

**EVALUACIÓN NO INVASIVA DEL
DESARROLLO MUSCULAR DE
DEPORTISTAS**

**NON-INVASIVE EVALUATION
OF MUSCLE DEVELOPMENT OF
ATHLETES**

**AVALIAÇÃO NÃO-INVASIVA DO
DESENVOLVIMENTO MUSCULAR DE
ATLETAS**

Rosario Aldana Franco

Facultad de Ingeniería Mecánica y
Eléctrica, Cuerpo Académico Ingeniería
Transdisciplinar, Universidad Veracruzana
raldana@uv.mx

Ervin Jesús Álvarez Sánchez

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Cuerpo Académico Ingeniería Transdisciplinar,
Universidad Veracruzana
eralvarez@uv.mx

Andrés López Velázquez

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Cuerpo Académico Ingeniería Transdisciplinar,
Universidad Veracruzana
andlopez@uv.mx
<https://orcid.org/0000-0003-0939-2787>

Fernando Aldana Franco

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Cuerpo Académico Ingeniería Transdisciplinar,
Universidad Veracruzana
faaldana@uv.mx

José Gustavo Leyva Retureta

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Cuerpo Académico Ingeniería Transdisciplinar,
Universidad Veracruzana
guleyva@uv.mx

Yazmín Rivera Peña

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Universidad Veracruzana
yrivera@uv.mx

Eréndira Covix Gracia

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,
Universidad Veracruzana
covixg@gmail.com

*Fechas de recepción: 17 de julio 2018
Fecha aprobación: 12 de septiembre 2018*

Resumen

Los músculos contribuyen al movimiento, además de proporcionar protección a los huesos, venas, arterias y órganos, además dan forma al cuerpo. En el presente artículo, se describe un método no invasivo para evaluar el estado funcional de los músculos con base en la temperatura muscular, usada para dar seguimiento al desempeño de atletas. El estudio se desarrolló con diferentes grupos de sujetos, cada uno con una actividad deportiva distinta (corredores y físico-constructivistas) y, a su vez, con frecuencia de entrenamiento distinto (intensa y moderada), a los que se aplicó una prueba muscular no invasiva; con el análisis estadístico de los datos obtenidos fue posible caracterizar, de manera diferencial, el comportamiento muscular en términos de calor liberado, correspondientes a cada grupo experimental.

Palabras clave: Músculos, Atletas, Temperatura Muscular, Evaluación.

Summary

Muscles contribute to the movement, in addition to providing protection to the bones, veins, arteries and organs, besides they shape the body. In this article, we describe a non-invasive method to evaluate the functional status of muscles based on muscle temperature, used to track the performance of athletes. The study was developed with different groups of subjects, each with a different sport activity (runners and physicist-constructivists) and, in turn, often with different training frequency (intense and moderate), to which a non-invasive muscle test was applied; with the statistical analysis of the obtained data it was possible to characterize, in a differential way, the muscular behavior in terms of heat released, corresponding to each experimental group.

Key Words: Muscles, Athletes, Muscle Temperature, Evaluation.

Resumo

Os músculos contribuem para o movimento, além de fornecer proteção aos ossos, veias, artérias e órgãos, além de moldarem o corpo. Neste artigo, descrevemos um método não invasivo para avaliar o estado funcional dos músculos baseado na temperatura muscular, usado para rastrear o desempenho de atletas. O estudo foi desenvolvido com diferentes grupos de sujeitos, cada um com uma atividade esportiva diferente (corredores e físico-constructivistas) e, por sua vez, muitas vezes com treinamento diferente (intenso e moderado), aos quais foram aplicados um teste muscular não invasivo; com a análise estatística dos dados obtidos foi possível caracterizar, de forma diferencial, o comportamento muscular em termos de calor liberado, correspondendo a cada grupo experimental.

Palavras-chave: Músculos, Atletas, Temperatura Muscular, Avaliação.

I. INTRODUCCIÓN

El cuerpo humano, en especial el sistema locomotor es responsable del movimiento, está formado por una red de sistemas relacionados entre sí para funcionar en conjunto (Chalmers, Esterman, Eston, Bowering and Norton, 2014). Los músculos integran parte de este sistema que coadyuvan al movimiento, protección y forma (Moore, Agur and Dalley, 2015). En el presente trabajo se estudió su comportamiento como un sistema termodinámico, músculo–piel–ambiente para evaluar el desarrollo muscular de deportistas de alto rendimiento.

La relación entre la variación de la temperatura de los músculos durante una contracción o reposo y el estado funcional del músculo fue la base para estudiar de manera no invasiva y sin afectar el estado físico del sujeto o su entrenamiento. Los grupos experimentales por la disciplina que practican, corredores y fisicoculturistas, a su vez subdivididos en altamente entrenados y medianamente entrenados. Las series de temperaturas se analizaron estadísticamente para establecer diferencias significativas sobre el comportamiento en términos de calor liberado, en distintas condiciones experimentales.

II. MARCO TEÓRICO

La práctica deportiva propicia la modificación de los procesos energéticos para mantenerlo en movimiento (Lesur, Ortega, Saldívar y Cinta, 2008), en este trabajo se centró la atención en el comportamiento termodinámico (Incropera, 2016) del bíceps del brazo dominante, durante el reposo-contracción-reposo.

La contracción muscular es un proceso que se inicia con un impulso nervioso motor,

detonado por el potencial de acción, para el movimiento que ocurre (Wilmore y Costill, 2007).

Desde el punto de vista fisiológico, la fuerza es la capacidad de producir tensión en el músculo al activarse (González Badillo, 2000), el cual puede monitorearse mediante técnicas no invasivas que permitan analizar la actividad bioléctrica (González Amarillo, Granadoz Comba y Ballesteros Ricaurte, 2017) o la temperatura.

A. Desarrollo Muscular y Deporte

El rendimiento de un atleta depende de la genética de sus fibras musculares, pero sus fibras pueden ser modificadas con ejercicio constante y prolongado, el entrenamiento aeróbico extenso puede modificar las fibras del tipo de II a I, para modificar la contracción rápida a lenta; el entrenamiento de fuerza puede aumentar el tamaño de las fibras del tipo II (Álvarez-Herms, Juliá-Sánchez, Hamlin, Corbi, Pagés and Viscor, 2015).

B. Regulación térmica del músculo y el ejercicio

El cuerpo humano es un sistema homeotérmico, aunque la temperatura varía de un momento a otro, estas fluctuaciones son inferiores a 1°C, salvo en el caso de la ovulación, cuando las temperaturas pueden variar más de 5°C (Wilmore y Costill, 2007).

La homeotermia, posibilita el mantenimiento de la velocidad de las reacciones químicas en el organismo, la temperatura central del músculo se refiere a los contenidos de la cabeza y cavidades torácica y abdominal, mientras que la temperatura superficial, se refiere a la parte del organismo que encuentra en contacto con

el medio externo, como la piel, tejido celular subcutáneo y masa muscular (González Badiello e Izquierdo Redín, 2013).

La temperatura corporal refleja la existencia de un equilibrio entre la producción y la pérdida de calor. Por tanto, gran parte de la energía que genera el cuerpo se degrada a calor; pues los tejidos metabólicamente activos producen calor que puede usarse para mantener la temperatura interna corporal (Maughan, 2003).

El calor del núcleo es transportado por la sangre hacia los músculos y la piel y se transfiere al medio ambiente por cualquiera de los cuatro mecanismos: conducción, convección, radiación y evaporación (López Dávila, 2014).

Para este estudio se consideró el mecanismo de conducción, que es la transferencia de calor de molécula a molécula entre gases, sólidos y líquidos, pero principalmente en estos últimos; depende de la conductividad térmica de las sustancias en contacto, de la diferencia de temperaturas entre ellas (López Chicharro, 2013) y el grosor de la pared que separa a estas regiones.

C. Planteamiento del problema

Para los deportistas de alto rendimiento, que realizan entrenamiento constante para mejorar su desarrollo muscular y las personas que deciden ejercitarse, es importante conocer si el entrenamiento o la rutina de ejercicio que han llevado a cabo está dando los resultados esperados y si dicha rutina está bien usada; así como observar la evolución, de manera sencilla y clara.

Para solucionar este problema se propuso que el patrón de temperatura de un músculo es un indicador de su estado funcional.

D. Hipótesis

La temperatura del músculo puede ser un indicador para la estimación de su estado en deportistas.

III. METODOLOGÍA

La metodología usada se resume en la figura 1, donde se especifican los grupos experimentales usados, integrados por varones de entre 19 y 24 años, 12 sujetos por cada grupo experimental, 48 en total.

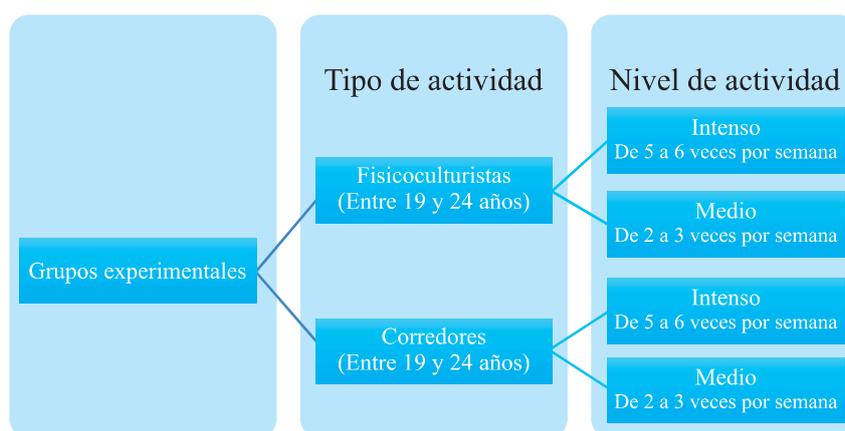


Figura 1. Diseño experimental.
Fuente: Autor

Se registraron 4 temperaturas por segundo del bíceps braquial dominante, se guardaron en una base de datos (40 datos de la etapa pre-contracción, 25 para la contracción y finalmente 55 para la post-contracción) a 12 sujetos varones por cada grupo experimental, con edades entre 19 y 24 años, por ser esta edad la recomendada para iniciarse en los deportes de alto rendimiento, como los estudiados.

Los datos obtenidos se describieron estadísticamente y, a continuación, se realizó una ANOVA de dos vías con los factores “Tipo de actividad” (fisicoculturistas – corredores con entrenamiento alto y medio) y “Etapa experimental” (pre – cont - post).

IV. RESULTADOS

Los resultados correspondientes a la descripción estadística por grupo experimental se muestran en la Tabla 1, en grados centígrados.

Tabla 1. Estadística descriptiva.

Grupo	X + error	Mediana
CAE	30.36 ± 0.03	30.94
CME	29.65 ± 0.05	25.62
FAE	30.18 ± 0.03	30.38
FME	29.42 ± 0.03	29.81

Fuente: Autores

En la tabla 1, las siglas corresponden a corredores con alto entrenamiento (CAE), corredores con entrenamiento medio (CME), fisicoculturistas con alto entrenamiento (FAE) y fisicoculturistas con entrenamiento medio (FME). Se observó que el promedio de temperatura más alto correspondió a los grupos con más entrenamiento.

En la tabla 2 se muestran los resultados de la prueba ANOVA realizada a los datos de los grupos experimentales, se observaron diferencias significativas entre los grupos experimentales ($F_{5508,3} = 115.454$, $p < 0.001$) porque la respuesta de temperatura fue distinta para los cuatro grupos y, por tanto, fue posible determinar cuatro patrones de respuesta. También fue posible diferenciar, estadísticamente, entre las tres etapas experimentales ($F_{5508,2} = 9.046$, $p < 0.001$).

Tabla 2. ANOVA de dos vías.

Etapa experimental				
Grupo	PRE	CONT	POST	
CAE	30.31 ± 0.06	30.41 ± 0.08	30.37 ± 0.05	$F_{5508,3} = 115.454$ $p < 0.001$
CME	29.54 ± 0.06	29.74 ± 0.08	29.66 ± 0.05	
FAE	29.98 ± 0.06	30.25 ± 0.08	30.29 ± 0.05	
FME	29.30 ± 0.06	29.50 ± 0.08	29.47 ± 0.05	
	29.79 ± 0.03	29.98 ± 0.04	29.50 ± 0.03	$F_{5508,6} = 0.741$ $P = 0.616$
	$F_{5508,2} = 9.046$ $P < 0.001$			

Fuente: Autores



Al realizar la prueba post hoc Student-Newman-Keuls, Los grupos CME, LAE y LME son distintos al grupo CAE, que se consideró el control, además de ser distintos entre sí; las etapas CONT y POST son distintas a la etapa PRE; al mismo tiempo hubo diferencias entre las etapas PRE y CON y POST del grupo LAE, mientras en la etapa PRE todos los grupos fueron distintos, en tanto que en la etapa CONT, sólo los grupos CAE y LAE fueron similares; en la etapa POST, sólo los grupos CAE y LAE fueron similares.

En la Figura 2, se muestra una gráfica de las temperaturas de un sujeto del grupo de corredores que se entrenan con frecuencia CAE, donde se aprecian las etapas experimentales (pre-contracción, contracción y post-contracción).

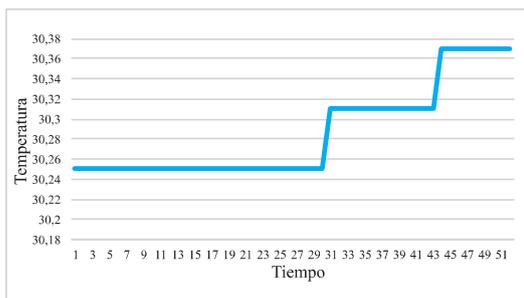


Figura 2. Temperatura de un sujeto del grupo CAE.
 Fuente: Autores

En la figura 3 se muestra la gráfica de temperatura de un corredor con entrenamiento medio (CME).



Figura 3. Temperatura de un sujeto del grupo CME.
 Fuente: Autores

En la figura 4, se muestra la gráfica de un fisicoculturista que se entrena con frecuencia (FAE) en las tres etapas experimentales.

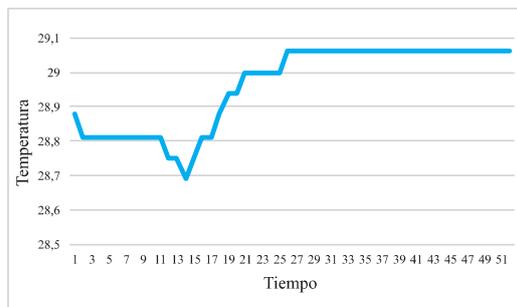


Figura 4. Temperatura de un sujeto del grupo CME.
 Fuente: Autores

En la figura 5 se representó la temperatura de un físico culturista con entrenamiento medio (FME), en las tres etapas experimentales.

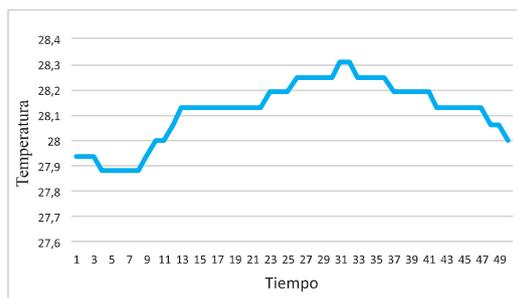


Figura 5. Temperatura de un sujeto del grupo FME.
 Fuente: Autores

Se puede apreciar que los patrones de temperatura son distintos, dependiendo del tipo de actividad y la frecuencia de su entrenamiento.

V. DISCUSIÓN

Las modificaciones debidas al entrenamiento son específicas de los músculos utilizados, y no ocurren en aquellos que no participan en el entrenamiento (Meylan, Cronin, Hopkins and Oliver, 2014), estas modificaciones tienen un impacto directo en la manera en que

el músculo trabaja al realizar actividad física dado que sus adaptaciones son distintas dependiendo de la disciplina practicada, debido al tipo de actividad, su intensidad y a los músculos involucrados en ella.

Del mismo modo, Morán Bermejo (2013) establecieron que los deportistas de alto rendimiento que practican disciplinas de resistencia como maratón o ciclismo de ruta tienen fibras de tipo I superior al 60-65% del total, mientras que en los deportistas de disciplinas de fuerza (como la lucha libre), sus músculos presentan porcentajes de fibras tipo II superiores al 65%. Por tanto, el entrenamiento puede inducir transiciones de unos tipos de fibras a otros para alcanzar los distintos patrones fibrilares que se observan en los deportistas, que indica una diferenciación entre el desarrollo muscular de cada deportista, dependiendo del deporte practicado, lo cual modifica también la respuesta de estos ante el movimiento y más específicamente, ante la contracción.

Por otra parte, la liberación de calor relacionada con la actividad deportiva es distinta, dependiendo de las características del músculo en cuestión (Pérez Otero, 2016). En las etapas experimentales establecidas, pre-contracción, contracción y post-contracción, se observaron diferencias no sólo en el aumento de temperatura sino en la forma en que esta aumentaba y de disipaba con respecto al tiempo.

Se observó el aumento de la temperatura mayor en los sujetos pertenecientes a los fisiculturistas, en comparación con los corredores, sin embargo, la liberación de este calor después de la contracción fue más larga en los corredores con entrenamiento frecuente, siendo para estos el tiempo de liberación post-contracción de 34.76 segundos para los

altamente entrenados, en tanto que los fisiculturistas, altamente entrenados y medianamente entrenados, mostraron un promedio de tiempo de liberación de calor post-contracción de 23.03 y 18.30 segundos, respectivamente. Es decir, el sistema termodinámico es más eficiente con el entrenamiento adecuado, como lo identificó Staugaard-Jones (2014).

Los corredores con entrenamiento medio presentaron un promedio de tiempo menor que los otros tres grupos de sujetos, siendo este de 14.52 segundos, un tiempo incluso por debajo de los fisiculturistas. Esto muestra una distinción entre grupos no sólo por series de temperatura sino por comportamiento en cuanto a la liberación de calor después de la contracción, la cual se da de manera distinta según la actividad y su intensidad, como se apreció en las figuras 2 a 5, donde se ejemplificaron las series de temperatura en el tiempo y fue reconocible la conducción de calor característica en cada grupo experimental.

VI. CONCLUSIONES

La temperatura resultó un buen indicador para caracterizar el estado y evolución de los músculos de deportistas masculinos, con entrenamiento alto y medio, con edades entre 19 y 24 años.

Los resultados obtenidos del tratamiento estadístico de las series de temperaturas de cada grupo de sujetos mostraron las diferencias existentes entre el comportamiento térmico de los músculos, antes, durante y después de una contracción, fue posible estimar el calor liberado, como indicador del desarrollo muscular en los deportistas, como resultado de su entrenamiento.



El patrón de temperatura muscular fue característico de cada grupo experimental, porque fueron distintos entre sí, porque se desarrolló un patrón diferente en cuanto al aumento de temperatura durante la contracción, y el tiempo necesario para el regreso a la temperatura basal, haciendo posible distinguir entre el tipo de actividad y el nivel de entrenamiento.

VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) por la beca para estudiante de Licenciatura concedida a la Ing. Eréndira Cívix Gracia para realizar su tesis y por el equipamiento del Laboratorio de Investigación Aplicaciones Biomédicas y a la Universidad Veracruzana por brindar el apoyo financiero y de infraestructura para la realización de este estudio.

VIII. REFERENCIAS

Álvarez-Herms, J., Julià-Sánchez, S., Hamlin, M. J., Corbi, F., Pagès, T., & Viscor, G. (2015). Popularity of hypoxic training methods for endurance-based professional and amateur athletes. *Physiology & Behavior*, 143, 35–38.

Chalmers, S., Esterman, A., Eston, R., Bowering, K. J., & Norton, K. (2014). Short-Term Heat Acclimation Training Improves Physical Performance: A Systematic Review, and Exploration of Physiological Adaptations and Application for Team Sports. *Sports Medicine*.

González Amarillo A.M, Granados Comba A. y Ballesteros Ricaurte J. A. (2017). Diseño de un sistema de monitoreo para la adquisición de señales electromiográficas no invasivas en extremidades superiores. *Ingerio Magno*, 8(2), 44-45.

González Badillo, J. J. (2000). Concepto y medida de la fuerza explosiva en el deporte. Posibles aplicaciones al entrenamiento. *Revista entrenamiento deportivo*, XIV (1), 5-16.

González Badillo J.J. y Izquierdo Redín. Valoración de la fuerza. En: *Fisiología del Ejercicio*. Madrid: Editorial Panamericana. 2013, 132-142.

Incropera F.P. & De Witt D.P. (2016). *Fundamentos de transferencia de calor y masa*. Editorial John Wiley & Sons.

Lesur L, Ortega O, Saldivar C y Cinta V. (2008). *Anatomía, fisiología y salud*. México: Editorial Trillas.

López Chicharro. (2013). Respuestas y adaptaciones neuroendocrinas al ejercicio. En: *Fisiología del Ejercicio*. Madrid: Editorial Panamericana. 2013, 543-572.

López Dávila A.J. (2014). Actualidad en Termoregulación. *Revista Pensar en Movimiento*. 12(2), 1-36.

Maughan RJ (2003). Impact of mild dehydration on wellness and on exercise performance. *European Journal of Clinical Nutrition*, 57(2), 19-23.

Meylan C., Cronin J., Hopkins W., Oliver J. (2014). Adjustment of Measures of Strength and Power in Youth Male Athletes Differing in Body Mass and Maturation. *Human Kinetics Journals*. 26(1), 41-48.

Moore K., Agur A. and Dalley A. (2015). *Fundamentos de anatomía con orientación clínica*. Barcelona: Walters Kluwer.

Morán Bermejo M. (). Tipos de fibras musculares. En Fisiología del Ejercicio. Madrid: Editorial Panamericana. 2013, 91-97.

Pérez Otero A.R. (2016). Desarrollo de un sistema biotérmico para la evaluación del estado funcional de los músculos. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Mecánico. Universidad Veracruzana.

Staugaard-Jones JA. (2014). Anatomía del ejercicio y el movimiento. Editorial Paidotribo. Barcelona, España.

Wilmore J y Costill D. (2007). Fisiología del esfuerzo y el deporte. Barcelona: Editorial Paidotribo Pestalozzi.