

Estimulación eléctrica funcional en el miembro superior de pacientes hemipléjicos después de sufrir una enfermedad cerebrovascular

Functional Electrical Stimulation in the Upper Limb of Hemiplegic Patients after Suffering a Cerebrovascular Disease

Bárbara Yumila Noa Pelier^{1*} <http://orcid.org/0000-0002-7277-4430>

José Manuel Vila Gracia² <http://orcid.org/www.0000-0003-3832-6789>

¹Centro Internacional de Restauración Neurológica (CIREN). La Habana, Cuba.

²Centro de Investigaciones Médico Quirúrgicas (CIMEQ). La Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: babynp@neuro.ciren.cu

RESUMEN

Introducción: La enfermedad cerebrovascular constituye un problema de salud en el mundo causado por una alteración a nivel circulatorio en el cerebro. La estimulación eléctrica funcional es una tecnología de rehabilitación que utiliza corriente eléctrica aplicada a músculos con nervios periféricos indemnes y genera estimulación neuronal de manera artificial.

Métodos: Se realizaron búsquedas electrónicas y en bibliotecas de revistas médicas nacionales y extranjeras indexadas en SciELO, Imbiomed y Pubmed en un horizonte de 10 años en idioma español e inglés, así como revisiones de tesis de terminación de estudios y libros de textos con información relacionada con electroestimulación funcional como tratamiento de la subluxación de hombro hemipléjico después de la enfermedad cerebrovascular.

Resultados: Casi el 75 % de los sobrevivientes tiene algún tipo de discapacidad, como alteraciones en el habla o en la deglución, problemas faciales, psicológicos, trastornos nerviosos y déficit motor. Entre el 55 y 75 % de los supervivientes presenta paresia del miembro superior. Los estudios clínicos han demostrado que la estimulación eléctrica aplicada después de una enfermedad de este tipo mejora en gran medida la función motora y el rendimiento en las actividades de la vida diaria y reduce la espasticidad a largo plazo.

Conclusiones: La rehabilitación en el paciente hemipléjico debe ser lo más tempranamente posible en relación con el evento cerebrovascular. La electroestimulación funcional debe ser parte fundamental en su tratamiento neurorestaurativo.

Palabras clave: enfermedad cerebrovascular; estimulación eléctrica funcional; fisioterapia; déficit motor; subluxación de hombro.

ABSTRACT

Introduction: Cerebrovascular disease constitutes a global health problem caused by an alteration at the circulatory level in the brain. Functional electrical stimulation is a rehabilitation technology that uses electrical current applied to muscles with undamaged peripheral nerves and generates artificially neuronal stimulation.

Methods: Searches in libraries and on the Internet of domestic and foreign medical journals indexed in SciELO, Imbiomed and Pubmed in a 10-year horizon in Spanish and English. We also searched thesis reviews of studies and textbooks with information related to Functional electro stimulation as treatment for hemiplegic shoulder subluxation after cerebrovascular disease.

Results: Almost 75% of survivors have some type of disability, such as speech or swallowing disorders, facial, psychological problems, nervous disorders and motor deficits. Survivors have paresis of the upper limb (55 and 75%). Clinical studies have shown that electrical stimulation applied after such a disease greatly improves motor function and performance in daily life activities and reduces long-term spasticity.

Conclusions: Rehabilitation care in hemiplegic patients should be as early as possible in relation to the cerebrovascular event. Functional electrostimulation in the shoulder of hemiplegic patients must be an essential part in the neurorestaurative treatment.

Keywords: cerebrovascular disease; functional electrical stimulation; physiotherapy; motor deficit; shoulder subluxation.

Recibido: 08/02/2019

Aceptado: 24/05/2019

INTRODUCCIÓN

La enfermedad cerebrovascular (ECV) es un problema de salud en el mundo causado por una alteración a nivel circulatorio en el cerebro. Se refleja con un déficit neurológico de inicio agudo que persiste al menos 24 horas, con reducción de las funciones del sistema nervioso central. Puede ser consecuencia de una hemorragia, disminución de flujo, trombosis o embolia. Su causa es isquémica en un 80 % y hemorrágica en un 20 % de los casos. En la actualidad representa una de las principales preocupaciones de la salud pública y la tercera causa de muerte luego de las enfermedades cardíacas y el cáncer. La ECV se considera la principal causa de discapacidad a largo plazo.^(1,2,3)

En Estados Unidos surgen 795 000 nuevos casos o casos recurrentes cada año.^(1,3,4) En Cuba anualmente mueren como promedio 7 900 personas por esta razón. Así, en el año 2008 la mortalidad total para todas las edades en el país fue 9 249 defunciones, de ellas casi 85 % tenían 60 años o más. Eso indica que a partir de esa edad existe mayor riesgo de muerte por enfermedad cerebrovascular.

Tales cifras ubican a esta enfermedad como la tercera causa de muerte en la isla caribeña, pese a que en los últimos años ha habido una tendencia favorable en la detección, tratamiento y control de la hipertensión arterial (HTA) como origen principal de este tipo de padecimiento. Es importante destacar que, dado el enorme problema médico que constituyen las ECV en Cuba, en junio del 2000 se instituyó el Programa Nacional de Prevención y Control de la ECV que contempla un esquema de grupo.⁽⁵⁾

En el año 2006 se produjeron 8 347 decesos en la Mayor de las Antillas debido a un ictus, para una tasa bruta de 74,0 y una tasa ajustada de $42,2 \times 10\ 000$ habitantes. Aunque el grupo de edad más afectado fue el de 65 años y más, las ECV constituyen una causa importante de mortalidad prematura, con $16,1 \times 100$ habitantes en el 2002, la mortalidad extrahospitalaria se mantiene elevada ($15,3 \times 100$ habitantes). La letalidad hospitalaria también es alta para este tipo de enfermedades, con 20,5 % en el 2002.^(5,6)

Las ECV son, además, una de las principales causas no traumática de discapacidad física. De manera tal que los pacientes no solo deben ser ingresados por la afección, sino también para su reinserción en la comunidad. Todo esto las convierte en un proceso patológico costoso para el Ministerio de Salud Pública, la familia y la sociedad.^(5,7)

Casi el 75 % de los sobrevivientes tiene algún tipo de discapacidad. Es habitual que presenten alteraciones del habla, en la deglución, problemas faciales, psicológicos, trastornos nerviosos, de la sensibilidad y déficit motor. Entre el 55 y 75 % de los

supervivientes tiene hemiparesia del miembro superior, lo cual limita la función del brazo y de la mano. En tal caso a los pacientes les resulta difícil o imposible hacer tareas bimanuales. Solo el 5% de los pacientes con parálisis completa recuperan la función total del brazo y la mano. Entre el 30 a 66 % nunca pueden volver a utilizar el brazo afectado correctamente. Quienes recuperan el movimiento intencional del miembro superior tienen un control motor fino o destreza deficiente debido a la pérdida de sensibilidad y a las deficiencias en la integración sensoriomotora.^(1,2,4)

La paresia del miembro superior se ve agravada por el desuso y las fuertes contracciones involuntarias (patrones de sinergia) de los músculos flexores y pronadores que se oponen a los movimientos voluntarios de largo alcance. Esto trae como consecuencia una mano sin función, en la típica posición de flexión de muñeca, desviación radial y flexión de dedos en puño con marcada espasticidad.^(1,4,8)

La recuperación de las extremidades superiores ocurre de modo mucho más lento que la de los miembros inferiores. Las secuelas de la ECV tienen un gran impacto en las actividades de la vida diaria de la persona e implica una gran carga para las familias de los sobrevivientes y para la sociedad en general. Las actividades de la vida diaria se ven reducidas en los individuos con moderada a severa debilidad muscular o espasticidad. Esta situación los lleva a buscar tratamientos que contribuyan a aumentar la función de prensión de la mano durante la realización de tareas orientadas a la recuperación motora.^(1,2)

El hombro se considera la articulación más móvil del cuerpo humano, pero también la más inestable. Posee tres grados de libertad y permite orientar el miembro superior en relación con los tres planos del espacio en disposición a los tres ejes.⁽⁸⁾

Los estabilizadores secundarios o dinámicos son los músculos del manguito rotador: supraespinoso, infraespinoso, redondo menor y subescapular. La contracción de sus fibras musculares crea fuerzas compresivas que estabilizan la cabeza glenohumeral en la cavidad glenoidea. La cápsula articular tiene múltiples terminaciones nerviosas propioceptivas que captan posiciones extremas de la articulación. A través de un mecanismo reflejo provoca una contracción del manguito de los rotadores hasta estabilizar la articulación glenohumeral.^(1,9)

La movilidad glenohumeral se produce por la acción sinérgica de dos grupos musculares, el deltoides y el manguito de los rotadores. El deltoides genera la palanca del movimiento y eleva la cabeza del húmero hacia arriba. Esto ocasiona un pinzamiento de los tendones rotadores en el espacio subacromial. El manguito rotador deprime y estabiliza la cabeza humeral y la comprime hacia la glenoides, con lo cual mejora la acción del deltoides.^(1,9,10,11)

Los estudios clínicos han demostrado que la estimulación eléctrica aplicada después de una ECV mejora en gran medida la función motora y el rendimiento en las actividades de la vida diaria y reduce la espasticidad a largo plazo.⁽¹⁾

La estimulación eléctrica funcional (EEF) es una tecnología de rehabilitación que utiliza corriente eléctrica aplicada a músculos con nervios periféricos indemnes y genera estimulación neuronal de manera artificial. Se aplica EEF a tejidos excitables para complementar o sustituir la función perdida en personas con déficit motor por parálisis de la motoneurona superior. La EEF genera cambios en la excitabilidad y actúa sobre la neuroplasticidad del cerebro maduro, dando lugar a la reorganización cortical. Se utiliza en el tratamiento de personas con espasticidad provocada por lesiones medulares, hemiplejía después de una ECV o parálisis cerebral.^(1,9)

MÉTODOS

Se realizaron búsquedas electrónicas y en bibliotecas de revistas médicas nacionales y extranjeras indexadas en Scielo, Imbiomed y Pubmed en un horizonte de 10 años en idioma español e inglés. Además, se consultaron tesis de terminación de estudios y libros de textos con información relacionada con electroestimulación funcional como tratamiento de la subluxación de hombro hemipléjico como consecuencia de una enfermedad cerebrovascular.

RESULTADOS

Desde 1960 se utiliza la estimulación eléctrica funcional para tratar la hemiplejía crónica. Su aplicación ha sido eficaz en la recuperación de pacientes con parálisis. Ha demostrado ser útil en la rehabilitación de la marcha, la recuperación cardiopulmonar y en la recuperación de la función del hombro hemipléjico. Es un tratamiento habitual y reconocido entre los agentes de fisioterapia.⁽¹⁾

La aplicación de EEF se ejecuta a través de electrodos de manera transcutánea o percutánea. Se utilizan impulsos eléctricos a través de la piel para producir la activación de músculos paréticos con una serie de pulsos que pueden ser monofásicos o bifásicos. La amplitud, intensidad del pulso, frecuencia y duración o tren de impulso varían. Los trenes de estimulación tienen diferentes combinaciones de frecuencia e intensidad. Esos se separan por rampas de ascenso, donde la intensidad es máxima, y rampa de descenso, donde no se

envía impulso eléctrico. Se pueden usar para producir la fuerza muscular necesaria para hacer una tarea funcional durante la aplicación de EEF. La intensidad se alcanza de manera progresiva para que la contracción y relajación también lo sean.^(1,2,8)

Cuando se aplica una corriente estimulante a los electrodos colocados sobre la piel se genera un potencial de acción que viaja a lo largo del axón del músculo paralizado y las contracciones musculares se coordinan de forma que proporcionan una contracción funcionalmente útil. Se realizan diferentes combinaciones de frecuencia e intensidad para generar la contracción muscular requerida. La mayoría de los sistemas de EEF clínicos utilizan el mínimo de frecuencia que puede generar una contracción tetánica y varían la intensidad para producir la fuerza deseada. El uso habitual de frecuencias menores de 30 Hertz (HZ) se basa en que frecuencias mayores de 30 a 40 HZ causan fatiga muscular.^(1,8,9,10,11,12)

Con un tratamiento de EEF que se ajuste a las necesidades del paciente hemipléjico después de haber sufrido una ECV, se puede disminuir el tiempo de rehabilitación y el paciente recibe menos intervenciones, lo cual redundaría en menos costos para los sistemas de salud. De ese modo se propicia una integración más rápida y económicamente productiva del paciente a la sociedad.^(13,14)

DISCUSIÓN

Wenjuan Wei y otros⁽²⁾ investigaron los cambios producidos mediante la aplicación de EEF a nivel cortical en 14 pacientes. Los autores consideraron la neuroplasticidad como fundamental en la recuperación después de la ECV. Trabajaron el estadio subagudo de la enfermedad (considerado como tal, el lapso comprendido entre la segunda semana y los 6 meses posictus).

Estos médicos aplicaron electrodos de superficie durante 4 semanas. Los resultados mostraron una clara correlación entre la actividad cerebral relacionada con las tareas motoras solicitadas a los pacientes y un aumento de la actividad motora contralesional. Los investigadores demostraron que existe organización cortical durante la recuperación. Reconocieron un incremento de la excitabilidad del hemisferio afectado con mejoras perdurables en la actividad motora de la mano en el seguimiento realizado a los pacientes seis meses después de la primera aplicación.^(1,2)

La plasticidad neuronal es un proceso continuo que se mantiene durante toda la vida del individuo⁽¹⁾. Puede definirse como la capacidad que posee el cerebro para adaptarse a los cambios internos o externos.⁽¹⁶⁾ Esta capacidad implica cambios neuronales a nivel estructural y funcional que pueden ponerse de manifiesto si se observan los cambios sensoriales, motores o el rendimiento cognitivo de las personas. Gracias a esa capacidad, los mapas corticales se pueden modificar como consecuencia de la información sensorial, el aprendizaje o la experiencia; o como respuesta a lesiones cerebrales. Los tres primeros procesos se engloban dentro de la plasticidad fisiológica y el último dentro de la plasticidad patológica, la cual puede ser adaptativa o mal adaptativa.⁽¹⁵⁾

Esta última puede tener lugar en respuesta a una malformación congénita, en respuesta a un daño adquirido o a algún tipo de enfermedad metabólica. En esta revisión nos centraremos en la plasticidad neuronal en pacientes adultos que sufren daño adquirido. Por tanto, en este marco el término plasticidad se describiría como el conjunto de cambios anatómicos y funcionales producidos en el cerebro con el fin de mejorar (recuperación parcial) o recuperar totalmente la funcionalidad del mismo tras un daño adquirido.^(16,17)

La reorganización neuronal que se genera para intentar compensar o restaurar la función perdida comienza en las áreas alrededor de la lesión y más tarde se expande a otras áreas secundarias pertenecientes al mismo hemisferio o zonas análogas del hemisferio contralateral.^(15,18) El hemisferio contralateral puede compensar en ciertos casos los déficits haciéndose cargo de las funciones del área dañada.^(15,19,20,21,22,23) A esta capacidad del cerebro se le llama plasticidad neuronal.

Después de una lesión o noxa neurológica puede aparecer una plasticidad favorable que induzca a una recuperación funcional. La plasticidad adaptativa es la habilidad de sobrevivir y reproducirse en un ambiente donde se presenta un daño, mientras que la plasticidad mal adaptativa incluye cualquier respuesta a una condición ambiental que no aumente la adaptación de este.^(24,25,26,27,28)

La neuroplasticidad que se da durante la ontogenia, para la elaboración de nuevos circuitos inducidos por el aprendizaje y mantenimiento de las redes neuronales tanto en el adulto como en el anciano, se denomina plasticidad natural. Posterior a lesiones periféricas y/o centrales del sistema nervioso hay remodelación o cambios que subyacen a la recuperación clínica parcial o completa. A esta se le denomina plasticidad poslesional.^(29,30)

Los fenómenos neuroplásticos no solo ocurren a nivel del ambiente intraneuronal e intersináptico. Dicho de otro modo, no se trata de un asunto solo entre neuronas, sino que al

parecer también hay procesos en el ambiente extracelular, tipo inducción de moléculas de adhesión celular y procesos plásticos asociados al astrocito (célula principal que compone la matriz extracelular).^(31,32,33,34)

La plasticidad, que obedece más al orden de la biología neuronal e interneuronal, requiere participación de la neuroglia que ejecuta acciones de neovascularización, regulación energética, modulación metabólica,⁽³⁵⁾ regulación astrocítica de la corriente de calcio para sinaptogénesis y señalización neuronal. Por tanto, existen procesos neuroplásticos de orden extraneuronal.⁽³⁶⁾

Los recientes adelantos en las neurociencias han confirmado que el cerebro tiene la capacidad de reorganizarse después de un accidente cerebrovascular. Varios estudios han asociado elementos de la estimulación aferente con un cambio beneficioso en la actividad cerebral, incluidos la repetición, la actividad dirigida hacia una meta funcional y la electroestimulación.

Estos indicios de las neurociencias coinciden con observaciones menos sistemáticas publicados en la bibliografía sobre fisioterapia que indican que la repetición e intensidad, la actividad funcional y la electroestimulación podrían promover la recuperación del movimiento y la capacidad funcional después del accidente cerebrovascular. Por consiguiente, la evidencia científica indica que la recuperación motora puede mejorar con la administración de una dosis apropiada de estimulación aferente, que surgiría normalmente de las actividades funcionales.

Sin embargo, muchas personas con parálisis, o incluso con paresia después del accidente cerebrovascular, no podrían participar en el entrenamiento funcional. En los casos en que la parálisis o la paresia impidieran la activación voluntaria suficiente del músculo para producir actividad funcional, la electroestimulación podría ser beneficiosa. Además, podría esperarse que la falta de uso produjera cambios en las propiedades del músculo esquelético después del accidente cerebrovascular debido a la alteración de la transmisión neuromuscular descendente.

En efecto, tales expectativas están apoyadas por los hallazgos de una reducción general de la capacidad funcional de los músculos esqueléticos después del accidente cerebrovascular no relacionada con el tiempo transcurrido desde el ictus ni con la gravedad de la paresia, pero sí con la ausencia de ejercicio físico diario. Las expectativas también están avaladas por el hallazgo que los comandos descendentes desde la corteza dañada hacia el lado parético no logran activar a las neuronas motoras alfa de umbral alto que estimulan las fibras tipo II.

La posibilidad que la electroestimulación mejore la capacidad para contraer el músculo esquelético después del accidente cerebrovascular se ejemplifica en un estudio en el cual la fuerza máxima de dorsiflexión del tobillo después de la estimulación eléctrica del nervio peroneo común fue igual en los lados parético y no parético, aunque la dorsiflexión voluntaria máxima en el lado parético fue mucho menor con respecto al lado no parético. Por consiguiente, los hallazgos de la investigación indican que la electroestimulación, proporcionada en la dosis apropiada, puede promover la recuperación del movimiento o la capacidad funcional después del accidente cerebrovascular en mayor medida que el paquete de fisioterapia convencional.^(37,38)

Las tecnologías de apoyo son la clave para mejorar la calidad de vida de personas con problemas de movilidad.⁽³⁹⁾ Pacientes que sufren parálisis cerebral, derrame cerebral, daños en la columna vertebral u otros problemas neuromusculares pueden, actualmente, disfrutar de dispositivos que les ayudan a atenuar algunos déficits en sus actividades de la vida diaria como en la rehabilitación de los miembros paralizados.^(40,41,42) La imposibilidad para interactuar con el medio físico y social tiene un impacto muy negativo en estos pacientes en situación de discapacidad.^(41,43,44,45,46,47,48)

Se concluye que la rehabilitación en el paciente hemipléjico debe ser lo más tempranamente posible en relación con el evento cerebrovascular. La electroestimulación funcional debe ser parte fundamental en su tratamiento neurorestaurativo.

REFERENCIAS BLIOGRÁFICAS

1. Sotelano F. Estimulación eléctrica funcional (EEF): Estado actual en el hemipléjico adulto. 2003 [acceso: 03/07/2018]; 28:137-9. Disponible en: http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacionfis/estimulacion_electrica_en_el_hemiplejio.pdf
2. Wenjuan Wei LB, Jun Wang. A longitudinal study of hand motor recovery after subacute stroke a study combined FMRI with diffusion tensor imaging.pdf. Plos One. 2013 [acceso: 03/07/2018]; 8(5):12. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0064154>
3. Yan T, Hui Chan CW, Li LS. Functional electrical stimulation improves motor recovery of the lower extremity and walking ability of subjects with first acute stroke: a randomized

- placebo-controlled trial. *Stroke; a journal of cerebral circulation*. 2005 [acceso: 03/07/2018]; 36(1):80-5. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15569875>
4. Makowski N, Jayme Knudson, Jhon Chae M. Interaction of poststroke voluntary effort and functional neuromuscular electrical stimulation. *National Institute of Health*. 2013 [acceso: 03/07/2018]; 50(1):85-98. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3605753/>
5. García de la Rosa RD; García Rodríguez Y; González Ramírez JC, Fernández Benítez D. La enfermedad cerebrovascular isquémica, prioridad en Esmeralda. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. Enero-abril 2014 [acceso: 03/04/2018]; 52 (1):58-67. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000100006
6. Buergo Zuaznábar MA, Fernández Concepción O. Guías de práctica clínica. Enfermedad cerebrovascular. La Habana: Ciencias Médicas. 2009 [acceso: 30/01/2018]. Disponible en: <http://files.sld.cu/enfermedadcerebrovascular/files/2011/06/guias-practica-clinica-ecv-cuba.pdf>
7. Blanco Aspiazu MA MGH, Suárez Bergado R, Canelles Pupo M. La propedéutica clínica y el aprendizaje de la clínica cerebrovasculares. *Rev Haban Cienc Méd*. 2009 [acceso: 30/01/2018]; 8(1). Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000100006
8. Nebojsa M, Malesevic LZPM, Vojinilic. A multi pad electrode based functional electrical stimulation system for restoration of grasp. *J Neuroengineering and rehabilitation*. 2012 [acceso: 03/07/2018]; 9:66. Disponible en: <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-9-66>
9. Lindenberg R, Zhu LL, Schlaug G. Combined central and peripheral stimulation to facilitate motor recovery after stroke: the effect of number of sessions on outcome. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2012 [acceso: 03/07/2018]; 26(5):479-83. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3666327/>
10. Anderson CV, Fuglevand AJ. Probability-based prediction of activity in multiple arm muscles: implications for functional electrical stimulation. *Journal of Neurophysiology*. 2008 [acceso: 03/07/2018]; 100(1):482-94. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2493483/>
11. Suárez Sanabria N, Osorio Patiño AM. Biomecánica del hombro y bases fisiológicas de los ejercicios de Codman. *Rev CES Med*. 2013 [acceso: 03/07/2018]; 27(2):205-17. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cesm/v27n2/v27n2a08.pdf>

12. Knutson JS, Harley MY, Hisel TZ, Hogan SD, Maloney MM, Chae J. Contralaterally controlled functional electrical stimulation for upper extremity hemiplegia: an early-phase randomized clinical trial in subacute stroke patients. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2012 [acceso: 03/07/2018]; 26(3):239-46. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21875892>
13. Makowski NS, Knutson JS, Chae J, Crago P. Variations in neuromuscular electrical stimulation's ability to increase reach and hand opening during voluntary effort after stroke. *Conference proceedings: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Conference*. 2012 [acceso: 03/07/2018]:318-21. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23365894>
14. Schuhfried O, Crevenna R, Fialka Moser V, Paternostro Sluga T. Non-invasive neuromuscular electrical stimulation in patients with central nervous system lesions: an educational review. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2012 [acceso: 03/07/2018]; 44(2):99-105. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22334346>
15. Demey I, Allegri R, Barrera Valencia M. Bases neurobiológicas de la Rehabilitación. *CES Psicología*. 2014 [acceso: 03/07/2018]; 7(1):130-40. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/cesp/v7n1/v7n1a11.pdf>
16. Garcés Vieira MV, Suárez Escudero JC. Neuroplasticidad: aspectos bioquímicos y neurofisiológicos. *Rev CES Med*. 2014 [acceso: 03/07/2018]; 28(1): 119-32. Disponible en: <http://revistas.ces.edu.co/index.php/medicina/article/view/2748>
17. García Hernández JJ, Mediavilla Saldaña L, Pérez Rodríguez M, Pérez Tejero J, González Alted C. Análisis del efecto de las actividades físicas grupales en pacientes con daño cerebral adquirido en fase subaguda. *Rev Neurol*. 2013 [acceso: 03/07/2018]; 57: 64-70. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/247772487_Analysis_of_the_effect_of_physical_group_activities_in_patients_with_acquired_brain_injury_in_the_subacute_phase
18. Urazan J, Palacios J. Validación de un programa de estimulación neuropsicológico NEUROPROTENIC en pacientes con daño cerebral adquirido. *Rev. Chil. Neuropsicol*. 2014 [acceso: 03/07/2018]; 9(1-2):12-5. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/283939689_Validacion_de_un_programa_de_estimulacion_neuropsicologico_NEUROPROTENIC_en_pacientes_con_dano_cerebraladquirido

19. Valentin LSS, Fregni F, Carmona MJC. Effects of the Transcranial Direct Current Stimulation on prevention of postoperative cognitive dysfunction after cardiac surgery: prospective, randomized, double-blind study. *J Neurol Stroke*. 2015 [acceso: 03/07/2018]; 3(1):00078. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/289365444_Effects_of_the_Transcranial_Direct_Current_Stimulation_on_Prevention_of_Postoperative_Cognitive_Dysfunction_after_Cardiac_Surgery_Pro prospective_Randomized_Double-Blind_Study
20. Ochoa JF, Ascencio JL, Suárez JC. Aplicación de técnicas avanzadas de neuroimágenes en rehabilitación motora. *Biomédica*. 2014 [acceso: 03/07/2018]; 34:330-9. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bio/v34n3/v34n3a03.pdf>
21. Pérez Iglesias S, Maurenza González G, Nafeh Abi-Resk L, Romero González VM. Enfermedad cerebrovascular: Factores de riesgo en un área de salud. *Rev Cubana Med Gen Integr*. 1998 [acceso: 30/07/2013]; 14(2):[aprox. 1 pantalla]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086421251998000200005&lng=es
22. Alberdi Odriozola F, Iriarte Ibarrarán M, Mendía Gorostidi A, Murgialdai A, Marco Garde P. Pronóstico de las secuelas tras la lesión cerebral. 2009. [acceso: 03/05/2019]; 33(4):153-215. Disponible en: <http://medintensiva.org/es-pronostico-las-secuelas-tras-lesion-articulo-S0210569109712136>
23. García Molina A, López Blázquez R, García Rudolpha A, Sánchez Carrión R, Enseñat Cantalops A, Tormos JM. Rehabilitación cognitiva en daño cerebral adquirido: variables que median en la respuesta al tratamiento. *Rehabilitación (Madr)*. 2015 [acceso: 03/07/2018]; 49(3):144-9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048712015000298>
24. Grossberg S. Adaptive resonance theory: how a brain learns to consciously attend, learn and recognize a changing world. *Neural Netw*. 2013 [acceso: 03/07/2018]. Jan;37:1-47. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23149242>
25. Raynaud F, Janossy A, Dahl J, Bertaso F, Perroy J. Shank3-Rich2 interaction regulates AMPA receptor recycling and synaptic long-term potentiation. *J Neurosci*. 2013 [acceso: 03/07/2018] Jun 5;33(23):9699-715. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237059805_Shank3-Rich2_Interaction_Regulates_AMPA_Receptor_Recycling_and_Synaptic_Long-Term_Potentiation

26. Coba MP, Pocklington AJ, Collins MO, Kopanitsa MV, Uren RT, Swamy S, Croning MD, Choudhary JS, Grant SG. Neurotransmitters drive combinatorial multistate postsynaptic density networks. *Sci Signal*. 2009 [acceso: 28/04/2018]. 2(68):ra19. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/24376517_Neurotransmitters_Drive_Combinatorial_Multistate_Postsynaptic_Density_Networks
27. Collins MO, Yu L, Coba MP, Husi H, Campuzano I, Blackstock WP, Choudhary JS, Grant SG. Proteomic analysis of in vivo phosphorylated synaptic proteins. *J Biol Chem*. 2005 [acceso: 03/02/2018]; 280(7):5972-82. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/8155928_Proteomic_Analysis_of_in_Vivo_Phosphorylated_Synaptic_Proteins
28. Jin DZ, Guo ML, Xue B, Mao LM, Wang JQ. Differential Regulation of CaMKII α Interactions with mGluR5 and NMDA Receptors by Ca²⁺ in Neurons. *J Neurochem*. 2013 [acceso: 24/08/2018]. 127(5):620-31. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3933469/>
29. Rogawski MA. AMPA receptors as a molecular target in epilepsy therapy. *Acta Neurol Scand Suppl*. 2013 [acceso: 24/08/2018]; (197):9-18. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4506648/>
30. Newton SS, Fournier NM, Duman RS. Vascular growth factors in neuropsychiatry. *Cell Mol Life Sci*. 2013 [acceso: 03/05/2018]; 70(10):1739-52. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23475069>
31. Chowdhury D, Marco S, Brooks IM, Zanduetta A, Rao Y. Tyrosine phosphorylation regulates the endocytosis and surface expression of GluN3A-containing NMDA receptors. *J Neurosci*. 2013 [acceso: 27/02/2018]; 33(9):4151-64. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23447623>
32. Proenza Fernández L, Núñez Ramírez L, de la Paz Castillo K, Ortiz Velasco M, Fuoman-Linares Y. Caracterización de los factores de riesgo en pacientes con Enfermedad Cerebrovascular. *Multimed*. 2017 [acceso: 18/08/2018]; 16(4):[aprox. 12 pantallas]. Disponible en: <http://www.revmultimed.sld.cu/index.php/mtm/article/view/596>
33. Otaño Álvarez M, Núñez López MB, Amechazurra Oliva M, Triana Alonso PG. Proyecto de intervención para prevenir enfermedades cerebrovasculares en adultos mayores vinculados a una casa de abuelos. *Rev Cubana Med Gen Integr*. 2014 Sep [acceso: 18/08/2018]; 30(3):286-93. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252014000300001

34. D'Antonio G, Macklin P, Preziosi L. An agent-based model for elastoplastic mechanical interactions between cells, basement membrane and extracellular matrix. *Math Biosci Eng.* 2013 [acceso: 01/02/2018]; 10(1):75-101. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/234120543_An_agent_based_model_for_elastoplastic_mechanical_interactions_between_cells_basement_membrane_and_extracellular_matrix
35. Volman V, Bazhenov M, Sejnowski TJ. Divide and conquer: functional segregation of synaptic inputs by astrocytic microdomains could alleviate paroxysmal activity following brain trauma. *PLoS Comput Biol.* 2013 [acceso: 03/07/2018]; 9(1):e1002856. Disponible en: <https://journals.plos.org/ploscompbiol/article?id=10.1371/journal.pcbi.1002856>
36. Selemón LD. A role for synaptic plasticity in the adolescent development of executive function. *Transl Psychiatry.* 2013 [acceso: 03/07/2018]; 3(3):e238. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3625918/>
37. Pomeroy VM, King L, Pollock A, Baily Hallam A, Langhorne P. Electroestimulación para promover la recuperación del movimiento o la capacidad funcional después del accidente cerebrovascular (Revisión Cochrane traducida). En: *La Biblioteca Cochrane Plus.* 2013. ISSN 1745-9990. DOI: <https://www.cochranelibrary.com/es/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD003241.pub2/full/es>
38. Inobe J, Kato T. Effectiveness of finger-equipped electrode (FEE)-triggered electrical stimulation improving chronic stroke patients with severe hemiplegia. *Brain injury: [BI].* 2013 [acceso: 03/07/2018]; 27(1):114-9. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3545545/>
39. Sabut SK, Bhattacharya SD, Manjunatha M. Functional Electrical Stimulation on Improving Foot Drop Gait in Poststroke Rehabilitation: A Review of its Technology and Clinical Efficacy. *Critical Review in Biomedical Engineering.* 2013. [acceso: 03/07/2018]; 41(2):149–60 Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/260442453_Functional_Electrical_Stimulation_on_Improving_Foot_Drop_Gait_in_Poststroke_Rehabilitation_A_Review_of_its_Technology_and_Clinical_Efficacy
40. Real Delor RE, Jara Castillo GF. Pronóstico vital y secuelas neurológicas en los pacientes con accidente cerebrovascular del Hospital Nacional, Paraguay. *Rev Cubana Med.* 2016 [acceso: 18/08/2018]; 55(3):181-89. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75232016000300001

41. Valle J, Lopera E, Guillán M, Muñoz MC, Sánchez A, Hernández Y. Imitadores del ictus: un reto para el médico de urgencias. *Anales Sis San Navarra* . 2014 Ene-Abr [acceso: 20/03/2017];37(1):117-28. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272014000100013
42. Vander Linden ML, Hooper JE, Cowan P, Weller BB, Mercer TH. Habitual functional electrical stimulation therapy improves gait kinematics and walking performance, but not patient reported functional outcomes, of people with multiple sclerosis who present with foot drop. *PLoS One*. 2014 [acceso: 18/08/2018]; 9 (8):e103368. eCollection. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/264865968_Habitual_Functional_Electrical_Stimulation_Therapy_Improves_Gait_Kinematics_and_Walking_Performance_but_Not_Patient-Reported_Functional_Outcomes_of_People_with_Multiple_Sclerosis_who_Present_with_Foot
43. Scott SM, van der Linden ML, Hooper JE, Cowan P, Mercer TH. Quantification of gait kinematics and walking ability of people with multiple sclerosis who are new users of functional electrical stimulation. *J Rehabil Med*. 2013. [acceso: 03/07/2018]; 45(4):364-369 Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/235620908_Quantification_of_gait_kinematics_and_walking_ability_of_people_with_multiple_sclerosis_who_are_new_users_of_functional_electrical_stimulation
44. Taylor P, Humphreys L, Swain I. The long term cost effectiveness of the use of Functional Electrical Stimulation for the correction of dropped foot due to upper motor neuron lesion. *J Rehabil Med*. 2013 [acceso: 03/07/2018]; 45(2):154-60. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/234099184_The_long-term_cost-effectiveness_of_the_use_of_Functional_Electrical_Stimulation_for_the_correction_of_dropped_foot_due_to_upper_motor_neuron_lesion
45. Vander Linden ML, Scott SM, Hooper JE, Cowan P, Mercer TH. Gait kinematics of people with multiple sclerosis and the acute application of functional electrical stimulation. *Gait Posture*. 2014 [acceso: 03/04/2018]; 39(4):1092-96. Disponible en: <https://www.medicaljournals.se/jrm/content/html/10.2340/16501977-1109>
46. Downing A, Van Ryn D, Fecko A, Aiken C, McGowan S, Sawers S, et al. Effect of a 2 week trial of functional electrical stimulation on gait function and quality of life in people with multiple sclerosis. *Int J MS Care*. 2014 [acceso: 03/07/2018]; 16(3):146-52. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4204375/>

47. Berenguer Guarnaluses LJ, Pérez Ramos A. Factores de riesgo de los accidentes cerebrovasculares durante un bienio. MEDISAN. 2016 [acceso: 03/05/2019]; 20(5):622. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/san/v20n5/san05205.pdf>
48. Mayer L; Warring T; Agrella S; Rogers HL; Fox EJ. Effects of Functional Electrical Stimulation on Gait Function and Quality of Life for People with Multiple Sclerosis Taking Dalfampridine. Int J MS Care. 2015 [acceso: 03/07/2018]; 17(1):35–41. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4338641/>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

Bárbara Yumila Noa Pelier: Búsqueda bibliográfica, estructuración y redacción del artículo.
José Manuel Vila Gracia: Búsqueda bibliográfica, revisión de las referencias y corrección del artículo.