

Efecto de la estimulación eléctrica neural transcutánea (TENS) a nivel lumbar segmentario

Effect of transcutaneous electrical neural stimulation (TENS) at lumbar segmental

Rigoberto Moya¹; Javiera Rosales²; Constanza Flores²

Publicado originalmente en la revista El Dolor 2013; 60: 20-25

¹ Kinesiólogo, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

² Estudiante de Kinesiología, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

RESUMEN

En lo referente a agentes físicos utilizados en kinesiología, la electroestimulación transcutánea (TENS) es muy utilizada para tratar, entre otros, problemas musculares, edemas y procesos dolorosos. El siguiente estudio tiene como propósito determinar los efectos hipoestésicos de la aplicación de TENS a nivel medular segmentario sobre las extremidades inferiores.

Para el desarrollo del estudio se seleccionaron por conveniencia 14 estudiantes de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile (18-24 años), que fueron divididos en dos grupos aleatoriamente, uno control y otro experimental. Para ambos grupos se determinó el umbral de presión inicial mediante un algómetro de presión en el músculo cuádriceps de la extremidad inferior izquierda, luego el grupo experimental fue estimulado con TENS en el nivel lumbar correspondiente (L3-L4), mientras en el grupo control se simuló una situación similar sin paso de corriente. Finalmente, se midió nuevamente el umbral de presión en ambos grupos mediante el método inicial. Los resultados mostraron que existe una diferencia significativa ($p=0,001$) entre el umbral de presión previo y posterior a la aplicación de TENS en el grupo experimental, a diferencia del grupo control, que no mostró diferencias significativas ($p=0,140$), por lo que se demuestra el efecto hipoestésico que genera en las extremidades la aplicación de electroestimulación en el nivel lumbar correspondiente. Lo anterior resultaría de gran utilidad en la aplicación de TENS en pacientes con trastornos musculoesqueléticos, evitando el contacto con la zona lesionada, que puede presentar dolor, hiperalgesia o alodinia. **Palabras clave:** Estimulación eléctrica transcutánea del nervio; Hipoestesia; Estimulación de la médula espinal

ABSTRACT

Concerning the physical agents utilized in physical therapy, transcutaneous electric nerve stimulation (TENS) is commonly used to treat muscular problems, edemas and painful processes, among others. The following study is aimed at determining the hypoesthesia effects of TENS application at a segmental medullary level, on the lower limbs. To develop the study, fourteen students (aged 18 and 24 years old) from the Medicine Faculty were chosen by convenience. They were divided randomly into two groups: one for control and the other experimental. For both groups the initial pressure threshold was determined through a pressure algometer on the lower left extremity's quadriceps muscle. Then the experimental group was stimulated with TENS on the corresponding lumbar level (L3, L4). In the meantime, in the control group a similar situation was simulated, without current flow. Finally, the pressure threshold was measured again in both groups through the initial method. The results showed that there is a significant difference ($p=0,001$) between the pressure threshold occurring before, and after the TENS application in the experimental group. On the contrary, the group control didn't show any significant difference ($p=0,140$). Therefore, this shows the hypoesthesia effect's generated in the limbs by the electrostimulation on the corresponding lumbar level. This would be very useful in the TENS application on patients suffering from muscle-skeletal disorder, thus avoiding the contact with injured zone, which can present pain, hyperalgesia, or allodynia.

Key words: Spinal Cord Stimulation; Hypesthesia; Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en lo referente a agentes físicos para disminuir el dolor, la técnica de estimulación nerviosa eléctrica transcutánea (TENS) es una de las más utilizadas con este fin, que se logra ajustando los distintos parámetros de programación, los cuales, según la modalidad empleada, activarán ciertos mecanismos fisiológicos periféricos y centrales.¹

El TENS, según la American Physical Therapy Association, es la aplicación de estimulación eléctrica en la piel; no invasiva, de bajo costo, segura y fácil de utilizar.² Su uso mayoritariamente tiene el objetivo de controlar el dolor. Pero, ¿qué es el dolor? El dolor, según la International Association for the Study of Pain (IASP) corresponde a una experiencia emocional y sensorial desagradable asociada con daño tisular real o potencial, o descrita en términos de tal daño.³ Los receptores considerados de dolor son los llamados nociceptores y corresponden a terminaciones libres, que responden a diversos estímulos, siempre que éstos sean nocivos para el organismo. La información nociceptiva es transmitida a través de dos tipos de fibras nerviosas: las fibras C, que corresponden a fibras amielínicas, que responden a estímulos químicos o térmicos y las fibras A δ , de tipo mielínicas, que responden frente a estímulos mecánicos de alta intensidad. El estímulo es dirigido mediante estas fibras al asta posterior de la médula espinal y el mensaje es enviado mediante neurotransmisores a la neurona de segundo orden, la que llega al tálamo contralateral.⁴

En lo que a modulación del dolor se refiere, existen una serie de teorías que intentan explicarlo, dentro de las que se encuentra el Gate Control. La también llamada teoría de la compuerta propone que la transmisión de impulsos nerviosos es modulada por estímulos que activan las fibras de mayor diámetro A α y A β , que tienden a inhibir la transmisión, mientras que las fibras de menor diámetro, C y A δ , activadas por estímulos nocivos, tienden a facilitar la transmisión. Estos mecanismos actúan a nivel del asta dorsal de la médula espinal, mediando por ende, el estímulo que llega a los centros superiores.⁵

El TENS, según la frecuencia con la que sea programado, determinará la activación de diferentes mecanismos fisiológicos, clasificados según el sitio de acción en periféricos, segmentarios y extrasegmentarios.

Según estudios realizados en poblaciones de sujetos sanos, en los que se midió, mediante algómetro de presión, la presión soportada por los sujetos previo a sentir molestia, antes y después de la aplicación de electroestimulación transcutánea, de alta y baja frecuencia, con una duración de pulso de 200 μ s, por 30 minutos, en un punto de la extremidad superior e inferior, las altas frecuencias serían las más efectivas al momento de generar hipoestesia.^{6,7}

En cuanto al instrumento utilizado para determinar el umbral de presión de los sujetos en estudio y así poder determinar las diferencias generadas por la aplicación de estimulación transcutánea, según un estudio en sujetos sanos, se llegó a la conclusión de que el algómetro de presión es válido, debido a la diferencia no significativa que arrojaron las mediciones en puntos contralaterales, tanto en hombres como en mujeres, exceptuando el músculo infraespinoso ($p < 0,05$).⁸

Tradicionalmente, la aplicación del TENS para generar analgesia se realiza directamente sobre la zona afectada. Un estudio experimental en sujetos sanos universitarios de edades entre 20 y 26 años demostró que la estimulación en dos sitios produce altos niveles de hipoalgesia cuando los parámetros de estimulación, en el recorrido del nervio incluyen alta intensidad; además, el efecto de hipoalgesia, fue más prolongado en sitios local y remoto; lo que reafirma que la estimulación de alta intensidad en el sitio del dolor logra respuesta de hipoalgesia.

La debilidad de este estudio es que fue realizado con sujetos sanos y no en pacientes que habitualmente presentarían hiperalgesia en la zona estimulada.⁹

El mismo estudio demostró que, al hacer una estimulación algógena a nivel de las extremidades, luego de la aplicación de TENS, se produce hipoestesia en el nivel segmentario correspondiente ($p = 0,007$).⁹

El presente estudio tiene como propósito contribuir al conocimiento de los efectos hipoestésicos en las extremidades inferiores, que tiene la aplicación de TENS en el nivel segmentario correspondiente (L3-L4). Por esto, la hipótesis cuya validez se pretendió analizar fue: "La aplicación de TENS en la columna lumbar a nivel L3-L4 produce efectos hipoestésicos en la zona de las extremidades inferiores correspondientes a esos niveles segmentarios".

SUJETOS Y MÉTODO

El diseño de esta investigación es experimental, ya que se manipularon de manera intencional los parámetros de aplicación del TENS para analizar las consecuencias que éste tiene sobre el umbral de presión. El estudio es de tipo longitudinal, ya que se realizó un seguimiento de los sujetos que son parte de la investigación, desde la determinación del umbral de presión previo a la aplicación de TENS hasta la medición posterior a ésta.

En cuanto a los instrumentos usados para la medición, se utilizó un algómetro de presión, que consiste en un disco de goma con el que se ejerce presión sobre el punto seleccionado, que es transmitida, a través de una varilla, hasta un indicador que la cuantifica en Newton.⁸ Para la intervención, se utilizó un equipo marca Enraf, modelo Endomed 581, con una frecuencia de 100

Hz, duración de pulso de 200 μ s, durante 30 minutos.

Respecto al muestreo, se realizó por conveniencia; para el cálculo de la muestra se utilizaron datos obtenidos de un artículo, similar a nuestro estudio.⁷ Con un nivel de confianza de 0,01 y una potencia de 99%, los valores utilizados para el cálculo de la muestra fueron: $Z\alpha=2,326$, $Z\beta=2,326$, $\delta=7,38$ y $\sigma= 2,025$, lo que arrojó una muestra mínima necesaria de 4 estudiantes. Sin embargo, para nuestro estudio utilizamos una muestra de 14 estudiantes.

Nuestro estudio no contempla pérdida. Los criterios de inclusión fueron que los sujetos fueran sanos, que tuviesen entre 18 y 24 años y que fueran estudiantes de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile. A su vez, los criterios de exclusión fueron el uso de marcapasos, padecimiento de epilepsia o diabetes, estado de embarazo y la presencia de trastornos y/o traumas musculoesqueléticos.

Los sujetos seleccionados fueron divididos de manera aleatoria, a través de un programa confeccionado utilizando el software Eclipse SDK 4.2.1, en dos grupos de 7 personas, uno experimental y uno control, sin conocimiento del grupo al que pertenecían por parte de los sujetos.

Previo a la recolección de los datos, el equipo de electroestimulación fue calibrado con un osciloscopio, para comprobar que estuviese entregando la frecuencia y duración de pulso que indica la pantalla.

Los sujetos del grupo control y experimental fueron llevados a un box. Se determinó mediante la palpación de uno de los investigadores la posición de las vértebras L3 - L4. En ambos grupos de sujetos que se encontraban en posición bípeda, se realizó una marca y se limpió la zona con alcohol para eliminar la presencia de grasa que pudiese interferir con el paso de la corriente.

En ambos grupos de sujetos, en posición supina, se procedió a medir el umbral de presión en el músculo cuádriceps izquierdo mediante un algómetro de presión. Luego, se procedió a posicionar los electrodos en la marca realizada anteriormente, correspondiente a las vértebras L3-L4. Posteriormente, se estimuló con TENS durante media hora en ambos grupos, con una frecuencia de 100 Hz y una duración de pulso de 200 μ s. La intensidad de corriente se determinó según la tolerancia del sujeto en el grupo experimental y en el grupo control se mantuvo en 0, simulando un aumento gradual subumbral sensitivo durante el periodo de estimulación. Finalmente, se midió el nuevo umbral de presión, con el mismo algómetro utilizado al comienzo. Tanto esta medición, como la inicial fueron llevadas a cabo por el mismo investigador para evitar la variabilidad intersujetos.

El presente estudio, debido a que contempla experi-

mentos en seres humanos, fue aprobado por el Comité de Ética de la Investigación en Seres Humanos de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

De acuerdo con los principios establecidos en las pautas CIOMS y en cumplimiento con los aspectos mencionados en la Ley N° 20.120 sobre estudios en seres humanos, este estudio se desarrollará conforme a los siguientes criterios.

Aportará conocimientos acerca de los efectos hipostésicos de la aplicación de TENS a nivel medular en las extremidades inferiores, además de evidencia respecto a una forma alternativa de la aplicación de electroestimulación.

La selección de los sujetos se realizó por conveniencia, entre aquéllos que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión. Dado que este estudio reportó riesgos mínimos, correspondientes a la generación de sequedad en la piel por la aplicación de alcohol y/o molestias debidas a la estimulación con TENS, éstas fueron disminuidas al mínimo, limpiando la zona a tratar con cuidado y controlando que la intensidad con la que se aplicó la estimulación fuese tolerable y no dolorosa.

Se permitió a los sujetos negarse a participar o retirarse del estudio cuando lo estimaran conveniente, sin que esto significase algún tipo de sanción para ellos.

Para proteger la intimidad de los sujetos, la información fue almacenada en una tabla Excel, de uso exclusivo del equipo de investigación y sólo será utilizada con fines de investigación y académicos.

Para dejar constancia de lo mencionado anteriormente, cada sujeto fue informado acerca de las características del estudio y su participación por medio de un documento escrito, el que tuvo que firmar previamente a las mediciones.

RESULTADOS

Los datos obtenidos (tablas 1 y 2) fueron sometidos al Test de Shapiro-Wilk, estableciendo que la muestra distribuye normal para umbral previo y posterior a la estimulación con TENS.

Tabla 1. Datos obtenidos grupo experimental

Sujeto	Umbral pre-TENS (n)	Umbral post-TENS (n)	Diferencia umbrales (N)
1	71,6	94,4	22,8
2	44,5	65,5	21,0
3	62,3	67,3	5,0
4	56,7	73,5	16,8
5	52,3	66	13,7
6	46,9	54,4	7,5
7	57,4	82,0	24,6

Tabla 2. Datos obtenidos grupo control

Sujeto	Umbral pre-TENS (n)	Umbral post-TENS (n)	Diferencia umbrales (N)
1	36,7	23,6	- 13,1
2	38,7	34,1	- 4,6
3	48,4	45,5	- 2,9
4	100,3	82,5	- 17,8
5	31,2	39,1	7,9
6	41,0	37,4	- 3,6
7	23,7	20,8	- 2,9

Luego se realizó una comparación entre los umbrales de presión previos y posteriores a la aplicación de TENS (gráficos 1 y 2) en ambos grupos de sujetos, utilizando la prueba T-test para muestras relacionadas.

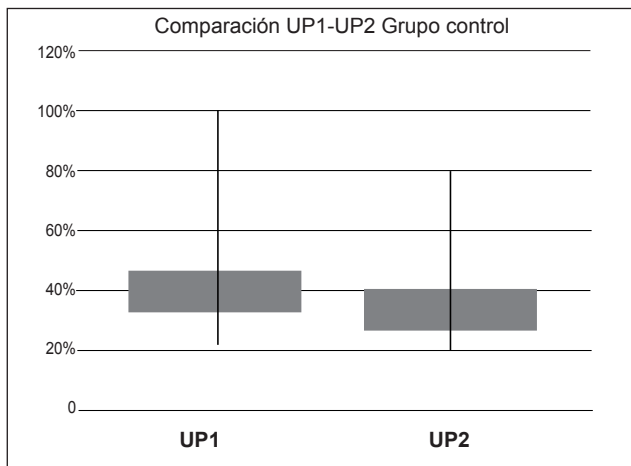


Gráfico 1: Comparación entre el umbral de presión previo y posterior a la estimulación con TENS en el grupo control, donde se observan los percentiles 25, 50 y 75 para ambos umbrales.

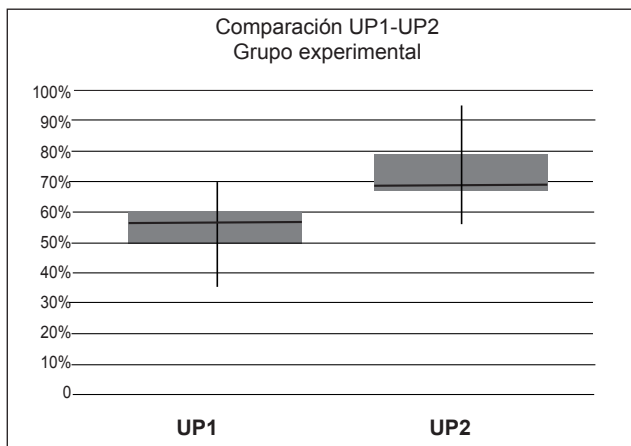


Gráfico 2: Comparación entre el umbral de presión previo y posterior a la estimulación con TENS en el grupo experimental, donde se observan los percentiles 25, 50 y 75 para ambos umbrales.

Esta comparación mostró diferencias significativas para el grupo experimental (gráfico 3), donde se produjo un aumento del umbral de presión luego de la estimulación con TENS. A diferencia del grupo control, donde no se observaron diferencias significativas entre las dos mediciones de umbral de presión aplicadas (gráfico 4).

Posteriormente, se realizó una comparación entre las diferencias de umbrales de presión del grupo control y el grupo experimental, utilizando la prueba T-test para muestras independientes, lo que arrojó diferencias significativas, mostrando un aumento considerable del umbral de presión en el grupo experimental,

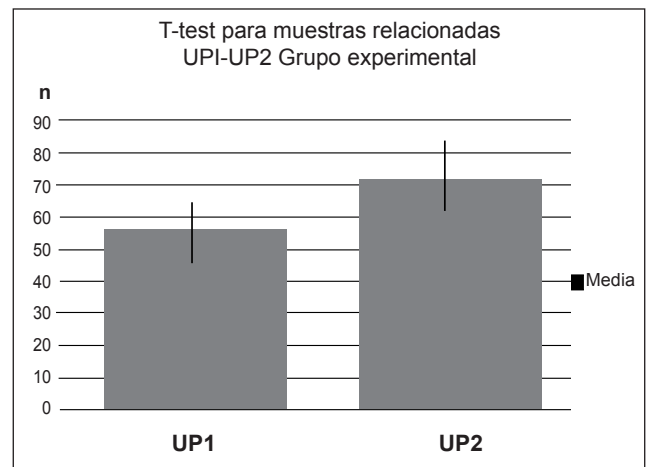


Gráfico 3. Se observa un aumento significativo entre el umbral de presión previo y posterior a la aplicación de TENS en el grupo experimental, con un $p = 0,001$.

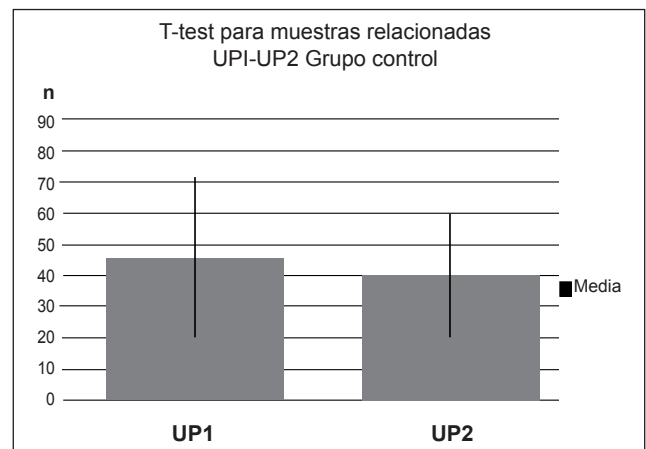


Gráfico 4. No se observan diferencias significativas entre el umbral previo y posterior a la estimulación con TENS en el grupo control, con un $p = 0,140$.

en contraste con el grupo control, donde las diferencias de umbral fueron mucho menores, presentando además un descenso en el umbral de presión luego de la estimulación con TENS (gráfico 5).

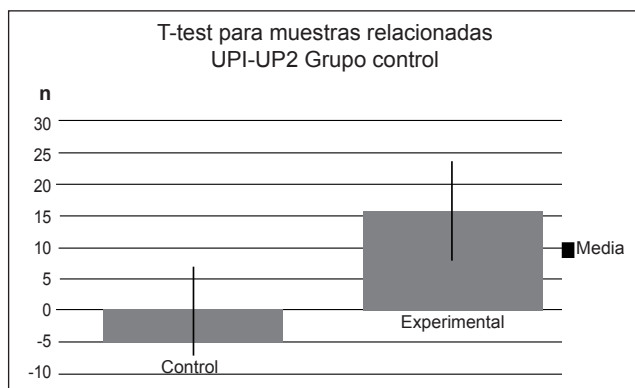


Gráfico 5. Se observan diferencias significativas entre la diferencia de umbral de presión del grupo control y experimental.

DISCUSIÓN

Este estudio experimental muestra que la aplicación de estimulación eléctrica transcutánea a nivel lumbar segmentario L3-L4, con parámetros de alta frecuencia y una duración de 30 minutos, aumenta significativamente el umbral de presión en seres humanos sanos en el miotoma correspondiente al nivel estimulado (músculo cuádriceps). En el caso del grupo control (placebo), se simuló una situación similar a la experimental, pero sin realizar estimulación eléctrica transcutánea; este grupo mostró una disminución en el umbral de presión al realizar la segunda medición.

Lo anterior demuestra el efecto hipoestésico generado por la aplicación de TENS utilizando parámetros de alta frecuencia (100 Hz), duración de pulso de 200 μ s por un tiempo de 30 minutos.

Nuestros resultados confirman estudios previos⁶, que muestran la generación de alta hipoestesia utilizando frecuencias altas, demostrando la generación de diferencias significativas entre los umbrales de presión previos y posteriores a la aplicación de TENS. Pero, a diferencia de éste, nuestro estudio muestra el efecto hipoestésico generado luego de la aplicación de TENS a nivel lumbar y no en el sitio de la lesión.

Además, en comparación con el estudio realizado por Chesterton et al. quienes, a diferencia de nuestro estudio, utilizaron diferentes combinaciones de parámetros (frecuencia, duración de pulso) y midieron la duración y variación del efecto hipoestésico en el tiempo luego de la aplicación de TENS durante 30 minutos, nuestro estudio concuerda con el efecto hipoestésico inmediato generado por la aplicación de estimulación transcutánea con los parámetros mencionados anteriormente (100 Hz y 200 μ s por 30 minutos).

En cuanto a la generación de hipoestesia, estudios que utilizan estimulación a nivel segmentario con fines hipoestésicos, plantean que el efecto analgésico se debería a estimulación de las fibras A β (fibras gruesas, mielinizadas e inhibitoras de la nocicepción de acuerdo a la teoría de la compuerta), que van por los cordones posteriores medulares.¹⁰ Esto se produciría debido a que la estimulación eléctrica actúa aboliendo las respuestas producidas por estímulos que actúan en el sistema multisináptico de la médula espinal y el tallo cerebral, activando circuitos inhibitorios corticotalámicos y unidades celulares del sistema supresor del tronco cerebral que dan origen a tractos descendentes, inhibiendo la actividad nociceptiva en la médula espinal. Por otra parte, la acción sobre las unidades segmentarias de la médula espinal parece ser secundaria a la activación antidrómica de las fibras del cordón posterior o de las vías de conducción inespecíficas de la médula espinal. La estimulación espinal activaría también los circuitos inhibitorios corticotalámicos y las unidades del sistema supresor del tronco cerebral. Éstas originan tractos descendentes que inhiben las unidades nociceptivas segmentarias de la médula.^{11,12}

A diferencia de éste y otros estudios que generan el efecto hipoestésico por la implantación de electrodos o por inyección de sustancias como la lidocaína a nivel medular (bloqueando la rama del nervio espinal posterior), nuestro estudio demuestra la generación de resultados similares y en concordancia con estudios cuya metodología incluye la generación de hipoestesia mediante métodos invasivos de estimulación segmentaria, estos resultados serían generados por un mecanismo similar al descrito anteriormente, pero mediante un método no invasivo, de menor costo y de una realización mucho más viable.

En relación a las ventajas que genera el desarrollo de nuestro estudio desde el punto de vista clínico, podemos decir que al realizar aplicación de estimulación eléctrica transcutánea a nivel segmentario, se evita el contacto directo de los electrodos y el paso de la corriente por la zona lesionada, la cual en la mayoría de los casos, dependiendo del tipo de lesión y el tiempo de evolución de ésta, se encuentra con dolor, hiperalgesia o alodinia, lo que influye directamente en la tolerancia de los pacientes frente a la aplicación de TENS durante la terapia. De forma que, al realizar la electroestimulación en el nivel segmentario correspondiente, se optimiza el efecto que ésta genera, permitiendo además la utilización de otras técnicas de fisioterapia en el sitio de la lesión, haciendo de esta forma más eficiente la terapia realizada por el kinesiólogo.

En cuanto a las desventajas, dentro de éstas se encuentra el hecho de que el estudio fue realizado en sujetos sanos y aunque, si bien el efecto hipoestésico generado en estos sujetos es extrapolable a personas con trastornos musculoesqueléticos, la magnitud de éste en relación al dolor manifestado por sujetos con este tipo de trastornos no podrá ser determinado hasta realizar un estudio específico y centrado en este tipo de personas.

Por otra parte, encontramos el hecho de que nuestro estudio no mide la permanencia del efecto hipoestésico en el tiempo luego de la aplicación de TENS a nivel segmentario con los parámetros establecidos anteriormente. Un estudio relacionado con la duración de este efecto en el tiempo, realizando una variación en los parámetros de aplicación (frecuencia, duración de pulso y tiempo), sería de gran interés en la medida en que permitiría mejorar y hacer más eficaz la utilización de este agente físico de fisioterapia.

REFERENCIAS

1. Amer-Cuenca, J.J., Goicochea, C. y Lisón, J.F. ¿Qué respuesta fisiológica desencadena la aplicación de estimulación nerviosa eléctrica transcutánea? *Revista de la Sociedad Española del Dolor*, 2010; 17(7): 333-42. DOI:10.1016/j.resed.2010.09.001.
2. Sluka, K. A., & Walsh, D. Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation: Basic Science Mechanisms and Clinical Effectiveness. *The Journal of Pain*. 2003 April; 4(3):109-21. DOI:10.1054/jpai.2003.434.
3. Pain Terms, A Current List with Definitions and Notes on Usage. Classification of Chronic Pain, Second Edition, IASP Task Force on Taxonomy, edited by H. Merskey and N. Bogduk, IASP Press, Seattle, 1994.
4. Vanderah, T. W. Fisiopatología del dolor. *Clínicas Médicas de Norteamérica*. 2007; 91(1): 1-12.
5. Melzack, R. & Katz, J. Pain: Psychological Perspectives. Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates Publishers; c2004, chapter 1, The Gate Control Theory: Reaching for the Brain; pp. 13-34.
6. Chen, C.-C. & Johnson, M.I. An Investigation Into the Hypoalgesic Effects of High- and Low-Frequency Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) on Experimentally-Induced Blunt Pressure Pain in Healthy Human Participants. *The Journal of Pain*, 2009 Aug 10; 11(1): 53-61. DOI:10.1016/j.pain.2009.05.008.
7. Chesterton, L. S., Barlas, P., Foster, N. E., Lundeberg, T., Wright, C. C. & Baxter, G. D. Sensory stimulation (TENS): effects of parameter manipulation on mechanical pain thresholds in healthy human subjects. *Pain*, 2002 Sep; 99(1-2): 253-62. DOI: 10.1016/S03043959(02)00118-5
8. Fischer, A. A. Pressure algometry over normal muscles. Standard values, validity and reproducibility of pressure threshold. *Pain*. 1987 Jul; 30(1):115-26.
9. Claydon, L. S., Chesterton, L. S., Barlas, P. & Sim, J. Effects of simultaneous dual-site TENS stimulation on experimental pain. *European Journal of Pain*, 2012 Jan 9; 12(6): 696-704. DOI:10.1016/j.ejpain.2007.10.014.
10. Pallarés Delgado de Molina J. Estimulación Eléctrica Medular (EMM) con sistema de doble electrodo y generador de doble canal para el tratamiento del dolor lumbar y/o radiculalgia bilateral. V Congreso de la Sociedad Española del Dolor; 2002.
11. Miranda, A.L., Berna, L., Moyano, A. & Navarrete, J.M. Experiencia del Bloqueo Paravertebral en Sensibilización Espinal Segmentaria. *Revista El Dolor*. 2008; 50: 32-4.
12. Hernández, M. & García, S. Neuroestimulación de la Médula Espinal *Revista Dolor Clínica y Terapia*. 2007; 5(5): 21-3.