

DETERMINACIÓN DE LA FATIGA MUSCULAR CENTRAL MEDIANTE EEG

DETERMINATION OF CENTRAL MUSCLE FATIGUE BY EEG

Tania Jareth Pérez Martínez

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
M2203030@itcelaya.edu.mx

Alonso Alejandro Jiménez Garibay

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
alonso.jimenez@itcelaya.edu.mx

Nadia Renata Osornio Rubio

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
nadia.osornio@itcelaya.edu.mx

Luis Alejandro Alcaraz Caracheo

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México
79uis.alcaraz@itcelaya.edu.mx

Recepción: 3/octubre/2023

Aceptación: 30/noviembre/2023

Resumen

Los aportes en técnicas de adquisición y procesamiento de biopotenciales neuronales impactan significativamente en el entendimiento del funcionamiento del cuerpo humano. La electroencefalografía (EEG), una técnica médica que registra la actividad eléctrica neuronal proporciona información sobre el estado del sistema nervioso central durante la actividad física, particularmente en el contexto de la fatiga muscular (FM) central. Los avances tecnológicos en la mecatrónica médica —una ciencia que combina principios de mecánica, electrónica e informática con un enfoque en el desarrollo y la integración de sistemas mecatrónicos avanzados para mejorar procesos y equipos médicos— permiten hoy en día la aplicación de EEG mediante dispositivos portátiles. Estos sistemas son compactos y con un diseño práctico, lo que los hace adecuados para su uso en movimiento sin requerir una instalación permanente. Con un enfoque en la incursión de la mecatrónica médica en la fisioterapia, este trabajo explora los efectos de la actividad física en la actividad eléctrica neuronal con el fin de introducir una metodología para la determinación de la FM central haciendo uso de un dispositivo EEG portátil.

Palabras Clave: electroencefalografía, fatiga muscular, rehabilitación física.

Abstract

Advances in techniques for acquiring and processing neural biopotentials have a significant impact on our understanding of the human body's functioning. Electroencephalography (EEG), a medical technique that records neural electrical activity, can provide information about the state of the central nervous system during physical activity, particularly in the context of central muscle fatigue (MF).

Technological advancements in medical mechatronics—a field that combines principles of mechanics, electronics, and computer science with a focus on developing and integrating advanced mechatronic systems to enhance medical processes and equipment—now allow EEG to be applied using portable devices. These systems are compact and designed for practical use, making them suitable for on-the-go applications without needing permanent installation.

With a focus on incorporating medical mechatronics in physiotherapy, this work explores the effects of physical activity on neural electrical activity to introduce a methodology for determining central muscle fatigue using a portable EEG device.

Keywords: *electroencephalography, muscle fatigue, physical rehabilitation.*

1. Introducción

En el ámbito de la salud, la intersección de la medicina y la especialización de áreas ingenieriles como la mecatrónica, brindan en conjunto una visión integral para el estudio del cuerpo humano y los procesos individuales de los sistemas biológicos. El crecimiento de la demanda de equipos médicos permite la exploración y monitoreo del cuerpo humano de una manera ergonómica, accesible y menos invasiva. Este concepto genera un fuerte interés en la innovación de instrumentos y procedimientos mediante la integración de herramientas tecnológicas como sistemas de conectividad inalámbrica, interfaces cerebro-computadora (BCI), infraestructura de Internet de las Cosas (IoT) y equipos de hardware y software de código abierto para promover la creación de sistemas mecatrónicos avanzados. En entornos específicos, como la rehabilitación cognitiva y física, las técnicas de

detección y análisis de bioseñales, como el EEG, ofrecen la capacidad de evaluar las condiciones musculares para identificar parámetros que indiquen la presencia de FM. Esta ventaja permite a los profesionales de la fisioterapia realizar evaluaciones precisas de las habilidades motoras del paciente y la oportunidad de integrar los resultados para optimizar las sesiones de terapia en la vida diaria de las personas, así como la adherencia y el seguimiento a largo plazo.

Actualmente existen diferentes técnicas que proporcionan información de los biopotenciales cerebrales, algunos con mayor precisión con respecto al diagnóstico de afecciones neuromotoras, como la magnetoencefalografía y la resonancia magnética funcional, aunque ambos métodos tienen una mayor resolución espacial respecto a la EEG, esta última técnica ha sido mayormente utilizada debido a las mediciones directas de la actividad neuronal, aparente bajo costo y portabilidad para uso clínico. La EEG superficial es una técnica de adquisición de bioseñales que, a través de la disposición de electrodos en el cuero cabelludo, mide la actividad cerebral producida por corrientes eléctricas dadas tras la carga y descarga de las células sinápticas motoras [Abiri et al., 2019].

Por otro lado, la definición y el estudio de la fatiga de forma general se considera una tarea compleja, por lo que se han creado diferentes definiciones del término en función del enfoque desde el que se analiza. Con un interés en la FM, se conjuntan los aportes de [Millet et al., 2003] [Behm et al., 2001] [Van Der Linden et al., 2003] a fin de establecer una definición desde una perspectiva neuromuscular, encontrándola como una disminución en la fuerza máxima que se puede ejercer o la incapacidad de mantener la fuerza requerida para una actividad, causada por una disfunción en la comunicación entre los músculos y el sistema nervioso, siendo estas estructuras, las responsables principales de la contracción muscular y por ende, de la generación de fuerza muscular. El conocimiento de ambos conceptos posibilita el entendimiento de la trayectoria que ha tomado la evolución de su análisis e identificar puntos de innovación, de tal forma que esta investigación propone una metodología basada en la adquisición de señales cerebrales mediante un dispositivo EEG móvil, para la determinación de FM central a través del procesamiento digital de señales obtenidas durante un movimiento fatigante.

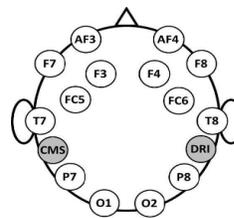
2. Metodología

El prototipo utilizado consta de componentes hardware y software para las etapas de adquisición y procesamiento de biopotenciales respectivamente. Se recurrió a una diadema EEG para la medición y registro de señales neuronales, EMOTIV EPOC+, véase la figura 1a. Las diademas EEG son una versión portable y cómoda de un equipo EEG convencional, ya que suelen estar diseñadas para ser no invasivas y fáciles de colocar, lo que las hace adecuadas para aplicaciones como la creación de BCI, tecnologías de neurocontrol y la monitorización de pacientes en entornos clínicos, lo que tiene aplicaciones potenciales en la salud.

La EMOTIV EPOC+ es un dispositivo previamente validado, que cuenta con el método 10-20 por parte de la Federación Internacional de Neurofisiología, un estándar que se observa en la figura 1b, el cual define la distancia entre los electrodos en la superficie de las diferentes zonas del cerebro, con el fin de asegurar la fiabilidad de las lecturas EEG. Mientras que para el registro de las variaciones en los biopotenciales EEG se recurre al software complemento de la headset, el EMOTIV PRO.



a) Headset EMOTIV EPOC+.

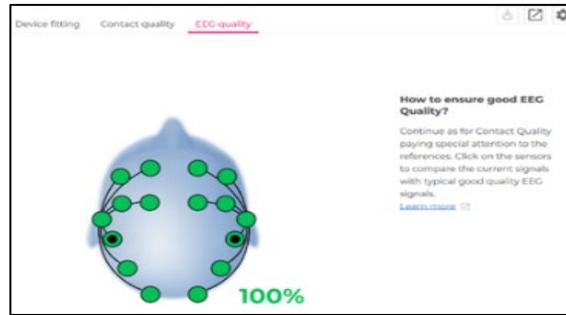


b) Método 10-20

Fuente: tomado de Emotiv Inc.

Figura 1 Prototipo hardware de adquisición de señales EEG.

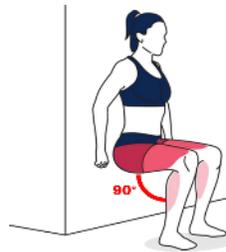
La colocación de los electrodos para la lectura de señales electroencefalográficas inicia con la preparación de la diadema, es decir, electrodos húmedos y enchufados a la diadema y conectada por bluetooth a la PC donde se encuentra la plataforma software de EMOTIV PRO. La interfaz de EMOTIV PRO brinda una serie de pasos para asegurar la disposición adecuada de la diadema en el cuero cabelludo, por lo que la adquisición de señales EEG solo puede tener lugar una vez que los indicadores de la interfaz sean de color verde, tal como lo indica la figura 2.



Fuente: tomado de Emotiv Inc.

Figura 2 Interfaz guía para colocación de headset EMOTIV EPOC+.

Para el desarrollo del experimento fatigante, se analiza la actividad eléctrica cerebral que produce una contracción de tipo isométrica, enfocada a la activación de los músculos cuádriceps femorales durante ejercicios de sentadilla estática, el cual se observa en la figura 3. La dinámica del ejercicio implica la realización de 3 contracciones isométricas en la máxima capacidad del usuario siguiendo el protocolo que describe la figura 4, teniendo un total de 130 segundos en los que se adquieren las señales EEG, a fin de considerar a la primera y tercera lectura estados de no fatiga y fatiga respectivamente.



Fuente: SimplyFitness.

Figura 3 Sentadilla estática en pared.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4 Protocolo experimental para realización de tarea fatigante.

La etapa de procesamiento consiste en la extracción de los datos en los canales T7 y T8 debido a su ubicación sobre la corteza motora como lo describe la figura 1b,

sección del lóbulo frontal del cerebro, responsable del control y ejecución de las contracciones musculares voluntarias.

Las bioseñales se procesan por medio de filtros pasa bandas de tipo Butterworth de cuarto orden, con frecuencias de corte según los diferentes ritmos cerebrales: theta (4-8 Hz), alfa (8-12 Hz), beta (12-25 Hz) y gamma (25-45 Hz). De los cuales se seleccionó la onda alfa de acuerdo con los trabajos de [Taghizadeh et al, 2020] quienes señalan que en este ritmo existe mayor actividad a la par que se realizan tareas físicas, al sugerir que otras áreas cerebrales intervienen para compensar el esfuerzo que demanda una tarea extenuante. Una vez filtrados los datos, se recurre a la Transformada Rápida de Fourier para calcular la potencia de ancho de banda del ritmo alfa de manera individual en los canales T7 y T8, para finalmente dividirse entre la potencia de la señal EEG total, con el fin de visualizar un aumento en la amplitud de la potencia relativa conforme al tiempo, correspondiente a un estado de fatiga indicado por el usuario de manera verbal según su sentir durante la prueba experimental.

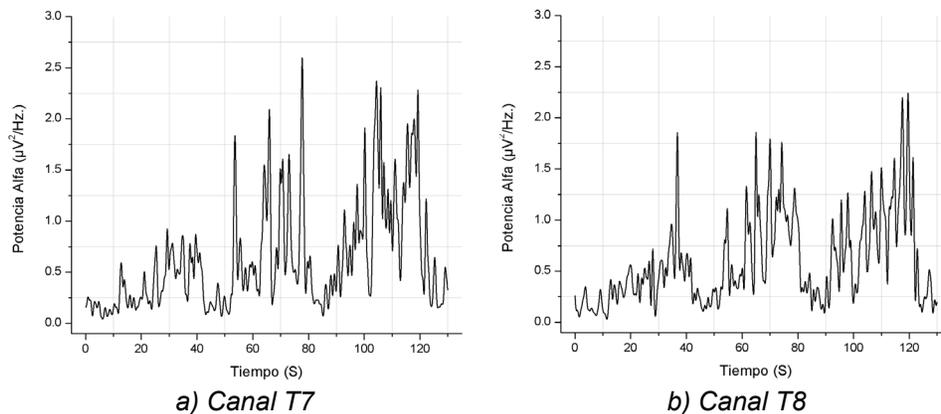
3. Resultados

En las gráficas de la figura 5, se observa un aumento en el ancho de banda alfa en los tiempos respectivos a las contracciones musculares del ejercicio de sentadilla estática, a su vez es clara la diferencia de amplitud entre la primera (10 a 40 segundos) y la última contracción (90 a 120 segundos) en ambos canales. Estos hallazgos concuerdan con las aportaciones de [Barwick et al, 2012], quien denota un patrón neuronal particular, en el que indica que un aumento en la potencia alfa asociado a esfuerzos físicos tiene lugar en las áreas central y frontal del cerebro, tal como lo indica la figura 5. Por ende, al haber un aumento en la demanda de actividad cerebral, se considera a este esfuerzo extenuante un estado de FM.

4. Discusión

Los resultados de este estudio confirman que el uso de un dispositivo EEG portátil es efectivo para la detección y monitorización de la FM central durante un desempeño físico, alcanzando el objetivo inicial de evaluar la utilidad de la

metodología presente en un contexto práctico y proporcionar una herramienta de diagnóstico más precisa para la fatiga muscular central.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5 Potencia de onda alfa durante actividad física fatigante.

Aún con todo esto, se plantea que futuras investigaciones exploren la aplicación de la misma metodología en diferentes ejercicios para diferentes músculos, además de que la validación en una variedad de poblaciones y condiciones deportivas sería esencial.

5. Conclusiones

En última instancia, la monitorización de datos fisiológicos como la actividad neuromuscular y su conjunción con información contextual como un protocolo experimental o un esquema de ejercicios y técnicas de rehabilitación, representa un avance significativo en ámbitos de fisioterapia, beneficiando a su vez el desarrollo de la mecatrónica médica para propiciar la creación de herramientas tecnológicas de asistencia, en este caso, la monitorización de la FM como una métrica objetiva de las capacidades motoras del paciente.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Barwick, F., Arnett, P., & Slobounov, S., (2012). EEG correlates of fatigue during administration of a neuropsychological test battery. *Clin Neurophysiol*, 123, 278–84. [https://doi: 10.1016/j.clinph.2011.06.027](https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.06.027).

- [2] Abiri, R., Borhani, S., Sellers, E. W., Jiang, Y., & Zhao, X. (2019). A comprehensive review of EEG-based brain–computer interface paradigms. *Journal of Neural Engineering*, 16(1), 011001. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aaf12e>.
- [3] Behm, D. G., Power, K., & Drinkwater, E. J. (2001). Comparison of interpolation and central activation ratios as measures of muscle inactivation. *Muscle & Nerve*, 24(7), 925–934. <https://doi.org/10.1002/mus.1090>.
- [4] Millet, G. P., Millet, G. P., Lattier, G. et al. (2003). Alteration of Neuromuscular Function After a Prolonged Road Cycling Race. *International Journal of Sports Medicine*, 24(3), 190–194. <https://doi.org/10.1055/s-2003-39088>.
- [5] Taghizadeh, Sh., Pirouzi, S., Zamani A. et al. (2020). Does Muscle Fatigue Alter EEG Bands of Brain Hemispheres? *Journal of biomedical physics & engineering*, 10(2): 187–196. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.621>.
- [6] Van Der Linden, D., Frese, M., & Meijman, T. F. (2003). Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning. *Acta Psychologica*, 113(1), 45–65. [https://doi.org/10.1016/s0001-6918\(02\)00150-64](https://doi.org/10.1016/s0001-6918(02)00150-64).