

## Estimulación Eléctrica Neuromuscular en la recuperación motora posterior a lesión del Sistema Nervioso Central

### Neuromuscular electric stimulation related to the motor recovery after a central nervous system lesion

Dra. Carmen Rosa Álvarez González;<sup>I</sup> Dra. Tahimí Cardoso Suárez;<sup>II</sup> Dra. Alba Elisa Pérez Pérez;<sup>III</sup>

<sup>I</sup> Especialista de II Grado en Medicina Física y Rehabilitación. Investigador Agregado. Centro Internacional de Restauración Neurológica. La Habana, Cuba.

<sup>II</sup> Residente de Medicina Física y Rehabilitación. Master en Neurociencias. Centro Internacional de Restauración Neurológica. La Habana, Cuba.

<sup>III</sup> Especialista de 1er Grado en Medicina Física y Rehabilitación. Profesor Instructor. Centro Internacional de Restauración Neurológica. La Habana, Cuba.

---

#### RESUMEN

**Introducción:** La Estimulación Eléctrica Neuromuscular (EENM) consiste en la estimulación eléctrica de las neuronas motoras inferiores con el objetivo de lograr la contracción de músculos paréticos o paralizados. Estudios básicos y clínicos en neuroplasticidad motora central sustentan el rol del entrenamiento del miembro parético con movimientos activos, repetitivos, orientado a objetivos para mejorar el reaprendizaje motor. **Objetivo:** Demostrar como la electroestimulación Neuromuscular actúa en el reaprendizaje motor. **Desarrollo:** Los mecanismos que parecen implicados en la recuperación de funciones motoras parecen abarcar cambios moleculares intraneuronales, interneuronales y en la población de neuroglías, tanto de estructuras periféricas como centrales. A partir de la experiencia de que el entrenamiento con movimientos repetitivos, orientados a objetivos, facilita el aprendizaje motor, se han evaluado intervenciones en las cuales se aportan estímulos eléctricos capaces de provocar contracciones musculares que generan movimientos repetitivos y en la que se implica un esfuerzo cognitivo en la ejecución de estos. **Conclusiones:** Los movimientos repetitivos mediados por la EENM pudieran facilitar el reaprendizaje motor a través de mecanismos neuroplásticos a nivel cortical y a nivel medular, que van desde cambios funcionales en los cuales se modifica el comportamiento de receptores a

nivel sináptico, la densidad de la población de receptores, hasta cambios estructurales como la sinaptogénesis reactiva y la colateralización, entre otros. Las principales modalidades de la EENM dirigidas a facilitar el aprendizaje motor son: EENM cíclica, la estimulación eléctrica mediada por biofeedback o electromiografía y el empleo de neuroprótesis. En el presente trabajo se abordan algunas perspectivas actuales respecto a la temática.

**Palabras clave:** Estimulación Eléctrica Neuromuscular, recuperación motora, lesión del SNC.

---

## ABSTRACT

**Introduction:** Neuromuscular electrical stimulation (NMES) consists in the electrical stimulation of inferior motor neurons, with the objective of achieving the contraction of paralyzed or paretic muscles. Basic and clinical studies in central motor plasticity support the role of training of a paretic limb with active and repetitive movements, aimed at improving motor re-learning. **Development:** The mechanisms that seem to be implied in the recovery of motor functions seem to comprise intraneural and interneuronal molecular changes and in the neuroglia population, so much of peripheric structures as of the central ones. Starting from the experience that training with repetitive movements address to objectives, is able to facilitate motor learning, many interventions have been thus evaluated. These interventions give electrical stimuli, able to produce muscular contractions and repetitive movements, while a cognitive effort is made during performance. **Conclusion:** Repetitive movements mediated by NMES could facilitate the motor re-learning through neuroplastic mechanisms at a cortical and medular level, which goes from functional changes in the behaviour of a population of receptors up to structural changes, as reactive synaptogenesis and collateralization among others, are thus modified. NMES principal modalities aimed at facilitating motor learning are: cyclic NMES, electrical stimulation mediated by bio-feedback or electromyography as well as the use of neuroprosthesis. Many present perspectives are explained here, related to this issue.

**Key words:** Neuromuscular electric stimulation, motor recovery, NCS lesion

---

## INTRODUCCIÓN

El déficit motor posterior a una lesión del Sistema Nervioso Central (SNC) está correlacionado con la discapacidad e interfiere la calidad de vida.<sup>1</sup> La utilización de agentes físicos de tipo electromagnético y específicamente de la corriente eléctrica ha sido una de las opciones en el tratamiento del déficit motor secundario a una lesión del Sistema Nervioso Central.<sup>2</sup> Los mecanismos por los cuales esta pudiera contribuir a la recuperación de funciones motoras parecen involucrar cambios moleculares intraneuronales, interneuronales y en la población de neuroglías, tanto de estructuras periféricas como centrales.<sup>3</sup>

---

Las neurociencias básicas y clínicas han acumulado evidencias sobre los mecanismos neurales que pudieran subyacer a la recuperación de las habilidades motoras perdidas por una lesión SNC. La neuroplasticidad o cualidad de remodelación del sistema nervioso, mediante el cambio de sus relaciones funcionales y estructurales en respuesta a estímulos externos o internos pudiera explicar cómo se recupera el cerebro luego de una lesión y cómo algunas intervenciones dirigidas a la rehabilitación con un enfoque neurorestaurativo contribuyen a la recuperación funcional. Los mecanismos neuroplásticos abarcan desde cambios sutiles como es el cambio en el comportamiento de receptores de membrana pre o postsináptica, el aumento de eficacia de transmisión sináptica dependiente de la actividad; hasta cambios estructurales como la regeneración axonal, colateralización, sinaptogénesis reactiva y la neurogénesis.<sup>4</sup>

### **Contracciones repetitivas orientadas a objetivos en el aprendizaje motor**

Estudios básicos y clínicos en neuroplasticidad motora central sustentan el rol del entrenamiento del miembro parético con movimientos activos, repetitivos, orientado a objetivos para mejorar el reaprendizaje motor, el cual ha sido definido como "la recuperación de habilidades motoras previamente aprendidas que se han perdido por una lesión del Sistema Nervioso Central (SNC)".<sup>5</sup> Las evidencias apoyan que las aferencias propioceptivas y cutáneas asociadas con movimientos repetitivos pudieran inducir la potenciación a largo plazo (LTP) en la corteza motora.<sup>6</sup> En primates no-humanos con lesión focal de la corteza motora, los estudios han mostrado que el entrenamiento, con movimientos activos, repetitivos, orientado a objetivos del miembro parético conduce a una reorganización funcional en la corteza motora adyacente no lesionada.<sup>7</sup>

El tipo de entrenamiento que parece inducir cambios plásticos corticales son los movimientos repetitivos que implican el desarrollo de nuevas habilidades motoras, que demanden un significativo esfuerzo cognitivo para su logro,<sup>7</sup> lo cual parece estar relacionado por una parte con la observación de que la magnitud de la respuesta de los cambios sinápticos están relacionados con el patrón de actividad que estas experimentan, y por otra con el reforzamiento que pudiera aportar este componente cognitivo motivacional y atencional. Es así que en modelos animales se ha reportado que cuando el entrenamiento se realiza ejecutando tareas nuevas para el animal se registra reorganización cortical relacionada con la tarea ejecutada,<sup>8,9</sup> mientras que cuando la tarea no implica la adquisición de nuevas habilidades y son ejecutadas con facilidad no se asocian con cambios en corteza motora.<sup>9</sup>

A partir de la experiencia de que el entrenamiento con movimientos repetitivos, orientados a objetivos, facilita el aprendizaje motor, se han considerado y ensayado intervenciones en las cuales se aportan estímulos eléctricos capaces de provocar contracciones musculares que generan movimientos repetitivos y en la que se implica un esfuerzo cognitivo en la ejecución de estos, y facilita el reaprendizaje motor.<sup>3</sup> Este tipo de intervención ha estado dirigida fundamentalmente a pacientes que no pueden ejecutar adecuadamente el movimiento por el déficit motor y parece contribuir a la recuperación motora posterior a una lesión del SNC.

### **Estimulación Eléctrica Neuromuscular en el reaprendizaje motor**

La Estimulación Eléctrica Neuromuscular (EENM) consiste en la estimulación eléctrica de las neuronas motoras inferiores con el objetivo de lograr la contracción de músculos paréticos o paralizados.<sup>3</sup> La aplicación clínica de la EENM ha estado orientada al logro de objetivos funcionales y terapéuticos, que van desde la preservación de la atrofia muscular, la prevención de la trombosis venosa profunda,

fortalecimiento de grupos musculares, la prevención de la osteoporosis por desuso, la activación de músculos paralizados en una secuencia y magnitud precisa para lograr una tarea funcional, hasta la regulación del tono muscular. Una de las aplicaciones terapéuticas con objetivos enmarcados en el enfoque rehabilitador dirigido a la recuperación funcional es en el reaprendizaje motor.

Los movimientos repetitivos mediados por la EENM pudieran facilitar el reaprendizaje motor a través de mecanismos neuroplásticos a nivel cortical y a nivel medular. Los procesos corticales se han evidenciado por la presencia de activación de la corteza somatosensorial contralateral y la corteza motora suplementaria bilateral como respuesta a la EENM que induce movimientos repetitivos de extensión de la muñeca.<sup>10</sup> En esto pudiera participar tanto la modulación de la actividad de receptores como la síntesis de proteína a nivel sináptico. Consistente con lo anterior ha sido la observación de la expansión de los mapas corticales de la región afecta posterior a la aplicación de la EENM en la que se implica participación cognitiva en la ejecución de la tarea motora.<sup>7</sup>

Por otra parte, también puede ocurrir la facilitación por mecanismos espinales. La disminución o ausencia de señales de la motoneurona superior a la inferior, interfiere con el tráfico de señales, se modifica la población de receptores y disminuye la eficacia sináptica.<sup>3</sup> Se considera que los impulsos antidrómicos provenientes de la EENM pudieran proporcionar una señal que modificaría el comportamiento de los receptores en las terminales postsinápticas, con la consecuente facilitación del aprendizaje motor.<sup>11</sup> En cualquier caso, para que ocurra la facilitación del reaprendizaje motor mediante la EENM parece ser necesario el movimiento repetitivo, que la tarea sea novedosa, y que demande una implicación cognitiva.

### **Modalidades de aplicación de la EENM: efectos en el reaprendizaje motor**

La aplicación de EENM cíclica, la estimulación eléctrica mediada por biofeedback o electromiografía y el empleo de neuroprótesis, son las modalidades principales de la EENM orientadas a facilitar el aprendizaje motor.<sup>3</sup> (Figura 1)

La EENM cíclica consistente en la estimulación de músculos paréticos en un ciclo establecido de estímulos en un tiempo preprogramado, ha sido utilizado no solo para conservar y mejorar la condición de músculos afectados, sino como una fuente de aferencias somestésicas, que por sus conexiones con la corteza motora pudieran facilitar la actividad de esta y su reorganización de manera más funcional. La estimulación periférica desencadena un incremento en la excitabilidad motora cortical de la región correspondiente a la zona estimulada<sup>12</sup> y resulta en la reorganización de las cortezas motora y somatosensorial<sup>13,14</sup> con la consiguiente remodelación de los mapas corticales. Las conexiones directas entre la corteza somatosensorial primaria y la motora primaria pudieran proporcionar el sustrato anatómico que contribuya a explicar la influencia de la EENM en la reorganización cortical.<sup>14</sup>

Como en este método la contracción ocurre sin la participación activa del paciente y por tanto sin participación en el procesamiento consciente de señales aferentes, ni en la iniciación de la contracción activa, ni en tareas motoras, la facilitación se ha esperado que sea menor. En efecto, en estudios que exploran esta modalidad<sup>15,16,17</sup> se reportan mejorías discretas en la recuperación del trastorno motor al finalizar la intervención, mientras que ha sido reportada escasa mejoría en la limitación de la actividad al concluir el tratamiento.

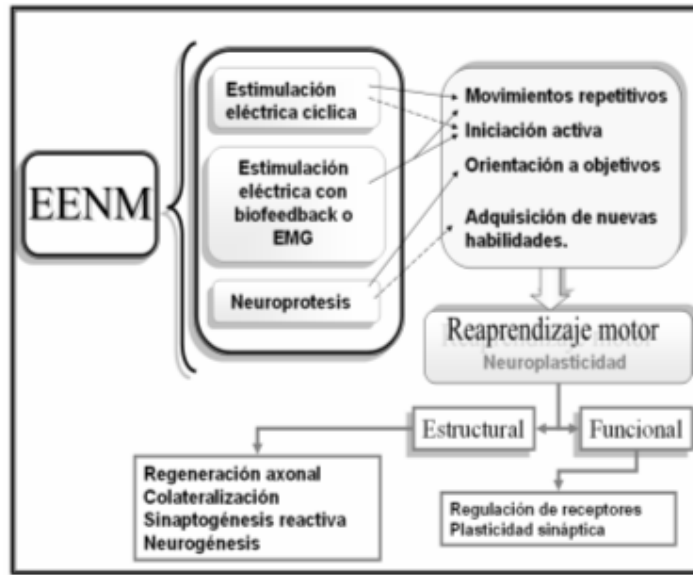


Figura 1. Modalidades de la Estimulación Eléctrica Neuromuscular y su posible acción sobre la neuroplasticidad.

Otra modalidad de aplicación de la EENM ha sido mediante la utilización de la estimulación eléctrica mediada por biofeedback o por electromiografía, en la cual se sincronizan las señales aferentes con los movimientos repetitivos inducidos por la EENM. En esta modalidad se requiere una mayor participación cognitiva por lo que son esperables mayores efectos. En este método, además de las acciones consideradas previamente en la estimulación cíclica, se añaden los posibles resultados de estímulos con un componente cognitivo atencional, volitivo y motivacional que se ha visto pudiera prolongar procesos de plasticidad a nivel sináptico.<sup>4</sup> En los estudios que se ha evaluado el efecto de esta modalidad de NMES se ha observado mejoría de la función motora y en la limitación en la actividad.<sup>18, 19</sup>

Las neuroprótesis son dispositivos que permiten la aplicación de la EENM para activar músculos paralizados en una secuencia precisa y en una intensidad tal que se pueda lograr una tarea funcional.<sup>20</sup> En sus efectos pudieran estar implicados además de la acción sobre la función neuromuscular, las aferencias somestésicas, y el componente cognitivo motivacional, la implicación en actividades funcionales en tiempo real y la participación de redes neurales, de forma repetitiva, que participan en la planificación y ejecución de tareas funcionales. Por otra parte, se ha sugerido que la estimulación eléctrica funcional pudiera incrementar los niveles de neurotrofinas y de esta manera promover el crecimiento axonal, la supervivencia neuronal, facilitar la sinaptogénesis y la neurogénesis, así como participan en la plasticidad funcional, y los procesos de colateralización.<sup>21</sup> Estudios recientes que evalúan efectos de las neuroprótesis en el reaprendizaje motor, sugieren que luego del entrenamiento con esta modalidad se observa mejoría de la función motora de miembro superior y disminución en la limitación en actividades de la vida diaria.<sup>22, 23</sup>

## CONCLUSIÓN

La EENM es un recurso terapéutico que contribuye a la remodelación del SNC luego de una lesión para lo cual involucra cambios a nivel de corteza y médula, desde el nivel molecular hasta el de redes neurales. La modalidad de utilización de la EENM, en dependencia del grado de participación activa del paciente, del grado de inversión cognitiva en la tarea, y la implicación en actividades funcionales, parece estar relacionado con la facilitación del reaprendizaje motor que se logra con este recurso terapéutico. La necesidad de las contracciones repetidas, del reforzamiento cognitivo atencional y motivacional así como la posible liberación de neurotrofinas sugiere la participación de sutiles cambios funcionales como el comportamiento de receptores y de la eficacia de transmisión sináptica, cambios funcionales más extensos como la reorganización de mapas corticales, hasta cambios estructurales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Samsa GP, Matchar DB. How strong is the relationship between functional status and quality of life among persons with stroke? *J Rehabil Res Dev* 2004;41:279-82.
2. Martínez Murillo. Morillo M. *Manual de Medicina Física*. Harcourt. Madrid 1998.
3. Sheffler L, Chae, J. Neuromuscular electrical stimulation in neurorehabilitation *Muscle Nerve* 35: 562\_590, 2007.
4. Bergado-Rosado JA, Almaguer-Melian W. [Cellular mechanisms of neuroplasticity]. *Rev Neurol* 2000 Dec 1;31(11):1074-95.
5. Lee RG, van Donkelaar P. Mechanisms underlying functional recovery following stroke. *Can J Neurol Sci* 1995;22: 257\_63.
6. Asanuma H, Keller A. Neuronal mechanisms of motor learning in animals. *Neuroreport* 1991;2:217\_224.
7. Nudo RJ, Plautz EJ, Frost SB. Role of adaptive plasticity in recovery of function after damage to motor cortex. *Muscle Nerve* 2001;24:1000\_19.
8. Kleim JA, Barbay S, Nudo RJ. Functional reorganization of the rat motor cortex following motor skill learning. *J Neurophysiol* 1998;80:3321\_25.
9. Plautz EJ, Milliken GW, Nudo RJ. Effects of repetitive motor training on movement representations in adult squirrel monkeys: role of use versus learning. *Neurobiol Learn Mem* 2000;74:27\_55.
10. Han BS, Jang SH, Chang Y, Byun WM, Lim SK, Kang DS. Functional magnetic resonance image finding of cortical activation by neuromuscular electrical stimulation on wrist extensor muscles. *Am J Phys Med Rehabil* 2003;82:17\_20.
11. Rushton D. Functional electrical stimulation and rehabilitation-an hypothesis. *Med Eng Phys* 2003;25:75\_78.

- 12 Kobayashi M, Ng J, Theoret H, Pascual-Leone A. Modulation of intracortical neuronal circuits in human hand motor area by digit stimulation. *Exp Brain Res* 2003;149:1-8.
13. Wu CW, van Gelderen P, Hanakawa T, Yaseen Z, Cohen LG. Enduring representational plasticity after somatosensory stimulation. *Neuroimage* 2005;27:872-84.
14. Golaszewski SM, Siedentopf CM, Koppelstaetter F, et al. Modulatory effects on human sensorimotor cortex by whole-hand afferent electrical stimulation. *Neurology* 2004;62:2262-9.
15. Chae J, Bethoux F, Bohinc T, Dobos L, Davis T, Friedl A. Neuromuscular stimulation for upper extremity motor and functional recovery in acute hemiplegia. *Stroke* 1998;29: 975\_79.
16. Sonde L, Gip C, Ferneus S, Nilsson C, Viitanen M. Stimulation with low frequency (1/7 Hz) transcutaneous electrical nerve stimulation (Low-TENS) increases motor function of post-stroke hemiparetic arm. *Scand J Rehabil Med* 1998;30: 95\_99.
17. Sonde L, Kalimo H, Fernaeus SE, Viitanen M. Low TENS treatment on post-stroke paretic arm: a three-year follow-up. *Clin Rehabil* 2000;14:14 \_19.
18. Francisco G, Chae J, Chawla H, Kirshblum S, Zorowitz R, Lewis G, et al. Electromyogram-triggered neuromuscular stimulation for improving the arm function of acute stroke survivors: a randomized pilot study. *Arch Phys Med Rehabil* 1998;79:570 \_75.
19. Kimberley TJ, Lewis SM, Auerbach EJ, Dorsey LL, Lojovich JM, Carey JR. Electrical stimulation driving functional improvements and cortical changes in subjects with stroke. *Exp Brain Res* 2004;154:450\_60.
20. Moe JH, Post HW. Functional electrical stimulation for ambulation in hemiplegia. *J Lancet* 1962;82:285\_88.
21. Kaplan MS, Plasticity after brain lesion: Contemporary concepts. *Arch Phys Med Rehabil* 1988; 69: 984-91.
22. Alon G, Sunnerhagen KS, Geurts AC, Ohry A. A homebased, self-administered stimulation program to improve selected hand functions of chronic stroke. *Neurorehabilitation* 2003;18:215\_25.
23. Popovic DB, Popovic MB, Sinkjaer T, Stefanovic A, Schwirtlich L. Therapy of paretic arm in hemiplegic subjects augmented with a neural prosthesis: a cross-over study. *Can J Physiol Pharmacol* 2004;82:749 \_56.

Recibido: 3 de septiembre de 2008

Aprobado: 12 de febrero de 2009

**Dra. Carmen Rosa Álvarez González.** Centro Internacional de Restauración Neurológica. La Habana, Cuba. E mail: carmen.alvarez@infomed.sld.cu