

Termografía infrarroja en la evaluación mamaria: un estudio piloto en mujeres en edad fértil

Infrared thermography in breast evaluation: a pilot study in women of childbearing age

Londoño Orozco, M.¹  Ospina Suárez, A.C.¹ Segura Giraldo, B.¹ 

¹ Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia.

Resumen

La termografía infrarroja ha resaltado como una técnica prometedora para la detección no invasiva de anomalías en los tejidos mamaros, al reflejar cambios en la emisión de calor y patrones de temperatura. Este artículo presenta una propuesta de protocolo para la captura de imágenes termográficas mamarias en mujeres en edad fértil, con el objetivo de mejorar la evaluación y el diagnóstico en esta población. Para desarrollar esta investigación, se llevó a cabo una revisión bibliográfica en diversas bases de datos científicas, considerando factores relevantes como el tipo de estudio, la población de interés, las variables medidas y los resultados obtenidos. Se desarrolló una herramienta computacional para el procesamiento de las imágenes termográficas, que fueron obtenidas siguiendo un protocolo propuesto, el cual, es derivado de la vigilancia tecnológica comentada en este documento. La metodología utilizada incluye criterios de exclusión para seleccionar adecuadamente los pacientes, instrucciones precisas para la preparación del paciente antes del examen, y consideraciones sobre el entorno del examen para asegurar la precisión de las mediciones termográficas. Asimismo, se estableció un procedimiento específico para la captura de las imágenes, utilizando un soporte diseñado para posicionar los pacientes frente a la cámara termográfica. Finalmente, el procesamiento de las imágenes termográficas obtenidas permitió distinguir una frontera entre los días del ciclo menstrual de las mujeres evaluadas, de donde se presume que no existe diferencia representativa entre la temperatura corporal durante el ciclo menstrual.

Abstract

Infrared thermography has emerged as a promising technique for non-invasive detection of anomalies in breast tissues, reflecting changes in heat emission and temperature patterns. This article presents a proposed protocol for capturing mammary thermographic images in women of reproductive age, with the aim of enhancing evaluation and diagnosis in this population. To conduct this research, a comprehensive literature review was carried out across various scientific databases, taking into account relevant factors such as study type, target population, measured variables, and obtained results. A computational tool was developed for processing the thermographic images that were obtained following a proposed protocol, which is derived from the technological surveillance commented in the document. The methodology includes exclusion criteria to select effectively the patients, the precise instructions for the patient preparation before the exam, and the considerations about the exam environment to assure precision in the thermographic measures. Furthermore, a procedure for image capturing was established using a mechanical base design to position the patient in front of the thermographic camera. Finally, the thermographic image processing allowed to distinguish a frontier between the days of the menstrual cycle of the evaluated women, where it is presumed that there is no representative difference between the corporal temperature during the menstrual cycle.

Keywords:

Infrared thermography, protocol, women of reproductive age, early detection, breast evaluation.

Palabras clave:

Termografía infrarroja, protocolo, mujeres en edad fértil, detección temprana, evaluación mamaria.

Cómo citar:

Londoño Orozco, M., Ospina Suárez, A.C., Segura Giraldo, B. Termografía infrarroja en la evaluación mamaria: un estudio piloto en mujeres en edad fértil. Ingeniería y Competitividad. 2023, 25(3) e-21112550. doi: <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i3.12550>

Recibido: 24-10-22

Aceptado 06-07-23

Correspondencia:

malondonoor@unal.edu.co, an-cospinasu@unal.edu.co, bsegurag@unal.edu.co

Este trabajo está licenciado bajo una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-CompartirIgual4.0.



Conflicto de intereses:
Ninguno declarado

OPEN  ACCESS

¿Por qué se realizó el estudio?

Se realizó con el fin de desarrollar una metodología para el diagnóstico médico de cancer de mama.

¿Cuáles fueron los resultados más relevantes?

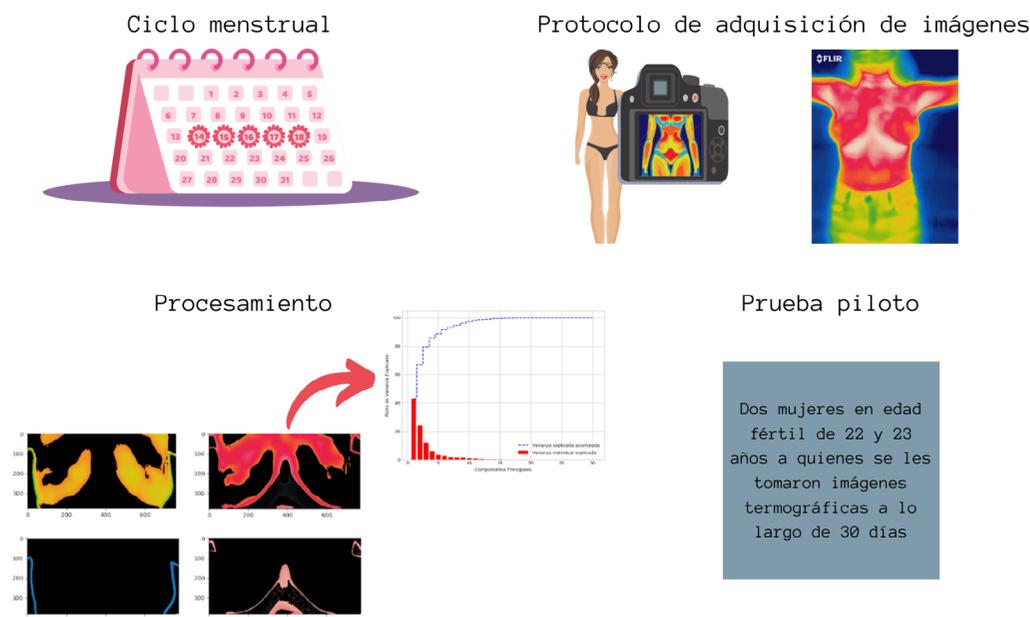
Los resultados más relevantes de la investigación, radican en la propuesta de un protocolo de adquisición de imágenes termográficas que abarca la mayor parte de las condiciones usadas por los investigadores en esta área. Además, se propusieron mejoras técnicas, incluyendo un soporte para incrementar la precisión de la toma de imágenes y un software de captura que automatiza el proceso, minimizando potenciales errores. En relación al estudio preliminar a lo largo del ciclo menstrual de dos mujeres en edad fértil, los resultados sugieren que las variaciones en los termogramas mamarios a lo largo del ciclo no son substanciales.

¿Qué aportan estos resultados?

El protocolo no solo establece una base metodológica sólida y estandarizada para la captura de imágenes termográficas, sino que también se extiende hacia mejoras sustanciales en el panorama técnico. En lo que concierne al estudio preliminar que abarca el ciclo menstrual de dos mujeres en edad fértil, ofrece un punto de partida para investigaciones subsiguientes enfocadas en determinar la necesidad de efectuar exámenes diagnósticos o de tamizaje de patologías mamarias en días específicos del ciclo menstrual. En conjunto, estas contribuciones no solo optimizan la práctica de la termografía infrarroja en el diagnóstico médico, sino que también sientan bases para la exploración futura en este campo, enriqueciendo el conocimiento científico y potenciando la precisión y eficiencia de los procedimientos diagnósticos relacionados con patologías mamarias.

Graphical Abstract

Termografía infrarroja en evaluación mamaria



Introducción

La evaluación de la salud mamaria reviste una importancia vital en la detección temprana y el seguimiento de enfermedades mamarias, particularmente en mujeres en edad fértil. En esta etapa, es posible identificar anomalías antes de que se inicie un crecimiento canceroso, lo que potencialmente conlleva a una reducción significativa en la mortalidad asociada al cáncer de mama (1). La implementación de estrategias efectivas de evaluación en esta población puede proporcionar una oportunidad invaluable para intervenir de manera oportuna y mejorar los resultados clínicos. Durante la edad fértil de las mujeres, se presume que pueden existir variaciones en órganos como las mamas, dado el cambio hormonal por el que pasa el cuerpo de la mujer durante las diferentes etapas del ciclo menstrual. Diversos estudios han mostrado que la temperatura corporal o superficial se constituye como una de las variables corporales que más información puede brindar acerca de cambios que se presentan en el interior del cuerpo y que, por tanto, podría brindar información relevante en este aspecto (2).

La termografía infrarroja ha emergido como una técnica prometedora de buen soporte para la detección no invasiva y libre de radiación ionizante de anomalías en los tejidos mamarios (3). Se fundamenta en la detección de cambios en la emisión de calor y los patrones de temperatura en la superficie de la mama, los cuales pueden reflejar la presencia de condiciones anormales, incluyendo tumores malignos o procesos inflamatorios (3). La capacidad de la termografía infrarroja para identificar alteraciones térmicas sutiles en la mama ofrece la posibilidad de un diagnóstico temprano y un monitoreo efectivo de la salud mamaria, sin los inconvenientes asociados con otras técnicas invasivas o que involucran radiación ionizante (4)(5). Adicionalmente, diversas investigaciones han recomendado llevar a cabo estudios mediante imágenes de manera regular para personas con riesgo moderado a alto (6).

El presente artículo proporciona una descripción detallada de la propuesta de protocolo para la captura de imágenes termográficas de la zona mamaria. Se abordan los aspectos técnicos y metodológicos necesarios para garantizar la adquisición reproducible de las imágenes. Se incluyen aspectos como el equipo necesario para llevar a cabo el procedimiento, la preparación de los pacientes antes del examen termográfico, las condiciones ambientales óptimas y los procedimientos específicos para la captura de imágenes. El protocolo propuesto tiene como objetivo minimizar los posibles sesgos y mejorar la reproducibilidad de los resultados termográficos en mujeres en edad fértil. Para ello, se han tenido en cuenta aspectos clave, como la estandarización de los procedimientos de preparación de los pacientes, la correcta configuración y calibración del equipo termográfico, así como la definición de criterios claros para la captura de imágenes, incluyendo la posición y el posicionamiento de los pacientes. Al proporcionar una metodología detallada y rigurosa, se espera que este protocolo propuesto sea una herramienta valiosa para la comunidad científica y clínica interesada en la evaluación mamaria mediante termografía infrarroja en mujeres en edad fértil. La aplicación de este protocolo permitirá una comparabilidad más precisa y confiable de los resultados obtenidos, fomentando así avances significativos en la detección temprana y el seguimiento de enfermedades mamarias en esta población específica. La implementación de este protocolo se realizará mediante un ensayo piloto con una duración de un mes y la participación de dos mujeres. El objetivo principal es evaluar la utilidad, eficiencia y reproducibilidad del protocolo propuesto, así como observar los cambios en la temperatura mamaria a lo largo del ciclo menstrual en las participantes.

Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación se llevó a cabo una revisión bibliográfica en diversas bases de datos a las cuales se tenía acceso como miembros de la Universidad Nacional de Colombia. Se inició por el uso de un algoritmo de búsqueda, seguido de exclusión de artículos, consenso en la cantidad de artículos a evaluar y su correspondiente similitud.

Los artículos de investigación incluidos en este estudio se obtuvieron de fuentes como *IEEEExplore*, *ResearchGate*, *ScienceDirect*, entre otras bases de datos de revistas científicas. Algunos de los artículos se localizaron a través de la revisión de las referencias bibliográficas de los documentos previamente obtenidos.

Se utilizaron diversas combinaciones de palabras clave, como *“infrared thermography”*, *“body fat percentage and temperature”*, *“corporal temperature and women”*, *“body temperature and age”*, *“breast’s surface”*, *“surface temperature”*, *“breast thermography”*, para llevar a cabo la búsqueda de artículos relevantes. Para seleccionar de manera efectiva los estudios pertinentes de la amplia colección de literatura disponible, se consideraron y evaluaron cuidadosamente factores como el tipo de estudio realizado, la población de enfoque, las variables medidas, el tipo de protocolo utilizado y la diferenciación obtenida en los resultados del estudio. De la ecuación de búsqueda mencionada se obtuvieron 23 artículos, los cuales sirvieron de base para el planteamiento del protocolo de adquisición de imágenes y la investigación en general.

Para la ejecución de la prueba piloto, se requirieron diversos equipos adquiridos o contruados según las necesidades del estudio. En primer lugar, se utilizó una cámara termográfica FLIR One Pro, la cual es un accesorio para celular con entrada tipo C. Cuenta con un tamaño de píxel térmico de 12 μm , sensibilidad térmica de 70 mK y un rango de operación entre -20°C y 120°C . Para el funcionamiento de la cámara, se utilizó un celular Samsung Galaxy A21. Para posicionar adecuadamente la cámara y capturar las imágenes, se empleó un soporte diseñado específicamente para la técnica. Este soporte permitió que el sujeto de estudio se posicionara óptimamente, mientras que su configuración remota posibilitó situar la cámara a una distancia predeterminada del pecho del individuo. La persona se ubicaba sobre este soporte, que puede configurarse de forma remota para situar la cámara a 0.75 metros del pecho del individuo. Además, para la toma de variables de humedad, temperaturas ambiente, superficial y corporal, la información recolectada por este dispositivo fue transmitida de manera inalámbrica a un computador ubicado fuera del entorno de la prueba. Esto aseguró una adquisición de datos confiable y libre de interferencias.

En la realización de la prueba piloto, se implementó el protocolo aquí propuesto, se siguieron cuidadosamente las instrucciones. No obstante, cabe mencionar que hubo una variable que no pudo ser controlada adecuadamente debido a la ausencia de un sistema de aire acondicionado en el espacio de estudio. A pesar de esta limitación, se registró la temperatura ambiente del lugar, la cual osciló entre 18,4 y 24 grados Celsius.

Para llevar a cabo el procesamiento de imágenes se ha desarrollado una herramienta computacional que realiza una serie de etapas principales como se muestra en la Fig. 1.

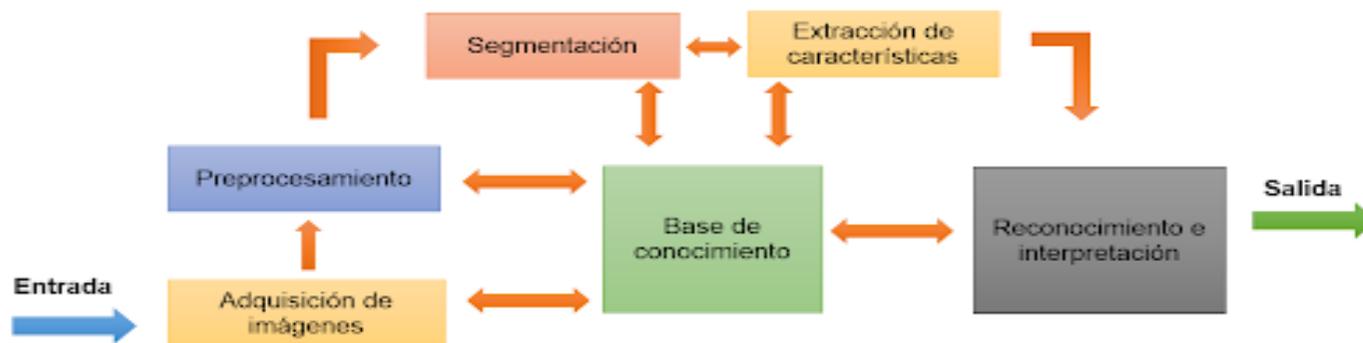


Figura 1. Diagrama de flujo del procesamiento de imágenes

En el pre-procesamiento se ejecutan acciones como la eliminación del fondo, el recorte y la normalización de las imágenes. Estas operaciones tienen el propósito de delimitar la región de interés que será estudiada, optimizando así el análisis posterior. La siguiente fase es la segmentación, en la que se emplea el método supervisado de KNN (*K-Nearest-Neighbors*) para obtener una segmentación precisa de la imagen termográfica por tonalidades. De esta manera, se pueden visualizar claramente las zonas del pecho de las mujeres con temperaturas más altas y más bajas. Los colores resultantes indican que el blanco representa las áreas con la temperatura más alta, seguido de las tonalidades rojas y amarillas. Posteriormente, se lleva a cabo la extracción de características, donde se realiza un estudio detallado de las características estadísticas y de textura de los *clusters* resultantes de la segmentación. El propósito es identificar variaciones en los valores de estas características a lo largo del ciclo menstrual de las mujeres. Entre las características extraídas se encuentran medidas como la media, mediana, moda, varianza, desviación estándar, curtosis, mínimo, máximo, entropía y uniformidad. Para reducir la dimensionalidad y obtener datos representativos para su posterior estudio, se aplica el análisis de componentes principales. Este enfoque estadístico permite seleccionar las características más informativas y relevantes del conjunto de datos, mejorando así la eficiencia y eficacia del análisis comparativo.

Resultados

Protocolo de adquisición de imágenes termográficas

Para el planteamiento del protocolo de adquisición de imágenes termográficas se tuvieron en cuenta protocolos previos consultados en la literatura que fueran desarrollados en condiciones de ambiente similares a las del lugar que se tenía dispuesto para estas durante la situación debida al COVID-19, así como los equipos disponibles o desarrollados para tal fin. Una vez se tenía un primer esbozo de protocolo se iniciaron algunas pruebas preliminares para verificar la forma en la que se visualizaba la región de interés desde la cámara termográfica y se realizaron los ajustes considerados necesarios para poder capturar las imágenes termográficas de mama que proporcionarán información requerida para un posterior procesamiento. Se consideran

los criterios de exclusión, preparación del paciente, entorno del examen, y protocolo de captura de imágenes.

Criterios de exclusión para la toma de imágenes termográficas

Para realizar la prueba es necesario que se excluyan personas que presenten un consumo reciente de tabaco o drogas, incluyendo antipiréticos o diuréticos. Estas sustancias pueden interferir con la homeostasis de la hidratación o la temperatura corporal, lo que afectaría la precisión de las mediciones termográficas; las quemaduras en la piel, independientemente de su grado, representan una condición que puede afectar significativamente la temperatura de la piel en la zona afectada (7). Por lo tanto, se debe excluir a las personas que presenten quemaduras en la piel, especialmente aquellas ubicadas cerca o en la zona mamaria; la presencia de síntomas de fiebre indica un proceso inflamatorio o infeccioso en el cuerpo, la presencia de fiebre puede distorsionar los resultados y conducir a interpretaciones incorrectas; Asimismo, se recomienda excluir a las mujeres que están en estado de lactancia ya que pueden presentarse procesos de ingurgitación que tienden a experimentar temperaturas superficiales de la mama superiores. (8)

Además de los criterios de exclusión es necesario tomar en cuenta el índice de masa corporal que es un indicador ampliamente utilizado para evaluar el estado de peso de una persona. La obesidad, definida por un IMC superior a 30, se ha relacionado con cambios en la temperatura corporal. La cantidad de grasa corporal tiene una relación inversa con la temperatura corporal, lo que significa que las personas con mayor obesidad tienden a tener una temperatura de la piel más baja (9). Es fundamental considerar esta influencia al interpretar los resultados de la termografía infrarroja y establecer valores de normalidad térmica.

El uso de la termografía para evaluar a las mujeres con implantes puede ser efectivo ya que estos normalmente se colocan en la base del seno y no afectan significativamente la transferencia de calor en el resto de la mama. (10)

Preparación del paciente

Instrucciones previas al examen

No exponerse directamente al sol 5 días antes del examen. (11)

Evitar el uso de desodorantes, cremas, lociones, antitranspirantes en la zona mamaria y las axilas.

Evitar estimulación en la zona de las mamas y axilas como la fisioterapia 24 horas antes del examen.

Evitar usar ropa ajustada.

Evitar hacer ejercicio 4 horas antes de la realización del examen ya que se aumenta la circulación cutánea y disminuye el volumen sistólico, alterando la temperatura corporal. (12), (5)

Formulario del paciente

Se debe diseñar un formulario adecuado donde se incluyan datos personales que posibiliten la identificación y selección de los pacientes, pruebas y exámenes previos, historial de cirugías, medicamentos recetados actuales, antecedentes familiares y criterios de exclusión.

Adicionalmente, es necesario que firme un consentimiento informado sobre el procedimiento que se llevará a cabo y sobre el tratamiento de la información recolectada.

Aclimatación del paciente

Para aclimatar la paciente se solicita que ésta retire las prendas de la parte superior de su cuerpo, que se coloque una bata abierta de tela fresca, y que permanezca sentada por un periodo de 16 minutos con brazos y piernas descruzadas, donde se evidencia estabilización de los patrones (13). Se procede a la toma de la temperatura antes y después del proceso de aclimatación con el objetivo de verificar el cambio en la temperatura superficial mientras se encuentra en estado de reposo. Durante este procedimiento, se controla que la temperatura del lugar se mantenga constante, coincidiendo con la temperatura de la captura de las imágenes termográficas.

Entorno del examen

Sistema de control ambiental

Las fuentes de calor por los equipos electrónicos y el cuerpo humano afectan el aire circundante. La unidad de aire acondicionado debe tener la capacidad de estabilizar la temperatura de la habitación con el número máximo de pacientes y operarios que se necesiten para realizar la prueba; la temperatura recomendada de la habitación está entre los 18 y 25 grados centígrados para que no se estremezca o sude el paciente (5). Para lesiones inflamatorias se localizan fácilmente en condiciones frías, por debajo de los 20°C (5)(14) y para los autores Garagiola y Giani (21), los 21°C son la temperatura perfecta.

Respecto a la humedad, se recomienda que se mantenga en un rango entre el 40% y 70% (5). Según un estudio realizado por Atmaca y Yigit (15), demostraron que la humedad relativa no ejerce una influencia significativa en la temperatura de la piel, siempre y cuando se mantenga dentro de un rango aceptable de confort térmico.

Fuentes infrarrojas

Las fuentes infrarrojas que pueden interferir con la captura de imágenes termográficas incluyen ventanas, flujos de aire, conductos de calefacción, tuberías de agua y materiales de reflectancia térmica en las paredes. Para minimizar estas interferencias, se sugiere alfombrar la habitación y utilizar fondos no reflectantes (5).

Para mitigar estas interferencias y asegurar la precisión de las mediciones termográficas, es imprescindible adoptar medidas adecuadas. Una recomendación clave es alfombrar la habitación donde se llevará a cabo la captura de imágenes, ya que las alfombras pueden reducir la reflexión de la radiación infrarroja. Asimismo, se debe procurar utilizar fondos no reflectantes, lo que contribuirá a minimizar cualquier posible reflejo que afecte la calidad de las imágenes.

Es esencial tener en cuenta y abordar meticulosamente estas fuentes infrarrojas durante el proceso de captura de imágenes termográficas. Ignorarlas o subestimar su impacto podría resultar en mediciones inexactas y distorsionadas, lo que afectaría la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Equipos informáticos y personas

El calor generado por equipos informáticos y personas puede afectar el aire del ambiente, por lo que el número de dispositivos electrónicos y personas al interior del lugar de toma de la prueba debe ser limitado y/o controlado por medio de aire acondicionado evitando cambios bruscos que podrían afectar la precisión de las mediciones termográficas. Además, los equipos de cómputo deben ser localizados lo más lejos posible de los pacientes para evitar afectar su temperatura.

Protocolo de captura de imágenes

Posición del paciente y cámara

Para facilitar el posicionamiento preciso del paciente en relación con la cámara termográfica, se recomienda el uso de un soporte especialmente diseñado para la adquisición de imágenes termográficas mamarias. Este soporte consta de una base donde el paciente se coloca, desde la cual se posiciona la cámara en diversas distancias y ángulos para abarcar toda la región mamaria. De esta manera, se mantiene una posición corporal constante, y la cámara captura imágenes laterales, oblicuas y frontales de una o ambas mamas simultáneamente.

El soporte es ajustable en altura, lo que permite posicionar la cámara a la altura del esternón para cada prueba. Durante la captura de imágenes, la paciente solo necesita seguir las instrucciones del operador para cambiar la posición de sus manos (en la cabeza, en la cintura o abajo). Es fundamental que el paciente permanezca completamente quieto durante todo el proceso, ya que cualquier movimiento podría causar distorsiones en las imágenes, lo que afectaría la calidad y la interpretación de los resultados obtenidos.

Programa de software de captura

Para la captura remota de imágenes termográficas se recomienda utilizar un software con acceso en tiempo real a la cámara para evitar vibraciones no deseadas causadas por la manipulación manual y a su vez, mejorar la privacidad del paciente. El sistema propuesto para la captura de imágenes implica el uso de una computadora con acceso remoto a la cámara o al dispositivo que la esté soportando. El *software* de captura debe proporcionar visualización continua de la cámara y opciones para ajustar la altura, distancia y ángulos del soporte. Un operador, familiarizado con el protocolo, captura remotamente las imágenes una vez que el paciente está correctamente posicionado y las guarda en un repositorio privado con detalles del día de la prueba, la posición de las manos (A - manos en la cabeza-, B - manos en la cintura-, o C - manos abajo-) y el tipo de vista o ángulo de la cámara respecto a las mamas. Además, el *software* debe incluir un botón para ajustar la altura de la cámara, permitiendo la adaptación a la altura específica de cada paciente. También debe proporcionar la opción de reposicionar la cámara para capturar imágenes desde diferentes ángulos que abarquen toda la zona mamaria, asegurando imágenes de la vista frontal, oblicua y lateral de cada mama.

La integración de estas funcionalidades en el *software* de captura no solo agiliza el proceso de captura de imágenes termográficas, sino que también mejora la calidad y la consistencia de los datos recopilados.

Software de procesamiento de imágenes

El *software* que se utiliza junto con la cámara termográfica debe cumplir con un conjunto de estándares para que las imágenes no se modifiquen o los contrastes mejoren de

manera arbitraria. Los algoritmos utilizados para detectar puntos calientes o analizar la asimetría entre las mamas e identificar regiones sospechosas deben estandarizarse (16).

Qi y Head (18) y Kuruganti y Kuruganti & Qi (19) propusieron un enfoque que incluía la segmentación automática y la clasificación de patrones en los termogramas para obtener las características más relevantes, además, analizaron la distribución de píxeles en distintas regiones de ambas mamas, permitiendo identificar anomalías en la temperatura. También se ha explorado el uso del Reconocimiento Automatizado de Objetivos como una posible técnica para mejorar el diagnóstico del cáncer de mama. Borchardt, *et al* (17), presentaron una revisión de los avances en termografía usando técnicas de procesamiento de imágenes para ayudar en el diagnóstico del cáncer de mama.

Prueba piloto

La prueba piloto fue desarrollada por 30 días entre los meses de junio y julio del año 2021 en la ciudad de Manizales, Caldas. La misma abarcó un ciclo menstrual completo de ambas mujeres entre 22 y 23 años. Además, se siguieron todos los requisitos y pasos de las instrucciones mencionadas anteriormente para asegurar la fidelidad de los resultados de la prueba.

Se observó en la mayoría de los casos un descenso en la temperatura superficial de las mamas después de la aclimatación, y se obtuvo un valor similar en una mama respecto a la otra. Estos hallazgos respaldan la eficacia de la aclimatación y el proceso de estabilización utilizado en el estudio termográfico de las mamas en mujeres en edad fértil. La obtención de mediciones consistentes y comparables entre ambas mamas es un indicativo positivo, lo que sugiere que el protocolo utilizado es fiable y adecuado para futuras investigaciones relacionadas con la salud mamaria.

Para la toma de imágenes termográficas durante la prueba piloto se decidió obtener únicamente una visión general de la distribución térmica de las mamas mediante la captura de tres imágenes frontales con posiciones de manos en la cabeza, en la cintura y abajo como se muestra en la Figura 2. Esta decisión fue tomada a raíz de que las imágenes iban a ser capturadas día a día, el cual representa un análisis continuo de las mamas que dejaría en evidencia cambios sutiles al tomar las mismas imágenes durante un periodo de tiempo. Adicionalmente, sumados al factor de la pandemia ocasionada por el COVID-19 se contaba con restricción de tiempo del lugar de toma de imágenes, por lo que se debía llevar a cabo un protocolo simplificado.

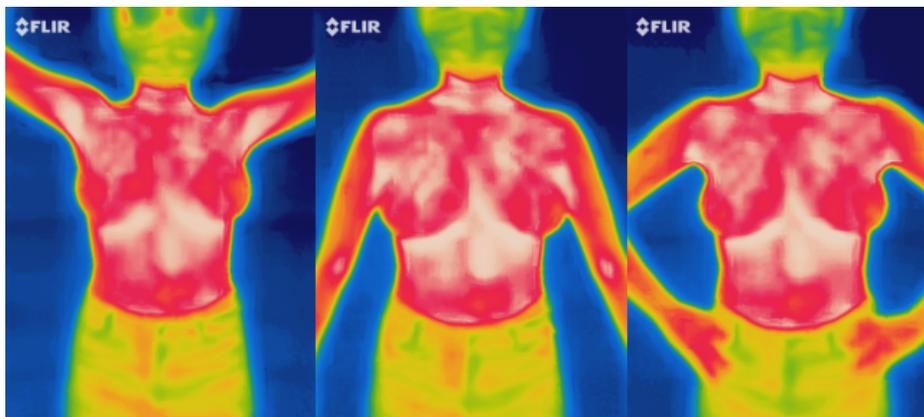


Figura 2. Imágenes termográficas obtenidas cada día

Procesamiento de imágenes

Para el procesamiento de imágenes se extrajeron estas del repositorio. Se inició con un pre-procesamiento (Fig. 3), donde las imágenes tuvieron un tratamiento inicial en el cual se eliminó el fondo, se recortó la imagen para sectorizar la región de estudio, se normalizó la imagen para mejorar su calidad, y se eliminó la región blanca de la imagen que delimitaban la zona de axilas y bajo mamas.

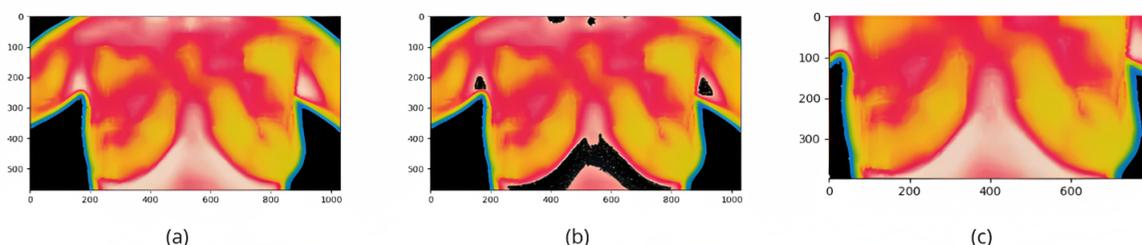


Figura 3. Resultado de la segmentación de imágenes: a) Recorte inicial y eliminación de fondo. b) Identificación de las zonas más calientes. c) Recorte más preciso, limitando zona de interés.

Posteriormente, se realiza la segmentación por tonalidades, diferenciando cuatro de estas a través del método supervisado de KNN. El resultado de dicho proceso se muestra en la Fig. 4. Las tonalidades presentadas se pueden traducir en temperaturas más altas o más bajas, siendo las tonalidades rojas y amarillas aquellas que abarcan la mayor parte de la región mamaria.

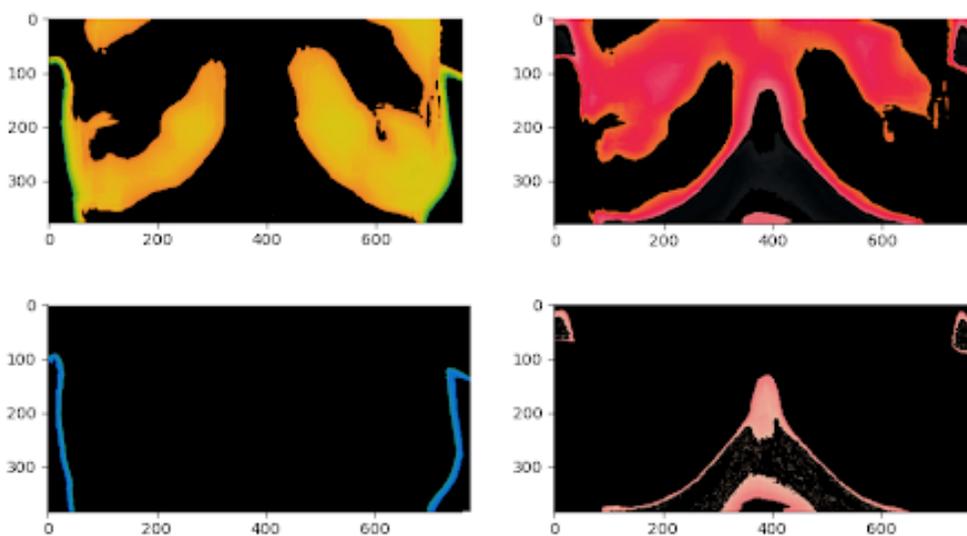


Figura 4. Separación por KNN con 4 clusters

A continuación, se extraen las características estadísticas mencionadas en el cluster que representa la mayor temperatura en la región de las mamas, es decir, en el cluster de tonalidades rojas. El objetivo de esta parte es hallar e identificar variación numérica en los calores de las características extraídas durante el ciclo menstrual. Para reconocer e interpretar los resultados obtenidos de dicha extracción de características, se empleó el análisis de componentes principales PCA, permitiendo reducir la dimensionalidad a dos características que concentran el 68% de la información como se evidencia en la [Fig. 5](#).

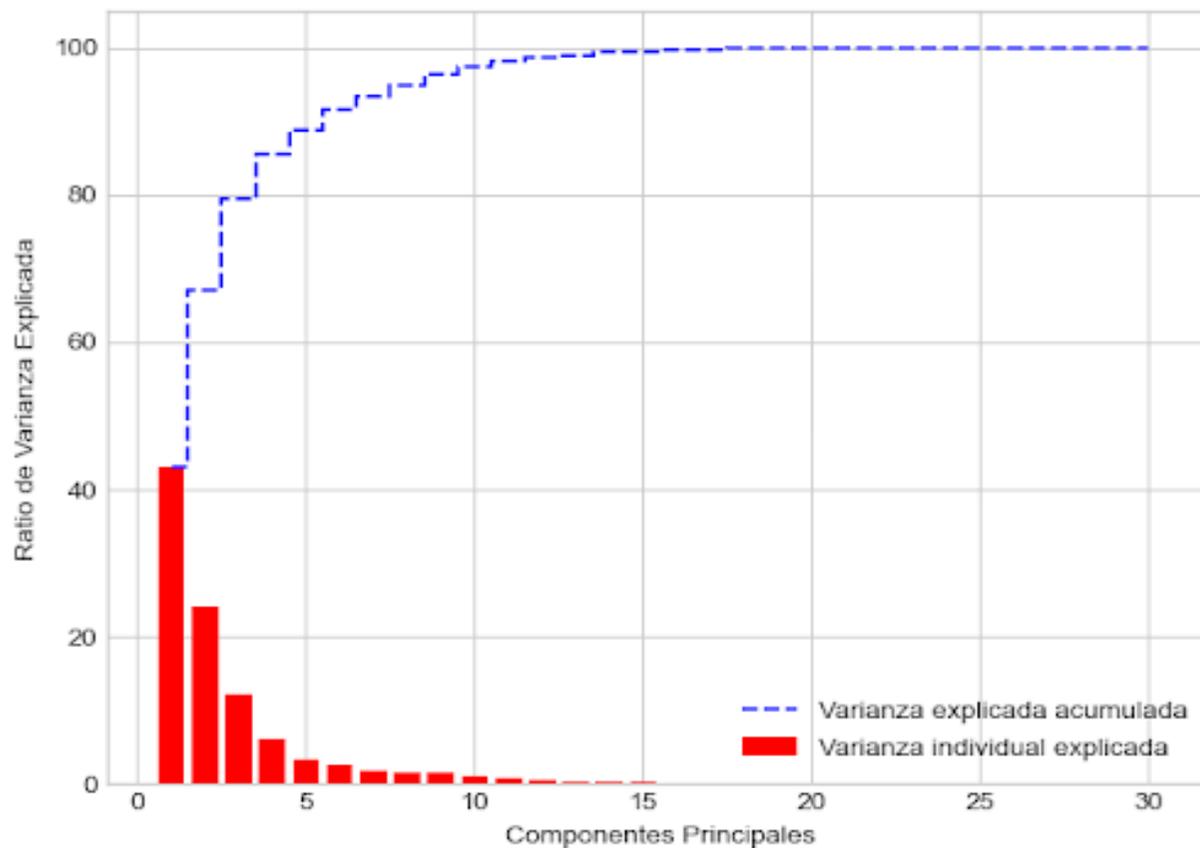


Figura 5. Gráfico de porcentaje de información individual y acumulada respecto a los componentes principales

De esta manera, se escogieron los primeros dos componentes para ser graficados uno respecto al otro ([Fig. 6](#)) y de dicha acción se encontró una separación o frontera entre dos grupos de puntos que representan las imágenes de un día del ciclo menstrual de cada mujer. De allí es posible identificar que, al lado izquierdo de la frontera de separación se encuentran los días del ciclo menstrual del 4 al 17, y para la mujer 2, se encuentran los días 8 al 23.

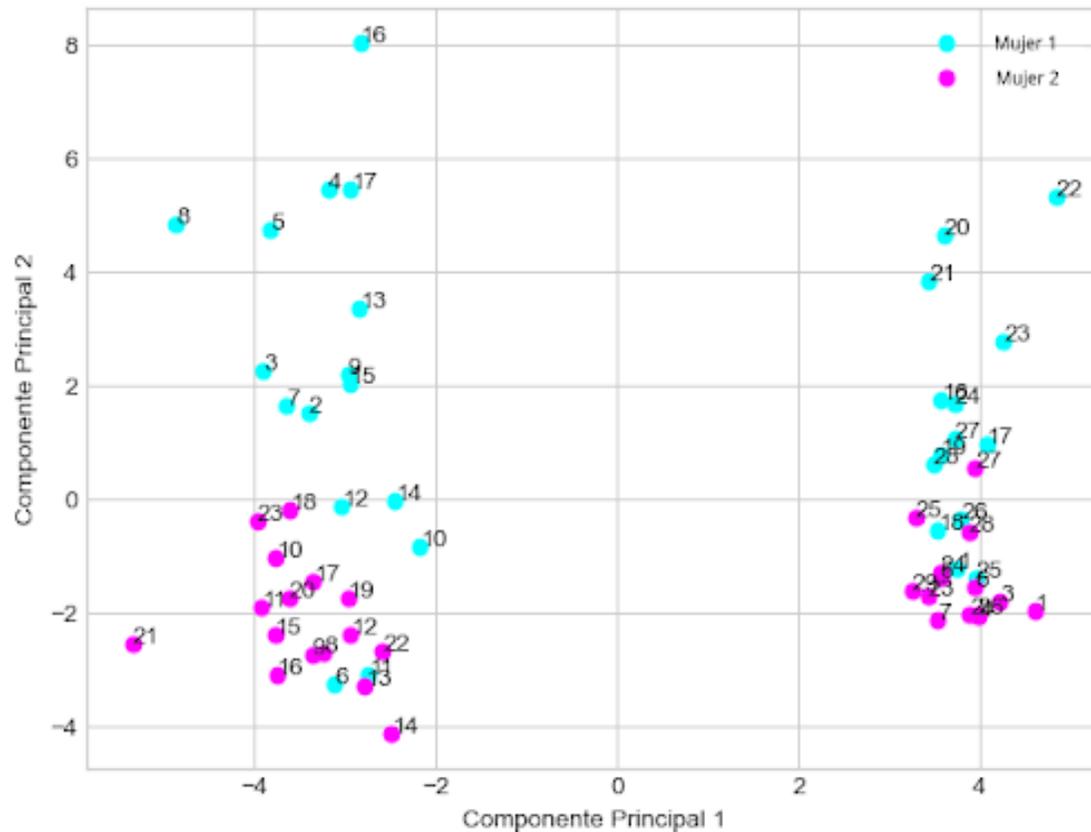


Figura 6. Gráfico componente principal 2 respecto a componente principal 1.

Por lo tanto, se puede identificar que en el lado izquierdo de la frontera se encuentran aproximadamente la segunda y tercera semana del ciclo menstrual, correspondientes con parte de la fase folicular y parte de la fase lútea (20). Esta parte del ciclo menstrual incluye el punto máximo de hormonas y también el periodo de tiempo durante el cual la temperatura corporal es levemente más alta, por lo que se presume que la frontera da indicios de separación de los días del ciclo menstrual de acuerdo con la temperatura mamaria. Sin embargo, para llegar a una conclusión clara es necesario realizar un estudio más a fondo en el tema donde se incluyan más mujeres en edad fértil, así como evaluar varios ciclos menstruales para identificar si se presentan patrones de un ciclo respecto a otros.

Conclusiones

Los resultados mostrados anteriormente sugieren que no se encontró variación representativa en la temperatura superficial de las mamas de dos mujeres en edad fértil a lo largo de un ciclo menstrual.

El protocolo de adquisición de imágenes planteado y puesto en práctica en la prueba piloto resulta similar a otros encontrados en la literatura y cuenta con pocas modificaciones, lo que lo hace un protocolo adecuado para el estudio realizado. Los equipos desarrollados para ser usados en la prueba piloto mostraron datos certeros y acordes a la realidad, a la vez que son de bajo costo para potenciar esta característica

de la técnica. Los resultados del procesamiento de imágenes sugieren, que, a pesar de haber una frontera obtenida del análisis de componentes principales, no existe una diferencia significativa en la temperatura corporal durante el ciclo menstrual, promoviendo el hecho de que las mujeres pueden estar en cualquier etapa de su ciclo menstrual para acudir a exámenes diagnósticos como la mamografía.

Considerando el uso del protocolo de adquisición de imágenes desarrollado, se vislumbra la posibilidad de realizar estudios futuros que correlacionen la normalidad y patología de las mamas en un grupo poblacional más amplio. Estos estudios podrían incluir mujeres de diferentes edades, aquellas con antecedentes familiares de cáncer e incluso aquellas con diversas condiciones médicas. Esta ampliación de la muestra permitiría obtener un mayor conocimiento y comprensión de la salud mamaria y potencialmente contribuir al diagnóstico temprano de afecciones mamarias en diferentes contextos clínicos.

Agradecimientos

El presente artículo fue desarrollado bajo la financiación del proyecto investigativo *"Metodología para el soporte al diagnóstico médico in vivo de cánceres de cuello uterino y mama en estadios tempranos usando la técnica de espectroscopia de impedancia bioeléctrica complementada por las técnicas de espectroscopia óptica de fluorescencia y termografía infrarroja"* de la convocatoria 870 del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación 874 - MINCIENCIAS. Gracias a la Universidad Nacional de Colombia- Sede Manizales y a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Referencias

1. Singh, D., & Singh, A. K. Role of image thermography in early breast cancer detection- Past, present and future. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. (2020) 183. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2019.105074>.
2. Galindo Reiserberger de Souza, G. A., Brioschi, M. L., Coelho Vargas, J. V., Correia Morais, K. C., Dalmaso Neto, C., & Neves, E. B. Reference breast temperature: proposal of an equation. *PubMed Central*. (2015) 13(4), 518-524. <https://doi.org/10.1590/S1679-45082015AO3392>
3. Eddie Yin Kwee, N. g. A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. *International Journal of Thermal Sciences*. (2009) 48(5), 849-859. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.06.015>
4. Shimatani, A., Hoshi, M., Oebisu, N., Iwai, T., Takada, N., & Nakamura, H.. Clinical significance of thermal detection of soft-tissue tumors. *International Journal of Clinical Oncology*. (2020) (25), 1418-1424. <https://doi.org/10.1007/s10147-020-01658-1>
5. Fernández-Cuevas, I., Bouzas Marins, J. C., Arnáiz Lastras, J., Gómez Carmona, P. M., Piñonosa Cano, S., García-Concepción, M. A., & Sillero-Quintana, M. Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Physics & Technology*. (2015) 71, 28-55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2015.02.007>
6. Verstockt, J., Verspeek, S., Thiessen, F., Tjalma, W. A., Brochez, L., & Steenackers, G. Skin Cancer Detection Using Infrared Thermography: Measurement Setup, Procedure and Equipment. *Sensors*. (2022) 22(9) 3327. <https://doi.org/10.3390/s22093327>

7. Amaral Costa, C. M., Gomes Moreira, D., Sillero Quintana, M., Brito, C. J., Pusioldi, G. A., Andrade Fernandes, A., Piñonosa Cano, S., & Bouzas Marins, J. C. Daily rhythm of skin temperature of women evaluated by infrared thermal imaging. *Journal of Thermal Biology*. (2018) 72, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.12.002>
8. da Silva, L. B., Lima, A.C. G., Soares, J. L., Santos, L. d., & Amaral, M. M. Evaluation of Engorged Puerperal Breast by Thermographic Imaging: A Pilot Study. (eds) XXVII Brazilian Congress on Biomedical Engineering. (2020) 83, 1101–1104. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70601-2_164
9. Teixeira Reis, H. H., Brito, C. J., Gomes da Silva, A. G., Sillero-Quintana, M., Zacaron Werneck, F., Fernandez-Cuevas, I., et al.. Influencia de los parámetros antropométricos y la composición corporal en las imágenes termográficas. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*. (2022) 15(4), 149-156. <https://doi.org/10.33155/jramd.2022.10.002>
10. Moreno-Camacho, C. A., Montoya-Torres, J. R., Jaegler, A., & Gondran, N. Sustainability metrics for real case applications of the supply chain network design problem: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*. (2019) 231, 600-618. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.278>
11. Kandlikar, S. G., Perez-Raya, I., Raghupathi, P. A., Gonzalez-Hernandez, J. L., Dabydeen, D., & Medeiros, L. Infrared imaging technology for breast cancer detection – Current status, protocols and new directions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. (2017) 108, 2303-2320. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.01.086>
12. Bouzas Marins, J. C., Gomes Moreira, D., Piñonosa Cano, S., Sillero Quintana, M., Dias Soares, D., Andrade Fernandes, A. d., et al. Time required to stabilize thermographic images at rest. *Infrared Physics & Technology*. (2014) 65, 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2014.02.008>
13. Owens, E. F., Hart, J. F., Donofrio, J., Haralambous, J., & Mierzejewski, E. Paraspinal skin temperature patterns: an interexaminer and intraexaminer reliability study. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, (2004) 27(3), 155-159. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2003.12.019>
14. Bagavathiappan, S., Saravanan, T., Philip, J., Jayakumar, T., Baldev, R., Karunanithi, R., Panicker, T.M. R., Korath, M., & Jagadeesan, K. Infrared thermal imaging for detection of peripheral vascular disorders. *Journal of Medical Physics*. (2009) 34(1), 43-47. <https://doi.org/10.4103/0971-6203.48720>
15. Atmaca, I., & Yigit, A. Predicting the effect of relative humidity on skin temperature and skin wettedness. *Journal of Thermal Biology*. (2006) 31(5), 442-452. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2006.03.003>
16. Ring, E. F. Quantitative thermal imaging. *Clinical Physics and Physiological Measurement*. (1990) 11(4A). <https://doi.org/10.1088/0143-0815/11/4A/310>
17. Borchardt, T. B., Conci, A., Lima, R. C.F., resmini, R., & Sanchez, A.. Breast thermography from an image processing viewpoint: A survey. *Signal Processing*. (2013) 93(10). <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2012.08.012>
18. Qi, H., & Head, J. F. Asymmetry analysis using automatic segmentation and classification for breast cancer detection in thermograms. *Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. (2001) 3, 2866-2869. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2001.1017386>
19. Kuruganti, P. T., & Qi, H. Asymmetry analysis in breast cancer detection using thermal infrared images. *Engineering in Medicine and Biology, 2002. 24th Annual Conference and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering*

- Society EMBS/BMES Conference. (2002) 2, 1155-1156. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2002.1106323>
20. McLaughlin, J. E. Ciclo menstrual - Salud femenina - Manual MSD versión para público general. MSD Manuals. Retrieved July. (2022) 20, 2023, from <https://www.msmanuals.com/es-co/hogar/salud-femenina/biolog%C3%ADa-del-aparato-reproductor-femenino/ciclo-menstrual>
21. Garagiola, U., & Giani, E. Use of Telethermography in the Management of Sports Injuries. Sports Medicine. (1990) 10(267), 272. <https://doi.org/10.2165/00007256-199010040-00005>