

# Análisis del patrón de activación muscular en la fase del pedaleo 0°-90° en dos tipos de bicicleta

Andrés Torres Velásquez<sup>1</sup>

Johana Carolina Forero<sup>2</sup>

## Resumen

A partir de una prueba realizada a un triatleta de categoría larga distancia, este trabajo buscó observar la activación en ocho músculos de la extremidad inferior izquierda por medio de electromiografía de superficie durante la fase 0°-90° del gesto de pedaleo y con dos tipos de bicicleta diferentes. Al finalizar este trabajo preliminar se observa que con algunos músculos como el Gastrocnemio Medial y el Tibial Anterior se advierten cambios en el patrón de activación mientras que con otros el comportamiento muscular es casi el mismo. Esto abre un interrogante acerca de la necesidad de analizar músculos hacia la parte distal de la cadera, que tal vez son los que se ven más afectados ante los cambios de posición de la bicicleta y así encontrar relaciones entre el desempeño del deportista con respecto al tipo de bicicleta.

Palabras clave: electromiografía, bicicleta aerodinámica, activación muscular, pedaleo.

## Problema

La electromiografía de superficie es una técnica que ha venido logrando un posicionamiento importante en diferentes campos del conocimiento a lo largo del tiempo. En el área deportiva, complementada con diferentes análisis biomecánicos, se han conseguido diferentes aproximaciones hacia el entendimiento detallado del comportamiento del deportista ante determinado gesto deportivo. A diferencia de otros deportes, el ciclismo facilita una estandarización de su actividad debido a la restricción que ejerce el movimiento de pedaleo sobre las extremidades inferiores. Con un completo entendimiento de los patrones musculares de activación de este tipo de deportistas en las extremidades inferiores y de los cambios externos que puedan

---

1 Ingeniero Mecánico. Magíster en Ingeniería, Énfasis Ingeniería Biomédica. Profesor Ingeniería Biomédica EIA-Universidad CES.

2 Ingeniera Biomédica EIA. Investigadora de Ingeniería Biomédica de la Escuela de Ingeniería de Antioquia – Universidad CES.

alterar un determinado grupo muscular, se le permite al entrenador o al personal del área de la salud no solo entrenar o rehabilitar un determinado grupo muscular, sino también entender qué tipo de postura debe mantener el deportista, la clase de bicicleta, entre otros factores externos. Estudios recientes han observado que el pedaleo influye sobre la actividad cardíaca, metabólica, respiratoria y endocrina durante y después del ejercicio en forma específica, dependiendo del tipo de actividad. Por lo tanto se hace un énfasis en la importancia de implementar protocolos más personalizados basados en la actividad electromiográfica del deportista, ya sean para el adecuado entrenamiento o para la rehabilitación del mismo (Francois Hug, 2007). Estudios más detallados acerca de la influencia que tienen los patrones electromiográficos de las extremidades inferiores en un ciclista sobre su rendimiento deportivo, han mostrado que un alto nivel de entrenamiento conlleva que la agrupación muscular sea más especializada respecto a ciclistas novatos, como consecuencia de las adaptaciones neuromusculares provocadas por el desarrollo continuo de la acción de pedaleo durante el entrenamiento de esta competencia deportiva. Todo lo anterior se ve reflejado en un decremento de la amplitud, en la duración de la actividad muscular y en la coactivación muscular, así como también en una menor variabilidad de los patrones de activación en medio de las repeticiones de éstas, entre otras características que se aprecian en los registros electromiográficos del deportista, tomados mientras desarrollan la actividad deportiva (Andrew Chapman, 2005). Éstas como otras investigaciones han buscado caracterizar el comportamiento muscular de grupos específicos de deportistas, porque esta disciplina deportiva tiene diversas especializaciones.

## Objetivo

Este estudio pretendió observar los patrones electromiográficos en ciclistas ante dos diferentes posturas durante el gesto del pedaleo: una convencional y la otra aerodinámica. Estas posiciones difieren la una de la otra y pueden tener implicaciones en la activación muscular del deportista. Se pretendió observar en un grupo muscular definido (cuatro músculos en cada extremidad), cómo se va dando su activación muscular en las fases de 0° y 90° del pedaleo (en sentido contrario de las manecillas del reloj), así como también calcular los ángulos en esas fases que realizan la cadera respecto a la tibia, la tibia respecto al tobillo y el tobillo respecto al pie en ambas posturas. En pasados estudios se determinó que la fase de mayor aporte muscular se encuentra entre 0° y 90°, y la analizaremos en el presente estudio. Igualmente se determinó que los músculos más representativos en esta fase son el semitendinoso, el recto anterior, el gastrocnemio medial y el tibial anterior.

## Metodología

Para la realización de la investigación se utilizaron una bicicleta convencional y una aerodinámica, con 72° y 78° de ángulo del tubo del sillín respectivamente, ambas sustentadas en un rodillo trasero; un electromiógrafo de superficie alámbrica marca BTS® PocketEMG® de 16 canales, para registrar el comportamiento muscular del deportista; cuatro marcadores reflectivos ubicados en la cabeza del fémur izquierdo, margen superior de la tibia izquierdo, maléolo lateral izquierdo y hallux izquierdo; y una cámara de video marca SONY® HD para capturar las diferentes fases del pedaleo del ciclista durante las pruebas realizadas.

Para el procesamiento inicial de la señal se hizo uso del software del electromiógrafo MYOLAB® y de allí se importó la señal correspondiente a la fase del pedaleo requerida al software MATLAB® para realizar el tratamiento final de ésta. Para sincronizar las señales electromiográficas con su fase correspondiente del pedaleo se hizo uso del WINDOWS LIVE MOVIE MAKER® donde se tenía control de tiempo en las unidades apropiadas de las imágenes registradas, y del software KINOVEA® para identificar las fases del pedaleo y sus respectivos ángulos realizados por las extremidades inferiores.

Para las pruebas se convocó a un triatleta de categoría larga distancia, edad 43 años, estatura 1.76 metros y peso 76 kilogramos, el cual accedió a participar voluntariamente después de firmar un consentimiento informado diseñado previamente en el laboratorio de biomecánica y análisis de movimiento de la universidad.

Como se mencionó anteriormente, para la realización del protocolo de las pruebas se tomaron en cuenta cuatro de los músculos que generan un papel representativo en el pedaleo: semitendinoso, recto anterior, gastrocnemio medial y tibial anterior. Estos músculos fueron ubicados manualmente en ambas extremidades y se limpiaron de vello e impurezas en la superficie de la piel antes de adherir los electrodos. Posteriormente se conectaron el PocketEMG® y las sondas de los electrodos al deportista, teniendo precaución de no dejar cables que pudiesen alterar su movimiento normal. Al deportista se le solicitó que durante la prueba no se levantara de la bicicleta ni soltara las manos del manubrio, también que mantuviera una cadencia en el intervalo de (60-90) rpm. Se realizó una fase de calentamiento de tres minutos; luego, durante cinco minutos se hicieron tres registros de video y de electromiografía de 20 segundos cada uno. Una vez terminada esta fase se realizó la recuperación pertinente para finalizar así con la prueba.

Una vez obtenida la señal, se tomaron tres revoluciones en cada uno de los registros y se recortaron las señales electromiográficas en los intervalos acordes al registro gráfico, teniendo en cuenta la convención angular en sentido anti horario, partiendo de 0° cuando el pedal se encuentra en su altura máxima. Luego se importaron los datos a MATLAB®, donde se realizó el filtrado de la señal y se calcularon los valores de activación máxima en cada señal.

Con la ayuda del software KINOVEA®, no solo se pudo identificar con mayor claridad los ángulos del pedal, sino también los correspondientes a las extremidades del deportista cuando se encontraba en las fases de 0° y 90° respectivamente. Siendo el ángulo 1 el que se conforma entre la línea de fémur y la línea de la tibia, el ángulo 2 el que se conforma entre la línea de la tibia y la línea del pie y el ángulo 3 el que se conforma entre la línea del pie y la horizontal.

## Resultados

Con la ayuda de la cámara de video se pudo obtener una aceptable sincronización entre ésta y el registro electromiográfico que se estaba adquiriendo de forma local en un computador, porque la resolución de la cámara estaba dentro de la cadencia que debía mantener el deportista durante la prueba. El tiempo de registro de la prueba fue el adecuado, ya que no se buscaba llegar a la fatiga del deportista. Sin embargo, solo se pudo obtener sincronización entre estas dos adquisiciones en la extremidad izquierda, dada la ubicación de la cámara de video.

En las pruebas realizadas con ambas bicicletas se encontraran diferencias respecto a los ángulos articulares (Tabla 1 y Tabla 2), siendo 13\_0, 14\_0, 15\_0, 13\_90, 14\_90, 15\_90 las imágenes correspondientes a la prueba realizada con la bicicleta normal y 23\_0, 24\_0, 25\_0, 23\_90, 24\_90, 25\_90 las imágenes correspondientes a la bicicleta aerodinámica. Para la fase del pedaleo correspondiente a 0°, se observó que el ángulo 1 en promedio para la bicicleta normal fue de 64° mientras que para la aerodinámica fue de 66.66°; para el ángulo 2 los promedios fueron de 78.6° y 73.3° y para el ángulo 3 los promedios fueron de 30.6° y 39° respectivamente. Para la fase del pedaleo correspondiente a 90°, se observó que el ángulo 1 en promedio para la bicicleta normal fue de 101.6°, mientras que para la aerodinámica fue de 106.66°; para el ángulo 2 los promedios fueron de 85.3° y 88.3° y para el ángulo 3 los promedios fueron de 13° y 28.33° respectivamente.

Tabla 1. Ángulos calculados a partir de los marcadores en la fase de 0° del pedaleo. Las tres primeras filas corresponden a las pruebas de la bicicleta normal y las tres últimas a las pruebas realizadas en la bicicleta

aerodinámica.			
0°	Ángulo 1	Ángulo 2	Ángulo 3
13_0	63	79	34
14_0	64	77	29
15_0	65	80	29
23_0	66	70	41
24_0	67	79	41
25_0	67	71	35

Tabla 2. Ángulos calculados a partir de los marcadores en la fase de 90° del pedaleo. Las tres primeras filas corresponden a las pruebas de la bicicleta normal y las tres últimas a las pruebas realizadas en la bicicleta aerodinámica

90°	Ángulo 1	Ángulo 2	Ángulo 3
13_90	107	85	12
14_90	99	86	13
15_90	99	85	14
23_90	106	88	33
24_90	109	94	30
25_0	105	83	22

La Figura 1 corresponde a algunas de las imágenes utilizadas en el cálculo de los ángulos de la extremidad izquierda en cada una de las bicicletas utilizadas.



Figura 1. Imágenes tomadas del software KINOVEA®. La imagen superior corresponde a la bicicleta convencional, mientras que la inferior corresponde a la bicicleta aerodinámica. Las líneas fueron trazadas a partir de la posición de los marcadores del deportista.

Tal como se aprecia en la fotografía, al optar por la posición aerodinámica el deportista tiende a sentarse hacia adelante, buscando comodidad y estabilidad en los brazos; la cadera se adelanta aproximadamente 10 cm y los ángulos de las articulaciones de la rodilla y el tobillo varían, teniendo en cuenta que la altura del sillín no se modifica. En este tipo de bicicletas además se modifica el ángulo del tubo de sillín, el cual es en una bicicleta normal de 72° a 73° y puede llegar a 78°, adelantándolo de esta forma.

Con respecto a las señales electromiográficas, se graficaron en MATLAB® por grupos el mismo músculo, fase del pedaleo con el tipo de bicicleta como se aprecia a continuación:

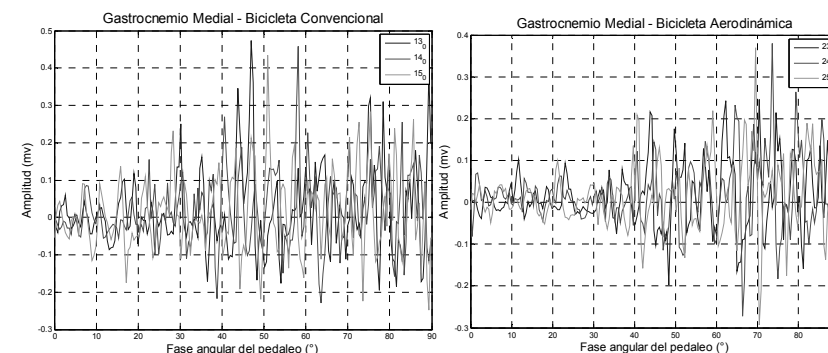


Figura 2. Señales electromiográficas en la fase de 0°-90° del gastrocnemio medial en ambos tipos de bicicleta.

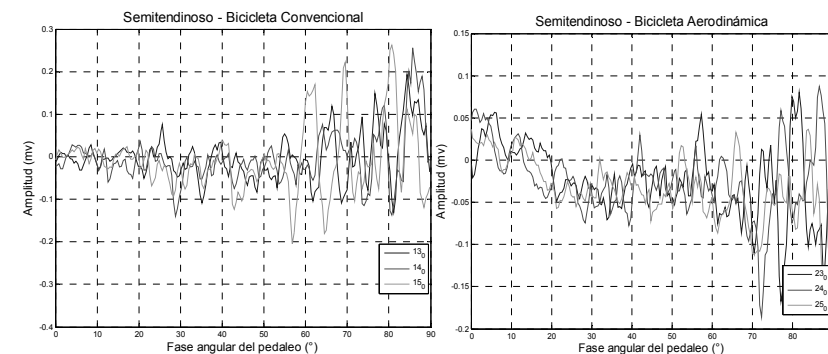


Figura 3. Señales electromiográficas en la fase de 0°-90° del semitendinoso en ambos tipos de bicicleta.

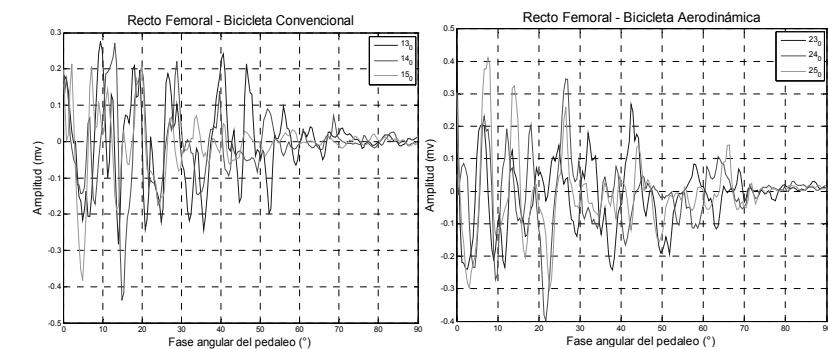


Figura 4. Señales electromiográficas en la fase de 0°-90° del recto femoral en ambos tipos de bicicleta.

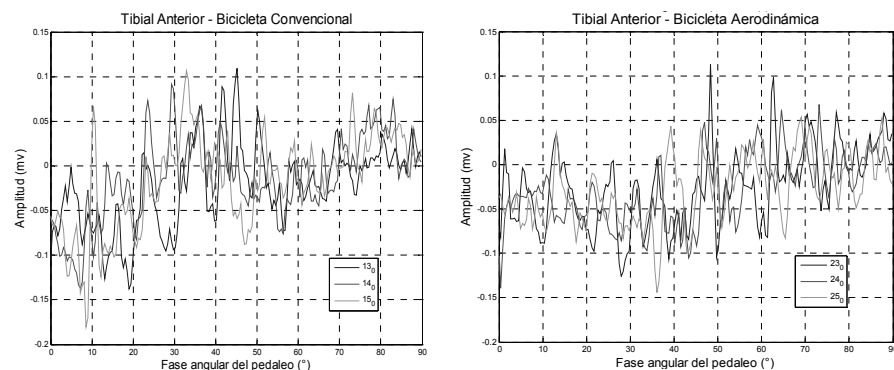


Figura 5. Señales electromiográficas en la fase de 0°-90° del tibial anterior en ambos tipos de bicicleta.

## Discusión y conclusiones

Los datos que se encontraron en este estudio, abren interrogantes acerca del comportamiento muscular del deportista analizado. En general, se observa que en la posición aerodinámica el ciclista se mueve ligeramente hacia adelante, teniendo la tendencia a sentarse en la parte anterior del sillín, lo que provoca cambios significativos en los tres ángulos medidos en el presente estudio. Al cambiar estos ángulos, la activación muscular podrá tener cambios probablemente por los pequeños cambios en la longitud del músculo, lo que hace cambiar o desplazar la activación muscular. Es así como vemos que la aerodinámica exige un trabajo diferente en los músculos distales a la cadera, el semitendinoso y el recto femoral muestran un comportamiento similar, mientras que el gastrocnemio y el tibial anterior presentan diferencias de activación. El gastrocnemio con la bicicleta convencional muestra un mayor grado de activación durante toda la fase, mientras que con la bicicleta aerodinámica se observa que de 0°- 40° el músculo está casi en reposo; esto puede sugerir que la mayor fuerza de pedaleo se logre en ángulos superiores a los 90°, zona en la cual puede ser más eficiente la contracción muscular debido al cambio de la posición relativa del ciclista con respecto al sillín, lo que obliga indirectamente al deportista a aprovechar zonas no utilizadas en la bicicleta convencional. En cuanto al tibial anterior se encuentran diferencias a partir de 50°, en donde se observa una mayor actividad en la bicicleta aerodinámica con relación a la bicicleta normal, lo que posiblemente hace que se transmita mayor fuerza muscular después de los 90°, haciendo más óptimo el pedaleo, como en el caso anterior al usar zonas poco activas en la bicicleta convencional, dada la posición relativa del ciclista con respecto al sillín. En los siguientes estudios se

hará énfasis en determinar cómo es el patrón de pedaleo en la zona de 90° a 180° y así poder justificar más apropiadamente lo antes presentado. En general, se concluye que cuando el ciclista cambia a una posición aerodinámica, hay cambios en los patrones de activación muscular debido al movimiento del cuerpo hacia adelante; esto permite aprovechar de una forma más eficiente las áreas no usadas en el pedaleo de un ciclista cuando usa una bicicleta convencional.

## REFERENCIAS

- Andrew Chapman, B. V. (2005). Patterns of leg muscle recruitment vary between novice and highly trained cyclists.
- Andrew Chapman, B. V. (2007). The influence of body position on leg kinematics and muscle recruitment during cycling.
- David Rouffet, C. H. (2007). The influence of body position on leg kinematics and muscle recruitment during cycling.
- Francois Bieuzen, R. L. (2006). Muscle activation during cycling at different cadences: Effect of maximal strength capacity.
- Francois Hug, S. D. (2007). Electromyographic analysis of pedaling: A review.
- Gianikellis Patrigio, V. G. (2000). Desarrollo de una "TOOLBOX" de tratamiento digital de señales en el campo de la biomecánica del aparato locomotor.
- MacDonald, J., Farina, D., & Marcora, S. (2008). Response of electromyographic variables during incremental and fatiguing cycling.
- Roberto Merletti, L. L. (1997). Surface EMG signal processing during isometric contractions.
- Rodrigo Bini, F. C. (2007). The influence of body position on leg kinematics and muscle recruitment during cycling.
- Shuji Suzuki, S. W. (1981). EMG Activity and kinematics of human cycling movements at different constant velocities.
- William Bertucci, J. P. (2006). Muscular activity during uphill cycling: Effect of slope, posture, hand grip position and constrained bicycle lateral sways.