto, perpendicular a la piel, hasta alcanzar el perineurio del nervio ciático. Se administró estimulación eléctrica utilizando una corriente eléctrica bifásica de onda cuadrada, con una frecuencia de 10 Hz, un ancho de pulso de 250 μs, e intensidad máxima tolerable para provocar una contracción muscular exacerbada, durante 1,5 minutos. Estiramiento Pasivo: El estiramiento en la posición pasiva del test de elevación de la pierna recta (SLR, por sus siglas en inglés) se mantuvo durante 30 segundos y se repitió tres veces (duración total de 1,5 minutos). Deslizamientos Neurdinámicos: Se realizaron durante 1,5 minutos (aproximadamente 12 repeticiones) en el miembro inferior derecho. Punción Neural Ecoguiada: Se utilizaron las mismas agujas (0,30 mm × 40 mm), técnica de inserción y duración de la intervención (1,5 minutos) que en el grupo NMP-e. Sin embargo, no se aplicó estimulación eléctrica.	NMP-e, Estiramiento Pasivo, Deslizamientos Neurdinámicos y Punción Neural Ecoguiada: una única sesión.
De-la-Cruz-Torres et al., 2019	GI: NMP-e GC-1: Estiramientos Estáticos GC-2: Ejercicios Excéntricos	NMP-e: Los participantes se colocaron en decúbito prono con los pies fuera de la camilla. El músculo flexor largo del dedo gordo se localizó en corte transversal al 50 % de la distancia entre la cabeza del peroné y el borde inferior del maléolo lateral, en la cara posterior del peroné, utilizando un ecógrafo; posteriormente, se insertó la aguja y se aplicó la estimulación eléctrica. Antes de la inserción de la aguja, la piel se limpió con alcohol isopropílico. La intervención fue administrada por un fisioterapeuta con cinco años de experiencia en terapia invasiva. Estiramientos Estáticos: Los participantes realizaron un ejercicio de estiramiento estático del músculo flexor largo del dedo gordo. Se colocaron de pie frente a un escalón, posicionando la articulación metatarsofalángica del primer dedo en dorsiflexión. Con el talón apoyado en el suelo, el tobillo se llevó a dorsiflexión máxima mediante la flexión de la rodilla. Durante el estiramiento, el fisioterapeuta supervisó a los participantes para asegurar que adoptaran la posición correcta de estiramiento. Ejercicios Excéntricos: Los participantes realizaron un ejercicio excéntrico del músculo flexor largo del dedo gordo. Colocaron el pie de la misma manera que en el grupo de Estiramiento Estático antes de realizar movimientos de flexión-extensión de la cadera, rodilla, tobillo y primer dedo..	NMP-e: Se insertó una aguja (0,30 mm × 40 mm), perpendicular a la superficie de la piel, en el vientre muscular. A continuación, se aplicó una corriente eléctrica bifásica de onda cuadrada (frecuencia de 10 Hz, ancho de pulso de 250 μs, intensidad máxima tolerable) durante un total de 1,5 minutos para provocar una contracción muscular exacerbada. Estiramientos Estáticos: La posición de dorsiflexión máxima se mantuvo durante 20 segundos y posteriormente el paciente volvió a la posición inicial. Este procedimiento se repitió cuatro veces. Ejercicios Excéntricos: 4 series de 20 repeticiones.	NMP-e, Estiramientos Estáticos y Ejercicios Excéntricos: una única sesión.
Huang et al., 2015	GI-1: Electroacupuntura GI-2: Electroacupuntura simulada GC-1: Acupuntura Manual GC-2: Acupuntura Manual simulada GC-3: Sin intervención	Para todas las intervenciones, los participantes adoptaron una posición supina y se les indicó no contraer voluntariamente el músculo durante la punción. Electroacupuntura y Acupuntura Manual: Se estimularon los puntos de acupuntura ST-36 y ST-39. Se requirió que los participantes experimentaran la sensación de "Deqi" para confirmar la correcta aplicación. Deqi es una mezcla de sensaciones que incluyen dolor sordo, presión, molestia, pesadez, plenitud, calor, frío, entumecimiento, hormigueo y dolor sordo, pero no dolor agudo. Electroacupuntura simulada y Acupuntura Manual simulada: Se aplicaron dos agujas de acupuntura en el vientre muscular del tibial anterior, aproximadamente a 3 cm lateralmente a la cresta anterior de la tibia. Una aguja se colocó en un punto del tercio superior y la otra en el tercio inferior del músculo. No se solicitó a los participantes que experimentaran la sensación de Deqi.	Para todas las intervenciones, se insertó una aguja de acupuntura de acero inoxidable (0,3 mm × 50 mm) perpendicularmente a la piel en el músculo, con una profundidad de 20-30 mm. La duración del tratamiento en cada sesión se incrementó progresivamente, comenzando con 15 minutos durante la primera semana, 20 minutos en la segunda semana y 30 minutos de la tercera a la octava semana. Acupuntura manual y Acupuntura Manual simulada: se aplicaron las técnicas de rotación y levantamiento-inserción durante 15 segundos cada 5 minutos. Electroacupuntura y Electroacupuntura simulada: la estimulación eléctrica consistió en pulsos de corriente constante con onda cuadrada a una frecuencia de 40 Hz, un ancho de pulso de 1 milisegundo, con una intensidad que se incrementó gradualmente hasta el nivel máximo tolerado por los participantes.	Electroacupuntura, Electroacupuntura simulada, Acupuntura Manual y Acupuntura Manual simulada: tres sesiones por semana, durante un total de 8 semanas.

Autores y año	Intervenciones	Descripción de la intervención	Parámetros de aplicación	Duración de la intervención
Martin-Caro et al., 2023	GI: NMP-e GC: NMP-e simulada	Ambas intervenciones se aplicaron en la extremidad superior no dominante con el sujeto en posición de pie. La piel de los participantes fue tratada con un antiséptico. Se realizó un abordaje en el eje largo de los nervios mediano y cubital, colocando la punta de la aguja junto al epineuro de los nervios (a 1 mm), en la cara interna del tercio distal. NMP-e: La estimulación eléctrica se aplicó de forma percutánea a través de la aguja con un estimulador. La intervención se realizó primero en el nervio mediano y luego en el nervio cubital, sin tiempo de descanso entre ambas. NMP-e simulada: Se siguió el mismo procedimiento, pero no se aplicó corriente eléctrica. Sin embargo, los pacientes permanecieron cegados a esta condición, ya que percibían un sonido muy bajo cada vez que el estimulador contactaba con la aguja, lo que les hizo creer que estaban recibiendo estimulación eléctrica.	Para ambas intervenciones se utilizó una aguja de punción seca (0,30 x 0,40 mm). NMP-e: La corriente eléctrica empleada fue de baja frecuencia (10 Hz), con una forma de onda bifásica y simétrica, y un ancho de pulso de 240 µs. La intensidad se ajustó por encima del umbral motor, hasta provocar contracciones visibles de los músculos inervados por ambos nervios, pero por debajo del umbral de dolor de los participantes. La estimulación se administró en intervalos de 10 segundos seguidos de pausas de 5 segundos, hasta completar un tiempo total de intervención de 60 segundos en cada uno de los nervios. NMP-e simulada: No se administró corriente eléctrica.	NMP-e y NMP-e simulada: una única sesión.
Martin-Caro et al., 2022	GI-1: NMP-e a una frecuencia de 10 KHz GI-2: NMP-e a una frecuencia de 20 KHz GC: NMP-e simulada	Las intervenciones se aplicaron en el brazo no dominante tras la desinfección de la piel. Los participantes se colocaron en posición supina. Se realizó un abordaje en eje corto al nervio mediano en la cara anterior del tercio medio del antebrazo. NMP-e 10 KHz y NMP-e 20 KHz: Se aplicó estimulación eléctrica de alta frecuencia, administrando 10 KHz o 20 KHz según el grupo correspondiente. NMP-e simulada: La corriente eléctrica se aplicó inicialmente a una intensidad muy baja, alcanzando únicamente el umbral sensitivo, y luego se redujo gradualmente hasta llegar a cero.	La duración de todas las intervenciones fue de 20 minutos. Se colocaron dos agujas de acupuntura (0.30 mm × 40 mm) cerca del epineurio del nervio mediano (a 1 mm de distancia), una aguja a cada lado del nervio, con una profundidad promedio de 3 cm. NMP-e 10 KHz y NMP-e 20 KHz: Se aplicaron corrientes alternas de alta frecuencia con forma de onda sinusoidal, a una frecuencia de 10 kHz o 20 kHz según el grupo de intervención activa. La intensidad se incrementó progresivamente hasta producir una sensación de hormigueo "fuerte pero cómoda", justo por debajo del umbral motor. Posteriormente, se aumentó la intensidad hasta observar una contracción visible mínima, y luego se redujo ligeramente por debajo del umbral motor. Debido a la acomodación al estímulo, la intensidad fue ajustada cada dos minutos. NMP-e simulada: Se utilizaron los mismos parámetros que en la intervención de 10 kHz, excepto por la intensidad de la corriente, que se ajustó inicialmente hasta alcanzar el umbral sensitivo. Una vez que el participante percibió una sensación de hormigueo durante unos segundos, la intensidad se redujo gradualmente hasta mantenerse en 0 mA durante toda la sesión.	NMP-e 10 KHz, NMP-e 20 KHz y NMP-e simulada: una única sesión.
San-Emeterio-Iglesias et al., 2022	GI-1: NMP-e en el trayecto proximal del nervio ciático GI-2: NMP-e en el trayecto medial del nervio ciático IG-3: NMP-e en el trayecto distal del nervio ciático	NMP-e: La superficie de la piel fue desinfectada antes de la intervención con clorhexidina. Posteriormente, el nervio ciático fue localizado mediante ecografía. Todos los participantes se colocaron en posición prono, con los pies fuera de la camilla. La estimulación se realizó en la extremidad que presentaba restricción en la rotación interna de la cadera, determinada por los investigadores.	El terapeuta insertó una aguja de acupuntura utilizando un abordaje longitudinal hasta alcanzar el perineurio del nervio ciático. El procedimiento se basó en la aplicación de una corriente bifásica continua, de baja frecuencia (3 Hz), con un ancho de pulso de 250 µs y a una intensidad suficiente para provocar una contracción muscular visible. Se realizaron 10 estimulaciones de 10 segundos, con 10 segundos de descanso entre cada una. La aguja utilizada fue diferente para cada grupo: NMP-e proximal: Se utilizó una aguja (0.30 mm × 75 mm) colocada en la parte posterior proximal del muslo. NMP-e medial: Se utilizó una aguja (0.30 mm × 60 mm) colocada en la parte posterior media del muslo. NMP-e distal: Se utilizó una aguja (0.30 mm × 40 mm) colocada en la parte posterior distal del muslo.	NMP-e: una única sesión.
Tsui et al., 2002	GI: Electroacupuntura GC: Acupuntura Manual	Acupuntura manual: Los pacientes adoptaron una posición sentada con las piernas extendidas en la camilla, de forma cómoda y con apoyo en la espalda. La piel fue desinfectada con alcohol. Tras la punción en el punto de acupuntura GB34, la aguja fue manipulada manualmente hasta que el paciente percibió la sensación de Deqi. Posteriormente, se insertó otra aguja en el punto ST38. Electroacupuntura: Tras la inserción de las agujas en los puntos GB34 y ST38 y la obtención de la sensación Deqi, se aplicó estimulación eléctrica a ambas agujas.	Acupuntura manual: Se insertó una aguja de acupuntura estéril (0.22 mm × 25 mm) a una profundidad de 2 cm en ambos puntos de acupuntura. Durante la punción, se pidió a los pacientes que movilizaran activamente el brazo doloroso realizando ejercicios generales de flexión y extensión activa 50 veces en un período de 5 minutos. La duración total del tratamiento fue de 20 minutos. Electroacupuntura: Se utilizaron las mismas agujas y puntos de acupuntura. Para la estimulación eléctrica, se empleó una frecuencia baja de 4 pulsos por segundo, y la intensidad se ajustó hasta alcanzar una sensación tolerable y no dolorosa. El tratamiento tuvo una duración de 20 minutos.	Electroacupuntura y Acupuntura manual: 3 sesiones por semana, durante 2 semanas.

GC: grupo control; GI: grupo intervención; NMP-e: neuromodulación percutánea ecoguiada.

3.3 Evaluación de la Calidad Metodológica/Riesgo de Sesgo

La calidad metodológica de los estudios fue analizada mediante la escala PEDro. Excepto por un estudio⁽²³⁾, que obtuvo una puntuación de 4, lo que indica una calidad moderada, todos los demás estudios incluidos en esta revisión sistemática fueron clasificados como de "alta calidad", con puntuaciones que oscilaron entre 6 y 9 puntos (Tabla 3). La calidad promedio de los estudios analizados fue de 6,62. Concretamente, dos estudios alcanzaron la puntuación más alta de 9 puntos^(22,24), un estudio obtuvo 7 puntos⁽¹¹⁾ y los cuatro restantes recibieron 6 puntos cada uno^(9,10,12,13). Ningún estudio cumplió con el ítem 6, relacionado con el cegamiento de los terapeutas que administraron la intervención. Solo dos estudios cumplieron con el ítem 5, correspondiente al cegamiento de los participantes^(22,24). En todos los estudios, los evaluadores estuvieron cegados (ítem 7), se especificaron los criterios de inclusión y los sujetos fueron aleatorizados (ítems 1 y 2), se obtuvieron medidas de al menos una de las variables principales en más del 85 % de los sujetos (ítem 8), se reportaron los resultados para todos los sujetos que recibieron tratamiento (ítem 9), se presentaron comparaciones estadísticas entre grupos para al menos una variable clave (ítem 10) y se proporcionaron medidas de potencia y variabilidad para al menos una variable principal (ítem 11). En todos los estudios, excepto en el de Tsui y compañeros⁽²³⁾, los grupos fueron similares al inicio en relación con los indicadores pronósticos más relevantes (ítem 4). Finalmente, la asignación fue oculta en el 37,5 % de los estudios (ítem 3)^(11,22,24).

El riesgo de sesgo fue evaluado mediante la herramienta RoB2. Los resultados indicaron que el riesgo general de sesgo varió desde bajo en dos estudios^(13,22), hasta alto en un estudio⁽²³⁾, presentando un riesgo medio en los cinco estudios restantes^(11,10,9,22,12) (Figura 2).

Tabla 3. Evaluación de la calidad metodológica – Escala PEDro

Autores y año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total	Calidad
De-la-Cruz-Torres et al., 2021	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	7	Alta
De-la-Cruz-Torres et al., 2020	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	6	Alta
De-la-Cruz-Torres et al., 2019	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	6	Alta
Huang et al., 2015	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	6	Alta
Martin-Caro et al., 2023	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	9	Alta
Martin-Caro et al., 2022	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	9	Alta
San-Emeterio-Iglesias et al., 2022	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	6	Alta
Tsui et al., 2002	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí	No	No	Sí	Sí	4	Moderada

NO: el estudio no presenta el criterio evaluado. Sí: el estudio presenta el criterio evaluado. 1: Se especificaron los criterios de elegibilidad (este ítem no se toma en cuenta para la puntuación final); 2: Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a los grupos; 3: La asignación fue oculta; 4: Los grupos fueron similares al inicio en cuanto a los indicadores pronósticos más importantes; 5: Hubo cegamiento de todos los sujetos; 6: Hubo cegamiento de todos los terapeutas que administraron las intervenciones; 7: Hubo cegamiento de todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave; 8: Se obtuvieron medidas de al menos un resultado clave en más del 85% de los sujetos asignados inicialmente a los grupos; 9: Todos los sujetos para los cuales se disponía de medidas de resultado recibieron el tratamiento o condición de control asignada o, en caso contrario, los datos de al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar"; 10: Se reportan comparaciones estadísticas entre grupos para al menos un resultado clave; 11: El estudio proporciona tanto medidas puntuales como medidas de variabilidad para al menos un resultado clave.

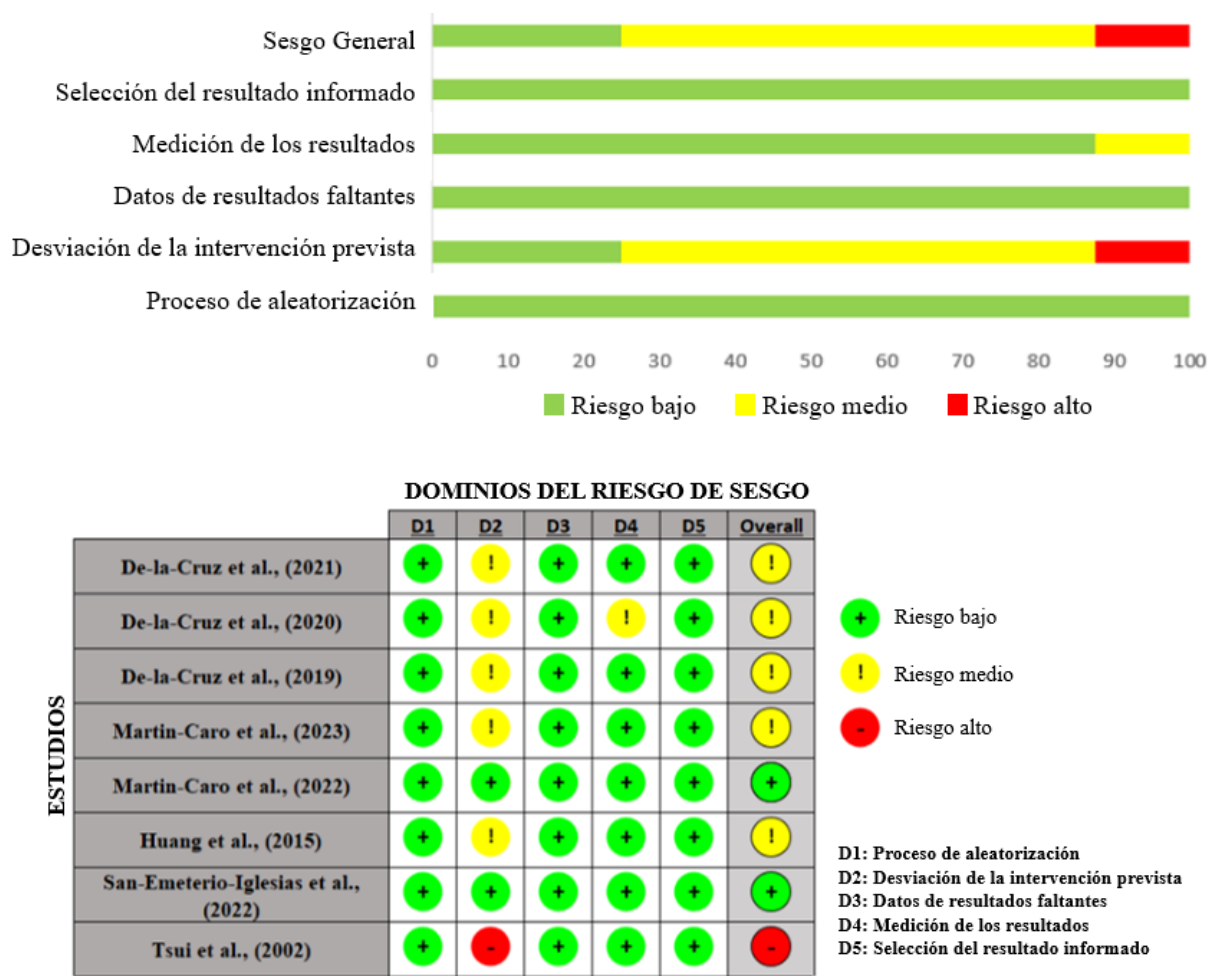


Figura 2. Riesgo de sesgo – RoB2.

3.4 Síntesis de Resultados

La funcionalidad muscular activa fue evaluada mediante diferentes enfoques clínicos en todos los estudios incluidos en esta revisión sistemática. Reconociendo la funcionalidad muscular activa como un complejo músculo-nervioso, algunos estudios se centraron en la FMI^(12,13,22-24) y la resistencia⁽⁹⁾, mientras que otros se enfocaron en la excitabilidad nerviosa⁽¹¹⁾ y en las propiedades contráctiles del músculo⁽¹⁰⁾.

3.4.1 Fuerza Máxima Isométrica (FMI)

La FMI fue la variable más recurrente entre los estudios incluidos en esta revisión sistemática. Huang y compañeros⁽¹²⁾ reportaron una mejora significativa en la FMI de dorsiflexión del pie tras 8 semanas de intervención con EA ($p<0,001$), mientras que el grupo control, que no recibió ninguna intervención, no mostró mejoría ($p=0,846$). Sin embargo, la EA y la EA simulada no mostraron mejores resultados que la acupuntura manual o la acupuntura simulada ($p>0,05$), ya que todas las técnicas evidenciaron incrementos en la FMI en las extremidades tratadas y no tratadas ($p<0,001$).

El estudio de San-Emeterio-Iglesias y compañeros⁽¹³⁾ encontró mejoras estadísticamente significativas en la FMI de la cadera tratada con NMP-e en los movimientos de abducción, rotación

externa e interna, flexión y extensión ($p=0,001$). No obstante, solo la fuerza en flexión de la extremidad no tratada mostró diferencias significativas cuando la intervención se aplicó en diferentes localizaciones del muslo (proximal, medial o distal) ($p=0,029$), aunque con un tamaño del efecto pequeño ($\eta^2=0,1$).

El estudio de Tsuiy compañeros⁽²³⁾ examinó la FMI de prensión manual indolora, y encontraron que tanto la EA como la acupuntura convencional superaron significativamente al grupo control ($p=0,000$ y $p=0,003$, respectivamente), con la EA mostrando un mayor beneficio que la acupuntura convencional ($p=0,045$).

El estudio de Martín-Caro y compañeros⁽²⁴⁾ también evaluó la FMI de prensión manual, pero en este caso sin considerar el dolor. En este estudio no encontraron diferencias entre el grupo de NMP-e y el grupo de intervención simulada en ningún momento de la evaluación. Un hallazgo interesante fue que en el grupo de NMP-e, la FMI de prensión manual disminuyó un 10,4% a las 24 horas postintervención, seguido de un aumento del 14,3 % a los 10 días postintervención.

De manera similar, Martín-Caro y compañeros⁽²²⁾ estudiaron la FMI en la flexión de los dedos de la mano, encontrando diferencias significativas entre los grupos de NMP-e y NMP-e simulada. El grupo con NMP-e mostró una reducción en la FMI inmediatamente y a los 15 minutos postintervención, en comparación con la intervención simulada, que no evidenció cambios respecto al valor basal ($p<0,001$).

3.4.2 Resistencia Muscular

La resistencia muscular tras la aplicación de NMP-e ha sido evaluada mediante la prueba modificada de fatiga por elevación unilateral del talón. Se demostraron niveles significativamente mayores de resistencia muscular cuando se aplicó una intervención basada en NMP-e en comparación con estiramientos ($p<0,001$) e intervenciones excéntricas ($p<0,001$), con un tamaño del efecto grande ($d=1,83$)⁽⁹⁾.

3.4.3 Propiedades Contráctiles de los Músculos y Excitabilidad Nerviosa

En el estudio de De-la-Cruz-Torres y compañeros⁽¹¹⁾, los investigadores utilizaron la curva fuerza-tiempo para evaluar la excitabilidad nerviosa en términos de cronaxia e índice de acomodación. No se encontraron diferencias significativas en la cronaxia entre el grupo de NMP-e y el grupo control sin intervención ($p>0,05$). Sin embargo, solo el grupo de NMP-e mostró una mejora significativa en el índice de acomodación, lo que indica una normalización de la excitabilidad nerviosa en los nervios radiales ($p<0,001$).

Adicionalmente, los investigadores del estudio de De-la-Cruz-Torres y compañeros⁽¹⁰⁾ emplearon tensiomiografía para evaluar el tiempo de contracción, y sus resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de NMP-e, punción seca, neurodinámica y estiramiento.

4. Discusión

El objetivo de esta revisión sistemática fue determinar si las intervenciones de fisioterapia invasiva que emplean EEP son eficaces para mejorar la función muscular activa. Con este propósito, se incluyeron un total de ocho estudios de calidad metodológica alta, excepto uno que fue moderada, y con riesgo de sesgo moderado, todos ellos ensayos controlados aleatorizados.

4.1 Fuerza Máxima Isométrica (FMI)

Con respecto a la EEP y la FMI, el estudio de Huang y compañeros⁽¹²⁾ mostró aumento de fuerza en personas sanas hasta tres semanas después de la intervención con EA, tanto en el miembro tratado como en el contralateral mediante lo que se conoce como efecto cruzado, en línea con estudios previos que utilizaron la misma metodología^(28,29). La EA también mostró una mejora en la FMI del agarre manual en pacientes con epicondilalgia lateral, superior a la obtenida con acupuntura manual⁽²³⁾, como ya se había planteado y demostrado en estudios anteriores, que indican que la EA tiene efectos adicionales a la estimulación manual de los puntos de acupuntura^(30,31).

En contraste, otro estudio concluyó que no hubo diferencias entre EA y acupuntura manual en términos de aumento de la fuerza del cuádriceps⁽³²⁾. Esta ausencia de diferencia podría atribuirse a una dosis insuficiente, ya que los participantes recibieron una única sesión. Otro estudio reportó un hallazgo interesante, indicando que una única sesión tanto de EA como de acupuntura manual provocó una disminución a corto plazo de la fuerza muscular (inmediatamente y 40 minutos después de la intervención para EA, y 40 minutos después para la acupuntura manual). Los autores sugirieron que la metodología de acupuntura podría haber influido en el mecanismo reflejo del cuádriceps, lo que produjo una disminución de la fuerza muscular. Sin embargo, no se realizaron mediciones más allá de los 40 minutos posteriores a la intervención, por lo que se desconocen los efectos a largo plazo⁽³³⁾.

Los resultados de esta revisión sistemática demuestran que la NMP-e también ha mostrado efectos positivos en el aumento de la FMI en pacientes con dolor lumbar⁽¹³⁾, en consonancia con estudios previos en personas con patología unilateral de rodilla⁽³⁴⁾. Además, un estudio en futbolistas sanos que recibieron NMP-e combinada con un programa de entrenamiento reportó mejoras en la funcionalidad muscular activa⁽³⁵⁾. De forma similar, en bailarines profesionales, la NMP-e produjo un aumento inmediato de la fuerza muscular, superando los efectos del estiramiento y de los ejercicios excéntricos⁽⁹⁾. En cuanto a la duración de la efectividad de la NMP-e, el estudio de San-Emeterio-Iglesias y compañeros⁽¹³⁾ encontró que sus efectos se mantuvieron al menos durante una semana, lo cual es consistente con hallazgos anteriores en la misma población con dolor lumbar⁽³⁶⁾ y en pacientes con dolor anterior unilateral de rodilla⁽³⁷⁾.

En nuestra revisión sistemática, solo dos estudios ofrecieron resultados negativos cuando se aplicó NMP-e para mejorar la FMI. El estudio de Martín-Caro y compañeros⁽²⁴⁾ observó una disminución en la FMI de prensión manual en voluntarios sanos 24 horas después de una intervención con NMP de baja frecuencia (10 Hz), que se recuperó a los 10 días. De forma similar, Martín-Caro y compañeros⁽²²⁾ reportaron una disminución reversible de la FMI de los flexores de los dedos tras la aplicación de NMP de alta frecuencia (10 kHz y 20 kHz). Estos hallazgos pueden

explicarse mediante dos hipótesis: Primero, los aumentos en la FMI se atribuyen principalmente a una mayor activación de las fibras musculares tipo II en los músculos estimulados⁽¹⁵⁾. Esto podría aclarar los resultados de Martín-Caro y compañeros⁽²⁴⁾, donde la estimulación de baja frecuencia (10 Hz) pudo haber sido insuficiente para activar de manera efectiva las fibras tipo II en individuos sanos, mientras que la misma frecuencia podría ser adecuada para musculatura dañada en poblaciones patológicas⁽³⁴⁾. Segundo, el estudio de Martín-Caro y compañeros⁽²²⁾ utilizó estimulación de alta frecuencia (10 kHz y 20 kHz), pero no observó aumentos en la FMI. Los autores atribuyeron esto a un posible bloqueo selectivo de ciertas fibras nerviosas inducido por la estimulación de alta frecuencia.

4.2 Resistencia muscular

El estudio de De-la-Cruz-Torres y compañeros⁽⁹⁾ encontró mejoras significativas en la resistencia muscular en bailarines profesionales tras una única sesión de NMP-e. La resistencia fue evaluada mediante una prueba modificada de elevación unilateral del talón sobre un bloque estable, asegurando que los dedos del pie quedaran fuera del borde para eliminar la influencia de la musculatura intrínseca del pie. Estos hallazgos son particularmente relevantes, dado que otro estudio que utilizó la misma prueba de resistencia en la misma población encontró que los bailarines profesionales presentaban un rendimiento inferior en resistencia en comparación con personas no bailarinas⁽³⁸⁾. Aunque esto puede parecer contraintuitivo, dicho estudio también reveló que los bailarines mostraban una mejor capacidad de equilibrio durante la postura unipodal sobre los dedos. En conjunto, estos hallazgos sugieren que los bailarines profesionales dependen más de la musculatura de los dedos que los no bailarines para las tareas de equilibrio y resistencia. Dada la importancia de la musculatura de los dedos en esta población, los resultados de De-la-Cruz-Torres y compañeros⁽⁹⁾ resaltan el potencial de la NMP-e. Futuras investigaciones deberían explorar la aplicación de la NMP-e en la mejora de la resistencia en poblaciones no atléticas.

4.3 Propiedades contráctiles del músculo y excitabilidad nerviosa

El estudio de De-la-Cruz-Torres y compañeros⁽¹⁰⁾ utilizó tensiomiografía para evaluar el tiempo de contracción en la musculatura isquiotibial. Sus hallazgos no revelaron mejoras significativas tras una única sesión de NMP-e en comparación con intervenciones de punción, neurodinámica y estiramiento. Esta ausencia de resultados positivos puede atribuirse a la evidencia que sugiere que las mejoras en la tensión neural pueden ocurrir incluso sin cambios en las señales electromiográficas⁽³⁹⁾.

Por otro lado, el estudio de De-la-Cruz-Torres y compañeros⁽¹¹⁾ encontró una normalización en la excitabilidad nerviosa, al observarse mejoras significativas en el índice de acomodación de la prueba de curva fuerza-tiempo tras la intervención con NMP-e. Esta evidencia respalda el uso de la curva fuerza-tiempo para evaluar la excitabilidad nerviosa en condiciones de neuropatía periférica⁽⁴⁰⁾.

4.4 Limitaciones y líneas de investigación futura

Esta revisión sistemática, a pesar de sus hallazgos relevantes, presenta ciertas limitaciones que deben considerarse al interpretar sus resultados. La principal limitación es la marcada heterogeneidad en los protocolos de intervención con EEP entre los estudios incluidos, con variaciones en la localización de la estimulación y en los parámetros eléctricos (frecuencia, intensidad, duración del pulso, número de sesiones), lo que dificulta las comparaciones directas. Otra limitación es la dificultad para comparar hallazgos de estudios que involucran diferentes poblaciones. Como se ha discutido previamente, la eficacia de una intervención puede depender del grado de disfunción de la población objetivo, siendo algunos parámetros de EEP suficientes para mejorar la funcionalidad muscular activa en poblaciones patológicas, pero potencialmente insuficientes en individuos sanos. Por último, la diversidad de los grupos control, que van desde la ausencia de intervención o procedimientos simulados hasta tratamientos pasivos o activos como el estiramiento pasivo, ejercicios excéntricos o acupuntura manual, complica aún más la interpretación de los resultados. La variabilidad en los grupos de comparación dificulta la homogenización de los resultados y limita la posibilidad de extraer conclusiones definitivas respecto a la efectividad relativa de la EEP. Es importante actuar con cautela al comparar la NMP con la EA, ya que las intervenciones con EA incluidas en esta revisión no utilizaron guía ecográfica, lo cual es un aspecto relevante a considerar.

A pesar de estas limitaciones, esta revisión sistemática ofrece una síntesis exhaustiva de la evidencia disponible sobre los efectos de la EEP en la funcionalidad muscular activa. Los hallazgos sugieren que estas técnicas de fisioterapia invasiva tienen un potencial prometedor como herramienta terapéutica en la rehabilitación de diversas afecciones musculoesqueléticas. Sin embargo, se requieren más investigaciones con diseños metodológicos rigurosos y muestras de mayor tamaño para confirmar estos resultados. Los estudios futuros deberían centrarse en establecer protocolos estandarizados de intervención con EEP, optimizar los parámetros de estimulación y definir los sitios de aplicación más eficaces. Además, ensayos controlados aleatorizados bien diseñados, con grupos de comparación homogéneos, son esenciales para evaluar con precisión la efectividad clínica de la EEP en poblaciones específicas.

5. Conclusiones

La estimulación eléctrica percutánea (EEP), que incluye intervenciones como la electroacupuntura (EA) y la neuromodulación percutánea (NMP), ha demostrado ser efectiva para mejorar la funcionalidad muscular activa tanto en personas sanas como en aquellas con afecciones musculoesqueléticas. Estas técnicas han evidenciado mejoras en la fuerza máxima isométrica y en la resistencia muscular, así como la normalización de la excitabilidad nerviosa en poblaciones específicas. Sin embargo, el tiempo de contracción no mostró una mejora superior en comparación con las intervenciones no percutáneas. Se requiere de más investigación para establecer protocolos estandarizados y llevar a cabo ensayos clínicos aleatorizados de mayor tamaño y homogeneidad, a fin de reforzar la evidencia sobre la efectividad clínica de la EEP en contextos de rehabilitación.

References

1. Morgan J, Partridge T. Skeletal muscle in health and disease. *Dis Model Mech*. 2020;13(2). doi:10.1242/dmm.042192
2. Castellano L, Gache V. Microtubular network and functionality of the striated skeletal muscle. *Med Sci (Paris)*. 2023;54–7. doi:10.1051/medsci/2023146
3. Costa BD de V, et al. Does Varying Resistance Exercises for the Same Muscle Group Promote Greater Strength Gains? *J Strength Cond Res*. 2022;36(11):3032–9. doi:10.1519/JSC.0000000000004042
4. Sánchez Riera C, et al. Muscle Diversity... *Int J Mol Sci*. 2021;22(5):2502. doi:10.3390/ijms22052502
5. Tumkur Anil Kumar N, et al. The Influence of Growth... *Sports (Basel)*. 2021;9(5):59. doi:10.3390/sports9050059
6. Fidalgo-Martin I, et al. Effects of percutaneous neuromodulation... *Medicine (Baltimore)*. 2022;101(41):e31016. doi:10.1097/MD.00000000000031016
7. Yue C, et al. Systematic Review... *J Arthroplasty*. 2018;33(7):2330–7. doi:10.1016/j.arth.2018.01.070
8. Strand NH, et al. Mechanism of Action... *Curr Pain Headache Rep*. 2021;25(7):47. doi:10.1007/s11916-021-00962-3
9. De-la-Cruz-Torres B, et al. Immediate effects... *Acupunct Med*. 2019;37(2):91–7. doi:10.1136/acup-med-2013-010489
10. De-la-Cruz-Torres B, et al. Crossover effects... *Acupunct Med*. 2020;39(5):512–21. doi:10.1177/0964528420920283
11. De-la-Cruz-Torres B, et al. Ultrasound-Guided Percutaneous... *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(9):4877. doi:10.3390/ijerph18094877
12. Huang LP, et al. Unilateral intramuscular needling... *J Exerc Sci Fit*. 2015;13(2):86–93. doi:10.1016/j.jesf.2015.07.001
13. San-Emeterio-Iglesias R, et al. Effect of Ultrasound-Guided... *J Clin Med*. 2022;11(22):6672. doi:10.3390/jcm11226672
14. Heyters M, et al. Twitch Analysis... *Can J Appl Physiol*. 1994;19(4):451–61. doi:10.1139/h94-037
15. Requena Sánchez B, et al. Percutaneous electrical stimulation... *J Strength Cond Res*. 2005;19(2):438–48. doi:10.1519/13173.1
16. Sinacore DR, et al. Type II Fiber Activation... *Phys Ther*. 1990;70(7):416–22. doi:10.1093/ptj/70.7.416
17. Powers RK. “Extra” force evoked... *J Appl Physiol (1985)*. 2009;106(2):353–5. doi:10.1152/japplphysiol.91540.2008
18. Page MJ, et al. The PRISMA 2020 statement... *BMJ*. 2021;372:71–71. doi:10.1136/bmj.l4898
19. Maher CG, et al. Reliability of the PEDro Scale... *Phys Ther*. 2003;83(8):713–21. PMID:12882612
20. Albanese E, et al. Construct validity of the PEDro scale... *Res Synth Methods*. 2020;11(2):227–36. doi:10.1002/jrsm.1385
21. Sterne JAC, et al. RoB 2: a revised tool... *BMJ*. 2019;366:l4898. doi:10.1136/bmj.l4898
22. Martín-Caro D, et al. Effect of Percutaneous Electric Stimulation... *J Clin Med*. 2022;11(7):1832. doi:10.3390/jcm11071832

23. Tsui P, Leung MCP. Comparison... Acupunct Electrother Res. 2002;27(2):107–17. doi:10.3727/036012902816026040
24. Martín-Caro D, et al. The effect on handgrip strength... Anat Rec (Hoboken). 2023;306(4):720–7. doi:10.1002/ar.24887
25. Stillman BC. Some aspects of the theory... Aust J Physiother. 1967;13(2):62–71. doi:10.1016/S0004-9514(14)60976-4
26. Dahmane R, et al. Evaluation of the ability... Med Biol Eng Comput. 2001;39(1):51–5. doi:10.1007/BF02345266
27. Rey E, et al. The Effect of Recovery Strategies... J Strength Cond Res. 2012;26(11):3081–8. doi:10.1519/JSC.0b013e3182470d33
28. Yang H, et al. Electrical acupoint stimulation... Zhongguo Zhen Jiu. 2006;26(5):313–5. PMID:16739839
29. Ozerkan KN, et al. Comparison of the Effectiveness... Acupunct Electrother Res. 2007;32(1):71–9. doi:10.3727/036012907815844129
30. Zhou S, et al. Bilateral effects of 6 weeks'... Arch Phys Med Rehabil. 2012;93(1):50–5. doi:10.1016/j.apmr.2011.08.010
31. Langevin HM, et al. Mechanical signaling through connective tissue... FASEB J. 2001;15(12):2275–82. doi:10.1096/fj.01-0015hyp
32. Plaster R, et al. Immediate effects... Acupunct Med. 2014;32(3):236–41. doi:10.1136/acup-med-2013-010489
33. Kim D, et al. Electroacupuncture and Manual Acupuncture... Healthcare (Basel). 2020;8(4):414. doi:10.3390/healthcare8040414
34. Álvarez-Prats D, et al. Changes in Maximal Isometric Quadriceps Strength... JITPT. 2019;2(1):39–45. doi:10.1055/s-0039-1688551
35. Gallego-Sendarrubias GM, et al. Effects of Percutaneous Electrical Nerve Stimulation... J Clin Med. 2021;10(4):690. doi:10.3390/jcm10040690
36. San-Emeterio-Iglesias R, et al. Correct Sciatic Nerve Management... J Clin Med. 2021;24(6):1067–74. doi:10.1111/ner.13396
37. Garcia-Bermejo P, et al. Ultrasound-Guided Percutaneous Neuromodulation... Appl Sci. 2020;10(13):4647. doi:10.3390/app10134647
38. Rowley KM, et al. Toe Flexor Strength, Flexibility... Med Probl Perform Art. 2015;30(3):152–6. doi:10.21091/mppa.2015.3029
39. McHugh MP, et al. The role of neural tension... Scand J Med Sci Sports. 2012;22(2):164–9. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01180.x
40. Friedli WG, Meyer M. Strength-duration curve... J Neurol Neurosurg Psychiatry. 1984;47(2):184–9. doi:10.1136/jnnp.47.2.184

Información editorial

✉ Correspondencia

acarcasona@unizar.es

Fechas

Recibido: 14.04.2025

Aceptado: 27.05.2025

Publicado: 24.06.2025

Contribuciones de los Autores

Conceptualización, M.B., A.C.O.; metodología, M.B., J.F.; investigación, M.B., J.F.; redacción—preparación del borrador original, M.B., J.F., P.P.; redacción—revisión y edición, A.C.O.; supervisión, A.C.O. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Prof. Carlos Cuevas-Covarrubias, de la Facultad de Ciencias Actuariales de la Universidad Anáhuac, por su valioso apoyo en los cálculos matemáticos de la sección de resultados de este artículo.

Financiación

Esta investigación no recibió financiación externa.

Registro

Esta revisión sistemática fue registrada en PROSPERO (CRD42024605747).

Declaración de Disponibilidad de Datos

Los datos presentados en este estudio están disponibles a través del autor de correspondencia previa solicitud.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Cita sugerida

Badía M, Figueroa J, Penagos P, Carcasona-Otal A. Técnicas de fisioterapia invasiva en la tendinopatía rotuliana. Revisión sistemática. Invasive Physiother Musculoskelet Med. 2025;1:e11. doi: 10.63360/ipmm.v1.e11

Descargo de responsabilidad/Nota del Editor

Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son únicamente del o los autores individuales y contribuyentes, y no de IPMM y/o del o los editores. IPMM y/o el o los editores rechazan toda responsabilidad por cualquier daño a personas o propiedades que resulte de ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.

Copyright

© 2025 Las/os Autoras/es.

Publicado bajo licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>).