

## Efectos neuromusculares de la neuromodulación percutánea ecoguiada. Una revisión sistemática

### *Neuromuscular effects of ultrasound-guided percutaneous neuromodulation. A systematic review*

Figueira-Martínez M, Da Cuña-Carrera I, Justo-Cousiño LA, Lantarón-Caeiro EM

Facultad de Fisioterapia, Universidad de Vigo. Pontevedra, España

Correspondencia:  
Iria Da Cuña Carrera  
iriadc@uvigo.es

Recibido: 28 julio 2021  
Aceptado: 14 septiembre 2021

#### RESUMEN

**Introducción:** la neuromodulación percutánea (PNM) ecoguiada consiste en la estimulación eléctrica percutánea por medio de una aguja que se coloca próxima al nervio o punto motor del músculo diana. Esta técnica invasiva se realiza bajo control ecográfico y tiene las siguientes ventajas: reversibilidad, programabilidad, bajo riesgo y especificidad. El objetivo de esta revisión consistió en conocer los efectos de la neuromodulación percutánea ecoguiada a nivel neuromuscular en seres humanos sanos y/o con diversas condiciones clínicas/patologías. Además de forma específica se determinó el nivel de evidencia científica sobre esta técnica. **Material y método:** se llevó a cabo una revisión de la literatura científica en las bases de datos Medline, Web of Science, PEDro, Scopus y en el buscador PubMed, empleando las palabras clave “*percutaneous neuromodulation*”, “*transcutaneous electric nerve stimulation*” y “*ultrasound*” sin límite en el periodo de búsqueda. El análisis de calidad metodológica se realizó mediante las escalas JADAD y PEDro. **Resultados:** en total 6 estudios cumplieron los criterios de elegibilidad. Los resultados obtenidos muestran que la PNM mejora el equilibrio y la resistencia; además provoca una disminución del dolor. No obstante, los efectos sobre el ROM y la capacidad funcional son contradictorios. **Conclusión:** el número de artículos publicados sobre la PNM ecoguiada son limitados. Los efectos sobre el equilibrio y la resistencia son los que presentan mayor nivel de evidencia científica (moderada-sólida), mientras que los resultados sobre el resto de variables (ROM, capacidad funcional y contractilidad) presentan niveles de evidencia inferiores o contradictorios.

**Palabras clave:** neuromodulación percutánea, estimulación nerviosa eléctrica transcutánea, ultrasonido.

#### ABSTRACT

**Introduction:** *ultrasound-guided percutaneous neuromodulation (PNM) consists of percutaneous electrical stimulation through a needle that is placed close to the nerve or motor point of the target muscle. This invasive technique is performed under ultrasound control and has the following advantages: reversibility, programmability, low risk, and specificity. The aim of this review was to find out the effects of ultrasound-guided percutaneous neuromodulation at the neuromuscular level in healthy humans and/or with various clinical conditions/pathologies. In addition, the level of scientific evidence on this technique was specifically determined. Material and method: a review of the scientific literature was carried out in the databases Medline, Web of Science, PEDro, Scopus and in the PubMed search engine, using the keywords “percutaneous neuromodulation”, “transcutaneous electric nerve stimu-*

lation" and "Ultrasound" without limit in the search period. The methodological quality analysis was performed using the JADAD and PEDro scales. Results: a total of 6 studies met the eligibility criteria. The results obtained show that PNM improves balance and endurance; it also causes a decrease in pain. However, the effects on ROM and functional capacity are contradictory. Conclusion: the number of articles published on ultrasound-guided PNM are limited. The effects on balance and resistance are those with the highest level of scientific evidence (moderate-solid), while the results on the rest of the variables (ROM, functional capacity and contractility) present lower or contradictory levels of evidence.

**Keywords:** percutaneous neuromodulation, transcutaneous electric nerve stimulation, ultrasound.

## INTRODUCCIÓN

La neuromodulación percutánea (PNM) guiada por ultrasonido es una técnica invasiva de interés en el ámbito de la Fisioterapia. Consiste en la inserción de una aguja que se coloca cerca del nervio o punto motor del músculo diana bajo control ecográfico, y a través de la misma se aplica una estimulación eléctrica percutánea<sup>(1)</sup>. Se caracteriza por su reversibilidad, programabilidad, bajo riesgo y especificidad<sup>(2)</sup>. Los beneficios de la PNM son una mejora en la calidad de vida, alivio del dolor y un mejor estado funcional<sup>(3)</sup>. La PNM ha demostrado ser eficaz en el tratamiento de patologías del dolor resistentes al protocolo médico convencional o cirugía; por lo que parece ser un método de elección para mejorar la calidad de vida con un riesgo mínimo<sup>(2)</sup>.

Aunque existen múltiples teorías sobre el mecanismo de acción de la estimulación de nervios periféricos para el tratamiento del dolor, es más comúnmente explicado a través de la *teoría de la gate control* de Melzack y Wall<sup>(4)</sup>. La teoría aclara cómo la activación inducida mediante corriente eléctrica de fibras nerviosas periféricas aferentes mielinizadas de gran diámetro, inhibe la transmisión de señales dolorosas desde las fibras nociceptivas de pequeño diámetro hasta el sistema nervioso central a nivel de la médula espinal<sup>(4, 5)</sup>. Wall y Sweet<sup>(6)</sup> propusieron inducir analgesia estimulando las neuronas aferentes primarias.

Posteriormente, se demostró la eficacia de la neuroestimulación en el manejo de estados de dolor crónico con el uso de estimuladores de nervios periféricos y de médula espinal implantados quirúrgicamente<sup>(7)</sup>.

La estimulación percutánea de nervios periféricos guiada por ultrasonido fue informada por primera vez

*in situ* por Huntoon y Burgher<sup>(8)</sup> en 2009, utilizando un electrodo de neuroestimulación epidural para el tratamiento del dolor neuropático<sup>(9)</sup>. La guía ecográfica permite que un cable pueda ser insertado de manera fiable aproximadamente de 0,5 a 3 cm de distancia de un nervio periférico<sup>(10)</sup>. Cabe destacar también, que, a pesar de existir un riesgo de infección al tratarse de una técnica invasiva, ha mostrado menos riesgo que con otros electrodos de neuroestimulación<sup>(11)</sup>.

En el rastreo bibliográfico efectuado no se encontró ninguna revisión sistemática sobre el tema en consideración, por ello, el objetivo de esta revisión sistemática es conocer los efectos de la neuromodulación percutánea ecoguiada a nivel neuromuscular en seres humanos sanos y/o con diversas condiciones clínicas/patologías. Además de forma específica se determinará el nivel de evidencia científica sobre esta técnica.

## MATERIAL Y MÉTODO

Se llevó a cabo una revisión de la literatura científica entre enero y febrero de 2021, atendiendo a las directrices de la normativa PRISMA. Se realizó una búsqueda en las bases de datos Medline, Web of Science, PEDro, Scopus y en el buscador PubMed. Las palabras clave empleadas fueron "*percutaneous neuromodulation*", "*transcutaneous electric nerve stimulation*" y "*ultrasound*". Para la selección de los estudios sobre PNM se aplicaron como criterios de inclusión: ensayos clínicos realizados en humanos, publicados en inglés o español sin límite en el periodo de publicación de los artículos; y como criterios de exclusión: revisiones, metaanálisis, estudios de serie de casos, estudio de caso, pruebas de

estudio, estudios de factibilidad, notas técnicas y editoriales; muestra compuesta por no humanos; falta de acceso e incumplimiento del objetivo de la revisión.

Se realizó una única ecuación de búsqueda (tabla 1) combinando el término MeSH (*Medical Subject Headings*) “ultrasound” con el término MeSH “transcutaneous electric nerve stimulation” y, por otra parte, con el término libre “percutaneous neuromodulation”. Para ello fueron empleados los operadores booleanos AND y OR. No obstante, en PEDro se emplearon las palabras “percutaneous neuromodulation” ya que con los términos descritos para las otras bases de datos no se obtuvieron resultados. En todas las bases de datos se ha filtrado por tipo de estudio y por idioma de la publicación. Todo el proceso de búsqueda y selección de los estudios fue llevado a cabo por dos revisores.

Para valorar la calidad metodológica de los ensayos clínicos se emplearon las escalas JADAD<sup>(12)</sup> y PEDro<sup>(13)</sup> por dos evaluadores que llegaron a un consenso. La escala JADAD<sup>(12)</sup> está formada por 5 ítems, la respuesta para cada elemento es numérica, siendo 1 una respuesta positiva y 0 una respuesta negativa; la puntuación mínima es 0 y la máxima 5<sup>(14)</sup>. La escala PEDro<sup>(13)</sup> consta de

11 ítems con igual respuesta numérica que la anterior; la puntuación mínima es 0 y la máxima 10 puesto que el primer ítem no se contabiliza<sup>(14)</sup>. Además, se evaluó el riesgo de sesgo de las investigaciones, descrito por *The Chrochane Collaboration*.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, el número de artículos válidos para la realización de esta revisión es de 6 estudios<sup>(15-20)</sup>. En la figura 1 se muestra el flujograma con el desarrollo llevado a cabo para la selección de los artículos.

Se exponen los resultados del análisis de la calidad metodológica efectuado a través de las escalas JADAD y PEDro en las tablas 2 y 3 respectivamente. La calidad metodológica valorada a través de la escala JADAD manifiesta una puntuación de 3 sobre 5 en 3<sup>(15,16,18)</sup> artículos, de 4 sobre 5 en un artículo<sup>(17)</sup>, y de 5 sobre 5 en el artículo de Gilmore y cols.<sup>(19)</sup> y un único artículo<sup>(20)</sup> con una puntuación de 1 sobre 5. Este último caso se debe a su falta de aleatorización, sólo mostrando contabilización

TABLA 1. Bases de datos y ecuaciones de búsqueda.

Base de datos	Ecuación de búsqueda
PubMed	(“Ultrasonography”[Mesh]) AND (“Transcutaneous Electric Nerve Stimulation”[Mesh] OR “percutaneous neuromodulation”)
SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY (ultrasound) AND TITLE-ABS-KEY (“transcutaneous electric nerve stimulation” OR “percutaneous neuromodulation”)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, “ar”)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, “English”))
Medline	((MM “Ultrasonography”) AND ((MM “Transcutaneous Electric Nerve Stimulation”) OR (MM “Percutaneous Neuromodulation”)))
Web of Science	TEMA: (ultrasound) AND TEMA: (“Transcutaneous Electric Nerve Stimulation” OR “percutaneous neuromodulation”) Refinado por: TIPOS DE DOCUMENTOS: (ARTICLE) AND IDIOMAS: (ENGLISH) Período de tiempo: Todos los años. Índices: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, BKCI-S, BKCI-SSH, ESCI, CCR-EXPANDED, IC.
PEDro	“Percutaneous neuromodulation”

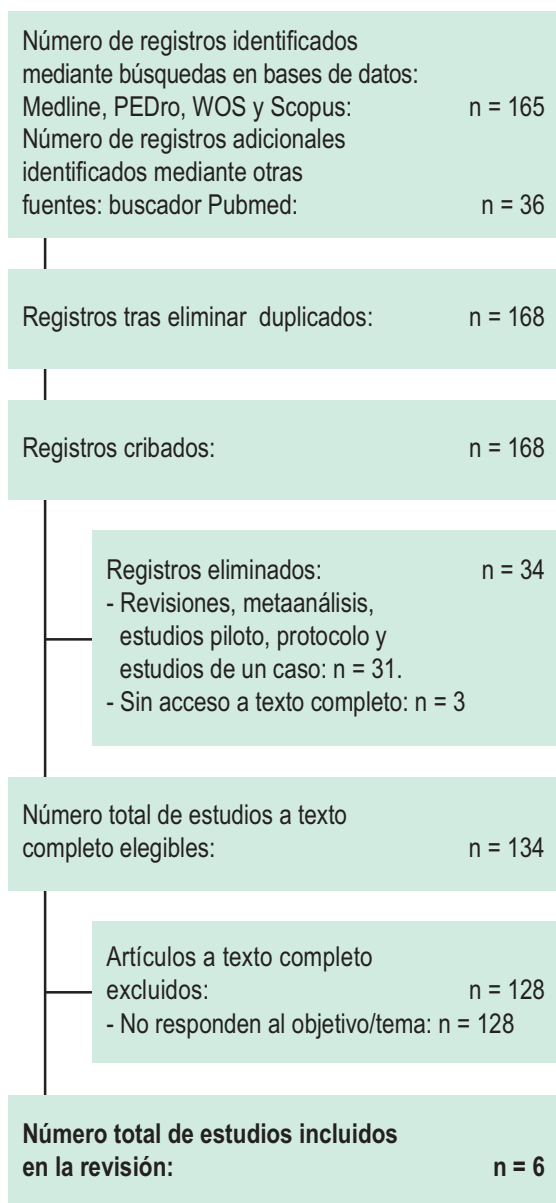


FIGURA 1. Flujograma según la normativa PRISMA con la selección de artículos obtenida.

de pérdidas. Por otra parte, la escala PEDro muestra una puntuación de 7 sobre 10 en 4<sup>(15-18)</sup> de los 6 artículos, de 10 sobre 10 en el artículo de Gilmore y cols.<sup>(19)</sup> y de 3 sobre 10 en otro artículo<sup>(20)</sup>, el cual no cumple con la mayoría de ítems.

En la tabla 4 se muestra la evaluación del riesgo de sesgo en base a *The Chrochane Collaboration*.

La presente revisión tiene como finalidad comprobar los efectos de la PNM ecoguiada. Para ello, se seleccionaron 6 artículos sobre el tema, que son desglosados y comparados entre sí, atendiendo a sus limitaciones. Las características principales de los estudios se resumen en la tabla 5.

### Análisis de las variables

Entre los hallazgos alcanzados destacan la eficacia de la PNM ecoguiada en la mejora del equilibrio y la resistencia<sup>(15, 16)</sup> y en el aumento del rango de movimiento articular<sup>(17, 18)</sup>, la capacidad funcional<sup>(17)</sup> y la flexibilidad<sup>(17, 18)</sup>; así como en la disminución del dolor y la seguridad<sup>(19)</sup>. Pese a no mostrar resultados relevantes también fueron estudiadas las propiedades contráctiles<sup>(18)</sup> de la musculatura. Cada uno de los parámetros anteriormente citados serán analizados a continuación, especificando las diferentes escalas empleadas para realizar las mediciones pertinentes. Es necesario aclarar que la variable flexibilidad es analizada junto al rango de movimiento articular puesto que el procedimiento de análisis es el mismo para las dos variables.

En primer lugar se analizará el equilibrio, variable a estudiar en 2 artículos de De la Cruz y cols.<sup>(15, 16)</sup>, en los que fue evaluado mediante un test de Romberg modificado para bailarines<sup>(22)</sup>. Los resultados alcanzados en ambos artículos demostraron un incremento del equilibrio tras una única sesión de PNM en el músculo flexor largo del primer dedo, por lo que concluyeron que la PNM presenta efectos positivos inmediatos para el equilibrio y mayores efectos que una aplicación de TENS. A raíz de esta comparativa, los estudios de Walsh y cols.<sup>(23)</sup> y de Chakravarthy y cols.<sup>(24)</sup> añaden que se pueden diferenciar efectos a corto plazo en la aplicación de TENS y una mayor resistencia ofrecida por la piel ante el paso de corriente; mientras la PNM presenta unos efectos a largo plazo, debido a que su abordaje de modo percutáneo produce una inflamación por la inserción de la aguja que sensibiliza a nociceptores y facilita una analgesia más duradera.

Otra variable para analizar es la resistencia, parámetro que se estudió en dos artículos de De la Cruz y cols.<sup>(15, 16)</sup>. La prueba de resistencia empleada en ambos

TABLA 2. Evaluación de la calidad metodológica mediante la escala JADAD

Escala JADAD <sup>(12)</sup>	¿El estudio se describe como aleatorizado?	¿Se describe el método para generar la secuencia de aleatorización y este método es adecuado?	¿El estudio se describe como doble ciego?	¿Se describe el método de cegamiento y el método es adecuado?	¿Hay una descripción de las pérdidas de seguimiento y abandono?	Total JADAD
De la Cruz y cols. <sup>(15)</sup>	1	0	0	1	1	3/5
De la Cruz y cols. <sup>(16)</sup>	1	0	0	1	1	3/5
García y cols. <sup>(17)</sup>	1	1	0	1	1	4/5
De la Cruz y cols. <sup>(18)</sup>	1	1	0	1	0	3/5
Gilmore y cols. <sup>(19)</sup>	1	1	1	1	1	5/5
Hasselbeck y Reingruber <sup>(20)</sup>	0	0	0	0	1	1/5

artículos fue descrita por Rowley y cols.<sup>(25)</sup>, y en la que se refleja su aumento en ambos grupos tras una única sesión de PNM.

Este incremento del equilibrio y de la resistencia se puede correlacionar con la disminución del dolor. La nocicepción en patologías crónicas da lugar a una inhibición muscular que produce un déficit en la contracción muscular, afectando al reclutamiento muscular<sup>(26)</sup>. Por tanto, la eliminación de los factores que alteran la contracción promueve su optimización.

El rango articular de movimiento es una variable de estudio en los artículos de De la Cruz y cols.<sup>(15, 16, 18)</sup> y de García y cols.<sup>(17)</sup>. Para las mediciones, se empleó un goniómetro universal, variando las referencias atendiendo a la localización anatómica del estudio. Cabe destacar la controversia en los hallazgos alcanzados en los resultados de los diferentes ensayos clínicos. Así pues, en 2 de los artículos de De la Cruz y cols.<sup>(15, 16)</sup> no se manifiesta mejoría en el rango articular de movi-

miento, mientras que en el artículo de los mismos autores.<sup>(18)</sup> y en el artículo de García y cols.<sup>(17)</sup> existe un incremento del rango articular. Además, en estos 2 últimos artículos<sup>(17, 18)</sup>, no solo existe incremento en el rango de movimiento articular en la extremidad en la que se aplica la intervención, sino que se manifiesta un incremento en la extremidad sin intervención, afirmando que existen efectos cruzados. En todos los artículos se emplearon los mismos parámetros de intensidad, tiempo de aplicación y forma de localización de la PNM. En los artículos de De la Cruz y cols.<sup>(15, 16)</sup> la muestra está compuesta únicamente por bailarinas profesionales de sexo femenino, mientras que en los otros 2 artículos<sup>(17, 18)</sup> los sujetos son de ambos sexos y padecen patología de rodilla o acortamiento bilateral de isquiotibiales. Por lo tanto, nos encontramos ante 2 extremos contrarios. Por una parte, la muestra está compuesta por sujetos que por su profesión trabajan a diario su flexibilidad y que, además,

TABLA 3. Evaluación de la calidad metodológica mediante la escala PEDro.

Escala PEDro <sup>(13)</sup>	De la Cruz y cols. <sup>(15)</sup>	De la Cruz y cols. <sup>(16)</sup>	García y cols. <sup>(17)</sup>	De la Cruz y cols. <sup>(18)</sup>	Gilmore y cols. <sup>(19)</sup>	Hasselbeck y Reingrubet <sup>(20)</sup>
¿Los criterios de selección fueron especificados?	1	1	1	1	1	0
¿Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos?	1	1	1	1	1	0
¿La asignación fue oculta?	0	0	0	0	1	0
¿Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes?	1	1	1	1	1	0
¿Todos los sujetos fueron cegados?	0	0	0	0	1	0
¿Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados?	1	0	0	0	1	0
¿Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados?	0	1	1	1	1	0
¿Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85 % de los sujetos inicialmente asignados a los grupos?	1	1	1	1	1	1
¿Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar"?	1	1	1	1	1	0
¿Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave?	1	1	1	1	1	0
¿El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave?	1	1	1	1	1	1
<b>Total PEDro</b>	<b>7/10</b>	<b>7/10</b>	<b>7/10</b>	<b>7/10</b>	<b>10/10</b>	<b>3/10</b>

TABLA 4. Evaluación del riesgo de sesgo.

Ítems	De la Cruz y cols. <sup>(15)</sup>	De la Cruz y cols. <sup>(16)</sup>	García y cols. <sup>(17)</sup>	De la Cruz y cols. <sup>(18)</sup>	Gilmore y cols. <sup>(19)</sup>	Hasselbeck Reingruber <sup>(20)</sup>
Ítem 1	Riesgo poco claro.	Riesgo poco claro.	Bajo riesgo.	Bajo Riesgo.	Bajo riesgo.	Alto riesgo.
Ítem 2	Riesgo poco claro.	Riesgo poco claro.	Riesgo poco claro.	Riesgo poco claro.	Riesgo poco claro.	Alto riesgo.
Ítem 3	Participantes riesgo poco claro. Personal bajo riesgo.	Participantes riesgo poco claro. Personal bajo riesgo.	Participantes riesgo poco claro. Personal bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Alto riesgo.
Ítem 4	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Alto riesgo.
Ítem 5	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.
Ítem 6	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.	Bajo riesgo.

Ítem 1: Generación de la secuencia aleatorizada (sesgo de selección); Ítem 2: Ocultación de la asignación (sesgo de selección);  
 Ítem 3: Cegamiento de los participantes y del personal (sesgo de realización);  
 Ítem 4: Cegamiento de los evaluadores (sesgo de detección);  
 Ítem 5: Manejo de los datos de resultado incompletos (sesgo de desgaste);  
 Ítem 6: Notificación selectiva (sesgo de notificación).

TABLA 5. Descripción de los artículos en función de la muestra, el objetivo, la intervención y las variables evaluadas.

Autores	Descripción de los artículos
De la Cruz y cols. <sup>(15)</sup>	<p><b>Muestra.</b> n = 45 (mujeres).</p> <p><b>Objetivo del estudio.</b> Examinar los efectos inmediatos del estiramiento, del ejercicio excéntrico y de PNM en el rendimiento del músculo flexor largo del primer dedo en bailarinas jóvenes.</p> <p><b>Intervención.</b> G1: PNM. G2: Estiramiento estático. G3: Ejercicio excéntrico.</p> <p><b>Variables estudiadas.</b> Rango de movimiento (goniometría). Test de equilibrio. Test de resistencia.</p>
De la Cruz y cols. <sup>(16)</sup>	<p><b>Muestra.</b> n = 34 (mujeres).</p> <p><b>Objetivo del estudio.</b> Investigar los efectos de la PNM de un solo disparo frente a un solo disparo de TENS en el rendimiento del músculo FHL en bailarinas profesionales.</p> <p><b>Intervención.</b> G1: PNM. G2: TENS.</p> <p><b>Variables estudiadas.</b> Rango de movimiento (goniometría). Test de equilibrio. Test de resistencia.</p>



TABLA 5. Descripción de los artículos en función de la muestra, el objetivo, la intervención y las variables evaluadas (continuación).

Autores	Descripción de los artículos
García y cols. <sup>(17)</sup>	<p><b>Muestra.</b> n = 30 (16 mujeres y 14 hombres).</p> <p><b>Objetivo del estudio.</b> Evaluar los efectos a corto plazo y cruzados de una intervención de PNM en el nervio femoral en pacientes con dolor de rodilla.</p> <p><b>Intervención.</b> G1: PNM en pacientes con dolor de rodilla. G2: PNM en pacientes asintomáticos.</p> <p><b>Variables estudiadas.</b> Rango de movimiento (goniometría). Dolor (NRS). Capacidad funcional (ViSA-P y escala Kujala).</p>
De la Cruz y cols. <sup>(18)</sup>	<p><b>Muestra.</b> n = 80 (40 mujeres y 40 hombres).</p> <p><b>Objetivo del estudio.</b> Evaluar los efectos cruzados de la PNM en el rango de movimiento de cadera en participantes asintomáticos con reducción bilateral de flexibilidad de cadera.</p> <p><b>Intervención.</b> G1: Estiramiento. G2: Neurodinamia. G3: PNM. G4: Aguja percutánea.</p> <p><b>Variables estudiadas.</b> Flexibilidad (SLR). Rango de movimiento (goniometría). Propiedades contráctiles de la musculatura isquiotibial (tensiomiografía).</p>
Gilmore y cols. <sup>(19)</sup>	<p><b>Muestra.</b> n = 28 (23 mujeres y 5 hombres).</p> <p><b>Objetivo del estudio.</b> Recopilar datos sobre la seguridad y eficacia de la PNM para el dolor neuropático crónico en amputados.</p> <p><b>Intervención.</b> G1: PNM. G2: PNM placebo.</p> <p><b>Variables estudiadas.</b> Dolor (BPI-SF, PGIC, uso de medicamentos). Seguridad (problemas, secuelas o efectos adversos).</p>
Hasselbeck y Reingruber <sup>(20)</sup>	<p><b>Muestra.</b> n = 20.</p> <p><b>Objetivo del estudio.</b> Evaluar los efectos de la estimulación del nervio sacro mediante PNM sobre el esfínter en malformaciones anorrectales</p> <p><b>Intervención.</b> G: PNM del nervio sacro a nivel de S3.</p> <p><b>Variables estudiadas.</b> Respuesta muscular (contracción del esfínter anal o de la flexión plantar ipsilateral).</p>

**BPI-SF:** *Brief Pain Inventory Short Form*; **NRS:** *Numeric rating scale*; **PGIC:** *Patient Global Impression of Change*; **PNM:** Neuromodulación percutánea; **SLR:** *Straight Leg Raise*; **TENS:** Estimulación nerviosa eléctrica transcutánea; **VISA-P:** *Victorian Institute of Sport Assessment*.

por predisposición genética el sexo femenino presenta una mayor flexibilidad<sup>(27)</sup>. Por otra parte, el extremo opuesto lo componen personas con patología que ya parten de acortamiento de isquiotibiales bilateral y con sintomatología dolorosa. En el estudio de Rudolfsson y cols.<sup>(28)</sup> se establece relación entre el dolor y el rango de movimiento articular, de manera que si la PNM actúa en el alivio del dolor mediante la *teoría de la gate con-*

*tro*<sup>(4)</sup> o influyendo en los mediadores bioquímicos, como se sugiere en el estudio de Papuc y Rejdak<sup>(29)</sup>, el rango de movimiento articular también será beneficiado. Por consiguiente, las características de la muestra de estudio pueden determinar variaciones en el rango de movimiento articular.

En relación a la capacidad funcional, se procedió a su medición a través de la escala VISA-P<sup>(30)</sup> y el cuestiona-



rio Kujala<sup>(31)</sup> en el artículo de García y cols.<sup>(17)</sup>. Los resultados manifestaron un aumento de la capacidad funcional a través del cuestionario Kujala y se mantuvieron constantes para la escala VISA-P. Esta diferencia entre pruebas de valoración puede ser debida a que el cuestionario Kujala se centra en aspectos más funcionales y generales a nivel anatómico, mientras que la escala VISA-P se focaliza en aspectos más específicos de la articulación de la rodilla, incidiendo en movimientos que implican los últimos grados de su movimiento. Asimismo, cabe resaltar la relación existente entre la capacidad funcional y el dolor como se menciona en el artículo de Ballinger y cols.<sup>(32)</sup>. La PNM ofrece una disminución del dolor<sup>(4, 29)</sup>, por lo que la capacidad funcional se verá beneficiada.

Otra variable de estudio fueron las propiedades contráctiles de la musculatura en el artículo de De la Cruz y cols.<sup>(18)</sup> realizadas mediante mediciones tensiomiográficas. No existen variaciones con respecto a los valores iniciales en ninguno de los grupos. Los parámetros de PNM programados y su combinación, podrían explicar la ausencia de variación en las mediciones. Así pues, la frecuencia, la forma de onda, la localización y la intensidad necesaria para alcanzar el umbral motor son determinantes en la generación de la contracción muscular mediante electroterapia<sup>(33)</sup>. Si algún parámetro es insuficiente para llegar al umbral motor, no existirá contracción y tampoco variación de las propiedades contráctiles. Por lo demás, el resto de las técnicas de intervención son pasivas y no buscan la contracción muscular en sí.

La seguridad es una variable a valorar en el artículo de Gilmore y cols.<sup>(19)</sup>. Para ello, se tuvieron en cuenta los problemas, secuelas o efectos adversos que pudieran surgir, no alcanzando en ningún momento un nivel alto de gravedad. Podría ser interesante establecer una estratificación previa por grados en vez de realizarla *a posteriori*.

Otra variable por analizar es el dolor, presente en el estudio de Gilmore y cols.<sup>(19)</sup>. Para ello, se empleó la NRS, el cuestionario BPI-SF, la PGIC y el uso de medicamentos. Las diferentes escalas manifestaron una reducción significativa del dolor. Además, el estudio de Rauck y cols.<sup>(34)</sup> corrobora la disminución del dolor provocada por la neuromodulación del nervio ciático, em-

pleando para su medición las mismas variables que Gilmore y cols.<sup>(19)</sup>. En cuanto a lo que concierne al mecanismo de alivio del dolor, se ha planteado la hipótesis de que la estimulación nerviosa periférica puede afectar a la concentración local de mediadores bioquímicos que potencian la respuesta al dolor<sup>(29)</sup>. Los mediadores bioquímicos del dolor, como los neurotransmisores y las endorfinas, conducen a un aumento del flujo sanguíneo local que puede contribuir al desarrollo del dolor crónico<sup>(35)</sup>. En consecuencia, una variación de su concentración repercutirá con un cambio en el alivio del dolor. Otro mecanismo por el cual está evidenciado el alivio del dolor es la *teoría de la gate control*<sup>(4)</sup>, como ya se ha comentado anteriormente.

Por consiguiente, a los efectos de la PNM sobre el dolor, se redujo el consumo de medicamentos. Otro estudio ajeno a esta revisión, el ensayo clínico de Ilfeld y cols.<sup>(36)</sup>, también demostró una disminución del consumo de medicamentos analgésicos después de la aplicación de PNM. No obstante, sería interesante tomar en consideración si la ingesta de medicamentos es a largo plazo para determinar si se ha generado dependencia, dado que el tratamiento a largo plazo genera tolerancia, dependencia física y riesgo de desarrollar adicción<sup>(37)</sup>; por lo que puede existir un sesgo a la hora de cuantificar el dolor, así pues, cuanto mayor es el período de tiempo que el sujeto lleve medicándose, mayor será su dependencia y adicción a los fármacos analgésicos. De cara a otras investigaciones sería de utilidad indicar el inicio del tratamiento farmacológico y su duración.

Por último, en el artículo de Hasselbeck y Reingruber<sup>(20)</sup> se observa que está limitado en cuanto a variables de estudio, únicamente se valora la presencia o ausencia de contracción muscular del esfínter anal o de flexión plantar ipsilateral, y no aporta información sobre otras variables de interés, como pueden ser la capacidad funcional y la fuerza de contracción muscular generada. Esto puede ser debido a un factor condicionante de las variables: la edad de la muestra. Al tratarse de niños de entre 23 días y 8 años, es más complejo cuantificar determinadas variables como la calidad de vida, aunque si la muestra estuviera formada por adultos el abanico de variables analizadas podría incrementarse. No obstante, la publicación de Hassel-

beck y Reingruber<sup>(20)</sup> obtuvo una baja puntuación en la escala PEDro (3 sobre 10) por lo que los resultados deben considerarse con cautela.

### Características de la muestra

Para el análisis de la muestra de los diferentes estudios nos centraremos en 4 parámetros de interés: el tamaño, el sexo, la práctica deportiva y la localización.

El tamaño muestral de los diversos estudios abarca desde una muestra de 20 sujetos en el estudio de Hasselbeck y Reingruber<sup>(20)</sup> hasta 80 sujetos en el estudio de De la Cruz y cols.<sup>(18)</sup>. A excepción del resto de artículos, los estudios de Hasselbeck y Reingruber<sup>(20)</sup> y de Gilmore y cols.<sup>(19)</sup> no efectúan un cálculo del tamaño muestral. Por ello, se sugiere que en futuras investigaciones se realice el cálculo del tamaño muestral para que los resultados puedan ser extrapolados<sup>(38)</sup>.

Las muestras están formadas por sujetos de ambos sexos, a excepción de 2 de los artículos de De la Cruz y cols.<sup>(15, 16)</sup> cuya muestra está formada exclusivamente por sujetos de sexo femenino. Este aspecto, como se ha comentado anteriormente, puede influenciar en los resultados de los estudios. Así pues, el rango de movimiento articular se puede ver incrementado por la predisposición genética del sexo femenino a un mayor grado de flexibilidad<sup>(27)</sup>.

La muestra de dos de los artículos de De la Cruz y cols.<sup>(15, 16)</sup> está compuesta por deportistas, concretamente bailarinas profesionales, por lo que a la hora de valorar los parámetros de resistencia, equilibrio y rango de movimiento articular, pueda existir cierta variación en los resultados en comparación con sujetos no deportistas. Esto se debe a que ya parten con un nivel mayor de desarrollo y trabajo de estas 3 variables. Por lo tanto, sería de interés añadir un grupo control de no deportistas para observar si la variación de los parámetros de estudio es mayor.

En lo que concierne a la localización de la intervención, los artículos de De la Cruz y cols.<sup>(15, 16)</sup> comparten misma ubicación, el flexor largo del primer dedo del pie. Por ende, se puede señalar que ambos artículos se respaldan de forma recíproca, a pesar de no compartir un mismo objetivo. El resto de los artículos

realizan aplicaciones de PNM en diferentes localizaciones.

### Limitaciones de los estudios

La primera limitación a tener en cuenta es el tipo de artículo. Así pues, esta revisión la conforman 5 ensayos clínicos aleatorizados y uno no aleatorizado. De modo que la falta de aleatorización en el estudio de Hasselbeck y Reingruber<sup>(20)</sup> podría suponer una pérdida de fiabilidad y calidad<sup>(12)</sup>. Asimismo, solo aparece grupo de control en el artículo de Gilmore y cols.<sup>(19)</sup>, por lo que se sugiere como factor a tener en cuenta en futuras investigaciones.

Tras realizar una búsqueda bibliográfica acerca del equilibrio y la resistencia, se puede percibir la necesidad de un mayor número de artículos que analicen dichas variables. No obstante, cabe destacar que no se refleja lo que puede suceder en una población estándar puesto que en ambos artículos la muestra se conforma de bailarines; por lo que se deberían realizar más estudios en otras poblaciones.

En cuanto a la localización de la intervención, los estudios la realizan principalmente en el miembro inferior, siendo lo más proximal la neuromodulación de las raíces sacras. Por lo que, en futuras investigaciones, sería de interés realizar la intervención en otras localizaciones para poder evidenciar la técnica atendiendo a su ubicación anatómica, aumentando su especificidad.

Por otra parte, tanto el estudio de Gilmore y cols.<sup>(19)</sup> como el de Hasselbeck y Reingruber<sup>(20)</sup> no indican la duración de la intervención de PNM, parámetro importante para la reproductibilidad del estudio.

Con relación a los sesgos, cabe destacar el de realización en cuanto al cegamiento de los participantes. Presentan una categoría de *riesgo poco claro* 3 de los artículos<sup>(15-17)</sup> por falta de información, *bajo riesgo* en 2 de los artículos<sup>(18, 19)</sup>, y *alto riesgo* en uno de ellos<sup>(20)</sup>. Independientemente del nivel de sesgo que afirmen, parece cuestionable el cegamiento realizado a los pacientes, ya que se trata de una técnica que conlleva la inserción percutánea de una aguja. Por otra parte, en el caso de que se estableciera un grupo control al que se le realizara la inserción de la aguja sin corriente, podría ser cuestiona-

ble ya que podría tener efecto terapéutico, causando una reducción de sustancias alógenas activadas por lesión tisular periférica, conllevando a cambios circulatorios, químicos y de temperatura<sup>(24)</sup>.

### Limitaciones de la revisión

La principal limitación observada al llevar a cabo la presente revisión fue el número reducido de artículos encontrados. Al tratarse de una técnica reciente, los estudios existentes son escasos y limitados en cuanto a concretar parámetros de corriente, patologías y periodicidad de sesiones. Además, entre los artículos encontrados que solo 5 de ellos son ensayos clínicos aleatorizados, como se mencionaba anteriormente, lo que supone una disminución de la calidad del sexto estudio<sup>(12)</sup>. Asimismo, la presente revisión se centra en la neuromodulación ecoguiada por lo que los estudios sin aplicación de ultrasonido quedaron excluidos. No obstante, esta selección se ve ratificada por un trabajo reciente que concluye que la utilización de guía por medio de imagen mejora la eficacia y la seguridad de la intervención<sup>(39)</sup>.

### Nivel de evidencia científica

El número de artículos incluidos también limita el nivel de evidencia encontrado sobre esta técnica. Teniendo en cuenta el método cualitativo para la síntesis de evidencia propuesto por Van Tulder y cols.<sup>(40)</sup>, que tiene en cuenta la calidad metodológica de los estudios y el riesgo de sesgo, destacan las siguientes observaciones sobre los efectos de la neuromodulación: existe evidencia moderada-sólida de que la neuromodulación mejora el equilibrio y la resistencia, ya que se encontraron 2 estudios con bajo riesgo de sesgo<sup>(15, 16)</sup> y se observa evidencia moderada sobre la disminución del dolor debido a que se incluye un estudio<sup>(19)</sup> con alta calidad metodológica. Por otra parte, la evidencia científica observada sobre la capacidad funcional y el ROM es contradictoria debido a que existen resultados incoherentes en el estudio sobre capacidad funcional<sup>(17)</sup> o contradictorios entre los diferentes estudios que analizar el ROM<sup>(15-18)</sup>. Finalmente, el efecto sobre la contractibilidad

presenta evidencia limitada, ya que la información se extrae de un estudio con baja calidad metodológica y alto riesgo de sesgo<sup>(20)</sup>.

### CONCLUSIONES

La PNM ecoguiada es una técnica reciente dentro del campo de la electroterapia y el número de estudios publicados sobre la aplicación neuromuscular de esta técnica es limitado. En esta revisión se ha observado que la PNM ecoguiada tiene la capacidad de incrementar el equilibrio y la resistencia, con una evidencia científica moderada-sólida. El nivel de evidencia científica sobre los efectos para la disminución del dolor es moderada. Sin embargo, existe evidencia contradictoria en cuanto a los efectos sobre ROM y la capacidad funcional. Los efectos sobre la contractibilidad presentan evidencia limitada. Por lo tanto, se requieren más investigaciones con un tamaño muestral mayor, en diferentes condiciones patológicas, con mayor calidad metodológica y en las cuales se determinen los parámetros de aplicación más adecuados.

### RESPONSABILIDADES ÉTICAS

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

**Confidencialidad de los datos, derecho a la privacidad y consentimiento informado.** En este artículo no aparecen datos personales de sujetos de estudio.

**Conflicto de intereses.** No se declaran conflictos de interés.

**Financiación.** No ha existido ningún tipo de financiación para la realización de este trabajo.

**Contribuciones de autoría.** Todos los autores han contribuido sustancialmente a la realización de este artículo. Marta Figueira Martínez ha participado en la concepción, diseño y búsqueda bibliográfica. Eva M<sup>a</sup> Lantarón

Caeiro ha participado en la concepción y diseño del artículo, así como en la supervisión de todo el proceso, incluyendo la búsqueda y la redacción del manuscrito. Lorenzo Antonio Justo Cousiño ha participado en el diseño de la revisión y redacción del manuscrito e Iria Da Cuña Carrera ha participado en el diseño y redacción del manuscrito. Todos los autores han revisado y aprueban la versión final que se presenta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Valera-Garrido F, Minaya-Muñoz F. *Fisioterapia invasiva*. Barcelona: Elsevier España SL; 2016.
2. Kumar K, Rizvi S. Historical and Present State of Neuro-modulation in Chronic Pain. *Curr Pain Headache Rep*. 2013 Dec 15; 18(1): 387.
3. Aamir A, Girach A, Sarrigiannis P, Hadjivassiliou M, Paladini A, Varrassi G et al. Repetitive Magnetic Stimulation for the Management of Peripheral Neuropathic Pain: A Systematic Review. *Advances in Therapy*. 2020; 37(3): 998–1012.
4. Melzack R, Wall P. Pain Mechanisms: A New Theory. 1965 Nov; 150(3699): 971–9.
5. Campbell JN, Taub A. Local Analgesia From Percutaneous Electrical Stimulation: A Peripheral Mechanism. *Arch Neurol*. 1973 May; 28(5): 347–50.
6. Wall PD, Sweet WH. Temporary Abolition of Pain in Man. *Science*. 1967 Jan; 155(3758): 108–9.
7. Deer TR, Mekhail N, Provenzano D, Pope J, Krames E, Leong M, et al. The Appropriate Use of Neurostimulation of the Spinal Cord and Peripheral Nervous System for the Treatment of Chronic Pain and Ischemic Diseases: The Neuromodulation Appropriateness Consensus Committee. *Neuromodulation Technol Neural Interface*. 2014; 17(6): 515–50.
8. Huntoon MA, Burgher AH. Ultrasound-Guided Permanent Implantation of Peripheral Nerve Stimulation (PNS) System for Neuropathic Pain of the Extremities: Original Cases and Outcomes. *Pain Med*. 2009 Nov; 10(8): 1369–77.
9. Ilfeld B, Plunkett A, Vijjeswarapu A, Hackworth R, Dhanjal S, Turan A et al. Percutaneous Peripheral Nerve Stimulation (Neuromodulation) for Postoperative Pain: A Randomized, Sham-controlled Pilot Study. *Anesthesiology*. 2021 Jul 1; 135(1): 95–110.
10. Ilfeld BM, Grant SA. Ultrasound-Guided Percutaneous Peripheral Nerve Stimulation for Postoperative Analgesia. *Reg Anesth Pain Med*. 2016 Nov; 41(6): 720–2.
11. Ilfeld BM, Gabriel RA, Saulino MF, Chae J, Peckham PH, Grant SA, et al. Infection rates of electrical leads used for percutaneous neurostimulation of the peripheral nervous system. *Pain Pract*. 2017; 17(6): 753–6.
12. Jadad AR, Moore RA, Carroll D, Jenkinson C, Reynolds DJM, Gavaghan DJ, et al. Assessing the quality of reports of randomized clinical trials: Is blinding necessary? *Control Clin Trials*. 1996 Feb; 17(1): 1–12.
13. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*. 2003; 83: 713–21.
14. Cascaes da Silva F, Valdivia Arancibia BA, da Rosa Iop R, Barbosa Gutierrez Filho PJ, da Silva R. Escalas y listas de evaluación de la calidad de estudios científicos. *Rev Cuba Inf En Cienc Salud*. 2013 Sep; 24(3): 295–312.
15. De-la-Cruz-Torres B, Barrera-García-Martín I, Albornoz-Cabello M. Immediate effects of ultrasound-guided percutaneous neuromodulation versus physical exercise on performance of the flexor hallucis longus muscle in professional dancers: a randomised clinical trial. *Acupunct Med*. 2019 Apr; 37(2): 91–7.
16. De-la-Cruz-Torres B, Barrera-García-Martín I, Romero-Morales C. Comparative Effects of OneShot Electrical Stimulation on Performance of the Flexor Hallucis Longus Muscle in Professional Dancers: Percutaneous Versus Transcutaneous? *Neuromodulation Technol Neural Interface*. 2020 Aug; 23(6): 865–70.
17. García-Bermejo P, De-la-Cruz-Torres B, Romero-Morales C. Ultrasound-Guided Percutaneous Neuromodulation in Patients with Unilateral Anterior Knee Pain: A Randomized Clinical Trial. *Appl Sci*. 2020 Jul 5; 10(13): 4647.
18. De-la-Cruz-Torres B, Carrasco-Iglesias C, Minaya-Muñoz F, Romero-Morales C. Crossover effects of ultrasound-guided percutaneous neuromodulation on contralateral hamstring flexibility. *Acupunct Med*. 2021 Oct; 39(5): 512–21.
19. Gilmore C, Ilfeld B, Rosenow J, Li S, Desai M, Hunter C, et al. Percutaneous peripheral nerve stimulation for the treatment of chronic neuropathic postamputation pain: a multicenter, randomized, placebo-controlled trial. *Reg Anesth Pain Med*. 2019 Jun; 44(6): 637–45.
20. Hasselbeck C, Reingruber B. Sacral nerve stimulation is a valuable diagnostic tool in the management of anorectal

- and pelvic malformations. *J Pediatr Surg*. 2012 Jul; 47(7): 1466–71.
21. Higgins J, Green S. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. London: The Cochrane Collaboration; 2011.
  22. Richardson M, Sandow E. Functional Criteria for Assessing Pointe-Readiness. *J Dance Med Sci*. 2010; 14(3): 82–8.
  23. Walsh S, Berry K. Electroacupuncture and TENS: Putting theory into practice. *Journal of Chinese Medicine*. 2010 Feb; 92: 46–58.
  24. Chakravarthy KV, Xing F, Bruno K, Kent AR, Raza A, Hurlemann R, et al. A Review of Spinal and Peripheral Neuro-modulation and Neuroinflammation: Lessons Learned Thus Far and Future Prospects of Biotype Development. *Neuromodulation Technol Neural Interface*. 2019; 22(3): 235–43.
  25. Rowley K, Jarvis DN, Kurihara T, Chang Y-J, Fietzer AL, Kulig K. Toe Flexor Strength, Flexibility and Function and Flexor Hallucis Longus Tendon Morphology in Dancers and Non-Dancers. *Med Probl Perform Art*. 2015 Sep; 30(3): 152–6.
  26. Ciubotariu A, Arendt-Nielsen L, Graven-Nielsen T. Localized muscle pain causes prolonged recovery after fatiguing isometric contractions. *Exp Brain Res*. 2007 Jul; 181(1): 147–58.
  27. Gómez-Landero Rodríguez L, López-Bedoya J, Vernetta-Santana M. Evaluación de la flexibilidad activa y pasiva en trampolinistas españoles. *Rev int med ciencia act fis deporte*. 2013; 13(49): 55–72.
  28. Rudolfsson T, Björklund M, Djupsjöbacka M. Range of motion in the upper and lower cervical spine in people with chronic neck pain. *Man Ther*. 2012 Feb; 17(1): 53–9.
  29. Papuč E, Rejdak K. The role of neurostimulation in the treatment of neuropathic pain. *Ann Agric Env Med*. 2013; (1): 14–7.
  30. Hernández-Sánchez S, Hidalgo MD, Gómez A. Cross-cultural Adaptation of VISA-P Score for Patellar Tendinopathy in Spanish Population. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2011 Aug; 41(8): 581–91.
  31. Gil-Gámez J, Pecos-Martín D, Kujala UM, Martínez-Merino P, Montañez-Aguilera FJ, Romero-Franco N, et al. Validation and cultural adaptation of “Kujala Score” in Spanish. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016 Sep; 24(9): 2845–53.
  32. Ballinger DA, Rintala DH, Hart KA. The relation of shoulder pain and range-of-motion problems to functional limitations, disability, and perceived health of men with spinal cord injury: A multifaceted longitudinal study. *Arch Phys Med Rehabil*. 2000 Dec; 81(12): 1575–81.
  33. Martín JMR. *Electroterapia en Fisioterapia*. Madrid: Ed. Médica Panamericana; 2004.
  34. Rauck RL, Cohen SP, Gilmore CA, North JM, Kapural L, Zang RH, et al. Treatment of post-amputation pain with peripheral nerve stimulation. *Neuromodulation Technol Neural Interface*. 2014 Feb; 17(2): 188–97.
  35. Chakravarthy K, Nava A, Christo PJ, Williams K. Review of recent advances in peripheral nerve stimulation (PNS). *Curr Pain Headache Rep*. 2016 Sep 26; 20(11): 60.
  36. Ilfeld BM, Said ET, Finneran JJ, Sztain JF, Abramson WB, Gabriel RA, et al. Ultrasound-Guided Percutaneous Peripheral Nerve Stimulation: Neuromodulation of the Femoral Nerve for Postoperative Analgesia Following Ambulatory Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Proof of Concept Study. *Neuromodulation Technol Neural Interface*. 2019 Jul; 22(5): 621–9.
  37. Acuña JP. Riesgo de adicción a analgésicos opioides en el tratamiento de dolor crónico no oncológico. *Rev Médica Clínica Las Condes*. 2019 Nov; 30(6): 466–79.
  38. García-García J, Reding-Bernal A, Lopez-Alvarenga J. Cálculo del tamaño de la muestra en investigación en educación médica. *Investig en Educ Médica*. 2013 Dec; 2(8): 217–4.
  39. Filippiadis D, Bolotis D, Mazioti A, Tsitskari M, Charalampopoulos G, Vrachliotis T et al. Percutaneous imaging-guided techniques for the treatment of benign neuropathic pain. *Diagn Interv Imaging*. 2021 Jan; 102(1): 11–18.
  40. Van Tulder M, Furlan A, Bombardier C, Bouter L. Updated Method Guidelines for Systematic Reviews in the Cochrane Collaboration Back Review Group. *Spine*. 2003; 28(12): 1290–9.