

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 vol. 15 (60) pp. 805-824.
<http://cdeporte.rediris.es/revista/revista60/artaplicaciones594.htm>

REVISIÓN / REVIEW

APLICACIONES DE LA TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN EL DEPORTE. UNA REVISIÓN

APPLICATIONS OF INFRARED THERMOGRAPHY IN SPORTS. A REVIEW

**Marins, J.C.B.¹; Fernández-Cuevas, I.²; Arnaiz-Lastras, J.³; Fernandes, A.A.⁴
y Sillero-Quintana, M.⁵**

¹ Dr. en Educación Física. Prof. Asociado del Dep. Educación Física de la Universidad Federal de Viçosa, Brasil, jcbouzas@ufv.br

² Dr. en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por de la Facultad CAFYD, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. ismael.fernandez@upm.es

³ Doctorando en Ciencias de la Actividad Física por la Facultad CAFYD, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. javi.arnaiz.inef@gmail.com

⁴ Especialista en Educación Física, Dep. Ed. Física de la Universidad Federal de Viçosa, Brasil. alex.andrade@ufv.br

⁵ Dr. en Educación Física. Prof. Titular de la Facultad CAFYD, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. manuel.sillero@upm.es

AGRADECIMIENTOS: CNPq – Brasil – Beca de investigación post-doctoral.

Código UNESCO / UNESCO code: 9915 Medicina del Deporte / Sports Medicine

Clasificación Consejo de Europa / Council of Europe Classification: 11. Medicina del Deporte / Sports Medicine

Recibido 30 de abril de 2012 **Received** April 30, 2012

Aceptado 5 enero 2013 **Accepted** January 5, 2013

RESUMEN

La termografía infrarroja (TI) registra el calor irradiado de un cuerpo, que es emitido en un rango del espectro electromagnético que la visión humana no es capaz de identificar. La respuesta térmica depende de una serie de ajustes fisiológicos específicos como la homeostasis corporal y salud del deportista, lo cual permite establecer interesantes aplicaciones en el deporte. El objetivo de este trabajo ha sido revisar la literatura en torno a las aplicaciones de la TI en el ámbito del deporte, y proponer las características óptimas del registro en relación al evaluado, las condiciones ambientales y la cámara utilizada. Concluimos que la principal contribución de la TI en el ámbito del deporte es ayudar a identificar

signos de lesión antes de que la lesión se produzca, permitiéndonos actuar de manera preventiva durante el proceso de entrenamiento.

PALABRAS CLAVE: Termografía; termorregulación; temperatura de la piel; evaluación física.

ABSTRACT

Infrared thermography (IRT) records the radiant heat of a body, which is emitted in the range of the electromagnetic spectrum that human vision is not able to identify. The thermal response depends on a number of specific physiological adjustments as body homeostasis and athlete's health, which allow us to establishing interesting applications in sport. The aim of this study was to review the literature on IRT applications in sports, and to propose the optimal characteristics of the register in terms of the subject, the environmental conditions and the camera used. We conclude that the main contribution of IRT in the field of sport is to help identify signs of injury before it occurs, allowing us to act proactively along the training process

KEY WORDS: Thermography, thermoregulation, skin temperature, physical evaluation.

1. INTRODUCCIÓN

Constantemente están apareciendo aplicaciones de nuevas tecnologías orientadas al mundo del deporte. Muchas de ellas nos permiten evaluar las necesidades del deportista, lo cual es aprovechado por los técnicos para intentar incrementar al máximo el rendimiento del deportista. Un ejemplo de ello son las tecnologías que ayudan a prevenir posibles lesiones o que nos permiten acelerar la recuperación de los deportistas una vez se han producido. Teniendo en cuenta el elevado nivel de exigencia del deporte profesional actual, la innovación tecnológica cobra especial importancia, como ejemplos se podrían considerar el empleo de pulsómetros⁽¹⁾, ropa refrigerada⁽²⁾ o la tensiomiografía⁽³⁾.

La termografía infrarroja (TI) es una técnica que permite visualizar el calor irradiado de un cuerpo, a través del registro de la emisión infrarroja, que se halla en un espectro que la visión humana no es capaz de identificar^(4,5). Esa técnica se emplea actualmente con mucha frecuencia en diversas áreas⁽⁶⁾ como es la industria de gas y petróleo, la aviación, en la construcción civil y militar o en veterinaria⁽⁷⁾. En humanos, las aplicaciones se centran más en el ámbito médico ya que la termografía permite evaluar las respuestas fisiológicas asociadas a la temperatura de la piel, ayudando a la identificación de una serie de problemas ligados a diferentes tipos de síndromes dolorosos⁽⁸⁾, intervenciones cardíacas⁽⁹⁾, deficiencias vasculares^(9,10); neurológicas^(9,11) o incluso estudios relacionados con el diagnóstico y seguimiento oncológico⁽¹²⁾.

El trabajo de Albert et al. (1964)⁽¹³⁾ se considera el primero en el que se emplea la termografía para evaluar un desorden músculo-esquelético. Por otro

lado, en el estudio de Clark et al. (1977)⁽¹⁴⁾ encontramos el primer artículo de referencia, al hacer un seguimiento térmico en distintos ambientes (20°C vs 10°C) con ejercicio realizado en tapiz. Sin embargo, debido a las dificultades tecnológicas, la calidad de los aparatos, el coste económico y velocidad de análisis de los datos, esta técnica no ha proliferado en el mundo del deporte. No obstante, el avance tecnológico de este sector en los últimos años ha permitido la construcción de aparatos más fiables, económicos, manejables y con software de análisis de datos prácticamente inmediatos, mejorando así la posibilidad del empleo de dicha técnica en el deporte en sus más variados campos: como el médico^(4,15,16,17,18), el de la fisioterapia⁽¹⁹⁾, el de rendimiento⁽²⁰⁾, el de investigación^(21,22,23,24,25) e incluso el de la gestión.

Diversos trabajos^(11,12,18,25) han concluido que la termografía es una tecnología de gran validez. Son considerados como puntos positivos^(4,15) el hecho de ser una técnica de bajo costo, no invasiva, rápida e inocua, sin emisión de radiación, altamente reproducible, sin necesidad de contacto físico con el evaluado, y que posibilita realizar un seguimiento en tiempo real de la temperatura del sujeto, construyendo un perfil térmico general y/o local, a través de la división del cuerpo en lo que se conocen como regiones corporal de interés (RCI). Consecuentemente, su uso diario de la termografía en el deporte permite hacer rápidas evaluaciones de manera cuantitativa y cualitativa, además de un seguimiento de la respuesta térmica del deportista, que a su vez podrá aportar una serie de informaciones importantes no solamente sobre su rendimiento, sino también sobre su salud.

Teniendo en cuenta que ciertos desajustes fisiológicos pueden influir en la respuesta térmica central⁽²⁶⁾ o local^(4,8,11,15), el empleo de la termografía en el deporte puede ayudar a la prevención de una lesión muscular, articular o tendinosa, ya que, en caso de sobreuso o sobreentrenamiento puede existir un aumento de temperatura local, en comparación con otra región corporal semejante o contralateral⁽¹⁸⁾. La termografía infrarroja puede detectar dicha asimetría térmica que podría derivar en una lesión, con su consiguiente repercusión en rendimiento y la salud del deportista, la planificación del equipo e incluso, si consideramos el deporte profesional o de alto rendimiento, en los beneficios del deportista o del club.

Conocer las posibilidades de empleo de esta nueva técnica en el deporte facilita, por ejemplo, una mayor cantidad de información sobre el estado del deportista, factor clave para la planificación de un entrenamiento lo más personalizado posible.

El deportista debe ser el principal beneficiario de las nuevas tecnologías que, aplicadas correctamente por profesionales, pueden emplearse para satisfacer todas las necesidades derivadas de la práctica deportiva de alto nivel, siendo la termografía infrarroja una herramienta que podrá ser utilizada en diferentes áreas del deporte. Consecuentemente, este estudio tiene como objetivo realizar una revisión de la literatura en torno a las diversas formas de aplicación de la termografía en el ámbito del deporte, y proponer las características óptimas del registro en relación al evaluado, las condiciones ambientales y la cámara utilizada.

2. MÉTODO

Durante el mes de marzo de 2012, se realizaron búsquedas en la base de datos Pubmed y Scielo con las palabras clave “*exercise*”, “*medicine*”, “*physiotherapy*” combinadas con “*thermography*”, “*infrared rays*”, “*termal imaging*”, “*thermology*”, “*IR Imaging*”, “*infrared*”, “*thermometry*”, “*thermovision*”, “*infrared photography*” y “*medical infrared imaging*”. Se seleccionaron los estudios que tuviesen relación con el empleo de la termografía en el ejercicio. Siendo considerados únicamente los trabajos realizados en humanos. Basándose en ese contenido fue posible analizar las posibilidades de uso de la termografía en el ámbito del deporte, así como realizar un análisis crítico de sus limitaciones. A continuación se presentan con detalle cada uno de esos puntos.

3. TERMOGRAFIA EN MEDICINA DEL DEPORTE

Mediante la termografía se puede evaluar la salud general del deportista permitiendo detectar el cáncer de piel⁽²⁷⁾, cáncer de mama⁽¹²⁾, problemas de tiroides⁽⁹⁾ aunque dichas alteraciones precisarán un diagnóstico mas preciso por parte de un equipo médico especializado. Un estado de fiebre, caracterizado por registros superiores a los 37,5°C⁽²⁸⁾ también puede ser percibido por la TI impidiendo que el deportista entrene fuera de los niveles de salud ideales.

Las lesiones constituyen uno de los principales problemas de los deportistas, pudiendo ser de origen agudo o crónico. En el ámbito del fútbol, la incidencia de lesión durante la EUROCOPA del 2008⁽²⁹⁾ fue de 41,6 lesiones/1000 horas de actividad. De estas lesiones, el 73 % fueron producidas por un traumatismo y el 27 % por sobrecarga. El diagnóstico, el tratamiento, la recuperación y la readaptación de la lesión significan un gran coste económico. Tanto es así, que según un trabajo sobre el fútbol profesional español, cada club de primera división tiene un gasto de media de más de 7.500.000 € por temporada solo en lo que respecta a los días en los que el jugador está de baja, y sin tener en cuenta costes indirectos⁽³⁰⁾.

La adopción de medidas que puedan prevenir lesiones ha de considerarse como algo muy beneficioso. Esa posibilidad hace de la TI una herramienta de un enorme potencial, tanto para el deportista como para los profesionales de su entorno, que pueden recibir información de una manera rápida y objetiva de su estado físico y de los posibles indicios de lesión o sobrecarga que puedan perjudicar su rendimiento⁽⁸⁾. Esa es una de las principales virtudes que apoyan el empleo de la termografía en el deporte.

Gracias a un control termográfico periódico del deportista se puede crear un perfil térmico específico, tanto del sujeto como de la especialidad deportiva o del equipo; es decir, un mapa con las características térmicas normales de cada RCI, como por ejemplo los miembros inferiores de un jugador de futbol. Así pues, un aumento anormal de temperatura, en las dos piernas o de una determinada región específica^(4,9), o que se manifieste de forma prolongada o más intensa de lo normal para el deportista puede estar relacionado con un proceso

inflamatorio⁽¹⁵⁾. Esa situación puede producirse como consecuencia de: una carga de entrenamiento por encima de la capacidad de asimilación del deportista, pudiéndose producir una situación de riesgo lesivo por sobrecarga; o un inadecuado desarrollo de las pautas de recuperación, como pueda ser la alimentación, las horas de descanso o las actividades fisioterapéuticas específicas. En todo caso, será necesario evaluar la causa de esa alteración térmica antes que produzca una lesión.

Basándose en el concepto de proporcionalidad anatómica, la respuesta térmica entre dos zonas corporales contralaterales se espera que sea simétrica⁽⁹⁾. Trabajos de seguimiento térmico comparando zonas corporales bilateralmente apuntan que diferencias de hasta 0,25 °C⁽³¹⁾; 0,4°C⁽³²⁾; 0,5°C^(33,34), ó 0,62°C⁽³⁵⁾ son consideradas aceptables. Sin embargo, valores superiores a esa diferencia ya indicarían que la región de mayor o menor temperatura, contrastada con su perfil térmico habitual, podría tener algún problema inflamatorio (hipertermia) ^(4,15,17,32) o degenerativo (hipotermia)^(4,9,15,17,32).

Lesiones crónicas asociadas a cuadros degenerativos son habituales en los deportistas, por ejemplo: problemas de tendinitis en el tendón de Aquiles de saltadores; síndrome de abductores entre futbolistas; la frecuente epicondilitis o más conocida como codo de tenista; o la típica bursitis en los hombros de nadadores. Estas lesiones pueden generar alteraciones en la temperatura de la piel, de tal manera que la termografía, con especial sensibilidad para la identificación de estos patrones, pueda ayudar en su tratamiento y proceso de evolución⁽¹⁷⁾. La figura 1 representa un ejemplo de esta situación, en la que un deportista posee una diferencia de temperatura entre la rodilla derecha e izquierda de 1,4°C (mas caliente la derecha), y de 1,5°C entre la región medial ambas piernas (mas caliente la derecha).

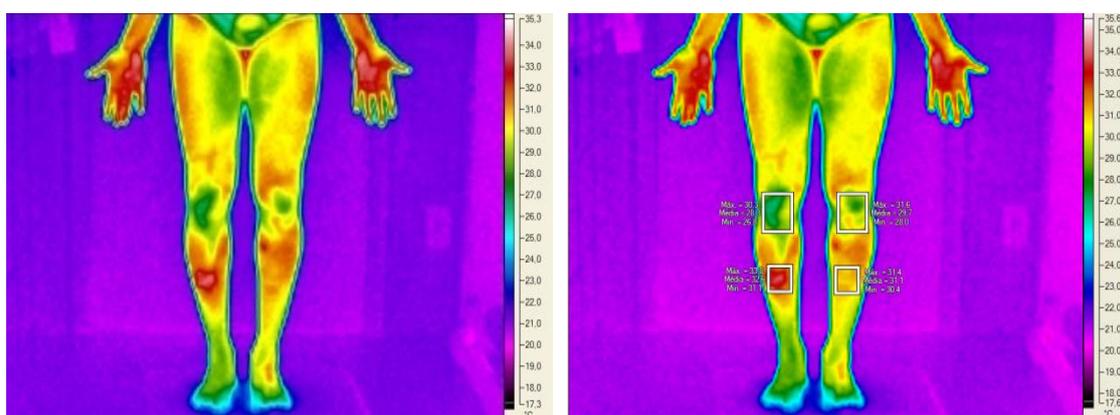


Figura 1: TI indicando diferencias temperaturas en la región de rodilla y tibial anterior en la pierna derecha (Fuente: Base de datos de imágenes del Sector de Termografía de la Universidad Federal de Viçosa – Brasil)

En función de las diferencias de temperaturas obtenidas bilateralmente proponemos, de acuerdo con nuestras investigaciones, una escala de nivel de atención que habría que prestar a las diferentes zonas corporales en función de las diferencias de temperatura registradas (Cuadro 1).

Cuadro 1: Escala del nivel de atención prestado en función de las diferencias de temperaturas obtenidas entre RCI contralaterales o entre dos tomas diferentes de la misma RCI.

DIFERENCIAS DE TEMPERATURA	NIVEL DE ATENCIÓN
$\leq 0,4^{\circ}\text{C}$	Normal
$0,5^{\circ} - 0,7^{\circ}\text{C}$	Seguimiento
$0,8^{\circ} - 1^{\circ}\text{C}$	Prevención
$1,1^{\circ} - 1,5^{\circ}\text{C}$	Alarma
$\geq 1,6^{\circ}\text{C}$	Gravedad

Tomando como base las indicaciones del cuadro anterior sobre el nivel de atención, habría que tener en cuenta que una diferencia $\leq 0,4^{\circ}\text{C}$ sería considerada como normal⁽³²⁾. Para niveles superiores a $0,5^{\circ}\text{C}$ se aconsejaría: a) verificar si algún factor externo influyó en ese resultado; b) hacer un seguimiento para evaluar las condiciones del entorno del deportista; c) aumentar la frecuencia de seguimiento. No recomendamos tomar decisiones tras una sola toma. En el caso que dicha diferencia se repitiese el día siguiente, se recomendaría una intervención adecuada por parte del médico, fisioterapeuta o entrenador, hasta que las diferencias volviesen a un rango aceptable.

Con valores clasificados como “prevención” se recomienda una disminución inmediata de la carga prevista para el entrenamiento o incluso su suspensión, ya que cuando se superan los valores de $0,8$ a $1,0^{\circ}\text{C}$ está claramente descrita la existencia de un proceso inflamatorio importante⁽⁴⁾ o un riesgo de lesión en una RCI, incluso sin síntomas previos de dolor, siendo recomendable una evaluación médica y/o fisioterapéutica del deportista. El estado de “alarma” impone la suspensión inmediata del entrenamiento y una evaluación médica y fisioterapéutica. El estado de “gravedad”, el más peligroso, nos indica una diferencia que podría ser patológica o una lesión importante, en este, como en los otros casos, la coordinación con el trabajo de fisioterapeutas y equipo médico es fundamental para determinar el estado real del deportista.

Sin embargo, para aplicar el cuadro 1, hay que considerar siempre el perfil térmico individual del deportista y del deporte practicado, ya que las lesiones previas del deportistas o características deporte practicado pueden originar unos desequilibrios térmicos de base que están dentro de la normalidad, y que podrían llevar a aplicar los criterios de forma incorrecta. Por ejemplo, si la especificidad del deporte hace que el antebrazo del agarre este siempre $0,4^{\circ}\text{C}$ más caliente, puede ser normal que el deportista tenga un día $0,8^{\circ}\text{C}$ de desequilibrio en los antebrazos, y no requeriría ninguna actuación especial.

Cuando se observan diferencias importantes de temperatura, es recomendable realizar un seguimiento durante 15 minutos para confirmar si esa diferencia se mantiene⁽³²⁾. Otra posibilidad es rociar la zona con una solución alcohólica o enfriarla por convección y esperar durante cinco minutos para ver la respuesta térmica de la zona⁽³²⁾, esta técnica es conocida como termografía dinámica⁽³⁶⁾.

La TI también permite evaluar el nivel de actividad metabólica cuando ya existe una lesión traumática⁽¹⁵⁾ o tras una cirugía⁽³²⁾. Ese control periódico durante el proceso de recuperación permite hacer un seguimiento de la evolución

del perfil térmico del deportista hacia su condición de normalidad anterior a la lesión. Asimismo, el seguimiento termográfico permite evaluar si la intervención médica y fisioterapéutica evoluciona de la manera esperada. En la figura 2, se presenta un caso de un deportista antes y después de lesionarse su rodilla derecha con un ruptura del ligamento cruzado anterior (LCA). En la figura 3 se presentan fotos térmicas de una judoka de alto rendimiento 11 días después de la operación de LCA (A) y tras 24 días (B), donde puede observarse el evidente proceso de recuperación térmica de la deportista.

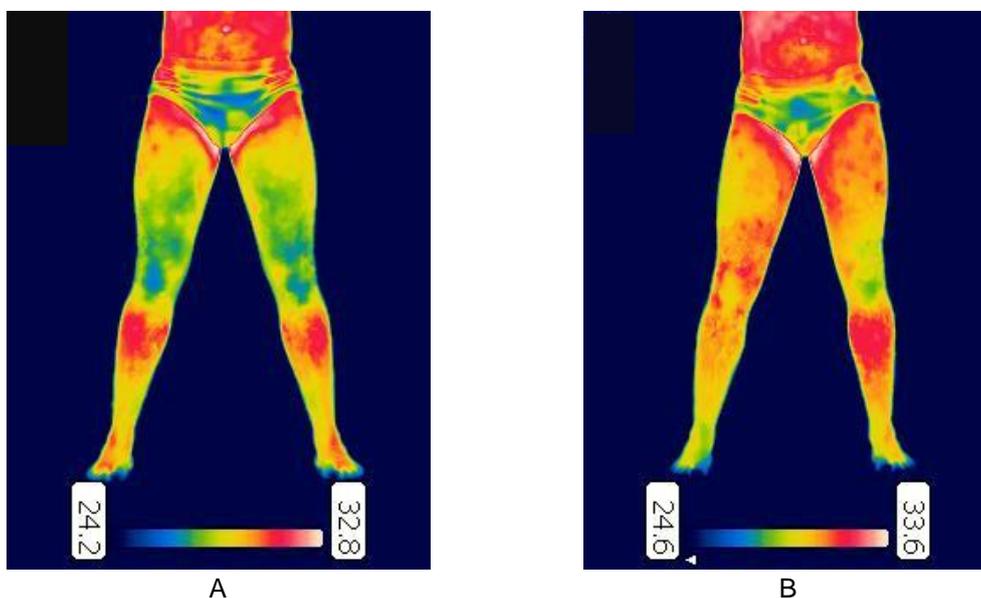


Figura 2: TI antes (A) y después (B) de una lesión de LCA (Fuente: Base de datos de imágenes del grupo TERMOINEF de la Universidad Politécnica de Madrid)

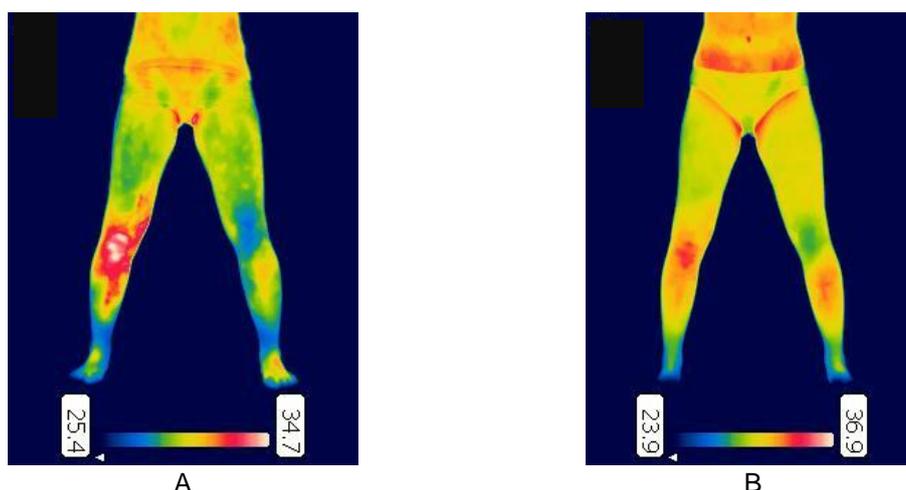


Figura 3: TI recuperación después de 11 días (A) y 24 días (B) de una cirugía LCA de una judoka (Fuente: Base de datos de imágenes grupo TERMOINEF de la Universidad Politécnica de Madrid)

También se han encontrado respuestas termográficas atípicas en diferentes casos de síndromes dolorosos^(8,11), mio-fasciales con diferencias entre 1 a 2°C⁽³²⁾ y trastornos articulares crónicos⁽³⁷⁾ con disminución de la temperatura haciendo sospechar de presencia de una distrofia simpático-refleja.

En concreto, BenEliyahu (1990)⁽¹⁸⁾ apunta a la posibilidad de hacer un seguimiento termográfico de algunos problemas como la epicondilitis, síndromes patelo-femorales, lesiones de rodilla, fracturas por stress, síndromes miofasciales, dolores de columna, lesiones de hombro y del pie, además de diversas neuropatías como el síndrome del túnel del carpo. Todos esos problemas aparecen con frecuencia en los deportistas, perjudicando así su rendimiento. De esta manera, la TI puede ayudar a anticiparse, incluso antes de que aparezcan síntomas dolorosos, a que dichos problemas desemboquen en una lesión⁽¹⁵⁾. Es interesante destacar que la ausencia de dolor no descarta la existencia de una lesión⁽³²⁾. La ventaja de esta tecnología es que puede detectar la lesión antes de que el dolor se manifieste.

Los deportistas que compiten en pruebas de larga duración en condiciones ambientales de calor extremas (como triatletas o maratonianos) suele ser habitual que presenten un estado de hipertermia⁽³⁸⁾ durante el entrenamiento o la competición que en condiciones no controladas puede llegar a producir incluso la muerte⁽³⁹⁾. El empleo de la TI puede ayudar a identificar de inmediato esa condición, así como controlar los procedimientos agudos en el intento de bajar la temperatura corporal.

Es importante señalar que la importancia de la termografía reside en que detectando desequilibrios térmicos que pueden ser una señal de alerta. Sin embargo, serán necesarios exámenes complementarios para diagnosticar la existencia de un determinado problema orgánico o metabólico⁽⁹⁾, como por ejemplo en el caso de una rotura muscular, donde es una obligación realizar exámenes bioquímicos, por tomografía, ecografía u otras técnicas de diagnóstico por la imagen, para diagnosticar seguridad y cuantificar dicha lesión.

Por lo tanto, el empleo práctico de la termografía en el campo de la Medicina del Deporte podrá tener como principal contribución la prevención de lesiones^(15,16,40,41). Sin embargo, también puede ayudar en el seguimiento de la evolución y del tratamiento de la lesión, además de señalar posibles problemas en la salud del deportista. Así pues, es interesante que los médicos que estén directamente involucrados en el tratamiento de deportistas y equipos deportivos consideren el empleo de esta técnica como una herramienta adicional de información en su rutina diaria de trabajo con sus pacientes.

4. TERMOGRAFIA EN FISIOTERAPIA DEPORTIVA

Los fisioterapeutas deportivos también pueden utilizar de forma rutinaria la termografía para ayudar a planear su grado de intervención^(15,17). Un buen ejemplo serían los tratamientos de crioterapia⁽⁴²⁾ en los cuales se aplican baños de agua fría para relajar la musculatura. En este campo la termografía puede ayudar a controlar el nivel de hipotermia al que se pretende llegar y mantener en una determinada región, evitando así un exceso de exposición al frío o que, por el contrario, el enfriamiento de la zona no haya sido suficiente para lograr los efectos deseados.

En la figura 4, se puede observar la temperatura media de la mano antes (a = 32,9°C) y después (b = 17,6°C) de un tratamiento de crioterapia de 5 minutos, donde se observa claramente la diferencia de temperatura y la zona de la articulación del pulgar con una mayor temperatura tras el tratamiento.

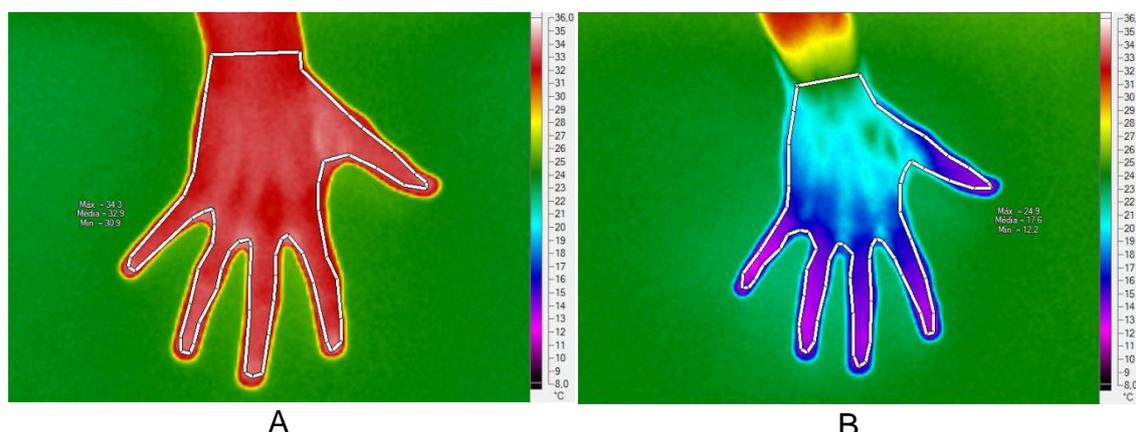


Figura 4: Inmediatamente ANTES (A) y después (B) de un tratamiento fisioterápico con crioterapia (Fuente: Base de datos de imágenes del Sector de Termografía de la Universidad Federal de Viçosa – Brasil)

Después de una lesión y tras una inmovilización prolongada, se produce un fenómeno por el cual la temperatura de la región afectada disminuye. Esto es identificado por medio del perfil térmico del deportista o a través de la comparación con la zona bilateral no afectada⁽⁹⁾. El seguimiento del efecto del tipo de intervención fisioterapéutica tendrá éxito cuando progresivamente la temperatura de la región afectada se vaya aproximando a la de su región bilateral correspondiente.

Por lo tanto, el fisioterapeuta deportivo tiene en la termografía una importante herramienta práctica de apoyo, que le ayudará en su interpretación sobre el tratamiento que dará al deportista.

5. TERMOGRAFIA APLICADA AL RENDIMIENTO DEPORTIVO

El entrenador o preparador físico puede utilizar la termografía como herramienta para evaluar los efectos de la carga de entrenamiento y su recuperación. Para ello, es necesario que la utilice de la manera más rutinaria y habitual posible para obtener la evolución del perfil termográfico del deportista. Tras un entrenamiento, es normal que suceda un aumento de la actividad metabólica como respuesta compensatoria para recuperar el organismo después de un período catabólico. Eso está bien documentado por análisis de gases respiratorios produciendo el efecto EPOC⁽⁴³⁾. Sin embargo, la respuesta compensatoria disminuye progresivamente hasta llegar nuevamente a una línea base del deportista⁽⁴⁴⁾. Esto podrá tardar, dependiendo de la carga de entrenamiento un período de 3, 12 o incluso 24 horas, donde el deportista volvería a estar en condiciones de total normalidad⁽⁴³⁾. En el caso de que aún no haya llegado a esa línea-base, podrá ser un indicador de que el tiempo de recuperación no ha sido suficiente o que el proceso de recuperación no ha sido adecuado. Necesitando por lo tanto más tiempo de descanso y siendo un

imperativo revisar su alimentación, las horas de sueño, los protocolos de recuperación o la relaciones volumen e intensidad de la carga – recuperación.

Tras identificar que el deportista no se encuentra aún en condiciones físicas ideales, el entrenador o/y preparador físico tendrán que tomar dos decisiones: la primera, evaluar si el deportista estará o no preparado para el entrenamiento previsto (o sí podrá hacerlo, pero con una carga menor que la prevista); o la segunda, establecer la medidas a tomar en función del análisis de las posibles razones de la mala recuperación que indica el desequilibrio térmico intentando solucionar así el problema desde su origen.

Cabe destacar que los ajustes termorregulatorios que se dan tanto de forma aguda como de forma crónica son extremadamente complejos y con un componente intra-sujeto muy alto⁽⁴⁵⁾, debido a las respuestas endógenas específicas que surgen de la influencia de un conjunto de factores⁽⁴⁶⁾ tales como la edad, género, porcentaje de grasa corporal, contenido de glándulas sudoríparas, además de respuestas endocrinas específicas que incluso varían en función de los ritmos circadianos. Todos esos factores, hacen que sea necesario conocer detenidamente a cada deportista con el objetivo de establecer su línea basal térmica de forma precisa. Eso posibilitará un estudio de seguimiento de una causa (entrenamiento) y su correspondiente efecto (curva térmica). De la misma manera que se ha propuesto el estudio de la variabilidad cardíaca⁽¹⁾ como forma de control del entrenamiento, la termografía también puede ser una alternativa para esa acción.

La TI puede ayudar a comprender la respuesta térmica durante la actividad física, teniendo en cuenta que cada sujeto sufre de la influencia de muchos factores, como por ejemplo: a) el ambiente b) la vestimenta; c) la carga de entrenamiento. Algunos estudios buscaron investigar situaciones específicas como la práctica del Tai Chi Chuan⁽⁴⁷⁾; o el pedaleo durante 100 km en bicicleta en un ambiente frío y cálido⁽⁴⁸⁾ además de monitorizar la respuesta térmica en las manos durante un ejercicio⁽⁴⁹⁾. Merla et al. (2005)⁽⁵⁰⁾ concluyeron por medio de la TI que los sujetos entrenados tuvieron un mejor control térmico sobre la piel que los sujetos no entrenados durante un ejercicio en tapiz.

Es interesante observar que estudios recientes del grupo de investigación de termografía TERMOINEF de la Universidad Politécnica de Madrid, han podido identificar perfiles termográficos específicos según el tipo de deporte. Por ejemplo, en jugadores de fútbol es normal que la región del tibial anterior externo de la pierna dominante tenga una temperatura sistemáticamente mayor que la otra pierna⁽⁴¹⁾; en el caso del judo, el perfil térmico se caracteriza por una mayor temperatura en el antebrazo de agarre⁽⁵¹⁾. La importancia de los perfiles térmicos residen en que nos dan la base para no interpretar erróneamente las imágenes; sin embargo, es necesario profundizar en la caracterización de estos perfiles, lo que conlleva a la apertura de un abanico muy interesante de investigación con la termografía en ámbito del deporte.

El preparador físico tendrá que estar pendiente de tres tipos de respuestas térmicas: a) la simetría térmica entre los zonas contralaterales; b) la comparación individual por medio de sus valores térmicos de base; c) el seguimiento de la los

valores térmicos de base de la región de mayor carga de entrenamiento, por ejemplo el tendón de Aquiles en saltadores.

Está bien documentado que uno de los efectos positivos del entrenamiento aeróbico es un aumento de la vascularización⁽⁵²⁾, lo cual permite aportar más oxígeno a las diferentes regiones musculares, siendo este aspecto muy importante tanto para el deportista de pruebas de resistencia como para el deportista de pruebas de componente anaeróbico, ya que acelerará su recuperación. La termografía podría ser un instrumento muy interesante para seguir esa adaptación al entrenamiento a largo plazo⁽¹⁰⁾, teniendo en cuenta que la evolución térmica local en reposo a lo largo del proceso de entrenamiento, producirá una pequeña ascensión térmica que podrá ser un indicador de un incremento de la capilarización. En el caso de personas con diabetes o problemas vasculares^(9,10) que practiquen ejercicio ese seguimiento, principalmente en miembros inferiores, tendrá una importancia aún mayor, ya que significará una mejora adaptativa de su red vascular.

El trabajo de Akimov et al. (2009)⁽⁵³⁾ pudo identificar que la termografía tiene la capacidad de predecir el umbral anaeróbico en condiciones de laboratorio; lo cual significaría que podría ser una herramienta de apoyo a la hora de indicar la intensidad de ejercicio en función de los objetivos establecidos. También Chudecka y Lubkowska (2010)⁽⁵⁴⁾ señalan que la termografía puede servir como un indicador del estado físico.

Por lo tanto, los equipos técnicos responsables del entrenamiento del deportista tienen en la termografía infrarroja una herramienta más de apoyo a la hora de tomar decisiones sobre la carga de entrenamiento. Sin embargo, en éste área los estudios aún son exploratorios si los comparamos con las investigaciones ya muy consolidadas en las áreas de medicina y fisioterapia. Por otro lado, hay fuertes indicios de que esa herramienta podrá ser usada de manera rutinaria en el futuro para ayudar en la prescripción del entrenamiento y del reentrenamiento para la vuelta a la competición.

6. TERMOGRAFIA APLICADA A LA INVESTIGACIÓN EN EL DEPORTE

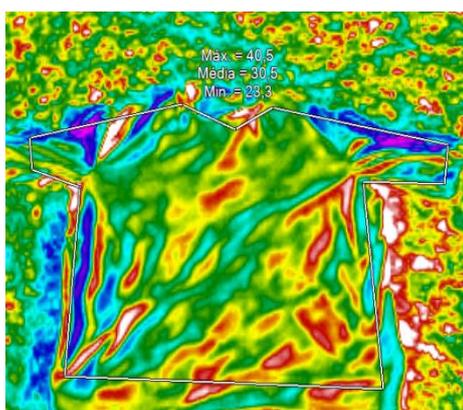
Los puntos anteriormente presentados están certificados por investigaciones de rigor científico. El siguiente apartado está dedicado a las líneas de estudio más innovadoras en termografía que afectan directamente a la vida del deportista.

Los estudios sobre termorregulación han utilizado técnicas que permiten evaluar la temperatura local o central^(55,56). Existen algunos artículos en los que se utilizan termómetros infrarrojos digitales para medir la temperatura timpánica, o de mercurio para realizar la toma en las axilas o la cavidad oral, que son difíciles de seguir en condiciones de ejercicio. También existen otros estudios en los que se mide la temperatura rectal^(55,56) o se ingiere una píldora gastrointestinal⁽⁵⁷⁾ para realizar un seguimiento continuado de la temperatura interna del sujeto; sin embargo, aunque estos últimos métodos son muy fiables son de difícil ejecución, muy incómodos y básicamente restringidos al uso en laboratorio.

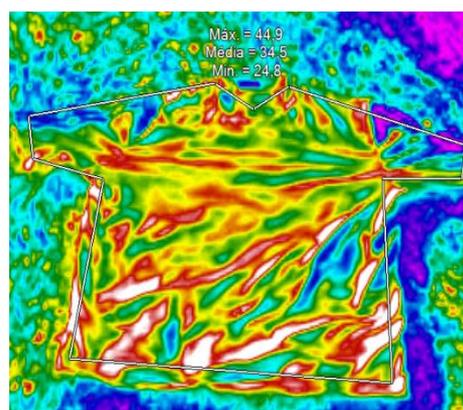
La termografía presenta muchas ventajas sobre los métodos anteriores, pero la principal es que permite una evaluación de todo el cuerpo de manera instantánea. Teniendo en cuenta esos factores, es importante hacer estudiar las respuestas termorregulatorias específicas tanto en reposo como en ejercicio de colectivos como niños, mujeres⁽³³⁾ y personas mayores^(24,33), o personas discapacitadas que hacen ejercicio de manera competitiva⁽⁵⁸⁾.

En el caso de los deportistas, es muy interesante comprender de que manera los ambientes extremos de calor o frío influyen en su respuesta termorregulatoria, ayudando así a establecer estrategias buscando un mayor confort durante y después de la actividad. Otra importante línea de investigación corresponde al impacto de la deshidratación⁽⁵⁹⁾ y consecuentemente los tipos de hidratación a los que el deportista se enfrenta. Se sabe que la hipertermia es una de las principales causas de fatiga durante el ejercicio⁽⁴⁸⁾, por lo que la hidratación tiene un importante papel para evitar esa situación^(60,61), de manera que la termografía podría ser una tecnología para su control.

Estudios sobre el desarrollo de prendas que proporcionan una mejor respuesta de térmica también representan un campo de investigación prometedor, incidiendo en el tipo de ropa que se debe utilizar, el tipo de color, el material⁽⁶²⁾, la cantidad⁽⁶³⁾ o incluso el sistema de refrigeración empleado^(2,64). Un pequeño ejemplo se representa en la figura 5 donde dos camisetas, una de color rojo (A) y otra de color negro (B) fueron expuestas a la radiación solar durante 15 minutos a una temperatura ambiente de 26°C. Se observa claramente que la camiseta de color negro captó más energía solar aumentando así su temperatura con una diferencia de 4°C frente a la camisa roja. En este caso, un deportista que estuviera compitiendo en condiciones ambientales de mucho calor, al ponerse una camiseta de color negro tendría una carga térmica mayor, exigiendo así un mayor esfuerzo al cuerpo en el intento de refrigerarlo, lo que significaría una mayor pérdida de líquido y consecuentemente de deshidratación. Eso implica claramente que los uniformes de los deportistas como los maratonianos, triatletas o jugadores de fútbol que realizan su entrenamiento o competición en recintos abiertos y calurosos deberían siempre optar por prendas de color claro. Consecuentemente, en ambientes fríos la mejor opción para ayudar a calentar el cuerpo serían camisetas de color oscuro.



A



B

Figura 5. Perfil térmico de una camiseta de color rojo (A) y negro (b) después de 15 minutos de exposición solar (*Fuente: Base de datos de imágenes del Sector de Termografía de la Universidad Federal de Viçosa – Brasil*)

En los investigadores reside la capacidad de desarrollar estudios que puedan contribuir al avance en las aplicaciones de la termografía en el deporte, ayudando a comprender la manera de evaluar las diferentes respuestas termorregulatorias del organismo tanto en deportistas de alto nivel como amateur y en personas de grupos especiales.

7. TERMOGRAFIA APLICADA A LA GESTIÓN DEPORTIVA

En la actualidad existen determinados deportes, como pueden ser el fútbol, baloncesto, voleibol o ciclismo, donde cada vez es más frecuente el fichaje de deportistas por cantidades económicas muy elevadas. Un ejemplo muy reciente es la compra del jugador Cristiano Ronaldo por parte del Real Madrid, significando una inversión de 94 millones de Euros. Antes de firmar el contrato el deportista realiza normalmente una serie de exámenes hematológicos, cardiovasculares y pruebas funcionales para evaluar si la salud del jugador es óptima en el momento del fichaje y antes de que se produzca la incorporación al equipo. Los exámenes deben ser rápidos y aportar información que pueda indicar que un deportista esté o no lesionado. La TI por sus características podría ser incorporada a ese conjunto de pruebas, ayudando así a la detección de desequilibrios térmicos que podrían ser indicio de riesgos de lesión o situaciones a evaluar más en profundidad con pruebas diagnósticas específicas antes de tomar la importante decisión de fichar al deportista.

Habida cuenta de la inmensa cantidad de dinero que se mueve en algunos deportes de alto rendimiento, las lesiones constituyen, además de la pérdida de salud y rendimiento del deportista y/o del equipo, una importante pérdida de dinero para el club. En este sentido, estudios como el de Gómez-Carmona (2012)⁽⁶⁵⁾ han demostrado la utilidad de la TI para disminuir el la incidencia de lesión, y, con ello, el coste que implican las lesiones.

Asimismo, esta técnica podría ser utilizada por compañías de seguros para certificar lo que en muchos casos sucede: técnicos o deportistas que desoyen los síntomas de su propio cuerpo, los indicios de los test y los resultados herramientas como la TI, y compiten, aún a sabiendas del extremo riesgo que corren. De la misma forma podría ser utilizada por los clubs para conseguir que las primas de los seguros se redujeran incluyendo las evaluaciones termográficas rutinarias dentro del protocolo de prevención de lesiones del equipo técnico del club.

8. PROPUESTA DE IMPLANTACIÓN DE LA TERMOGRAFÍA EN ÁMBITO DE DEPORTE

Existen un gran número de factores^(46,66) que pueden influir sobre la respuesta de termorregulación del organismo. Dichos factores deben ser registrados en hojas de observación y controlados en la medida de lo posible mediante la publicación de unas normas previas a seguir durante las 24 horas previas a la evaluación.

No existe ningún tipo de recomendación específica para el registro termográfico de datos en el deporte⁽¹⁵⁾, pero se pueden tener en cuenta las indicaciones propuestas por Ring y Ammer (2000)⁽⁶⁷⁾ para disminuir el margen de error en la toma de datos termográficos con humanos, aumentando también la reproductividad de las condiciones y resultados de las mediciones.

Sugerimos la implantación de áreas específicas de evaluación termográfica en las instalaciones de entrenamiento de deportistas. Esa área deberá tener una dimensión mínima de 10 m² (2 x 5 m), dotada a su vez de los siguientes materiales:

- a) Una cámara termográfica con las características Una resolución igual o superior a 320 (horizontal) x 240 (vertical) píxeles, una sensibilidad mínima de 65 m°K, un rango de medición que abarque las posibilidades del entorno humano entre 0° y 50°C, una sensibilidad térmica de 0,02°C, salidas estándar de los datos hacia el PC.
- b) Un climatizador y una estación meteorológica para el registro del ambiente tanto interior como exterior para garantizar un ambiente entre 21 – 23°Cy una humedad del 35 - 38%⁽¹⁵⁾.
- c) Una pantalla o roll-up de 1,5 m (ancho) x 2,5 m (altura) con fondo de color uniforme, preferiblemente oscuro.
- d) Un ordenador con software para análisis de las imágenes termográficas y una plataforma para que el evaluado no esté en contacto con el suelo al hacer la foto.
- e) Se sugiere también la incorporación de material antropométrico para determinar la composición corporal del sujeto.

Es recomendable que el evaluado tenga un tiempo de adaptación a la temperatura de la sala, manteniéndose de pie con el mínimo de ropa posible en pie. Normalmente se considera un tiempo mínimo de 10 minutos como suficiente para que el organismo establezca una homeostasis térmica⁽⁶⁶⁾, pero hay trabajos que apuntan un tiempo de hasta 20 minutos^(15,17).

El equipo deberá ser utilizado por un técnico con formación tanto en la captura como en el tratamiento de imágenes termográficas. Seguidamente, las imágenes de los deportistas y los informes, especialmente aquellos con desequilibrios evidentes de temperatura, deberán ser remitidas a los profesionales del cuerpo técnico (médicos, fisioterapeutas y preparadores físicos), para que los interpreten y realicen la intervención que crean más correctas.

También es interesante hacer seguimientos térmicos, registrando las condiciones de entrenamiento, principalmente en lo que concierne a la intensidad y volumen, además del tipo y cantidad de prendas utilizadas y la

hidratación. Dicha información registrada en una base de datos puede ser de especial importancia para la creación de perfiles y respuestas térmicas en función de cada deportista y especialidad.

9. LIMITACIONES DEL EMPLEO DE LA TI

Como toda nueva tecnología, la termografía tiene una serie de limitaciones que tienen que ser tomadas en cuenta. A continuación se presentan algunas de ellas:

- a) Los estudios publicados en la actualidad no permiten obtener un perfil térmico específico de cada deporte;
- b) La especificidad de la respuesta térmica de cada individuo dificulta la comparación entre sujetos.
- c) Es importante destacar que la TI no es una herramienta diagnóstica, sino una técnica que aporta información adicional que puede complementarse con otras pruebas.
- d) Deben ser desarrolladas aplicaciones informáticas de análisis de imágenes termográficas adaptadas a seres humanos, que sean capaces de analizar imágenes de manera rápida, fiable y objetiva.
- e) Es interesante evaluar si existen errores en la lectura de imágenes termográficas entre las diferentes cámaras.
- f) No hay un patrón específico de área de análisis para el ámbito deportivo.
- g) La mayor parte de las cámaras tienen un margen de error de un 2% sobre el valor de lectura, necesitando así mejorar su precisión.
A pesar de estas limitaciones la TI puede ser una herramienta importante para su aplicación en el ámbito del deporte.

10. CONCLUSIÓN

La termografía infrarroja es una técnica que puede ser aplicada de manera rutinaria en la actividad física y el deporte, con especial beneficio para el trabajo de médicos, fisioterapeutas y preparadores físicos. Esta técnica aporta información sobre la respuesta térmica del sujeto, que a su vez implica información sobre los ajustes fisiológicos específicos que indican el estado físico y de salud del deportista. Su principal virtud radica en la detección de desequilibrios que pueden desembocar en lesiones, convirtiéndose por lo tanto en una herramienta de información clave tanto para la prevención de lesiones, como para su evaluación, seguimiento, así como para la personalización de la carga de entrenamiento.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kaltsatou A, Kouidi E, Fotiou D, Deligiannis P. The use of pupillometry in the assessment of cardiac autonomic function in elite different type trained athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(9):2079-87. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-011-1836-0>
2. Lopez RM, Cleary MA, Jones LC, Zuri RE. Thermoregulatory influence of a cooling vest on hyperthermic athletes. *J Athl Train.* 2008;43(1):55-61. <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-43.1.55>
3. Rodríguez-Matoso D, Rodríguez-Ruiz D, Quiroga ME, Sarmiento S, De Saa Y., García-Manso JM. Tensiomiografía, utilidad y metodología en la evaluación muscular. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte* vol. 10 (40) pp. 620-29. <Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista40/artcaracterísticas186.htm>
4. Hildebrandt, C., Zeilberger, K., Ring, E. F. J., & Raschner, C. The application of medical Infrared Thermography in sports medicine. In K. R. Zaslav (Ed.), *An International Perspective on Topics in Sports Medicine and Sports Injury* (pp. 534): InTech, 2012
5. Brisoschi MC, Abramavicus S, Correa CF. Valor da imagem infravermelha na avaliação da dor. *Rev Dor.* 2005; 6 (1): 514-24.
6. Filho ACCA, Nunes LAO. Desenvolvimento de uma câmara de termografia nacional para detecção da emissão do infravermelho do corpo humano e suas alterações para auxílio do diagnóstico médico. *Rev Dor.* 2005; 6 (2): 543-51.
7. Kim JH, Park HM. Unilateral Femoral Arterial Thrombosis (AT) in a Dog with Malignant Mammary Gland Tumor (MGT): Clinical and Thermographic Findings, and Successful Treatment with Local Intra-Arterial Administration of Streptokinase. *J Vet Med Sci.* 2012 May;74(5):657-61.
8. Al-Nakhli HH, Petrofsky JS, Laymon MS, Berk LS. The use of thermal infrared imaging to detect delayed onset muscle soreness. *J Vis Exp.* 2012; 22;(59). pii: 3551. <http://dx.doi.org/doi:10.3791/3551>
9. Brisoschi MC, Macedo JF, Macedo RA. Termometria cutânea: novos conceitos. *J Vas Bras.* 2003; 2 (2): 151-60.
10. Huang CL, Wu YW, Hwang CL, Jong YS, Chao CL, Chen WJ, Wu YT, Yang WS. The application of infrared thermography in evaluation of patients at high risk for lower extremity peripheral arterial disease. *J Vasc Surg.* 2011;54(4):1074-80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvs.2011.03.287>.
11. Zaproudina N, Ming Z, Hänninen OO. Plantar infrared thermography measurements and low back pain intensity. *J Manipulative Physiol Ther.* 2006; 29(3):219-23.
12. Arora N, Martins D, Ruggerio D, Tousimis E, Swistel AJ, Osborne MP, Simmons RM. Effectiveness of a non invasive digital infrared thermal imaging system in the detection of breast cancer. *Am J Surg.* 2008;196(4):523-6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.amjsurg.2008.06.015>.
13. Albert S. M. Thermography in orthopedics. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1964; 121: 157-170.
14. Clark RP, Mullan BJ, Pugh LGCE. Temperature during running – a study using infra-red colour thermography. *J Physiol.* 1977; 267: 53-62.

15. Hildebrandt, C.; Raschner, C.; Ammer, K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors* 2010; 10: 4700 – 15. <http://dx.doi.org/10.3390/s100504700>
16. Gómez-Carmona PM, Sillero-Quintana M, Noya-Salces J, Pastrano-León R. Infrared Thermography as an injury prevention method in soccer. Paper presented at the XXX FIMS World Congress of Sports Medicine 2008, Barcelona, Spain.
17. Garagiola U, Giani E. Use of telethermography in the management of sports injuries. *Sports Med.* 1990;10(4):267-72.
18. BenEliyahu DJ. Infrared Thermography in the diagnosis and management of sports injuries: a clinical study and literature review. *Chiropractic Sports Medicine.* 1990; 4 (2): 41-53.
19. Cholewka A, Stanek A, Sieroń A, Drzazga Z. Thermography study of skin response due to whole-body cryotherapy. *Skin Res Technol.* 2012 May;18(2):180-7. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0846.2011.00550.x>.
20. 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://dx.doi.org/10.1007/s10439-009-9809-8>
21. Costa CM, Moreira DG, Fernandes AA, Silva FS, Rezende CM, Marins JB. Comparação termográfica da temperatura da pele em membros inferiores de jovens futebolistas. *R Bras Ci e Mov.* 2011; 19, (4):68.
22. Rezende CM, Brito IS, Silva FS, Fernandes AA, Moreira DG, Costa CM, Marinho B, Marins JB Resposta termográfica da pele durante treinamento de caratê. *R Bras Ci e Mov.* 2011; 19 (4): 221.
23. Zurek G, Dudek K, Pirogowicz I, Dziuba A, Pokorski M. Influence of mechanical hippotherapy on skin temperature responses in lower limbs in children with cerebral palsy. *J Physiol Pharmacol.* 2008;59 Suppl 6:819-24.
24. Ferreira JJ, Mendonça LC, Nunes LA, Andrade Filho AC, Rebelatto JR, Salvini TF. Exercise-associated thermographic changes in young and elderly subjects. *Ann Biomed Eng.* 2008;36(8):1420-7. <http://dx.doi.org/10.1007/s10439-008-9512-1>
25. Thomas D, Cullum D, Siahamis G, Langlois S. Infrared thermographic imaging, magnetic resonance imaging, CT scan and myelography in low back pain. *Br J Rheumatol.* 1990; 29 (4): 268-73.
26. Lee JY, Wakabayashi H, Wijayanto T, Tochihara Y. Differences in rectal temperatures measured at depths of 4-19 cm from the anal sphincter during exercise and rest. *Eur J Appl Physiol.* 2010;109(1):73-80. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-009-1217-0>
27. Herman C, Cetingul MP. Quantitative visualization and detection of skin cancer using dynamic thermal imaging. *J Vis Exp.* 2011; 5(51). <http://dx.doi.org/10.3791/2679>
28. Chiang MF, Lin PW, Lin LF, Chiou HY, Chien CW, Chu SF, Chiu WT. Mass screening of suspected febrile patients with remote-sensing infrared thermography: alarm temperature and optimal distance. *J Formos Med Assoc.* 2008;107(12):937-44. [http://dx.doi.org/10.1016/S0929-6646\(09\)60017-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0929-6646(09)60017-6)
29. Häggglund M, Waldén M, Ekstrand J. UEFA injury study--an injury audit of European Championships 2006 to 2008. *Br J Sports Med.* 2009;43(7):483-9. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2008.056937>.

30. Fernández-Cuevas I, Gómez-Carmona PM, Sillero-Quintana M, Noya-Salces J, Arnaiz-Lastras J, Pastor-Barrón A. Economic costs estimation of soccer injuries in first and second spanish division professional teams. Paper presented at the 15th Annual Congress of the European College of Sport Sciences ECSS, 2010; Antalya, Turkey.
31. Verdasca R. Symmetry of temperature distribution in the upper and the lower extremities. *Thermology International*. 2008;18(4):154.
32. Pichot C. Aplicación de la termografía en el dolor lumbar crónico. *Rev. Soc. Esp. Dolor*. 2001; 8 supl. 2: 43 – 47.
33. Niu HH, Lui PW, Hu JS, Ting CK, Yin YC, Lo YL, Liu L, Lee TY. Thermal symmetry of skin temperature: normative data of normal subjects in Taiwan. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi (Taipei)*. 2001;64(8):459-68.
34. Uematsu S. Symmetric of skin temperature comparing one side of the body to the other. *Thermology*. 1985; 1: 4 – 7.
35. Feldman F, Nickoloff EL. Normal thermographic standards for the cervical spine and upper extremities. *Skeletal Radiol*. 1984;12(4):235-49.
36. de Weerd, L., Mercer, J. B., & Weum, S. Dynamic Infrared Thermography. *Clin Plast Surg*. 2011; 38(2), 277-92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cps.2011.03.013>.
37. Andrade-Filho AC. Teletermografia: princípios físicos, fisiológicos e fisiopatológicos da produção da imagem e suas indicações na clínica de dor e reabilitação. *Acta Fisiátrica*. 1999; 6(2): 55-9.
38. Hewlett AL, Kalil AC, Strum RA, Zeger WG, Smith PW. Evaluation of an infrared thermal detection system for fever recognition during the H1N1 influenza pandemic. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2011;32(5):504-6. <http://dx.doi.org/10.1086/659404>.
39. Nelson NG, Collins CL, Comstock RD, McKenzie LB. Exertional heat-related injuries treated in emergency departments in the U.S., 1997-2006. *Am J Prev Med*. 2011;40(1):54-60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.amepre.2010.09.031>.
40. Fernández-Cuevas I, Sillero-Quintana M, Gómez-Carmona PM, García MÁ, Piñonosa CS, Arnaiz LJ. Applications of infrared thermography as innovative technological solution in sports injuries. Paper presented at the Science Based Prevention 2011, Berlin, Deutschland.
41. Gómez-Carmona PM, Noya-Salces J, Núñez J, Fernández-Rodríguez I, Sillero-Quintana M. Validation of infrared thermography as injury prevention method in professional soccer players. Paper presented at the 14th Annual Congress of the European College of Sport Sciences ECSS 2009; Oslo/Norway, Oslo, Norway.
42. Costello, J.T.; McInerney, C.D.; Blealey C. M.; Self, J.; Donnelly, A. E. The use of thermal imaging in assessing skin temperature following cryotherapy: a review. *J Therm Biol*. 2012. (37): 103–110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2011.11.008>
43. LaForgia J, Withers RT, Gore CJ. Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *J Sports Sci*. 2006;24(12):1247-64.
44. Børsheim E, Bahr R. Effect of exercise intensity, duration and mode on post-exercise oxygen consumption. *Sports Med*. 2003;33(14):1037-60.

45. Akimov EB, Andreev RS, Kalenov IuN, Kirdin AA, Son'kin VD, Tonevitskiĭ AG. Human temperature portrait and its relations with aerobic working capacity and the level of blood lactate. *Fiziol Cheloveka*. 2010;36(4):89-101.
46. Falk B, Dotan R. Temperature regulation and elite young athletes. *Med Sport Sci*. 2011;56:126-49. <http://dx.doi.org/10.1159/000320645>
47. Iuliano B, Grahn D, Cao V, Zhao B, Rose J. Physiologic correlates of t'ai chi chuan. *J Altern Complement Med*. 2011;17(1):77-81. <http://dx.doi.org/10.1089/acm.2009.0710>
48. Abbiss CR, Burnett A, Nosaka K, Green JP, Foster JK, Laursen PB. Effect of hot versus cold climates on power output, muscle activation, and perceived fatigue during a dynamic 100-km cycling trial. *J Sports Sci*. 2010;28(2):117-25. <http://dx.doi.org/10.1080/02640410903406216>.
49. Zontak A, Sideman S, Verbitsky O, Beyar R. Dynamic thermography: analysis of hand temperature during exercise. *Ann Biomed Eng*. 1998;26(6):988-93.
50. Merla A, Iodice P, Tangherlini A, De Michele G, Di Romualdo S, Saggini R, Romani G. Monitoring skin temperature in trained and untrained subjects throughout thermal video. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2005;2(1):1684-86.
51. Arnaiz-Lastras J, Fernández-Cuevas I, Gómez-Carmona PM, Sillero-Quintana M, García MÁ, Piñonosa CS. Pilot study to determinate thermal asymmetries in judokas. Paper presented at the 16th Annual Congress of the European College of Sport Sciences ECSS, 2011; Liverpool, United Kingdom.
52. Laughlin MH, Roseguini B. Mechanisms for exercise training-induced increases in skeletal muscle blood flow capacity: differences with interval sprint training versus aerobic endurance training. *J Physiol Pharmacol*. 2008; 59 Suppl 7:71-88.
53. Akimov EB, Andreev RS, Arkov VV, Kirdin AA, Saryan CV, Son'kin VD, Tonevitskiĭ AG. Thermal "portraid" of sportmen with different aerobic capacity. *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis* 2009; 14: 7-16.
54. 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://dx.doi.org/doi:10.1016/j.jtherbio.2010.08.001>
55. Ganio MS, Brown CM, Casa DJ, Becker SM, Yeargin SW, McDermott BP, Boots LM, Boyd PW, Armstrong LE, Maresh CM. Validity and reliability of devices that assess body temperature during indoor exercise in the heat. *J Athl Train*. 2009; 44(2):124-35. <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-44.2.124>
56. Byrne C, Lim CL. The ingestible telemetric body core temperature sensor: a review of validity and exercise applications. *Br J Sports Med*. 2007;41(3):126-33.
57. Hooper VD, Andrews JO. Accuracy of noninvasive core temperature measurement in acutely ill adults: the state of the science. *Biol Res Nurs*. 2006;8(1):24-34.
58. Price MJ, Campbell IG. Thermoregulatory responses of paraplegic and able-bodied athletes at rest and during prolonged upper body exercise and passive recovery. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1997; 76(6), 552-60.

59. Lamey PJ, Biagioni PA, Al-Hashimi I. The feasibility of using infrared thermography to evaluate minor salivary gland function in euhydrated, dehydrated and rehydrated subjects. *J Oral Pathol Med.* 2007;36(3):127-31.
60. Marins, JB. Hidratação na atividade física e no esporte: equilíbrio hidromineral. Várzea Paulista: Fontoura, 2011.
61. Casa DJ, Stearns RL, Lopez RM, Ganio MS, McDermott BP, Walker Yeargin S, Yamamoto LM, Mazerolle SM, Roti MW, Armstrong LE, Maresh CM. Influence of hydration on physiological function and performance during trail running in the heat. *J Athl Train.* 2010;45(2):147-56. <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-45.2.147>
62. Brazaitis M, Kamandulis S, Skurvydas A, Daniusevičiūtė L. The effect of two kinds of T-shirts on physiological and psychological thermal responses during exercise and recovery. *Appl Ergon.* 2010; 42(1):46-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2010.04.001>.
63. Armstrong LE, Johnson EC, Casa DJ, Ganio MS, McDermott BP, Yamamoto LM, Lopez RM, Emmanuel H. The American soccer uniform: uncompensable heat stress and hyperthermic exhaustion. *J Athl Train.* 2010;45(2):117-27. <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-45.2.117>.
64. Brade C, Dawson B, Wallman K, Polglaze T. Postexercise cooling rates in 2 cooling jackets. *J Athl Train.* 2010;45(2):164-9. <http://dx.doi.org/10.4085/1062-6050-45.2.164>.
65. Gómez-Carmona PM. Aplicación de un protocolo de prevención de lesiones basado en información termográfica infrarroja sobre jugadores profesionales de fútbol. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2012.
66. Moreira DG. Termografia corporal em repouso de homens e mulheres. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais – Brasil, 2011.
67. Ring E, Ammer K. The Technique of Infra red Imaging in Medicine. *Thermology International.* 2000;10(1), 7-14

Referencias totales / Total references: 67 (100%)

Referencias propias de la revista / Journal's own references: 0 (0%)