

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA CIENCIAS DEL MOVIMIENTO HUMANO Y CALIDAD DE VIDA

**Efectos de correr una maratón en condiciones de calor y
humedad sobre la temperatura de la piel de las extremidades
inferiores en corredores entrenados**

Artículo científico sometido a consideración del Tribunal Examinador de Trabajos de Graduación para optar por el grado y título de Licenciatura en Ciencias del Deporte con énfasis en Rendimiento Deportivo.

Cristhofer Vargas Montero
Oscar Vargas Víquez

Campus Presbítero Benjamín Núñez, Heredia, Costa Rica

2019

**Efectos de correr una maratón en condiciones de calor y
humedad sobre la temperatura de la piel de las extremidades
inferiores en corredores entrenados**

Cristhofer Vargas Montero

Oscar Vargas Víquez

Artículo científico sometido a la consideración del Tribunal Examinador de Trabajos de Graduación para optar por el grado y título de Licenciatura en Ciencias del Deporte con énfasis en Rendimiento Deportivo. Cumple con los requisitos establecidos por la Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica

Miembros del Tribunal Examinador



Felipe Araya Ramirez
Vice-Decano de la Facultad de Ciencias de la Salud



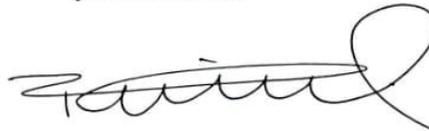
MSc. Randall Gutiérrez Vargas
Tutor



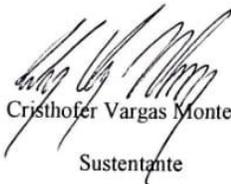
MSc. Juan Carlos Gutiérrez Vargas
Sub Director
Escuela de Ciencias de Movimiento Humano
y Calidad De Vida



MSc. Diego Rodríguez Méndez
Asesor



MSc. Daniel Rojas Valverde
Asesor



Cristhofer Vargas Montero
Sustentante



Oscar Vargas Viquez
Sustentante

Artículo científico sometido a la consideración del Tribunal Examinador de Trabajos de Graduación para optar por el grado y título de Licenciatura en Ciencias del Deporte con énfasis en Rendimiento Deportivo. Cumple con los requisitos establecidos por la Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica

Efectos de correr una maratón en condiciones de calor y humedad sobre la temperatura de la piel de las extremidades inferiores en corredores entrenados

Cristhofer Vargas-Montero, Oscar Vargas-Viquez

*Escuela Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida
Universidad Nacional, Costa Rica*

Resumen:

La termografía es una herramienta que ha demostrado ser sensible para cuantificar daño muscular provocado por el ejercicio mediante la medición de la temperatura de la piel, la cual actúa de manera refleja a la elevación de la actividad metabólica debido a los procesos inflamatorios respiratorios. En consecuencia con lo anterior, el propósito del presente artículo fue describir los efectos de correr una maratón en condiciones de calor y humedad en la temperatura de las extremidades inferiores en corredores entrenados. Participaron 17 corredores (edad 35.82 ± 7.03 años, peso 66.79 ± 11.97 kg, talla 168.44 ± 10.59 cm, porcentaje de grasa 21.13 ± 7.68 %, consumo máximo de oxígeno 52.88 ± 7.09 ml/kg/min, masa magra total 49.29 ± 11.07 kg) de un maratón (altimetría= 0 - 80 m, índice de estrés termal 28.34 ± 3.27 °C y humedad ~ 81 %). Se identificaron diferencias significativas entre la medición de temperatura de la piel pre-15d y post24h ($p < 0.05$), y en la medición pre-maratón y post24h ($p < 0.05$) en todas las 28 áreas corporales evaluadas, lo cual evidencia un aumento de la actividad metabólica debido al daño muscular provocado por la participación en un evento de resistencia bajo condiciones adversas de calor y humedad. Además, se evidencia que la temperatura corporal en el tren inferior se normaliza 6 días posterior al evento, post24h y post-6d ($p < 0.05$).

Palabras Clave: carrera, resistencia física, regulación de la temperatura corporal, termografía, atletismo.

Introducción:

El maratón es un recorrido de 42.195 metros (26,2 millas), casi siempre realizado sobre circuitos urbanos (Nuevo, 2015), esta es una disciplina dentro del deporte del atletismo, considerado de larga duración y distancia, esto considerando que su actividad regularmente excede los 30 minutos, realizados a una intensidad moderada-alta (García et al., 2015). Este evento es reconocido por ser una prueba de alta exigencia física y psicológica y por ello es necesario considerar para su ejecución, que se resguarden las condiciones físicas y fisiológicas del participante, brindando las circunstancias adecuadas para afrontar los riesgos, por lo que es fundamental que se evalúen condiciones psicológicas, físicas, geográficas y de logística (Carballo, Pérez y Portillo, 2013).

Aunado a las exigencias mencionadas, el maratón es un evento en el cual por su duración, las condiciones ambientales pueden variar desde el inicio de la misma hasta la llegada a la meta (Cheuvront y Haymes, 2001; Costa, Crockford, Moore y Walsh, 2012; El Helou, Tafflet, Berthelot, Tolaini, Marc, Guillaume, Hausswirth, y Toussaint, 2012; Kim et al., 2014; Mohammed y Thomson, 2012). Considerando lo anterior, en el contexto de los países tropicales en donde las condiciones de calor y humedad varían considerablemente en espacios pequeños de tiempo, esta situación añade riesgo adicional al evento debido a la alta exposición térmica (Gutiérrez-Vargas et al., 2018).

En los últimos años, a nivel regional del área mesoamericana y a nivel mundial se ha registrado un incremento sustancial en la participación en carreras de larga distancia (Rojas-Valverde, 2019) organizándose aproximadamente 130 carreras anuales (Federación Costarricense de Atletismo, 2016; Mendoza, 2015; Rodríguez, 2014). Esta demanda comercial también se ha expresado en un aumento de eventos de resistencia realizados en condiciones de alta temperatura y humedad en Costa Rica, en localidades costeñas y volcánicas, en donde se han registrado regularmente temperaturas medias diarias de 29°C y 30°C (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, 2015).

El efecto de estas condiciones, provoca cambios a nivel neuromuscular, por ejemplo, se ha evidenciado que el calor metabólico provocado por el ejercicio no solo se ve afectado de manera proporcional a la intensidad del trabajo en actividades de alta intensidad y de mayor duración como una maratón (Urdampilleta, Martínez, Julia y Álvarez, 2013), sino que realizarlas en condiciones adversas de temperatura, representan un riesgo de lesiones inducidas por el calor. A su vez, este proceso fisiológico induce a una pérdida de líquidos y minerales en nuestro organismo, los cuales tenemos que recuperar para establecer la homeostasis orgánica.

De igual manera como lo describe, las complicaciones por calor ocurren alrededor de todo el mundo durante la actividad física intensa prolongada y el agotamiento por calor ocurre más frecuentemente en condiciones de calor y humedad, pero pueden ocurrir en condiciones frías, durante el ejercicio intenso o prolongado (Armstrong, et al., 2007). El agotamiento por calor y los calambres musculares relacionados con el ejercicio no involucran típicamente hipertermia excesiva, pero son un resultado de la fatiga, la reducción significativa del agua corporal y/o electrolitos y/o los cambios regulatorios centrales que fracasan de cara al agotamiento.

Con las condiciones ambientales previamente mencionadas se puede provocar o favorecer la aparición de fatiga o diferentes padecimientos, de menor o mayor gravedad, en diferentes elementos, sistemas u órganos corporales. Otras variables como la humedad relativa alta y la oscilación de las temperaturas durante un evento de resistencia suman a la maratón un gran desgaste, pero también peligro, ya que si se suman todos estos factores puede incrementar la posibilidad de una lesión severa e incluso la muerte (American

College of Sport Medicine, 2007; Sport Medicine Australia, 2008).

Si bien existen múltiples formas de medir el daño o efectos musculares en el cuerpo, en los últimos años a nivel deportivo, se suele utilizar medios de evaluación de atletas que son caracterizados por ser no invasivos y de rápido acceso a la información (Bandeira et al., 2012; Formenti et al., 2013; Hidebrant, Raschner y Ammer, 2012). La termografía infrarroja (IFT) es una de estas tecnologías, la cual ha sido relativamente poco utilizada para medir efectos musculares que podrían provocar la participación en estos eventos. La IFT mide la radiación emitida por los cuerpos, representadas como temperaturas de la superficie de la piel con alta precisión por medio de un sensor infrarrojo (Hadzic, Sirok, Malnersic y Coh, 2015). La IFT es una herramienta de análisis que no emite radiación y no es invasiva por lo que es adecuada para el estudio de las funciones fisiológicas relacionadas con el control de temperatura de la piel (Sampedro, Piñonosa, y Fernández, 2012).

Esta información proporciona una fotografía detallada de temperaturas de las diferentes áreas del cuerpo humano, en las que cada píxel de la imagen corresponde a un dato (Gómez-Carmona, 2012; Marins, Fernández-Cuevas, Arnaiz-Lastras, Fernandes, y Sillero-Quintana, 2015; Sampedro et al., 2012). Con base en la evidencia anterior, el propósito del presente artículo es describir los efectos de correr una maratón en condiciones de calor y humedad en la temperatura de las extremidades inferiores en corredores entrenados, en el cual se hipotetiza un aumento de la temperatura local debido a los daños y rupturas provocadas por el ejercicio.

Metodología

Diseño y tipo de estudio

El estudio es de corte descriptivo, transversal cuasi experimental, de carácter retrospectivo, de datos obtenidos en la Tamarindo Beach Marathon edición 2014 (altimetría= 0 - 80 m, índice de estrés termal 28.34 ± 3.27 °C y humedad ~ 81 %) y fueron recolectados por el grupo de investigación del laboratorio Centro de Diagnóstico en Salud y Deporte, de la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida, de la Universidad Nacional.



Figura 1. Esquema del diseño del estudio y momentos de medición

Participantes

Los participantes fueron 17 corredores de maratón (con una edad promedio 35.82 ± 7.03 años, un peso 66.79 ± 11.97 kg, talla 168.44 ± 10.59 cm, porcentaje de grasa 21.13 ± 7.68 %, consumo máximo de oxígeno 52.88 ± 7.09 ml/kg/min, masa magra total 49.29 ± 11.07 kg), de los cuales 10 fueron masculinos y 7 femeninos.

Los criterios de inclusión de los participantes fueron los siguientes: estar involucrado en un entrenamiento para maratón regular bajo la supervisión de un entrenador profesional en ciencias del movimiento humano, haber tenido una experiencia previa de participación en eventos de resistencia y estar familiarizado con la distancia y cantidad de horas en competición, los mismos realizaron una media de 3.11 ± 3.38 maratones previas al evento con una edad deportiva media de 9.35 ± 6.68 años en la práctica del atletismo, los mismo debieron estar inscritos al evento previo al contacto con los investigadores, los participantes no sufrían de enfermedad o trastorno neuromuscular al momento de las evaluaciones, así como no se manifestaron historiales neuromusculares patológicos. No se tuvo ninguna exclusión de participantes en cuanto a tiempo de finalización del evento. Todos los sujetos participaron de forma voluntaria y con el respaldo de sus debidos entrenadores y fueron debidamente informados de sus derechos y deberes durante la participación en el estudio con la aceptación debida, mediante un consentimiento informado basado en la Declaración de Helsinki (Fortaleza, 2013).

Instrumentos y procedimientos

A los participantes se les realizaron mediciones antropométricas con el fin de obtener una caracterización de los mismos. Estas se efectuaron iniciando con la medición de peso corporal con una báscula (sensibilidad de ± 0.1 kg) (Elite Series BC554, Tanita-Ironman®, Illinois, United States of America) y para obtener la talla de los corredores se utilizó un tallímetro de pared. También se practicó una evaluación de la composición corporal de los sujetos que se obtiene a partir de una absorciometría dual por rayos x (DEXA) con un error de $\pm 3\%$ (General Electric en CORE 2011®, software versión 13.6, Wisconsin, United States of America), el cual cuantifica el porcentaje de grasa corporal y masa magra (kg) (ICC=0.6) (Norcross y Van Loan, 2004).

A los participantes se les realizó una medición del consumo máximo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x}$), en donde se utilizó una prueba incremental con aumento cada 2 minutos hasta fatiga volitiva utilizando un analizador de gases (VO_{2000} , MedGraphics®, Minnesota, United States of América). El equipo cuenta con una precisión de $\pm 3\%$ de volumen absoluto según el fabricante (Crouter, Antczak, Hudak, Della Valle y Haas, 2006), y el análisis de los datos se realizó por medio del software BreezeSuit®.

Para verificar el estado de salud de los participantes y la adecuada función cardiaca se utilizó un equipo para la realización de electrocardiogramas en reposo (Quinton Q-

Stress, 9500 series, Birginham, United Kingdom) con la debida revisión y posterior aprobación de un médico.

Para la medición termográfica se utilizó la cámara Flir T440 que es distribuida por FLIR Commercial Systems, (2016). Es una cámara de infrarrojos de alto rendimiento con cámara visual, pantalla táctil, conectividad Wi-Fi y lentes intercambiables, con una mejora de imagen de MSX® y orientación automática, máxima flexibilidad y eficiencia con las termografías de 320 cm x 240 cm de la línea T400, con una resolución térmica nítida a 76 800 píxeles para alta precisión desde mayor distancia. Mediciones de temperatura con precisión de -0.02°C .

Las mediciones se llevaron a cabo en diferentes sesiones. Las evaluaciones de control se realizaron en la sede del laboratorio de evaluaciones del Centro de Investigación y Evaluación en Salud y Deporte (CIDISAD) de la Escuela Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida (CIEMHCAVI), de la Universidad Nacional y la evaluación posterior al evento se llevó a cabo en un cuarto aislado en la zona de hospedaje cerca de la meta del evento. Las evaluaciones se realizaron en cuartos controlados a una temperatura que oscilaba entre 20 y 24°C en sesiones coordinadas con los atletas y los entrenadores de los mismos. Para cada evaluación el atleta no recibió ningún estímulo deportivo o carga de trabajo intensa al menos 24 horas previas a la evaluación (Bandeira, Muniz, Abreu, Nohama, y Borba, 2012) a excepción de la evaluación 24 horas posteriores al día del evento.

Sesión 1

En esta sesión fue la base para dar a conocer de manera detallada la metodología del estudio a los participantes, así como la intervención del equipo de investigación, las responsabilidades y los derechos que se tienen como participante al involucrarse en la investigación. En esta sesión se realizó la lectura y la debida firma del consentimiento escrito basado en la Declaración de Helsinski, en la misma se realizó una explicación de todos los procedimientos y evaluaciones a realizar, así como información previa de advertencia en la participación en eventos de resistencia bajo los antecedentes climáticos de la maratón en estudio.

Sesión 2

Durante esta sesión se efectuaron evaluaciones para determinar el estado basal o línea base de los participantes en diferentes variables. En estas sesiones se evaluaron diferentes aspectos como peso, talla, prueba de capacidad aeróbica, masa magra, porcentaje de grasa corporal y un electrocardiograma en reposo. Dicha sesión se realizó aproximadamente 15 días previos (Pre-15d) al evento ya que significaba el momento de descenso de cargas de entrenamiento en el cual el atleta mantenía un óptimo estado físico.

Sesión 3

Esta sesión se realizó aproximadamente 72 horas previas al evento (Pre-Maratón). En ella se tomaron dos termografías a cada sujeto considerada como la medición base o perfil térmico individual (Marins et al., 2015). El protocolo consistió en dar a la persona 10 minutos de reposo de pie con la menor ropa posible en un cuarto con la temperatura controlada y aislado de emisiones de calor (Bouzas et al., 2014; Gómez- Carmona, 2012; Corte, Pedrinelle, Marttos, Grava Souza, Grava y Hernández, 2019; Marins et al., 2015; Roy et al., 2006). El área de medición mantuvo una temperatura promedio de $22.3 \pm 0,9$ C° y una humedad relativa de $64.7 \pm 8,3$ %, que se encuentran en los rangos apropiados para realizar termografías en seres humanos (Gómez-Carmona 2012; Roy et al., 2006).

La temperatura y humedad relativa exacta al momento de realizar cada termografía se introdujo a la termocámara para ajustar sus parámetros y aumentar la exactitud de la medición. En cada evaluación se tomaron dos termografías, una a la parte anterior de las extremidades inferiores y otra a la parte posterior. Para propósito de análisis y comparación cada pierna fue dividida en 14 áreas anatómicas anteriores y posteriores (rodilla, vasto lateral, recto femoral, vasto medial, aductor, tibial anterior, tobillo, bíceps femoral, fosea poplítea, semitendinoso, gatrocnemio lateral, gatrocnemio medial y aquiles), para un total de 28 zonas considerando ambos hemisferios (dominante y no dominante) (ver figura 2), por lo tanto, se obtuvo el promedio de temperatura de cada área delimitada (Gómez-Carmona, 2012). Todos los participantes reportaron dominancia derecha, por lo que se reportará dominante (Dom, hemisferio derecho) y no dominante (No-Dom, hemisferio izquierdo). No se evidenciaron diferencias en los diferentes momentos de medición según sexo por lo que para el análisis se consideró un único grupo con ambos sexos incluidos.

Para la evaluación termográfica, los sujetos se colocaron sobre una plataforma plástica recubierta de hule a una altura del piso de 15 cm. En la parte superior de la plataforma se hicieron diferentes marcas para colocar los pies de los sujetos con el propósito de estandarizar la posición en las dos mediciones hechas en el estudio. Con respecto a la postura del cuerpo, los sujetos se colocaron en posición anatómica. La termo cámara se colocó a 3 metros del sujeto a una altura de 45 cm del piso. El centro del lente de la cámara fue dirigido al punto medio entre ambas rodillas enfocando la cámara con una apertura de lente que tomara la totalidad de las extremidades inferiores. Las imágenes luego fueron analizadas utilizando el software respectivo suministrado por el fabricante denominado ThermaCAMResearcher Professional 2.10.

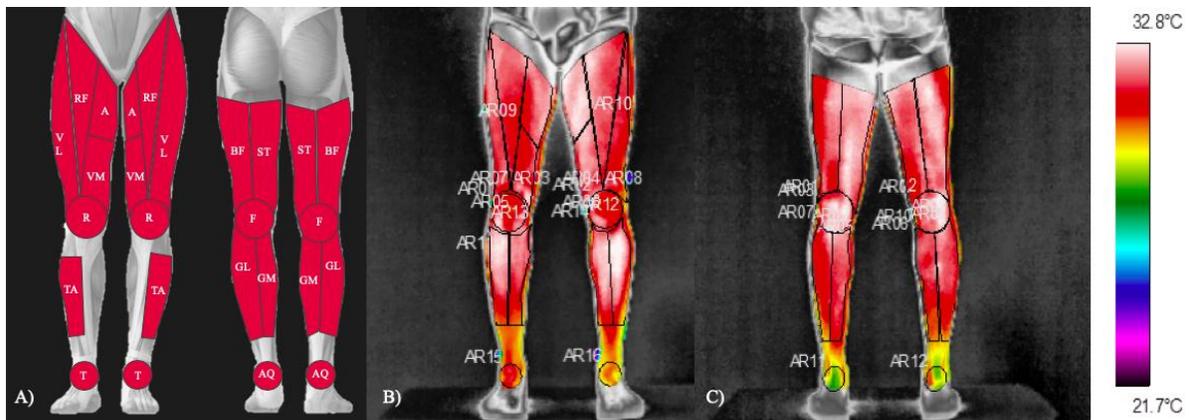


Figura 2. Zonas anatómicas anteriores y posteriores utilizadas para hacer el análisis térmico (Gómez-Carmona 2012). A) División de áreas por grupos musculares, B) Áreas analizadas del plano anterior de miembros inferiores, C) Áreas analizadas del plano posterior de miembros inferiores.

Sesión 4-5

La sesión 4 y 5 se llevaron a cabo aproximadamente 24 horas (post-24h) y 6 días (post-6d) posteriores a la finalización del evento con previo acuerdo con los participantes en la sede de hospedaje ubicada cerca de la línea de meta. En esta sesión se volvió a repetir el procedimiento de la sesión 3. La razón para realizar las termografías post-evento 24 horas después se debe a que los procesos de recuperación y de inflamación post-competencia tienen su punto más alto aproximadamente 24 horas después de la competencia, por lo que se espera que en ese momento se observen temperaturas más altas en las zonas más dañadas (Brancaccio et al., 2007). La sesión post-6d se realizó para indagar la posible normalización de la temperatura corporal a través de los días.

Para valorar clínicamente si alguna de las áreas medidas tenía una diferencia anormal entre la medición pre y post se utilizó la clasificación propuesta la cual si la diferencia entre la misma zona anatómica tenía una diferencia mayor a 0.8°C o inclusive 1°C entre el valor pre y post competencia se consideraría como una zona de prevención, alarma o gravedad (Corte, Pedrinelle, Marttos, Grava Souza, Grava y Hernández, 2019; Marins et al., 2015).

Análisis estadístico

Las estadísticas descriptivas se implementaron a través de la media (M) y sus respectivas desviaciones estándar (SD). Los resultados se expresan como medias \pm desviación estándar (SD). La normalidad de los datos de cada una de las variables se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk la cual confirmó la realización de estadística paramétrica. Los datos de termografía de cada área se sometieron a un modelo de ANOVA de medidas repetidas de una vía con previo ajuste alfa en $p < 0.05$. El análisis post hoc fue

realizado por el método de Bonferroni cuando fue requerido. Las magnitudes de las diferencias para todas las variables se analizaron utilizando el omega parcial cuadrado (w_p^2). Los valores de w_p^2 se interpretaron cualitativamente utilizando los siguientes umbrales: 0,01, medio .06, pequeño, y .14, grande (Cohen, 1988). Los análisis de datos se realizaron utilizando el paquete estadístico para las ciencias sociales (SPSS siglas en inglés) en su versión 22.0.

RESULTADOS

Posterior al análisis de varianza se reportan diferencias significativas (ver tabla 1, figura 3 y 4) entre las mediciones: pre 15d < post 24h ($p < 0.01$), pre maratón < post 24h ($p < 0.01$) y post 24h > post 6d ($p < 0.01$) en las áreas anteriores de miembros inferiores en rodilla Dom, vasto lateral Dom y No-Dom, recto femoral Dom y No-Dom, vasto medial Dom y No-Dom y aductor Dom y No-Dom, y en las áreas posteriores de miembros inferiores en bíceps femoral Dom y No-Dom, fosa poplítea Dom y No-Dom, Semitendinoso Dom y No-Dom, gastrocnemio lateral Dom y No-Dom y en gastrocnemio medial Dom.

Tabla 1. Valores descriptivos de temperatura de la piel por medición

Área	Lateralidad	Pre 15 d	Pre-Maratón	Post-24h	Post-6 d	F	p	Magnitud diferencia (w_p^2)
Rodilla	Dom	28.31 ± 2.55	29.45 ± 1.24	30.35 ± 0.52	29.28 ± 1.44	5.14	0.004	0.19 [alto]
	No-Dom	28.05 ± 2.52	29.61 ± 1.2	30.23 ± 0.62	29.09 ± 1.45	6.15	0.001	0.23 [alto]
Vasto lateral	Dom	29.06 ± 2.56	30.12 ± 1.03	31.31 ± 0.54	29.77 ± 1.43	7.19	<0.01	0.26 [alto]
	No-Dom	28.88 ± 2.59	29.89 ± 1.11	30.78 ± 0.73	29.61 ± 1.31	4.88	0.005	0.18 [alto]
Recto femoral	Dom	29.51 ± 2.59	30.35 ± 1.04	31.52 ± 0.65	30.16 ± 1.31	5.96	0.002	0.22 [alto]
	No-Dom	29.41 ± 2.59	30.62 ± 0.98	31.36 ± 0.76	30.24 ± 1.26	5.52	0.002	0.21 [alto]
Vasto medial	Dom	29.07 ± 2.48	29.92 ± 1.16	30.96 ± 0.8	29.78 ± 1.28	5.08	0.004	0.19 [alto]
	No-Dom	29.02 ± 2.53	30.56 ± 0.99	31.25 ± 0.62	29.95 ± 1.41	7.21	<0.01	0.26 [alto]
Aductor	Dom	29.68 ± 2.64	30.45 ± 1.21	31.44 ± 0.86	30.51 ± 1.39	4.1	0.011	0.15 [alto]
	No-Dom	29.66 ± 2.72	30.78 ± 1.12	31.68 ± 0.77	30.53 ± 1.38	5.70	0.002	0.21 [alto]

Tibial anterior	Dom	29.66 ± 2.53	31.18 ± 0.96	31.55 ± 0.36	30.62 ± 1.25	4.99	0.004	0.19 [alto]
	No-Dom	29.38 ± 2.54	30.67 ± 1.02	31.04 ± 0.62	30.20 ± 1.32	3.68	0.018	0.13 [alto]
Tobillo	Dom	28.43 ± 3.02	30.23 ± 1.04	30.59 ± 0.97	29.51 ± 1.64	5.15	0.004	0.19 [alto]
	No-Dom	28.34 ± 2.93	29.81 ± 1.04	30.66 ± 1.09	29.44 ± 1.65	5.67	0.002	0.21 [alto]
Bíceps femoral	Dom	30.26 ± 1.06	30.91 ± 0.89	31.64 ± 0.68	30.54 ± 0.97	18.95	<0.01	0.51 [alto]
	No-Dom	30.38 ± 0.99	30.79 ± 0.83	31.61 ± 0.64	30.58 ± 1.1	15.11	<0.01	0.45 [alto]
Fosa poplítea	Dom	30.78 ± 0.90	31.06 ± 0.89	31.81 ± 0.65	30.82 ± 0.99	11.10	<0.01	0.37 [alto]
	No-Dom	30.75 ± 0.97	31.25 ± 0.7	31.78 ± 0.58	30.84 ± 1.09	11.6	<0.01	0.38 [alto]
Semitendinoso	Dom	30.86 ± 0.95	31.04 ± 0.88	31.95 ± 0.68	30.86 ± 1.01	14.38	<0.01	0.44 [alto]
	No-Dom	30.89 ± 1.02	31.4 ± 0.74	31.95 ± 0.67	30.92 ± 1.11	15	<0.01	0.47 [alto]
Gastrocnemio Lateral	Dom	30.25 ± 0.97	30.64 ± 0.85	31.39 ± 0.57	30.21 ± 1.24	15.00 7	<0.01	0.45 [alto]
	No-Dom	30.32 ± 0.83	30.76 ± 0.74	31.28 ± 0.65	30.30 ± 1.18	10.31 6	<0.01	0.35 [alto]
Gastrocnemio medial	Dom	30.49 ± 0.87	30.69 ± 0.96	31.3 ± 0.74	30.41 ± 1.12	7.567	<0.01	0.27 [alto]
	No-Dom	30.4 ± 0.94	31.04 ± 0.72	31.34 ± 0.53	30.41 ± 1.3	9.816	<0.01	0.34 [alto]
Aquiles	Dom	27.84 ± 1.12	28.68 ± 1.3	29.20 ± 0.74	28.34 ± 1.4	6.035	<0.01	0.23 [alto]
	No-Dom	27.96 ± 0.98	28.90 ± 1.27	29.27 ± 0.89	28.62 ± 1.42	6.025	<0.01	0.21 [alto]

Nota: Dom= Dominante, No-Dom= No dominante. Fuente: Elaboración Propia.

Así mismo en la figura 5, se ilustran las diferencias significativas entre las mediciones pre 15d < post 24h (p<0.01) y post 24h > post 6d (p<0.01) en las áreas de rodilla No-Dom, tibial anterior Dom y No-Dom, tobillo Dom y No-Dom, gastrocnemio medial No-Dom y Aquiles Dom y No-Dom.

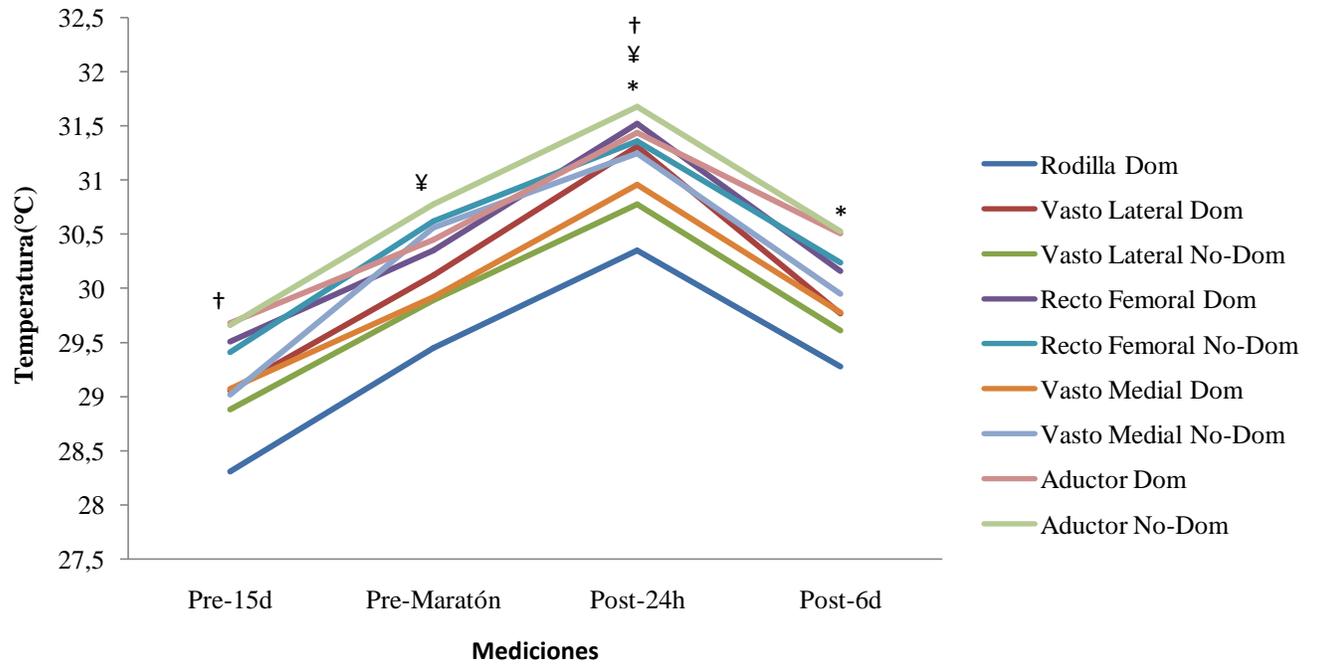


Figura 3. Comportamiento de la temperatura de la piel de miembros inferiores por medición. Diferencias significativas en todas las áreas anteriores: † pre-15d < post-maratón, ‡ pre-maratón < post-24h, * post 24h > post-6d. Dom= Dominante, No-Dom= No dominante. Fuente: Elaboración Propia.

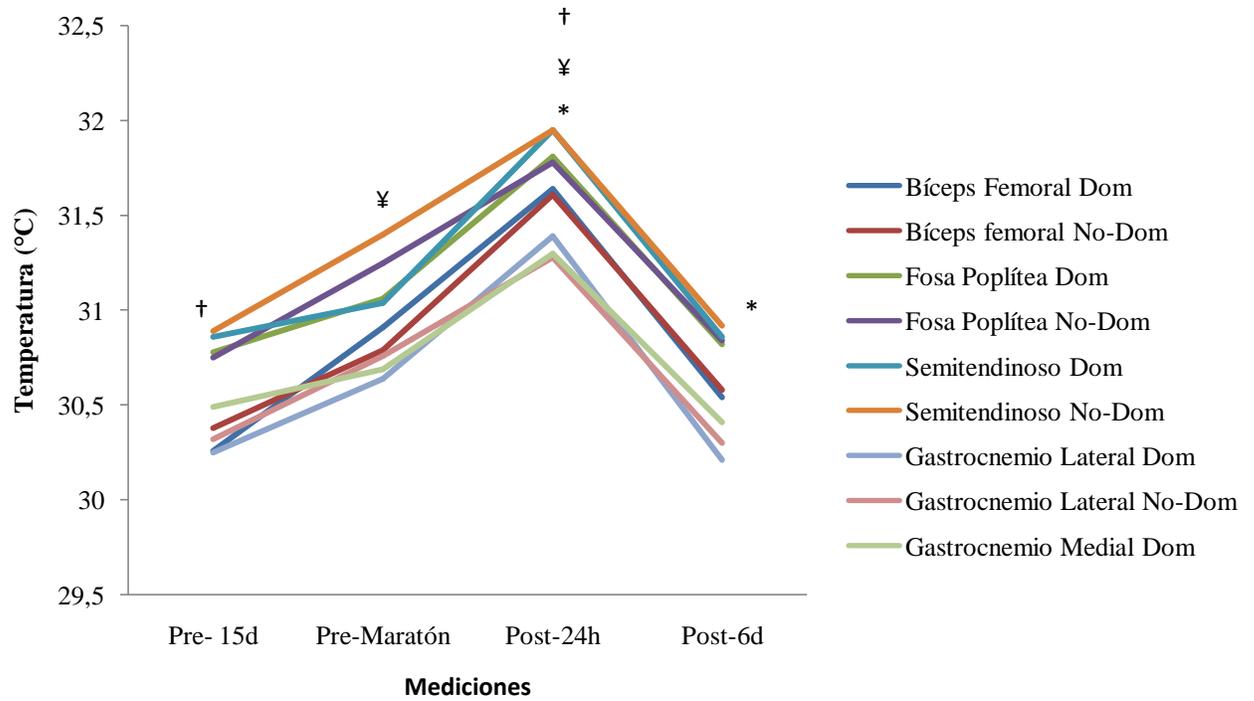


Figura 4. Comportamiento de la temperatura de la piel de miembros inferiores por medición. Diferencias significativas en todas las áreas posteriores: † pre-15d < post-maratón, ‡ pre-maratón < post-24h, * post 24h > post-6d. Dom= Dominante, No-Dom= No dominante. Fuente: Elaboración Propia.

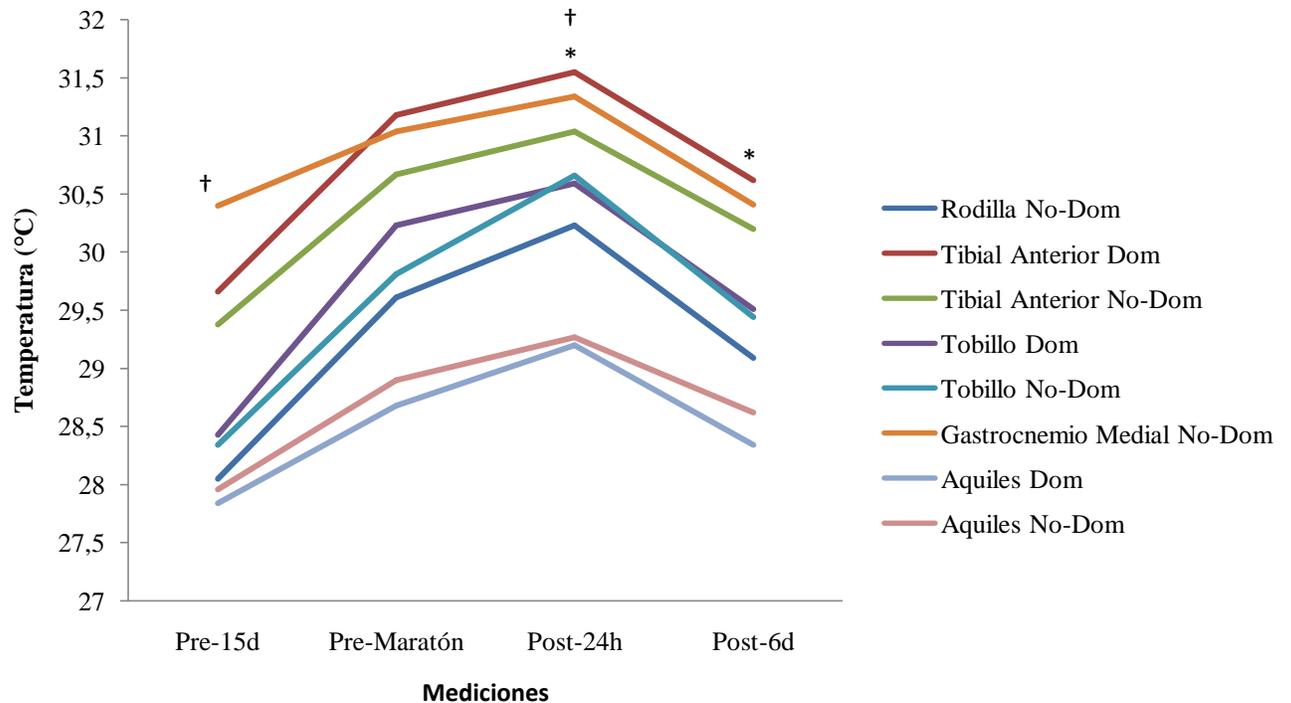


Figura 5. Comportamiento de la temperatura de la piel de miembros inferiores por medición. Diferencias significativas en las áreas posteriores y anteriores: † pre-15d < post-maratón, * post 24h > post-6d. Dom= Dominante, No-Dom= No dominante. Fuente: Elaboración Propia.

La figura 6 muestra las áreas consideradas con riesgo de lesión debido al aumento de temperatura entre las evaluaciones pre-maratón y post-24h. Las zonas con mayores cambios fueron recto femoral Dom, aductor Dom, vasto lateral Dom y vasto medial Dom, las cuales son consideradas como zonas de alarma (+1 °C) con necesidad de suspensión inmediata de la actividad; y semitendinoso Dom, bíceps femoral No-Dom, rodilla Dom, tobillo No-Dom, vasto lateral No-Dom y aductor No-Dom, las cuales son consideradas como áreas de prevención (+0.8-0.99 °C), procesos inflamatorios presentes y riesgo de lesión.

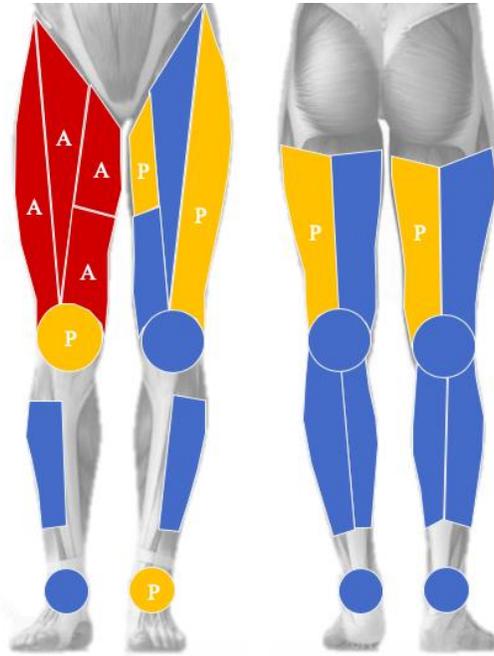


Figura 6. Áreas con consideración de riesgo de lesión (Corte, Pedrinelle, Marttos, Grava Souza, Grava y Hernández, 2019; Marins et al., 2015) según aumentos de temperatura premaratón vs post-24h mayores a 0.8°C. A= Estado de alarma, P= Estado de prevención. Fuente: Elaboración Propia.

Discusión

El propósito del presente estudio fue analizar el efecto de correr un maratón en un ambiente caliente y húmedo sobre la temperatura de la piel de miembros inferiores en corredores entrenados. Tal y como se hipotetizó, las mediciones 24 horas posteriores al evento de resistencia fueron significativamente más elevadas que las realizadas previamente al mismo. Contrario a lo que se esperaba, esta temperatura y actividad metabólica muscular recobró los valores basales 6 días posteriores al evento.

El maratón en sí mismo conlleva importantes desafíos fisiológicos, como agotamiento de recursos energéticos, deshidratación, hiponatremia, hipertermia, termorregulaciones forzosas, estrés oxidativo, resistencia transitoria a la insulina, depresión del sistema inmune, lesión de estructuras y disminución de la capacidad funcional (Bataineh, Ali-Nawaiseh, Taifour y Judge Lel, 2017). Posterior a la actividad física, el cuerpo realiza una serie de respuestas fisiológicas con el fin de mantener la homeostasis corporal, este reto por mantener la condición de estabilidad interna se incrementa en presencia de condiciones calurosas y húmedas (Gutiérrez-Vargas et al., 2018), debido a las condiciones climáticas, la intensidad o la duración del deporte en este caso la maratón, los músculos generan gran cantidad de calor que debe disiparse hacia el ambiente o de lo contrario, se producirá un aumento en la temperatura central del cuerpo que desencadenaría

respuestas fisiológicas anormales (Urdampilleta et al., 2013) que podrían conllevar lesión temporal o permanente (Patel, Gyamfi y Torres, 2009).

La evaluación en el deporte es fundamental para registrar las respuestas anormales y normales debido al ejercicio, una de estas metodologías es la termografía infrarroja. Las evaluaciones registradas en el presente estudio por este medio mostraron que todas las zonas monitoreadas presentaron un incremento posterior a la realización de la maratón y su pico de temperatura máxima fue registrado en la evaluación post-24h. Lo anterior se debe al daño muscular ocasionado por la acumulación y repetición de gran cantidad de acciones de características excéntricas realizadas durante la competición, siendo esta la principal causa de daño muscular inducida por ejercicio en eventos de resistencia (Bataneh, Ali-Nawaiseh, Taifour y Judge LeI, 2017). Las rupturas y lesiones intra y extramusculares provocadas por este tipo de acciones musculares desencadenan una serie de procesos metabólicos como lo es la cascada inflamatoria, edema e irritación neuromuscular, entre otros.

El ejercicio en conjunto con los procesos inflamatorios descritos, conllevan un aumento de la temperatura del área subyacente al daño ocasionado por el ejercicio, como respuesta a estos procesos, el cuerpo en el intento por eliminar calor local, re direcciona el flujo sanguíneo a la piel ocasionando un incremento de la temperatura tegumentaria (Formenti et al., 2013; Robles, 2015). Una vez existe estabilidad en estos procesos regulatorios, la temperatura de la piel desciende y provocan un aumento de las acciones locales a nivel muscular. Por lo anterior, la termografía es capaz de localiza áreas con aumento suficiente de la temperatura como reflejo a la actividad metabólica en los procesos de recuperación normales.

Adicionalmente, Marins et al. (2015) propone clasificar los incrementos de la temperatura de la piel como respuesta al ejercicio y por lo tanto al daño muscular, según la cantidad de grados de aumento. En el presente estudio se evidenciaron aumentos mayores a un grado en el hemisferio dominante, lo cual se cataloga como una condición de alarma (Corte, Pedrinelle, Marttos, Grava Souza, Grava y Hernández, 2019; Marins et al., 2015). A pesar de que esta condición adversa esta condición se estabiliza a los 6 días posteriores a la actividad, es claro que el hemisferio dominante requiere de una atención especial (Carpes, Mota y Faria, 2010; García-Manso et al., 2011), esto re direccionaría las posibles acciones de recuperación posteriores a la actividad para acelerar los procesos regenerativos. Adicionalmente, a pesar de que el cuerpo tiene métodos de regeneración y recuperación del daño muscular, se requieren de procesos de intervención para no solo acelerarlos sino readaptar el cuerpo para futuros esfuerzos. Estos protocolos para recobrar los estados basales pueden variar y beneficiar la pronta recuperación.

Los resultados expuestos sirven de base para personal de ciencias del movimiento humano para planificar las estrategias de carrera durante el evento, el entrenamiento y protocolos de recuperación posterior a los eventos de resistencia en condiciones de calor y humedad considerando estas respuestas al daño.

Conclusiones

Los aumentos de la temperatura tegumentaria registrados por la termografía, confirman la utilidad de esta tecnología para la cuantificación de la localización exacta del daño, la magnitud de este y la prolongación de la recuperación muscular a lo largo del tiempo, asimismo, queda registrada la respuesta de la temperatura de la piel a esfuerzos de larga duración en condiciones de calor y humedad y cómo se reflejan los procesos inflamatorios en esta temperatura tegumentaria.

A pesar de la evidencia reportada sobre la recuperación de la temperatura basal de la piel 6 días posteriores a la actividad, se requiere análisis adicionales para garantizar la recuperación del daño muscular, esta área queda abierta para futuros estudios.

Queda demostrado que el hemisferio dominante presenta aumentos de la temperatura corporal mayores a los registrados por el hemisferio no dominante desde un análisis técnico, lo cual serviría como insumo para re direccionar procesos de recuperación localizada.

Según las valoraciones realizadas, participar en un maratón en condiciones de calor y humedad provoca aumentos considerables en la temperatura corporal de los corredores, lo cual promueve un daño muscular en las extremidades inferiores en algunos casos provocando alarmas clínicas que requieren intervención terapéutica, médica y de ciencias del movimiento humano para recobrar de forma óptima el estado basal fisiológico.

Recomendaciones

A los entrenadores de atletismo tener presente el desgaste que provoca una maratón en condiciones de calor y humedad.

Para futuros estudios y análisis de la temperatura corporal, se debe considerar realizar un seguimiento longitudinal durante los días posteriores al evento con el fin de identificar el comportamiento de esta variable a través del tiempo, explorando la evolución de la recuperación de los estados basales de la temperatura.

La población que realiza atletismo debe tener conocimiento que la pierna dominante es la que sufre más daño muscular al realizar una maratón en condiciones de calor y humedad.

Se deben de realizar análisis complementarios a nivel neuromuscular y bioquímicos con el fin de explorar si recobrar la temperatura basal de la piel garantiza la recuperación muscular definitiva.

Se motiva en futuras intervenciones no solo a aumentar la muestra analizada sino a explorar el comportamiento de la temperatura tegumentaria en diferentes disciplinas e intensidad de esfuerzos, así como en la aplicación de diferentes métodos de recuperación y su incidencia en los procesos inflamatorios y su reflejo en esta variable.

Referencias

- American College of Sports Medicine. (2007). Position Statement: Exertional Heat Illness during Training and Competition. *American Sport Medicine Journal, SpecialCommunication*, p. 556-572. Recuperado de: <http://khsaa.org/sportsmedicine/heat/acsmexertionalheatillness.pdf>
- Armstrong, L., Casa, D., Millard-Stafford, M., Moran, D., Pyne, S. y Roberts, W. (2007). Complicaciones por calor asociadas al esfuerzo durante el entrenamiento y la competencia. *Medicine & Science in Sports & Exercise*®, 39 (3). Recuperado de: http://ciudaddeportivacamilocano.com/pdf/complicaciones_por_calor.pdf
- Bandeira, F., Muniz, M., Abreu, M., Nohama, P., y Borba, E. (2012). Can Thermography Aid in the diagnosis of the injuries in soccer athletes. *Revista Brasileira da Medicina du Esporte*, 18 (4), 246-251. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-86922012000400006>
- Bataineh M., Ali-Nawaiseh A., Taifour A., y Judge L. (2017). Daño Muscular Inducido por Maratón del Mar Muerto y Eficacia a Corto Plazo de Suplemento Oral de Vitamina E. *JEPonline* 2017; 20(3):1-13. Recuperado de: <https://g-se.com/dano-muscular-inducido-por-maraton-del-mar-muerto-y-eficacia-a-corto-plazo-de-suplemento-oral-de-vitamina-e-2339-sa-g5a0a25ebdf08b>
- Bouzas, J., Fernandes, A., Gomes, D. y Souza, F. (2014). Thermographic profile of soccer player lower limbs. *Revista Andaluza de Medicina Deportiva*. 7(1)1-6. Recuperado de: <http://www.elsevier.es/es-revista-revista-andaluza-medicina-del-deporte-284-articulo-thermographic-profile-soccer-players39-lower-X1888754614815282>
- Brancaccio, P., Maffulli, N. y Limongelli, F. (2007). Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British Medical Bulletin*, 8(1): 209–230. doi: 10.1093/bmb/ldm014
- Carballo, M. Pérez, F. y Portillo, J. (2013). *Psicólogos del Deporte Online*, (2013). <http://www.psicologosdeldeporteonline.com/quienes-somos/> Mi primer maratón. Recuperado de: <http://www.mitjasitges.cat/docs/mi-primer-maraton-guia.pdf>

- Carpes, F., Mota, C. y Faria, I. (2010). On the bilateral asymmetry during running and cycling e A review considering leg preference. *Physical Therapy in Sport*, 11: 136-142. doi:10.1016/j.ptsp.2010.06.005.
- Cheuvront, S. y Haymes, E. (2001).Thermoregulation and Marathon Running: Biological and Environmental Influences. *Sports Medicine*; 31 (10), 743-762. doi: 10.2165/00007256-200131100-00004
- Corte, A., Pedrinelli, A., Marttos, A., Grava Souza, I., Grava, J., Hernández, A. (2019). Infrared thermography study as a complementary method of screening and prevention of muscle injuries: pilot study. doi: 10.1136/bmjsem-2018-000431
- Costa, R., Crockford, M., Moore, J. y Walsh, N. (2012). Heat acclimation responses of an ultra-endurance running group preparing for hot desert-based competition.*European Journal of Sport Science*, 14(1). doi: 10.1080/17461391.2012.660506.
- Crouter, S., Antczak, A., Hudak, J., Della Valle, D y Haas, J. (2006). Accuracy and reliability of the ParvoMedicsTrueOne 2400 and Medgraphics VO2000 metabolic systems. *European Journal of Applied Physiology*, 98(2), 139-151. doi: 10.1007/s00421-006-0255-0.
- El Helou, N., Tafflet, M., Berthelot, G., Tolaini, J., Marc, A., Guillaume, M., Hausswirth, C. y Toussaint, J.F. (2012).Impact of Environmental Parameters on Marathon Running Performance. *Plosone*, 7(5), 1-9. Recuperado de: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0037407>
- Federación Costarricense de Atletismo (FECO A). (2016). *Calendario de Ruta 2016*. Recuperado de: <http://www.fecoa.org/calendario-de-ruta-2016/>
- FLIR CommercialSystems. (2016). *Historia de la compañía*. Recuperado de: <http://www.flir.com/thermography/americas/es/view/?id=55679>
- Formenti D, Ludwig N, Gargano M, Gondola M, Dellerma N, Cau- mo A, et al. (2013) Thermal imaging of exercise-associated skin temperature changes in trained and untrained female subjects. *Ann Biomed Eng*;41(4):863-71. doi: 10.1007/s10439-012-0718-x.
- Fortaleza. (2013). *Declaración de Helsinki de la AMM - Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos*. Recuperado de: <http://www.isciii.es/ISCIII/es/contenidos/fd-investigacion/fd-evaluacion/fd-evaluacion-etica-investigacion/Declaracion-Helsinki-2013-Esp.pdf>

- García, M.; Martínez, J.; Urdampilleta, A.; Mielgo, J.; Norte, A. y Moncada, R. (2015). Efectos de los aminoácidos ramificados en deportes de larga duración: revisión bibliográfica. *Nutrición Hospitalaria*. 31 (2): 577-589. Recuperado de: <http://fcsalud.ua.es/es/alinea/documentos/investigacion/efectos-de-los-aminoacidos-ramificados-en-deportes-de-larga-duracion.pdf>
- García-Manso, J., Rodríguez-Ruiz, D., Rodríguez-Matoso, D., De Saa, Y., Sarmiento, S. y Quiroga, M. (2011). Assessment of muscle fatigue after an ultra-endurance triathlon using tensiomyography (TMG). *Journal of Sports Sciences*; 29(6): 619–625. doi: 10.1080/02640414.2010.548822.
- Gómez-Carmona, P. (2012). Influencia de la información termográfica infrarroja en el protocolo de prevención de lesiones de un equipo de fútbol profesional español. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España: Recuperado de: http://oa.upm.es/14694/2/PEDRO_MARIA_GOMEZ_CARMONA.pdf
- Gutiérrez-Vargas, R., Martín-Rodríguez, S., Sánchez-Ureña, B., Rodríguez-Montero, A., Salas-Cabrera, J., Gutiérrez-Vargas, J.C., Simunic, B., Rojas-Valverde, D. (2018). Biochemical and muscle mechanical postmarathon changes in hot and humid conditions. *Journal of strength and conditioning research*. doi: 10.1519/JSC.0000000000002746.
- Hadzic V, Sirok B, Malnersic A & Coh M. (2015) Can infrared thermography be used to monitor fatigue during exercise? A case study. *Journal of Sport and Health Science*, 4. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095254615001039>
- Hildebrandt C, Zilberger K, Francis E, Rig J & Raschner C. (2012). *The application of medical infrared thermography in sport medicine*. KR Zaslav (Ed.), An international perspective on topics in sports medicine and sports injury, InTech, Rijeka. doi: 10.5772/28383
- Instituto Meteorológico Nacional. (IMN). (2015). Promedio mensual de datos climáticos: estación 72179, San José, Pinilla. Departamento de Información, Kenneth Prado Cordero, San José, Costa Rica.
- Kim, Y., Shin, Y., Lee, J., Lee, Y., Shin, K., Kim, A., Goh, C., Kim, C., Oh, J., Min, Y. & Yang, H. (2014). The effects of running a 308 km ultra-marathon on cardiac markers. *European Journal of Sport Science*, 14 (1), 92-97. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/17461391.2011.654267>

- Marins, J.C.B.; Fernández-Cuevas, I.; Arnaiz-Lastras, J.; Fernandes, A.A. y Sillero-Quintana, M. (2015). Aplicaciones de la termografía infrarroja en el deporte. Una revisión / Applications of Infrared Thermography in Sports. A Review. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 15 (60), 805-824. Recuperado de: <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista60/artaplicaciones594.htm>
- Mendoza, A. (2015). Federación de Atletismo avalará más de 130 carreras para el 2015. Diario digital crhoy.com (28 enero 2015), Costa Rica. Recuperado de: <http://www.crhoy.com/federacion-de-atletismo-avalara-mas-de-130-carreras-para-el-2015/>
- Mohammed, A y Thomson, M. (2012). Consequences of rising humidity level on circulatory responses during prolonged intense running. *Movement, Health&Exercise*, 1(1), 11-23. doi: <http://dx.doi.org/10.15282/mohe.v1i0.2>
- Mo'ath Bataineh, Ali Al-Nawaiseh, Akef Taifour y Lawrence Judge (2017). Daño Muscular Inducido por Maratón del Mar Muerto y Eficacia a Corto Plazo de Suplemento Oral de Vitamina E. PubliCE. Recuperado de: <https://g-se.com/dano-muscular-inducido-por-maraton-del-mar-muerto-y-eficacia-a-corto-plazo-de-suplemento-oral-de-vitamina-e-2339-sa-g5a0a25ebdf08b>
- Norcross, J y Van Loan, MD. (2004). *Validation of fan beam dual energyxrayabsorptiometryforbodycompositionassessment in adultsaged 18-45 years. British Journal of Sports Medicine*, (38) 472-476. doi: 10.1136/bjism.2003.005413
- Nuevo, J. (2015). Qué es un Maratón. Recuperado de: <http://correr.about.com/od/PlanEntrenamientoMaraton/a/Que-Es-Un-Maraton.htm>
- Patel, D. R., Gyamfi, R., & Torres, A. (2009). Exertional Rhabdomyolysis and Acute Kidney Injury. *The Physician and Sportsmedicine*, 37(1), 71-79.
- Robles, V. (2015). Variaciones termométricas en la planta del pie y piernas valorada en corredores antes y después de correr 30 km. *Revista Internacional de Ciencias Podológicas* 2016. 10 (31-40). Recuperado de: <http://revistas.ucm.es/index.php/RICP/article/viewFile/51060/47403>
- Rodríguez, J. (2014). Atletismo espera este año 165 carreras. Versión digital del diario La Nación, Costa Rica, 26 enero 2014. Recuperado de http://www.nacion.com/deportes/Atletismo-espera-ano-carreras_0_1392860793.html

- Rojas-Valverde, D. (2019). Reseña histórica de carreras de distancia y ultradistancia en Costa Rica y el mundo. *VIREF: Revista de Educación Física*, 8 (1): 1-19.
- Roy, R., Boucher, J. y Contois, A. (2006). Validity of infrared thermal measurements of segmental paraspinal skin surface temperature. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. July/August. 29(2):150-5. doi: 10.1016/j.jmpt.2005.12.004
- Sampedro, J; Piñonosa, S. y Fernandez, I. (2012). La termografía como nueva herramienta de evaluación en baloncesto. Estudio piloto realizado a un jugador profesional de la ACB. *Revista Cuadernos de Psicología del Deporte*, 1(12), 51-52. Recuperado de: <http://revistas.um.es/cpd/article/view/169451>
- Sport Medicine Australia (2008). Beat the Heat: playing and exercising safely in hot weather. Folleto informativo, Recuperado de: <http://sma.org.au/wp-content/uploads/2011/03/beat-the-heat-2011.pdf>
- Urdampilleta, A., Martínez, J., Julia, S. y Álvarez, J. (2013). Protocolo de hidratación antes, durante y después de la actividad físico-deportiva. *European Journal of Human Movement*, 31, 57-76. Recuperado de: <https://recyt.fecyt.es/index.php/ejhm/article/view/56403>