

Sistema de Detección Automática de Fatiga en Bíceps y Tríceps Basado en Algoritmos de Aprendizaje de Máquinas: Propuesta

Pedro Narváez Rosado, Ing.², Carlos Robles Algarín, PhD.¹ y Gustavo Núñez Ortiz¹
¹Universidad del Magdalena, Colombia, carlosarturo.ing@gmail.com, tavonunez260@gmail.com
²Universidad del Norte, Colombia, pjnarvaez@uninorte.edu.co

Resumen— Este proyecto propone desarrollar un sistema de detección automática de fatiga en los músculos bíceps y tríceps utilizando algoritmos de aprendizaje de máquinas (ML). El objetivo principal, es evaluar el desempeño de diferentes modelos de ML, para predecir el nivel de fatiga del músculo al finalizar una serie de ejercicios, teniendo en cuenta características extraídas de la señal electromiográfica (EMG), frecuencia cardíaca (FC), datos cinemáticos del brazo e información demográfica de las personas.

Palabras clave— Señal electromiográfica, Aprendizaje de máquinas, parámetros fisiológicos, fatiga muscular.

I. INTRODUCCIÓN

La fatiga en términos generales, está definida como la incapacidad física, psíquica u orgánica para mantener una intensidad de trabajo esperada, con la particularidad de ser reversible con el reposo. [1]

La fatiga muscular está muy relacionada con la incapacidad del músculo esquelético para realizar ejercicios que requieran de niveles altos de fuerza muscular, mantener una intensidad continua del ejercicio, disminuir la velocidad de contracción y aumentar la relajación del músculo, ocasionando una disminución en el rendimiento físico de la persona. Este fenómeno puede ser causado por esfuerzos excesivos sin permitir la recuperación adecuada, la falta de entrenamiento físico, mala alimentación, descanso insuficiente y abuso de bebidas alcohólicas o tabaco. A su vez, se pueden presentar alteraciones de la función locomotora, afectar los estímulos nerviosos como la falta de coordinación, el aumento en la frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y presión arterial. [2].

Hoy día ir al gimnasio no es sólo una práctica deportiva, sino un estilo de vida que muchas personas han adoptado y que la sociedad ha promovido últimamente a través de distintos medios, los deportistas aficionados generalmente tienen pocos conocimientos respecto a los riesgos que implican asistir al gimnasio, siendo la fatiga muscular una de las lesiones más comunes. Por lo tanto, es muy importante que la persona deba estar acompañada de un experto en el tema, que ayude a realizar un buen calentamiento previo, una buena postura mientras realiza el ejercicio, no sobreentrenar los músculos, realizar buenos estiramientos, etc., lo cual se convierte en una primer limitante.

Generalmente, la fatiga inducida por el ejercicio no se atiende como un problema médico grave, ya que se puede solucionar después de un descanso prolongado. De tal manera,

la persona puede entrenar sus músculos para conseguir más resistencia y evitar fatigarse rápidamente. Es por eso, que muchos atletas suelen variar sus rutinas de ejercicios y la intensidad de sus entrenamientos para no presentar complicaciones de salud y mejorar su rendimiento físico. Por lo tanto, conocer el estado de fatiga del músculo en el transcurrir de su entrenamiento, sería una información valiosa que ayudaría a controlar las rutinas periódicas, evitar lesiones y obtener éxitos en su actividad física.

Son pocos los trabajos realizados para detectar la fatiga muscular. En Colombia, el campo de la bioingeniería no ha publicado muchas investigaciones relacionadas con el tema, la mayoría se basan en la rehabilitación y diagnóstico médico. De hecho, en el departamento del Magdalena, no se ha contemplado la posibilidad de incorporar esta clase de estudios en planes de acción gubernamental que, promuevan y estimulen la investigación en el deporte.

Hasta el momento, existen muchas aplicaciones móviles dedicadas al entrenamiento físico de la persona, y además se han realizado diversas investigaciones en este campo. Sin embargo, la mayoría de los trabajos están orientados a la identificación o reconocimiento del ejercicio que está realizando la persona (caminar, trotar, etc.), utilizando datos de acelerómetros y giroscopios que poseen los dispositivos móviles.

En [4], desarrollaron un dispositivo llamado “SmartCoach” que permite identificar cuando el sujeto realizó un mal movimiento en el ejercicio y tiene en cuenta el número de repeticiones que ha ejecutado. En este proyecto, implementaron técnicas de aprendizaje profundo con base a características obtenidas de un acelerómetro.

En [5], desarrollaron una aplicación para Smartphones y Smartwatches llamada “FitCoach”, el cual usa los sensores de estos dispositivos (acelerómetro y giroscopio) para determinar de forma automática el ejercicio que está realizando. Utiliza una máquina de soporte vectorial para reconocer hasta 13 tipos de ejercicios, tomando como características principales la duración del ejercicio, número de series y repeticiones ejecutadas.

También se han desarrollado sistemas que permiten diseñar un programa de rutinas personalizado, utilizando lógica difusa, basándose en información personal del usuario [6].

Para el estudio de las fatigas musculares, en [7] realizaron una investigación con el fin de identificar modelos de aprendizaje de máquinas para el diagnóstico de la fatiga muscular. Los autores utilizaron características de tiempo y

frecuencia extraídas de la señal electromiográfica (EMG). Las características más relevantes fueron seleccionadas usando algoritmos genéticos y optimización por enjambre de partículas binarias. El estudio trabajó con una muestra de 52 sujetos saludables, la exactitud más alta alcanzada fue del 91.39%.

La máquina de soporte vectorial ha sido el modelo más utilizado para la detección de fatiga. En [8], realizaron un experimento similar al realizado en [7], utilizando características del dominio de tiempo y frecuencia, obteniendo una precisión del 96%. Por otra parte, en [9] extrajeron características de la señal EMG en diferentes bandas de frecuencias. El experimento se hizo con 10 sujetos sanos, éstos realizaron contracciones isométricas del bíceps, y el error de diagnóstico más alto de las permutaciones de características y algoritmos de aprendizaje automático fue del 6.06%.

Por otra parte, se han utilizado técnicas de Machine Learning para la caracterización de las señales EMG, y ser aplicados en el control automático de prótesis, en la investigación utilizaron redes neuronales artificiales, lógica difusa, algoritmos de modelos probabilísticos y algoritmos híbridos, donde el autor estima un 95%-98% de exactitud, y también sugirió el modelo autorregresivo para extracción de características de la señal EMG, puesto que es la más rápida y requiere menos recursos computacionales [10]. Además, se han implementado para la identificación del tiempo de activación y desactivación del tríceps, cuando se realiza levantamiento de pesas. El estudio se implementó en un sujeto con seis sesiones, con una exactitud máxima del 98.5% [11].

El aprendizaje de máquinas es un método que se está utilizando en muchos campos de la salud, con el fin de aportar en el diagnóstico de enfermedades. La principal limitación que poseen estas técnicas, es el número de muestras que utilizan para entrenar el modelo, ya que se requiere de una gran base de datos de dichas muestras, con el fin de lograr una caracterización de las señales y obtener un modelo de predicción generalizado. Hasta el momento, los trabajos realizados para la detección de fatiga muscular no cuentan con muchas muestras en su etapa de entrenamiento, por lo tanto, no garantizan una alta especificidad y sensibilidad en el diagnóstico.

Ya en el grupo de investigación Magma Ingeniería se logró un prototipo de medición de fatiga a partir de señales EMG, el cual fue validado en sesiones de entrenamiento del equipo universitario de voleibol [3]. Se obtuvieron resultados favorables, pero se requiere de un modelo más generalizado para evaluar diferentes tipos de músculos y mucho más portable.

Conociendo un poco la problemática, los antecedentes y las limitaciones existentes, en este proyecto de investigación se pretende desarrollar sistema de monitoreo que permita predecir de forma automática el nivel de fatiga en los músculos bíceps y tríceps, con la ayuda de modelos de ML.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto, se debe construir una base de datos con numerosas muestras de señales fisiológicas, explorar diferentes características extraídas de dichas señales que faciliten el entrenamiento de los modelos de aprendizaje, y a su vez, lograr obtener buenos resultados de precisión, especificidad y sensibilidad para la detección del nivel de fatiga muscular.

Se sabe que para evaluar la fatiga en un músculo, el indicador más preciso es la señal EMG. Sin embargo, se espera con este proyecto analizar otros indicadores que permitan dar la misma información, de una forma más práctica y de menor costo, como es el caso de la FC o datos cinemáticos del brazo. De igual forma, con la ayuda del modelo de ML se espera predecir cuantas sesiones de ejercicio requiere el músculo para fatigarse. A continuación, se enuncian las etapas principales que se requieren para la elaboración del proyecto.

A. Sistema de adquisición de señales fisiológicas

Esta primera etapa consiste en el diseño y construcción de un sistema que permita la adquisición simultánea de la señal EMG, frecuencia cardiaca y datos cinemáticos del brazo (velocidad, flexión y extensión). Esta fase consta de las siguientes implementaciones:

- Prototipo para la adquisición de la señal EMG: Evaluar las etapas de acondicionamiento de la señal (sensor, amplificación, filtrado) y conversión A/D.
- Dispositivo para la adquisición de la frecuencia cardiaca: Evaluar el desempeño del sensor y comparar los datos obtenidos con un equipo de referencia.
- Prototipo para la adquisición de datos cinemáticos, basados en acelerómetro y giroscopio para el reconocimiento de movimientos en el brazo (velocidad, flexión y extensión).
- Software que permita recibir y almacenar las muestras de los diferentes dispositivos, e ingresar los datos demográficos de las personas.

Verificar el buen funcionamiento del sistema y validar los datos obtenidos con el apoyo de expertos.

B. Repositorio de señales fisiológicas.

En esta etapa se van a recolectar las muestras fisiológicas, cinemáticas y demográficas de las personas voluntarias en el experimento. Para ello, se requieren de las siguientes actividades:

- Definir sesiones de ejercicios isométricos e isotónicos para bíceps y tríceps, en escenarios de Gimnasio y Parques Bio-saludables (Calistenia). A su vez, elaborar un manual de funciones con todas las recomendaciones y restricciones pertinentes para realizar las pruebas.
- Elaborar un documento de consentimiento informado para aquellas personas voluntarias, que desean colaborar en realizar los ejercicios y adquirir sus

señales EMG, FC, datos cinemáticos e información demográfica como son: Edad, peso, estatura y sexo.

- Construir una base de datos donde se encuentre toda la información organizada, bien etiquetada y de fácil acceso, que se adquirieron de las personas voluntarias.

C. *Extracción de características de las señales fisiológicas*

Esta etapa consiste en extraer características importantes en las señales, que será de gran ayuda para identificar el nivel de fatiga que presenta el músculo. Esta etapa permite eliminar la redundancia presente en los datos y proporcionar al modelo de ML un conjunto de valores lo más representativo y útil como sea posible para la tarea de clasificación o regresión.

Para ello, se inicia con una exhaustiva revisión bibliográfica, en donde se estudiarán diferentes técnicas de procesamiento de señal que pueden ser aplicadas (por ejemplo: Transformada de Fourier, Transformada Wavelet, Predicción Lineal, Densidad Espectral de Potencia, etc.), analizar la velocidad y frecuencia con que se realiza el ejercicio en cada sesión, y estudiar la variabilidad de la frecuencia cardiaca en cada instante de tiempo.

D. *Modelos de aprendizaje de máquinas*

En esta etapa se implementarán diferentes modelos de aprendizaje de máquinas, utilizando como entrada las características extraídas del conjunto de muestras. El objetivo principal, es detectar el nivel de fatiga que presenta el músculo, de acuerdo al entrenamiento que obtuvo el sistema previamente. Las actividades en esta fase son:

- Implementación de algoritmos de ML que se ajustan al problema de estudio.
- Entrenamiento de los algoritmos con las características previamente extraídas.
- Evaluar las métricas de precisión, especificidad y sensibilidad para la detección de fatiga en cada músculo.

E. *Análisis de resultados*

En esta última etapa se analizan los resultados obtenidos en cada experimento, teniendo en cuenta diferentes factores como son: Tipos de algoritmos de ML, técnicas de extracción de características, tipos de ejercicios isométricos e isotónicos, escenarios de entrenamiento (Gimnasio o Calistenia), niveles de frecuencia cardiaca, número de series y repeticiones de cada ejercicio.

Adicionalmente, se realizarán comparaciones de resultados con trabajos previos en este tema.

IV. CONCLUSIÓN

Digital Object Identifier: (to be inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

Se presentó una propuesta de desarrollo y evaluación de un sistema de prevención de fatigas en deportistas, dando una predicción del estado en que se encuentra el músculo en cada sesión de ejercicio. De esta manera, contribuye en mejorar eficientemente el rendimiento físico de un deportista, evitando lesiones por sobrecarga o movimiento equivocados.

Actualmente, se está construyendo un prototipo hermético para la adquisición de las distintas señales fisiológicas y se están estudiando diferentes técnicas de extracción de características y modelos de clasificación, inicialmente utilizando datos de bases de datos sobre lecturas EMG y cinemáticas existentes.

REFERENCIAS

- [1] Maulen J. "Estudio de fatiga muscular mediante estimulación de baja frecuencia". Tesis Doctoral. Universidad del Barcelona. Noviembre del 2005.
- [2] Gómez-Campos, R.; Cossio-Bolaños, M.A.; Brousett Minaya, M. y Hochmuller-Fogaca, R.T. (2010). Mecanismos implicados en la fatiga aguda. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* vol. 10 (40) pp. 537-555.
- [3] Morón, C.; De la Peña, S. "Sistema electromiográfico orientado a la detección de fatiga muscular en deportistas". Tesis de Grado. Universidad del Magdalena. 2011.
- [4] Achkar, R., Geagea, R., Mehio, H & Kmeish, W. SmartCoach Personal Gym Trainer: An Adaptive Modified Backpropagation Approach. *IEEE International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology*. 2016.
- [5] Guo, X., Liu, J & Chen, Y. FitCoach: Virtual Fitness Coach Empowered by Wearable Mobile Devices. *INFOCOM 2017 - IEEE Conference on Computer Communications*. 2017.
- [6] Kim, U. & Kim, J. A Fuzzy Expert System for Designing Customized Workout Programs. *Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2016 IEEE International Conference on*. 2016.
- [7] Kamaruddin, N., Khalid, P. & Shaameri, A. The Use of Surface Electromyography in Muscle Fatigue Assessments—A Review. *Nurul Asyikin, Puspa Inayat & Ahmad Zuri / Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) 74:6 (2015), 1–5*. 2015.
- [8] Karthick, P., Ghosh, P. & Ramakrishnan, S. Surface electromyography based muscle fatigue detection using high-resolution time-frequency methods and machine learning algorithms. *Computer Methods and Programs in Biomedicine 154 (2018) 45–56*, 2017 Elsevier B.V. All rights reserved. 2017.
- [9] Wu, Q., Chen, X., Ding, L., Wei, C., Ren H., Law, R., Dong, H., & Li, X. Classification of EMG Signals by BFA-Optimized GSVCM for Diagnosis of Fatigue Status. *IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING, VOL. 14, NO. 2, APRIL 2017*. 2017.
- [10] Karlik, B. Machine Learning Algorithms for Characterization of EMG Signals. *International Journal of Information and Electronics Engineering, Vol. 4, No. 3, May 2014*. 2014.
- [11] Madarshahian, S & Kobrai, H. Identification of Activating and Deactivating Times of The triceps Muscle during Weight Lifting Using Recurrent Neural Networks. *Second International Congress on Technology, Communication and Knowledge (ICTCK 2015) November, 11-12, 2015 - Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran*. 2015.