

# **TECNOLOGÍA BASADA EN BCI PARA NEUROREHABILITACIÓN DE PACIENTES CON ESCLEROSIS MÚLTIPLE**

**Doctorando: Mg. Bioing. Lucía Carolina Carrere**

**Director: Dra. Carolina Tabernig**

## **Resumen**

La esclerosis múltiple (EM) es una enfermedad degenerativa del sistema nervioso central que produce dificultad en la marcha. Como estrategia para la asistencia de la marcha en personas con EM (pEM) se ha propuesto la utilización de la estimulación eléctrica funcional (FES, por Functional Electrical Stimulation). Aunque, en la evaluación de la marcha sin el dispositivo de FES, las pEM no evidenciaron efectos que sugieran la recuperación motora. Investigaciones recientes han explorado con éxito el uso de interfaces cerebro-computadora (BCI, por Brain-Computer Interface) con FES para la recuperación motora en personas con secuelas por enfermedades neurológicas como el accidente cerebrovascular. Sin embargo, no hay antecedentes sobre el uso de esta tecnología en pEM.

Una BCI es un sistema que registra la señal de electroencefalografía (EEG) y la convierte en una señal de comando para controlar un dispositivo que ejecuta la acción deseada proporcionando realimentación al usuario. Cuando se utiliza esta tecnología para la recuperación motora, el usuario intenta mover la extremidad afectada (intención motora, IM). La IM es detectada por la BCI identificando en la señal de EEG la disminución en la potencia de los ritmos sensoriomotores, fenómeno conocido como desincronización relacionada a eventos (ERD, por Event-Related Desynchronization).

Esta tesis tuvo como objetivo general desarrollar una BCI-FES por ERD de la IM y evaluar su uso terapéutico en la recuperación motora de la marcha de pEM. Para ello, en primer lugar, se identificó, en la señal de EEG, la ERD de la IM de la dorsiflexión del pie afectado de pEM. Luego se desarrolló la tecnología y se la evaluó en pEM para determinar su desempeño. Finalmente, se realizó un estudio para evaluar su efecto terapéutico en la recuperación motora de la marcha de pEM.

En la primera etapa se registró la señal de EEG durante la IM de dorsiflexión del pie en 10 pEM. Las señales de EEG de las pEM se dividieron de acuerdo al grado de afección

que presentaban en su miembro inferior. La ERD de la IM se caracterizó respecto de su amplitud y latencia de inicio. Para la amplitud de la ERD se obtuvieron las evoluciones temporales del porcentaje de ERD. Mientras que para la estimación de la latencia de inicio de la ERD se desarrolló una nueva estrategia, la cual combina la prueba estadística no paramétrica de permutación por grupos con criterios relacionados al fenómeno neurofisiológico de la ERD. Los resultados de esta etapa mostraron que la ERD de la IM de la dorsiflexión del pie puede ser detectada en pEM. La mediana del porcentaje de ERD de ambos miembros fue similar a la reportada en la bibliografía para la ERD de la ejecución del movimiento de personas sin secuelas. En relación a la latencia de inicio de la ERD, se observó que ésta fue mayor en el miembro inferior más afectado respecto al menos afectado.

La segunda etapa comprendió el desarrollo de la BCI-FES por ERD de la IM de dorsiflexión del pie. La BCI-FES se configuró para trabajar en modo síncrono; y para registrar y procesar la señal de EEG de manera de generar la señal de comando. La señal de comando se envía a una interfaz que activa el dispositivo de FES estimulando el nervio peroneo común para contraer el tibial anterior y producir la dorsiflexión, facilitando al voluntario dar un paso hacia adelante. La BCI-FES también tiene en cuenta la dinámica de una terapia de rehabilitación y permite al terapeuta adaptar el umbral de clasificación durante la sesión. La BCI-FES se evaluó en 10 pEM en una sesión de uso. Entre las métricas de desempeño, se calculó la precisión, la cual resultó mayor (+10,1%) que el nivel de azar de 68.1%.

En la tercera etapa se llevó a cabo un estudio preliminar para explorar los efectos del uso de la BCI-FES en una intervención terapéutica. Se incorporaron 7 pEM, cada uno realizó 24 sesiones de terapia usando la BCI-FES distribuidas en 8 semanas. Los efectos se evaluaron en la velocidad de la marcha, la habilidad para caminar, la tasa de verdaderos positivos y la latencia de inicio de ERD. Se observó una mejora estadísticamente y clínicamente significativa en la velocidad de la marcha, a través de una disminución en el tiempo requerido para caminar la distancia de 25 pies ( $-1.99$  s,  $p = 0.018$ ), y en la habilidad para caminar ( $-31.25$  puntos,  $p = 0.028$ ). La tasa de verdaderos positivos también evidenció una mejora estadísticamente significativa ( $+15.87$  puntos,  $p = 0.018$ ). Respecto de la latencia de inicio de ERD, se observó una disminución de la misma ( $-180$  ms) una vez finalizada la intervención terapéutica. Los resultados indicaron mejoras en la marcha, los cuales podrían haber sido promovidos por cambios en las conexiones funcionales del cerebro que participan en la modulación de los ritmos sensoriomotores. De este modo, se puede concluir que la

tecnología BCI-FES por ERD podría tener efectos positivos en la recuperación motora de la marcha de pEM.

Los resultados obtenidos en esta tesis han sido divulgados a través de publicaciones científicas internacionales de ingeniería biomédica, neuro-ingeniería, tecnología de apoyo a la discapacidad y rehabilitación en EM<sup>1</sup>. En particular, el estudio preliminar realizado en la tercera etapa constituyó el primer reporte realizado sobre la aplicación de BCI para la rehabilitación de la marcha en pEM. Asimismo, se realizaron contribuciones en el área del tema de tesis a través del capítulo de un libro de ingeniería e informática médica y de artículos en revistas y eventos científicos, nacionales e internacionales<sup>2</sup>. En consecuencia, se han alcanzado los objetivos planteados y se han realizado contribuciones originales al área de conocimiento sobre BCIs y sus aplicaciones en rehabilitación.

---

<sup>1</sup> [10.1007/978-3-030-30648-9\\_151](https://doi.org/10.1007/978-3-030-30648-9_151); [10.1088/1741-2552/ac39b8](https://doi.org/10.1088/1741-2552/ac39b8); ISBN 978-950-532-438-5; [10.1177/1352458520969077](https://doi.org/10.1177/1352458520969077);

<sup>2</sup> [10.1007/978-3-030-87845-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-87845-0_3); <http://revista.sabi.org.ar/index.php/revista/article/view/334>; <http://revista.sabi.org.ar/index.php/revista/article/view/321>; [10.1109/RPIC53795.2021.9648493](https://doi.org/10.1109/RPIC53795.2021.9648493); [10.1007/s42600-021-00164-1](https://doi.org/10.1007/s42600-021-00164-1); <https://latamt.ieeer9.org/index.php/transactions/article/view/5835>; <https://latamt.ieeer9.org/index.php/transactions/article/view/6030>;