



UGR Universidad
del Gran Rosario

TESINA

presentado para acceder al título de grado de la carrera de
LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA

Título:

**“Termografía infrarroja en la identificación de riesgos asociados a
lesiones musculares en deportistas”**

Autores:

- Blanco, Paola Soledad. Legajo N° IUGR-8553
- Zenteno Peyran, Pablo. Legajo N° IUGR-8471

Director:

Dr. Pighin, Massimo

Fecha de Presentación:

02/07/2024

Firmas de Autores

RESUMEN

Introducción: Aunque al realizar una práctica deportiva todo deportista se encuentra en riesgo de sufrir una lesión muscular, se podría disminuir su incidencia a través de la implementación de la termografía infrarroja (TIR), herramienta que permite detectar alteraciones que podrían proporcionar información sobre posibles patologías. Su implementación, en el momento oportuno, posibilitaría la identificación de los riesgos asociados a lesiones musculares.

Objetivo: Indagar, a través de una revisión bibliográfica, la eficacia que tiene la TIR como herramienta de evaluación para identificar riesgos asociados a lesiones musculares en deportistas.

Materiales y métodos: Se llevó a cabo una revisión bibliográfica en Pubmed y en la Biblioteca Virtual en Salud, desde el año 2010 hasta el 2023, de artículos científicos que analizaron la efectividad de la TIR como herramienta de evaluación en deportistas para identificar el riesgo asociado a lesiones musculares. Algunas de las palabras claves utilizadas fueron: "Thermography", "Soft tissue injuries", "Athletes", "Risk assessment" y "Risk of injury".

Resultados: Se recolectaron trece artículos publicados entre 2018 y 2023, incluyendo nueve ensayos clínicos controlados y cuatro estudios observacionales descriptivos, con un total de 231 participantes. Se recopilieron datos sobre factores técnicos, ambientales e individuales, y se encontraron diferencias respecto a las cámaras y softwares utilizados, como también respecto al momento de medición y las regiones de interés (ROI) seleccionadas. La TIR fue capaz de captar las variaciones de la temperatura de la piel (Tsk) y de disminuir la incidencia de lesiones. Por otro lado, la relación entre la fatiga y la Tsk mostró variaciones entre los estudios y la TIR no se correlacionó con los biomarcadores de daño muscular.

Conclusión: La TIR puede ser una herramienta útil para identificar riesgos asociados a lesiones musculares en deportistas a través de la detección de asimetrías térmicas en la superficie de la piel.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
II. a. Objetivo general:	4
II. b. Objetivos específicos:.....	4
III. MARCO TEÓRICO	5
III. a. TERMOGRAFÍA	5
III. a. 1. Evaluación en los deportistas.....	5
III. a. 2. Definición de termografía infrarroja	6
III. a. 3. Historia de la termografía infrarroja	8
III. a. 4. Aplicación de la termografía infrarroja y factores que pueden sesgar sus resultados	12
III. a. 5. Mecanismos reguladores de la temperatura corporal	21
III. a. 6. Redistribución del flujo sanguíneo durante el ejercicio y su influencia sobre la temperatura de la piel	23
III. a. 7. Emisión de la temperatura de la superficie de la piel	25
III. a. 8. Patrón térmico.....	28
III. b. LESIONES MUSCULARES EN DEPORTISTAS	30
III. b. 1. Incidencia de lesiones musculares en deportistas	30
III. b. 2. Factores de riesgo asociados a lesiones musculares en deportistas.....	33
III. b. 3. Sobrecarga muscular y asimetría térmica	34
III. b. 4. Problemática de las lesiones musculares en los deportistas	36
IV. JUSTIFICACIÓN	38
V. MATERIALES Y MÉTODOS	39
V. a. Estrategia de búsqueda:	39
V. b. Combinación de palabras clave:.....	40
V. c. Recolección de datos	41
VI. RESULTADOS	42
VI. a. REVISIÓN DE LOS ARTÍCULOS	42
VI. b. ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
VII. DISCUSIÓN	53
VIII. CONCLUSIÓN	58
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
X. ANEXOS	66

I. INTRODUCCIÓN

Las lesiones musculares son un problema frecuente que afectan a un gran número de deportistas, ya que tienen un impacto negativo al interrumpir y/o alterar el proceso de entrenamiento y competición. Estas lesiones pueden surgir de diferentes situaciones como: sobreentrenamiento, movimientos incorrectos, falta de calentamiento adecuado, fatiga y otros factores físicos. Estas situaciones podrían dar lugar a diferentes tipos de lesiones, tales como las lesiones por sobrecarga, que resultan de la sumatoria de daños estructurales en la membrana de las fibras musculares; como también contusiones, laceraciones y distensiones, que se presentan como consecuencia de un traumatismo agudo. ¹

En el ámbito deportivo, las lesiones musculares, no solo afectan negativamente en lo económico, ya sea de manera particular al deportista que sufre la lesión o a la institución a la cual pertenece, debido tanto a los gastos médicos que conlleva la rehabilitación como al tiempo en que el deportista se encuentre fuera de competición; sino que también afecta negativamente en el rendimiento del atleta, tanto físico como psicológico. Desde la perspectiva física, las lesiones musculares limitan la capacidad del deportista para entrenar y competir al máximo nivel. El tiempo perdido durante la recuperación y la necesidad de evitar ciertos movimientos y esfuerzos pueden conducir a una disminución del estado físico general del atleta. Además, la reducción de la intensidad y de la frecuencia del entrenamiento para permitir la recuperación, influyen negativamente en el mantenimiento de la forma física y de la progresión en el desarrollo de habilidades y capacidades. Por otro lado, desde una perspectiva psicológica, las lesiones musculares pueden generar un impacto emocional significativo en los deportistas. La incertidumbre sobre la duración de la recuperación, la ansiedad por volver a la competición y el miedo a no recuperarse pueden generar estrés e incluso conducir a un estado depresivo. ²⁻⁴

Aunque al realizar una práctica deportiva todo deportista se encuentra en riesgo de sufrir una lesión, se podría disminuir la incidencia de estas lesiones a través de diversas medidas. En primer lugar, una evaluación correcta y completa en el momento oportuno permitiría conocer las características individuales de cada sujeto. Posteriormente, los datos obtenidos en dicha evaluación posibilitarían abordar cualquier hallazgo preocupante por medio de un tratamiento individualizado. Para lograr esto, dentro de las estrategias de evaluación, se cuenta con una herramienta conocida como “termografía infrarroja” (TIR), que se utiliza para capturar imágenes térmicas de la superficie de la piel. ⁵

Para entender cómo la TIR capta la temperatura de la piel (Tsk) es fundamental conocer los mecanismos reguladores homeostáticos que el cuerpo utiliza para mantener la temperatura constante. Cuando la temperatura ambiente es superior a la Tsk, estos mecanismos se ponen en marcha y eliminan calor a través de la pérdida de agua, tanto por sudoración como por respiración. Por el contrario, cuando la temperatura ambiente es más fría, el organismo pierde calor a través de la superficie de la piel mediante tres mecanismos: conducción, convección e irradiación. Por lo general, los tres mecanismos participan de manera simultánea, aunque uno suele predominar. La irradiación es el mecanismo más relevante para la evaluación mediante TIR, ya que implica la transferencia de calor a través de la emisión de radiación infrarroja en forma de ondas electromagnéticas, las cuales van a ser captadas por esta herramienta.^{2,6}

También es importante conocer el comportamiento del flujo sanguíneo, ya que éste genera variaciones en la Tsk. El flujo sanguíneo recorre numerosas comunicaciones arteriovenosas que se encuentran por debajo de la superficie de la piel, experimentando amplias fluctuaciones en función de la necesidad de perder o conservar el calor corporal. Los cambios que ocurren, tanto en la temperatura central del cuerpo como en la temperatura ambiente, estimulan al sistema nervioso simpático, el cual envía estímulos hacia las comunicaciones arteriovenosas para producir vasodilatación o vasoconstricción. Cuando ocurre la vasodilatación el calor se disipa hacia la piel y el medio ambiente; por el contrario, con la vasoconstricción el calor se retiene en el cuerpo. Durante el ejercicio se produce vasodilatación, lo que aumenta el flujo sanguíneo en las áreas ejercitadas, acompañado también de un aumento de la actividad metabólica. A su vez, la magnitud de este aumento depende de la intensidad del ejercicio, de la actividad contráctil de este tejido y del tipo de músculo implicado. Todo este proceso tiene una influencia directa sobre la Tsk que la TIR es capaz de captar.^{2,7-9}

La TIR es una herramienta de evaluación rápida que actúa en tiempo real, no es invasiva ni radioactiva, y es capaz de analizar las variaciones de la temperatura que ocurren en la superficie de la piel. La evaluación rápida y objetiva de la distribución térmica de un área corporal permite detectar alteraciones que podrían proporcionar información sobre posibles patologías que generan, de manera directa o indirecta, modificaciones de la temperatura local. Estas alteraciones producen asimetrías térmicas, las cuales serían consideradas un indicador de desajustes fisiológicos en donde sería posible determinar el estado de salud, apoyar el diagnóstico y monitorear la recuperación de las lesiones.^{2,6,7}

Dentro de las lesiones musculares que puede sufrir el deportista, son las producidas por sobreuso las que tendrían mayor implicancia a la hora de detectar el riesgo asociado a

lesión a través de la evaluación por TIR. Es así como la implementación de la evaluación por TIR, en el ámbito deportivo y en el momento oportuno, permitiría detectar riesgos asociados a lesiones musculares para luego poder abordar cualquier hallazgo preocupante por medio de un tratamiento adecuado, y de esta manera, poder disminuir el riesgo de lesión. Cabe remarcar que esta evaluación no sustituye la exploración completa que podría realizar el médico y que tampoco sirve para establecer un diagnóstico preciso; este punto reviste una gran importancia ya que, años atrás, se la utilizaba de manera errónea como método de diagnóstico, lo cual, junto a la mala calidad de las imágenes y de las cámaras que se utilizaban, hicieron que se desacreditase su efectividad. ^{1, 10-12}

Al realizar la evaluación, es muy importante controlar diversos factores que podrían sesgar los resultados de la TIR. Esto garantizaría que los resultados del estudio sean fiables y replicables dentro del mismo examinador como también entre diferentes examinadores y pacientes. Algunos de estos factores pueden ser controlados por parte del operador, mientras que otros presentan mayor dificultad para lograr su control. Entre los factores más controlables se encuentran los factores ambientales, tales como: tamaño de la sala, temperatura ambiente, humedad relativa, entre otros. Por otro lado, los factores individuales son más difíciles de controlar y se dividen en factores extrínsecos e intrínsecos. En la categoría de los factores intrínsecos se pueden encontrar: sexo, edad, antropometría, genética, etc. En cuanto a los factores extrínsecos se encuentran: ingesta de alimentos, aplicación de geles o cremas, masoterapia, etc. Por último, también se deben considerar los factores técnicos como la cámara, el software, entre otros. El control previo de estos factores resulta fundamental para prevenir errores de medición con el objetivo de obtener una mayor eficacia en la evaluación. ¹³

La importancia de estudiar y conocer la eficacia de la TIR radica en que su implementación, en el ámbito deportivo y en el momento oportuno, posibilitaría la identificación temprana de los riesgos asociados a lesiones musculares. Esto permitiría abordar cualquier hallazgo preocupante a través de un tratamiento óptimo y, de esta manera, poder disminuir el riesgo de sufrir lesiones musculares. ^{1, 6, 7, 10, 11}

En relación a lo expuesto anteriormente se plantea el siguiente interrogante:

¿Es la termografía infrarroja una herramienta eficaz para identificar riesgos asociados a lesiones musculares en deportistas?

II. OBJETIVOS

II. a. Objetivo general:

Indagar, a través de una revisión bibliográfica, la eficacia que tiene la termografía infrarroja como herramienta de evaluación para identificar riesgos asociados a lesiones musculares en deportistas.

II. b. Objetivos específicos:

- Determinar la capacidad de la termografía infrarroja para cuantificar la sobrecarga muscular.
- Analizar la relación entre la sobrecarga muscular, determinada por la asimetría térmica captada en la superficie de la piel, con el riesgo asociado a sufrir una lesión muscular.
- Indagar cuál es el momento óptimo para realizar la evaluación con termografía infrarroja en deportistas con el fin de detectar precozmente los riesgos asociados a lesiones musculares.
- Identificar en los artículos encontrados si controlaron los factores ambientales, individuales y técnicos que pueden sesgar los resultados de la evaluación por termografía infrarroja.

III. MARCO TEÓRICO

III. a. TERMOGRAFÍA

III. a. 1. Evaluación en los deportistas

El entrenamiento constituye un proceso exigente y estresante destinado a preparar a los deportistas para sus actividades específicas. A pesar de los beneficios de la participación deportiva, las exigencias inherentes a ella aumentan el riesgo de sufrir lesiones, especialmente para aquellos menos preparados o con trastornos previos ocultos. Dado que las lesiones están influenciadas por múltiples factores, su aparición no puede predecirse. Un aspecto esencial con el que cuentan los profesionales de la salud, para garantizar una práctica deportiva segura y reducir el riesgo de lesiones, es una correcta evaluación kinésica. Esta implica una investigación exhaustiva y una serie de análisis dinámicos de información destinados a identificar posibles alteraciones. Se trata de un proceso sistémico y global que contribuye a mejorar la salud y la calidad de vida de quienes participan en actividades físicas.^{10, 14-17}

El kinesiólogo analiza las manifestaciones clínicas del paciente y, basándose en los datos recopilados durante el examen físico y la observación, obtiene información sobre la condición de salud del deportista. Estos hallazgos le permiten identificar posibles alteraciones en el atleta, en caso de que existan, lo que facilita un diagnóstico preciso para luego establecer objetivos que orienten el proceso de rehabilitación a través de un tratamiento apropiado. Es importante tener en cuenta que la evaluación en sí misma no constituye una solución definitiva, sino que se la debe considerar como una herramienta de apoyo para el entrenamiento. Otro aspecto a tener en cuenta es que no siempre se podrán abordar todas las alteraciones identificadas durante este proceso, ya que también se pueden detectar problemas que requieran la intervención de otros profesionales de la salud.^{14, 15}

Las lesiones representan un desafío al que todos, incluyendo deportistas e instituciones a las que pertenecen, procuran evitar debido a sus repercusiones negativas tanto en el rendimiento físico y psicológico como en el aspecto económico. El objetivo primordial de la evaluación es mitigar el riesgo de lesiones mediante la detección temprana de cualquier anomalía, lo que permite, en la medida de lo posible, corregir los factores desencadenantes mediante estrategias educativas y junto con la implementación de un tratamiento óptimo, readaptar a los deportistas, ya sean profesionales o recreativos, a sus actividades respectivas. Además, la evaluación también busca recopilar información de referencia para el futuro, identificar contraindicaciones para la participación, cumplir con

obligaciones legales, establecer una relación médico-paciente con los deportistas y brindar asesoramiento a los atletas, entre otros objetivos.^{5, 10, 15, 17}

Aunque el kinesiólogo dispone de varias herramientas para llevar a cabo la evaluación, la selección de alguna de estas de manera adecuada dependerá de diversos factores, como el tipo de deporte que se practica, las características individuales del deportista, los objetivos de la evaluación, la disponibilidad de tiempo y recursos económicos, la preferencia y experiencia del evaluador, entre otros aspectos. Una herramienta de evaluación novedosa que despierta un gran interés es la termografía infrarroja (TIR), motivo por el cual esta revisión se centrará en ella. Sin embargo, es importante destacar que, para garantizar una evaluación completa y precisa, es imprescindible combinar el uso de diferentes herramientas de acuerdo con las necesidades específicas de cada caso.²

III. a. 2. Definición de termografía infrarroja

La etimología de la palabra “termografía” deriva del griego: “therme” y “ortografía”, que significan “calor” y “escritura”, respectivamente. Este término alude a la técnica utilizada para visualizar diferentes temperaturas en cuerpos u objetos al transformar un patrón de radiación invisible en imágenes visibles. En el ámbito médico, la termografía se emplea con el objetivo de medir la temperatura de la piel (Tsk).^{6, 18}

Existen dos tipos fundamentales de termografía: la de contacto y la infrarroja. La de contacto, más antigua, se basa en el empleo de superficies plásticas impregnadas con cristales de ésteres de colesterol microencapsulados, que tienen la propiedad de virar su coloración según la temperatura de la zona en que entran en contacto. Por otro lado, la termografía infrarroja, conocida como teletermografía o termografía a distancia, emplea el uso de un teletermógrafo, que se trata de un aparato capaz de detectar la radiación infrarroja emitida por la superficie cutánea y proporcionar, en la pantalla de un osciloscopio, una imagen en la escala de grises o en un código de colores determinado, que sea proporcional a las zonas de mayor o menor temperatura.⁶

La TIR se caracteriza por ser una herramienta de evaluación segura, no invasiva, no radiactiva, sin requerir contacto con la piel del paciente, indolora, portátil y de rápida acción, que ofrece resultados objetivos. Esta herramienta permite detectar y cuantificar la energía que irradia el cuerpo humano en tiempo real, lo que la convierte en una herramienta valiosa para proporcionar una retroalimentación instantánea en pacientes y deportistas. Las cámaras térmicas funcionan recibiendo y procesando la radiación infrarroja que es emitida desde una superficie, lo que permite visualizar la producción y disipación de calor. De este

modo, la TIR genera un mapa detallado de la temperatura del cuerpo humano, asignando un color a cada nivel de energía infrarroja, donde cada píxel de la imagen representa una temperatura específica. Esta técnica de evaluación se utiliza con el objetivo de detectar diferencias de temperatura entre áreas similares, es decir, se enfoca en detectar asimetrías térmicas y no en medir los valores absolutos que se presentan en estas áreas. ^{2, 6, 12, 19-21}

Como parte del proceso metabólico natural, el cuerpo humano emite constantemente niveles variables de energía en la longitud de onda infrarroja, cuya información puede ser expresada y medida en forma de calor. La TIR detecta la radiación infrarroja emitida por el cuerpo y registra los cambios en la Tsk, los cuales están influenciados por variaciones en el flujo sanguíneo. Es importante tener en cuenta que la TIR únicamente proporciona una representación visual de la distribución de la temperatura en la superficie de la piel sin ser capaz de mostrar datos sobre estructuras más profundas del cuerpo, como sí lo hacen otras pruebas de imagen disponibles. ^{19, 22}

Cuando los atletas entrenan o compiten, están expuestos a un estrés físico, el cual provoca cambios en la perfusión del flujo sanguíneo, que como ya se ha mencionado anteriormente, influye en la Tsk. Esto es importante ya que, una asimetría térmica podría representar un riesgo potencial de lesión relacionado con la sobrecarga del entrenamiento o de la competición. La TIR podría ser una herramienta valiosa en la supervisión del entrenamiento deportivo gracias a que permite realizar una evaluación objetiva de la carga de trabajo, permitiendo monitorear la temperatura de la superficie corporal antes, durante y después del entrenamiento. De este modo, el uso de la TIR facilitaría la identificación de las regiones corporales que presentan un mayor gasto energético y la detección de cambios en la Tsk inducidos por el ejercicio. Cabe destacar que estos cambios son significativos ya que están relacionados con los cambios en el flujo sanguíneo que ocurren como respuesta a una lesión. Es así como el equipo termográfico tendría la capacidad de detectar aumentos de temperatura en áreas lesionadas, inflamadas o fatigadas, causados por un aumento en el flujo sanguíneo. De manera similar, podría identificar la disminución de la temperatura en áreas que se han recuperado de lesiones previas. La capacidad de la TIR para detectar estos cambios térmicos, y por ende, identificar riesgos de lesiones, apoyar al diagnóstico y monitorear la recuperación, depende de que se la utilice con un protocolo adecuado, una metodología para detectar asimetrías térmicas y herramientas como un software automático o la combinación con otras tecnologías. Además, se ha evidenciado como la TIR podría generar ahorros significativos en tiempo y dinero, ya que al identificar el riesgo de lesión antes de que ocurra, y al recibir un tratamiento adecuado de manera oportuna, los deportistas podrían evitar periodos prolongados de inactividad y minimizar los costos asociados con la rehabilitación posterior. ^{2, 19, 22, 23}

La TIR se vuelve aún más valiosa cuando se comprenden sus limitaciones. Es crucial tener en cuenta que este método no está diseñado para visualizar anomalías anatómicas, sino que se enfoca en detectar cambios fisiológicos y metabólicos, proporcionando información sobre estos aspectos en las estructuras y en los tejidos cercanos a la superficie de la piel. Por lo tanto, la TIR no debe considerarse como el único método de diagnóstico, sino más bien como una herramienta complementaria que apoya la evaluación clínica, respaldando así las decisiones médicas.^{19, 22}

También, en la literatura, se mencionan otras aplicaciones de la TIR en el ámbito de la medicina, que abarcan procesos inflamatorios y/o cambios en los patrones de flujo sanguíneo. Estas incluyen diversas áreas como patologías vasculares periféricas, que comprende la selección del nivel de amputación, síndrome de Raynaud, vasculopatías metabólicas como la diabética y la inflamatoria, identificación de la trombosis venosa profunda, valoración de la efectividad de la reparación quirúrgica de fístulas, aneurismas y otras patologías vasculares. Asimismo, se destacan aplicaciones en patología inflamatoria como artritis y osteomielitis, así como en patologías traumáticas para el estudio de los defectos de consolidación del callo de fractura, en la formación de pseudoartrosis y para evaluar la temperatura de los muñones. En cirugía plástica, la TIR permite examinar la vascularización y vitalidad de los injertos, colgajos y plastias cutáneas. En oncología, se utiliza en pacientes con cáncer de mama y cáncer de piel. Por otra parte, ha sido empleada en el seguimiento de la eficacia de fármacos, mientras que en los trastornos respiratorios se emplea en pruebas del síndrome respiratorio agudo severo (SARS). También tiene aplicaciones en dermatología para condiciones como celulitis, criolipólisis, quemaduras y alergias, así como en enfermedades reumáticas en donde se puede mencionar a la enfermedad de Paget, y en enfermedades endocrinas. Otros campos de aplicación incluyen cirugías cardíacas, imágenes cerebrales y diversas patologías nerviosas como atrapamiento nervioso, radiculopatías, síndrome de salida torácica, síndrome del túnel carpiano, paresia de nervios periféricos y síndrome de dolor regional complejo. Además, se destaca su utilidad en la detección de fiebre, como en el caso del Covid-19.^{6, 18, 24}

III. a. 3. Historia de la termografía infrarroja

La medición de la temperatura humana tiene sus orígenes en la antigüedad, específicamente en la era precristiana. Durante este período, los filósofos y médicos griegos comenzaron a comprender la relación entre el calor y la vida, reconociendo la existencia del calor humano. Hipócrates, quien es considerado el padre de la medicina occidental, llevó a cabo observaciones sistemáticas y registró sus descubrimientos relacionados con la temperatura corporal, estableciendo así la base de la medición de la temperatura corporal

como una ciencia médica en el año 400 a.C. En sus investigaciones sobre la relación entre el calor y la enfermedad utilizaba arcilla, y observó que cuando se colocaba sobre el cuerpo del paciente se secaba primero en las áreas más calientes. A partir de estas observaciones formuló la teoría de que en cualquier parte del cuerpo, si hay exceso de calor o frío, la enfermedad existe o está a punto de manifestarse. Estas observaciones y teorías marcaron un avance significativo en la comprensión de la temperatura corporal y su relación con la salud, sentando las bases para el desarrollo futuro de la medicina y la práctica médica. ^{18,22}

La termometría se desarrolló a partir de los experimentos de Galileo Galilei, quien fue el que diseñó el primer dispositivo de medición en el año 1595, conocido como termoscopio. Desde entonces, este termómetro rudimentario, ha experimentado diversas modificaciones a lo largo del tiempo. Hacia finales del siglo XVII y principios del XVIII surgió la necesidad de una escala calibrada para la medición precisa de la temperatura, lo que llevó a la creación de las escalas termométricas por parte de Joule, Fahrenheit y Celsius, que siguen siendo utilizadas hoy en día. Posteriormente, se iniciaron los primeros estudios sobre la observación de la temperatura corporal y sus variaciones, especialmente en relación con la fiebre, que culminó con el uso de un termómetro clínico, que fue desarrollado por primera vez por el Dr. Carl Wunderlich, en el año 1868. Durante mucho tiempo, la termometría de contacto fue la única forma de determinar la temperatura humana, pero luego de grandes avances surgió el uso de radiación infrarroja, que tardó muchos años en alcanzar el nivel que se reconoce hoy en día. Los primeros estudios sobre la reflexión del calor y la capacidad de percibir esta temperatura surgieron desde la investigación del comportamiento lumínico de las velas, donde John Della Porta, en 1698, observó que cuando se encendía una vela y se colocaba frente a un gran cuenco de plata en la iglesia, podía sentir el calor en su rostro y que cuando alteraba las posiciones de la vela, del cuenco y de su cara, ya no sentía el calor. ^{18,25}

En el año 1800, el científico William Herschel realizó un gran descubrimiento al explorar el espectro cromático y la medida de la temperatura asociada a cada color del arcoíris. Durante sus experimentos con la "luz oscura", una porción del espectro electromagnético solar invisible a simple vista, Herschel notó que más allá del rango del rojo visible era posible detectar un aumento de temperatura. Basándose en el descubrimiento de Newton de que la luz visible podía refractarse en distintas bandas de colores, Herschel registró el aumento de temperatura producido por cada "banda de color" de luz visible y observó que la "luz oscura" justo más allá del rango del rojo también producía calor, lo que llevó a concluir que, aunque sea imperceptible para la visión humana, había rayos luminosos capaces de producir calor. Es así como este hallazgo marcó el descubrimiento de

la radiación infrarroja. John Herschel, el hijo de William, repitió algunos experimentos después de la muerte de su padre y en 1840, logró crear una imagen utilizando radiación solar. A esto lo llamó "termograma", término que todavía se utiliza hoy en día para describir una imagen creada por radiación térmica.^{2, 6, 18, 25, 26}

Hacia fines de la década del 30 e inicios de la del 40, en el siglo XX, se llevó a cabo un descubrimiento importante: la capacidad de la piel para emitir temperatura y su eficaz intercambio de calor irradiado. Simultáneamente, se desarrollaron dispositivos más sensibles para medir la temperatura, lo que condujo al surgimiento del bolómetro. Este dispositivo, capaz de percibir de manera remota, incluso a distancias superiores a los 400 metros, marcó el nacimiento de los primeros sensores electrónicos para detectar radiación infrarroja. Inicialmente, esta novedosa tecnología para aquella época, se adaptó para el uso exclusivo en las necesidades militares de la época y, a partir de entonces, fueron los principales responsables del progreso de la radiación infrarroja. Entre sus desarrollos se encuentra la capacidad de proporcionar imágenes termográficas, las cuales reemplazaron muchos métodos primitivos de medición de temperatura, como los termómetros de contacto. A medida que se amplió el acceso a civiles y científicos, comenzó a utilizarse ampliamente en numerosos campos, incluidos el cumplimiento de la ley, la ingeniería, la evaluación de edificios, la obtención de imágenes médicas y también en el ámbito biológico y aplicaciones ecológicas.^{2, 18, 26}

La utilización de la tecnología de la TIR con fines clínicos comenzó en los años 60. La mayoría de las investigaciones y sus aplicaciones estaban encaminadas a establecer la capacidad diagnóstica de la TIR frente a diferentes patologías y enfermedades como lo fue en el cáncer de mama; en este contexto, los tumores se caracterizan por un aumento de la angiogénesis que conduce a un aumento de la actividad metabólica y de la temperatura local en comparación con el tejido adyacente. Sin embargo, la reputación de la TIR se ha visto cuestionada debido a que comenzó a utilizarse de manera abusiva y errónea en este campo, lo que ha llevado a que no se la considere un método confiable, ya que fue menos precisa que otros métodos de detección, como la mamografía y la biopsia. Desde entonces, muchos médicos han expresado su oposición a la termografía, argumentando que no solo es ineficaz, sino también peligrosa, ya que puede brindar a las mujeres una falsa sensación de seguridad sobre la salud de sus mamas.^{2, 22, 27, 28}

En relación con el deporte de alto rendimiento, los primeros trabajos se realizaron en la década de los 70 en Alemania y en los 80 en Inglaterra. Sin embargo, en aquel entonces, la tecnología no estaba tan desarrollada como en la actualidad, ya que la obtención de un termograma requería varios minutos y producía imágenes con una pobre definición, baja

calidad y sin posibilidad de cuantificarlas. Es decir, no era posible asignar valores numéricos precisos, como la temperatura exacta de una determinada área del cuerpo. En la década de los 90, el uso de esta tecnología disminuyó por la falta de protocolos metodológicos estandarizados que garantizaran su fiabilidad y reproducibilidad, así como por la baja calidad de los sistemas de imagen y cámaras de la época. Estos factores contribuyeron a la desacreditación de esta tecnología como herramienta de diagnóstico debido a su falta de especificidad en comparación con otras técnicas más fiables y precisas, como ya se ha mencionado anteriormente. No obstante, hoy en día se cuenta con una nueva generación de cámaras de alta resolución que permiten mediciones más ágiles, con una mayor precisión y fiabilidad, con protocolos y guías de uso contrastadas y con un acceso más fácil a datos objetivos a través de programas informáticos que convierten la TIR en una potente herramienta de monitorización.^{2, 18}

Con respecto a los dispositivos utilizados inicialmente para capturar imágenes térmicas, estos presentaban ciertas limitaciones o desventajas que llevaron a una disminución del interés médico. Las primeras cámaras de infrarrojos empleaban una pequeña cantidad de elementos detectores que requerían enfriamiento criogénico para funcionar de manera efectiva y sin ruido, dado que el ruido térmico podía interferir con la señal infrarroja detectada, afectando la calidad de la imagen. Este proceso implicaba reducir la temperatura de los componentes electrónicos a niveles muy bajos, logrado mediante el uso de sistemas de enfriamiento como nitrógeno, gas argón o un refrigerador de libra esterlina. El diseño de la cámara empleaba un mecanismo de escaneo con espejos para formar la imagen, además, cada detector individual en la matriz de sensores de la cámara requería contacto eléctrico para transmitir la señal infrarroja detectada, lo cual era una tarea laboriosa que demandaba mucho tiempo. Los cables de señal se retiraban de la envoltura criogénica y se combinaba cada señal individualmente, y el procesamiento se realizaba fuera del conjunto del plano focal (FPA), lo que complejizaba el proceso. Las velocidades promedio de los fotogramas oscilaban de 1 a 16 fotogramas por segundo, mientras que la resolución de temperatura era de aproximadamente 0,5°C y la resolución espacial rondaba los 5mm con un tamaño objetivo de 50cm². La baja resolución de temperatura y resolución espacial en las cámaras termográficas antiguas limitaban la precisión y la capacidad de capturar detalles finos en la imagen térmica. Además, este tipo de cámara era pesada, consumía mucha energía y era muy costosa de fabricar.^{27, 29}

Por esta razón, los avances tecnológicos se han enfocado en desarrollar sistemas más eficientes y económicos, lo que ha dado lugar al surgimiento de las cámaras de tipo FPA que no requieren refrigeración. Estas cámaras se popularizaron en la década del 90,

las cuales proporcionaron una resolución espacial mejorada necesaria para identificar los patrones térmicos causados por los vasos sanguíneos superficiales de la piel gracias a su capacidad para capturar y mostrar con mayor precisión los objetos y características de la escena térmica, lo que permite una visualización más nítida y detallada de los elementos presentes en el campo de visión. Las nuevas cámaras tienen la virtud de ser más pequeñas, compactas y livianas, y el uso de microbolómetros aumenta su movilidad y capacidad para visualizar objetos incluso en vista perpendicular, lo que amplía sus aplicaciones y facilita su uso en una variedad de entornos y situaciones. Otra virtud de estas cámaras es que los detectores se fabrican en grandes conjuntos, eliminando la necesidad de escanear y simplificando así el proceso de captura de imágenes, lo que reduce la complejidad del sistema. El contacto eléctrico se realiza simultáneamente con el conjunto de detectores, lo que simplifica aún más el diseño y reduce la cantidad de componentes que deben pasar a través del vacío en la cámara. Además, las cámaras FPA no refrigeradas tienen el potencial de integrar el procesamiento en el chip, lo que permite un funcionamiento más rápido, una velocidad de captura de imágenes mejorada y una reducción en la carga de los sistemas de procesamiento externo. ^{27, 29}

La tecnología actual de la termografía médica está estrechamente relacionada con los avances computacionales, lo que facilita la captura en tiempo real con sensores de alta resolución y sensibilidad térmica precisa. Asimismo, la fiabilidad de los resultados proporcionados por softwares especializados ha incrementado tanto el reconocimiento como el valor científico de esta técnica. A lo largo del tiempo, se ha evidenciado un notable avance en diversos aspectos: los costos han disminuido, el rendimiento ha mejorado y han surgido nuevas tecnologías como la electrónica de imágenes, la digitalización, el software para la manipulación de imágenes, así como los algoritmos computacionales para la detección y análisis automáticos de los termogramas que han ido evolucionando y renovándose para generar información más confiable. ^{18, 27}

III. a. 4. Aplicación de la termografía infrarroja y factores que pueden sesgar sus resultados

La TIR requiere el seguimiento de un protocolo estandarizado para garantizar la precisión y confiabilidad de las mediciones termográficas realizadas en humanos. Con el correr de los años, diversas organizaciones en el ámbito de la salud han desarrollado y difundido sus propios protocolos y guías, entre ellos se pueden destacar los elaborados por autores como Ring et al. (2000) y Gomes Moreira et al. (2017), junto con protocolos reconocidos como el TERMOINEF y el Glamorgan, entre otros. ^{2, 29-32}

Independientemente del protocolo seguido, para minimizar errores y mejorar la exactitud y precisión de estas mediciones, se deben controlar múltiples factores. Los factores que inciden en las mediciones son numerosos, por lo que se clasifican en tres categorías principales para una mejor comprensión. En el primer grupo se encuentran los factores ambientales, que están influenciados por las condiciones del entorno donde se realiza la evaluación. En el segundo se pueden mencionar a los factores individuales, que son aquellos relacionados con las características personales del individuo evaluado, las cuales podrían influir en la Tsk. Dentro de este grupo se encuentran los factores intrínsecos, que incluyen aspectos biológicos y anatómicos del individuo; y los factores extrínsecos, que comprenden aspectos temporales y externos como hábitos personales y actividades diarias. Por último, el tercer grupo, aborda los factores asociados al equipo utilizado durante la evaluación. A su vez, dentro de estos tres grandes grupos, se detallan los siguientes factores: ¹³

1. Factores ambientales:

1.a. Tamaño de la habitación: debe ser lo suficientemente amplio como para permitir la ubicación cómoda del equipo de evaluación y del paciente, permitiendo que ambos puedan ser movilizados según sea necesario para obtener una imagen adecuada. ¹³

1.b. Temperatura ambiente: la mayoría de la literatura disponible sugiere mantener un rango de temperatura de 18°C a 25°C. Temperaturas más bajas pueden provocar escalofríos, mientras que temperaturas más altas pueden generar sudoración. Además, para lograr una estabilidad adecuada en la Tsk, es crucial proporcionar un período de aclimatación previo. En cuanto al equipo utilizado para regular la temperatura de la habitación, éste debe tener la capacidad de ajustarse según el número de personas presentes y debe colocarse de manera que evite corrientes de aire directas sobre el paciente. ¹³

1.c. Humedad relativa: las moléculas de vapor tienen un potencial mínimo para generar emisiones infrarrojas. Además, la humedad relativa afecta directamente la Tsk, dificultando su capacidad de disipar calor y provocando una acumulación del mismo. No obstante, se señala la necesidad de realizar más investigaciones para establecer un rango específico y comprender las respuestas cutáneas ante distintos niveles de humedad relativa. ¹³

1.d. Presión atmosférica: varios investigadores han notado un efecto considerable de la presión atmosférica en la Tsk. Sin embargo, se necesitan más estudios para determinar

el rango óptimo de presión atmosférica bajo el cual llevar a cabo evaluaciones termográficas en humanos. ¹³

1.e. Fuente de radiación: es importante aislar la sala de cualquier fuente potencial de radiación infrarroja, como el movimiento del aire, conductos de calefacción, reflexión térmica proveniente de las paredes y la entrada de luz solar a través de las ventanas. Además, se recomienda el uso de materiales no reflectantes en el entorno para minimizar cualquier fuente de reflexión. ¹³

2. Factores individuales:

2.a. Intrínsecos: estos factores suelen ser menos factibles de ser controlables ya que, como se mencionó anteriormente, están relacionados principalmente con las características biológicas y anatómicas inherentes del individuo. Entre ellos se destacan: el sexo, la edad, la antropometría, la altura, el peso, el ritmo circadiano, la densidad del cabello, la emisividad de la piel, el historial médico, la tasa metabólica, el flujo sanguíneo de la piel, la genética, las emociones, entre otros. ¹³

2.b. Extrínsecos:

2.b.1. Factores de ingesta:

2.b.1.1. Tratamiento farmacológico: la ingesta de algunos fármacos pueden influir en el funcionamiento del hipotálamo y otros centros cerebrales que controlan el sistema de la termorregulación, lo que podría impactar en la interpretación de los termogramas. No obstante, se requiere llevar a cabo investigaciones exhaustivas para determinar los efectos específicos de los medicamentos sobre la Tsk. ¹³

2.b.1.2. Alcohol: el consumo de alcohol se ha asociado con un aumento de la temperatura en la piel debido a un efecto de vasodilatación con el consiguiente aumento del flujo sanguíneo. De todas formas, se necesitan más investigaciones para comprender mejor cómo afecta el alcohol a la Tsk y su duración en el tiempo. ¹³

2.b.1.3. Tabaco: la presencia de nicotina genera un efecto vasoconstrictor, lo que conduce a una reducción de la temperatura en la piel. ¹³

2.b.1.4. Estimulantes: un ejemplo de estos es el consumo de cafeína, que estimula procesos fisiológicos que pueden resultar en un incremento de la Tsk. Asimismo, sería aconsejable llevar a cabo más investigaciones sobre el efecto de los estimulantes en relación a la Tsk. ¹³

2.b.1.5. Ingesta de alimentos: si bien se reconoce que la ingesta de alimentos eleva la temperatura corporal, aún no se ha llegado a una conclusión definitiva sobre su efecto en la Tsk. ¹³

2.b.1.6. Hidratación: se ha reportado que el consumo de agua con gas puede ocasionar una caída de la Tsk, posiblemente debido a la concentración de dióxido de carbono (CO₂). Sin embargo, para comprender mejor esta posible influencia, se necesitan estudios adicionales. ¹³

2.b.2. Factores de aplicación: se refiere a aquellos elementos que son aplicados directamente sobre la piel, y que, como resultado pueden afectar tanto la emisividad como el flujo sanguíneo cutáneo. ¹³

2.b.2.1. Productos tópicos: pueden clasificarse en varias categorías, que incluyen cosméticos (maquillaje, desodorantes, antitranspirantes, talco, etc.), pomadas (cremas, aceites, lociones para la piel, etc.) y preparados medicinales (analgésicos, vasodilatadores, gel frío, spray, etc.). Se recomienda a menudo evitar su aplicación antes de una evaluación, ya que pueden interferir en los resultados. ¹³

2.b.2.2. Agua: al entrar en contacto con la piel, el agua puede influir en su temperatura. Por lo tanto, se recomienda que los sujetos eviten ducharse antes de la evaluación termográfica. ¹³

2.b.3. Terapias: algunas intervenciones pueden tener efectos en la radiación y en la Tsk, entre las diversas modalidades kinésicas existentes se puede mencionar a la electroterapia, el ultrasonido, el tratamiento térmico, la crioterapia, los masajes, la hidroterapia, la acupuntura, entre otras. ¹³

2.b.4. Actividad física:

2.b.4.1. Actividad reciente: se han informado aumentos y disminuciones en la Tsk inmediatamente después del ejercicio. Estos cambios van a estar influenciados por el tipo, la intensidad y la duración del mismo, como también por el músculo implicado en la evaluación. ¹³

2.b.4.2. Transpiración: la sudoración es un factor que puede ocurrir en situaciones como el ejercicio y que impacta en la Tsk. Por esta razón, también podría influir en la evaluación mediante la TIR. ¹³

2.b.4.3. Nivel de entrenamiento: el patrón térmico de cada individuo puede ser influenciado según su nivel de condición física. De todas maneras, se requieren más investigaciones para establecer si existen diferencias en el patrón térmico en reposo entre sujetos entrenados y no entrenados. ¹³

2.b.4.4. Dominancia: las comparaciones de áreas corporales, entre el lado derecho e izquierdo, se utilizan comúnmente para detectar patrones anormales de la Tsk. Sin embargo, es esencial saber que pueden manifestarse asimetrías tanto en sujetos con patologías como en sujetos sanos, por lo que se requiere establecer un umbral para discernir si la discrepancia es indicativa de una condición patológica. ¹³

2.b.4.5. Especialización deportiva: es importante considerar la especialización deportiva de cada atleta para evaluar correctamente las asimetrías térmicas. Los estudios que investiguen los patrones térmicos específicos de cada deportista son fundamentales, ya que ciertos deportes podrían dar lugar a asimetrías consideradas normales, como suele suceder en los antebrazos de los jugadores de tenis. ¹³

3. Factores técnicos:

3.a. Cámara térmica: estos dispositivos están equipados con un sensor que consiste en un semiconductor. Este sensor, al recibir la radiación infrarroja que es emitida por el cuerpo, genera señales eléctricas de microintensidad, convirtiendo así un patrón de radiación invisible en una imagen térmica. Esta tecnología posibilita el análisis y la extracción de información en tiempo real o después del procesamiento mediante el uso de un software adecuado. Cabe destacar que en el mercado existe una amplia gama de cámaras térmicas diseñadas para diversas áreas incluyendo la industria, la seguridad y la construcción, además de las cámaras que son específicas para aplicaciones en la piel humana. Actualmente, las nuevas generaciones, caracterizadas por su alta resolución, permiten realizar mediciones más precisas al detectar cambios sutiles en la temperatura de la superficie de la piel humana. (Figura 1) ^{6, 13, 18, 19, 31}

Figura N°1. Cámaras térmicas. Extraído de: ThermoHuman. ⁽³³⁾



3.b. Distancia entre la cámara y el sujeto: la distancia adecuada debe ajustarse según el tamaño del área corporal que se esté evaluando y las características ópticas de la cámara. La mayoría de los dispositivos utilizados en entornos clínicos tienen distancias especificadas por el fabricante, las cuales garantizan mediciones precisas cuando el dispositivo se mantiene a una distancia determinada de la piel. Sin embargo, como norma general, se recomienda acortar la distancia si el objetivo de la recopilación de datos es un área corporal específica. Esto permite aumentar la cantidad de píxeles y, por ende, la información térmica capturada en esa área. Por ejemplo, mientras que una sola mano puede ser registrada con claridad en un campo de visión de 20 x 20 cm, capturar una imagen de ambas extremidades inferiores, desde las rodillas hasta los tobillos, puede requerir un campo de visión más amplio, de 50 x 50 cm. ^{13, 29, 34}

3.c. Fondo: como se ha mencionado previamente, se aconseja el uso de un fondo uniforme y mate para evitar reflejos de otras fuentes de luz. ¹³

3.d. Posición de la cámara: es fundamental contar con un soporte ajustable para la cámara, que permita variar la altura según las necesidades específicas de cada situación al capturar las imágenes. Además, otro factor relevante que puede influir en la medición de la TIR es el ángulo subtendido por el campo de visión de la cámara y la superficie que se está midiendo. Para obtener una lectura más precisa se recomienda posicionar a la cámara en un ángulo perpendicular, por el contrario, un ángulo de más de 60° puede resultar en una pérdida crítica de información. ^{13, 29}

3.e. Funciones de la cámara:

3.e.1. Rango de temperatura: las cámaras de TIR pueden identificar temperaturas en un rango determinado. Según el campo de aplicación, una cámara puede alcanzar rangos que van desde -20°C hasta 3000°C . Sin embargo, en el ámbito médico, es importante considerar que, dado el estrecho rango de temperaturas de la piel humana, que es de aproximadamente 9°C , utilizar un rango de temperatura demasiado amplio podría resultar en una menor sensibilidad del dispositivo. Por lo tanto, se sugiere que emplear un rango de temperatura optimizado maximizará la sensibilidad del sensor, en contraposición con la utilización de rangos más amplios. ¹³

3.e.2. Resolución: es uno de los aspectos más críticos para obtener imágenes térmicas de alta calidad. La resolución espacial del sensor se determina principalmente por el número de píxeles, donde cada píxel en el termograma representa un dato de temperatura. Por lo tanto, a mayor cantidad de píxeles, más información térmica se puede capturar. Una cámara de alta resolución garantiza una imagen más nítida y mejora la calidad y confiabilidad de los resultados obtenidos. Las cámaras con una resolución de 320 píxeles en horizontal x 240 píxeles en vertical se consideran como la resolución mínima para aplicaciones en humanos. Aunque estas imágenes suelen ser adecuadas, un mayor número de píxeles puede significar una mejora considerable en la calidad de los resultados. Por esta razón, en los últimos años, los fabricantes han desarrollado cámaras de alta resolución que pueden alcanzar hasta 1280×1024 píxeles. Esto reduce la probabilidad de que los sensores se vean afectados por sombras, luces y reflejos, lo que a su vez proporciona una cuantificación más precisa de los datos térmicos. ^{13, 27, 31}

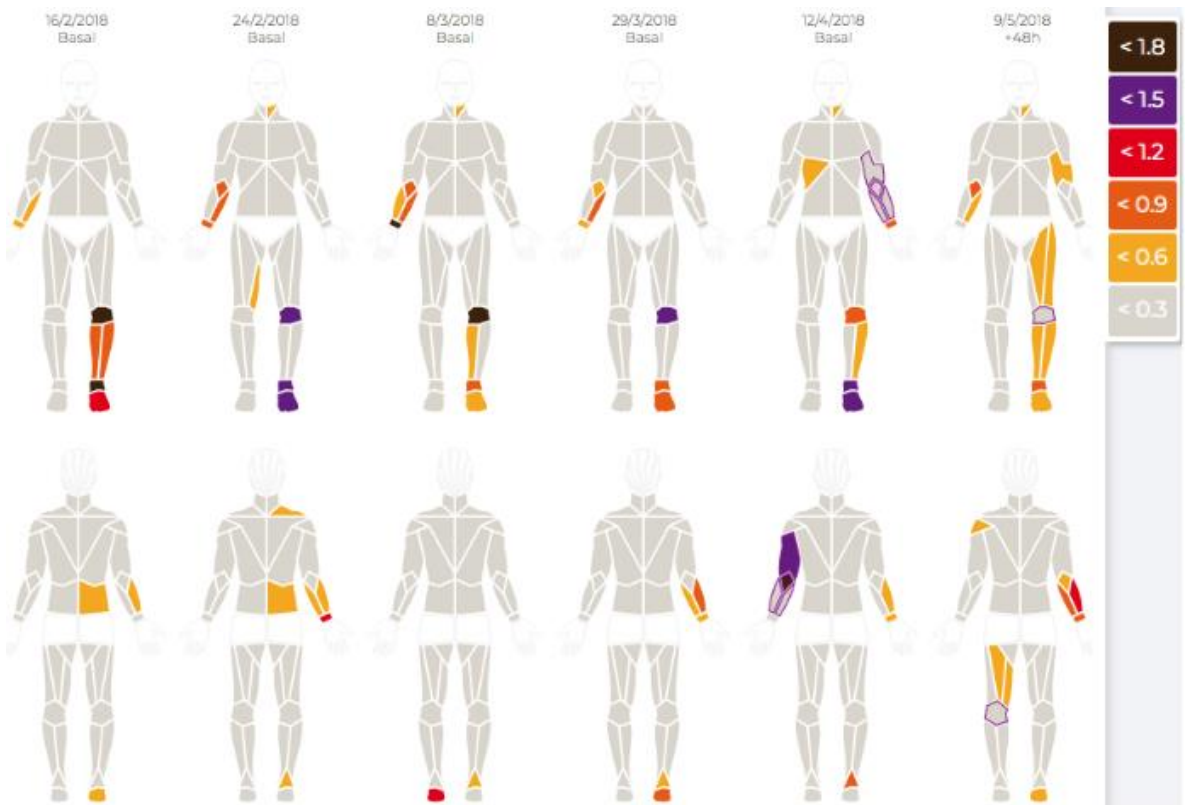
3.e.3. Calibración: es fundamental que sea lo suficientemente estable y precisa para que la cámara pueda detectar la temperatura de manera confiable y uniforme en todas sus mediciones. Como se mencionó anteriormente, algunas cámaras disponibles en el mercado están diseñadas para aplicaciones industriales, donde se esperan variaciones de temperatura significativas, mientras que en contextos relacionados con la Tsk, las diferencias esperadas son más sutiles. Por este motivo, es importante calibrar determinados parámetros, incluyendo la resolución, la estabilidad y la precisión. Existen dos métodos de calibración disponibles: el interno y el externo. La calibración externa tiene como inconveniente que requiere un segundo equipo y un procedimiento de uso más complejo, mientras que la calibración interna simplifica el proceso de recopilación de datos, aunque puede ser más costosa. Se recomienda el uso de una cámara calibrada para que las diferencias térmicas puedan ser cuantificadas y separadas de los

ajustes de visualización y los artefactos de compresión digital. Por ejemplo, al visualizar la misma imagen en dos pantallas de computadora diferentes, pueden obtenerse evaluaciones distintas. Sin embargo, si las imágenes están calibradas de manera que cada color o brillo esté asociado con una temperatura específica, el evaluador se asegura estar viendo imágenes relevantes y temperaturas precisas, sin artefactos en las imágenes.^{13, 27}

3.f. Selección de las regiones de interés (ROI): el primer paso en la evaluación termográfica consiste en la segmentación de diferentes ROI, que representan las zonas cutáneas correspondientes a los músculos que se desean analizar. La segmentación cumple dos propósitos, el primero es descomponer una imagen en regiones para un análisis posterior; el segundo es alterar la representación de una imagen para facilitar un análisis más rápido. Por tanto, la segmentación es un factor clave que permite realizar informes comparativos entre áreas bilaterales del cuerpo de manera sencilla. Diversos autores han desarrollado sus propios criterios para crear y seleccionar ROI, aunque existe una falta de consenso entre estos. Para llevar a cabo este procedimiento se han explorado diferentes métodos, tanto manuales como automáticos. Si bien el método manual puede ser adecuado para analizar un ROI específico, su confiabilidad se ve cuestionada por la discrepancia intra e interexaminador. Esto se debe a la capacidad del observador para seleccionar manualmente el ROI, así como a la lentitud del análisis y la posible falta de fiabilidad en los resultados. En este sentido es recomendable emplear un software con funciones de selección automáticas y objetivas. Este enfoque, además de mejorar la confiabilidad, también facilita la comparación de imágenes térmicas entre los mismos sujetos o entre diferentes atletas, ya que permite acumular y gestionar los datos registrados. Esto es fundamental para evaluar la respuesta individual a la carga de entrenamiento y establecer las evoluciones térmicas de cada deportista.^{7, 13, 31, 35}

3.g. Software: existen diversos modelos disponibles que permiten obtener datos finales de temperatura a partir de una imagen térmica. Es importante conocer el software de medición empleado, así como sus métodos de procesamiento de imágenes y formatos de imágenes térmicas, ya que estos pueden influir significativamente en los resultados térmicos obtenidos. La utilización de un software, que selecciona un ROI en un área corporal específica, posibilita la incorporación de información anatómica y fisiológica mediante fusión de imágenes. Esto da como resultado la formación de un termograma, el cual consiste en un mapa de temperatura de la superficie, que está relacionada con el flujo sanguíneo, lo que ayuda a localizar el área afectada. (Figura 2)^{13, 19, 30}

Figura N°2. Software para el análisis de las imágenes termográficas. Extraído de: Fernández Cuevas I., 2019. ⁽²⁾



En lo que respecta a la selección del ROI, los softwares actuales suelen utilizar formas prismáticas regulares para definirlas, tales como rectángulos, cuadrados, círculos y elipses. Sin embargo, estas formas geométricas regulares presentan limitaciones cuando no se ajustan adecuadamente a la forma anatómica de la zona a caracterizar, ya sea por la exclusión de datos relevantes o por la inclusión de datos irrelevantes en la evaluación de las imágenes térmicas, pudiendo llevar a errores en el análisis de una determinada imagen térmica. Otro beneficio de estos softwares modernos, importante para el seguimiento del atleta, es que brinda la posibilidad de archivar las imágenes y los datos clínicos relevantes, para, entre otras cosas, compararlas y garantizar que se hayan utilizado las mismas posiciones y configuraciones de temperatura. ^{29, 35}

El termograma resultante consta de dos capas: una cualitativa y otra cuantitativa. La capa cualitativa muestra la temperatura del objeto medido en diferentes colores, facilitando la detección visual de anomalías. Sin embargo, esta interpretación es subjetiva y depende de la distribución del rango de colores y la experiencia del observador. Este método puede ayudar a identificar las asimetrías más evidentes. La capa cuantitativa, por su parte, proporciona datos radiométricos que permiten cuantificar

la temperatura por cada píxel de una manera más objetiva y fiable, brindando la posibilidad de complementar los hallazgos cualitativos y visualizar lo que el observador no fue capaz de identificar mirando sólo la imagen. Cada imagen resultante debe llevar la indicación del rango de temperatura, con un código o escalas de colores proporcional a las zonas de mayor o menor temperatura, la cual debería estar estandarizada. Por ejemplo, en medicina, donde el rango de temperatura es más limitado, se prefiere una paleta de arco iris, con el rojo como calor y el azul/negro como frío. En general, dicha escala utilizada en el momento de la captura de la imagen, debe mostrarse junto a la imagen final, ya que sin esto, la imagen queda mal definida, debido que el rango y el nivel de temperaturas son esenciales para la información completa proporcionada en el termograma.^{2, 29}

Como ya se mencionó, existen diferentes softwares en el mercado, y es importante destacar que no todos fueron diseñados para ser utilizados con humanos, por lo que optar por un sistema especializado en uso médico refuerza la credibilidad de la TIR.¹³

Uno de los objetivos primordiales de esta clasificación es concienciar a los profesionales sobre la importancia de cumplir con un protocolo estandarizado que abarque la mayor cantidad de factores posibles, entendiendo que lograr un control total de estos factores puede ser complejo.¹³

III. a. 5. Mecanismos reguladores de la temperatura corporal

El cuerpo humano requiere mantener una temperatura interna constante, cercana a los 37°C, con el fin de conservar la homeostasis, la cual se define como el equilibrio necesario para preservar las funciones y la composición de los fluidos y tejidos corporales. Mantener una temperatura corporal central constante es vital, ya que cualquier desviación de este rango podría afectar ciertas actividades funcionales y desembocar en algún problema físico o en alguna alteración sobre los procesos químicos fundamentales del cuerpo. El organismo humano logra este equilibrio a través de una serie de mecanismos de termorregulación, los cuales implican respuestas fisiológicas coordinadas del cuerpo que tienen como objetivo mantener la temperatura central dentro de un rango limitado de valores. Esto permite una actividad fisiológica adecuada mediante la búsqueda del equilibrio entre la producción de calor del cuerpo, resultado de los procesos metabólicos, y su pérdida hacia el medio ambiente. En la práctica, lo que se logra no es un estado estacionario de temperaturas constantes, sino un equilibrio dinámico, donde el cuerpo responde continuamente a cambios en el entorno, tales como la temperatura y la humedad, y en situaciones como el ejercicio físico intenso, para regular la temperatura corporal interna y

adaptarse al medio externo. Sin embargo, existen procesos patológicos que pueden afectar este mecanismo regulador, generando una incapacidad del organismo para dispersar el calor de manera efectiva. Como resultado, el aumento anormal de la temperatura corporal puede ser un síntoma de diversas enfermedades. ^{24, 34, 36-40}

La regulación de la temperatura corporal es gestionada por el centro termorregulador ubicado en el hipotálamo, que está en conexión con la glándula pituitaria en la base del cerebro, cerca de la terminación del tronco del encéfalo. Este centro actúa como un circuito de retroalimentación negativa, el cual forma parte del sistema nervioso autónomo. Dentro del hipotálamo, hay neuronas especializadas que funcionan como termorreceptores, monitoreando constantemente la temperatura sanguínea y comparándola con un punto de referencia interno. El hipotálamo consta de dos centros, el anterior y el posterior. El primero detecta aumentos en la temperatura sanguínea y, a través del sistema nervioso parasimpático, envía señales neuronales para activar métodos de disipación de calor, como son la vasodilatación, la sudoración, la exhalación y la reducción del metabolismo. Por otro lado, el centro posterior identifica disminuciones en la temperatura sanguínea y, a través del sistema nervioso simpático, inicia mecanismos para conservar el calor, como son la vasoconstricción, la piloerección, el aumento del tono muscular y el aumento de la actividad metabólica. ^{6, 34, 36, 39}

Además de los termorreceptores que se encuentran dentro del hipotálamo, también se van a encontrar receptores a nivel de la piel. Se plantea que la Tsk es la principal entrada que induce la regulación térmica del cuerpo. La Tsk es controlada por receptores que responden al frío, como los corpúsculos de Krause y receptores que responden al calor, como los órganos de Ruffini. Su distribución no es uniforme en todo el cuerpo, por ejemplo, existe mayor cantidad de receptores al frío en la piel de la cara y las manos que en el tórax y las piernas. Las terminaciones nerviosas libres, presentes en la piel y las mucosas digestivas y respiratorias, también actúan como receptores. Dichos receptores están en conexión con fibras sensitivas aferentes que conducen los impulsos a la médula espinal, desde donde son conducidos al hipotálamo a través de los haces de los cordones posteriores. Una vez recibida la información, el centro de control la compara con el patrón de referencia y envía señales eferentes para mantener la homeostasis térmica del cuerpo.

^{34, 36, 41, 42}

En síntesis, se puede afirmar que la regulación de la Tsk es un sistema complejo que está influenciado por varios factores, dentro de los cuales se incluyen al flujo sanguíneo, a las características locales de los tejidos subcutáneos y a la actividad del sistema nervioso autónomo. Es esencial comprender los mecanismos de termorregulación

en el cuerpo humano para optimizar el rendimiento deportivo y disminuir el riesgo de lesiones. Asimismo, comprender cómo se transfiere el calor es fundamental para realizar evaluaciones utilizando correctamente a la TIR.^{36, 37}

III. a. 6. Redistribución del flujo sanguíneo durante el ejercicio y su influencia sobre la temperatura de la piel

El sistema vascular comprende una serie de vasos que transportan sangre desde el corazón hacia los tejidos y de vuelta a él. Este sistema está compuesto por arterias, arteriolas, capilares, vénulas y venas. Dentro de esta red, se destaca a la microcirculación, que engloba a los vasos sanguíneos más pequeños con paredes musculares delgadas, es decir, a las arteriolas, los capilares y las vénulas.^{24, 43}

Las arterias son conductos musculares elásticos de gran tamaño que tienen la función de transportar la sangre desde el corazón hasta las arteriolas. La aorta, siendo la arteria más grande, distribuye la sangre desde el ventrículo izquierdo hacia todas las regiones del cuerpo, dividiéndose gradualmente en arterias más pequeñas que finalmente se convierten en arteriolas. La capacidad de las arteriolas para ajustar su diámetro se debe a la estructura histológica que presenta, con abundante cantidad de músculo liso en su capa media, lo que las hace susceptibles a la contracción o relajación, principalmente influenciadas por el sistema nervioso simpático. Estos vasos sanguíneos de pequeño diámetro, conocidos como vasos de resistencia, desempeñan un papel crucial en el control del flujo sanguíneo hacia tejidos específicos. La estimulación simpática puede contraerlos hasta el punto de obliterar completamente la luz del vaso, mientras que la falta de inervación puede dilatarlos al máximo. Desde las arteriolas, la sangre fluye hacia los capilares, siendo estos los vasos sanguíneos más estrechos y simples en términos de su estructura, con paredes formadas por una sola capa de células. Todos los intercambios entre la sangre y los tejidos ocurren en estos vasos y el flujo sanguíneo que los atraviesa se encuentra regulado por los esfínteres precapilares. Posteriormente, la sangre abandona los capilares para emprender su viaje de regreso al corazón a través de las vénulas, las cuales se agrupan para formar vasos más grandes conocidos como venas. Entre estas, se destaca a la vena cava, que es la más voluminosa y la encargada de conducir la sangre de vuelta a la aurícula derecha desde todas las regiones del cuerpo, tanto por encima (vena cava superior) como por debajo (vena cava inferior) del corazón.^{9, 24, 43, 44}

Con respecto a los vasos que transcurren por la superficie de la piel, al igual que en otros lechos vasculares, la resistencia vascular está bajo el control tanto del sistema nervioso simpático como de factores reguladores locales, aunque el control nervioso

presenta mayor preponderancia. Los nervios adrenérgicos son responsables de la vasoconstricción, mientras que los nervios colinérgicos inducen la vasodilatación. Por consiguiente, en un determinado momento, el estado vasoactivo de la piel se determina por el equilibrio entre la actividad de ambos tipos de nervios. Por ejemplo, una actividad adrenérgica simpática relativamente alta junto con una actividad colinérgica baja puede resultar en un marcado nivel de vasoconstricción en la circulación de la piel. Por el contrario, una alta liberación de acetilcolina por parte de los nervios colinérgicos provoca la dilatación de los vasos sanguíneos de la piel. Este delicado equilibrio entre la constricción y la dilatación del músculo liso vascular está regulado por las células endoteliales que recubren los vasos sanguíneos y que poseen receptores para neurotransmisores simpáticos y estimulantes como la bradicinina, la histamina y el adenosín trifosfato (ATP). Es relevante señalar que las fibras nerviosas parasimpáticas vasodilatadoras no inervan directamente los vasos sanguíneos cutáneos; no obstante, la estimulación de las glándulas sudoríparas, inervadas por fibras colinérgicas del sistema nervioso simpático, induce la dilatación de los vasos de resistencia de la piel. La circulación sanguínea cutánea regulada por la actividad del sistema nervioso simpático, desempeña un papel crucial en la termorregulación humana al influir directamente en la Tsk. La capacidad de la piel para perder o ganar calor es fundamental para mantener un equilibrio térmico adecuado en el cuerpo en diversas situaciones ambientales y fisiológicas.^{9, 20, 45}

Al realizar actividad física se producen cambios en el flujo sanguíneo debido al desequilibrio significativo de la homeostasis, originado por las alteraciones en el metabolismo, en el sistema cardiovascular y en el sistema nervioso. Con el aumento del ejercicio, la temperatura corporal se eleva, lo que intensifica la cantidad de estímulos que llegan al centro regulador del hipotálamo, encargado de recuperar y mantener la homeostasis mediante diversos mecanismos. Entre estos, se encuentra la vasorregulación compensatoria corporal, en la que se produce una vasoconstricción en áreas con menor demanda metabólica, reduciendo el flujo sanguíneo o manteniéndolo en un nivel similar al del estado en reposo, y una vasodilatación que incrementa el flujo sanguíneo hacia los músculos activos, donde la demanda metabólica es mayor, facilitando así, el suministro de nutrientes a estas fibras musculares.^{42, 44, 46, 47}

La actividad muscular constituye una importante fuente de generación de calor, especialmente en las estructuras centrales y en los músculos activos. Parte de este calor se transforma en energía mecánica, mientras que el excedente necesita ser disipado. Esto se logra mediante la transferencia significativa de sangre desde el interior del cuerpo hacia la superficie, impulsada por el gradiente térmico entre los sitios de producción y eliminación de

calor. En consecuencia, se establece una correlación directa entre la activación muscular y la variación de la tsk. El sistema circulatorio, a través de la sangre, actúa como un sistema de transferencia de calor para mantener un ambiente celular propicio para el metabolismo y la actividad enzimática, lo cual es fundamental para eliminar con rapidez el calor generado en el interior de las células y, de esta manera, prevenir posibles daños.^{13, 31, 42, 46, 47}

La cantidad de calor producido varía según el órgano del cuerpo y el estado del individuo, ya sea en reposo o en actividad, siendo mayor durante la actividad física. Además, la actividad contráctil del tejido y el tipo de músculo implicado tienen un efecto significativo; por ejemplo, las fibras musculares de contracción lenta generan más calor que las de contracción rápida debido a que presentan mayor capacidad oxidativa. La modalidad de entrenamiento, ya sea resistencia, fuerza o velocidad, también es relevante, al igual que la intensidad del ejercicio, que es un factor crucial a considerar. Por lo general, se observa un incremento en la Tsk durante la realización de ejercicios aeróbicos constantes y prolongados, mientras que en ejercicios breves, intensos o máximos se registra una disminución de la Tsk. Esto se explica porque al inicio del ejercicio hay una demanda de flujo sanguíneo hacia los músculos activos y el corazón, lo que causa una breve vasoconstricción de la piel. Sin embargo, a medida que la temperatura central del cuerpo aumenta, predominan los procesos de regulación térmica y los vasos sanguíneos cutáneos se dilatan, facilitando la disipación de calor a través de la piel.^{9, 13, 42, 44, 46}

Es fundamental comprender que las variaciones en la Tsk que ocurren durante la realización de actividad física reflejan cambios fisiológicos significativos. La evaluación mediante la TIR posibilita la detección de estos cambios, permitiendo a los profesionales tomar decisiones cruciales en la adaptación de la carga de entrenamiento de los deportistas.^{2, 7}

III. a. 7. Emisión de la temperatura de la superficie de la piel

Para comenzar, resulta fundamental definir el concepto de calor y temperatura. El calor se refiere a la energía en movimiento que se transfiere de un objeto caliente a otro más frío, y su unidad de medida es el joule (J). Por su parte, la temperatura se define como la medición de la energía cinética promedio de un objeto. Para su medición se emplean diversas escalas, como la Celsius (C), Kelvin (K) y Fahrenheit (F), no obstante, en el sistema internacional de unidades, la temperatura se representa mediante la escala Kelvin, que es una escala absoluta. Esto se debe a que, conforme a las leyes de la termodinámica, no es posible que un objeto alcance temperaturas inferiores a 0 K (-273,16°C).³⁷

En el cuerpo humano, debido a su elevada actividad metabólica, se genera una considerable cantidad de energía térmica, es decir, de calor. Esta energía se produce en el interior de las células del organismo, y su velocidad de transferencia hacia la superficie corporal está determinada por las propiedades termofísicas. Es esencial disipar este calor para mantener la estabilidad de los procesos fisiológicos del cuerpo. La transferencia de energía desde un objeto más caliente hacia uno más frío se conoce como flujo de calor, mientras que, cuando dos objetos cercanos poseen niveles similares de energía térmica se encuentran en equilibrio térmico. El flujo de calor desempeña un papel crucial en el cuerpo humano, siendo la piel un ejemplo destacado de un sitio en donde se produce una transferencia recíproca de calor entre el organismo y su entorno. La sangre transporta el calor a través de los vasos sanguíneos hacia la superficie de la piel, donde ocurre el intercambio térmico con el exterior. Esto se produce gracias a la presencia de comunicaciones arteriovenosas subcutáneas que, cuando se encuentran abiertas, el calor corporal se libera hacia la piel y el entorno circundante; en cambio, si se encuentran cerradas, el calor se retiene en el cuerpo. La Tsk, además de ser un indicador fisiológico clave, desempeña un papel crucial en los procesos de transferencia de energía térmica. Puede revelar la presencia de enfermedades y lesiones, así como proporcionar información sobre las interacciones específicas entre el cuerpo y su entorno. ^{8, 24, 31, 34, 36, 37}

El cuerpo humano emplea diversos métodos para transferir energía térmica hacia la piel y el medio externo, los cuales incluyen la conducción, convección, radiación y evaporación. Cuando la temperatura del entorno es igual o mayor que la de la piel, la evaporación se convierte en el único medio por el cual el cuerpo disipa el calor. En cambio, cuando el entorno es más frío, la pérdida de calor del cuerpo se lleva a cabo mediante los procesos de conducción, convección e irradiación. ⁶

La evaporación es el cambio de un estado líquido a un estado de vapor. En el cuerpo humano, el agua se evapora a través de la piel, las membranas mucosas y la respiración. Este mecanismo emplea el calor corporal para transformar en vapor el agua que se encuentra presente en la superficie de la piel. Estas pérdidas de calor mediante la evaporación, pueden darse por medio de dos mecanismos, por un lado a través de la sudoración, que se produce por las glándulas sudoríparas y está controlada por el sistema nervioso simpático; y por otro lado, a través de la perspiración insensible, la cual se da independiente de la sudoración. La cantidad de evaporación está estrechamente ligada a la humedad relativa del aire, por ello, cuanto mayor sea la humedad relativa, menor será la tasa de evaporación. A su vez, cualquier factor que obstaculice la pérdida de calor por evaporación resultará en un aumento de la temperatura corporal. ^{8, 24}

En lo que respecta a la conducción, se refiere a la transmisión directa de calor entre moléculas o entre dos cuerpos sólidos que se encuentran a diferentes temperaturas. Este proceso es significativo en la transferencia de calor en el cuerpo humano, ya que es uno de los mecanismos que permite el pasaje del calor desde los órganos internos hacia la superficie de la piel, así como también a través de la ropa. La transferencia de calor a través de los tejidos del cuerpo humano es un proceso gradual, que depende principalmente del gradiente de temperatura entre el músculo y la piel, así como de la conductividad térmica del músculo. Este proceso se facilita cuando hay un aumento en el gradiente de temperatura entre el músculo y la piel, como suele ocurrir durante la actividad física. ^{8, 24, 37,}

40

Por otra parte, la convección implica la transferencia de calor desde un cuerpo sólido hacia un fluido, ya sea líquido o gaseoso, a través del contacto. En el cuerpo humano, este proceso de convección puede entenderse mediante la disipación de calor a través del flujo sanguíneo. Cuando la circulación sanguínea aumenta su temperatura debido al pasaje por los tejidos profundos, la transferencia de calor hacia la piel ocurre conforme la sangre circule por ella. Además, este mecanismo también explica cómo el viento afecta la sensación térmica en la piel. Por lo general, una capa de aire caliente tiende a acumularse cerca de la superficie del cuerpo, pero la convección facilita su eliminación y su reemplazo por aire más frío del entorno circundante. ^{8, 37}

Por último, la radiación consiste en la transferencia de calor desde un cuerpo hacia un medio más frío mediante la emisión de ondas electromagnéticas. La emisividad de un objeto se refiere a su capacidad para emitir radiación infrarroja. Según la ley de Stefan-Boltzmann, todos los objetos con temperatura por encima del cero absoluto (0 K o $-273,16^{\circ}\text{C}$) emiten radiación electromagnética, y la cantidad de energía irradiada es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura. ^{31, 36, 37}

La piel es la superficie radiante para el ser humano, y su eficacia en la emisión de calor depende de factores como el volumen y la temperatura de la sangre circulante, así como de la temperatura ambiental, que debe ser menor que la corporal para que se produzca la pérdida de calor. Se ha evidenciado que el sistema nervioso simpático regula principalmente la circulación sanguínea en la piel y, por lo tanto, la emisión térmica. Diversos estudios han investigado la emisividad de la piel humana, sugiriendo que es alta y constante, con un valor cercano a 0,98, similar al de un cuerpo negro. Aunque estos hallazgos son prometedores, se requieren más investigaciones para profundizar en este tema. Un cuerpo negro, que tiene una emisividad igual a 1, es un concepto teórico que absorbe toda la radiación electromagnética incidente y su absorción es igual a su emisión,

lo que lo convierte en un emisor ideal de radiación infrarroja. Por lo tanto, se concluye que la piel humana es un eficiente emisor de radiación infrarroja. ^{8, 13, 22, 29, 36, 37}

Es relevante señalar que la radiación infrarroja desempeña una función crucial en la eliminación del calor corporal, siendo responsable típicamente del 60% al 70% de este proceso. Esta forma de energía, capturada y transformada en un termograma mediante la TIR, resulta esencial para la obtención de información térmica detallada y la identificación de patrones de temperatura en la superficie del cuerpo humano. ⁸

III. a. 8. Patrón térmico

Idealmente, la piel debería mantener un nivel térmico constante a lo largo del tiempo, con el fin de mantener el cuerpo en equilibrio térmico por medio de ajustes termorreguladores tanto agudos como crónicos. A lo largo de la vida de una persona, diversos factores pueden influir en estos ajustes, como la edad, el género, el porcentaje de grasa corporal, la cantidad de glándulas sudoríparas, el nivel de condición física y las respuestas endocrinas específicas, entre otros. Esta variabilidad intrasujeto puede generar cambios únicos en el patrón térmico de cada individuo, lo que destaca la importancia de conocer detalladamente a cada deportista con el objetivo de establecer con precisión su línea basal térmica. A su vez, siguiendo el principio de la homeostasis, se espera que la respuesta térmica entre zonas corporales contralaterales sea simétrica, aunque existen factores que pueden alterar ésta simetría, los cuales pueden estar asociados con condiciones patológicas, como la presencia de inflamaciones o disfunciones nerviosas. ^{13, 31,}

37

El desarrollo de herramientas de monitorización, como la TIR, posibilita la obtención de imágenes térmicas de manera rápida y sencilla. Mediante un seguimiento termográfico periódico del deportista se puede crear un perfil térmico de referencia, tanto para el individuo como para la disciplina deportiva o del equipo en cuestión, el cual consiste en un mapa que refleja las características térmicas normales de cada ROI. La simetría entre las extremidades se vuelve esencial para evaluar la normalidad del termograma. Llevar a cabo un monitoreo termográfico regular de los deportistas posibilita registrar las imágenes térmicas en una base de datos y luego compararlas de manera individual a lo largo del tiempo. La información recopilada resulta fundamental para establecer los valores térmicos normales de un individuo, lo que a su vez facilita la comprensión y la individualización de cualquier cambio en su patrón térmico. Dado que ciertos trastornos fisiológicos pueden alterar la respuesta térmica del intercambio local, la utilización de la TIR en el ámbito deportivo podría ser beneficiosa para la detección temprana de riesgos de lesiones

musculares causadas por el sobreuso o el sobreentrenamiento, debido a que la temperatura local de estas regiones musculares podría variar en comparación con las contralaterales. La sobrecarga muscular puede surgir tanto como resultado de un entrenamiento que excede la capacidad de recuperación del deportista como por una recuperación inadecuada previo al siguiente estímulo. ^{2, 22, 31, 37, 48}

Diversos investigadores han llevado a cabo estudios con el fin de interpretar los valores térmicos obtenidos en cada ROI durante la evaluación termográfica para luego poder aplicar las medidas adecuadas en cada caso. Aunque aún no existe un consenso unánime entre los diferentes estudios realizados, se puede mencionar, a modo de ejemplo, el trabajo realizado por “Ismael Fernández Cuevas et al. (2017)”. En este estudio, se propone que una diferencia de temperatura menor a $0,4^{\circ}\text{C}$ se considere como una asimetría normal. En el caso de valores entre $0,5$ y $0,7^{\circ}\text{C}$, se sugiere una supervisión para investigar si factores externos pueden estar influyendo en el resultado, y se recomienda monitorear al atleta para evaluar sus condiciones ambientales y de entrenamiento. Por otro lado, con valores entre $0,8$ y 1°C se puede sospechar la presencia de un proceso inflamatorio importante, lo que requeriría la aplicación de medidas preventivas como reducir la carga de entrenamiento o suspenderlo por completo. Si los valores oscilan entre $1,1$ y $1,5^{\circ}\text{C}$, se consideran indicadores de alarma y requieren la suspensión inmediata del entrenamiento. Por último, valores superiores a $1,6^{\circ}\text{C}$ pueden sugerir una diferencia térmica patológica o indicar una lesión significativa. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta el perfil térmico individual del deportista y de la disciplina deportiva practicada para aplicar adecuadamente estos rangos indicados, ya que, en algunos casos, pueden presentarse desequilibrios en el perfil térmico basal que se encuentran dentro de los límites normales para un deportista o una disciplina específica. Por ejemplo, si la naturaleza del deporte provoca que la temperatura en el agarre del antebrazo sea siempre $0,4^{\circ}\text{C}$ más elevada, sería normal que en ciertas ocasiones el deportista presente un desequilibrio de $0,8^{\circ}\text{C}$ en los antebrazos, sin necesidad de atención especial. ³¹

En este sentido, la TIR emerge como una herramienta útil para detectar asimetrías térmicas al comparar áreas corporales bilaterales que pueden ser precursoras de lesiones, con su consecuente repercusión en el rendimiento y la salud de los deportistas, así como en la economía de los propios deportistas o de los clubes al cual pertenezcan. La detección temprana de estas asimetrías, incluso antes de que se manifieste la sintomatología clínica, como el dolor, resulta fundamental para implementar estrategias terapéuticas correspondientes antes de que se produzca una lesión. De esta manera, la utilización de la TIR para la detección de asimetrías térmicas permitiría realizar ajustes en las cargas de los entrenamientos con el objetivo de restaurar el equilibrio térmico. ³¹

III. b. LESIONES MUSCULARES EN DEPORTISTAS

III. b. 1. Incidencia de lesiones musculares en deportistas

Si bien la participación en actividades deportivas conlleva una variedad de beneficios para la salud a corto y largo plazo, los atletas no están exentos de sufrir lesiones relacionadas con la disciplina que practican. En el ámbito deportivo, en cualquier forma de ejercicio físico, las lesiones son muy frecuentes. Esta revisión se enfocará en las lesiones que son de origen muscular y su impacto en los deportistas.^{49,50}

Antes de adentrarse en las diversas lesiones que pueden afectar al tejido muscular, es esencial comprender su anatomía y función. El músculo estriado es el mayor componente tisular del cuerpo humano, representando entre el 40% y el 45% del peso total del cuerpo. Está compuesto por fibras individuales que contienen al sarcómero, unidad estructural y funcional del músculo, el cual se compone por filamentos proteicos contráctiles, principalmente de actina y miosina. Estas fibras se agrupan en haces para formar a los fascículos, los cuales se combinan para dar lugar al vientre muscular. Cada una de estas estructuras se encuentra envuelta por una capa de tejido conectivo; las fibras musculares individuales están rodeadas por el endomisio, los fascículos por el perimisio, y por último, el músculo en su totalidad está envuelto por el epimisio. En cuanto a las fibras musculares, es esencial destacar que existen dos categorías principales: las tipo I, también conocidas como fibras de contracción lenta, son ideales para actividades que implican contracciones repetitivas, son más resistentes a la fatiga y poseen una mayor densidad de mitocondrias y capilares por fibra. Por otro lado, las tipo II, o fibras de contracción rápida, son más adecuadas para generar fuerzas rápidas e intensas en períodos de corta duración. Dentro de las fibras tipo II, hay subgrupos que se distinguen principalmente por el tipo de miosina que expresan, lo que afecta su velocidad de contracción. De manera general, las fibras tipo I se caracterizan por ser las más lentas, con un metabolismo más oxidativo, mientras que las IIb son más rápidas y muestran un perfil metabólico más glucolítico.⁵⁰⁻⁵⁴

En lo que respecta a la función, se debe destacar, entre otras, su capacidad para generar y controlar el movimiento articular, lo cual se da gracias a la interacción de diversos sistemas. Por un lado, se destaca la estructura biomecánica de los músculos, que les otorga propiedades contráctiles y viscoelásticas. Por otro lado, la actividad metabólica y los distintos tipos de fibras musculares influyen en la potencia, duración y resistencia de la actividad muscular. Además, el sistema neuromuscular regula las actividades voluntarias, automáticas o reflejas, desempeñando un papel crucial en el control postural y en el movimiento específico de cada disciplina deportiva. Esta interconexión es fundamental, ya que la afección de alguno de estos mecanismos puede deteriorar a toda la estructura

fisiológica, lo que podría resultar en la interrupción de la práctica deportiva por un período indeterminado.⁵⁵

Para adentrarse en el tema de las lesiones, es esencial primero definir este concepto. De todos modos, existe una falta de consenso en cuanto a su definición, ya que no hay una que esté universalmente aceptada, lo que lleva a variaciones en el código de diagnóstico utilizado en los distintos estudios publicados. Una forma de conceptualizar a las lesiones relacionadas con el deporte es considerarlas como cualquier daño físico experimentado por un atleta como resultado de su participación en actividades deportivas, lo que puede llevar a la restricción o exclusión de entrenamientos y/o competiciones, seguido por la necesidad de diagnosticar el tejido afectado y proporcionar el tratamiento adecuado. Estas lesiones pueden ocurrir tanto durante eventos deportivos como durante sesiones de entrenamiento.^{1, 2, 4, 49}

Las lesiones musculares representan una de las complicaciones más frecuentes asociadas a la práctica deportiva. Es esencial categorizarlas considerando diversos criterios, tales como su ubicación anatómica, gravedad, mecanismo de producción y tipo de lesión. En términos de ubicación, puede afectarse tanto el origen como el cuerpo del músculo, así como también la unión entre éste y el tendón. Respecto a la gravedad, se puede determinar en función del tiempo requerido para retornar a la práctica deportiva. Por ejemplo, en el estudio de "Paús et al. (2003)", se propone clasificarlas en lesiones leves (grado I), que permiten el retorno deportivo entre 1 y 7 días; moderadas (grado II), entre la primera y la tercera semana; graves (grado III), entre las semanas 3 y 8; y severas (grado IV), que requieren más de 8 semanas para la recuperación. Por último, según el mecanismo de producción, las lesiones musculares pueden presentarse de diferentes maneras. Por un lado, se encuentran las lesiones por contacto o mecanismos extrínsecos, resultantes de un impacto directo como un choque, que pueden derivar en contusiones, contracturas, roturas fibrilares o musculares parciales o totales. Por otro lado, las lesiones sin contacto o mecanismos intrínsecos, originadas por movimientos violentos que generan excesiva tensión muscular, pueden desencadenar en elongaciones, contracturas o incluso roturas fibrilares o musculares. También se pueden presentar lesiones por sobrecarga o uso excesivo, generadas por microtraumatismos repetidos sin un único hecho identificable que las ocasione.^{1, 2, 49, 50, 56, 57}

Las lesiones varían considerablemente según la disciplina deportiva, por lo que es fundamental comprender el riesgo de lesión asociado con cada una de ellas, como también las características y la frecuencia de las lesiones más comunes. Es crucial implementar medidas para reducir su incidencia, especialmente para aquellas causadas por

microtraumatismos repetidos, ya que son más factibles de ser controladas que las lesiones por contacto directo. El primer paso para mitigar los riesgos que predisponen a lesiones consiste en realizar un estudio preliminar de la incidencia lesiva del ámbito específico en el que se encuentre, que puede variar según el deporte, el país, el nivel de competencia y las características individuales de los deportistas. Esto implica recopilar datos sobre las lesiones existentes mediante análisis epidemiológicos, lo que proporciona una comprensión detallada de la importancia del problema en cada contexto en particular. La epidemiología, disciplina encargada de describir la distribución, frecuencia y factores determinantes de lesiones y enfermedades en diversas poblaciones, facilita la clasificación y comprensión de las lesiones, lo que posibilita el desarrollo de planes para el manejo y tratamiento efectivo de lesiones comunes, así como la implementación de estrategias para reducir su incidencia en la medida de lo posible. ^{1, 2, 5, 51}

En Argentina, la disponibilidad de datos epidemiológicos sobre lesiones es limitada, con escasas publicaciones que abordan la prevalencia y distribución de lesiones en diversos niveles deportivos, desde selecciones nacionales hasta equipos profesionales. Además, la falta de una nomenclatura estandarizada entre los estudios contribuye a la limitación de datos, lo que dificulta la comparación de resultados debido a diferencias en definiciones de lesiones, criterios de selección, características de la población y metodologías de reporte. Como resultado, cada estudio debe considerarse como un informe aislado, lo que impide la generalización de resultados a gran escala. En contraste, a nivel internacional, muchas ligas europeas y estadounidenses mantienen registros unificados de lesiones que facilitan el análisis estadístico, la identificación de patrones de lesiones y la planificación de medidas preventivas adecuadas. ^{5, 49}

Dentro de la epidemiología, la incidencia se destaca como una medida fundamental, definida como la cantidad de lesiones ocurridas durante un período específico en una población determinada. Generalmente, la incidencia se expresa como el número de lesiones por cada 1.000 horas de participación, considerando tanto las horas de competición como las de entrenamiento. Una fórmula comúnmente utilizada es: $(\text{Número de lesiones} \times 1000) / \text{horas totales de exposición}$. Este enfoque considera la frecuencia de las lesiones, el número de nuevas lesiones producidas en una población de riesgo durante un periodo determinado, y el número total de nuevas lesiones en relación con el número total de deportistas. La estandarización y unificación del método utilizado para calcular la incidencia de lesiones facilitarían la comparación de datos entre diferentes estudios. ^{1, 2, 49, 56}

Durante la práctica de actividad física, se registra una alta prevalencia de lesiones musculares, con un rango de incidencia que oscila entre el 10% y el 55% de todas las

lesiones. Las lesiones sin contacto se presentan con una frecuencia considerable, y muchas de ellas están relacionadas con la fatiga, tanto nerviosa como muscular. Esto sugiere que la acumulación de fatiga aumenta el riesgo de lesión desde un punto de vista etiopatogénico. Se ha observado que la mayoría de estas lesiones por sobrecarga ocurren durante los períodos de pretemporada, cuando se produce una acumulación de la fatiga debido a un mayor volumen de trabajo. Estos hallazgos indican que, incluso en un mismo deporte y contexto geográfico, los planes de trabajo deben variar según el momento de la temporada para el que se diseñen. Con el propósito de disminuir el riesgo de las lesiones provocadas por sobrecarga, se destaca la importancia de desarrollar planes de entrenamientos específicos e individualizados. ^{1, 58}

Se puede concluir que la determinación precisa de la incidencia real de lesiones musculares en deportistas no solo es dificultosa debido a los aspectos relacionados con los datos epidemiológicos mencionados anteriormente, sino que también puede variar según la disciplina deportiva que se esté investigando en cada caso. ⁴⁹

III. b. 2. Factores de riesgo asociados a lesiones musculares en deportistas

Las lesiones son sucesos adversos que no siempre se pueden evitar debido a que la naturaleza misma de la actividad deportiva, con sus demandas, implica un riesgo inherente de que se produzcan. El riesgo se refiere a la posibilidad de que las personas experimenten un evento desfavorable como consecuencia de la exposición a ciertos factores. Por su parte, los elementos que aumentan la probabilidad de que ocurra algún evento, como una lesión deportiva, se conocen como factores de riesgo. ³

El hecho de que un factor de riesgo esté asociado con una lesión específica no implica necesariamente una relación causal. Esta asociación puede atribuirse a alguna variable aún no identificada que comparten tanto el factor de riesgo como la lesión. Por ejemplo, en un estudio retrospectivo realizado por "Lloyd et al. (1986)" con mujeres que participaron en carreras de 10 kilómetros, descubrieron que las que se encontraban en una etapa premenopáusica y experimentaban menstruaciones irregulares durante el ejercicio vigoroso, tenían un mayor riesgo de sufrir lesiones musculoesqueléticas. Sin embargo, la relación causal no está necesariamente establecida, ya que tanto la irregularidad menstrual como las lesiones podrían ser consecuencia de un tercer factor, como el sobreentrenamiento. Por lo tanto, la presencia del tercer factor podría influir en la capacidad de establecer una relación causal. De todas maneras, es crucial conocer cuáles son los factores de riesgo que favorecen la aparición de lesiones musculares en esta población para poder objetivar el tratamiento. ^{3, 17, 59}

En la actualidad se reconoce que las lesiones deportivas no se deben a un único factor predisponente, sino que obedecen a un modelo multifactorial. "Meeuwisse et al. (1994)" desarrolló un modelo que explica los diversos factores de riesgo involucrados en la aparición de lesiones deportivas, huyendo de explicaciones basadas en una sola causa. Para una mejor comprensión, estos factores suelen dividirse en intrínsecos y extrínsecos, aunque se comprende que en la realidad del entrenamiento y la competición, estos actúan de manera compleja, interactiva y acumulativa. Los factores intrínsecos, o aquellos relacionados con el deportista, incluyen a la edad, el sexo, la composición corporal, el estado de salud, las anomalías anatómicas, la condición física, el estado psicológico, las lesiones previas, entre otros. Los factores extrínsecos, o aquellos relacionados con el entorno, incluyen a los gestos específicos del deporte, las frecuencias, volúmenes e intensidades elevadas, la relación inadecuada entre la carga y la recuperación, la falta de calentamiento, las condiciones ambientales y del terreno desfavorables, entre otros. ^{3, 12, 17, 57, 58, 60}

Será especialmente importante enfocarse en los factores que realmente pueden influir en la reducción de lesiones en los deportistas, ya que algunos, como la edad y las lesiones previas, son imposibles de modificar, a diferencia de otros como las cargas de entrenamiento, sobre las cuales los preparadores físicos y kinesiólogos sí pueden tener una mayor influencia. Es por este motivo que implementar herramientas que permitan identificar la sobrecarga muscular, como podría ser la utilización de la TIR, resultará especialmente beneficiosa para ajustar o controlar a tiempo los factores que predisponen a la generación de estas sobrecargas, con el objetivo de reducir la incidencia de lesiones en esta población a través del diseño de una intervención adecuada. ^{1, 61}

III. b. 3. Sobrecarga muscular y asimetría térmica

Al realizar actividad física, es esencial realizar una planificación adecuada de las cargas de entrenamiento, las cuales consisten en la suma del volumen y la intensidad del ejercicio, considerando especialmente la frecuencia del mismo y su relación con la recuperación biológica y psicológica del deportista. Frente a una carga específica de entrenamiento, el cuerpo responde de manera predecible con adaptaciones tisulares que mejoran las capacidades funcionales y deportivas del individuo. Este principio de adaptación se aplica a diversos tejidos, como huesos, tendones, ligamentos, músculos y cartílagos, que se fortalecen y vuelven más elásticos en respuesta a las demandas físicas. Sin embargo, cada tipo de tejido tiene sus propias características mecánicas y responde de manera única a las diferentes cargas físicas. Además, estas características pueden variar según la edad del deportista, su nivel de entrenamiento, el tipo de ejercicio y la nutrición, entre otros

factores. Cuando la carga de entrenamiento excede la capacidad de adaptación tisular y la recuperación es insuficiente, se facilita la aparición de fatiga y aumenta el riesgo de que se produzcan lesiones deportivas.^{51, 57}

Las lesiones derivadas de la práctica deportiva se clasifican en agudas y por sobreuso. Las lesiones agudas suceden de manera abrupta y tienen un origen o inicio claramente definidos, se manifiestan cuando la carga sobre el tejido es lo suficientemente significativa como para provocar una deformación repentina e irreversible del mismo. En contraposición, las lesiones por uso excesivo se desarrollan gradualmente debido a fuerzas repetitivas de baja intensidad que ocasionan microtraumatismos tisulares. Aunque cada incidencia aislada no es suficiente para generar una deformación irreversible, su acumulación a lo largo del tiempo supera el umbral de tolerancia del tejido, desencadenando en un daño. En ocasiones resulta difícil distinguir entre ambos tipos, especialmente cuando los síntomas se presentan de forma aguda pero en realidad son el resultado final de un proceso crónico.⁵¹

El sobreentrenamiento puede desencadenar en la acumulación de radicales libres oxidativos, lo que resulta en un daño a nivel de la estructura muscular, acompañado de un proceso inflamatorio. Estos cambios en la ultraestructura muscular, como respuesta a la inflamación, normalmente se reparan con una adecuada relación entre el entrenamiento y la recuperación. Sin embargo, cuando las cargas de entrenamiento superan la capacidad de regeneración y no se aplican las terapias reparadoras adecuadas, pueden producirse lesiones. En conclusión, el sobreentrenamiento puede ser una de las causas que contribuyen a la aparición de lesiones por uso excesivo. Este es un problema cada vez más frecuente en el ámbito deportivo actual, especialmente en el alto rendimiento, donde los deportistas enfrentan una serie de exigencias que comprometen su integridad física. Este fenómeno se atribuye principalmente a la cantidad de competiciones que deben enfrentar, lo que dificulta su recuperación adecuada entre eventos. Esta falta de recuperación se ve exacerbada por las demandas excesivas de entrenamiento diario, donde las cargas son elevadas y la recuperación insuficiente. Además, otros factores como la nutrición inadecuada, la falta de sueño y las presiones psicológicas pueden contribuir a este problema.^{57, 62}

Como ya se ha mencionado, según el principio de homeostasis, nuestra fisiología busca mantener un equilibrio térmico entre las diferentes regiones de nuestro organismo. Sin embargo, la presencia de una diferencia de temperatura entre ambos lados del cuerpo podría indicar un riesgo potencial de sobrecarga muscular debido a una incorrecta asimilación de la carga de trabajo. Estas asimetrías térmicas pueden manifestarse antes

que otros síntomas, como el dolor, lo que las convierte en indicadores útiles para implementar estrategias terapéuticas oportunas y restaurar el equilibrio térmico antes de que se produzca una lesión.^{2, 31}

Por lo tanto, es crucial implementar un seguimiento diario de los deportistas, utilizando herramientas que permitan objetivar la carga de entrenamiento. En este sentido, la utilización de la TIR podría ser útil para detectar la sobrecarga muscular al captar un cambio de temperatura en el sitio afectado, el cual se asocia a un proceso inflamatorio. Esto permitiría una planificación del entrenamiento más precisa, que equilibre el volumen y la intensidad del entrenamiento con una adecuada recuperación, con el objetivo final de reducir la incidencia de lesiones en esta población.^{12, 19, 57}

III. b. 4. Problemática de las lesiones musculares en los deportistas

Retomando lo expuesto sobre las lesiones musculares, se debe recordar que la práctica deportiva conlleva un riesgo inherente de sufrir lesiones musculares. Hoy en día, a pesar de los avances tecnológicos y de conocimiento, éste problema persiste de manera significativa, tanto en el ámbito del deporte de alto rendimiento como en el amateur. Las repercusiones de estas lesiones no solo afectan al deportista de forma individual, sino que también repercuten en el equipo y la institución para la cual compiten.²

La gran incidencia lesiva en el deporte conlleva un gasto económico muy importante para la salud pública y privada. Por ende, la reducción de esta incidencia se vuelve un tema de gran importancia, especialmente en deportes donde las inversiones y los intereses económicos son considerablemente altos. El fútbol es uno de los deportes en el que las lesiones representan un perjuicio económico muy importante, por ejemplo, en la liga profesional inglesa, se ha llegado a estimar una pérdida de 74,7 millones de libras por lesiones durante el seguimiento de dos temporadas.¹

Por otra parte, la presencia de lesiones obliga a los deportistas a modificar o interrumpir parcial o totalmente sus programas de entrenamiento y competición. Esto resulta en una disminución de la condición física del atleta y en la incapacidad de alcanzar las cualidades necesarias para competir de manera efectiva durante períodos prolongados. Es por esto que la intervención se enfocará en restaurar el nivel de rendimiento deportivo previo. Sin embargo, en algunos casos la presión mediática lleva a los deportistas a no respetar los períodos de recuperación adecuados según la gravedad de la lesión que hayan sufrido.^{1, 3, 63}

Las lesiones deportivas también pueden tener un impacto significativo en el bienestar psicológico de los atletas, ya que, como se ha demostrado, pueden predisponerlos a experimentar síntomas depresivos. Esta situación, en parte se debe a la frustración asociada con la incapacidad de participar en su deporte, lo que puede generar efectos emocionales negativos. La prevalencia de depresión entre los atletas es considerable y puede afectar negativamente su rendimiento deportivo. Aunque se necesita más investigación para determinar si los síntomas depresivos son factores de riesgo para las lesiones musculares o si la aparición de estas lesiones predispone a los atletas a sufrir síntomas depresivos, algunos estudios han encontrado una asociación entre los síntomas depresivos y un mayor riesgo de lesión.^{1,4}

Ante la problemática planteada, las ciencias del deporte han progresado considerablemente en el entendimiento de la fisiología y el rendimiento deportivo. Como resultado, se han desarrollado y aplicado métodos de entrenamiento más específicos e individualizados. En los últimos años, se han identificado y empleado diversos parámetros y herramientas para cuantificar tanto la carga interna como externa de entrenamiento, dado que se ha establecido una clara relación entre mayores cargas de entrenamiento y un aumento en el riesgo de lesiones en los deportistas. Aunque existen numerosas alternativas para medir la carga externa, muchas de ellas son invasivas y subjetivas. Es por ello que ha crecido el interés científico y profesional en la TIR, la cual permite una cuantificación rápida, objetiva y no invasiva de la carga externa. Junto con la utilización de esta herramienta y una planificación adecuada del entrenamiento, se podría lograr reducir de manera significativa la incidencia de lesiones. Esto, a su vez, contribuiría a mitigar los problemas asociados en el ámbito económico, así como las interrupciones en el entrenamiento y los problemas psicológicos derivados de las lesiones deportivas.²

IV. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación reviste una gran importancia ya que tiene como objetivo evaluar la eficacia de la termografía infrarroja (TIR) en la identificación de riesgos asociados a lesiones musculares en deportistas, las cuales constituyen un problema frecuente, pudiendo interrumpir y/o alterar el proceso de entrenamiento y competición. Esto, en el ámbito deportivo, no sólo afecta negativamente en lo económico, sino también en el rendimiento del atleta. Es fundamental considerar que las lesiones no sólo repercuten en el atleta de manera individual, sino también en el equipo y/o institución a la que pertenece.

Otro aspecto que justifica la importancia de la investigación de la TIR es que ésta resulta útil para la evaluación diaria del deportista. Esto se debe a que la misma es: no invasiva, no radiactiva, no requiere de un contacto directo con el paciente, se puede transportar fácilmente, es liviana y actúa en tiempo real. La TIR se encarga de detectar asimetrías térmicas en áreas del cuerpo, lo que podría contribuir en la detección y cuantificación de la sobrecarga del sistema músculo esquelético de manera objetiva.

En el pasado, ciertos factores como la baja calidad de las imágenes y de las cámaras llevaron a que se desacreditara su efectividad; sin embargo, en la actualidad, existen cámaras de alta resolución que permiten mediciones más precisas y fiables, convirtiendo a la TIR en una potente herramienta de monitorización. Otro factor que desacreditaba su efectividad era su uso incorrecto y excesivo como método de diagnóstico en sí, en lugar de ser utilizada como un coadyuvante. Hoy en día, se comprende que no es un método diagnóstico definitivo, debido a que no muestra anomalías anatómicas, sino que es un complemento al examen clínico, por lo que sí serviría como método evaluativo ya que es capaz de mostrar cambios fisiológicos.

En consecuencia, resulta esencial realizar una investigación sobre la eficacia de la TIR en identificar riesgos asociados a lesiones musculares en deportistas, para demostrar que con un uso adecuado sería una herramienta útil y eficaz.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica a partir de una búsqueda de la literatura y artículos científicos publicados en Pubmed, Biblioteca Virtual en Salud y Biblioteca Electrónica de Ciencia y Tecnología del MinCyT, desde el año 2010 hasta el año 2023, que analizaron la efectividad de la termografía infrarroja (TIR) como herramienta de evaluación en deportistas para identificar el riesgo asociado a lesiones musculares.

V. a. Estrategia de búsqueda:

PALABRA CLAVE	MESH	DECS	TÉRMINO LIBRE
Termografía infrarroja	Thermography	Termografía	Termografía infrarroja / Infrared thermography
Lesiones musculares	Soft tissue injuries	Traumatismos de los tejidos blandos	Lesiones musculares / Lesiones de tejidos blandos / muscle Injuries
Deportistas	Athletes	Atletas	Deportistas
Identificación de riesgos	Risk assessment	Evaluación de riesgos	Identificación de riesgo / Riesgo de lesión / Factores de riesgo / risk identification / risk of injury

V. b. Combinación de palabras clave:

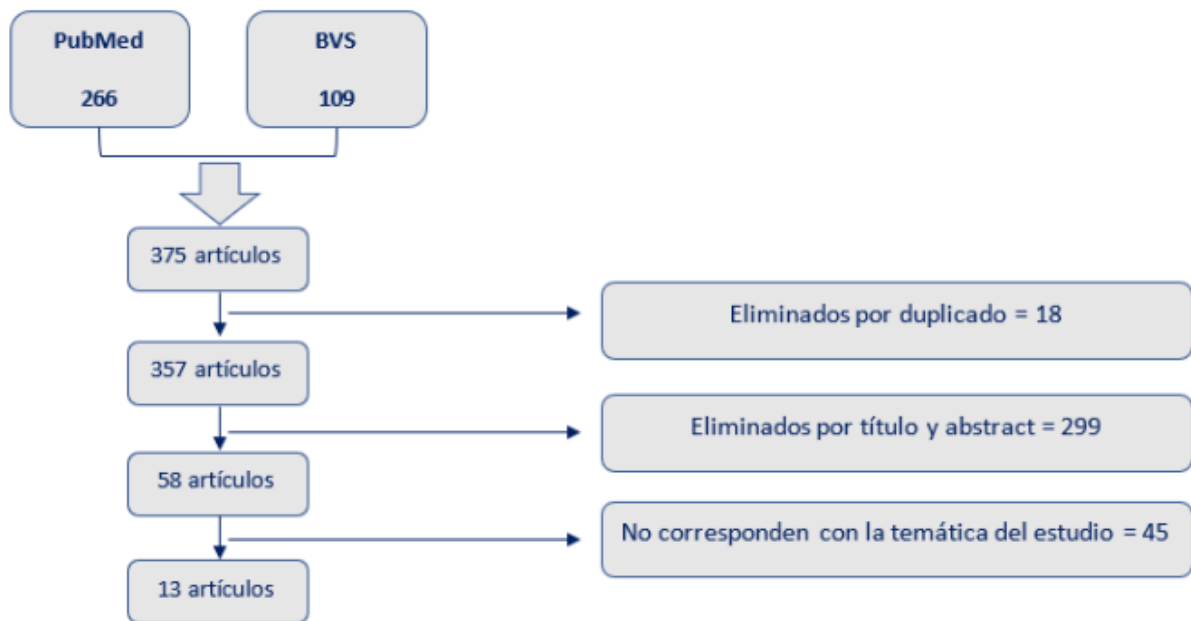
Combinaciones DeCs:

- (Termografía OR “termografía infrarroja”) AND (“Traumatismos de los tejidos blandos” OR “lesiones musculares” OR “lesión de tejidos blandos) AND (atletas OR deportistas) AND (“evaluación de riesgos” OR “identificación de riesgo” OR “riesgo de lesión”)
- (Termografía OR “termografía infrarroja”) AND (atletas OR deportistas) AND (“evaluación de riesgos” OR “identificación de riesgo” OR “riesgo de lesión”)
- (Termografía OR “termografía infrarroja”) AND (atletas OR deportistas) AND (“Traumatismos de los tejidos blandos” OR “lesiones musculares” OR “lesión de tejidos blandos)
- (Termografía OR “termografía infrarroja”) AND (“Traumatismos de los tejidos blandos” OR “lesiones musculares” OR “lesión de tejidos blandos) AND (“evaluación de riesgos” OR “identificación de riesgo” OR “riesgo de lesión”)
- (Termografía OR “termografía infrarroja”) AND (“traumatismos de los tejidos blandos” OR “lesiones musculares” OR “lesión de tejidos blandos)
- (Termografía OR “termografía infrarroja”) AND (atletas OR deportistas)
- (Termografía OR “termografía infrarroja”) AND (“evaluación de riesgos” OR “identificación de riesgo” OR “riesgo de lesión”)

Combinaciones MeSh:

- (Thermography OR “Infrared thermography”) AND (“Soft tissue injuries” OR “muscle Injuries”) AND Athletes AND (“Risk assessment” OR “risk identification” OR “risk of injury”)
- (Thermography OR “Infrared thermography”) AND Athletes AND (“Risk assessment” OR “risk identification” OR “risk of injury”)
- (Thermography OR “Infrared thermography”) AND Athletes AND (“Soft tissue injuries” OR “muscle Injuries”)
- (Thermography OR “Infrared thermography”) AND (“Soft tissue injuries” OR “muscle Injuries”) AND (“Risk assessment” OR “risk identification” OR “risk of injury”)
- (Thermography OR “Infrared thermography”) AND (“Soft tissue injuries” OR “muscle Injuries”)
- (Thermography OR “Infrared thermography”) AND Athletes
- (Thermography OR “Infrared thermography”) AND (“Risk assessment” OR “risk identification” OR “risk of injury”)

V. c. Recolección de datos



VI. RESULTADOS

VI. a. REVISIÓN DE LOS ARTÍCULOS

Para llevar a cabo un análisis más organizado de los artículos recolectados, se elaboró una tabla que contempla la siguiente información de cada uno de ellos: autores, año de publicación, título, diseño del estudio, objetivos, muestra, variables de medición, equipo de termografía utilizado, resultados y conclusiones (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de la información principal de los artículos recolectados.

AUTORES Y AÑO	TÍTULO	DISEÑO	OBJETIVOS	MUESTRA	VARIABLES DE MEDICIÓN	EQUIPO DE TERMOGRAFÍA	RESULTADOS	CONCLUSIÓN
Amaro A. M., Paulino M. F., Neto M. A., Roseiro L. ⁶⁴ 2019	Evaluación de vibraciones mano-brazo y cambios en el mapa térmico de la piel en deportistas de tenis durante el servicio	Ensayo clínico controlado (ECC)	Evaluar la exposición a la vibración mano-brazo (HAV) y los cambios en la temperatura de la piel (Tsk) en deportistas de tenis durante el servicio.	n=6 tenistas de élite (hombres) Edad media 21 a.	HAV Tsk	Cámara Flir T-430sc con una resolución de 320 × 240 píxeles Software Flir ResearchIR Max	El antivibrador influye en los valores de HAV, en cambio el Cork y/o Tourna en el grip de la raqueta no muestra un efecto significativo. Se observaron diferencias de Tsk superiores a 0,5 °C para algunos deportistas. Se produjeron variaciones importantes en las regiones de interés (ROI) contralaterales.	Los resultados de la termografía infrarroja (TIR) revelan diferencias notables en las Tsk promedio para las ROI contralaterales, lo que sugiere que esta técnica puede ser útil para detectar el riesgo de lesiones en jugadores de tenis.
Côrte A. C., Pedrinelli A., Martos A., Furlan Grava Souza I., Grava J., Hernandez A. J. ⁶¹ 2019	Estudio de termografía infrarroja como método complementario de cribado y prevención de lesiones musculares: estudio piloto	ECC	Evaluar la aplicación de la TIR como método complementario en la prevención de lesiones musculares en futbolistas profesionales.	n= 28 Futbolistas profesionales Edad media 27,15 a. (2015) y 26,5 a. (2016)	Tsk Incidencia de lesiones musculares Días de ausencia por lesión	Cámara Flir T-450sc de 320 × 240 píxeles Software Flir ResearchIR Max 4	Se registró una reducción de las lesiones musculares del 2015 al 2016 luego de la implementación del análisis termográfico y la intervención con un programa de reducción de carga en los casos en los que se identificó una asimetría >0,4°C.	Los datos de este estudio proporcionan un punto de partida para un ensayo clínico aleatorizado riguroso que podría examinar si la TIR puede contribuir a un programa de prevención de lesiones musculares.

Gómez Carmona P., Fernández Cuevas I., Sillero Quintana M., Arnáiz Lastras J., Navandar A. ¹² 2020	Protocolo de termografía infrarroja para reducir la incidencia de lesiones en el fútbol	ECC	Establecer un novedoso programa de prevención de lesiones basado en TIR y determinar su influencia en la incidencia de lesiones en futbolistas profesionales en pretemporada.	n=24 jugadores de fútbol profesional (hombres) Edad media 27,4 a.	Tsk Incidencia de lesiones Días de ausencia por lesión	Cámara Flir SC-660 de 640 × 480 píxeles Software Flir Researcher versión 2.9	De la 1 ^{ra} a la 2 ^{da} pretemporada disminuyeron la incidencia de lesiones, los días de ausencia por lesiones, la gravedad de las lesiones y el riesgo relativo de sufrir una lesión. En cambio, en cuanto al mecanismo de lesión, las dos pretemporadas obtuvieron resultados similares.	Un programa de prevención de lesiones con TIR puede reducir la presencia de lesiones al identificar a los jugadores potencialmente en riesgo.
Menezes P., Rhea M. R., Herdy C., Simão R. ⁶⁵ 2018	Efectos del programa de entrenamiento de fuerza y la termografía infrarroja en las lesiones de los deportistas de fútbol	ECC	Examinar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza periodizado y el uso de TIR en el mapeo de lesiones en jugadores de fútbol menores de 20 años (Sub-20).	n=26 jugadores profesionales de fútbol Edad media 18 a.	Fuerza Tsk Dolor Incidencia de lesiones Días de ausencia por lesión	Cámara Flir one pro de 160 × 120 píxeles	El número total de días que los jugadores estuvieron ausentes de los entrenamientos o partidos debido a una lesión disminuyó a lo largo de las fases del entrenamiento de fuerza (ST). También se mostró un mayor índice de salto vertical, sentadilla y prensa de piernas en los deportistas de fútbol sub-20.	La combinación de ST y TIR representa una estrategia útil para reducir las lesiones entre los jugadores de fútbol sub-20. Además, realizar sesiones de ST en días alternos es eficaz para mejorar la fuerza muscular.
Pérez Guarnar A., Priego Quesada J.	Asociación entre estrés fisiológico y respuesta de la temperatura de la	Observacional descriptivo	Determinar la asociación entre la Tsk y las variables de estrés fisiológico	n=17 corredores recreativos (6 mujeres y 11	Creatina quinasa (CK) Glutamato	Cámara Flir E-60 de 320x240 píxeles	Ningún modelo de regresión fue capaz de predecir el estrés fisiológico utilizando	El seguimiento de la Tsk no parece ser un método

I., Oficial Casado F., Cibrián Ortiz de Anda R. M., Carpes F. P., Palmer R. S. ⁶⁶ 2019	piel después de una media maratón		antes y después de completar una competición de media maratón.	hombres) Edad media 41 a.	oxaloacetato transaminasa (GOT) Dolor Fatiga Tsk Salto	Software Flir Researcher Pro 2.10	la Tsk. Sólo se observó una correlación bivariada pre-24 h entre la variación de la CK y la Tsk del miembro superior posterior; y pre 48h entre la variación del dolor percibido y la Tsk de la rodilla.	adecuado para detectar el estrés fisiológico tras una media maratón.
De Carvalho G., Girasol C. E., Gonçalves L. G. C., Guirro E. C. O., Guirro R. R. de J. ⁶⁷ 2021	Correlación entre temperatura de la piel en miembros inferiores y marcadores bioquímicos, datos de rendimiento y escalas de recuperación clínica	Observacional descriptivo	Evaluar la correlación entre la TIR y las herramientas de uso común, como las quejas clínicas comunes en los atletas, un marcador bioquímico de daño muscular y datos de rendimiento durante los partidos oficiales.	n= 22 futbolistas profesionales (hombres) Edad media 27,7 a.	Tsk CK Fatiga Dolor Recuperación Rendimiento	Cámara Flir T-450sc Software Flir Researcher versión 1.2	No se observó correlación entre la temperatura media de la piel analizada mediante TIR con el nivel de CK en sangre, el nivel de dolor, la percepción de recuperación o la percepción de fatiga.	La evaluación a través de la TIR de las extremidades inferiores de jugadores de fútbol profesionales no se correlacionó con el nivel de CK, el dolor, la percepción de fatiga o la recuperación, ni con las variables de rendimiento dentro del campo.
Rojas Valverde D., Gutiérrez Vargas R., Sánchez Ureña B., Gutiérrez Vargas J. C., Priego Quesada J.	Relación entre la variación de la temperatura de la piel y los marcadores de daño muscular después de un maratón realizado en condiciones ambientales	ECC	Evaluar el efecto de una carrera de maratón realizada a una temperatura ambiental cálida sobre la Tsk inicial del día siguiente y analizar la relación entre la respuesta de Tsk inicial y las	n= 16 corredores de maratón recreativos (9 hombres y 7 mujeres) Edad media 36 a.	Creatina quinasa sérica (sCK) Lactato deshidrogenasa sérica (sLDH) Tsk	Cámara Flir T-440 de 320 × 240 píxeles Software Flir Researcher Pro 2.10	Se registraron niveles más altos de sCK y sLDH después del maratón en comparación con los observados 45' antes. La Tsk fue más elevada el día después del maratón	Realizar un maratón en un ambiente caluroso conduce a un aumento en la Tsk el día siguiente. No se observó relación entre la variación de la

I. ⁶⁸ 2021	calurosas		variaciones de los marcadores de daño muscular.				que en los otros tres momentos de medición.	Tsk y los marcadores de daño muscular.
Pinheiro A. M., Tuono A. T., Viera N. A., Rezende T. M., Borin S. H., Hartz Ch. S., Padovani C. R., Torres F. C., Borin J. P. ⁶⁹ 2021	Efecto agudo del test de velocidad sobre la temperatura de la piel de jugadoras de fútbol de élite	Observacional descriptivo	Verificar el efecto agudo de la aplicación de un test de velocidad de desplazamiento sobre la Tsk de atletas de fútbol femenino de élite, las asimetrías térmicas pre y post test y comparar respuestas en las regiones anterior y posterior de miembros inferiores.	n= 17 futbolistas élite (mujeres) Edad media 21,9 a.	Velocidad de desplazamiento Tsk	Cámara Flir E-8 de 320 × 240 píxeles Software Flir Researcher Tools	Después del test hubo un aumento de la Tsk en todas las ROI analizadas, lo que indica que no hubo asimetría térmica entre el lado dominante y no dominante. En cuanto al análisis de la región anterior, fue posible observar mayor temperatura en la región de los músculos tibiales en comparación con los músculos de la región del cuádriceps.	La TIR es útil para comprender las respuestas térmicas de los miembros inferiores después del test de velocidad, por lo que puede guiar la planificación de las sesiones de entrenamiento y ayuda a detectar sobrecargas anormales lo que contribuye a prevenir lesiones.
Priego Quesada J. I., Oficial Casado F., Gandia Soriano A., Carpes F. P. ⁷⁰ 2019	Una investigación preliminar sobre la observación de las temperaturas cutáneas regionales después de cargas de entrenamiento acumuladas en triatletas durante el campo de entrenamiento	Observacional descriptivo	El objetivo de este estudio preliminar fue determinar las Tsk regionales de triatletas que participan en un campo de entrenamiento con carga de entrenamiento acumulada.	n= 10 triatletas recreativos (hombres) Edad media 40 a.	Dolor Fatiga Tsk Rendimiento del salto	Cámara Flir E-60, de 320x240 Software Flir Researcher Pro 2.10	La altura del salto no difirió entre las mediciones. La percepción de fatiga y dolor y la Tsk media y máxima aumentaron en la mayoría de las regiones del cuerpo. La Tsk en algunas regiones estuvo directamente relacionada con el % de masa muscular y el volumen de entrenamiento semanal, e	Estos resultados dan paso a futuras investigaciones destinadas a comprender los factores que influyen en la relación entre la carga de entrenamiento y la respuesta de la Tsk durante días consecutivos de entrenamiento.

							inversamente relacionada con la fatiga.	
Priego Quesada J. I., De la Fuente C., Kunzler M. R., Pérez Soriano P., Hervás Marín D., Carpes F. P. ⁷¹ 2020	Relación entre la temperatura de la piel, las manifestaciones eléctricas de la fatiga muscular y el dolor muscular de aparición tardía inducido por el ejercicio para las contracciones dinámicas: un estudio preliminar	ECC	Verificar si la Tsk y las manifestaciones de frecuencia de fatiga durante el ejercicio de masa muscular pequeña están relacionadas y pueden predecir el dolor muscular de aparición tardía (DOMS).	n=20 deportistas (hombres) Edad media 27 a.	Fatiga DOMS Tsk	Cámara Flir E-60, de 320 × 240 píxeles Software Flir Researcher Tools	Se observó fatiga muscular significativa y un aumento de la Tsk durante el ejercicio. DOMS apareció 24 horas después del ejercicio. No se encontró correlación entre los cambios en Tsk, y la fatiga muscular durante el ejercicio con DOMS después de 24 horas del mismo.	Nuestros resultados preliminares no respaldan el uso de mediciones de la Tsk durante el ejercicio para predecir DOMS 24 h después del mismo.
Cabizosu A., Marín Pagán C., Martínez Serrano A., Alcaraz P.E., Martínez Noguera F.J ⁷² 2023	Termorregulación miotendinosa en velocistas de nivel nacional después de un episodio agudo de fatiga unilateral: un estudio descriptivo	ECC	Describir las variaciones bilaterales en la Tsk de la parte anterior del muslo y el tendón rotuliano en atletas sanos y proporcionar un modelo de termorregulación basal del tendón y el músculo en velocistas sanos siguiendo, in situ, un protocolo de fatiga isocinética unilateral.	n= 15 velocistas (11 hombres y 4 mujeres) Edad de 18 a 30 a.	Fatiga isocinética unilateral Tsk	Cámara Flir E-75 de 320 × 240 píxeles	Se muestra una disminución de la Tsk en las regiones musculares. En la región anterior del muslo se observó una disminución progresiva de la Tsk de forma bilateral a medida que aumentaba la fatiga muscular, volviéndose más evidente y estadísticamente significativa solo en el muslo izquierdo al final del protocolo.	La TIR puede ser una buena herramienta para seguir y monitorizar de forma instantánea e in situ la respuesta metabólica muscular en corredores profesionales.
Md Shakhieh M.F.,	Monitoreo no obstructivo de la	ECC	Investigar la correlación entre la	20 hombres	Fatiga	Cámara Flir E-7640 de 640 ×	Los cambios observados en los	Se sugiere que para evaluar de

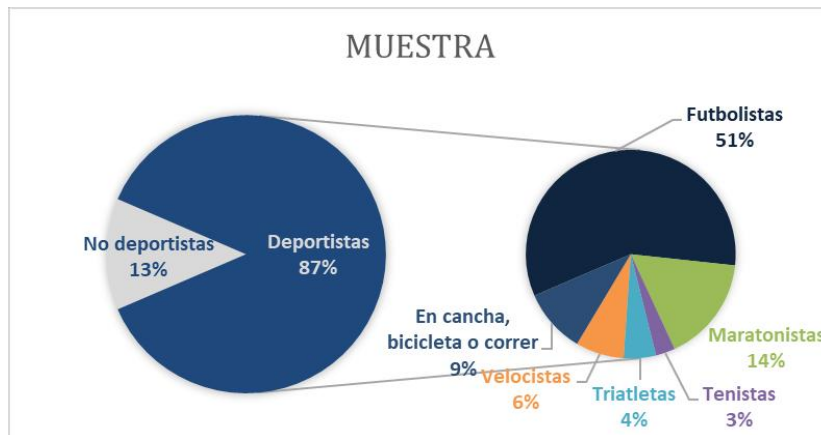
<p>Ridzuan N., Abdul Wahab A., Zainuddin N.F., Ulta Delestri L.F., Roslan A.S., Abdul Kadir M.R. ⁷³</p> <p>2021</p>	<p>fatiga muscular para ejercicio dinámico de baja intensidad con técnica de termografía infrarroja</p>		<p>Tsk y los parámetros de activación muscular obtenidos utilizando los métodos TIR y sEMG simultáneamente.</p>	<p>Edad media 21 a.</p>	<p>Tsk</p>	<p>480 píxeles</p>	<p>parámetros EMG, que se utilizan comúnmente como indicadores de fatiga muscular, parecieron verse afectados significativamente y correlacionados con los cambios de Tsk.</p>	<p>manera eficiente y concisa la fatiga muscular mediante la TIR, la diferencia de temperatura y los parámetros de temperatura promedio se pueden emplear como indicadores de la fatiga muscular durante el ejercicio dinámico de baja intensidad.</p>
<p>Perpetuini D., Formenti D., Cardone D., Trecroci A., Rossi A., Di Credico A., Merati G., Alberti G., Di Baldassarre A., Merla A. ⁷⁴</p> <p>2023</p>	<p>¿Pueden los enfoques de aprendizaje automático supervisado basado en datos aplicados a datos de imágenes térmicas infrarrojas estimar la actividad muscular y la fatiga?</p>	<p>ECC</p>	<p>Encontrar correlaciones entre las métricas evaluadas a partir de la señal EMG y las características de la señal TIR.</p>	<p>10 adultos (6 hombres y 4 mujeres)</p> <p>Edad media 21,8 a.</p>	<p>Actividad muscular</p> <p>Fatiga</p> <p>Tsk</p>	<p>Cámara Flir SC-660</p>	<p>ROI3 entregó el mejor rendimiento tanto para el valor medio rectificado como para la frecuencia media entre los ROI considerados; el ROI2 produjo las estimaciones más pobres de los parámetros de EMG; y el ROI1 no presentó resultados óptimos.</p>	<p>Sugieren un vínculo potencial entre la Tsk, la actividad muscular y la fatiga, fomentando el empleo de métodos sin contacto para proporcionar métricas de actividad muscular de una manera cómoda y no invasiva en aplicaciones deportivas.</p>

VI. b. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de haber realizado la búsqueda bibliográfica en PubMed y la Biblioteca Virtual en Salud se recolectaron trece artículos, los cuales datan entre el año 2018 y el año 2023 ^(12, 61, 64-74). En cuanto a su diseño, nueve fueron ensayos clínicos controlados ^(12, 61, 64, 65, 68, 71-74) y cuatro fueron observacionales descriptivos ^(66, 67, 69, 70).

Esta revisión abarcó un total de 231 participantes de los cuales 139 eran hombres ^(12, 64, 66-68, 70-74) y 38 mujeres ^(66, 68, 69, 72, 74), mientras que en dos de los artículos no se aclaró el género ^(61, 65). La muestra fue conformada por 201 deportistas ^(12, 61, 64-72) y 30 participantes que no realizaban práctica deportiva ^(73, 74). Entre los deportistas, 117 eran futbolistas ^(12, 61, 65, 67, 69), 33 maratonistas ^(66, 68), 15 velocistas ⁽⁷²⁾, 10 triatletas ⁽⁷⁰⁾, 6 tenistas ⁽⁶⁴⁾ y 20 realizaban deportes en cancha, bicicleta o corrían ⁽⁷¹⁾. De estos, 123 competían a nivel profesional ^(12, 61, 64, 65, 67, 69), mientras que 78 lo hacían de forma recreativa ^(66, 68, 70-72) (Figura 3). Doce de los artículos analizados presentaron la edad media de los participantes, con un valor promedio de 27.4 años ^(12, 61, 64-71, 73, 74); en contraste, el artículo restante no proporcionó esta información, pero incluyó a individuos con un rango de edad entre los 18 y los 30 años ⁽⁷²⁾.

Figura N°3. Muestra del estudio.



Los trece artículos incluidos en la revisión examinaron la variable “temperatura de la piel” (Tsk), la cual fue evaluada mediante termografía infrarroja (TIR) ^(12, 61, 64-74). Respecto al equipo utilizado, tres estudios emplearon la cámara Flir E-60 con una resolución de 320x240 píxeles ^(66, 70, 71), dos utilizaron la versión T-450sc de 320 × 240 píxeles ^(61, 67), otros dos la versión SC-660 de 640 × 480 píxeles ^(12, 74), uno la versión T-430sc de 320 × 240 píxeles ⁽⁶⁴⁾, uno la versión one pro de 160 × 120 píxeles ⁽⁶⁵⁾, uno la versión T-440 de 320 × 240 píxeles ⁽⁶⁸⁾, uno la versión E-8 de 320 × 240 píxeles ⁽⁶⁹⁾, uno la versión E-75 de 320 × 240 píxeles ⁽⁷²⁾ y otro la versión E-7640 de 640 × 480 píxeles ⁽⁷³⁾ (Figura 4). En cuanto al Software utilizado para analizar las imágenes termográficas, tres estudios utilizaron el software Flir Researcher

Pro 2.10 ^(66, 68, 70), otros dos la versión Tools ^(69, 71), uno la versión Max 4 ⁽⁶¹⁾, uno la versión Max ⁽⁶⁴⁾, uno la versión 2.9 ⁽¹²⁾ y otro la versión 1.2 ⁽⁶⁷⁾, mientras que en cuatro artículos no se especificó el software utilizado ^(65, 72-74). En todos los artículos se encontró una correlación positiva en cuanto a la capacidad de la TIR para captar las variaciones de la Tsk (Figura 5).

Figura N°4. Modelos de las cámaras utilizadas en los diferentes estudios para la toma de imágenes térmicas.

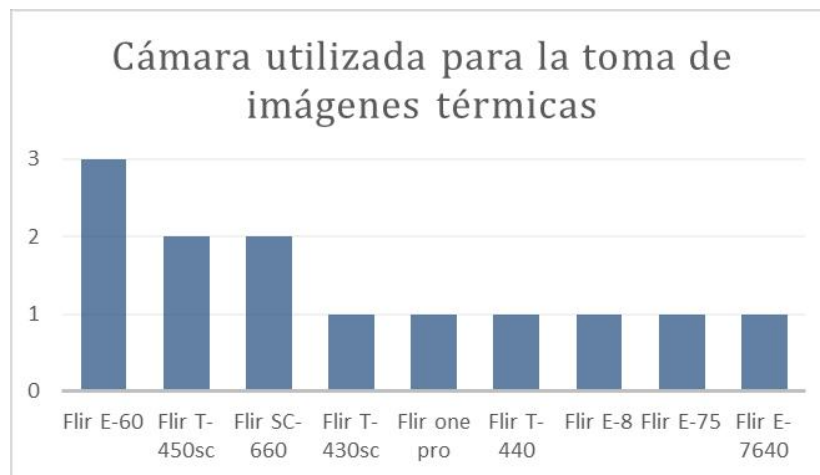
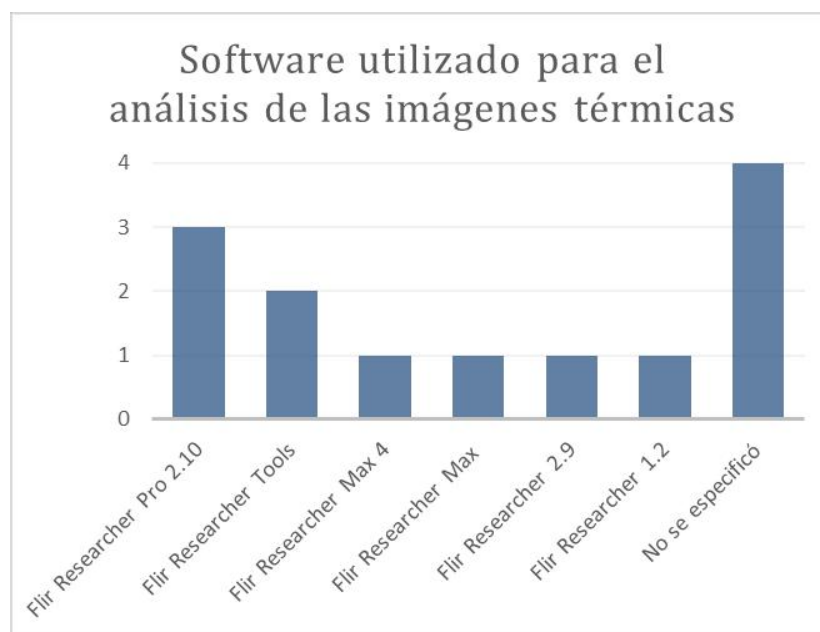


Figura N°5. Modelos de los softwares utilizados en los diferentes estudios para el análisis de las imágenes térmicas.



La variable “fatiga” fue evaluada en siete de los artículos revisados ^(66, 67, 70-74). En dos de ellos fue evaluada a través de una escala análoga visual ^(66, 70), en otros dos mediante electromiografía (EMG) combinada con TIR ^(73, 74), en uno a través de una escala de recuperación clínica ⁽⁶⁷⁾ y en otro mediante EMG sola ⁽⁷¹⁾, mientras que en un artículo no se

especificó la herramienta utilizada para la evaluación ⁽⁷²⁾. En dos de estos estudios se observó que un aumento en la fatiga coincidía con un aumento en la Tsk ^(73, 74), contrariamente, en otros dos se observó una relación inversa entre estas variables, indicando que un aumento en la fatiga resultaba en una disminución en la Tsk ^(70, 72). Por otro lado, en tres de los artículos no se halló una relación entre los valores de fatiga y los de Tsk ^(66, 67, 71).

En tres de los artículos analizados se investigó una posible relación entre los valores de Tsk y los biomarcadores de daño muscular ⁽⁶⁶⁻⁶⁸⁾, específicamente la creatina quinasa (CK) ⁽⁶⁶⁻⁶⁸⁾, la glutamato oxaloacetato transaminasa (GOT) ⁽⁶⁶⁾ y la lactato deshidrogenasa sérica (sLDH) ⁽⁶⁸⁾. La medición de éstas variables se llevó a cabo mediante análisis de laboratorio tras la extracción de sangre. Sin embargo, los resultados de todos los estudios no mostraron una relación entre estas variables, indicando que la TIR no se correlacionó con dichos biomarcadores de daño muscular.

Además se examinó a la variable “incidencia de lesiones” en tres estudios ^(12, 61, 65), de los cuales solo uno se centró en el análisis exclusivo de lesiones musculares ⁽⁶¹⁾, mientras que los otros dos también abordaron lesiones articulares, traumáticas y tendinosas ^(12, 65). En dos de ellos la incidencia de lesiones se calculó como el número de lesiones por cada 1000 horas de exposición ^(12, 61), mientras que en el otro se calculó cada 100 horas de exposición ⁽⁶⁵⁾. Se observó que la asociación de la TIR, junto a un programa preventivo ^(12, 61) o a un programa de entrenamiento de fuerza ⁽⁶⁵⁾, logró disminuir la incidencia de lesiones. Estos hallazgos estaban directamente vinculados con la variable “días de ausencia por lesión” ^(12, 61, 65), por lo que al disminuir dicha incidencia, también disminuían los días de ausencia. Para su medición uno de ellos empleó la regresión de Cox ⁽⁶⁵⁾, mientras que en los otros dos ^(12, 61) no se especificó el método utilizado.

Con respecto a los factores técnicos, ambientales e individuales que podrían sesgar los resultados, se observó que en los trece artículos analizados se implementó un control de los mismos ^(12, 61, 64-74). En relación al enmascaramiento, tanto del evaluador como de los evaluados, once de los estudios analizados no aclararon si se tomó alguna medida para disminuir el sesgo ^(12, 61, 64-66, 68-71, 73, 74), en cambio, un estudio indicó que fue simple ciego ⁽⁶⁷⁾ y otro indicó que el procesamiento de las imágenes fue realizado por dos investigadores ciegos ⁽⁷²⁾.

Por otro lado, en los artículos analizados se observó que las imágenes termográficas fueron obtenidas en diferentes momentos. En seis de ellos se capturaron tanto antes como después de la actividad ^(61, 65, 66, 68-70), en dos de ellos antes, durante y después ^(64, 72), en uno

solo después de la actividad ⁽⁶⁷⁾, en otro de ellos antes y durante ⁽⁷¹⁾ y en otro únicamente antes de la actividad ⁽¹²⁾, mientras que en dos artículos no se especificó el momento de obtención de las imágenes ^(73, 74) (Figura 6). Además, en uno de ellos se añadió otro momento de medición cuando se reportaba dolor o cuando la temperatura de la termografía mostraba una asimétrica mayor a 0,7°C ⁽⁶⁵⁾. Sólo en cinco artículos se detalló el momento exacto del día en que se llevó a cabo la evaluación, ^(12, 66, 68, 70, 71) mientras que en los demás artículos no se proporcionó esta información ^(61, 64, 65, 67, 69, 72-74).

Figura N°6. Momentos en los que se llevó a cabo la evaluación con la TIR en relación a la actividad.



Respecto a las regiones de interés (ROI) analizadas mediante TIR, en todos los artículos se detalló la cantidad de áreas que fueron evaluadas ^(12, 61, 64-74). En tres estudios se examinaron 2 ROI ^(65, 71, 73), en dos 4 ROI ^(69, 72), en uno se analizaron 3 ROI ⁽⁷⁴⁾, en uno 8 ROI ⁽⁷⁰⁾, en uno 10 ROI ⁽⁶⁶⁾, en uno 12 ROI ⁽⁶¹⁾, en uno 13 ROI ⁽⁶⁸⁾, en uno 20 ROI ⁽⁶⁴⁾, en uno 25 ROI ⁽¹²⁾ y en otro 28 ROI ⁽⁶⁷⁾.

VII. DISCUSIÓN

El propósito del análisis de estos artículos fue investigar la eficacia de la termografía infrarroja (TIR) como una herramienta complementaria en la evaluación para detectar riesgos asociados a lesiones musculares, así como su impacto en la reducción de la incidencia de estas lesiones. ^(12, 61, 64-74)

El primer objetivo específico de esta revisión consistió en determinar la capacidad de la TIR para cuantificar la sobrecarga o fatiga muscular. Tras el análisis de los estudios se ha constatado que la TIR es una herramienta efectiva en detectar sobrecarga del tejido muscular a través de la presencia de variaciones en la Tsk. Sin embargo, no se ha encontrado evidencia que respalde la capacidad de la TIR para cuantificar de manera objetiva la magnitud de dicha sobrecarga, ya que los valores de Tsk no permiten establecer un grado cuantitativo de la misma. Esto se refleja en tres de los estudios incluidos, en los cuales la TIR fue comparada con marcadores sanguíneos de daño muscular, comúnmente utilizados para cuantificar el daño inducido por el ejercicio ⁽⁶⁶⁻⁶⁸⁾. En uno de ellos, se evaluó a la creatina quinasa (CK) y la glutamato oxaloacetato transaminasa (GOT) en relación con los valores de temperatura de la piel (Tsk), sin encontrar una correlación significativa ⁽⁶⁶⁾. En otro, se investigó la relación entre la Tsk y la CK, sin hallar una asociación entre estas variables ⁽⁶⁷⁾. Por último, en el tercer estudio, al analizar la relación entre los niveles de CK sérica y de lactato deshidrogenasa sérica (sLDH) con los de Tsk, tampoco se encontraron relaciones ⁽⁶⁸⁾. En conclusión, se puede inferir que la TIR no debe ser empleada como método único de evaluación, sino más bien como un complemento en el análisis de la sobrecarga muscular.

En respuesta al segundo objetivo específico, luego de analizar los resultados obtenidos en tres de los artículos ^(12, 61, 65), se puede determinar que existe una relación entre la sobrecarga muscular identificada por la asimetría térmica en la superficie de la piel, con el riesgo asociado a sufrir una lesión muscular. Los hallazgos indican que, si al detectar una asimetría bilateral en la Tsk a través de la TIR, se implementa un programa preventivo ^(12, 61) o un programa de entrenamiento de fuerza ⁽⁶⁵⁾, se puede lograr una reducción significativa de la incidencia de lesiones musculares. En dos de estos estudios se aplicó un tratamiento preventivo al detectar una asimetría superior a $0,4^{\circ}\text{C}$ ⁽⁶¹⁾ o $0,5^{\circ}\text{C}$ ⁽¹²⁾, que consistía en modificar las cargas de entrenamiento y en aplicar crioterapia, fisioterapia ^(12, 61), masajes y botas de recuperación ⁽⁶¹⁾, lo que resultó en una disminución de la incidencia de lesiones de un año al otro ⁽⁶¹⁾ y en una reducción, tanto en la incidencia como en el riesgo relativo de sufrir una lesión, de la primera a la segunda pretemporada ⁽¹²⁾. En el otro, al detectar una asimetría mayor a $0,7^{\circ}\text{C}$, se intervino a través de la implementación de un programa de

entrenamiento de fuerza periodizado en cuatro mesociclos, con énfasis en la mejora de la potencia muscular de todo el cuerpo, obteniendo como resultado una disminución en los días de ausencia en entrenamientos o partidos debido a lesiones ⁽⁶⁵⁾.

El tercer objetivo específico fue indagar sobre el momento óptimo para realizar la evaluación con TIR en deportistas, con el fin de detectar precozmente los riesgos asociados a lesiones musculares. En este sentido, se observó que en diez artículos se realizaba una evaluación de la Tsk previa a la realización de la actividad física ^(12, 61, 64-66, 68-72), siendo este valor previo crucial para obtener un patrón de Tsk de control, conocido como perfil térmico. En uno de estos estudios, la evaluación previa se llevó a cabo 15 días antes de una maratón para eliminar los efectos de la activación simpática del sistema nervioso autónomo que pueden surgir el mismo día previo a la competencia, y al valor obtenido se lo comparó con otro que se evaluó a los 6 días de la maratón, no encontrando diferencias entre las evaluaciones, lo que sugiere que una medición de la Tsk 15 días antes de la competencia, podría considerarse como un valor de referencia para evaluaciones posteriores ⁽⁶⁸⁾. Por otro lado, en diez estudios la evaluación se llevó a cabo luego de realizar la actividad física ^(12, 61, 64-70, 72), en uno de ellos, donde se comparó el nivel de biomarcadores de daño muscular con la respuesta de la Tsk, las evaluaciones fueron realizadas 48 horas después de cada partido ⁽⁶⁷⁾. Se realizaron en este período dado que el pico de dolor muscular y creatina quinasa presente en la sangre se produce entre las 48 y 72 horas después del ejercicio, como se menciona en dos de los estudios ^(61, 67). Sin embargo, no fue posible observar una correlación entre estas variables dentro de este lapso de tiempo, por lo que se plantea la necesidad de realizar más estudios para determinar el mejor momento de aplicación de la TIR en el deporte ⁽⁶⁷⁾. Respecto al horario específico en el cual es conveniente llevar a cabo las mediciones, seis estudios controlaron que las evaluaciones sean realizadas a la misma hora del día con el objetivo de minimizar los efectos del ritmo circadiano, ^(12, 66, 68, 70, 71, 74) e incluso, uno de ellos sugiere que medir la Tsk por la mañana y antes del desayuno, cuando el flujo sanguíneo es menor, podría reflejar mejor el efecto del entrenamiento sobre la Tsk ⁽⁷⁰⁾. A pesar de ello, estos resultados no son concluyentes debido a la variabilidad en el momento de evaluación que se dio en todos los estudios analizados. Es por esto que resulta complejo establecer un periodo específico en el cual se deban realizar las evaluaciones, aunque, cabe destacar que uno de los estudios recomienda que las mediciones deben realizarse con una frecuencia elevada para lograr resultados exitosos ⁽⁶¹⁾. Luego de este análisis se puede concluir que, para dar respuesta a esta problemática, se requieren más investigaciones que busquen establecer un protocolo estandarizado para definir el momento óptimo de evaluación en relación al tipo de actividad física.

Por último, el objetivo específico restante se basó en identificar si se controlaron los factores ambientales, individuales y técnicos que pueden sesgar los resultados de la evaluación con TIR en los artículos encontrados. En lo que respecta a los factores técnicos se puede observar que los trece artículos recolectados mencionan los equipos utilizados ^(12, 61, 64-74), sin embargo, cuatro de ellos no especificaron el software empleado para el análisis de las imágenes termográficas ^(65, 72-74). Saber cuáles fueron los equipos utilizados no solo es importante para conocer la calidad de las imágenes resultantes, sino también, para permitir la comparación entre los resultados de los diferentes estudios. En este sentido, se observó que únicamente tres estudios utilizaron la misma cámara, ^(66, 70, 71) aunque solo dos de ellos compartieron el mismo software ^(66, 70). Además, otros dos estudios utilizaron la misma cámara, pero no compartieron el mismo software, ^(61, 67) situación que se repitió en dos estudios más ^(12, 74). También se observó que dos estudios utilizaron el mismo software, pero no compartieron la misma cámara ^(69, 71). En lo que resta de los estudios no se observaron otras coincidencias en cuanto al equipamiento utilizado. En conclusión, la variedad de equipamientos dificulta la comparación de los resultados entre los artículos recolectados.

Respecto a los factores individuales, todos los artículos analizados detallaron tanto los factores intrínsecos como los extrínsecos de los participantes ^(12, 61, 64-74), excepto en tres estudios en los que sólo se especificaron los intrínsecos ^(64, 65, 73). Aquí se hará hincapié específicamente en los factores extrínsecos, debido a que son más susceptibles de ser modificados. Se observó que en diez estudios se les proporcionó indicaciones a los participantes respecto a evitar la ingesta de ciertos alimentos, bebidas, medicamentos y tabaco ^(12, 61, 66-72, 74). Por otro lado, en ocho de los estudios se indicó a los participantes que evitaran la aplicación de determinados productos tópicos como cosméticos, antiinflamatorios, ungüentos, químicos y lociones ^(12, 61, 66-72). También en cinco estudios se dieron indicaciones respecto a evitar la realización de ciertas terapias como fisioterapia, masoterapia y crioterapia ^(12, 66, 69-71). Por último, en seis de los artículos se hicieron recomendaciones sobre la actividad física reciente, incitando a los participantes a evitar la actividad física de alta intensidad en las 12, 24 o 48 horas previas a las evaluaciones, ^(66, 69-72, 74) o no realizar ejercicios físicos en las 24 horas anteriores a la recolección de datos ⁽⁶⁹⁾. Es importante destacar que el control de estos factores se realizó a través de recomendaciones a los participantes, sin tener un control absoluto sobre los mismos, por lo que la reducción del sesgo en los resultados dependerá, en parte, de la responsabilidad individual de cada participante.

En cuanto a los factores ambientales, se observó que los trece artículos recolectados detallaron características del entorno donde se llevó a cabo la evaluación ^(12, 61, 64-74). En

once de los estudios se aplicó un período de aclimatación previa para lograr el equilibrio térmico entre el cuerpo y el medio ambiente antes de iniciar la adquisición de imágenes ^(61, 64, 65, 67-74), el cual variaba entre los diferentes estudios pudiendo ser de 8 minutos ⁽⁶⁴⁾, 10 minutos ^(70, 71), 15 minutos ^(65, 67, 68, 74), al menos 15 minutos ^(61, 73) o 20 minutos ^(69, 72). Por otro lado, respecto a la humedad relativa de la habitación, nueve de los estudios especificaron sus valores, los cuales se encontraban en un rango de $20 \pm 1\%$ y 65% ^(12, 61, 66, 68, 70-74). Los valores de la temperatura ambiente fueron detallados en los trece estudios, variando entre 18°C y 24°C ^(12, 61, 64-74). Además, en dos estudios se detallaron los valores de la presión atmosférica, encontrándose un valor de $0,96 \pm 0,04 \text{ atm}$ ⁽¹²⁾ y 1 atm ⁽⁷²⁾. A su vez, en seis estudios se implementaron también medidas para evitar la interferencia de otras ondas de radiación, como un panel antirreflectante como fondo del termograma ^(66, 68, 71, 73), áreas sin luz solar ^(66, 67, 74), zonas sin corriente de aire ^(66, 74), la presencia únicamente del técnico en termografía y el participante en el espacio de medición ⁽⁶⁶⁾, la ausencia de equipos electrónicos cerca del espacio de medición ⁽⁶⁶⁾, y la ausencia de generadores de calor o frío ^(67, 68). Tras el análisis de estos factores, se destaca la importancia de detallar meticulosamente las características del entorno donde se toman las fotografías debido a la gran diversidad de variables que pueden modificar los resultados y dificultar la comparación de estos en todos los artículos recolectados.

Como se mencionó anteriormente, dada la amplia gama de factores que pueden intervenir en las mediciones de la Tsk mediante la TIR, se han desarrollado listas de verificación con el fin de garantizar la calidad en las evaluaciones. Entre estas, destaca la “lista de verificación de Imágenes Termográficas en Medicina del Deporte y el Ejercicio” (TISEM) ⁽³²⁾, la cual fue utilizada en tres de los estudios ^(68, 70, 71) (Anexo 1). Se considera que el desarrollo y la estandarización de este tipo de listas, seguido por su implementación, permitirá obtener resultados de mayor calidad y facilitar la comparación entre los diferentes estudios.

El objetivo general de esta revisión consistió en indagar la eficacia de la TIR como herramienta de evaluación para identificar riesgos asociados a lesiones musculares en deportistas. Para ello fueron incluidos trece artículos científicos ^(12, 61, 64-74), de los cuales, nueve demostraron que la TIR puede ser una herramienta potencial para identificar riesgos asociados a lesiones musculares en esta población ^(12, 61, 64, 65, 69, 70, 72-74).

Sin embargo, se considera que estos resultados deben tomarse con cautela, ya que durante el desarrollo de este trabajo se han identificado una serie de limitaciones. En primer lugar, los trece artículos incluidos en esta revisión presentan muestras muy pequeñas ^(12, 61, 64-74), siendo de 28 participantes el estudio con la muestra más grande ⁽⁶¹⁾. Además, algunos

estudios contaron con una pobre variabilidad en la misma en cuanto a sexo ^(12, 66, 68, 70, 71), edad ^(12, 70), disciplina practicada ⁽¹²⁾ y condición física ^(68, 70), haciendo que la muestra no refleje con precisión las características de la población, dificultando la generalización de los hallazgos. Por otro lado, solo uno de los artículos analizados contó con un grupo control al cual no se le evaluó mediante la TIR ⁽⁶¹⁾, lo que dificulta determinar si los resultados obtenidos a través de esta herramienta en el resto de los estudios fueron realmente precisos y válidos ^(12, 64-74). Además, seis de los estudios incluidos en esta revisión se trataban de estudios preliminares que planteaban la necesidad de que se realicen futuras investigaciones más sólidas y extensas ^(12, 61, 64, 70, 71, 74). También, otra limitación que se encontró durante el análisis, fue la falta de comparación de la TIR con biomarcadores de daño muscular para poder determinar su eficacia, lo cual solo se realizó en tres estudios ^(66, 67, 68). Además, como ya se ha mencionado, es crucial realizar un control estricto del ambiente donde se lleva a cabo la evaluación, en este sentido, se ha observado que en dos de los estudios la evaluación no se realizó en un ambiente de laboratorio, lo que podría introducir sesgos en los resultados ^(64, 66).

VIII. CONCLUSIÓN

En base a los datos recopilados en esta revisión bibliográfica, se concluye que la detección de asimetrías térmicas en la superficie de la piel, identificadas a través de la termografía infrarroja (TIR), se correlaciona con el riesgo de sufrir lesiones musculares. De todos modos, la capacidad de la TIR para cuantificar de manera objetiva la magnitud de dicha sobrecarga, presenta evidencia insuficiente. Por ello, se sugiere considerarla como una herramienta complementaria en el análisis de la sobrecarga muscular.

Hasta la fecha, la evidencia disponible carece de una definición clara del momento óptimo para llevar a cabo la evaluación mediante la TIR en deportistas. Se aconseja realizar las mediciones con una frecuencia elevada para obtener resultados más confiables.

La implementación de un control exhaustivo sobre los factores susceptibles de sesgar los resultados, tanto de índole técnica, individual como ambiental, garantiza una mayor precisión y calidad en los datos obtenidos e incrementa la posibilidad de su replicación. Dado que aún no existe un protocolo estandarizado para realizar evaluaciones mediante la TIR, se considera que se necesitan más estudios específicamente diseñados con este propósito.

Los estudios incluidos en esta revisión han presentado limitaciones como la presencia de una muestra pequeña y poco variable, la falta de estudios que involucren un grupo control, la implementación de estudios preliminares, la falta de comparación de la TIR con biomarcadores de daño muscular y la realización de las evaluaciones fuera de un laboratorio, favoreciendo así la presencia de sesgos en los resultados.

La TIR se caracteriza por ser una herramienta segura, objetiva, no invasiva, no radiactiva, indolora, portátil y de rápida acción, cuyo potencial podría ampliarse aún más, tanto en el ámbito deportivo como en el de la salud, debido al significativo avance que ha experimentado en tiempos recientes. Esto podría lograrse mediante mejoras significativas en la calidad metodológica de los ensayos clínicos, las cuales han sido en gran medida detalladas en el presente trabajo en relación con esta técnica en particular, así como también en lo que respecta a la termorregulación humana y el comportamiento de la temperatura cutánea.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Romero Rodriguez D., Tous Fajardo J. Prevención de lesiones en el deporte: claves para un rendimiento deportivo óptimo. 1a ed. Madrid: Médica Panamericana; 2010. 1-57 p.
2. Fernández Cuevas I. Aplicación de la termografía infrarroja para la prevención, seguimiento de lesiones y apoyo al diagnóstico en el deporte y la salud. 15º Congreso Internacional de Ciencias del Deporte y la Salud; 2019 Nov 8-9; Pontevedra, España. Medizinische Hochschule Hannover y ThermoHuman; 2019.
3. Casáis Martínez L. Revisión de las estrategias para la prevención de lesiones en el deporte desde la actividad física. Apunts Medicina de l'Esport [Internet]. 1 de enero de 2008 [acceso el 13 de mayo de 2023]; 43(157): 30-40. DOI: 10.1016/S1886-6581(08)70066-5
4. Marconcin P., Silva A. L., Flôres F., Nunes A., Lourenço J. F., Peralta M., et al. Association between Musculoskeletal Injuries and Depressive Symptoms among Athletes: A Systematic Review. Int J Environ Res Public Health [Internet]. 15 de junio de 2023 [acceso el 24 de julio de 2023]; 20(12): 6130. DOI: 10.3390/ijerph20126130
5. Fitzgerald R., Kaufer H., Malkani AL. Ortopedia. 2a ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2004. 579-591 p.
6. Martinez Morillo M., Pastor Vega JM., Sendra Portero F. Manual de medicina física. 1a ed. Madrid: Harcourt Brace; 2000. 244-253 p.
7. Arnaiz Lastras J., Fernández Cuevas I., Lopez Diaz C.J., Gómez Carmona P., Sillero Quintana M. Aplicación práctica de la termografía infrarroja en el fútbol profesional. Revista de Preparación Física en el Fútbol [Internet]. 20 de septiembre de 2014 [acceso el 15 de mayo de 2023]; 3(13): 6-15. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/279447299_Aplicacion_practica_de_la_termografia_infrarroja_en_el_futbol_profesional
8. Porth C. M. Fisiopatología. Salud-enfermedad: un enfoque conceptual. 7a ed. Madrid: Médica Panamericana; 2006. 201-215 p
9. Berne R. M., Levy M. N. Fisiología. 3a ed. Madrid: Elsevier; 2002. 276-288 p.
10. Frontera W. R., Herring S. A., Micheli L. J., Silver J. K. Medicina deportiva clínica: tratamiento médico y rehabilitación. 1a ed. Madrid: Elsevier España; 2008. 149-166 p.
11. Ring E. F. J., Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. Physiol Meas [Internet]. 28 de febrero de 2012 [acceso el 15 de mayo de 2023]; 33(3): 33-46. DOI: 10.1088/0967-3334/33/3/R33
12. Gómez Carmona P., Fernández Cuevas I., Sillero Quintana M., Arnaiz Lastras J., Navandar A. Infrared Thermography Protocol on Reducing the Incidence of Soccer

- Injuries. *Journal of Sport Rehabilitation* [Internet]. 17 de marzo de 2020 [acceso el 13 de mayo de 2023]; 29 (8): 1222-1227. DOI: 10.1123/jsr.2019-0056
13. Fernández-Cuevas I., Bouzas Marins J. C., Arnáiz Lastras J., Gómez Carmona P. M., Piñonosa Cano S., García Concepción M. Á., et al. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Physics & Technology* [Internet]. 1 de julio de 2015 [acceso el 12 de junio de 2023]; 71: 28-55. DOI: 10.1016/j.infrared.2015.02.007
 14. Dougall J. D. M., Wenger H. A., Green H. J. Evaluación fisiológica del deportista. 3a ed. España: Paidotribo; 2013. 1-6 p.
 15. Vásquez Cazar J. C., Méndez Urresta J. B., Esparza Echeverría K.G. La evaluación fisioterapéutica en la práctica de actividades físico deportivas. *Conrado* [Internet]. 10 de julio de 2018 [acceso el 22 de marzo de 2024]; 14(64): 33-39. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rc/v14n64/1990-8644-rc-14-64-33.pdf>
 16. Cook G., Burton L., Hoogenboom B. Pre-Participation Screening: The Use of Fundamental Movements as an Assessment of Function. *N Am J Sports Phys Ther* [Internet]. agosto de 2006 [acceso el 1 de marzo de 2024]; 1(3): 132-139. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2953359/>
 17. Meeuwisse W. H. Predictability of Sports Injuries: What is the Epidemiological Evidence? *Sports Medicine* [Internet]. 23 de octubre de 2012 [acceso el 1 de marzo de 2024]; 12(1): 8-15. DOI: 10.2165/00007256-199112010-00002
 18. Froes Meyer P. Tratado de fisioterapia dermatofuncional. 1a ed. Colombia: Amolca; 2022. 111-118 p.
 19. Hildebrandt C., Raschner C., Ammer K. An Overview of Recent Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine in Austria. *Sensors* [Internet]. 7 de mayo del 2010 [acceso el 22 de abril de 2024]; 10(5): 4700-4715. DOI: 10.3390/s100504700
 20. James C. A., Richardson A. J., Waet P. W., Maxwell N. S. Reliability and validity of skin temperature measurement by telemetry thermistors and a thermal camera during exercise in the heat. *J Therm Biol* [Internet]. octubre de 2014 [acceso el 3 de marzo de 2024]; 45: 141-149. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2014.08.010
 21. Usamentiaga R., Venegas P., Guerediaga J., Vega L., Molleda J., Bulnes F. G. Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing. *Sensors (Basel)* [Internet]. 10 de julio de 2014 [acceso el 3 de marzo de 2024]; 14(7): 12305-12348. DOI: 10.3390/s140712305
 22. Côrte A. C., Hernandez A. J. Termografia médica infravermelha aplicada à medicina do esporte. *Rev Bras Med Esporte* [Internet]. agosto de 2016 [acceso el 20 de marzo de 2024]; 22(4): 315-319. DOI: 10.1590/1517-869220162204160783

23. Gutiérrez Vargas R., Ugalde Ramírez J. A., Rojas Valverde D., Salas Cabrera J., Rodríguez Montero A., Gutiérrez Vargas J. C. La termografía infrarroja como herramienta efectiva para detectar áreas musculares dañadas después de correr una maratón. *Revista de la Facultad de Medicina* [Internet]. diciembre de 2017 [acceso el 4 de marzo de 2024]; 65(4): 601-607. DOI: 10.15446/revfacmed.v65n4.60638
24. Vardasca R., Simoes R. *Current Issues in Medical Thermography*. Springer [Internet]. 1 de enero de 2013 [acceso el 4 de marzo de 2024]; 8(12): 223-237. DOI: 10.1007/978-94-007-0726-9_12
25. Ring E. F. J. The historical development of temperature measurement in medicine. *Infrared Physics & Technology* [Internet]. 1 de enero de 2007 [acceso el 5 de marzo de 2024]; 49(3): 297-301. DOI: 10.1016/j.infrared.2006.06.029
26. Tattersall G. J. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* [Internet]. 1 de diciembre de 2016 [acceso el 5 de marzo de 2024]; 202: 78-98. DOI: 10.1016/j.cbpa.2016.02.022
27. Diakides N. A., Bronzino J.D. *Medical infrared imaging*. 1a ed. United States: Taylor & Francis Group; 2007. 1-13 p.
28. Fraser J. Hot bodies; Cold War: the forgotten history of breast thermography. *CMAJ* [Internet]. 18 de abril de 2017 [acceso el 5 de marzo de 2024]; 189(15): 573-575. DOI: 10.1503/cmaj.160833
29. Ring E. F. J., Ammer K. The technique of infrared imaging in medicine. *Thermology International* [Internet]. septiembre de 2015 [acceso el 22 de marzo de 2024]; 10(1): 7-14. DOI: 10.1088/978-0-7503-1143-4ch1
30. Formenti D., Ludwig N., Gargano M., Alberti G. Skin temperature evaluation by infrared thermography: Comparison of image analysis methods. *Infrared Physics & Technology* [Internet]. 1 de enero de 2014 [acceso 5 de marzo de 2024]; 62: 1-5. DOI: 10.1016/j.infrared.2013.09.011
31. Fernández Cuevas I., Arnaiz Lastras J., Escamilla Galindo V., Gómez Carmona P. Infrared Thermography for the Detection of Injury in Sports Medicine. Priego Quesada, J. *Application of Infrared Thermography in Sports Science*. 1ra ed. Valencia, España: Springer; 2017. 81-109. DOI: 10.1007/978-3-319-47410-6_4
32. Moreira D. G., Costello J. T., Brito C. J., Adamczyk J. G., Ammer K., Bach A. J. E., et al. Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature. *Journal of Thermal Biology* [Internet]. 1 de octubre de 2017 [acceso el 20 de marzo de 2024]; 69: 155-162. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2017.07.006

33. ThermoHuman [sede Web]. España: [acceso el 28 de junio de 2024]. Cámaras térmicas [1 pantalla]. Disponible en: <https://thermohuman.com/es/camaras-termicas/>
34. Bach A. J. E., Stewart I. B., Minett G. M., Costello J. T. Does the technique employed for skin temperature assessment alter outcomes? A systematic review. *Physiol Meas* [Internet]. 10 de agosto de 2015 [acceso el 6 de marzo de 2024]; 36(9): 27-51. DOI: 10.1088/0967-3334/36/9/R27
35. Duarte A., Carrão L., Espanha M., Viana T., Freitas D., Bártolo P., et al. Segmentation Algorithms for Thermal Images. *Procedia Technology* [Internet]. 1 de enero de 2014 [acceso el 6 de marzo de 2024]; 16: 1560-1569. DOI: 10.1016/j.protcy.2014.10.178
36. Sanchis Sánchez E. Estudio de la precisión de la Imagen Térmica Infrarroja en el diagnóstico de lesiones traumatológicas en la edad pediátrica. [Valencia]; 2013.
37. Marins J. C. B., Fernández Cuevas I., Arnaiz Lastras J., Fernandez A. A., Sillero Quintana M. Application of infrared thermography in sports science. A review. *Rev int med cienc act fís deporte* [Internet]. 2015 [acceso el 8 de marzo de 2024]; 15(60): 805-824. Disponible en: <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista60/artaplicaciones594.htm>
38. Wang Q., Zhou Y., Ghassemi P., McBride D., Casamento J. P., Pfefer T. J. Infrared Thermography for Measuring Elevated Body Temperature: Clinical Accuracy, Calibration, and Evaluation. *Sensors (Basel)* [Internet]. 29 de diciembre de 2021 [acceso el 6 de marzo de 2024]; 22(1): 215. DOI: 10.3390/s22010215
39. Jones B. F., Plassmann P. Digital infrared thermal imaging of human skin. *Engineering in Medicine and Biology Magazine* [Internet]. noviembre de 2002 [acceso el 6 de marzo de 2024]; 21(6): 41-48. DOI: 10.1109/MEMB.2002.1175137
40. Parsons K. *Human Thermal Environments*. 3a ed. New York: Taylor & Francis Group; 2002. 3-77 p.
41. Schlader Z. J., Prange H. D., Mickleborough T. D., Stager J. M. Characteristics of the control of human thermoregulatory behavior. *Physiology & Behavior* [Internet]. 7 de diciembre de 2009 [acceso el 6 de marzo de 2024]; 98(5): 557-562. DOI: 10.1016/j.physbeh.2009.09.002
42. Ciró R. O. *Fisiología deportiva*. 2a ed. Buenos Aires: El ateneo; 1994. 221-228 p.
43. Kenney W. L., Wilmore J.H., Costill D. L. *Fisiología del Deporte y el Ejercicio*. 5a ed. Médica Panamericana; 2014. 152-157 p.
44. Barbany J. R. *Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento*. 2a ed. España: Paidotribo; 2012. 19-41 p.
45. Petrofsky J. S., Lohman E., Suh H. J., Garcia J., Anders A., Sutterfield C., et al. The effect of aging on conductive heat exchange in the skin at two environmental temperatures. *Med Sci Monit* [Internet]. 25 de diciembre de 2006 [acceso el 6 de marzo

de 2024]; 12(10): 400-408. Disponible en:
<https://medscimonit.com/abstract/index/idArt/459192>

46. 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* [Internet]. 11 de diciembre de 2012 [acceso el 7 de marzo de 2024]; 41(4): 863-871. DOI: 10.1007/s10439-012-0718-x
47. Fernández Cuevas I. Effect of endurance, speed and strength training on skin temperature measured by infrared thermography [tesis doctoral]. Madrid: INEF; 2012
48. Marins J. C. B., Fernandes A. A., Cano S. P., Moreira D. G., da Silva F. S., Costa C. M. A., et al. Thermal body patterns for healthy Brazilian adults (male and female). *Journal of Thermal Biology* [Internet]. 1 de mayo de 2014 [acceso el 7 de marzo de 2024]; 42: 1-8. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2014.02.020
49. Asociación Argentina de Traumatología del Deporte. Manual del médico de equipo Prevención y manejo de las lesiones del deportista. 1a ed. Buenos Aires: AATD; 2015. 29-40.
50. Durán M. A. C. Lesiones musculares en el mundo del deporte. *E-Balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte* [Internet]. 2008 [acceso el 8 de marzo de 2024]; 4(1): 55-67. DOI: 10.5232/ricyde2006.003.04
51. Bahr R., Maehlum S., Bolic T., Merlo C. Lesiones deportivas: Diagnóstico, tratamiento y rehabilitación. 1a ed. España: Médica Panamericana; 2007. 1-45 p.
52. Muñoz S. C. H. Lesiones musculares deportivas: diagnóstico por imágenes. *Revista chilena de radiología* [Internet]. 2002 [acceso el 8 de marzo de 2024]; 8(3): 127-132. DOI: 10.4067/S0717-93082002000300006
53. Muñoz S. C. H., Astudillo C. A., Miranda E. V., Albarracin J. F. G. Lesiones musculares deportivas: Correlación entre anatomía y estudio por imágenes. *Revista chilena de radiología* [Internet]. marzo de 2018 [acceso el 11 de marzo de 2024]; 24(1): 22-33. DOI: 10.4067/S0717-93082018000100022
54. López Chicarro J, Fernandez Vaquero A. Fisiología del ejercicio. 3a ed. España: Médica Panamericana; 91-98 p.
55. Danowski R., Chanussot J. C. Manual de Traumatología del deporte. 1a ed. Barcelona: Masson; 1992. 292-307 p.
56. Paús V., Torrenço F., del Compare P. Incidencia de lesiones en jugadores de fútbol profesional. Asociación Argentina de Traumatología del Deporte [Internet]. 2003 [acceso el 11 de marzo de 2024]; 10(1): 10-17. Disponible en:
<http://www.clinicadeldeporte.com.ar/documentos/Incidencia-de-Lesiones-en-Jugadores-futtbol-Profesional.pdf>

57. Pancorbo Sandoval A. E. Medicina y ciencias del deporte y la actividad física. 1a ed. Madrid: Ergón; 2008. 535-577 p.
58. Jimenez F. Lesiones musculares en el deporte. Muscular injuries in sport. Revista Internacional de Ciencias del Deporte [Internet]. 1 de abril de 2006 [acceso el 12 de marzo de 2024]; 2(3): 45-67. DOI: 10.5232/ricyde2006.003.04
59. Lloyd T., Triantafyllou S. J., Baker E. R., Houts P. S., Whiteside J. A., Kalenak A., et al. Women athletes with menstrual irregularity have increased musculoskeletal injuries. Med Sci Sports Exerc [Internet]. agosto de 1986 [acceso el 13 de marzo de 2024]; 18(4): 374-379. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3747798/>
60. Meeuwisse WH. Assessing Causation in Sport Injury: A Multifactorial Model. Clinical Journal of Sport Medicine [Internet]. julio de 1994 [acceso el 13 de marzo de 2024]; 4(3): 166-170. Disponible en: <http://journals.lww.com/00042752-199407000-00004>
61. Côrte A. C., Pedrinelli A., Marttos A., Furlan Grava Souza I., Grava J., Hernández A. J. Infrared thermography study as a complementary method of screening and prevention of muscle injuries: pilot study. BMJ Open Sport & Exercise Medicine [Internet]. 3 de enero de 2019 [acceso el 13 de mayo de 2023]; 5(1): e000431. DOI: 10.1136/bmjsem-2018-000431
62. Ahonen J., Lahtinen T., Sandstrom M., Pogliani G., Wirhed R. Kinesiología y anatomía aplicada a la actividad física. 2d ed. Barcelona: Paidotribo; 2001. 91-94 p.
63. Llana Belloch S., Pérez Soriano P., Lledó Figueres E. La epidemiología en el fútbol: una revisión sistemática. Rev int med cienc act fís deporte [Internet]. enero de 2010 [acceso el 13 de marzo de 2024]; 10(37): 22-40. Disponible en: <Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista37/artfutbol130.htm>
64. Amaro A. M., Paulino M. F., Neto M. A., Roseiro L. Hand-Arm Vibration Assessment and Changes in the Thermal Map of the Skin in Tennis Athletes during the Service. Int J Environ Res Public Health [Internet]. 14 de diciembre de 2019 [acceso el 29 de abril de 2024]; 16(24): 5117. DOI: 10.3390/ijerph16245117
65. Menezes P., Rhea M. R., Herdy C., Simão R. Effects of Strength Training Program and Infrared Thermography in Soccer Athletes Injuries. Strength Training in Sprint Sports [Internet]. 19 de noviembre de 2018 [acceso el 29 de abril de 2024]; 6(4): 148. DOI: 10.3390/sports6040148
66. Pérez Guamer A., Priego Quesada J. I., Oficial Casado F., Cibrián Ortiz de Anda R. M., Carpes F. P., Palmer R. S. Association between physiological stress and skin temperature response after a half marathon. Physiol Meas [Internet]. 1 de abril de 2019 [acceso el 29 de abril de 2024]; 40(3): 034009. DOI: 10.1088/1361-6579/ab0fdc
67. de Carvalho G., Girasol C. E., Gonçalves L. G. C., Guirro E. C. O., Guirro R. R. de J. Correlation between skin temperature in the lower limbs and biochemical marker,

- performance data, and clinical recovery scales. PLoS One [Internet]. 18 de marzo de 2021 [acceso el 5 de mayo de 2024]; 16(3): 0248653. DOI: 10.1371/journal.pone.0248653
68. Rojas Valverde D., Gutiérrez Vargas R., Sánchez Ureña B., Gutiérrez Vargas J. C., Priego Quesada J. I. Relationship between Skin Temperature Variation and Muscle Damage Markers after a Marathon Performed in a Hot Environmental Condition. Life [Internet]. 21 de julio de 2021 [acceso el 1 de mayo de 2024]; 11(8): 725. DOI: 10.3390/life11080725
69. Pinheiro A. M., Tuono A. T., Vieira N. A., Rezende T. M., Borin S. H., Hartz Ch. S., et al. Acute effect of speed test on the skin temperature of elite soccer players. Rev Bras Med Esporte [Internet]. 8 de marzo de 2021 [acceso el 1 de mayo de 2024]; 27(1): 55-59. DOI: 10.1590/1517-8692202127012020_0060
70. Priego Quesada J. I., Oficial Casado F., Gandia Soriano A., Carpes F. P. A preliminary investigation about the observation of regional skin temperatures following cumulative training loads in triathletes during training camp. Journal of Thermal Biology [Internet]. 1 de agosto de 2019 [acceso el 1 de mayo de 2024]; 84: 431-438. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2019.07.035
71. Priego Quesada J. I., De la Fuente C., Kunzler M. R., Perez Soriano P., Hervás Marín D., Carpes F. P. Relationship between Skin Temperature, Electrical Manifestations of Muscle Fatigue, and Exercise-Induced Delayed Onset Muscle Soreness for Dynamic Contractions: A Preliminary Study. Int J Environ Res Public Health [Internet]. 18 de septiembre de 2020 [acceso el 2 de mayo de 2024]; 17(18): 6817. DOI: 10.3390/ijerph17186817
72. Cabizosu A., Marín Pagán C., Martínez Serrano A., Alcaraz P. E., Martínez Noguera F. J. Myotendinous Thermoregulation in National Level Sprinters after a Unilateral Fatigue Acute Bout - A Descriptive Study. Sensors [Internet]. 22 de noviembre de 2023 [acceso el 1 de mayo de 2024]; 23(23): 9330. DOI: 10.3390/s23239330
73. Md Shakhiah M. F., Ridzuan N., Abdul Wahab A., Zainuddin N. F., Ulta Delestri L. F., Rosslan A. S., et al. Non-obstructive monitoring of muscle fatigue for low intensity dynamic exercise with infrared thermography technique. Med Biol Eng Comput [Internet]. 22 de junio de 2021 [acceso el 1 de mayo de 2024]; 7-8(59): 1447-1459. DOI: 10.1007/s11517-021-02387-x
74. Perpetuini D., Formenti D., Cardone D., Trecroci A., Rossi A., Di Credico A., et al. Can Data-Driven Supervised Machine Learning Approaches Applied to Infrared Thermal Imaging Data Estimate Muscular Activity and Fatigue? Sensors [Internet]. 11 de enero de 2023 [acceso el 1 de mayo de 2024]; 23(2): 832. DOI: 10.3390/s23020832

X. ANEXOS

Anexo 1. Lista de 15 ítems establecida en el consenso TISEM en el año 2017.

<p>1) The relevant individual data of the participants must be provided. Note: These could include, but are not limited to, age, sex, body mass, height, body mass index, ethnicity and whether they are smokers or not. An indication of physical activity profile (e.g. frequency, duration, intensity, and activity description) should be reported.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>2) Participants should be instructed to avoid alcohol beverages, smoking, caffeine, large meals, ointments, cosmetics and showering for four hours before the assessment. Also, sunbathing (e.g. UV sessions or direct sun without protection) should be avoided before the assessment. Note: This should be confirmed verbally before the assessment. The use of any medicinal treatments or drugs should be recorded. Any condition that could not be avoided should be reported.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>3) Extrinsic factors affecting skin temperature (e.g. physical activity prior to the assessment, massage, electrotherapy, ultrasound, heat or cold exposure, cryotherapy) should be clearly described.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>4) Ambient temperature and relative humidity of the location where the assessment took place must be recorded and reported as mean \pm standard deviation.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>5) The assessment should be completed away from any source of infrared radiation (e.g. electronic devices, lightning) or airflow (e.g. under an air conditioning unit). Note: Any condition that could not be controlled should be reported.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>6) The manufacturer, model and accuracy of the camera used should be provided. Note: When available it is recommended to provide the maintenance information of the equipment (e.g. when and where it was completed the last calibration).</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>7) An acclimation period in the examination room should be completed. Note: This item is only applicable for initial baseline measurements or basal analysis.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>8) If necessary the camera should be turned on for some time prior to the test to allow sensor stabilization following the manufacturer's guidelines.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>9) Conditions of image recording such as mean distance between object and camera, percentage of the region of interest within the image should be detailed.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>10) The camera should be positioned perpendicular to the region of interest.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>11) Emissivity settings of the camera must be reported. Note: 0.98 of emissivity is suggested for a dry clean skin surface.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>12) The time of day at which the images were taken should be reported.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>13) The standard body position of the subject and the regions of interest must be well described and appropriately selected. A visual example (with temperature scale presented and scale of colors properly configured) is recommended.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>14) If the skin is dried (e.g. to remove surface water), the drying method should be clearly described.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>
<p>15) The evaluation of thermograms and collection of temperature from the software should be clearly described.</p> <p><input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Unclear</p>

* Moreira D. G. et al. ⁽³²⁾