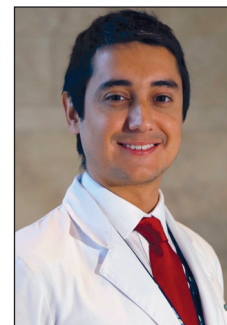


Termografía portátil en Cirugía Plástica: el nuevo estetoscopio del cirujano reconstructivo

Portable thermography in Plastic Surgery: the new reconstructive surgeon's stetho-scope



Nicolás PEREIRA COVARRUBIAS*, Josefa VENEGAS NAVARRETE**, Ekaterina TRONCOSO OLCHEVSKAIA***, Matías KUFKE MARCHANT*, Ricardo ROA GUTIÉRREZ****

Pereira Covarrubias N.

Resumen

Introducción y Objetivo. La termografía puede medir la longitud de onda de la radiación infrarroja emitida desde el cuerpo y calcular su temperatura. Es un método pasivo, no invasivo y no emite radiación ionizante. La mayoría de los estudios en Cirugía Plástica han investigado su utilidad en la localización de perforantes y en la evaluación de la profundidad de las quemaduras. La termografía portátil tiene la ventaja de su bajo costo y de poder ser utilizada junto a la cama del paciente.

El objetivo de este estudio es presentar nuestra experiencia en el uso de la termografía portátil y realizar una revisión respecto a las aplicaciones de esta tecnología en Cirugía Plástica Reconstructiva.

Material y método. Estudio descriptivo basado en la experiencia acumulada sobre el uso de termografía portátil para teléfonos inteligentes en Cirugía Plástica Reconstructiva desde enero de 2017 a diciembre de 2019.

Resultados. Describimos la utilidad de la termografía portátil en la planificación de colgajos basados en perforantes, monitorización de colgajos, definición del momento óptimo para realizar el segundo tiempo en colgajos retardados, así como la evaluación de la vitalidad de tejidos en lesiones por desforramiento y quemaduras eléctricas.

Conclusiones. La termografía portátil es rápida y fiable en la detección de perforantes y en la diferenciación entre tejidos vitales y necróticos o isquémicos. Es complementaria a otras técnicas imagenológicas, ahorra tiempo en el mapeo o rastreo de perforantes y proporciona además información útil en la estimación de la perfusión de tejidos.

Abstract

Background and objective. Thermography can measure the wave length of infrared radiation emitted from the body and calculate its temperature. It is a passive method, noninvasive, that does not emit ionizing radiation. Most studies in Plastic Surgery have researched its utility in localization of perforators and evaluation of burn depth. Portable thermography has the advantage of having a lower cost, and being able to be performed bedside.

The aim of this study is to present our experience with portable thermography and review the uses of this technology in Reconstructive Plastic Surgery.

Methods. Descriptive study based on the accumulated experience on the use of portable thermography for smartphones in Reconstructive Plastic Surgery, from January 2017 to December 2019.

Results. We describe the utility of portable thermography in planning flaps based on perforators, flap monitoring, definition of the optimal timing for secondstage operations in vascular delay procedures, as well as assessment of the vitality of tissues in degloving injuries and electrical burns.

Conclusions. Portable thermography is reliable and fast in detecting perforators and defining viable and ischemic/necrotic tissue. It is complementary to other imaging techniques, saving time in mapping or tracing perforators and provides useful information in estimating well-perfused tissue.

Palabras clave Termografía, Imagen térmica, Colgajos libres, Colgajos perforantes, Perfusión tisular.

Nivel de evidencia científica 4b Diagnóstico
Recibido (esta versión) 9 abril/2020
Aceptado 19 agosto/2020

Key words Thermography, Thermal imaging, Free flaps, Perforator flaps, Tissue perfusion.

Level of evidence 4b Diagnostic
Received (this version) 9 April/2020
Accepted 19 August/2020

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún interés financiero relacionado con el contenido de este artículo.
Financiación: No hubo fuentes externas de financiación para este trabajo.

* Cirujano Plástico, Adjunto del Departamento de Cirugía Plástica y Quemados del Hospital del Trabajador y del Departamento de Cirugía Plástica de la Clínica Las Condes, Santiago, Chile.
** Cirujano General, Adjunta del Servicio de Cirugía, Hospital San Juan de Dios, Santiago, Chile.
*** Cirujano Plástico, Adjunta del Servicio de Quemados, Hospital de Urgencia Asistencia Pública, Santiago, Chile.
**** Cirujano Plástico, Adjunto del Departamento de Cirugía Plástica y Quemados del Hospital del Trabajador, Santiago, Chile.

Introducción

Para mantener la homeostasis, el exceso de calor generado en el cuerpo se pierde a través de la piel por conducción, convección, evaporación y radiación. En condiciones de temperatura y humedad normales, la principal forma de pérdida de calor es por radiación, que se produce en forma de radiación infrarroja.

Cada objeto con temperatura superior al cero absoluto emite radiación infrarroja. Existe una correlación entre la temperatura corporal y la intensidad de la radiación emitida. La energía térmica tiene una longitud de onda mucho mayor que la luz visible. Normalmente nuestra visión se limita a una porción muy reducida del espectro electromagnético, y la radiación infrarroja no es visible a ojo desnudo.⁽¹⁾ Con imágenes térmicas, la porción del espectro que percibimos se expande drásticamente, lo que nos permite “ver” el calor.

Las cámaras térmicas miden la longitud de onda de la radiación infrarroja emitida desde un objeto y calculan su temperatura. Se trata de un método pasivo que no requiere contacto con el objeto y solo puede detectar la temperatura de la superficie, lo que significa que no se puede ver a través del objeto.

En 1968, Arai y Fuduka reportaron zonas cutáneas con mayor temperatura con el uso de termografía. Estas zonas fueron denominadas “zonas calientes”, correspondiendo a áreas con mayor vascularización local, asumidas posteriormente como perforantes.⁽²⁾

La termografía infrarroja puede realizarse de forma estática o dinámica. La termografía estática se refiere a una imagen con un mapa de temperatura corporal.⁽³⁾ Sin embargo, la termografía dinámica consiste en la aplicación de un estrés térmico, generalmente frío, en áreas específicas y la evaluación del patrón de recalentamiento. En la termografía dinámica los puntos que se recalientan más rápido se relacionan, en el intraoperatorio, con las perforantes más adecuadas.⁽⁴⁾

Las ventajas de las imágenes térmicas son que no utilizan radiación ionizante, contraste venoso, y que no conllevan un procedimiento invasivo. Además, esta técnica es fácil de realizar y las imágenes son relativamente sencillas de interpretar. Con los avances tecnológicos, las cámaras infrarrojas se han vuelto más pequeñas y sensibles. Pueden utilizarse cámaras infrarrojas portátiles de bajo costo, como un dispositivo complementario a un teléfono inteligente (Flir One; FLIR Systems, Inc., Wilsonville, Oregon, EE.UU.). Estas cámaras utilizan un sensor infrarrojo con un rango de temperatura de trabajo

entre 0 a 100°C, posiblemente más estrecho que las cámaras térmicas profesionales, pero suficiente para fines clínicos. La termografía infrarroja se utiliza en diferentes campos de la Medicina, incluyendo Neurología, Reumatología, Dermatología, Oncología y Cirugía.⁽⁵⁾ En Cirugía Plástica se ha descrito su uso en quemados⁽⁶⁾ y en colgajos de perforantes.^(7,8)

El objetivo de este estudio es presentar nuestra experiencia con la termografía portátil y una revisión de la literatura respecto al uso de esta tecnología en Cirugía Plástica Reconstructiva.

Material y método

Diseñamos un estudio descriptivo basado en la experiencia acumulada sobre el uso de termografía portátil desde que introdujimos esta tecnología en nuestra práctica, enero de 2017, hasta diciembre de 2019, en 2 centros terciarios, el Hospital del Trabajador y la Clínica Las Condes, ambos en Santiago, Chile.

Obtuvimos datos prospectivos y registros fotográficos de 190 pacientes sometidos a procedimientos reconstructivos en los cuales se utilizó termografía de miembros superiores, inferiores y tronco, durante el período mencionado.

Además, llevamos a cabo una revisión de la literatura en Pubmed usando términos MeSH “colgajos de tejido libre”, “termografía”, “rayos infrarrojos”, “colgajos perforantes”, “quemaduras” y “cirugía plástica”, encontrando 36 artículos relacionados con estos temas, de los que utilizamos 21 por ser los que tenían mayor atingencia en la selección final de nuestro trabajo.

Para adquirir las imágenes empleamos la cámara infrarroja Flir One® para teléfonos inteligentes (FLIR Systems, Inc., Wilsonville, Oregón, EE.UU.). En los casos de planificación preoperatoria, tomamos las imágenes al lado de la cama del paciente y marcamos las referencias anatómicas. La superficie corporal a evaluar fue expuesta durante 3 minutos. Estandarizamos la adquisición de las imágenes a una temperatura de la habitación de entre 22 a 23 °C y a una distancia de 70 cm desde la superficie.

Como consideración ética, señalar que la termografía infrarroja es un método inocuo y no representa riesgo para la salud de los pacientes. Esta investigación fue realizada siguiendo los principios de la declaración de Helsinki, siendo todos los pacientes informados sobre la naturaleza de la misma y los efectos de la termografía. Además, se obtuvo un consentimiento informado de todos los participantes.

Resultados

PLANIFICACIÓN DE COLGAJOS BASADOS EN PERFORANTES

La cirugía de colgajos basada en perforantes es compleja y su éxito depende de la identificación de los vasos viables, lo cual requiere un detallado conocimiento de la anatomía vascular. Desafortunadamente, los vasos perforantes tienen ubicaciones y cursos variables, lo que a veces dificulta la disección del colgajo.

La planificación preoperatoria disminuye la morbilidad del sitio donante y también puede aumentar la probabilidad de una cirugía exitosa.⁽⁹⁾ La introducción de métodos de imagen más complejos, como el ultrasonido doppler color, la angiografía por tomografía computada (angioTC) y la angiografía por resonancia magnética, han provocado una disminución significativa de los tiempos quirúrgicos.⁽⁹⁾ Sin embargo, algunos de estos métodos consumen mucho tiempo, requieren la colaboración de un radiólogo experto, necesitan contraste intravenoso y/o radiación ionizante, exponiendo al paciente a potenciales efectos adversos.⁽⁸⁾ La angioTC se considera el método de elección,⁽¹⁰⁾ sin embargo se deben apuntar los esfuerzos a la búsqueda de exámenes complementa-

rios, portátiles, no invasivos y precisos, que se puedan realizar junto a la cama del paciente.

Planificación preoperatoria de colgajos libres

Hoy en día, existen técnicas de imagen cada vez más precisas para determinar la ubicación y el curso de las perforantes. Aunque son prescindibles para la realización de colgajos libres, se asocian a mejores resultados.⁽²⁾ La angio-TC es considerada el patrón de oro,⁽¹⁰⁾ pero la termografía puede utilizarse como examen complementario y realizarse junto a la cama del paciente.

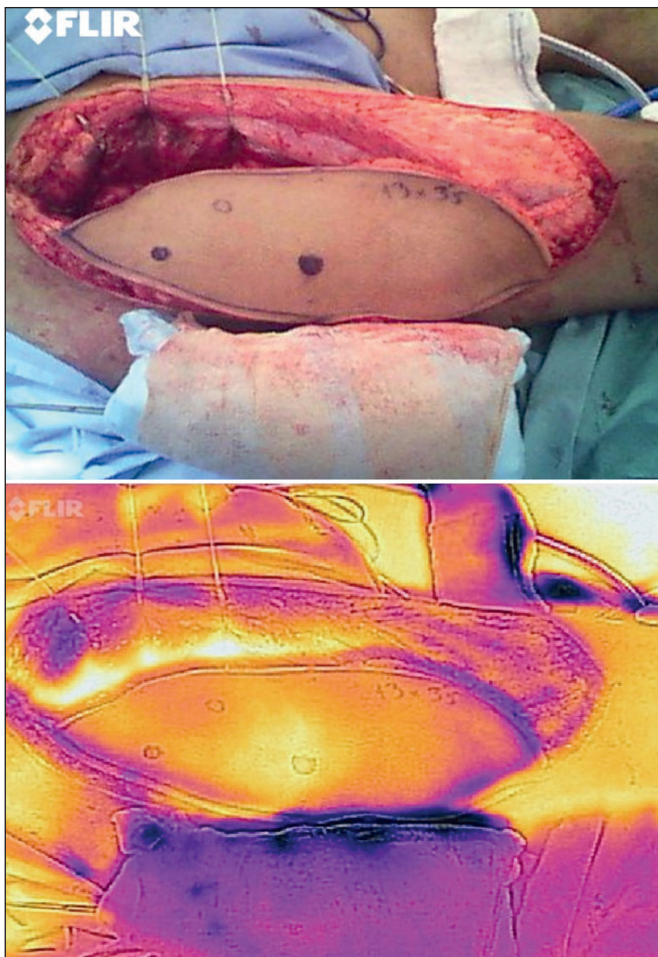


Figura 1. Varón de 24 años sometido a reconstrucción de miembros inferiores con colgajo anterolateral de muslo. Colgajo basado en una perforante (arriba). Observamos el punto caliente de la perforante principal (abajo).



Figura 2. Mujer de 55 años con defecto de cobertura dorsal tras escisión de sarcoma. Localización de 3 puntos calientes (arriba). Tras seleccionar la mejor perforante se diseñó un colgajo en hélice adecuado para el defecto (centro). Postoperatorio a los 6 meses (abajo).

Recientemente publicamos la concordancia de la termografía portátil con la angio-TC para la detección de perforantes, con un índice Kappa muy alto, del 0.975 ($p < 0.001$).⁽¹¹⁾ La imagen térmica portátil tiene 100% de sensibilidad y 98% de especificidad en la detección de perforantes.

En el colgajo anterolateral de muslo, la planificación preoperatoria con doppler manual y/o doppler a color puede llevar mucho tiempo por la necesidad de evaluar todo el muslo para buscar una perforante. La termografía infrarroja puede ayudar en la visualización de puntos calientes y realizar un doppler dirigido, optimizando el tiempo (Fig. 1).

Planificación preoperatoria de colgajos en hélice

Al ser colgajos basados en perforantes, los colgajos en hélice también se pueden planificar con la ayuda de la termografía, localizando las perforantes cercanas al defecto y eligiendo el mejor punto caliente (perforante) que facilite el diseño del colgajo (Fig.2).⁽¹²⁾ Si resulta adecuada más de una zona caliente, la termografía puede ser útil para elegir el punto caliente con mejor patrón de reperusión/recalentamiento a fin de basar el colgajo en aquella perforante.

Planificación preoperatoria del colgajo en piedra angular (*keystone*)

El colgajo *keystone*, llamado así por su diseño curvilíneo trapezoidal que se asemeja a la piedra angular de los arcos romanos, fue descrito por Behan en 2003.⁽¹³⁾ Es un colgajo basado en perforantes con un diseño geométrico específico, muy útil para la cobertura de defectos en tronco y extremidades. Paul y col. presentaron un mapeo de grupos de perforantes en las extremidades inferiores utilizando una cámara térmica,⁽¹⁴⁾ lo que permite predecir la mejor ubicación para diseñar un colgajo *keystone* para cubrir defectos. Al igual que en otros colgajos basados en perforantes, las zonas calientes dentro del colgajo *keystone* pueden ser ubicadas mediante termografía con la finalidad de diseñar el colgajo de forma segura (Fig. 3).⁽¹²⁾

MONITORIZACIÓN DEL COLGAJO

La termografía puede utilizarse para monitorizar colgajos. Las variaciones de temperatura en el tiempo se consideran más importantes que la temperatura absoluta y su diferencia con la piel circundante.⁽¹⁵⁾ Consideramos signos de alarma cuando: la temperatura del colgajo cae

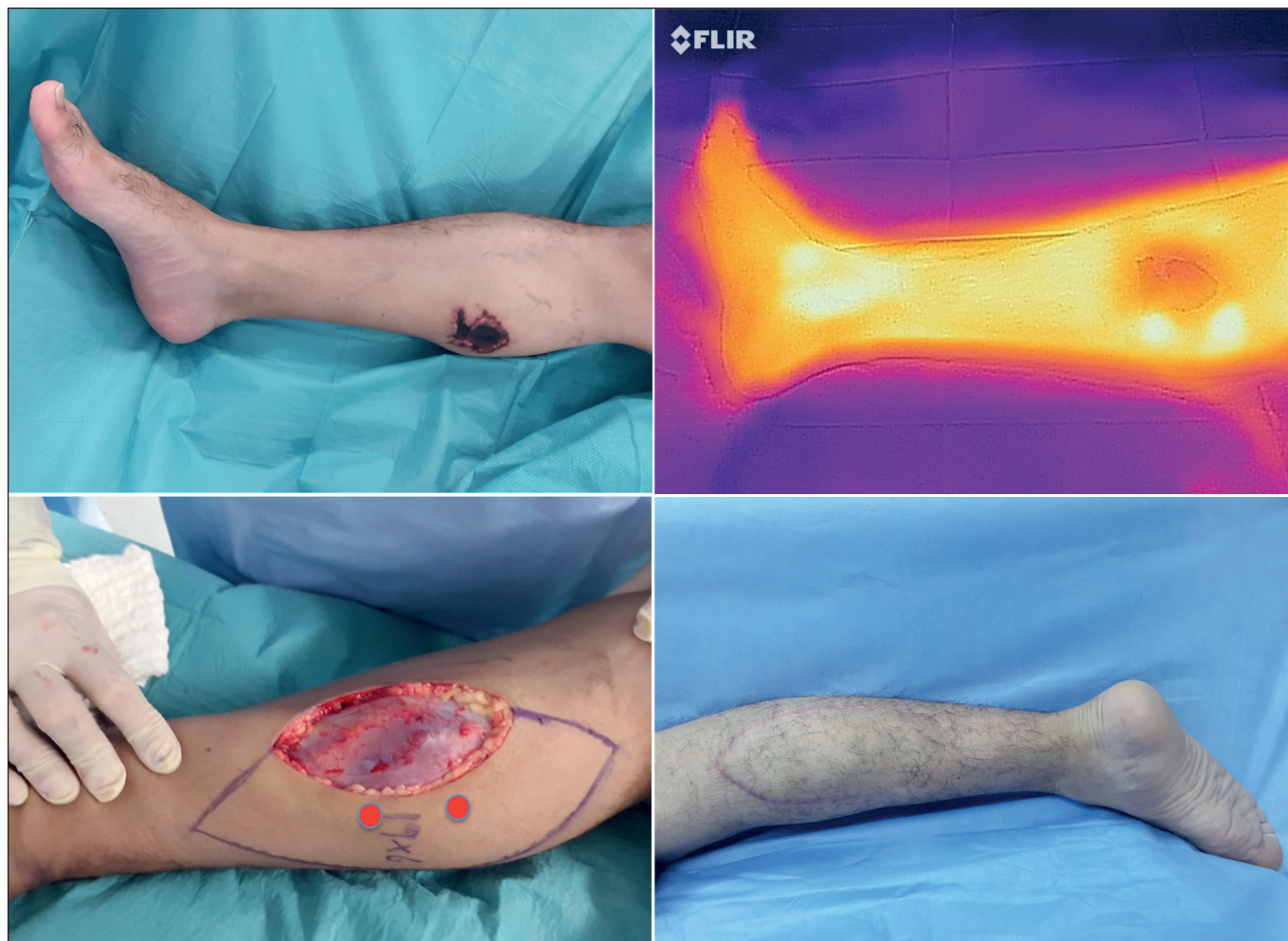


Figura 3. Varón de 23 años con loxoscelismo cutáneo (mordedura por araña (*Loxosceles laeta*) (arriba/izquierda). Identificación de 2 perforantes con cámara térmica (arriba/derecha). Resección del tejido necrótico y reconstrucción inmediata con colgajo *keystone* (abajo/izquierda). Postoperatorio al año (abajo/derecha).

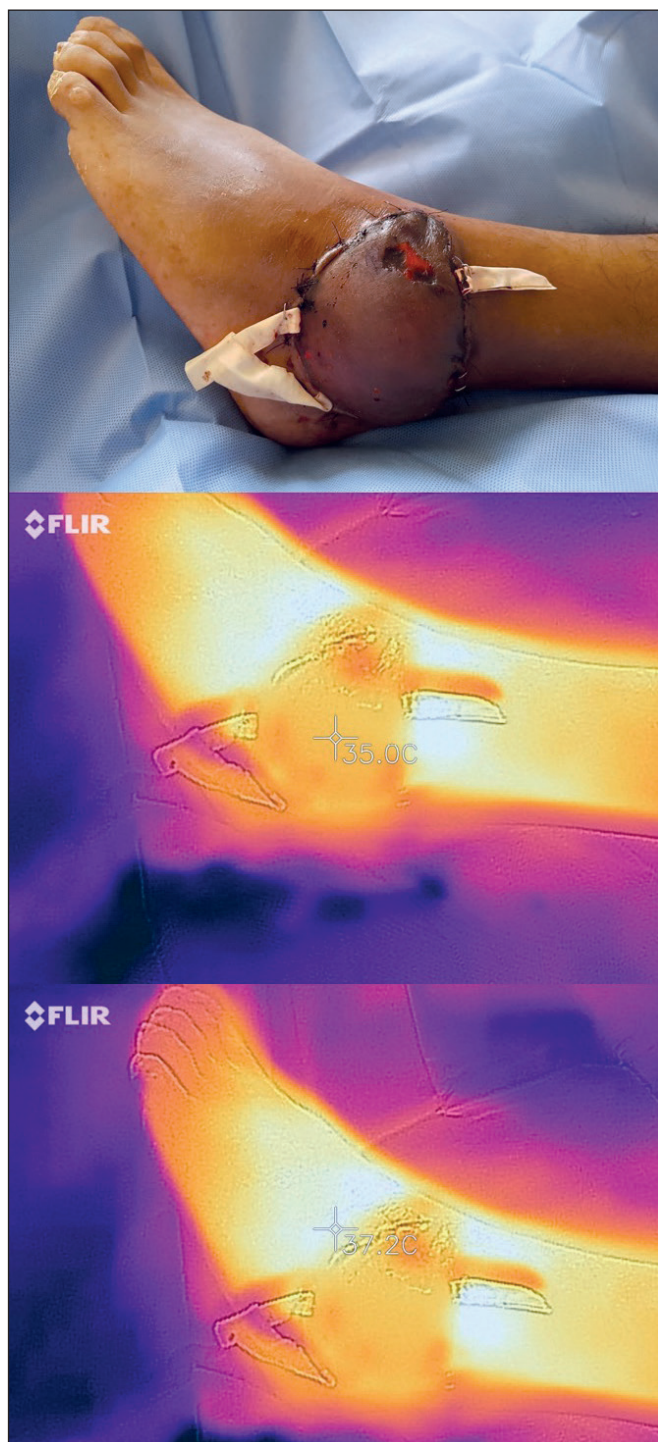


Figura 4. Varón de 43 años con una fractura abierta en tobillo y exposición ósea. Reconstrucción con colgajo libre de perforante de arteria circunfleja iliaca superficial (SCIP). Segundo día de postoperatorio: isquemia del colgajo (arriba). La imagen térmica confirmó una diferencia de 2.2 °C entre el colgajo (centro) y la piel adyacente (abajo). Finalmente, el colgajo sufrió fallo por trombosis arterial.

más de 2.5 °C en menos de una hora;⁽¹⁶⁾ la temperatura del colgajo es 2 °C menor que la de la piel adyacente,⁽¹⁵⁾ o si la temperatura del colgajo está por debajo de 30 °C en pacientes normotérmicos.⁽¹⁶⁾ (Fig. 4 y 5).

TERMOGRAFÍA EN COLGAJOS RETARDADOS

El retardo de colgajos consiste en la interrupción de una parte del flujo sanguíneo durante una primera etapa

para luego transferir el colgajo al sitio definitivo con la intención de incrementar la vitalidad de la zona distal del colgajo (irrigación aleatoria) cuando este es elevado más allá del área de perfusión de su pedículo. Mediante esta isquemia relativa se produce una redistribución del flujo, la apertura de vasos de choque y la estimulación de la neovascularización.⁽¹⁷⁾

En lesiones complejas de la extremidad inferior, sin vasos receptores adecuados, un colgajo libre cruzado es una opción para salvar la extremidad. Para definir el momento de la cirugía secundaria se puede realizar un pinzamiento transitorio e intermitente del pedículo hasta lograr una temperatura estable, lo cual refleja una perfusión independiente al pedículo; esto se puede monitorizar con una cámara termográfica (Fig. 6 y 7).

LESIONES POR DESFORRAMIENTO

Es muy importante determinar la vitalidad de los tejidos después de las lesiones por desforramiento. Yang y col. reportaron el uso de fluorescencia con verde de indocianina intraoperatoria para definir la viabilidad de los colgajos en pacientes sometidos a amputaciones de miembros inferiores.⁽¹⁸⁾ Las imágenes térmicas pueden orientar el desbridamiento para resecar solo el tejido necrótico y realizar un procedimiento reconstructivo posterior (Fig. 8). El tejido viable no debe tener más de 2 °C de diferencia con las áreas adyacentes.⁽¹⁵⁾

QUEMADURAS ELÉCTRICAS

Tradicionalmente, la termografía en pacientes con quemaduras se ha utilizado para determinar la profundidad de la lesión.^(19,20) Sin embargo, los resultados inconsistentes han generado que esta técnica no sea fiable.

En quemaduras eléctricas la termografía puede usarse para evaluar la viabilidad del tejido lesionado. Tradicionalmente el desbridamiento y la reconstrucción con colgajo se realizan después de 7 a 10 días, cuando el área necrótica está completamente delimitada. Mediante el uso de imágenes térmicas, el desbridamiento puede realizarse de manera precoz ya que es posible observar claramente el área de coagulación o necrosis y la zona de hipertermia para planificar una escarectomía acotada y una cobertura temprana (Fig. 9).

Discusión

Las utilidades de la termografía están descritas en diferentes campos de la Medicina dada su capacidad de detección de áreas de alto metabolismo.⁽⁵⁾ En Cirugía Plástica, y en nuestra experiencia, la termografía se ha utilizado para la localización de perforantes de un colgajo, la monitorización de colgajos, la determinación de

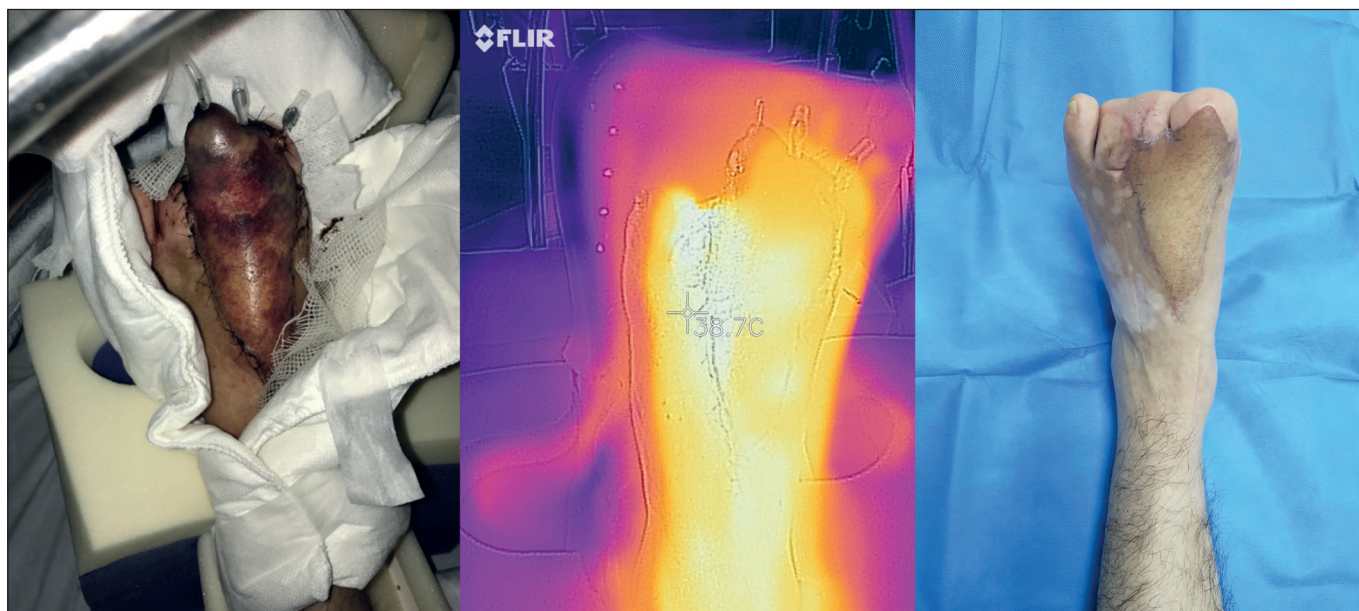


Figura 5. Varón de 54 años con reconstrucción de pie y dedos con colgajo SCIP tras lesión traumática. Quinto día de postoperatorio: coloración violácea del colgajo por compresión extrínseca (izquierda). La termografía mostró diferencia de temperatura entre el colgajo y la piel adyacente menor de 2 °C, salvo en la parte distal (centro). Postoperatorio al mes: supervivencia completa del colgajo, excepto de la punta (derecha).



Figura 6. Varón de 53 años con lesión severa en extremidades inferiores por desforramiento (arriba). Debido a intentos fallidos y a la ausencia de vasos receptores en pierna derecha, se realizó un colgajo libre cruzado de izquierda a derecha (centro). Pinzamiento transitorio del pedículo hasta alcanzar temperatura estable durante 1 hora (monitorización con cámara térmica).

zonas de piel isquémicas/viables y la delimitación de quemaduras eléctricas.

La termografía ha demostrado ser un método preciso para la identificación de perforantes. Diversos estudios han utilizado termografía estática y dinámica, comparándola con doppler manual,⁽⁷⁾ angioTC⁽⁸⁾ y con hallazgos intraoperatorios en colgajos de perforante de la arteria epigástrica inferior (DIEP),⁽⁴⁾ demostrando una alta tasa de concordancia y precisión en la identificación de perforantes. Sin embargo, en todos estos trabajos se utilizaron cámaras profesionales que tienen un elevado costo para un uso generalizado en la práctica clínica.

Recientemente publicamos un estudio de concordancia entre áreas calientes identificadas con una cámara termográfica para teléfonos inteligentes frente a angioTC para detectar perforantes. Llegamos a la conclusión de que la termografía portátil tiene una sensibilidad del 100% y una especificidad de 98% en la detección de perforantes, así como una concordancia muy alta con la angioTC.⁽¹¹⁾ Si bien la termografía proporciona información precisa respecto a la localización de la perforante, carece de información respecto a su trayecto y sus relaciones anatómicas, por lo que recomendamos su uso como complemento a la angioTC. Sin embargo, esta información es útil para mapear puntos calientes a lo largo del cuerpo y diseñar colgajos basados en perforantes, con un excelente rendimiento.

Sabemos que la termografía es útil en la monitorización de colgajos. La variación de temperatura en el tiempo puede considerarse más importante que la temperatura absoluta en un momento determinado y la diferencia con la piel adyacente. En 1992 Khouri y col. evaluaron

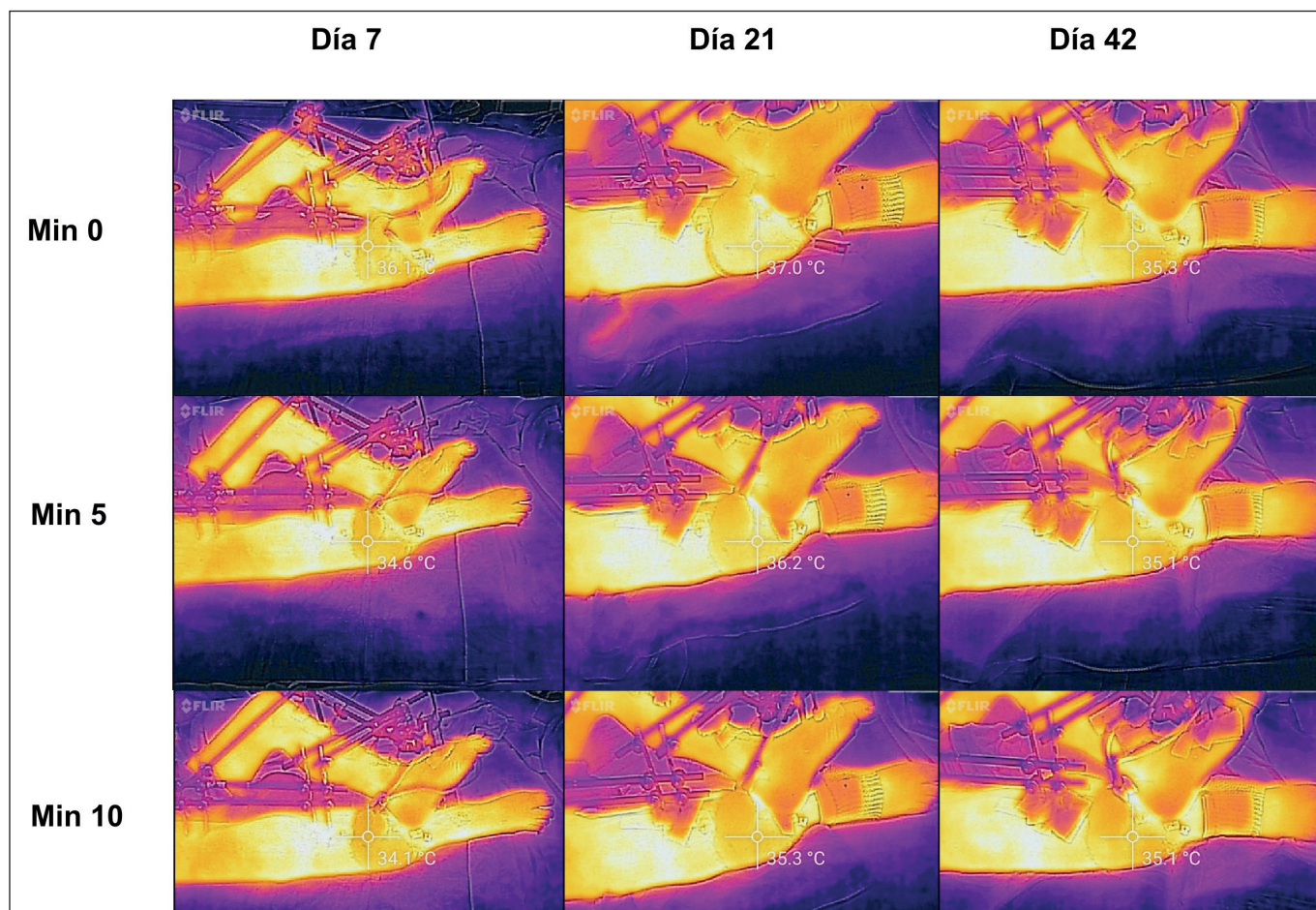


Figura 7. El mismo paciente de la Fig. 6. Registro termográfico del colgajo después del pinzamiento del pedículo desde el 7° día de postoperatorio. En la 6ª semana se mantuvo la temperatura del colgajo, por lo que la perfusión era ya independiente del pedículo, proporcionada por la pierna ipsilateral. A las 6 semanas la temperatura del colgajo no había variado con el pinzamiento del pedículo, por lo que se realizó la división del mismo y la extremidad fue salvada (abajo).

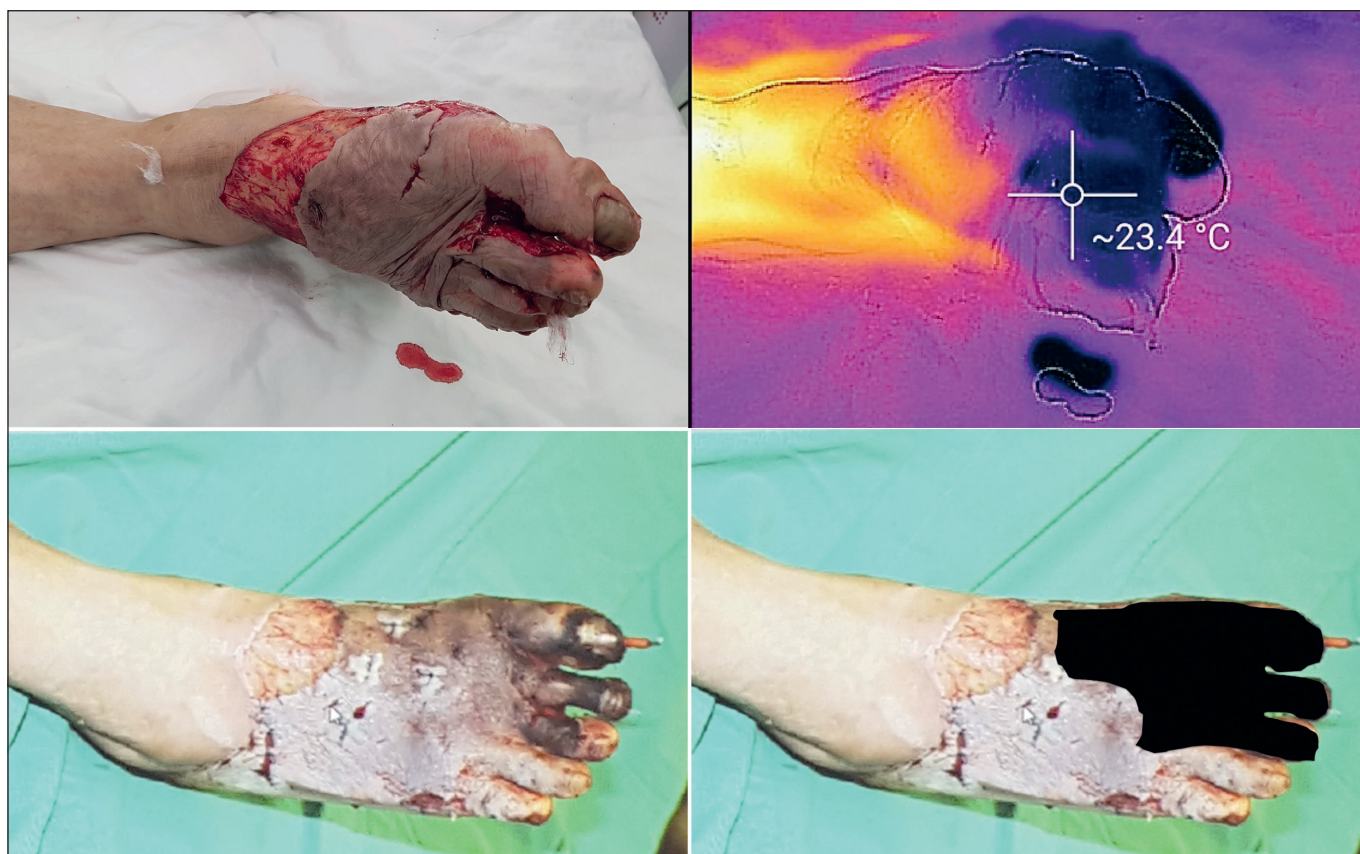


Figura 8. Varón de 22 años con lesión por desforramiento en pie derecho en accidente automovilístico (arriba/izquierda). Termografía inicial (arriba/derecha). Dos semanas de seguimiento: la demarcación de las áreas necróticas tiene una alta concordancia con la termografía inicial (abajo).



Figura 9. Varón de 25 años con quemadura eléctrica en tórax (arriba). Tercer día: termografía con zonas de coagulación con baja temperatura (abajo). Resección de la zona de necrosis por coagulación y reconstrucción inmediata con colgajos locales.

600 colgajos libres consecutivos basándose en la temperatura de superficie y descubrieron que una diferencia mayor de 1.8 °C entre el colgajo y la piel circundante predice el fallo del colgajo con una sensibilidad del 98% y una especificidad del 75%, convirtiéndola en una técnica simple, económica y altamente fiable para la monitorización de los colgajos libres.⁽¹⁵⁾ Stirrat y col. describieron que en reimplante de dedos, la caída de la temperatura por encima de 2.5 °C en una hora y la temperatura del dedo por debajo de los 30 °C eran de mal pronóstico.⁽¹⁶⁾ Por nuestra parte, en la monitorización de colgajos libres, consideramos que una diferencia de temperatura mayor de 2 °C entre el colgajo y la piel circundante es un signo de alerta y debemos prestar atención ante una eventual complicación.

El cambio en la temperatura de la superficie de colgajo también ha sido útil para definir el momento del segundo tiempo quirúrgico en los colgajos cruzados. Recomendamos un seguimiento cercano de la temperatura del colgajo mientras se pinza el pedículo, antes de

su división definitiva. Después de una hora de temperatura estable con el pedículo pinzado podemos asumir que la irrigación es independiente del pedículo, por lo que es un momento seguro para realizar la división del colgajo.

En cuanto a las lesiones por desforramiento, el mayor desafío es predecir qué tejidos serán viables y cuáles necesitarán más desbridamiento. Tradicionalmente se necesita un periodo de 1 o 2 semanas para delimitar la necrosis. Con la termografía es posible predecir el tejido viable. Consideramos que aquellas áreas con una temperatura menor de 2 °C de la piel circundante pueden tener un pronóstico desfavorable, por lo que vemos cómo la técnica puede orientar para realizar un desbridamiento y una reconstrucción precoz.

En pacientes con quemaduras se han realizado muchos intentos para estimar su profundidad con termografía.⁽¹⁹⁾ Simmons y col. describieron el uso de la termografía para evaluar el pronóstico de las quemaduras de espesor parcial en extremidades, pudiendo predecir qué pacientes necesitarían un injerto.⁽²⁰⁾ Sin embargo, debido al trasudado que generan las quemaduras de espesor parcial, existe una mayor pérdida calórica y es posible cometer errores de interpretación.

Las quemaduras eléctricas presentan progresión de la necrosis tisular, por lo que requieren desbridamiento inicial conservador y reconstrucción diferida.⁽²¹⁾ Recomendamos el uso de la termografía en las quemaduras eléctricas para identificar las zonas de coagulación para reseca el área necrótica y poder así realizar una reconstrucción temprana.

La termografía dinámica tiene un alto rendimiento; sin embargo, requiere instrumentos específicos y condiciones ambientales estandarizadas que limitan su uso en la práctica clínica habitual.⁽⁴⁾ La termografía portátil tiene la ventaja de que puede usarse al lado de la cama del paciente y, en nuestra experiencia, incluso sin una estandarización estricta de las condiciones ambientales, ya que el gradiente de temperatura se mantiene y no afecta en gran medida al rendimiento de la termografía. Además, variando la distancia, se pueden diferenciar más tonalidades y temperaturas en la imagen.

Conclusiones

La termografía portátil es una técnica fácil de usar, fiable y rápida en la detección de perforantes; por consiguiente, es útil para planificar colgajos libres de perforantes, diseñar colgajos en hélice, estilo libre y colgajos *keystone*.

En nuestra opinión, es un complemento a otras técnicas de imagen y ahorra tiempo a la hora de mapear

o rastrear perforantes. También es útil para diferenciar el tejido viable del isquémico/necrótico, pudiendo aplicarse en la monitorización de colgajos, de lesiones por desforramiento, quemaduras eléctricas y en el segundo tiempo quirúrgico de colgajos retardados o cruzados.

Dirección del autor

Dr. Nicolas Pereira Covarrubias
Departamento de Cirugía Plástica y Quemados
Hospital del Trabajador
Ramón Carnicer 185, 5° piso,
Providencia #7501239, Santiago, Chile
Correo electrónico: npereira@hts.cl

Bibliografía

1. Hecht S. The Relation Between the Wave-Length of Light and its Effect on the Photosensory Process. *J Gen Physiol.* 1921;3(3):375-390.
2. Arai K, Fukuda O. Clinical application of thermometers and thermography in plastic surgery. *Keisei Geka Plast Reconstr Surg.* 1968;11(3):239-250.
3. Barnes RB. Thermography of the human body. *Science.* 1963;140:870-877.
4. De Weerd L, Mercer JB, Weum S. Dynamic infrared thermography. *Clin Plast Surg.* 2011;38(2):277-292.
5. Shada AL, Dengel LT, Petroni GR, et al. Infrared thermography of cutaneous melanoma metastases. *J Surg Res.* 2013;182(1):e9-e14.
6. Singer AJ, Relan P, Beto L, et al. Infrared Thermal Imaging Has the Potential to Reduce Unnecessary Surgery and Delays to Necessary Surgery in Burn Patients. *J Burn Care Res.* 2016;37(6):350-355.
7. Sheena Y, Jennison T, Hardwicke JT, et al. Detection of perforators using thermal imaging. *Plast Reconstr Surg.* 2013;132(6):1603-1610.
8. 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(1):43.
9. Rozen WM, Ashton MW, Pan WR, et al. Anatomical variations in the harvest of anterolateral thigh flap perforators: a cadaveric and clinical study. *Microsurgery.* 2009;29(1):16-23.
10. Rozen WM, Ashton MW, Grinsell D, et al. Establishing the case for CT angiography in the preoperative imaging of abdominal wall perforators. *Microsurgery.* 2008;28(5):306-313.
11. Pereira N, Valenzuela D, Mangelsdorff G, et al. 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.
12. Pereira N, Hallock GG. Smartphone Thermography for Lower Extremity Local Flap Perforator Mapping. *J Reconstr Microsurg.* 2020 Feb 23. doi: 10.1055/s-0039-3402032.
13. Behan FC. The Keystone Design Perforator Island Flap in reconstructive surgery. *ANZ J Surg.* 2003;73(3):112-120.
14. Paul SP. Using a Thermal Imaging Camera to Locate Perforators on the Lower Limb. *Arch Plast Surg.* 2017;44(3):243-247.
15. Khouri RK, Shaw WW. Monitoring of free flaps with surface-temperature recordings: is it reliable?. *Plast Reconstr Surg.* 1992;89(3):495-499; discussion 500-502.
16. Stirrat CR, Seaber AV, Urbaniak JR, et al. Temperature monitoring in digital replantation. *J Hand Surg.* 1978;3(4):342-347.
17. Ghali S, Butler PEM, Tepper OM, et al. Vascular delay revisited. *Plast Reconstr Surg.* 2007;119(6):1735-1744.
18. Yang AE, Hartranft CA, Reiss A, et al. Improving Outcomes for Lower Extremity Amputations Using Intraoperative Fluorescent Angiography to Predict Flap Viability. *Vasc Endovascular Surg.* 2018;52(1):16-21.
19. Renkielska A, Nowakowski A, Kaczmarek M, et al. Static thermography revisited-an adjunct method for determining the depth of the burn injury. *Burns J Int Soc Burn Inj.* 2005;31(6):768-775.
20. Simmons JD, Kahn SA, Vickers AL, et al. Early Assessment of Burn Depth with Far Infrared Time-Lapse Thermography. *J Am Coll Surg.* 2018;226(4):687-693.
21. Sturim HS. The treatment of electrical burns. *Med Times.* 1968;96(11):1051-1057.

