

# Cambios en la fuerza máxima isométrica del cuádriceps tras la aplicación de neuromodulación percutánea ecoguiada del nervio femoral – serie de casos

## *Changes in Maximal Isometric Quadriceps Strength after the Application of Ultrasound-Guided Percutaneous Neuromodulation of the Femoral Nerve – A Case Series*

David Álvarez-Prats<sup>1</sup> Óscar Carvajal-Fernández<sup>1</sup> Néstor Pérez-Mallada<sup>2</sup> Francisco Minaya-Muñoz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad CEU San Pablo, Clínica Fisioterapia Océano, Madrid, España

<sup>2</sup> Universidad Pontificia Comillas, Escuela de enfermería y fisioterapia San Juan de Dios, Madrid, España

<sup>3</sup> Universidad CEU San Pablo, MVClinic, Madrid, España

Address for correspondence David Álvarez-Prats, Master, Clínica de Fisioterapia Océano, Servicio de Fisioterapia, Calle las Palmas, 55, 28938 Móstoles, Madrid, España (e-mail: fisioceano@hotmail.com).

Rev Fisioter Invasiva 2019;2:39–45.

### Resumen

**Introducción** La restauración temprana de las propiedades en la fuerza muscular del cuádriceps en sujetos que han sufrido una lesión de la articulación de la rodilla o han sido intervenidos quirúrgicamente es esencial para la correcta recuperación e incorporación a las actividades de la vida diaria, laboral y/o deportiva.

**Objetivos** Valorar los cambios de fuerza isométrica máxima (FIM) en el músculo cuádriceps tras la aplicación de la técnica de Neuromodulación Percutánea Ecoguiada (NMP-e) sobre el nervio femoral.

**Material y Métodos** Serie de casos en sujetos que presentaban patología previa unilateral de rodilla y que se encontraban en la fase de recuperación de la fuerza del cuádriceps. Los sujetos se encontraban sin dolor en el momento de las mediciones dinámicas y se les aplicó la técnica de NMP-e tomando mediciones antes y después de la misma. La medición isométrica se llevó a cabo mediante el sistema de dinamometría KINEO (GLOBUS, Codognè, Italia) realizando una medición pre-intervención de la fuerza máxima isométrica media (FIMm) de 3 repeticiones (3 segundos de contracción y 6 segundos de relajación). La técnica de NMP-e se realizó en el nervio femoral usando para ello el dispositivo Physio Invasiva® CE0120 (Prim Physio, Madrid, España) y un ecógrafo GE Logic R7 (GE Healthcare, Chicago, IL, EEUU).

**Resultados** En el estudio participaron 13 sujetos. Se obtuvieron cambios significativos ( $p < 0,001$ ) en la fuerza isométrica máxima media (FIMm) del cuádriceps de la rodilla afectada, que pasó de una media de 25,91 kg (DE 7,17 kg) a una media de 29,98 kg (DE 9,06 kg).

**Discusión** Existe un proceso de inhibición de la fuerza muscular del cuádriceps en sujetos con patología de rodilla a pesar de permanecer sin dolor durante la medición de fuerzas. Ese proceso de inhibición puede mejorar con la aplicación de estímulos eléctricos percutáneos de baja frecuencia en el nervio femoral, estableciendo así una estrategia más para la recuperación de los valores normales de fuerza en rodillas patológicas con o sin cirugía previa.

### Palabras clave

- ▶ neuromodulación percutánea ecoguiada
- ▶ fisioterapia invasiva
- ▶ dinamometría
- ▶ nervio femoral
- ▶ contracción isométrica

**Abstract**

**Conclusiones** La NMP-e es una técnica eficaz para el restablecimiento de la fuerza del cuádriceps en músculos inhibidos.

**Introduction** For those individuals who have suffered an injury to the knee or undergone a surgical intervention, the early recovery of the muscle strength contraction properties of the quadriceps is essential for favorable recovery and a return to activities of daily living and other work or sports related activities.

**Objectives** To evaluate the changes in maximal isometric strength (MIS) of the quadriceps muscle after the application of ultrasound-guided percutaneous neuromodulation (US-guided PNM) on the femoral nerve.

**Material and Methods** A case series involving subjects who had previously presented unilateral knee pathology and were in the stage of recovery of quadriceps strength. The subjects were pain-free at the time of the dynamometry measurements, which were performed before and after the application of the US-guided PNM technique. The isometric measurement was performed using the KINEO dynamometry system, performing a pre-intervention measurement of the mean maximal isometric strength (mMIS) based on three repetitions (three seconds contraction and six seconds relaxation). The US-guided PNM technique was performed on the femoral nerve, using the Physio Invasiva® CE0120 device (Prim Physio, Madrid, Spain) device and a GE Logic R7 ultrasound (GE Healthcare, Chicago, IL, USA).

**Results** In total, 13 subjects participated in this study. Significant changes were obtained ( $p < 0.001$ ) in the mMIS of the quadriceps of the affected knee, which progressed from a mean strength of 25.91 kg (SD 7.17 kg) to a mean strength of 29.98 kg (SD 9.06 kg).

**Discussion** In subjects with knee pathology, the quadriceps muscle is inhibited despite being pain-free during the strength measurements. This process of inhibition can improve with the application of low frequency percutaneous electrical stimulation on the femoral nerve. This technique represents a complementary strategy for the recovery of the normal strength values in pathological knees with, or without, prior surgery.

**Conclusions** US-guided PNM is an effective technique for the reestablishment of quadriceps strength in inhibited muscles.

**Keywords**

- ultrasound-guided percutaneous neuromodulation
- invasive physiotherapy
- dynamometer
- femoral nerve
- isometric contraction

**Introducción**

La debilidad del músculo cuádriceps tras una lesión de la articulación de la rodilla o tras una cirugía de la misma, es una situación frecuente descrita en la literatura.<sup>1-3</sup> Esa debilidad, está definida en los estudios como inhibición muscular de origen articular.<sup>4-6</sup> La restauración temprana de las propiedades en la fuerza muscular del cuádriceps es esencial para la correcta recuperación e incorporación a las actividades de la vida diaria, laboral y/o deportiva de esos sujetos.<sup>7-9</sup>

Entre los tipos de contracción muscular, la fuerza isométrica máxima (FIM o *maximal isometric voluntary contraction* – MIVC), es un parámetro de fuerza esencial para el correcto funcionamiento de la unidad motriz muscular.<sup>10-12</sup> La inhibición muscular condicionada va a generar una disminución de esa variable.

Por otro lado, existe una correlación entre la fuerza máxima isométrica y la fuerza máxima concéntrica y excéntrica.<sup>13,14</sup> Diferentes estudios han demostrado como la fuerza máxima

isométrica es vital en el desarrollo de las actividades funcionales, tales como el salto, el pedaleo o la carrera.<sup>15,16</sup> Todo eso convierte a la fuerza máxima isométrica en una variable esencial para la valoración neuromuscular.

La estimulación eléctrica del sistema nervioso periférico ha sido desde hace más de medio siglo una estrategia terapéutica usada principalmente en el abordaje del dolor crónico.<sup>17,18</sup> Dicha estimulación produce una modificación del *input* que asciende hasta el sistema nervioso central, conocido como neuromodulación.<sup>19-22</sup>

A día de hoy, en ciencias de la salud, se han descrito diferentes procedimientos de neuromodulación<sup>23</sup> (estimulación cerebral, medular y periférica). La Neuromodulación Percutánea Ecoguiada (NMP-e), es una técnica de fisioterapia invasiva desarrollada recientemente que se emplea para la mejora neurofuncional y el tratamiento del dolor.<sup>23</sup> Hasta la fecha no existe ningún trabajo que relacione dicha técnica con la estimulación muscular y los cambios en dinamometría. Las pruebas dinamométricas con dispositivos que permiten el

cálculo de variables relacionadas con movimiento isométrico están dentro de las herramientas de valoración funcional.<sup>24,25</sup>

El objetivo del estudio, fue valorar los cambios de fuerza máxima isométrica medidos con dinamometría tras la aplicación de la NMP-e en el nervio femoral.

## Material y Métodos

### Diseño

Estudio casi experimental con un grupo único de intervención, en el que se realiza una medición de la Fuerza Isométrica Máxima media (FIMm), antes y después de la intervención con NMP-e del nervio femoral de ambos músculos cuádriceps con dinamometría.

### Muestra

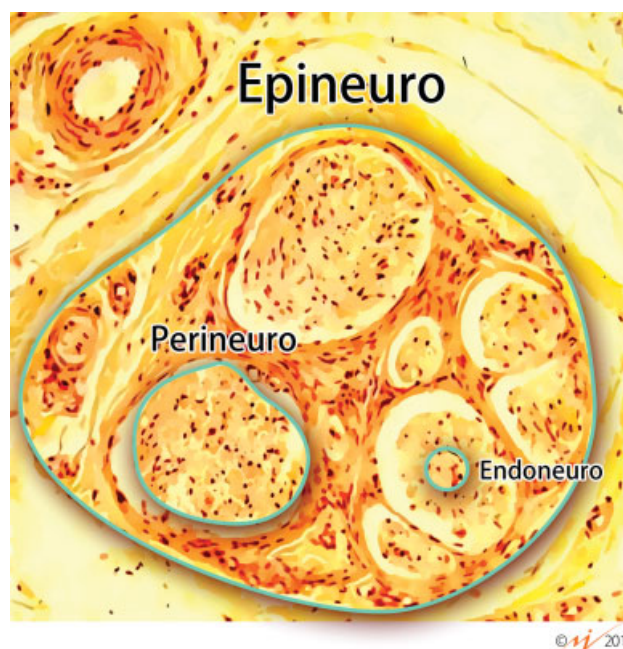
Los sujetos del estudio fueron participantes voluntarios mayores de 18 años reclutados entre pacientes de la clínica Fisiocéano (Móstoles-Madrid). Los criterios de inclusión fueron los siguientes: sujetos con patología previa en una de las rodillas sin dolor en el momento del estudio, con coeficientes de variación<sup>26</sup> inferiores al 15% y que se encontraran en la fase de recuperación de la fuerza del cuádriceps. Fueron excluidos los sujetos con patología que provocara dolor en el momento de las mediciones y con contraindicaciones a la dinamometría (lesiones agudas musculares, importante inestabilidad articular o inflamaciones articulares agudas entre otras) o a la NMP-e (siendo las principales la belonefobia, epilepsia, marcapasos y embarazo). Todos los sujetos firmaron el correspondiente consentimiento informado para participar en el estudio.

### Mediciones Realizadas

Un experto en dinamometría, ajeno al fisioterapeuta que llevaba a cabo la intervención, fue el encargado de realizar las mediciones y recoger los datos de fuerza para su posterior análisis estadístico. Se realizó una medición isométrica del músculo cuádriceps con el sistema de dinamometría KINEO. El protocolo de evaluación consistió en una medición pre-intervención de la FIMm (3 segundos de contracción y 6 segundos de relajación, realizando un total de 3 repeticiones) de ambos músculos cuádriceps y una medición post-intervención de la FIMm del cuádriceps de la rodilla patológica. La posición de evaluación fue flexión de cadera de 90 grados y 45 grados de flexión de rodilla, sin cinchar y con agarres manuales en soportes laterales del sistema. El brazo de palanca se colocó, sin cinchar, a 2 cm de los maléolos en la cara ventral tobillo.<sup>10</sup>

### Intervenciones de Fisioterapia

La intervención con NMP-e consistió específicamente en la aplicación de una corriente eléctrica bifásica asimétrica compensada con fase positiva rectangular y fase negativa triangular, con una frecuencia de 10 Hz, ancho de pulso 240  $\mu$ s y la intensidad máxima tolerada que provocara una contracción muscular máxima indolora, de acuerdo al siguiente protocolo (10 estimulaciones de 10 segundos de

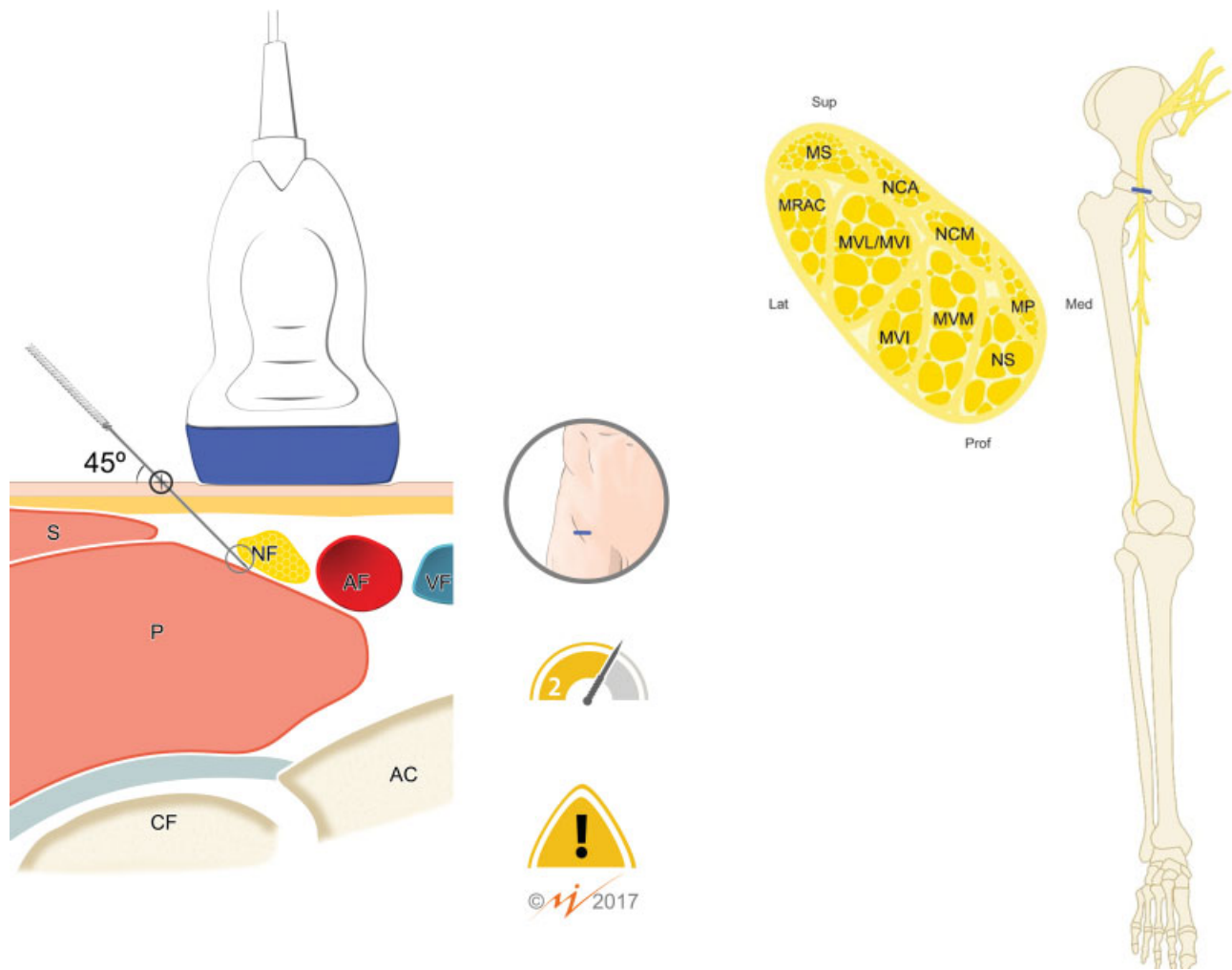


**Fig. 1** Imagen microscópica de la sección transversal de un nervio periférico. Obsérvese epineuro, perineuro y endoneuro (Reproducido con permiso de MVClinic Institute).

duración, con un descanso de 10 segundos entre cada estimulación) propuesto por Valera & Minaya.<sup>23</sup> El dispositivo certificado empleado para la aplicación percutánea de la corriente eléctrica fue Physio Invasiva® (CE0120) (PRIM Physio, España) en su modalidad PES, con agujas de punción Physio Invasiva® (0.30mm x 40mm). El nervio femoral era localizado sobre el triángulo femoral empleando un ecógrafo GE Logic R7, GE Healthcare, USA con una sonda lineal 12L, en un corte transversal. La aguja era insertada en eje largo, con un ángulo de 45° a la superficie de la piel, hasta el epineuro del nervio femoral en su parte inferior y lateral (**Fig. 1**). La topografía axonal descrita de este nervio<sup>27</sup> muestra en esa localización la mayor parte de los axones motores del músculo cuádriceps (**Fig. 2**). De forma previa a la inserción de la aguja, la piel se limpiaba con alcohol isopropílico y clorhexidina (antiséptico para piel sana Lainco® 2%). Un fisioterapeuta con más de 10 años de experiencia en procedimientos invasivos y evaluación ecográfica realizaba la intervención.

### Análisis Estadístico

Se realizó estadística descriptiva con media, mediana, y moda de las características de las variables dependientes e independientes. Se llevó a cabo la estadística inferencial a través de la comparación de medias usando la T-Student ( $\alpha = 0,05$ ) para muestras relacionadas, tras considerar el comportamiento de la muestra normal tal y como se distribuyen las muestras cinéticas evaluadas por dinamometría o sistemas de biomecánica. Todo el análisis fue llevado a cabo mediante programa Microsoft Excel 2013.



**Fig. 2** Imagen del procedimiento terapéutico de NMP-e del nervio femoral e imagen explicativa de la distribución topográfica axonal de dicho nervio (Reproducido con permiso de MVClinic Institute). Abreviaciones: AC, acetábulo; AF, arteria femoral; CF, cóndilo femoral; Lat, lateral; Med, medial; MP, músculo pectíneo; MRAC, músculo recto anterior del cuádriceps; MS, músculo sartorio; MVI, músculo vasto intermedio; MVL, músculo vasto lateral; MVM, músculo vasto medial; NCA, nervio cutáneo anterior; NCM, nervio cutáneo medial; NF, nervio femoral; NS, nervio safeno; P, psoas; Prof, profundo; S, sartorio; Sup, superficial; VF, vena femoral.

## Resultados

En el estudio participaron 13 sujetos voluntarios con una edad media de 39,92 años (DE 9,09), de los cuales 2 eran mujeres y 11 hombres. En la **Tabla 1** se presentan las características sociodemográficas y clínicas de la muestra.

Tras la aplicación de NMP-e en el nervio femoral se obtuvieron cambios en la FIMm del cuádriceps de la rodilla con patología previa, que pasó de una media de 25,91 kg antes de la intervención (DE 7,17 kg) a una media de 29,98 kg después de la intervención (DE 9,06 kg). Los resultados obtenidos fueron estadísticamente significativos con una  $p = 0,0019$ .

También cabe mencionar que la FIMm del cuádriceps del lado sano contralateral fue de 27,59 kg (DE 7,86 kg), frente a los 25,91 kg (DE 7,17 kg) del lado afecto, siendo ese estadísticamente significativo con una  $p = 0,026$  (**Fig. 3**). Ese dato revela una disminución de la fuerza máxima isométrica del lado afecto antes de la intervención. Esos valores, como se puede observar en la **Fig. 4** tras la

intervención, se igualan e incluso en muchos casos superan la medida contralateral de referencia inicial.

## Discusión

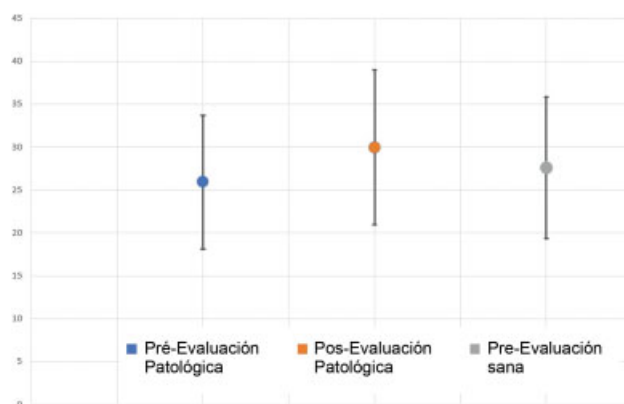
A día de hoy, los autores no tienen conocimiento de ningún estudio que haya medido con dinamometría la FIMm del músculo cuádriceps tras la aplicación de NMP-e en el nervio femoral.

De los resultados pre-intervención del presente estudio observamos que la media de la FIMm del lado patológico fue de 25,91 kg, mientras que la media de la FIMm en el lado contralateral fue de 27,59 kg. Por tanto, existía una debilidad del músculo cuádriceps en la pierna con lesión previa respecto a la pierna contralateral. No obstante, según la revisión sistemática realizada por Joseph M. Hart y col. (2010), es frecuente encontrar fallos en la activación del cuádriceps de forma bilateral,<sup>28</sup> eso podría explicar que los sujetos 6, 8 y 11 presentarán valores en los que la FIMm fue mayor en la pierna con patología previa que en la contralateral.

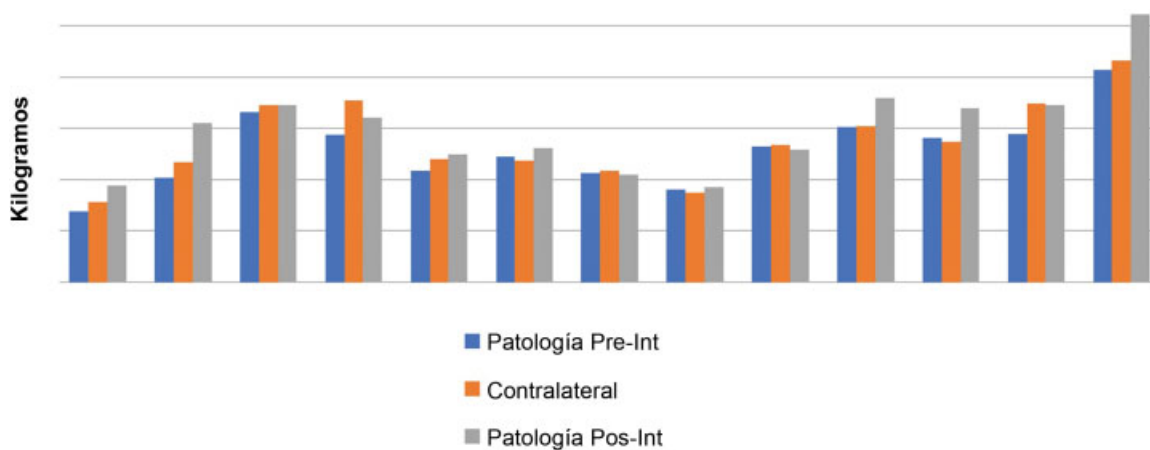
**Tabla 1** Descripción de la población del estudio

Sujeto	Sexo	Edad	Altura	Peso	Lado patológico	Tipo de lesión
01	M	44	166	52	I	Condropatía
02	M	28	162	64	I	Rotura ligamento cruzado anterior
03	H	38	188	78	D	Meniscopatía
04	H	39	182	89	D	Meniscopatía
05	H	41	175	71	D	Condropatía
06	H	59	169	90	I	Meniscopatía
07	H	27	183	77	I	Condropatía
08	H	38	167	92	I	Artroscopia menisco
09	H	51	178	87	I	Meniscopatía
10	H	49	178	84	D	Cirugía menisco y ligamento cruzado anterior
11	H	36	173	84	I	Meniscopatía
12	H	32	174	70	D	Artroscopia menisco
13	H	37	185	83	D	Artroscopia menisco

Abreviaciones: D, derecho; I, izquierdo; H, hombre; M, mujer.



**Fig. 3** Resumen de los datos de dinamometría. En la gráfica se muestran los datos de fuerza máxima isométrica media del cuádriceps de la rodilla patológica en el momento Pre-intervención y Pos-intervención y las mediciones Pre-intervención del cuádriceps sano contralateral junto con la DE.



**Fig. 4** En azul la FIMm del cuádriceps de la rodilla con patología pre-intervención, en naranja la contralateral pre-intervención y en gris la FIMm del cuádriceps de la rodilla con patología pos-intervención. Obsérvese el aumento de más del 15% de media en las mediciones pre y pos-intervención del cuádriceps de la rodilla con patología previa. También se puede detallar que, tras la intervención, la FIMm del cuádriceps de la rodilla patológica, en muchos casos llega a superar a las mediciones iniciales de la FIMm de la rodilla contralateral sana.

Después de la intervención hubo una mejora estadísticamente significativa en la FMIm del cuádriceps del lado afecto, pasando de 25,91 kg de media antes de la intervención a 29,98 Kg. de media después de la intervención, lo que indica que la NMP-e fue efectiva para una ganancia e hipotético restablecimiento de la fuerza de los músculos cuádriceps inhibidos por causas articulares. Las hipótesis que se barajan en relación a esa inhibición neuromuscular, son por una disminución en la excitabilidad corticoespinal y/o por cambios en el reflejo espinal.<sup>29</sup>

Sonnery-Cottet y col. (2018), en una revisión sistemática encontraron evidencia moderada en la eficacia de la crioterapia y el ejercicio físico en el manejo de la inhibición muscular de origen articular.<sup>30</sup> Por otro lado, Brian G. Pietrosimone y col. (2012), sugerían que las intervenciones terapéuticas dirigidas a provocar cambios en la activación voluntaria del cuádriceps, mejoran la eficacia del ejercicio terapéutico en la ganancia de fuerza.<sup>31</sup> Por ese motivo, la NMP-e podría ser un procedimiento terapéutico a tener en cuenta para su aplicación previa a los programas de ejercicio.

Por otro lado, la NMP-e es una técnica que por sus características se puede emplear en los pacientes de forma inmediata tras la lesión o tras la intervención quirúrgica, pudiendo ser una herramienta en fisioterapia que ayude a evitar la aparición de atrofia muscular y la instauración de la inhibición neuromuscular, evitando con eso, las consecuencias negativas que pueden retrasar o complicar la reincorporación del paciente a su actividad.<sup>29,32</sup>

Ese nuevo concepto de tratamiento podría abrir nuevas líneas de investigación y reportar tanto al fisioterapeuta como al paciente una mejora en sus resultados a la hora de ganancia de fuerza ante ese tipo de afecciones articulares.

Los resultados del presente estudio, permiten mostrar únicamente conclusiones preliminares debido a la limitación en el tamaño muestral. Futuras investigaciones deberían confirmar los hallazgos obtenidos y analizar si la mejora en la fuerza sucede de forma similar en otros grupos musculares a partir de la estimulación neural. También sería necesario registrar esos cambios de fuerza medidos con dinamometría a medio y largo plazo.

## Conclusiones

La Neuromodulación Percutánea Ecoguiada (NMP-e) ha demostrado ser una técnica eficaz para el restablecimiento de la fuerza isométrica del cuádriceps en músculos inhibidos.

### Conflictos de interés

Los autores no tienen conflictos de intereses que declarar.

## Bibliografía

- Giles LS, Webster KE, McClelland JA, Cook J. Does quadriceps atrophy exist in individuals with patellofemoral pain? A systematic literature review with meta-analysis. *J Orthop Sports Phys Ther* 2013;43(11):766-776
- Lewek MD, Rudolph KS, Snyder-Mackler L. Quadriceps femoris muscle weakness and activation failure in patients with symptomatic knee osteoarthritis. *J Orthop Res* 2004;22(01):110-115
- Vanega Hernández M, Fernández Barrientos O. Rehabilitation of the quadriceps femoris muscle in patients with atrophy after knee post-surgery. *Multimed Revista Médica Granma* 2018;22(03):
- Hopkins JT, Ingersoll CD. Arthrogenic Muscle inhibition: A Limiting Factor in Joint Rehabilitation. *J Sport Rehabil* 2000;9(02):135-159
- Rice DA, McNair PJ. Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: neural mechanisms and treatment perspectives. *Semin Arthritis Rheum* 2010;40(03):250-266
- McConnell J. Running Injuries: The Infrapatellar Fat Pad and Plica Injuries. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2016;27(01):79-89
- Henriksen M, Klokke L, Bartholdy C, Graven-Nielsen T, Bliddal H. The Associations between Pain Sensitivity and Knee Muscle Strength in Healthy Volunteers: A Cross-Sectional Study. *Pain Res Treat* 2013;2013:787054
- Otzel DM, Chow JW, Tillman MD. Long-term deficits in quadriceps strength and activation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther Sport* 2015;16(01):22-28
- Christensen JC, Mizner RL, Foreman KB, Marcus RL, Pelt CE, LaStayo PC. Quadriceps weakness preferentially predicts detrimental gait compensations among common impairments after total knee arthroplasty. *J Orthop Res* 2018;36(09):2355-2363
- Meldrum D, Cahalane E, Conroy R, Fitzgerald D, Hardiman O. Maximum voluntary isometric contraction: reference values and clinical application. *Amyotroph Lateral Scler* 2007;8(01):47-55
- Khamoui AV, Brown LE, Nguyen D, et al. Relationship between force-time and velocity-time characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *J Strength Cond Res* 2011;25(01):198-204
- West DJ, Owen NJ, Jones MR, et al. Relationships between force-time characteristics of the isometric midhigh pull and dynamic performance in professional rugby league players. *J Strength Cond Res* 2011;25(11):3070-3075
- Izquierdo M, Aguado X, Gonzalez R, López JL, Häkkinen K. Maximal and explosive force production capacity and balance performance in men of different ages. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;79(03):260-267
- Gorostiaga EM, Izquierdo M, Iturralde P, Ruesta M, Ibáñez J. Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1999;80(05):485-493
- Stone MH, Sands WA, Carlock J, et al. The importance of isometric maximum strength and peak rate-of-force development in sprint cycling. *J Strength Cond Res* 2004;18(04):878-884
- Dos'Santos T, Thomas C, Comfort P, McMahon JJ, Jones PA. Relationships between Isometric Force-Time Characteristics and Dynamic Performance. *Sports (Basel)* 2017;5(03):68
- White JC, Sweet WH. Pain and the neurosurgeon: a forty-year experience. Springfield: Thomas; 1969:894-9
- Steude U. Percutaneous electro stimulation of the trigeminal nerve in patients with atypical trigeminal neuralgia. *Neurochirurgia (Stuttg)* 1978;21(02):66-69
- Yakovlev A, Karasev SA, Resch BE, Yakovleva V, Strutsenko A. Treatment of a typical facial pain using peripheral nerve stimulation. *Neuromodulation* 2011;14:553
- McRoberts WP, Cairns K. A retrospective study evaluating the effects of electrode depth and spacing for peripheral nerve field stimulation in patients with back pain. *Neuromodulation: Vision American Neuromodulation Society*; 2010
- Rossi M, DeCarolis G, Liberatoscioli G, Iemma D, Nosella P, Nardi LF. A Novel Mini-invasive Approach to the Treatment of Neuropathic Pain: The PENS Study. *Pain Physician* 2016;19(01):E121-E128
- Rozand V, Grosprêtre S, Stapley PJ, Lepers R. Assessment of Neuromuscular Function Using Percutaneous Electrical Nerve Stimulation. *J Vis Exp* 2015;103;

- 23 Minaya Muñoz F, Valera Garrido F. Neuromodulación percutánea ecoguiada. En: Valera Garrido F, Minaya Muñoz F, editores. *Fisioterapia invasiva* 2ª ed. Barcelona, Elsevier España, SL; 2016: 283–294
- 24 Stauber WT, Barill ER, Stauber RE, Miller GR. Isotonic dynamometry for the assessment of power and fatigue in the knee extensor muscles of females. *Clin Physiol* 2000;20(03):225–233
- 25 Stam HJ. Dynamometry of the knee extensors; isometric and isokinetic testing in healthy subjects and patients. Erasmus University Rotterdam. 1990. Available from <http://hdl.handle.net/1765/50898>
- 26 Anumula SK, Beku C, Murthy YS. Measurement of Reliability in Grip Strength. *IPOT* 2014;1;8(02):115
- 27 Gustafson KJ, Pinault GCJ, Neville JJ, et al. Fascicular anatomy of human femoral nerve: implications for neural prostheses using nerve cuff electrodes. *J Rehabil Res Dev* 2009;46(07):973–984
- 28 Hart JM, Pietrosimone B, Hertel J, Ingersoll CD. Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review. *J Athl Train* 2010;45(01):87–97
- 29 Hobson A. The Etiology of Persistent Quadriceps Weakness Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *JBJS J Orthop Physician Assist* 2018;6(03):e24
- 30 Sonnery-Cottet B, Saithna A, Quelard B, et al. Arthrogenic muscle inhibition after ACL reconstruction: a scoping review of the efficacy of interventions. *Br J Sports Med* 2018; 53(05):289–298
- 31 Pietrosimone BG, Saliba SA. Changes in voluntary quadriceps activation predict changes in quadriceps strength after therapeutic exercise in patients with knee osteoarthritis. *Knee* 2012;19(06):939–943
- 32 Holder-Powell HM, Di Matteo G, Rutherford OM. Do knee injuries have long-term consequences for isometric and dynamic muscle strength? *Eur J Appl Physiol* 2001;85(3-4):310–316