

# Revisión sistemática sobre el uso de termografía en la evaluación de colgajos de perforantes

## Systematic review of the use of infrared thermography in the assessment of perforator flaps



Elena Scarafoni E.

Esteban ELENA SCARAFONI\*

### Resumen

**Introducción y objetivo.** Los colgajos de perforantes ganan cada vez más popularidad en todas las áreas de la Cirugía Reconstructiva. Su éxito radica en la identificación de vasos viables con buen flujo, sin embargo, la localización, el número y el trayecto de las perforantes suele ser variable, lo que hace que la cirugía sea técnicamente demandante. La planificación preoperatoria es un paso muy importante para asegurar el éxito de la cirugía.

La termografía es una técnica prometedora que determina la temperatura de un cuerpo a través de la captación de radiaciones infrarrojas utilizando cámaras especializadas. Al evaluar la temperatura, se evalúa indirectamente la vascularización subyacente.

Realizamos una revisión bibliográfica de las aplicaciones de la termografía en la cirugía de colgajos de perforantes, tanto en la planificación de colgajos como en su monitoreo.

**Material y método.** Realizamos una revisión sistemática de acuerdo con la declaración PRISMA en las bases de datos PubMed, Medline, LILACS, MEDES y SciELO, de los artículos que analizaran la aplicación de la termografía en la búsqueda, identificación o monitoreo de colgajos perforantes sin límite temporal.

**Resultados.** Evaluamos un total de 22 artículos de los cuales 12 corresponden al uso de la termografía convencional y 9 al uso de termografía asociada a teléfonos inteligentes.

**Conclusiones.** La termografía es una técnica simple, accesible, no invasiva y prometedora, sobre la que diversos estudios muestran su utilidad para la detección de perforantes, evaluación intraoperatoria de colgajos y para su monitoreo posterior. Sin embargo, sus limitaciones y la gran heterogeneidad en las metodologías y resultados de los artículos, debería considerarse su uso, por el momento, como un complemento a otros métodos más efectivos.

**Palabras clave** Termografía, Perforantes, Colgajos, Colgajos perforantes.

**Nivel de evidencia científica** 4a Diagnóstico

**Aceptado** 29 octubre / 2021

### Abstract

**Background and objective.** Perforator based flaps have dramatically grown in popularity. However, these flaps are a lot harder to harvest because of the high anatomical variability in terms of location, course and size. Therefore, preoperative perforator mapping has become an integral part of the reconstructive surgery. Thermography is an imaging technique, showing promising results, in preoperative perforator mapping, intraoperative perfusion assessment and postoperative flap monitoring based on visualizing the infrared radiation emitted by the skin, and correlating it with tissue temperature.

The aim of our study in to perform a review of the current evidence for the use of thermography in preoperative perforator mapping, intraoperative perfusion assessment and postoperative flap monitoring.

**Methods.** We performed a systematic review in PubMed, Medline, LILACS, MEDES y SciELO to evaluate the current evidence regarding the use of infrared thermography in the assessment of perforator flaps.

**Results.** We evaluate a total of 22 articles of which 12 correspond to the use of conventional thermography and 9 to the use of thermography associated with smartphones.

**Conclusions.** Thermography is a simple, non-ionising, non-invasive promising method of assessing perforator location and quality, intraoperative perfusion assessment and postoperative flap monitoring. Due to its limitations, currently, it should be used as an adjunctive tool together with established imaging techniques.

**Key words** Thermography, Perforators, Flaps, Perforator flaps.

**Level of evidence** 4a Diagnostic

**Accepted** October 29 / 2021

**Conflicto de intereses:** El autor declara no tener ningún interés financiero relacionado con el contenido de este artículo.

**Financiación:** No hubo fuentes externas de financiación para este trabajo.

\* Médico Residente de Cirugía Plástica, Hospital de Quemados del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

## Introducción

Desde que Koshima y Soeda describieron el colgajo de arteria epigástrica inferior sin músculo recto en 1989,<sup>(1)</sup> los colgajos de perforantes han ido ganando cada vez más popularidad en todas las áreas de la Cirugía Reconstructiva debido, entre otras cosas, a que provocan una menor morbilidad de la zona dadora y hacen posible un diseño a medida.

El éxito de un colgajo radica en la identificación de vasos viables con buen flujo y para eso se requiere un detallado conocimiento anatómico. Sin embargo, la localización, el número y el trayecto de las perforantes suele ser variable, lo que vuelve la cirugía técnicamente demandante. Por lo tanto, la planificación preoperatoria es un paso muy importante y existen en la literatura diferentes métodos imagenológicos incluyendo el doppler, el doppler color, la angiografía, la resonancia magnética (Angio-RMN) y la angio-tomografía computerizada (angio-TAC), siendo esta última, en la actualidad, el método estándar.<sup>(2)</sup>

A pesar de que todos ellos son útiles para la evaluación, tienen algunas desventajas como la falta de sensibilidad y la alta tasa de falsos positivos, la exposición a radiaciones ionizantes o medios de contraste, los altos costos y el retraso en el tiempo de obtención de resultados.<sup>(3)</sup> Sumado a esto, la mayoría no brindan una información dinámica acerca de la perfusión de los vasos, por lo cual no son útiles para la evaluación intraoperatoria ni en el monitoreo posterior.

La termografía es una técnica que permite determinar la temperatura de un cuerpo a través de la captación de radiaciones infrarrojas utilizando cámaras especializadas. Las radiaciones infrarrojas son un tipo de radiaciones electromagnéticas que se sitúan por fuera de la luz visible, con longitudes de onda de entre los 700 y los 1000 nanómetros.<sup>(4)</sup> Estas son emitidas por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor de 0 grados Kelvin y, en condiciones ambientales controladas, es el principal mecanismo a través del cual nuestros cuerpos emiten calor.<sup>(5)</sup>

Las cámaras termográficas captan estas radiaciones infrarrojas a través de sensores especializados y las transforman en un termograma donde se observan las diferentes temperaturas de la piel, que a su vez, tienen correlación con la irrigación cutánea. Por ende, al evaluar la temperatura estamos evaluando indirectamente la vascularización subyacente.<sup>(6)</sup>

Con el avance de la tecnología, el potencial de las cámaras termográficas mejoró notablemente volviéndolas portátiles, más sensibles a las diferencias de temperatura, con una mejor resolución en tiempo real y más

baratas, lo que hizo que la termografía se vaya convirtiendo en una herramienta útil, tanto en la planificación como en el monitoreo de colgajos de perforantes. Hoy en día, incluso, se puede conectar la cámara a un teléfono inteligente y a través de una aplicación, realizar la evaluación de una forma fácil, rápida y económica. A partir de todo esto, han surgido varios estudios para validar la termografía como una herramienta útil para el cirujano plástico.

El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión bibliográfica de las aplicaciones de la termografía en la cirugía de colgajos de perforantes con la finalidad de demostrar su potencial utilidad como herramienta tanto diagnóstica como de monitorización en la evaluación de los colgajos de perforantes.

## Material y método

Realizamos una revisión sistemática de acuerdo con la declaración PRISMA<sup>(7)</sup> (*Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis*). Para la búsqueda bibliográfica empleamos las bases de datos PubMed, Medline, LILACS, MEDES y SciELO. En PubMed hicimos la búsqueda utilizando las siguientes palabras clave: “*thermography*”, “*thermalimage*”, “*infrared*” AND “*plasticsurgery*” AND “*perforator*”. En el caso de MEDES, LILACS y SciELO, las palabras claves fueron: “*termografía*”, “*cámara térmica*” y “*perforante*”.

Incluimos todos los artículos, tanto prospectivos como retrospectivos, realizados en humanos o cadáveres que analizaran la aplicación de la termografía en la búsqueda, identificación o monitorización de colgajos perforantes, sin límite temporal. Tuvimos en cuenta tanto artículos de habla inglesa como hispana. Excluimos todos los artículos realizados en forma experimental sobre animales, las cartas al editor, actas de congreso, artículos de revisión y comunicaciones y correspondencias; los artículos que analizaran la termografía para aplicaciones diferentes a las de identificación o monitorización de perforantes; y aquellos artículos escritos en otro idioma distinto a los mencionados anteriormente.

Una vez descartados los duplicados, leímos, evaluamos y seleccionamos los títulos y resúmenes según la información contenida. Separamos a su vez aquellos resúmenes seleccionados en base a los criterios de inclusión para su lectura, análisis y recolección de datos. Además, evaluamos las referencias de cada artículo para obtener un número mayor en caso de que fuera necesario. Extrajimos los siguientes datos: autores, revista y año de publicación, número de participantes, resumen metodológico, tipo de cámara infrarroja utilizada, tipo de estrés térmico utilizado y principales resultados obtenidos.

Dividimos los artículos en 2 grupos: aquellos que utilizaban cámaras termográficas convencionales y aquellos que utilizaban cámaras termográficas digitales asociadas a teléfonos inteligentes.

Por último, evaluamos la calidad de los artículos siguiendo la clasificación de Oxford de 2011, que asigna un número del 1 al 5 según el nivel de evidencia presente,<sup>(8)</sup> siendo 1 el grado más alto.

## Resultados

Identificamos un total de 83 artículos mediante la búsqueda bibliográfica en las bases de datos. Luego de eliminar los duplicados y los resúmenes que no cumplirían los criterios de inclusión, seleccionamos 37 artículos para su lectura completa. De estos, excluimos 15 por diferentes razones: 9 artículos correspondían a cartas al editor y comunicaciones o correspondencias, 3 eran artículos de revisión y 3 eran notas técnicas que explicaban sus usos, pero sin ninguna metodología, dejando un total de 22 artículos para su revisión y análisis (Fig. 1).

De los seleccionados, 13 correspondieron al uso de la termografía convencional y 9 al uso de termografía asociada a teléfonos inteligentes. Volcamos los datos recabados sobre tablas a modo de resumen para expresar las ideas principales (Tabla I y Tabla II).

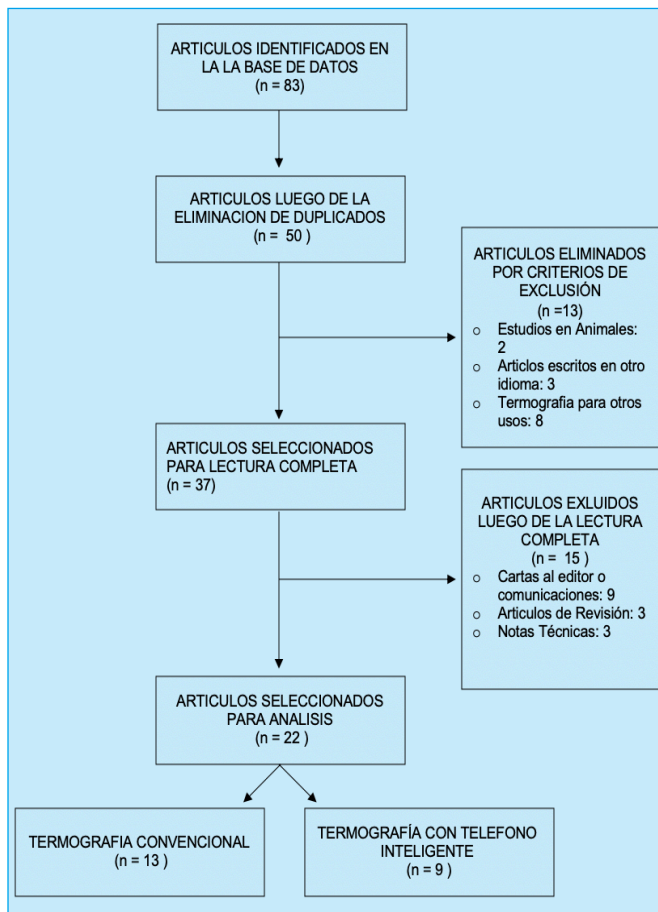


Figura 1: Diagrama de flujo para la selección de artículos para revisión

### Uso de la termografía convencional

A pesar de que fueron Arai y Fakuda los primeros en describir en 1968 las aplicaciones de la termografía en la Cirugía Plástica y el concepto de “puntos calientes”, el trabajo se publicó en una revista japonesa y no tuvo muchas repercusiones. Por este motivo, se le atribuye a Theuvenet y col.<sup>(9)</sup> la primera descripción en inglés sobre el uso de la termografía en la evaluación de perforantes. El autor quería encontrar un método no invasivo y confiable para la planificación de colgajos fascio y músculocutáneos en pacientes con cambios hemodinámicos como aterosclerosis o diabetes, en donde muchas veces el ultrasonograma doppler no lograba detectar las perforantes de forma confiable, por lo que desarrolló una evaluación que llamó T.A.P.A (*Thermographic Assesment of Perforating Arteries*) que consistía en evaluar la zona donante con una cámara termográfica de forma dinámica previo enfriamiento térmico. Para probar la efectividad de la misma, primero realizaron experimentos sobre cadáveres. Diseccionaron 4 colgajos de fascia lata y para imitar las condiciones fisiológicas enfriaron el colgajo con hielo e inyectaron solución fisiológica caliente a través de la arteria circunfleja femoral lateral, simulando el flujo sanguíneo. Utilizando una cámara termográfica no especificada, detectaron los puntos calientes a medida que iban apareciendo. Una vez marcados estos puntos, realizaron disección de las perforantes para comparar los resultados. Luego de demostrar una buena correlación entre la disección y la termografía, probaron la técnica sobre 16 voluntarios sanos y finalmente sobre 28 pacientes de alto riesgo sometidos a colgajos fascio y músculocutáneos; 27 de los 28 colgajos sobrevivieron y el restante mostró una pequeña área de necrosis. La desventaja de esta técnica consistía en los complejos protocolos de preparación previos que generaban una ligera molestia cuando se evaluaban los miembros, ya que colocaban un manguito proximal en la extremidad para detener la circulación sanguínea y luego enfriaban el miembro con agua a 5 grados durante 7 minutos antes de desinsuflar el manguito y evaluar de forma dinámica la aparición de los puntos calientes. En el caso del torso, hacían rodar un tambor con agua fría sobre la superficie.

A este estudio le siguió el de Itoh y Arai<sup>(10)</sup> en 1994, quienes utilizaron la termografía para detectar perforantes en tórax, abdomen y dorso en 12 voluntarios sanos utilizando una cámara termográfica Infra Eye 180 (Fujitsu®, Japón). En este caso, los autores también enfriaron el área a estudiar previamente, pero a diferencia de Theuvenet, utilizaban una bolsa de vinilo con agua fría durante solo 5 a 10 segundos y no utilizaban manguito para las extremidades, lo que causaba menos intolerancia. Además, tras identificar las perforantes, confirmaban

Tabla I. Termografía convencional: resumen de los artículos incluidos en la revisión.

AUTOR	REVISTA Y AÑO DE PUBLICACIÓN	CÁMARA UTILIZADA	APLICACIÓN DE ESTRES TÉRMICO	NIVEL DE EVIDENCIA DE OXFORD	NÚMERO DE PARTICIPANTES	RESUMEN METODOLÓGICO	PRINCIPALES RESULTADOS
Theuvenet y col.	Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery - 1986	No especifica	SI. Agua a 5 grados por 7 minutos	4	4 cadáveres/ 16 voluntarios/ 28 pacientes	Para demostrar utilidad, disecaron colgajos de fascia lata en cadáveres, inyectaron con solución fisiológica caliente para simular el flujo sanguíneo y localizaron con termografía. Una vez identificados, confirmaron con disección de perforantes. Probaron técnica sobre voluntarios y en 28 pacientes	Buena correlación entre termografía y perforantes disecados. En el estudio clínico, supervivencia total en 27 colgajos y 1 necrosis parcial superficial en 1.
Itoh y col.	Annals of Plastic Surgery - 1994	Fujitsu Infra Eye 180	SI. Bolsa de vinilo con agua fría por 5 a 10 segundos	4	12 voluntarios y 2 pacientes	Estudiaron perforantes en tórax, dorso y abdomen con termografía que se confirmaban con doppler y probaron su utilidad en 2 casos clínicos	Buena correlación con doppler. Demostraron supervivencia de los 2 colgajos
Salmi y col.	Annals of Plastic Surgery - 1995	Inframetrics 600	No	3	8 pacientes TRAM	Utilizan termografía para localizar perforantes y evalúan cambios hemodinámicos durante y tras la cirugía midiendo temperatura en diferentes puntos del colgajo en diferentes momentos de la cirugía y compararon con un punto de referencia de piel supraumbilical como control.	Demostaron que la temperatura del colgajo disminuye durante la cirugía hasta que llega a su punto mínimo tras la ligadura de la perforante. Una vez reestablecida la circulación, se ve un aumento rápido de la temperatura de todo el colgajo que se mantiene durante la primera semana de postoperatorio
Chijiwa y col.	Annals of Plastic Surgery - 2000	Infra-Eye 1200A	SI. Bolsa de vinilo con agua fría durante 25 segundos	4	12 voluntarios	Buscan identificar perforantes faciales a través de termografía dinámica. Compara el uso de la técnica dinámica con enfriamiento previo descrita antes con la técnica convencional sin ningún estrés térmico	Crean un mapa de perforantes faciales. La aplicación del frío mejora la visualización de los puntos calientes
Zetterman y col.	European Journal of Plastic Surgery - 1999	Inframetrics 600	Enfriamiento durante 30 o 300 segundos con almohadilla térmica	4	16 voluntarios	Utilizan almohadón térmico con hidrocoloide, para calentar la piel abdominal y luego enfrían durante 30 o 300 segundos y registran los cambios sobre los puntos calientes	Calentar la piel del abdomen por 30 o 300 segundos genera la desaparición del punto caliente al volver el abdomen isotérmico, lo que imposibilita determinar las perforantes. Por otro lado, cuando se aplica frío sobre el abdomen, el punto caliente se vuelve más notorio
de Weer y col.	Annals of Plastic Surgery - 2006	Nikon Laird S270	Solo en 3 pacientes con una placa metálica	3	10 pacientes DIEP O SIEA	Realizan termografía del colgajo previa remoción del clamp vascular y luego de su liberación al finalizar la anastomosis y evalúan el grado de calentamiento	La aparición del punto caliente seguida por un calentamiento generalizado del colgajo tras la anastomosis, muestra buena correlación con adecuado flujo
de Weer y col.	Annals of Plastic Surgery - 2009	Nikon Laird S270 y una FLIR ThermoCAM S65 HS	SI. Enfriamiento con ventilador portátil por 2 minutos	3	20 pacientes DIEP o SIEA	Estudian prospectivamente 20 pacientes realizando evaluación termográfica en postoperatorio inmediato y a 1, 3 y 5 días y evalúan los cambios hemodinámicos	Demuestran que la perfusión de los colgajos se produce en dos niveles: plexo subdérmico y subcutáneo.
Tenorio y col.	Annals of Plastic Surgery - 2011	BioScanIR system	No	2	16 pacientes	Evalúan las zonas dadoras con 2 examinadores. El primero localiza perforantes con cámara termográfica y el segundo con ultrasonograma doppler. Toman fotografía tras marcación y ambas fotografías se superponen para evaluar correlación.	Número de perforantes detectado con termografía mayor en ambas zonas dadoras comparadas con el ultrasonograma Doppler; 65% de las perforantes encontradas en termografía tenían correlación con el doppler mientras que en la pierna llegó al 80%.
Sheena y col.	Plastic & Reconstructive Surgery - 2013	FLIR SC660	No	3	20 voluntarios	Evaluaron 3 zonas utilizadas para colgajos: cara anterolateral de muslo, abdomen y zona sacra, primero con termografía y luego con doppler para verificar pulso audible y ver concordancia	De los 757 puntos calientes identificados con termografía, 732 fueron confirmados con doppler con concordancia del 97%.
De Weer y col.	Annals of Plastic Surgery - 2009	Nikon Laird S270 y una FLIR ThermoCAM S65 HS	SI. Enfriamiento con ventilador portátil por 2 minutos	3	27 pacientes	Evalúan la termografía dinámica en selección de perforantes abdominales y en planificación del colgajo DIEP	Los puntos calientes que primero aparecen y que más rápido se expanden se ven más brillantes y siempre se asocian a un doppler audible y tienen correlación con una perforante en la TAC y en el intraoperatorio
Weum y col.	BMC Medical Imaging - 2016	FLIR ThermoCAM S65 HS	SI. Enfriamiento con ventilador portátil por 2 minutos	3	25 pacientes	Evalúan termografía dinámica en selección de perforantes abdominales y en planificación del colgajo DIEP	Los puntos calientes que primero aparecen y que más rápido se expanden se ven más brillantes y siempre se asocian a un doppler audible y tienen correlación con una perforante en la TAC y en el intraoperatorio
Chubb y col.	Plastic & Reconstructive Surgery - 2013	NEC Thermo Tracer	SI. Agua a 20 grados durante 5 minutos	3	10 pacientes	Estudiaron patrones de calentamiento de puntos calientes y áreas entre los mismos y compararon con resultados de la angio-AC	Todas las perforantes de más de 1 mm detectadas en la topografía están representadas por un punto caliente y el 94% de las perforantes detectadas en la tomografía se observaron con la cámara térmica
Just y col.	European Archives of Oto rhino laryngology - 2015	PI 450	Solo en 6 pacientes con una placa metálica	4	16 pacientes	Miden temperatura en intraoperatorio antes de anastomosis, a los 30 minutos y en el día 1 y 10 de postoperatorio	La falta significativa en la disminución de la diferencia de temperaturas puede ser sugestiva de fallo del colgajo incluso mucho antes de la aparición clínica de sufrimiento

DIEP (*Deep Inferior Epigastric Perforator*); SIEA (*Superficial Inferior Epigastric Artery*); TRAM (*Transverse Rectus Abdominal Muscle*); TAC (Tomografía Axial Computerizada).



**Tabla II. Termografía de teléfonos inteligentes: resumen de los artículos incluidos en la revisión.**

AUTOR	REVISTA Y AÑO DE PUBLICACIÓN	CÁMARA UTILIZADA	APLICACIÓN DE ESTRES TÉRMICO	NIVEL DE EVIDENCIA DE OXFORD	NÚMERO DE PARTICIPANTES	RESUMEN METODOLÓGICO	PRINCIPALES RESULTADOS
Hardwicke y col.	Plastic & Reconstructive Surgery - 2016	Flir One para IOS	No	4	10 voluntarios /1 paciente	Evaluaron termográficamente abdomen y muslos de 10 voluntarios y correlacionaron con doppler. A su vez, en una paciente realizaron termografía para confirmar localización de perforantes abdominales encontradas en angio-TC y monitorizaron intra y postoperatoriamente el colgajo	En voluntarios evidenciaron buena correlación entre termografía y doppler en territorios del colgajo DIEP y ALT
Sharad	Archives of Plastic Surgery - 2017	Flir One para IOS	No	4	23 pacientes	Estudia perforantes en miembros inferiores y compara resultados con estudios anatómicos de literatura	Localiza 3 grupos de perforantes en miembros inferiores, 2 a nivel anterior a 5-10 cm y a 20-25 cm que se correlacionan con perforantes de tibial anterior y 1 a nivel posterior a 13-18 cm correspondientes a perforantes de peronea. No confirmación clínica ni imagenológica
Cifuentes y col.	Archives of Plastic Surgery - 2018	Therm-App para Android	SI. Utilizando ventilador de escritorio por 2 minutos	4	6 muslos de 3 voluntarios sanos	Mapean termográficamente muslos de 3 voluntarios. Obtienen imagen representativa de perforantes y se proyectó nuevamente en el muslo a través de proyector portátil. La imagen se alineó y comprobó correlación con ultrasonograma doppler	Localizaron puntos calientes y proyectan las imágenes obtenidas en el muslo; confirmaron con doppler mostrando 100% de correlación
Pereira y col.	Plastic & Reconstructive Surgery - 2018	Flir One para IOS	No	3	38 muslos de 20 pacientes	Evalúan concordancia entre termografía y angio-TAC en territorio de colgajo ALT en 38 muslos y determinan sensibilidad y especificidad	Correlacion estadísticamente significativa con angio-TAC, sensibilidad de 100% y especificidad de 98%. Muestran correlación con doppler y en intraoperatorio
Larrea Prieta y col.	Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana - 2020	Flir One para IOS	No	3	14 pacientes	Evalúan correlación entre termografía y angio-TAC en territorio de colgajo DIEP	Correlacion estadísticamente significativa entre angio-TAC y termografía
Chen y col.	Head & Neck - 2019	Flir One Pro para IOS	Si. Utilizando gel frío a 4 grados durante 15 segundos	3	12 pacientes	Evalúan miembros inferiores de 12 pacientes sometidos a reconstrucción mandibular con termografía y angio-TAC. En la pierna elegida para la reconstrucción, compararon hallazgos preoperatorios con perforantes identificadas intraoperatoriamente. En el miembro no utilizado, compararon hallazgos de termografía dinámica con angio-TAC	En miembros operados, identificaron 30 perforantes de las cuales la angio-TAC logró detectar 28 de las 30 perforantes con sensibilidad del 93.3% mientras que la termografía detectó 23 de las 30 con sensibilidad del 76.7%. Buena correlación entre puntos calientes marcados y lugar en donde la perforante perfora la fascia
Pereira y col.	Journal of Reconstructive Microsurgery - 2020	Flir One Pro para IOS	SI. Utilizando ventilador portátil por 3 minutos	3	25 pacientes	Evalúan uso de termografía en planificación de colgajos de perforantes locales de miembros inferiores y su monitorización	En preoperatorio, la termografía sirvió como ayuda en la planificación del diseño y orientación de los colgajos. En la evaluación intraoperatoria, cuando la termografía predecía una viabilidad del 100% del colgajo, en todos los casos ocurría. Sin embargo, si la termografía predecía un sufrimiento marginal del colgajo, esto ocurría en 60% de los casos
Patel y col.	Plastic & Reconstructive Journal Global Open - 2019	Flir One para IOS	No	5	1 paciente	Reporte de caso utilizando termografía para confirmar localización de perforantes en diseño de colgajo keystone para reconstrucción de mixofibrosarcoma en muslo derecho donde la ultrasonografía doppler no era concluyente	La termografía permitió detectar perforantes en duda y se tradujo en uncolgajo 100% vital
Cruz Segura y col.	Journal of Reconstructive Microsurgery - 2019	Flir one para IOS	No	2	40 colgajos de los cuales 6 sufieron complicaciones vasculares	Evalúan termografía en detección temprana de complicaciones vasculares en colgajos microvasculares comparando con observación clínica. Dos observadores independientes y no relacionados realizan controles, uno de forma clínica mediante relleno capilar y observación y otro con termografía. En caso de re intervención se comprueba si existe o no obstrucción y el resultado sirvió como patrón para comparar con termografía.	Tras el análisis estadístico concluyen que una diferencia de 2 grados o más entre colgajo y piel adyacente sana en 2 mediciones con 1 hora de diferencia permite detectar obstrucción vascular temprana con sensibilidad del 93%, especificidad del 96%, VPP de 57% y VPN de 99%, lo que le hace una herramienta útil para monitorización de colgajos

\*ALT (*Anterolateral thigh*); DIEP (*Deep Inferior Epigastric Perforator*), TAC (Tomografía Axial Computerizada).

su presencia con un ultrasonograma doppler para descartar falsos positivos. Demostraron una buena correlación entre la termografía y el doppler y mostraron su utilidad clínica en 2 pacientes cuyo resultado fue favorable.

Salmi y col.<sup>(11)</sup> fueron más allá y, además de demostrar la utilidad para localizar las perforantes, utilizaron la termografía en 8 pacientes para evaluar los cambios hemodinámicos que ocurren durante la realización de un colgajo TRAM libre tanto en el intra como en el postoperatorio. Para esto, utilizaron una cámara termográfica Inframetrics 600 (Inframetrics®, North Billerica, MA, EE.UU.) y realizaron mediciones de temperatura en diferentes puntos del colgajo en diferentes momentos de la cirugía y lo compararon con un punto de referencia de piel supraumbilical como control. Demostraron así que la temperatura del colgajo disminuye durante la cirugía hasta que llega a su punto mínimo tras la ligadura de la perforante. Una vez que se reestablece la circulación después de realizar la anastomosis, se ve un aumento rápido de la temperatura de todo el colgajo que se mantiene durante la primera semana de postoperatorio, incluso superando la temperatura preoperatoria durante los primeros 2 días. Además, demostraron que la localización del punto caliente se mantiene antes, durante y después de la cirugía y solo desaparece cuando se liga el pedículo, lo que permitiría a la termografía ser un potencial método diagnóstico.

Chijiwa y col.<sup>(12)</sup> utilizaron la termografía para trazar un mapeo de perforantes a nivel facial estudiando la cara de 12 voluntarios. Compararon el uso de la técnica dinámica con enfriamiento previo descrita anteriormente, con la técnica convencional sin ningún estrés térmico para valorar la mejor forma de identificar las perforantes. Concluyeron que la aplicación del frío mejoraba la visualización de los puntos calientes.

Esta conclusión fue analizada por Zetterman y col.<sup>(13)</sup> que realizaron un estudio para evaluar el efecto que tienen el calor y el frío sobre la detección de los puntos calientes. Utilizando un almohadón térmico con hidrocoloide, calentaban la piel abdominal y luego la enfriaban durante 30 o 300 segundos, registrando los cambios que ocurrían sobre los puntos calientes. Calentar la piel del abdomen por 30 o 300 segundos generaba la desaparición del punto caliente al volver el abdomen isotérmico, lo que imposibilita la determinación de las perforantes. Por otro lado, cuando se aplicaba el frío sobre el abdomen, el punto caliente se volvía más notorio por el mayor contraste de temperatura entre el mismo y el resto del abdomen. A mayor tiempo de enfriamiento, el contraste era mayor y el efecto clínico permanecía durante más tiempo.

Estos primeros estudios demostraron la utilidad de la termografía como método diagnóstico y sentaron las

bases metodológicas de la técnica. Sin embargo, las primeras cámaras termográficas tenían la desventaja de ser grandes, poco prácticas y con una sensibilidad baja para detectar variaciones pequeñas de temperatura, por lo que la aplicación de las mismas no tuvo tanta aceptación.

A medida que la tecnología fue avanzando, las cámaras se volvieron más portátiles y con mejor definición. De Weer fue uno de los pioneros en el estudio y publicó múltiples artículos al respecto. Al igual que Salmi, investigó los cambios hemodinámicos que ocurrían durante y después de la cirugía y desglosó sus hallazgos en 2 artículos muy interesantes. El primero fue en 2006,<sup>(14)</sup> en el que buscó evaluar el uso de la termografía para la monitorización intraoperatoria. Estudió prospectivamente 10 pacientes sometidos a reconstrucción mamaria con colgajos DIEP o SIAE. Durante la operación, realizó la termografía del colgajo en 2 momentos: antes de la remoción del clamp vascular y después de su liberación una vez finalizada la anastomosis. En 6 pacientes, lo que notó fue una rápida aparición del punto caliente seguida por un calentamiento generalizado del colgajo que indicaba una buena perfusión. En 2 pacientes, la tasa de recalentamiento del colgajo fue más lenta que en los casos anteriores y la aparición del punto caliente no fue tan evidente. Al revisar la anastomosis, se evidenció que había una torsión del pedículo en uno de los colgajos y una compresión externa en el otro. Una vez solucionado esto, se produjo un calentamiento automático y una aparición notoria del punto caliente al igual que en los casos anteriores, resultando colgajos vitales. En los restantes 2 pacientes no se evidenció un recalentamiento del colgajo ni aparición del punto caliente, y al revisar la anastomosis se encontró que los vasos presentaban lesiones que llevaron al fracaso del colgajo a pesar de reintentar una nueva anastomosis, lo que a su parecer, se debió a trombosis intracolgajo. En todos los casos de supervivencia del colgajo la localización del primer punto caliente se correlacionaba con la localización audible del doppler y precedía al mismo. El segundo artículo fue publicado en 2009<sup>(15)</sup> para evaluar los cambios termográficos que suceden durante la primera semana de postoperatorio en los colgajos DIEP. Para eso estudió prospectivamente 20 pacientes realizando la evaluación termográfica en el postoperatorio inmediato y en los días 1, 3 y 5, con enfriamiento previo utilizando un ventilador portátil durante 2 minutos. Demostró que el calentamiento del colgajo sigue un patrón determinado. Tras liberar la anastomosis, el colgajo comienza a calentarse siguiendo las zonas de Holm, comenzando por la zona I donde se encuentra la perforante que suple al colgajo, luego la zona II ipsilateral y luego cruza la línea media para calentar las zonas III y IV. Una vez que se obtiene el calentamiento global,

el colgajo pasa por un estado de hiperemia generalizada durante los primeros 3 días y luego empieza a decrecer hasta el día 7. A su vez, paralelamente, el punto caliente sigue un patrón de calentamiento diferente. En un primer momento, el punto caliente solo se ve en la zona I. Durante el primer día comienzan a aparecer algunos otros puntos calientes en la zona II adyacente y a partir del tercer día, cuando la hiperemia empieza a decrecer, empiezan a aparecer otros puntos calientes en las diferentes zonas del colgajo contralateral. Este trabajo demostró que la perfusión de los colgajos se produce en 2 niveles: a nivel del plexo subdérmico y a nivel subcutáneo. En un primer momento el flujo se trasmite a través del plexo subdérmico y, a medida que se van abriendo los vasos de choque a nivel subcutáneo, se comienzan a notar otros puntos calientes correspondientes a perforantes. A su vez demostraron que los vasos de choque a nivel de la línea media tienen mayor resistencia que aquellos que unen los perforasomas ipsilaterales, dando una explicación fisiológica de porqué es más seguro realizar un hemi-DIEP.

Ese mismo año, de Weer y col.<sup>(16)</sup> realizaron otro estudio prospectivo, esta vez para evaluar el uso de la termografía dinámica en la selección de perforantes abdominales y en la planificación del colgajo DIEP en 27 pacientes. En el preoperatorio, marcaron los colgajos según los reparos anatómicos habituales y con un ultrasonograma doppler identificaron todas las perforantes audibles, las cuales plasmaron sobre el abdomen. A continuación, realizaron la evaluación termográfica con enfriamiento previo utilizando un ventilador portátil durante 2 minutos y evaluaron el patrón de calentamiento de los puntos calientes. A medida que aparecían estos puntos, evaluaban con doppler para comprobar un sonido audible y, de ser positivo, marcaban con una cruz sobre el abdomen y evaluaban si coincidía con el doppler previamente marcado. Adicionalmente, en 8 pacientes realizaron una angio-tomografía para comparar con los resultados. A pesar de que todos los puntos audibles no se correlacionaban con puntos calientes, todos los puntos calientes se correlacionaban con doppler audibles. Demostraron que la termografía dinámica brinda información valiosa no solo cuantitativa, sino también cualitativa, ya que al analizar el patrón de calentamiento observan que los puntos calientes que primero aparecen y que más rápido se expanden se ven más brillantes, siempre se asocian a un doppler audible y tienen correlación con una perforante en la tomografía. Esto les permite identificar una perforante con buen flujo en todos los casos con resultados favorables en el 100% de los pacientes. Una particularidad interesante fue que todos los puntos calientes y audibles se encontraban siempre más laterales que el punto donde la perforante perfora la fascia, lo que tiene relación con

el grosor del tejido subcutáneo en el que los vasos tienen su trayecto.

Weum y col.<sup>(17)</sup> en 2016, en un estudio con idéntica metodología, obtuvieron resultados similares. El estudio prospectivo incluía 25 pacientes que se sometieron a una angioTAC con reconstrucción para determinar si los primeros puntos calientes en aparecer correspondían a perforantes en la TAC. En los 25 pacientes localizaron 113 puntos calientes con la termografía, de los cuales 108 (95.6%) correspondían a perforantes en la TAC. A su vez, no todos los doppler audibles se asociaron con puntos calientes o con perforante en la TAC, lo que muestra que la ultrasonografía tiene una mayor tasa de falsos positivos.

En 2011, Tenorio y col.<sup>(18)</sup> realizaron un estudio para comparar la termografía con la ultrasonografía doppler en la detección de perforantes. Incluyeron en el estudio 16 pacientes, de los cuales 10 se sometieron a una reconstrucción mamaria con colgajo DIEP y 6 a una reconstrucción mandibular con colgajo de peroné con pastilla cutánea. Las zonas dadoras fueron evaluadas por 2 examinadores. El primero localizaba las perforantes con una cámara termográfica y el segundo con un ultrasonograma doppler. Tomaban una fotografía tras la marcación y ambas fotografías se superpusieron para evaluar la correlación. Al analizar las dos imágenes observaron que el número de perforantes detectadas con la termografía era mayor en ambas zonas dadoras comparadas con el ultrasonograma doppler; 65% de las perforantes encontradas en la termografía tenían una correlación con el doppler, mientras que en el caso de la pierna llegaba al 80%. Además, es importante aclarar que existía una diferencia entre la marca del doppler y el punto caliente más cercano en promedio de 12 mm en el abdomen y mucho menor en la pierna. Esto se correlaciona con la emergencia de los vasos evaluada en el intraoperatorio. El doppler mostraba la emergencia de las perforantes en la fascia profunda mientras que la termografía mostraba la llegada a la piel, por lo que la distancia que las separa corresponde al trayecto de las perforantes sobre el tejido celular subcutáneo que, al ser menor en la pierna, tuvo una correlación mayor.

En 2013, Shenna y col.<sup>(19)</sup> evaluaron en 20 voluntarios 3 zonas utilizadas para colgajos: la cara anterolateral de muslo, el abdomen y la zona sacra. Utilizaron una cámara termográfica (Flir SC660; Flir Systems, Inc., Wilsonville, Oregón, EE.UU) a 70 cm de distancia, con una temperatura ambiente de 23 grados y marcan todos los puntos calientes correspondientes a eventuales perforantes en dichas zonas. A continuación, utilizaron el doppler en cada uno de los puntos marcados para verificar el pulso audible y ver la concordancia. De los 757 puntos ca-

lientes identificados con la termografía, 732 fueron confirmados con el doppler con una concordancia del 97%.

En 2013, Chubb y Taylor<sup>(20)</sup> realizaron un estudio experimental con el fin de evaluar termográficamente las conexiones entre los diferentes perforasomas, con el objetivo de poder determinar la diferencia entre anastomosis verdaderas o de choque para poder tomar mejores decisiones preoperatorias y evaluar la necesidad de diferir un colgajo cuando este exceda los límites. Para esto realizaron un estudio en 2 etapas. En la primera, realizaron un escáner termográfico en 10 zonas de 10 pacientes incluyendo dorso, abdomen y piernas. Luego de un aclimatación de las zonas a evaluar, realizaron un enfriamiento con agua a 20 grados durante 5 minutos y evaluaron con una cámara térmica los patrones de calentamiento de los puntos calientes y de las áreas entre los mismos. Para validar los datos, compararon la localización de las perforantes con angioTAC realizado a los pacientes. En la segunda etapa, compararon los resultados obtenidos con los estudios cadavéricos realizados previamente y descritos en otro artículo. Observaron que los puntos calientes se correlacionaban bien con las perforantes observadas en la topografía. Todas las perforantes de más de 1 mm detectadas en la topografía estaban representadas por un punto caliente y el 94% de las perforantes detectadas en la tomografía se observaron con la cámara térmica. Al igual que los otros autores, notaron que la localización de los puntos calientes era diferente al punto donde atravesaba la perforante la fascia profunda y esto tenía relación con la cantidad de tejido celular subcutáneo presente. A su vez, los puntos calientes tenían un patrón de recalentamiento que se asemejaba a una función logarítmica. Al analizar las zonas interperforantes, notaron que la tasa de recalentamiento era variable y había 2 patrones diferentes. Uno con un patrón de calentamiento similar al de las perforantes y otro con un patrón de calentamiento mucho más lento, lo cual correspondería en el primer caso a anastomosis verdaderas mientras que en el segundo caso serían anastomosis de choque.

Just y col.<sup>(21)</sup> publicaron un trabajo prospectivo para la monitorización intra y postoperatoria de colgajos radiales libres en reconstrucciones orofaríngeas en 16 pacientes. Utilizaron una cámara PI 450 (Optris GmbH®, Berlin, Alemania) para medir la temperatura en el intraoperatorio previo a la anastomosis, a los 30 minutos de realizarla y en el día 1 y 10 de postoperatorio. Lo que midieron fue la diferencia de temperaturas entre el colgajo y el tejido sano. A su vez, en 6 pacientes utilizaron una placa metálica fría para realizar la medición dinámica. Se demostró que había una diferencia de temperaturas entre el colgajo y el tejido sano antes de la anastomosis que luego disminuía y quedaba constante durante todo el postoperatorio;

15 de los 16 colgajos resultaron exitosos, mientras que uno de ellos mostró signos de sufrimiento en el primer día de postoperatorio y a pesar de la revisión, no se pudo salvar. Este colgajo no mostró una disminución en la diferencia de temperaturas en comparación con el valor previo a la anastomosis. A pesar de que el número de participantes fue pequeño como para establecer una estadística significativa, los autores proponen que una falta significativa en la disminución de la diferencia de temperaturas puede ser sugestiva de un fallo del colgajo, incluso mucho antes de la aparición clínica de sufrimiento. Lo mismo ocurre si hay una diferencia mayor a 1 grado Kelvin en el primer día de postoperatorio

### La era de los teléfonos inteligentes

Con el avance de la tecnología se crearon cámaras térmicas en miniatura y a un décimo del precio que una cámara termográfica profesional, que además pueden acoplarse a cualquier teléfono inteligente. De esta manera, a través de una aplicación brindada por la propia empresa, se puede transformar la cámara fotográfica del celular en una cámara termográfica que permite tomar fotos y videos en tiempo real de manera simple, portátil y más accesible. Esta ventaja en el precio y portabilidad viene acompañada en contraposición de algunas desventajas. Las cámaras asociadas a teléfonos inteligentes tienen una menor resolución y una sensibilidad más baja para la detección de variaciones de temperatura. Además, tienen algunos artefactos de superposición de imágenes que pueden alterar el sitio exacto de localización de los puntos calientes.

Hardwicke<sup>(22)</sup> en 2016, fue el primero en realizar un estudio para evaluar el uso de estas cámaras termográficas compatibles con un teléfono inteligente, tanto en la detección de perforantes como en la evaluación de los perforasomas durante la cirugía y en la valoración postoperatoria. Para demostrar la utilidad de la misma estudio 10 voluntarios sanos a los cuales se les realizó termografía para identificar las perforantes en el territorio del colgajo DIEP y del colgajo ALT. Utilizó la cámara Flir One (Flir Systems®, Inc., Wilsonville, Oregón, EE.UU.) a 70 cm de distancia en un ambiente a 22 grados y después de 3 minutos de aclimatación sin previo estrés térmico. Una vez identificadas las perforantes, confirmó las mismas con un ultrasonograma doppler. En los muslos, los puntos calientes estaban en concordancia con los reparos anatómicos conocidos. A su vez, en una paciente que se iba a someter a un colgajo DIEP, se realizó un angio-TAC preoperatorio para localizar la perforante más adecuada y se confirmó el hallazgo con la termografía, mostrando una buena correlación. En esa misma paciente, en el intraoperatorio, tras disecar el colgajo y previo clampeo



de la perforante, se evaluó termográficamente el perforasoma para poder determinar el área menos perfundida para resecar. El colgajo fue monitorizado a su vez con la cámara en el postoperatorio, mostrando la buena perfusión y la paciente fue dada de alta con el colgajo vital a los 6 días, sin inconvenientes. A pesar de ser un estudio estadísticamente pobre, con 1 solo caso clínico, sentó las bases para nuevas investigaciones y aplicaciones de la nueva tecnología.

En 2017, Sharad<sup>(23)</sup> utilizó la misma cámara para determinar la localización de las perforantes en los miembros inferiores en 23 pacientes y comparó los resultados con estudios anatómicos de la literatura. Tomando como punto de reparo la línea intermaleolar, localizó 3 grupos de perforantes en el miembro inferior: 2 a nivel anterior a 5-10 cm y a 20-25 cm que se correlacionaban con las perforantes de la tibial anterior y 1 a nivel posterior a 13-18 cm correspondiente a perforantes de la peronea.

En 2018, Cifuentes y col.<sup>(24)</sup> realizaron un estudio combinando el uso de la cámara termográfica con un programa de realidad aumentada para el mapeo de perforantes en el territorio del colgajo ántero-lateral de muslo. Evaluaron 6 regiones en 3 voluntarios sanos. Después de 5 minutos de aclimatación en un ambiente a 22 grados, marcaron los reparos principales del colgajo (espina iliaca anterosuperior, borde lateral de la rótula y punto medio entre ambas) con un papel de aluminio. Tras realizar el proceso de enfriamiento utilizando un ventilador portátil durante 2 minutos en la zona, se procedió a utilizar una cámara térmica Therm-App (Opgal Optronic Industries®, Karmiel, Israel) para evaluar los puntos calientes. Obtuvieron una imagen representativa de las perforantes y esa misma se proyectó nuevamente en el muslo a través de un proyector portátil acoplado al mismo celular. La imagen se alineó tomando en cuenta los trozos de papel de aluminio que en la termografía aparecen como puntos negros al impedir la radiación de calor. Una vez proyectados, comprobaron la correlación con el ultrasonograma doppler mostrando un 100% de coincidencia. Según los autores, la ventaja de utilizar la realidad aumentada consiste en poder proyectar durante la operación una imagen representativa de las perforantes tomada en condiciones térmicas ideales, que durante el acto quirúrgico no están presentes, sin comprometer la sensibilidad del artefacto, brindando así al cirujano una ayuda extra en la planificación del colgajo.

Ese mismo año, Pereira y col.<sup>(25)</sup> realizaron un estudio prospectivo comparando el uso de la termografía con la angio-tomografía en la detección de perforantes en el territorio del colgajo ántero-lateral de muslo. Evaluaron 38 muslos de 20 pacientes que se sometieron a reconstrucción de miembro inferior. En la angio-TAC identi-

ficaron las perforantes tomando en cuenta la distancia desde la espina iliaca ántero-superior sobre el eje del colgajo (desde la espina hasta el ángulo súpero-lateral de la patela). Posteriormente hicieron lo mismo con la cámara termográfica de un teléfono inteligente Flir one (Flir Systems®, Inc., Wilsonville, Oregón, EE.UU.) a 70 cm de distancia después de 5 minutos de aclimatación y a una temperatura ambiental de 22 grados tomando los mismos reparos. Evaluaron la concordancia entre los estudios y calcularon la sensibilidad y especificidad de la termografía. Detectaron 117 perforantes con la angio-tomografía y 120 con la termografía, con una correlación estadísticamente significativa y con una sensibilidad del 100% y una especificidad del 98%. A su vez, demostraron la correlación entre la termografía y la ultrasonografía doppler y la confirmación en el intraoperatorio.

Larrea Prieto y col.<sup>(26)</sup> realizaron un estudio similar en forma prospectiva sobre 16 pacientes comparando la termografía con la angio-tomografía en la detección de perforantes, pero en el territorio del colgajo DIEP. Al igual que Pereira, demostraron una semejanza estadísticamente significativa entre ambas.

En 2019, Chen y col.<sup>(27)</sup> también fueron por lo mismo, pero esta vez en la detección de perforantes de la arteria peronea. Incluyeron en el estudio 12 paciente sometidos a reconstrucción mandibular. Los pacientes fueron evaluados en ambos miembros utilizando la cámara Flir One Pro (Flir Systems®, Wilsonville, Oregón, EE.UU). conectada a un iPad a 40 cm de distancia sobre un trípode. A diferencia de los anteriores, realizaron antes del estudio un estrés térmico de la zona con un gel congelado a 4 grados durante 20 minutos aplicado por 15 segundos en la región a estudiar. Tras la termografía, los pacientes fueron sometido a una angio-TAC con reconstrucción para determinar las perforantes y el miembro a utilizar. En la pierna elegida para la reconstrucción, compararon los hallazgos preoperatorios con las perforantes identificadas intraoperatoriamente. En el miembro no utilizado, compararon los hallazgos de la termografía dinámica con la angio-TAC. Según los hallazgos intraoperatorios, identificaron 30 perforantes en los 12 miembros utilizados, con un promedio de 2.5 por pierna. La angio-TAC logró detectar 28 de las 30 perforantes con una sensibilidad del 93.3%, mientras que la termografía dinámica detectó 23 de las 30 con una sensibilidad del 76.7%. A su vez, la termografía detectó 35 puntos calientes en los 12 miembros donantes de los cuales solo 23 de ellos correspondían a perforantes, lo que da un Valor Predictivo Positivo (VPP) de 65.7% comparado con la angio-TAC que obtuvo un VPP de 100%. Sin embargo, los hallazgos intraoperatorios mostraron una buena correlación entre

los puntos calientes marcados y el lugar en donde la perforante perfora la fascia.

En cuanto al miembro contralateral, la angio-TAC detectó 27 perforantes en las 12 piernas, de los cuales 18 (66.7%) se consideraban grandes (más de 2 mm) y 9 (33.3%) se consideraban medianas (entre 1.5 y 2 mm), mientras que la termografía mostró 29 puntos calientes, de los cuales 19 se asociaban a perforantes, siendo capaz de detectar 14 de 18 perforantes grandes (77.8%) y 5 de 9 medianas (55.5%). En resumen, logró detectar 42 de las 57 perforantes con una sensibilidad global de 73.7% y un VPP de 65.6%. Por su baja sensibilidad, los autores no recomiendan el uso de la cámara térmica de forma única pero sí su uso como adyuvante a la angio-TAC debido a que permite agilizar los tiempos y optimizar la planificación de una forma simple, no invasiva y accesible, además de mostrar información dinámica sobre la perforante.

En 2020, Pereira y Hallock<sup>(28)</sup> realizaron un estudio prospectivo utilizando una cámara térmica para teléfonos inteligentes FlirOne Pro (Flir Systems®, Inc., Wilsonville, Oregón, EE.UU.) en colgajos de perforantes locales de miembros inferiores. Evaluaron 28 colgajos en 25 pacientes. Clasificaron los colgajos en 4 grupos: peninsulares, de avance (que en la casuística eran colgajos *keystone*), colgajos en isla y en hélice (*propeller*). Realizaron termografía previo enfriamiento con un ventilador portátil durante 3 minutos de la zona dadora para planificar la posición y orientación de los colgajos y también comprobaron la vitalidad de los mismos en el intra y en el postoperatorio. En el preoperatorio, la termografía sirvió como ayuda en la planificación del diseño y orientación de los colgajos. En el caso de los colgajos peninsulares, la localización de los puntos calientes les permitió orientar los mismos en forma proximal o distal en el diseño de los colgajos *keystone*; el hecho de poseer varios puntos calientes dentro del mismo les permitió una mayor disección subfascial del colgajo para mejorar la tensión; y en el caso de los colgajos en isla y en hélice, la termografía permitió definir la mejor perforante. En el caso de la evaluación intraoperatoria, cuando la termografía predecía una viabilidad del 100% del colgajo, en todos los casos ocurría. Sin embargo, si la termografía predecía un sufrimiento marginal del colgajo, esto ocurría en el 60% de los casos.

Así mismo, en un reporte de caso, Patel y col.<sup>(29)</sup> utilizaron la termografía para confirmar la localización de perforantes en el diseño de un colgajo *keystone* para la reconstrucción de un mixofibrosarcoma en el muslo derecho, en donde la ultrasonografía doppler no era concluyente y se necesitaba una segunda prueba de confirmación. La termografía permitió detectar las perforantes en duda, lo que se tradujo en un colgajo 100% vital.

El único estudio de monitorización de colgajos utilizando una cámara termográfica compatible con teléfono inteligente fue el de Cruz Segura y col.,<sup>(30)</sup> quienes publicaron en la revista *Journal & Reconstructive Microsurgery* en 2019. Realizaron un estudio para evaluar la termografía en la detección temprana de complicaciones vasculares en los colgajos microvasculares comparándolo con la observación clínica. Incluyeron todos los pacientes sometidos a colgajos microvasculares durante 1 año. Tras la cirugía, colocaron una sutura en el punto donde se encontraba la perforante dominante y otra sutura 5 cm por fuera del colgajo, en una zona adyacente de piel sana para servir como control. Dos observadores independientes y no relacionados realizaban los controles, uno de forma clínica mediante el relleno capilar y la observación y el otro con la termografía en los 2 puntos marcados anteriormente. Para esto utilizaron una cámara termográfica Flir (Wilsonville, Oregón, EE.UU.) a 30 cm del colgajo en un ángulo de 90 grados y después de 5 minutos de descubierto para aclimatar las temperaturas. La decisión de reoperar a los pacientes por obstrucción vascular estaba a cargo del primer observador y se basó en la clínica sin saber el resultado de la termografía. En caso de reintervención se comprobaba si existía o no obstrucción y el resultado sirvió como patrón para comparar con la termografía. Evaluaron 40 colgajos, de los cuales 28 eran DIEP, 5 ALT, 3 radiales, 2 escapulares, 1 fibular y un 1 ántero-medial de muslo; 6 de ellos presentaron signos de obstrucción vascular (15%): 5 con obstrucción venosa y 1 con obstrucción arterial; 4 pudieron salvarse tras la reintervención, 1 sufrió necrosis total y el otro necrosis parcial. Evaluando retrospectivamente con los resultados de la termografía, esta mostró imágenes de obstrucción entre 2 y 12 horas antes de la observación clínica, con una diferencia de temperatura de más de 2 grados en comparación con el control sano. Después del análisis estadístico, concluyeron que una diferencia de 2 grados o más entre el colgajo y la piel adyacente sana en 2 mediciones, con una hora de diferencia, permiten detectar una obstrucción vascular temprana con una sensibilidad del 93%, una especificidad del 96%, un VPP de 57% y un VPN de 99%, lo cual lo convierte en una herramienta útil para monitorización de colgajos.

## Discusion

El objetivo de esta revisión fue analizar las aplicaciones clínicas de la termografía como potencial herramienta en la cirugía de perforantes.

En los últimos años, el uso de colgajos de perforante ha crecido de forma exponencial reemplazando a los colgajos fascio y músculo-cutáneos axiales clásicos

en la Cirugía Reconstructiva. A pesar de que tienen la ventaja de preservar estructuras profundas y, por ende, mayor funcionalidad, son técnicamente demandantes y requieren una gran experiencia. La selección de un vaso de adecuado calibre es uno de los pasos más importantes para asegurar la vitalidad del colgajo. Sin embargo, sabemos que existe una gran variabilidad en cuanto a la localización, número y trayecto de los vasos entre las personas e incluso entre ambos lados de un mismo individuo, lo cual vuelve incluso más desafiante la cirugía.<sup>(31)</sup> Por lo tanto, la planificación se ha vuelto un paso esencial, ya que no solo sirve para localizar los vasos y ayudar en el diseño del colgajo, sino que también está demostrado que reduce los tiempos operatorios, disminuye la morbilidad de la zona dadora y mejora el éxito de la cirugía.<sup>(32)</sup>

Existe en la literatura una gran cantidad de opciones imagenológicas para esta planificación, cada una con ventajas y desventajas.

El ultrasonograma doppler es fácil de utilizar, portátil, económico y permite no solo la identificación de las perforantes sino también su monitorización con una alta sensibilidad. Sin embargo, tiene una baja especificidad con una alta tasa de falsos positivos y gran variabilidad interobservador. Además, no permite obtener información cualitativa de los vasos ni de su trayecto.<sup>(33)</sup>

El doppler color permite detectar no solo las perforantes con una alta especificidad, sino que además permite obtener información acerca del flujo y del diámetro del vaso de una forma no invasiva y sin radiación. Sin embargo, no brinda información de la anatomía subyacente y es operador-dependiente, lo cual requiere un especialista entrenado para realizarlo e informarlo adecuadamente.<sup>(34)</sup>

La angiorrisonancia es un excelente examen ya que permite identificar las perforantes, su trayecto y la anatomía subyacente sin irradiación. Sin embargo, no siempre está disponible en todos los servicios, su costo es mucho más elevado y consume mayor cantidad de tiempo.<sup>(35)</sup>

La angio-tomografía está considerada como el modelo estándar para la evaluación de perforantes hoy en día, ya que permite identificar de forma precisa vasos mayores de 0.3 mm y le brinda al cirujano una imagen tridimensional de la anatomía con información valiosa del trayecto, tamaño y relación con el resto de las estructuras subyacentes, a un menor costo que la resonancia.<sup>(36)</sup> Sin embargo, genera un retraso en los tiempos, está asociada a altas dosis de radiación y riesgo de extravasación y nefrotoxicidad. Sumado a esto, no brinda una imagen dinámica, por lo que no puede utilizarse para la monitorización.<sup>(36)</sup>

La termografía es una técnica no invasiva, fácil de utilizar, portátil, de bajo costo y que no genera radiación

ni riesgo de toxicidad por contraste, que permite de forma dinámica la evaluación de perforantes y puede ser útil tanto para el mapeo preoperatorio como para la monitorización intra y postoperatoria. Requiere mínimo entrenamiento y no se han reportado efectos adversos por su uso.

Una cámara termográfica es un dispositivo que mide la temperatura y ofrece una imagen térmica de los objetos sin necesidad de contacto, a partir de las emisiones de radiación infrarroja de estos. Los rayos infrarrojos fueron descubiertos en el año 1800 por Sir William Herschel,<sup>(37)</sup> un astrónomo alemán quien, después de hacer pasar la luz solar a través de un prisma de cristal para generar un espectro de luz visible, midió la temperatura de cada color y notó que la temperatura aumentaba al pasar de la parte azul a la parte roja e incluso más allá del espectro, en una región donde no había luz visible. Herschel concluyó que existía otro tipo de luz más allá del rojo, que no podemos ver, a la que denominó rayos calóricos y que posteriormente fue denominada como radiación infrarroja. Por lo tanto, la radiación infrarroja es un tipo de radiación electromagnética fuera del espectro de luz visible que es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor de 0 grados Kelvin.<sup>(38)</sup>

En condiciones ambientales estables, la principal vía de pérdida de calor de un cuerpo humano es a través de la radiación en forma de rayos infrarrojos. La cantidad emitida está determinada por la temperatura de la piel que a su vez, depende de la vascularización, que es la vía por la cual se transmite el calor a través del cuerpo. Por lo tanto, al evaluar la temperatura de la piel lo que estamos viendo, indirectamente, es la irrigación subyacente.<sup>(39)</sup> El aumento de la vascularización es un marcador de inflamación y de aumento del metabolismo, por lo que el primer uso de la termografía en Medicina fue para diversas especialidades, principalmente con motivo de detección de procesos inflamatorios o tumorales, siendo Lawson,<sup>(40)</sup> en 1956, quien descubrió que la temperatura en los tumores de mama era mayor que la del tejido adyacente debido al mayor metabolismo que genera mayor vascularización y por ende, mayor irradiación de rayos infrarrojos.

En el caso de la Cirugía Plástica, este principio sirvió para evaluar la vascularización de los colgajos y fue aprovechado por Aria y col. hace más de 40 años para describir lo que hoy conocemos como puntos calientes.<sup>(41)</sup> Esto fue seguido por los estudios pioneros de Theuvenet, Itoh, Salmi y otros, que demostraron la utilidad de la termografía en la evaluación de perforantes.

A pesar de la innovación de la técnica, las primeras cámaras termográficas tenían el inconveniente de ser grandes, poco prácticas y costosas, por lo que tuvieron

poca aceptación y aplicación clínica. A medida que la tecnología avanzaba, las cámaras se fueron haciendo más pequeñas, portátiles y fáciles de utilizar, con una definición y sensibilidad mayor que las anteriores. Esto permitió poder utilizarlas dentro del quirófano para obtener imágenes intraoperatorias y como monitorización en el postoperatorio de una forma más sencilla, lo que dio lugar a mayores estudios. En los últimos años, algunas empresas sacaron modelos de cámaras que pueden conectarse a los teléfonos inteligentes y, a partir de una aplicación, pueden obtenerse imágenes y videos en tiempo real convirtiendo al celular en una cámara termográfica. Estas cámaras acopladas a teléfonos inteligentes tienen la ventaja de ser mucho más baratas y prácticas, lo que permite su uso de forma fácil, sin entrenamiento previo, a expensas de una menor resolución y detección de variaciones de temperatura.

A pesar de que la termografía no es un método ideal de diagnóstico, tiene muchas ventajas que la convierten en una herramienta útil a la hora de evaluar los colgajos de perforantes. La principal es su capacidad de valorar la vascularización de los colgajos de forma dinámica, lo cual agrega un valor cualitativo muy importante a la hora de elegir una perforante. Como señalaban de Weer y Weum en sus estudios, la primera perforante en aparecer y que más rápido se expande siempre se correlaciona con un sonido doppler audible y con una perforante en la angio-tomografía de buen calibre. Además, de acuerdo con los estudios de Chubb y Taylor, se puede tener una idea de las zonas interperforantes y según el grado de recalentamiento, se pueden evidenciar las zonas de anastomosis verdaderas y de anastomosis de choque. También, como señalaron Pereira y Hallock, la localización de las perforantes ayuda para mejorar el diseño y orientación de colgajos locales.

Muchos autores, para mejorar la visualización de las perforantes, utilizan algún tipo de estrés térmico y observan el proceso de recuperación de la temperatura. Esto es lo que se conoce actualmente como DIRT (*Dynamic Infra Red Thermography*), término acuñado por de Weer para describir la tasa de recalentamiento del área a evaluar después de aplicar algún método frío. Al tener los puntos calientes una tasa de calentamiento más rápida que el resto del colgajo, se genera una mayor diferencia de temperaturas que permite diferenciarlas con mayor nitidez. Sin embargo, es importante aclarar que el frío aplicado no debe ser excesivo, ya que puede conducir a una vasoconstricción que reduzca el flujo y, por ende, la visualización. La temperatura no debería disminuir de los 20 grados. Es importante aclarar también que no todos los autores utilizan este enfriamiento previo. Shen-na, Tenorio y Pereira, entre otros, mostraron resultados

similares a los de de Weer sin utilizar un estrés térmico. Además, el estrés puede ser útil durante la evaluación preoperatoria, pero es muy dificultoso durante la cirugía por el riesgo de contaminación del campo quirúrgico.

Este dinamismo, a su vez, permite que la termografía no solo sirva para identificar perforantes, sino también puede ser útil para la monitorización del colgajo, tanto dentro del quirófano como fuera del mismo, dándole una ventaja sobre otros métodos como la angio-TAC o la resonancia. Esto es una ayuda muy importante para el cirujano plástico, ya que muchas veces pueden surgir dudas dentro del quirófano sobre la perforante más adecuada o sobre la perfusión del colgajo. Como mostraron de Weer o Hardwicke, la termografía permite marcar el perforasoma una vez elegida la perforante y determinar el grado de recalentamiento después de una anastomosis y, de esa forma, valorar el éxito de la misma. Todo esto con la ventaja de no generar radiación ni precisar medios de contraste y sin costo adicional, a diferencia de otros métodos como la angiografía o la indiocianina.

Hay pocos estudios que hablen sobre la monitorización, pero han demostrado que la termografía permite predecir la obstrucción vascular entre 2 y 12 horas antes de la observación clínica con una sensibilidad del 93%, una especificidad del 96%, un VPP de 57% y un VPN de 99%, lo cual la convierte en una herramienta potencialmente útil para la monitorización de colgajos. En comparación con otros estudios, la termografía mostró buena correlación con el doppler y según los estudios más recientes de Pereira y Larrea Prieto, con la angio-TAC, presentan una sensibilidad y especificidad de 98 y 100% respectivamente.

La termografía también tiene algunas limitaciones. La primera es que brinda una imagen superficial de la perforante pero no permite marcar el trayecto ni el calibre de los vasos, para lo cual una angio-TAC sería más valiosa. A su vez, como señalaron varios artículos, el punto donde detecta la perforante la termografía no coincide siempre con el punto en donde perfora la fascia profunda y esto depende del tejido graso del paciente, por lo que eso hay que tenerlo en cuenta, sobre todo, a la hora de planificar un colgajo abdominal o en un paciente obeso.

En segundo lugar, es importante entender que la temperatura de la piel puede ser influida por factores externos, como la temperatura de la habitación, la humedad y la ropa, por lo que siempre es importante disponer de un periodo de aclimatación previo y mantener una temperatura estable. A su vez, algunos autores argumentan que las cámaras térmicas asociadas a teléfonos inteligentes, al tener menor sensibilidad, se beneficiarían de la utilización de técnicas dinámicas mediante el enfriamiento previo de la zona a estudiar para permitir una mayor



diferencia de temperaturas y una mejor resolución. Sin embargo, según otros autores, esto no sería necesario.

Por último, la mayoría de los estudios están descritos sobre series pequeñas de casos y con muchas diferencias en cuanto a la cámara utilizada, la distancia, la metodología empleada y los resultados. Esta falta de estandarización vuelve difícil formular conclusiones acertadas y hacen necesarios futuros estudios randomizados que permitan estandarizar la práctica y la metodología.

## Conclusiones

La termografía es una técnica prometedora que permite obtener una imagen de la temperatura cutánea e, indirectamente, brinda información de la perfusión en tiempo real. Esto nos da una idea no solo de la cantidad de los vasos sino también la calidad de los mismos. Diversos estudios muestran su utilidad para la detección de perforantes, para la evaluación de los colgajos en el intraoperatorio y para su monitorización posterior. Es una técnica simple, accesible, no invasiva y que no genera radiación ni toxicidad. Sin embargo, sus limitaciones y la gran heterogeneidad en las metodologías y resultados de los artículos revisados hacen que, por el momento, se deba considerar su uso como adyuvante o complemento de otros métodos más efectivos. Son necesarios estudios con series más grandes y metodología estandarizada, pero debido a sus múltiples ventajas, la termografía ya puede ser considerada dentro del armamentario de los cirujanos plásticos.

## Dirección del autor

Dr. Esteban Elena Scarafoni  
Entre Ríos 663, CP 1636  
Olivos, Buenos Aires, Argentina  
Correo electrónico: [estebanelenascarafoni@gmail.com](mailto:estebanelenascarafoni@gmail.com)

## Bibliografía

1. **Koshima I, Soeda S.** Inferior epigastric artery skin flaps without rectus abdominis muscle. *Br. J. Plast. Surg.* 1989;42(6):645-648.
2. **Rozen WM, Ribuffo D, Atzeni M, et al.** Current state of the art in perforator flap imaging with computed tomographic angiography. *Surg Radiol Anat.* 2009;31(8):631-639.
3. **Nahabedian MY.** Overview of Perforator Imaging and Flap Perfusion Technologies. *Clin Plast Surg.* 2011;38(2):165-174.
4. **Hallock GG.** Dynamic infrared thermography and smartphone thermal imaging as an adjunct for preoperative, intraoperative, and postoperative perforator free flap monitoring. *Plast Aesthet Res.* 2019;6(29):1-12.
5. **Francis JE, Roggli R, Love TJ, et al.** Thermography as a means of blood perfusion measurements. *J Biomech Eng.* 1979;101(4):246-249.
6. **Jones BF.** A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. *IEEE. Trans Med Imaging.* 1998;17(6):1019-1027.
7. **Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG; PRISMA Group.** Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 2009;6(7):e1000097.
8. **OCEBM Levels of Evidence Working Group.** "The Oxford 2011 Levels of Evidence". Oxford Centre for Evidence-Based Medicine. <http://www.cebm.net/index.aspx?o=5653>
9. **Theuvsen WJ, Koeyers GF, Borghouts MHM.** Thermographic Assessment of Perforating Arteries. *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg.* 1986;20(1):25-29.
10. **Itoh Y, Arai K.** Use of recovery-enhanced thermography to localize cutaneous perforators. *Ann. Plast. Surg.* 1995;34(5):507-511.
11. **Salmi AM, Tukiainen E, Asko-Seljavaara S.** Thermographic mapping of perforators and skin blood flow in the free transverse rectus abdominis musculocutaneous flap. *Ann. Plast. Surg.* 1995;35(2):159-164.
12. **Chijiwa TI, Arai K, Miyazaki N, Igota S, Yamamoto N.** Making of a facial perforator map by thermography. *Ann Plast Surg.* 2000;44(6):596-600.
13. **Zetterman E, Salmi A, Suominen S, Karonen A, Asko-Seljavaara S.** Effect of cooling and warming on thermographic imaging of the perforating vessels of the abdomen. *Eur. J. Plast. Surg.* 1999; 22: 58-61.
14. **de Weerd L, Mercer JB, BøeSetsa L.** Intraoperative dynamic infrared thermography and free-flap surgery. *Ann Plast Surg.* 2006;57(3):279-284.
15. **de Weerd L, Miland AO, Mercer JB.** Perfusion dynamics of free DIEP and SIEA flaps during the first postoperative week monitored with dynamic infrared thermography (DIRT). *Ann Plast Surg* 2009;62(1):40-47.
16. **de Weerd L, Weum S, Mercer JB.** The value of dynamic infrared thermography (DIRT) in perforator selection and planning of free DIEP flaps. *Ann. Plast. Surg.* 2009;63(3):274-279.
17. **Weum S, Mercer JB, de Weerd L.** Evaluation of dynamic infrared thermography as an alternative to CT angiography for perforator mapping in breast reconstruction: A clinical study. *BMC Med Imaging* 2016;16(43):1-7.
18. **Tenorio X, Mahajan AL, Elias B, et al.** Locating perforator vessels by dynamic infrared imaging and flow Doppler with no thermal cold challenge. *Ann Plast Surg.* 2011;67(2):143-146.
19. **Sheena Y, Jennison T, Hardwicke JT, Tittley OG.** Detection of perforators using thermal imaging. *Plast Reconstr Surg.* 2013;132(6):1603-1610.
20. **Chubb, DP, Taylor GL, Ashton MW.** True and "choke" anastomoses between perforator angiosomes: part II. dynamic thermographic identification. *Plast. Reconstr. Surg.* 2013;132(6):1457-1464.
21. **Just M, Chalopin C, Unger M, et al.** Monitoring of microvascular free flaps following oropharyngeal reconstruction using infrared thermography: first clinical experiences. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2016;273(9):2659-2667.
22. **Hardwicke JT, Osmani O, Skillman JM.** Detection of perforators using smartphone thermal imaging. *Plast Reconstr Surg.* 2016;137(1):39-41.
23. **Sharad P.** Using a Thermal Imaging Camera to Locate Perforators on the Lower Limb. *Arch Plast Surg* 2017;44(3):243-247.
24. **Cifuentes JL, Dagnino BL, Salisbury MC, Pérez ME, et al.** Augmented reality and dynamic infrared thermography for perforator mapping in the anterolateral thigh. *Arch Plast Surg* 2018;45(3):284-288.
25. **Pereira N, Valenzuela D, Mangelsdorff G, Kufeke M, Roa R.** Detection of perforators for free flap planning using smartphone thermal imaging: a concordance study with computed tomographic angiography in 120 perforators. *Plast Reconstr Surg* 2018;141(3):787-792.

26. Larrea Prieto J., Núñez Orduña E., Bendito Guilarte B., Gianella CA., Iglesias Aguilar C. Concordancia entre termografía con teléfono inteligente y angio-TAC para detección de perforantes cutáneas en colgajos DIEP. *Cir. plást. iberolatinoam.* 2020;46(1):53-56.
27. Chen R, Huang Z-Q, Chen W-L, Ou Z-P, Li S-H, Wang J-G. Value of a smartphone-compatible thermal imaging camera in the detection of peroneal artery perforators: Comparative study with computed tomography angiography. *Head & Neck.* 2019;41(5):1450-1456.
28. Pereira N, Hallock GG. Smartphone Thermography for Lower Extremity Local Flap Perforator Mapping. *J Reconstr Microsurg.* 2021;37(1):59-66.
29. Patel SS., Homsy C., Atamian E., Chaffin AE. Thermal Imaging Facilitates Design of a Keystone Perforator Island Flap for a Myxofibrosarcoma Resection Reconstruction: Case Report. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2019;7(8):e2359.
30. Cruz-Segura A, Cruz-Domínguez MP, Jara LJ, Miliar-García Á, Hernández-Soler A, Grajeda-López P, Martínez-Bencomo MA, Montes-Cortés DH. Early Detection of Vascular Obstruction in Microvascular Flaps Using a Thermographic Camera. *J Reconstr Microsurg.* 2019;35(7):541-548.
31. Artero GE, Ulla M, Neligan PC, Angrigiani CH. Bilateral Anatomic Variation of Anterolateral Thigh Flap in the Same Individual. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2018;6(5):e1677.
32. Uppal RS., Casaer B., Van Landuyt K., Blondeel P. The efficacy of preoperative mapping of perforators in reducing operative times and complications in perforator flap breast reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2009;62(7):859-864.
33. Stekelenburg CM., Sonneveld PM., Bouman MB., et al. The hand held Doppler device for the detection of perforators in reconstructive surgery: What you hear is not always what you get. *Burns.* 2014;40(8):1702-1706.
34. Dancey A., Blondeel P. Technical Tips for Safe Perforator Vessel Dissection Applicable to All Perforator Flaps. *Clin Plast Surg.* 2010;37(4):593-606.
35. Masia J., Navarro C., Clavero J., Alomar X. Non-contrast magnetic resonance imaging for preoperative perforator mapping. *Clin Plast Surg.* 2011;38(2):253-261.
36. Andrades P., Calderón ME., Palavicino P., et al. Angio-TC en la identificación preoperatoria de vasos perforantes. *Rev Chil Cir.* 2014;66(2):134-141.
37. Ring EF. The discovery of infrared radiation in 1800. *Imaging Sci J* 2000;48(1):1-8.
38. Jones BF., Plassmann P. Digital infrared thermal imaging of human skin. *IEEE. Eng Med Bio Imag* 2002;21(6):41-48.
39. de Weerd L., Mercer JB., Weum S. Dynamic Infrared Thermography. *Clin. Plast. Surg.* 2011;38(2):277-292.
40. Lawson RN. Implications of surface temperatures in the diagnosis of breast cancer. *Can Med Assoc J* 1956;75(4):309-311.
41. Arai K, Fukuda O. Clinical application of thermometers and thermography in plastic surgery. *Keisei Geka* 1968;11(3):239-250.