

INVESTIGACIÓN ORIGINAL

DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v65n4.60638>

La termografía infrarroja como herramienta efectiva para detectar áreas musculares dañadas después de correr una maratón

Infrared thermography as an effective tool to detect damaged muscle areas after running a marathon

Recibido: 20/10/2016. Aceptado: 05/12/2016.

Randall Gutiérrez-Vargas^{1,2} • José Alexis Ugalde-Ramírez^{1,2} • Daniel Rojas-Valverde^{1,2} • Jorge Salas-Cabrera² • Alejandro Rodríguez-Montero² • Juan Carlos Gutiérrez-Vargas²

¹ Universidad Nacional - Facultad de Ciencias de la Salud - Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida - Centro de Investigación y Diagnóstico en Salud y Deporte - Heredia - Costa Rica

² Universidad Nacional - Facultad de Ciencias de la Salud - Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida - Heredia - Costa Rica.

Correspondencia: Randall Gutiérrez-Vargas. Centro de Investigación y Diagnóstico en Salud y Deporte, Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Nacional. Teléfono: +506 25624783. Lagunilla, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: randall.gutierrez.vargas@una.cr.

| Resumen |

Introducción. La termografía infrarroja (TI) es un equipo de imagen que capta las radiaciones de calor emitidas por los cuerpos y las recoge en valores de temperatura. En el ámbito deportivo se utiliza para identificar daños en estructuras músculo-esqueléticas a partir de la variación de la temperatura corporal en zonas anatómicas afectadas.

Objetivo. Valorar la efectividad de la TI como herramienta para detectar músculos dañados después de correr una maratón.

Materiales y métodos. Se evaluaron 17 corredores antes y después de correr una maratón (42.196 km) utilizando un equipo termográfico.

Resultados. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la temperatura previa y posterior a correr una maratón. Se presentó una diferencia entre la medición previa y posterior $>1^{\circ}\text{C}$ en el vasto lateral, vasto medial, recto femoral y aductor de la pierna dominante, lo que, basados en parámetros clínicos, representa un daño en estos músculos. Los aumentos de temperatura se mostraron de manera heterogénea entre las zonas anatómicas.

Conclusiones. La TI es una herramienta efectiva para detectar zonas musculares dañadas en corredores después de participar en una maratón.

Palabras clave: Termografía; Músculos; Carrera; Lesiones (DeCS).

.....
Gutiérrez-Vargas R, Ugalde-Ramírez JA, Rojas-Valverde D, Salas-Cabrera J, Rodríguez-Montero A, Gutiérrez-Vargas JC. La termografía infrarroja ¿herramienta efectiva para detectar áreas musculares dañadas

después de correr una maratón? Rev. Fac. Med. 2017;65(4):601-7. Spanish. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v65n4.60638>.

| Abstract |

Introduction: Infrared thermography (IT) is an imaging technique that detects heat radiation emitted by an object and collects it to convert it into temperature values. In sports, it is used to identify damage to musculoskeletal structures based on the variation of body temperature in affected anatomical areas.

Objective: To assess the effectiveness of IT as a tool to detect damaged muscles after running a marathon.

Materials and methods: 17 runners were assessed before and after running a marathon (42.196 km) using thermographic equipment.

Results: Statistically significant temperature differences were found before and after running a marathon. There was a difference between previous and posterior measurement $>1^{\circ}\text{C}$ in the vastus lateralis, vastus medialis, rectus femoris and adductor of the dominant leg, which, based on clinical parameters, indicates damage in these muscles. Increases in temperature were heterogeneous among anatomical areas.

Conclusions: IT is an effective tool for detecting damaged muscle areas in runners after participating in a marathon.

Keywords: Thermography; Muscles, Running, Injuries (MeSH).

.....
Gutiérrez-Vargas R, Ugalde-Ramírez JA, Rojas-Valverde D, Salas-Cabrera J, Rodríguez-Montero A, Gutiérrez-Vargas JC. [Infrared thermography: An effective detect tool of damaged muscle areas after running a marathon?]. Rev. Fac. Med. 2017;65(4):601-7. Spanish. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v65n4.60638>.

Introducción

La termografía infrarroja (TI) es un equipo de imagen que capta la radiación de calor emitida por los cuerpos y la recoge en valores de temperatura. En seres humanos ha sido implementada, en su mayoría, en el campo de la medicina para estudiar el dolor y las migrañas y como herramienta diagnóstica de cáncer y problemas cardiovasculares periféricos, esto debido a que es una técnica segura y no invasiva (1-4).

En la última década, la TI ha sido una herramienta tecnológica utilizada en el ámbito deportivo para valorar lesiones agudas o crónicas a nivel muscular, óseo, tendinoso y articular en los deportistas (5-12). El equipo termográfico tiene la capacidad de detectar los aumentos de temperatura que presentan las zonas anatómicas lesionadas, inflamadas o fatigadas y que son ocasionados por un incremento de los flujos sanguíneos que realiza el organismo en el área afectada; de igual forma detecta la disminución de la temperatura en zonas anatómicas que se han recuperado de sus lesiones (4,9,12).

Se ha propuesto una clasificación para valorar los cambios de temperatura en las zonas anatómicas generadas por la práctica deportiva que podrían ser indicadores de algún riesgo de lesión o de la presencia de la misma. Los autores (12) proponen que aumentos de temperatura en una zona anatómica entre áreas anatómicas similares o contralaterales de $\leq 0.4^{\circ}\text{C}$ a 0.7°C serían considerados normales, de 0.8°C a 1°C evidenciaría un estado inflamatorio representativo de un posible riesgo de lesión y $>1^{\circ}\text{C}$ serían considerados de alarma o gravedad, puesto que esta temperatura manifiesta la presencia de una lesión y sugiere una atención inmediata de la zona afectada (12).

La TI también puede ser un equipo utilizado para valorar el estado físico y muscular de los deportistas al ser capaz de llevar un seguimiento térmico de las principales zonas anatómicas involucradas en el deporte durante periodos de entrenamiento o después de competición de alta intensidad (7,12).

El maratón es una prueba deportiva exigente y desgastante para el organismo, la cual genera en los corredores problemas musculares y tendinosos en sus extremidades inferiores que pueden provocar estados de inflamación y de dolor después de competir (13-15). Si se considera que cada día son más las personas que se dedican a esta práctica, y a esto se le suma la ausencia de información de análisis termográficos en maratonistas, se justifica la realización de estudios para valorar la efectividad de nuevas herramientas que evalúen el comportamiento térmico y el estado muscular después de participar en competiciones de resistencia.

El objetivo de esta investigación fue valorar la efectividad de la TI como una herramienta para detectar áreas musculares dañadas después de correr un maratón.

Materiales y métodos

Participantes

Participaron 17 corredores aficionados de maratón (42.196 km) (10 hombres y 7 mujeres) con promedio de edad 35.8 ± 7.0 años, de peso 65.2 ± 12.2 kg, de talla 168.4 ± 10.5 cm, de porcentaje de grasa $20.8 \pm 7.6\%$, de masa magra 49.6 ± 11.1 kg y de $\text{VO}_{2\text{máx}}$ 52.8 ± 7.0 (ml/kg/min); los pacientes también presentaban una edad deportiva de práctica del atletismo de 9.3 ± 6.6 años y de maratones realizadas previamente de 3.1 ± 3.3 .

Los criterios de inclusión fueron mantener un entrenamiento regular y específico para maratón, haber participado con anterioridad en eventos de resistencia y no padecer enfermedades neuromusculares. Todos los corredores participaron de forma voluntaria y firmaron un consentimiento informado basado en la Declaración de Helsinki (16).

Instrumentos

Para medir el peso corporal se utilizó una Tanita-Ironman® (Elite Series BC554) con sensibilidad de ± 0.1 kg, para la talla se usó un tallímetro de pared con precisión de 1 mm y para la composición corporal se midió la masa magra y porcentaje de grasa mediante una absorciometría dual por rayos X (DEXA) con un error de $\pm 3\%$ (General Electric en CORE 2011®, versión 13.6) (ICC=0.6) (17).

El consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_{2\text{máx}}$) se evaluó en una prueba incremental iniciando en 4.5 millas por hora (mph) y aumentando 1 mph cada 2 minutos; una vez alcanzadas las 8.5 mph, se detenían los incrementos de velocidad y se incrementaba la inclinación en un 2% cada 2 minutos hasta fatiga volitiva utilizando un analizador de gases VO_{2000} , MedGraphics® (18), con precisión de $\pm 3\%$ de volumen absoluto (19). Los datos fueron analizados por medio del software BreezeSuit®.

La función cardiaca en reposo se valoró mediante un equipo electrocardiógrafo (Quinton Q-Stress, 9500) con la revisión y aprobación posterior por parte de un médico.

Las mediciones de la temperatura y humedad relativa de los cuartos de evaluación termográfica y ambientales al momento de la carrera se realizaron utilizando un monitor AQUESTemp°36 WBGT de 3M.

Para la medición termográfica se utilizó una cámara Flir T440 (FLIR Commercial Systems), una cámara infrarroja de alto rendimiento con cámara visual y resolución de 320×240 que permite una resolución térmica nítida a 76 800 píxeles para alta precisión desde mayor distancia. La medición de temperatura posee una precisión calibrada entre $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ o $\pm 2\%$ de lectura. Las imágenes fueron analizadas con el software ThermaCAM Researcher Professional 2.10

Procedimiento

El estudio se desarrolló a través de cuatro sesiones. Las sesiones 1, 2 y 3 se realizaron en el laboratorio de evaluaciones del Centro de Investigación y Diagnóstico en Salud y Deporte (CIDISAD) de la Escuela de Ciencias del Movimiento Humano y Calidad de Vida (CIEMHCAVI) de la Universidad Nacional de Costa Rica y la evaluación posterior a la carrera (sesión 4) se llevó a cabo en un cuarto aislado en la zona de hospedaje cerca de la meta del evento. Para las evaluaciones termográficas de las sesiones 3 y 4, la temperatura promedio de los cuartos fue de $22.3 \pm 0.9^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa fue de $64.7 \pm 8.3\%$, rangos apropiados para realizar termografías en seres humanos (20).

Sesión 1

Se informó a los participantes la metodología del estudio, los procedimientos y las evaluaciones a realizar, las responsabilidades y los derechos al participar en la investigación. Se firmó el consentimiento informado.

Sesión 2

Se realizó 15 días antes del evento para evitar exponer a los corredores a cargas físicas elevadas antes de la competencia. Se aplicaron mediciones de control del peso, talla, capacidad aeróbica, masa magra, porcentaje de grasa corporal y un electrocardiograma en reposo para determinar el estado basal de los participantes.

Sesión 3

Se realizó 3 días antes del evento y con un tiempo de descanso en los participantes de 24 horas. El protocolo contempló 10 minutos de

reposo de pie con la menor ropa posible en un cuarto con temperatura controlada y aislado de emisiones de calor (20). La temperatura y humedad relativa exacta al momento de realizar cada termografía se introdujo a la termocámara para aumentar la exactitud de la medición.

Se tomaron dos termografías a cada participante, una de la parte anterior y otra de la parte posterior de las extremidades inferiores, consideradas como las mediciones previas al evento (medición pre) o perfil térmico individual (12). Tanto para la evaluación de la parte anterior como de la posterior de las extremidades inferiores, cada participante se colocó manteniendo una posición anatómica de pie sobre una plataforma plástica a una altura de

15cm del piso, colocando sus pies sobre dos marcas en la parte superior de la plataforma para estandarizar la ubicación de todos los participantes en las mediciones. La termocámara se colocó a 3m del participante a una altura de 45cm del piso. El centro del lente de la cámara fue dirigido al punto medio entre ambas rodillas, enfocando la cámara para que tomara la totalidad de las extremidades inferiores.

Para propósito de análisis y comparación, cada miembro inferior fue dividido en 14 zonas anatómicas, 8 anteriores y 6 posteriores, para un total de 28 zonas entre ambas piernas siguiendo la agrupación anatómica utilizada por Gómez (7) (Figura 1).

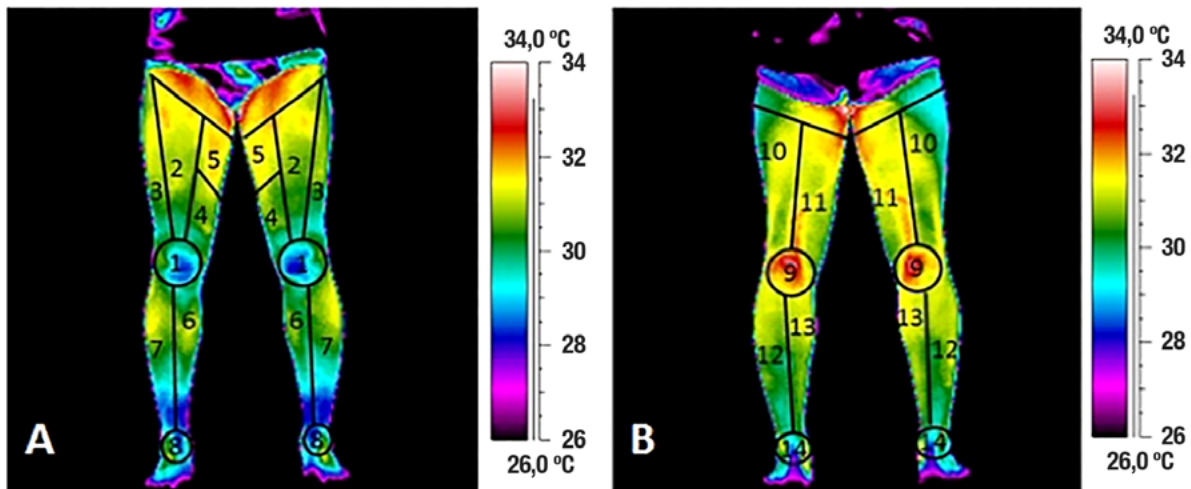


Figura 1. A) Zonas anatómicas anteriores para el análisis térmico. B) Zonas anatómicas posteriores para el análisis térmico. 1: rodilla; 2: recto femoral; 3: vasto lateral; 4: vasto medial; 5: aductor; 6: tibial anterior zona media; 7: tibial anterior; 8: tobillo zona anterior; 9: fosa poplítea; 10: bíceps femoral; 11: semitendinoso; 12: gastrocnemio lateral; 13: gastrocnemio medial; 14: aquiles.

Fuente: Documento obtenido durante la realización del estudio.

Sesión 4

Se realizó 24 horas después a la finalización del evento (medición post) repitiendo el mismo procedimiento de la sesión 3 en un cuarto cerca de la meta. El índice de estrés termal y humedad relativa promedio al momento de la carrera fue de $27.0 \pm 3.3^\circ\text{C}$ y $81.3 \pm 20.7\%$, respectivamente. Estas termografías pretendían detectar los cambios de temperatura entre la medición pre y post al maratón que pueden significar presencia de daño muscular o la recuperación que presentaba el corredor post competencia en las zonas anatómicas (21). El corredor no recibió ningún tipo de tratamiento de recuperación desde que finalizó la maratón hasta la medición termográfica.

Luego, se analizaron las imágenes térmicas de cada corredor, obteniendo la temperatura de cada zona anatómica, tanto de la medición previa como la posterior al maratón.

Análisis estadístico y clínico

Se aplicó estadística descriptiva de medias (M), desviaciones estándar (\pm DS), frecuencias y porcentajes. Se comprobó la homogeneidad de varianzas por medio de la prueba de Levene ($p > 0.050$) y se realizaron pruebas de ANOVA mixtos 2x2 para determinar diferencias significativas entre las mediciones (pre y post) y dominancia (pierna dominante y no dominante) utilizando el paquete estadístico para las ciencias sociales (IBM, SPSS Statistics, 21.0) y asumiendo un nivel de significancia de $p < 0.050$.

Por último, se valoraron clínicamente las zonas anatómicas, comparando los cambios de temperatura entre la medición pre y post

al maratón y considerándose aumentos $>1^\circ\text{C}$ clasificados de alarma o gravedad en una misma zona anatómica, entre zonas contralaterales (dominante y no dominante) y entre zonas anatómicas anteriores y posteriores de una misma extremidad, lo que sugirió que la zona anatómica con mayor temperatura presenta alguna lesión (12)

Resultados

El 70.6% ($n=12$) de los corredores presentaron, en al menos una zona anatómica, un aumento de temperatura $>1^\circ\text{C}$ entre la medición pre y post al maratón, considerada de alarma o gravedad debido a que representaría algún tipo de lesión en la misma. En la Tabla 1 se observan seis corredores con 15 zonas con aumento $>1^\circ\text{C}$ y cinco que no mostraron incrementos $>1^\circ\text{C}$ en ninguna zona anatómica entre la medición pre y post.

Las pruebas de ANOVA factoriales realizadas no mostraron interacción estadísticamente significativa entre las mediciones y la dominancia del corredor en ninguna de las zonas anatómicas ($p > 0.050$), ni entre la pierna dominante y la no dominante ($p > 0.050$). No obstante, en la Tabla 2 se observan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.050$) entre la temperatura de la medición pre y post al maratón en casi todas las zonas anatómicas, excepto en las tibiales.

Al valorar los aumentos de temperatura, en la Tabla 2 se observa que los músculos que conforman el cuádriceps (vasto lateral, vasto medial y recto femoral) y en el aductor de la pierna dominante fueron las únicas zonas anatómicas que presentaron aumentos $>1^\circ\text{C}$ entre la medición pre y post al maratón.

En la Tabla 2 también se observan zonas anatómicas como el bíceps femoral, la fosa poplítea, el semitendinoso y los gastrocnemios en las que, aunque presentaron diferencias estadísticamente significativas entre la medición pre y post, la diferencia en el aumento de temperatura no sobrepasa 1°C.

Tabla 1. Cantidad y porcentaje de zonas anatómicas con aumentos de temperatura >1°C considerados de alarma o gravedad por corredor según dominancia.

Corredor	Pierna dominante n=14 (%)	Pierna no dominante n=14 (%)	Total n=28 (%)
1	14 (100%)	13 (92.8%)	27 (96.4%)
2	7 (50%)	4 (28.5%)	11 (39.2%)
3	1 (7.1%)	1 (7.1%)	2 (7.1%)
4	11 (78.5%)	9 (64.2%)	20 (71.4%)
5	2 (14.2%)	3 (21.4%)	5 (17.8%)
6	10 (71.4%)	10 (71.4%)	20 (71.4%)
7	0 (0%)	1 (7.1%)	1 (3.5%)
8	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
9	7 (50%)	10 (71.4%)	17 (60.7%)
10	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
11	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
12	6 (42.8%)	6 (42.8%)	12 (42.8%)
13	8 (57.1%)	9 (64.2%)	17 (60.7%)
14	12 (85.7%)	4 (28.5%)	16 (57.1%)
15	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
16	5 (35.7%)	6 (42.8%)	11(39.2%)
17	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Cambios en la temperatura entre las mediciones pre y post de las zonas anatómicas según dominancia considerando aumentos de temperatura >1°C de alarma o gravedad.

Zona anatómica	Pierna dominante			Pierna no dominante			Sig	
	Pre (°C)	Post (°C)	M (°C)	Pre (°C)	Post (°C)	M (°C)	p	
Anteriores	Rodilla	29.4±1.2	30.3±0.5	0.9	29.6±1.1	30.2±0.6	0.6	=0.001*
	Vasto lateral	30.1±1.0	31.2±0.5	1.1	29.8±1.0	30.8±0.7	1.0	=0.001*
	Vasto medial	29.8±1.1	30.9±0.7	1.1	30.5±0.9	31.2±0.6	0.7	=0.001*
	Recto femoral	30.3±0.9	31.4±0.6	1.1	30.5±1.0	31.4±0.7	0.9	=0.001*
	Aductor	30.4±1.1	31.4±0.8	1.0	30.8±1.1	31.6±0.8	0.8	=0.001*
	Tibial anterior	31.1±0.9	31.4±0.4	0.3	30.6±1.0	31.0±0.6	0.4	=0.085
	Tibial anterior zona medial	30.6±1.0	30.9±0.5	0.3	30.9±0.8	31.1±0.5	0.2	=0.265
Tobillo zona anterior	30.2±1.0	30.5±0.9	0.5	29.8±1.0	30.6±1.0	0.8	=0.013*	
Posteriores	Fosa poplítea	31.0±0.8	31.8±0.6	0.8	31.2±0.7	31.7±0.5	0.5	=0.000*
	Bíceps femoral	30.8±0.8	31.6±0.6	0.8	30.8±0.8	31.6±0.6	0.8	=0.000*
	Semitendinoso	31.0±0.8	31.9±0.6	0.9	31.4±0.7	31.9±0.6	0.5	=0.000*
	Gastrocnemio lateral	30.6±0.8	31.3±0.5	0.7	30.7±1.3	31.3±0.6	0.6	=0.000*
	Gastrocnemio medial	30.6±0.8	31.2±0.7	0.6	31.0±0.7	31.3±0.5	0.3	=0.003*
	Aquiles	28.6±1.3	29.1±0.7	0.5	28.8±1.2	29.3±0.9	0.5	=0.029*

* Diferencias significativas entre medición pre y post (p<0.050).

Pre (°C): medición previa a la maratón; Post (°C): medición posterior a la maratón; M (°C): diferencia en el aumento de temperatura entre medición pre y post.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de casos

A continuación se muestran las imágenes termográficas tomadas a dos corredores, en las cuales, mediante los cambios de color en las zonas anatómicas de las extremidades inferiores, se pueden observar los cambios de temperatura entre la medición antes y después del maratón comparándolas por dominancia.

Caso 1

En la Figura 2, la termografía pre muestra una temperatura elevada en el bíceps femoral y fosa poplítea en la pierna izquierda (no dominante) en comparación a otras zonas. También se contabilizan incrementos de temperatura >1°C en 27 zonas anatómicas, 16 anteriores (8 en pierna dominante y 8 en no dominante) y 11 posteriores (6 en pierna dominante y 5 en no dominante). En la parte anterior los aumentos entre la termografía pre y post se acentuaron más en la zona tibial, la anterior del tobillo, las rodillas y los músculos de los cuádriceps en ambas piernas. Este es el caso de un participante masculino.

Caso 2

En la Figura 3, la termografía pre muestra que la temperatura de los cuádriceps y la zona del tibial anterior son mayores en la pierna izquierda (no dominante) con respecto a la derecha (dominante). Posterior al maratón, la corredora presentó aumentos de temperatura >1°C en 16 zonas anatómicas, 8 se encontraban en la parte anterior (6 en la pierna dominante y 2 en la no dominante), principalmente en rodillas, tobillos y cuádriceps, y 8 en la posterior (6 en pierna dominante y 2 en la no dominante), sobresaliendo la zona del bíceps femoral, fosa poplítea, gastrocnemios y el semitendinoso. Este es el caso de una participante femenina.

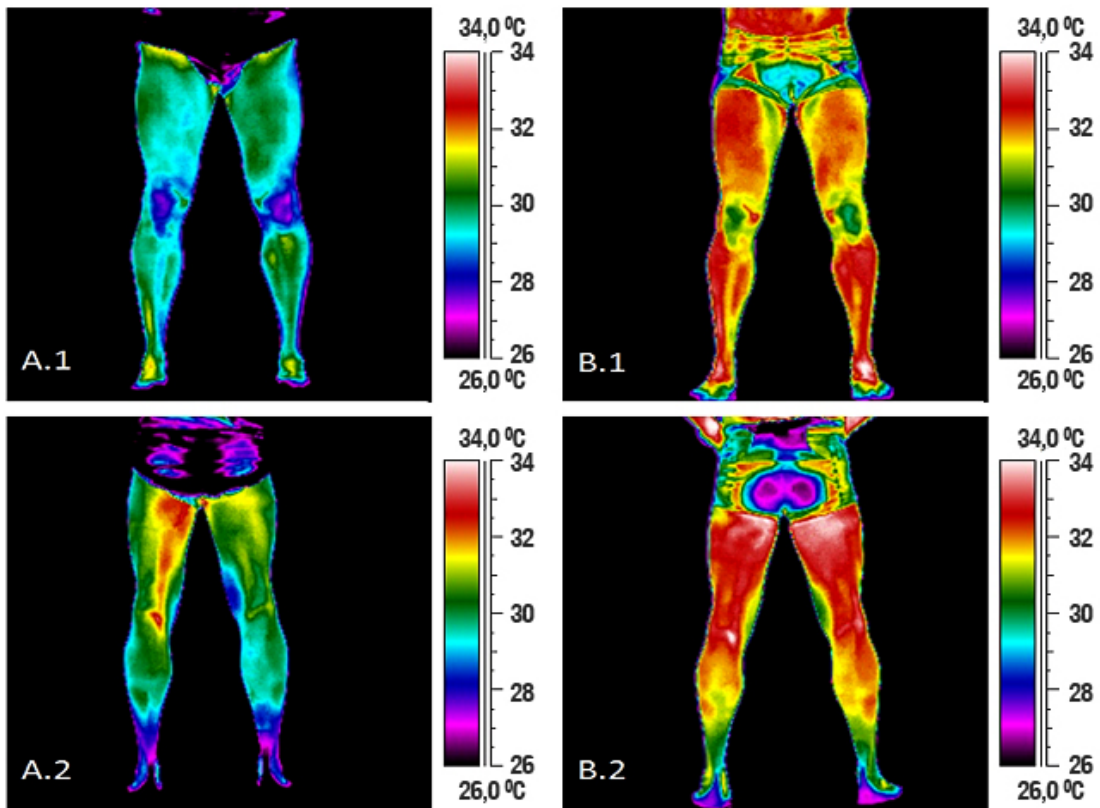


Figura 2. A1) Termografía pre maratón en vista anterior. A2) Termografía pre maratón en vista posterior. B1) Termografía post maratón en vista anterior. B2) Tomografía post maratón en vista posterior.
Fuente: Documento obtenido durante la realización del estudio.

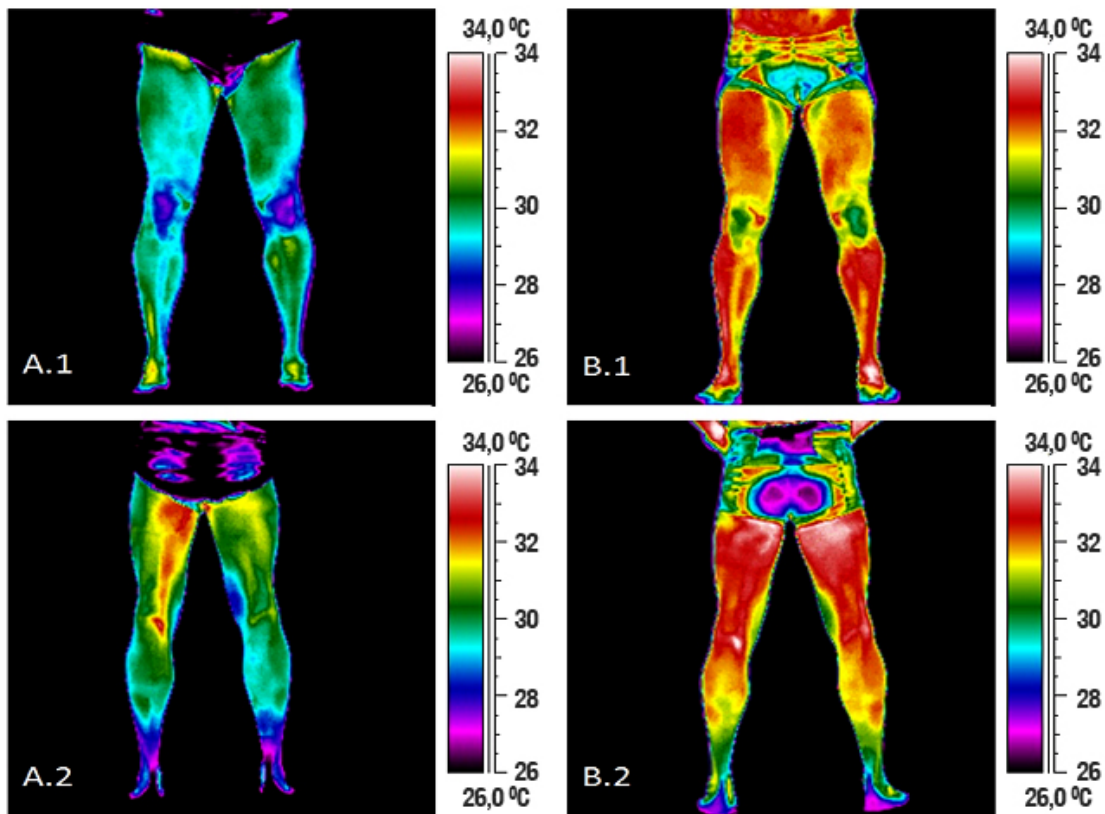


Figura 3. A1) Termografía pre maratón en vista anterior. A2) Termografía pre maratón en vista posterior. B1) Termografía post maratón en vista anterior. B2) Termografía post maratón posterior.
Fuente: Documento obtenido durante la realización del estudio.

Discusión

El objetivo de este estudio fue valorar la efectividad de la TI como herramienta para detectar áreas musculares dañadas después de correr una maratón (42.196km). Los resultados mostraron aumentos de temperatura estadísticamente significativos entre la medición pre y post maratón en las zonas anatómicas evaluadas, coincidiendo con lo reportado en estudios anteriores que evaluaron los cambios de temperatura de diferentes zonas corporales después de un entrenamiento físico o competición deportiva (6,7,11,22-26).

Al valorar clínicamente los aumentos de temperatura de los músculos de los cuádriceps y el aductor de la pierna dominante, en la Tabla 2 se observan diferencias $>1^{\circ}\text{C}$ entre la medición pre y post al maratón, lo que evidencia la presencia de un daño en estos músculos; asimismo, también se puede observar que varias zonas anatómicas presentaron un estado de inflamación debido a que la diferencia de temperatura estuvo entre 0.8°C y 1°C , lo anterior de acuerdo a la clasificación para valorar los daños musculares propuesta a partir del aumento de temperatura entre una misma zona después de una actividad deportiva (12).

Los daños referidos a los cuádriceps se pueden deber a su ubicación anatómica en la pierna, la cual los expone a gran cantidad de impactos al correr, en su mayoría en la contracción excéntrica que realizan para sostener el peso del cuerpo al apoyar el pie sobre el suelo luego de la zancada; esto genera micro rupturas de las fibras musculares durante la carrera provocando estados de inflamación o lesiones (13), lo cual incrementa la temperatura de la zona afectada (4,9,12). El hecho de que estos aumentos $>1^{\circ}\text{C}$ se encontraran acentuados en su mayoría en los músculos de la pierna dominante se puede justificar por la lateralidad del deportista debido a dos tendencias: a) los deportistas casi siempre recargan sus esfuerzos físicos en la extremidad dominante (5,6,22) y b) los mayores aumentos de temperatura se presentan en las estructuras musculares más utilizadas y exigidas por el deportista durante su competición (23-26).

Con respecto a la cantidad de zonas anatómicas anteriores y posteriores de las extremidades inferiores que evidenciaron aumentos de temperatura $>1^{\circ}\text{C}$ entre la medición pre y post al maratón, en el análisis de los casos 1 y 2 se muestran muy similares; sin embargo, estudios anteriores reportan una mayor incidencia de lesiones en las zonas anatómicas anteriores de las piernas (8,11). No obstante, si analizamos las zonas anatómicas posteriores de la extremidad que presentaron aumentos $>1^{\circ}\text{C}$ se evidencian el semitendinoso, el bíceps femoral, la fosa poplíteica y los gastrocnemios, cuyos daños pueden estar relacionados a la acción concéntrica de los músculos durante la carrera o incluso a una descoordinación de los músculos agonistas y antagonistas involucrados en la carrera (13,27).

Las variaciones en el incremento de temperatura entre las zonas anatómicas de los corredores concuerdan con conclusiones emitidas que indican que los aumentos de temperatura en atletas de deportes de resistencia son heterogéneos entre las regiones corporales (23). Para estas variaciones el perfil térmico de cada corredor es determinante (4,24) debido a que influyen factores intrínsecos como la edad, el género, la composición corporal, las hormonas, las glándulas sudoríparas, las adaptaciones fisiológicas y metabólicas, la capacidad de riego sanguíneo y la genética (6,23,28,29).

Asimismo, la técnica ejecutada por cada corredor y elementos de carácter extrínsecos como el ambiente, la humedad y el relieve del terreno inciden para el desarrollo de lesiones musculares, por lo cual influyen para que la respuesta térmica de cada corredor sea distinta en las diferentes zonas anatómicas (28,29).

Los aspectos tanto intrínsecos como extrínsecos antes mencionados podrían considerarse como una limitante en este estudio debido a que

no todos se controlaron durante la realización de este, por lo cual se desconoce cómo influyeron en los cambios de temperatura de las diferentes zonas anatómicas después de correr el maratón.

Como implicación práctica de este estudio, el análisis termográfico permitirá hacer controles en procesos de entrenamiento a largo plazo en maratonistas o deportistas de resistencia para conocer su estado físico en función a daños musculares; con esta información se podrá valorar la suspensión de cargas de entrenamiento, así como la intervención terapéutica en conjunto con fisioterapeutas y equipo médico. Además, se sugiere que el análisis termográfico sea individual debido a que cada corredor puede presentar un perfil térmico diferente que podría afectar los cambios en la temperatura en zonas anatómicas.

Conclusiones

La TI es una herramienta efectiva para detectar zonas musculares dañadas en corredores luego de participar en una maratón a partir de su comportamiento térmico, esto debido a la facilidad con la que permite detectar y cuantificar las zonas dañadas o con algún riesgo de lesión que presenta un deportista en las imágenes termográficas.

Conflicto de intereses

Ninguno declarado por los autores.

Financiación

Ninguna declarada por los autores.

Agradecimientos

Ninguno declarado por los autores.

Referencias

1. Bagavathiappan S, Lahir BB, Savaranan T, Philip J, Jayakumar T. Infrared Thermography for condition monitoring. A review. *Infrared Physics & Technology*. 2013;60:33-55. <http://doi.org/cc94>.
2. Ng EY-K. A review of thermograph as promising non-invasive detection modality for breast tumor. *Int J Therm Sci*. 2009;48(5):849-59. <http://doi.org/d633c8>.
3. Ring E, Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol Meas*. 2012;33(3):R33-46. <http://doi.org/cc95>.
4. Bouzas-Marins JC, Gomes-Moreira D, Piñónosa-Cano S, Sillero-Quintana M, Dias-Soares D, de Andrade-Fernandes A, et al. Time required to stabilize thermographic images at rest. *Infrared. Phys. Technol*. 2014;65(2914):30-35.
5. Sampedro J, Piñosa S, Fernández I. La termografía como nueva herramienta de evaluación en baloncesto. Estudio piloto realizado a un jugador profesional de la ACB. *CPD*. 2012;12(Suppl 1):51-56.
6. Formenti D, Ludwig N, Gargano M, Gondola M, Dellerma N, Caumo A, et al. Thermal imaging of exercise-associated skin temperature changes in trained and untrained female subjects. *Ann Biomed Eng*. 2013;41(4):863-71. <http://doi.org/f4spx3>.
7. Gómez-Carmona PM. Influencia de la información termográfica infrarroja en el protocolo de prevención de lesiones de un equipo de fútbol profesional español [tesis doctoral]. Madrid: Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad Politécnica de Madrid; 2012 [cited 2017 Sep 20]. Available from: <https://goo.gl/CqCp4D>.
8. Sanchis-Sánchez E, Vergara-Hernández C, Cibrián RM, Salvador R, Sanchis E, Codoñer-Franch P. Infrared thermal imaging in the diagnosis

- of musculoskeletal injuries: a systematic review and meta-analysis. *AJR Am J Roentgenol*. 2014;203(4):875-82. <http://doi.org/f6rh23>.
9. **Hildebrandt C, Raschner C, Ammer K.** An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors (Basel)*. 2010;10(5):4700-15. <http://doi.org/drhvcp>.
 10. **Bandeira F, Muniz MA, Abreu-de Souza M, Nohama P, Borba-Neves E.** Pode a termografia auxiliar no diagnóstico de lesões musculares em atletas de futebol? *Rev Bras Med Esporte*. 2012;18(4):246-51. <http://doi.org/cdb2>.
 11. **Bouzas-Marins JC, de Andrade-Fernandes A, Gomes-Moreira D, Souza-Silva F, Magno A.** Costa C, Pimenta EM, *et al.* Thermographic profile of soccer players lower limbs. *Rev Andal Med Deporte*. 2014;7(1):1-6. <http://doi.org/f2qthn>.
 12. **Marins JCB, Fernández-Cuevas I, Arnaiz-Lastras J, Fernandes AA, Sillero-Quintana M.** Aplicaciones de la termografía infrarroja en el deporte. Una revisión. *Rev.int.med.cienc.act.fis.deporte*. 2015 [cited 2017 Sep 20];15(60):805-24. Available from: <https://goo.gl/m9k3pF>.
 13. **Millet GY.** Can neuromuscular fatigue explain running strategies and performance in ultra-marathons? The flush model. *Sports Med*. 2011;41(6):489-506. <http://doi.org/btqm3z>.
 14. **Van Middelkoop M, Kolkman J, Van Ochten J, Bierma-Zeinstra SMA, Koes B.** Prevalence and incidence of lower extremity injuries in male marathon runners. *Scand J Med Sci Sports*. 2008;18(2):140-144. <http://doi.org/dbr4pb>.
 15. **García-Soidan JL, Arufe-Giráldez V.** Análisis de las lesiones más frecuentes en pruebas de velocidad, medio fondo y fondo. *Rev.int.med.cienc.act.fis.deporte*. 2003 [cited 2017 Sept 20];3(12):260-70. <https://goo.gl/2TYRxJ>.
 16. Asociación Médica Mundial. Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial. Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Fortaleza: 64.ª Asamblea General de la AMM; 2013 [cited 2017 Sept 20]. Available from: <https://goo.gl/hvf711>.
 17. **Norcross J, Van Loan MD.** Validation of fan beam dual energy X ray absorptiometry for body composition assessment in adults aged 18–45 years. *Br J Sports Med*. 2004;38(4):472-476. <http://doi.org/ch7556>.
 18. **Coe PN, Martin DE.** Entrenamiento para corredores de fondo y medio fondo. Barcelona: Editorial Paidotribo; 2007.
 19. **Crouter S, Antczak A, Hudak JR, Della-Valle DM, Haas JD.** Accuracy and reliability of the ParvoMedics TrueOne 2400 and Medgraphics VO2000 metabolic systems. *Eur J Appl Physiol*. 2006;98(2):139-51. <http://doi.org/cdrxsj>.
 20. **Roy RA, Boucher JP, Comtois AS.** Digitized infrared segmental thermometry: time requirements for stable recordings. *J Manipulative Physiol Ther*. 2006;29(6):486.e1-10. <http://doi.org/b2z78k>.
 21. **Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM.** Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull*. 2007;81-82:209-30. <http://doi.org/b9n79g>.
 22. **Chudecka M, Lubkowska A.** Temperature changes of selected body's surfaces of handball players in the course of training estimated by thermovision, and the study of the impact of physiological and morphological factors on the skin temperature. *J Therm Biol*. 2010;35(8):379-85. <http://doi.org/c99rrk>.
 23. **Fernandes AA, Amorim PRS, Primola-Gomes TN, Sillero-Quintana M, Fernández-Cuevas I, Silva RG, et al.** Avaliação da temperatura da pele durante o exercício através da termografia infravermelha: uma revisão sistemática. *Rev Andal Med Deporte*. 2012;5(3):113-7.
 24. **Fernández-Cuevas I, Sillero-Quintana M, García-Concepción MA, Ribot-Serrano J, Gómez-Carmona P, Marins JCB.** Monitoring skin thermal response to training with infrared thermography. *New Studies in Athletics*. 2014;29(1):57-71.
 25. **Merla A, Mattei PA, Di Donato L, Romani GL.** Thermal imaging of cutaneous temperature modifications in runners during graded exercise. *Ann Biomed Eng*. 2010;38(1):158-63. <http://doi.org/csv5sx>.
 26. **Priego-Quesada JL, Carpes FP, Bini RR, Salvador-Palmer R, Pérez-Soriano P, Cibrián Ortíz de Anda RM.** Relationship between skin temperature and muscle activation during incremental cycle exercise. *J Therm Biol*. 2015;48:28-35. <http://doi.org/f633k5>.
 27. **Croisier JL.** Muscular imbalance and acute lower extremity muscle injuries in sport. *International SportMed Journal*. 2004;5(3):169-76.
 28. **Fernández-Cuevas I, Bouzas-Marins JC, Arnáiz-Lastras J, Gómez-Carmona PM, Piñonosa-Cano S, García-Concepción MA, et al.** Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Physics & Technology*. 2015;71:28-55. <http://doi.org/cdb7>.
 29. **Schlader ZJ, Stannard SR, Mündel T.** Human thermoregulatory behavior during rest and exercise - A prospective review. *Physiol Behav*. 2010;99(3):269-75. <http://doi.org/fn6wdj>.