

Prevención y promoción de la salud de heridas mediante el uso ambulatorio de la termografía portátil. Estudio piloto

Prevention and promotion of wound health through the ambulatory use of portable thermography. Pilot study



Gutiérrez E.

Evelyn GUTIÉRREZ*, Rania NIRI**, Benjamín CASTAÑEDA***
Sylvie TRUILLET****, Iván HERNÁNDEZ-PATIÑO****

Resumen

Introducción y objetivo. Las heridas crónicas requieren seguimiento continuo para evaluación y prevención de complicaciones. Esta evaluación es subjetiva, sujeta a errores y consume mucho tiempo y dinero para pacientes y salud pública.

Proponemos utilizar modelos tridimensionales y termográficos que complementan la evaluación de heridas.

Material y método. Estudio piloto en 6 casos en donde se propone la creación de modelos tridimensionales termográficos a partir de imágenes obtenidas con dispositivos portátiles de bajo costo.

Resultados. Muestran patrones de diferencias de temperaturas que parecen relacionarse con el comportamiento del área de esta herida.

Conclusiones. Observamos la utilidad de una herramienta de visualización de bajo costo e indicadores objetivos cuantitativos y cualitativos de la evolución de heridas, así como la posibilidad de realizar la monitorización en zonas remotas en donde hay falta de especialistas, ya que al proveer métricas, ayudaría en su seguimiento y evaluación.

Palabras clave Termografía, Modelos tridimensionales, Monitorización heridas, Procesamiento de imagen asistido por computador.

Nivel de evidencia científica 5c Diagnóstico

Recibido (esta versión) 26 agosto /2023

Aceptado 11 diciembre / 2023

Abstract

Background and objective. Chronic wounds require regular monitoring for evaluation and prevention of complications. Such assessment remains subjective, prone to error, and it is often a time-consuming and costly process for patients and public health.

We propose to use three-dimensional thermographic models that can complement wound assessment.

Methods. A pilot study in 6 participants where three-dimensional thermographic models were created from images obtained with low-cost portable devices.

Results. The results show patterns of temperature differences that seem to be related to the behavior of the wound area.

Conclusions. We observe its usefulness in providing a low-cost visualization tool and objective quantitative and qualitative indicators of the evolution of wounds, as well as the possibility of monitoring in remote areas where there is a lack of specialists, since by providing metrics, it would help in their monitoring and evaluation.

Key words Thermography, Three-dimensional models, Wound monitoring, Digital image processing.

Level of evidence 5c Diagnostic

Received (this version) August 14 / 2023

Accepted December 11 / 2023

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún interés financiero relacionado con el contenido de este artículo.

Financiación: Esta investigación ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea bajo el acuerdo de subvención Marie Skłodowska-Curie N°777661 STANDUP Project.

* Ingeniería Informática, Laboratorio LIM, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

** Ingeniería Informática, Grupo SIMS. Universidad de Ginebra, Suiza.

*** Ingeniería Electrónica, Laboratorio LIM, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

**** Ingeniería Electrónica, Laboratorio PRISME, Universidad de Orleans, Francia.

***** Cirugía Plástica, Instituto de Investigaciones en Ciencias Biomédicas. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Introducción

Las heridas crónicas demoran en sanar y su evaluación continua no solo requiere tiempo del médico, sino también una evaluación subjetiva de la herida que puede estar sujeta a errores humanos. Asimismo, estas evaluaciones consumen mucho tiempo del paciente y del personal médico.

Los modelos tridimensionales ayudan a la evaluación proveyendo una visualización más realista de la evolución de la herida. Asimismo, es posible obtener métricas objetivas como la longitud, anchura, área, profundidad o volumen de la herida.⁽¹⁻³⁾ Estos indicadores le sirven al personal médico para conocer el avance de las heridas y proveer tratamientos oportunos frente a sus complicaciones. Además, crear modelos tridimensionales no es complicado con la tecnología actual. Pueden crearse fácilmente a partir de múltiples fotos obtenidas con cámaras digitales portátiles como las de los teléfonos inteligentes (*smartphones*), actualmente ampliamente difundidos.^(4,5)

Por otro lado, la termografía también ha mostrado utilidad en la evaluación y seguimiento de heridas.⁽⁶⁻⁹⁾ Estudios recientes en termografía muestran que es posible identificar infecciones cuando hay gran diferencia de temperaturas entre la herida y la zona periférica. También, algunos estudios muestran que determinados indicadores térmicos podrían predecir el estancamiento en la mejoría de una herida; sin embargo, hasta donde podemos conocer, solo se han realizado estudios pequeños y no hay un consenso claro en cuanto a los indicadores que servirían para este pronóstico.^(7,8,10) Por ello, la termografía nos provee información que podríamos aplicar fácilmente y tiene un potencial uso en la evaluación y seguimiento de las heridas. Hoy en día también tiene alternativas de bajo costo y portátiles, pero muestran menor detalle de la temperatura y menor precisión en la medición de la misma; aun así, parecen ser útiles para estos propósitos.⁽¹¹⁾

Debido a la novedosa implementación de los modelos tridimensionales y termográficos como herramienta de visualización capaces de proveer indicadores fiables, geométricos, cuantitativos y térmicos que podrían ser utilizados en el estudio de heridas crónicas de pie diabético, este trabajo tiene como objetivo crear modelos tridimensionales y termográficos que pueden complementar la evaluación de las heridas mediante la implementación de una metodología automatizada a partir de las imágenes recolectadas con dispositivos móviles.

Material y método

Estudio piloto en 6 pacientes con heridas crónicas en miembros inferiores realizado en el Hospital Nacional

Hipólito Unanue de Lima, Perú, durante el año 2020 para obtener una vista tridimensional y termográfica de las lesiones y poder definir la prueba de concepto de esta metodología.

Antes de proceso, informamos a los pacientes y obtuvimos su consentimiento para participar en el estudio.

Adquisición de imágenes

Consiste en tomar múltiples fotos a color y termográficas de la herida y sus alrededores. Estas imágenes sirven como insumo para la creación del modelo tridimensional a color y para la termografía en 3D. Adquirimos las imágenes utilizando una cámara térmica comercial de bajo costo FlirOne Pro[®] (FLIR Systems, Inc., Oregón, Estados Unidos) y una tableta con cámara digital.

El dispositivo portátil proporciona imágenes a color de alta resolución: 4000x3000 píxeles. La cámara térmica, por otro lado, captura 2 imágenes a la vez: una imagen a color de 1080x1440 píxeles, y una imagen térmica de 480x640 píxeles. La precisión térmica de la cámara termográfica, según especificaciones técnicas, es de 3 °C o 5% con una sensibilidad térmica de 70 mK.

Al momento de la toma, colocamos una tarjeta de referencia cerca de la herida para ajustar la escala del modelo 3D y así poder realizar mediciones de la herida precisas. Iniciamos la adquisición tomando alrededor de 40 fotos manualmente con el dispositivo móvil. El objetivo es capturar diferentes vistas de la herida para poder construir un modelo 3D detallado. Así, en heridas grandes, se puede aumentar el número de imágenes para cubrir toda la herida con múltiples fotos. Luego, con la cámara térmica conectada al dispositivo móvil, obtenemos alrededor de 8 imágenes también desde diferentes vistas, y una vista térmica frontal alejada de la herida, a unos 30 cm, para tener una vista general de la termografía de la misma.

Al tratarse de una adquisición en modo manual, el operador puede tomar algunas imágenes en color o térmicas más de las solicitadas si pulsa inadvertidamente el botón de la cámara durante el proceso de adquisición. Esto no es un problema, ya que un mayor número de imágenes de la herida y sus alrededores ayudará a tener un modelo 3D más detallado (con mayor resolución). El proceso completo de adquisición de imágenes suele durar unos 2 minutos y depende de la habilidad del operador para tomarlas (Fig. 1).

Creación de la imagen tridimensional

Consiste en el uso de un algoritmo llamado *StructurefromMotion*, el cual requiere múltiples fotos desde diferentes perspectivas de la herida utilizando siempre la pose de cámara frente a la herida con distancias de entre 10 a 20 cm. El proceso de reconstrucción tridimensional

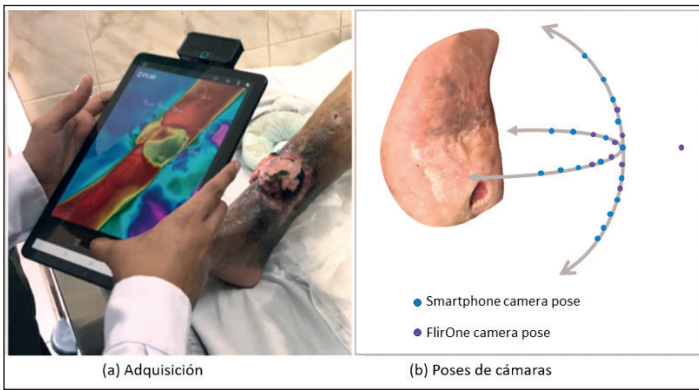


Figura 1. A. Adquisición de imágenes. B. Modelo 3D a color y posiciones de captura de imágenes para el dispositivo móvil (smartphone), y la cámara térmica (FlirOne Pro®).

se realiza de manera sencilla y automáticamente con el algoritmo del software libre *Meshroom*.⁽¹²⁾

Luego, utilizando algoritmos desarrollados previamente por este equipo de investigación, logramos mapear la termografía combinada desde diferentes vistas en la superficie del modelo 3D.⁽¹³⁾ El proceso completo es automatizado e implementado en Python.

Medidas termográficas de la herida

Para realizar mediciones de la temperatura al interior y exterior realizamos una segmentación automática de la herida del modelo tridimensional. Esta segmentación se basa en la segmentación de la herida en imágenes 2D con un modelo de inteligencia artificial previamente desarrollado por el mismo grupo de investigación.⁽¹⁴⁾

Finalmente, después de obtener la zona de la herida en 3D, procedemos a definir la zona periférica cercana al borde de la herida, la cual llamamos perilesión. Esta definición se hace tomando en cuenta la curvatura del cuerpo y midiendo una distancia geodésica de 4 cm desde el borde de la herida para definir la perilesión (Fig. 2).

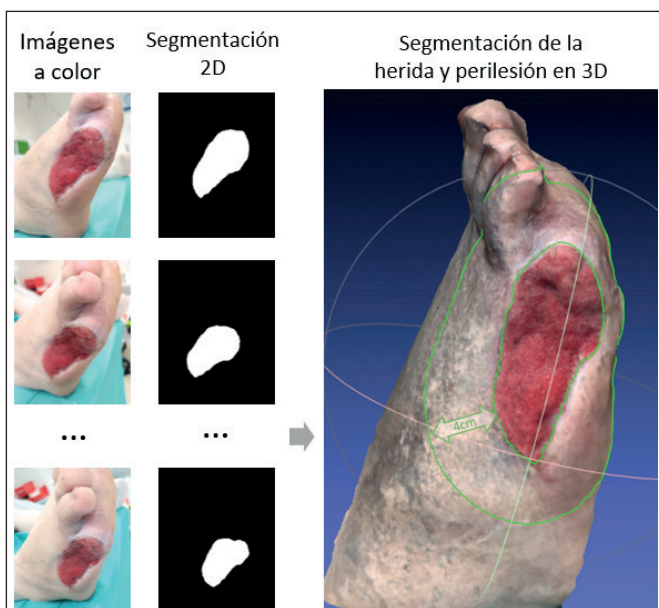


Figura 2. Segmentación de la herida y perilesión en 3D.

Seguimiento de la herida

Para realizar el seguimiento de la herida mediante modelos tridimensionales es necesario ajustar todos los modelos a la misma escala y tener la misma perspectiva de todos. Por ello, realizamos un alineamiento de los modelos tridimensionales que consiste en comparar la piel normal entre los múltiples modelos termográficos y encontrar coincidencias para alinear su posición y así tener la misma vista de todos. Tener los múltiples modelos alineados permite observar los cambios en geometría y térmicos de la herida en el tiempo.

Resultados

Obtuvimos la vista tridimensional y termográfica de 6 pacientes con heridas crónicas en las extremidades inferiores. En la Fig. 3 mostramos un ejemplo para 2 pacientes con heridas de diferente tamaño.

Además, utilizamos el modelamiento 3D y la termografía para hacer seguimiento de 1 paciente que requirió evaluación semanal de la herida. La Fig. 4 muestra el alineamiento de 5 modelos tridimensionales de un mismo paciente para la monitorización de su herida. Estos modelos correspondientes a 5 visitas del paciente en diferentes semanas, y fueron alineados automáticamente a una misma vista frontal para poder observar rápidamente la evolución de la herida en color y en termografía.

Los modelos tridimensionales con termografía de la superficie permitieron un análisis visual de la evolución que además se pudo complementar con un análisis cuantitativo, ya que se dispone de la geometría y la información térmica. En la Fig. 5 mostramos las métricas obtenidas para el monitoreo de la herida del paciente que

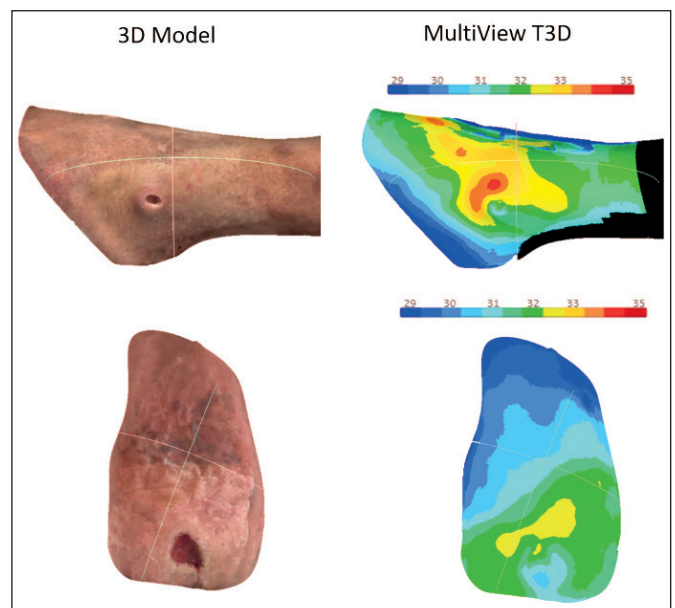


Figura 3. Ejemplo del modelo tridimensional a color para 2 heridas (izquierda) y sus correspondientes termografías 3D (derecha).

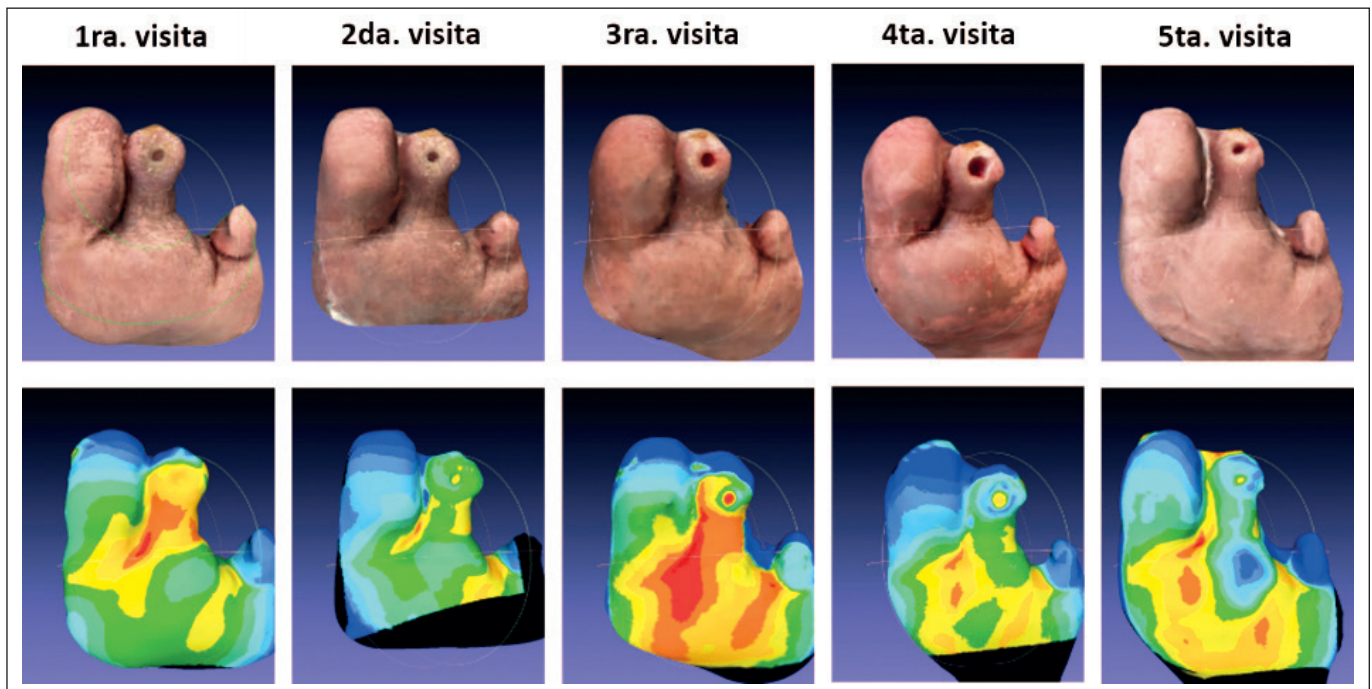


Figura 4. Evolución tridimensional y termográfica de una de las heridas del grupo de estudio.

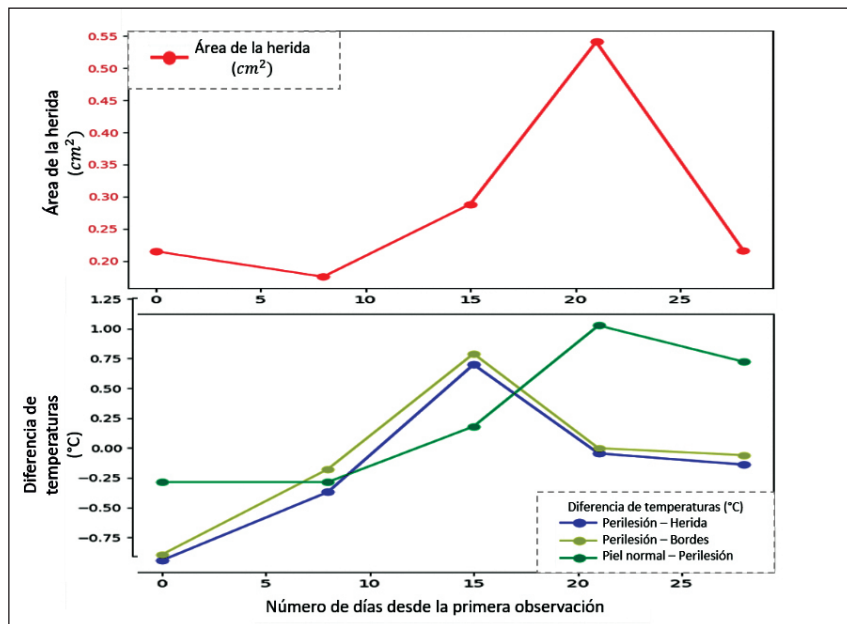


Figura 5. Métricas de monitorización utilizando el modelo tridimensional y la termografía.

evaluamos en múltiples visitas. Las métricas obtenidas fueron el área de la herida y las diferencias de temperatura entre la herida y los bordes de la misma, entre la herida y la perilesión, y entre la perilesión y la piel normal. De esta manera pudimos evidenciar patrones de color que van de la mano con el comportamiento fisiopatológico de la herida.

Discusión

Nuestro estudio muestra una investigación piloto acerca de una metodología para la creación de modelos tridimensionales y térmicos a partir de imágenes reco-

lectadas con dispositivos comerciales y de bajo costo que pueden proveer al personal médico de herramientas de visualización para la evaluación de heridas,⁽¹¹⁾ además de métricas cuantitativas que ayudarían a reducir los sesgos debidos a la evaluación subjetiva.

Los resultados que presentamos muestran patrones de diferencias de temperaturas que parecen relacionarse con el comportamiento del área de las herida analizada y nos motivan a realizar análisis más amplios, con una muestra grande de pacientes, para poder definir de forma precisa esta relación y así poder utilizar estas métricas que son de fácil acceso y bajo costo.

En nuestra opinión, la metodología para crear modelos tridimensionales y térmicos que presentamos es particularmente útil en heridas grandes, heridas múltiples o en lesiones en los bordes, en las que es necesaria más de una vista de la termografía para obtener información completa del interior y exterior de la herida. Con una sola vista, las imágenes podrían tener información incompleta, y de la misma forma, falta de detalle si la foto se toma desde lejos.⁽¹³⁾

Asimismo, con el proceso que proponemos podemos tener la termografía 3D detallada de las heridas y también de la piel adyacente. De esta manera, se pueden crear indicadores que permitirán evaluar mejoras o infecciones en heridas y que previamente han mostrado indicios de su utilidad para la evaluación de las mismas.^(7,8,15,16) Si bien

somos conscientes de que nuestra investigación, a futuro debe incluir una muestra de pacientes más grande para poder evaluar las métricas obtenidas de los modelos termográficos tridimensionales presentados, pensamos que el potencial de esta herramienta de visualización cuantitativa se ve motivado por resultados previos que validan la utilización de imágenes térmicas 2D para la prevención de heridas en pie diabético, evaluación de quemaduras e incluso en la evaluación de colgajos.^(4,17-20)

Finalmente, la viabilidad de este sistema es posible debido a la disponibilidad de equipos de bajo costo ampliamente utilizados, como son los teléfonos inteligentes, que disponen de cámaras de alta resolución; las cámaras termográficas portátiles, populares estos últimos años; y software accesibles y de libre descarga que permiten realizar fácilmente la reconstrucción tridimensional.⁽¹²⁾ Al ser necesarias solamente imágenes de dispositivos portátiles y comerciales de bajo costo, es posible su utilización incluso en zonas remotas en donde podría haber limitación de médicos especialistas para llevar a cabo el seguimiento de las heridas.

Conclusiones

Presentamos la metodología para crear un modelo termográfico tridimensional que provee una herramienta de visualización e indicadores objetivos de evolución de heridas, de bajo costo, y observamos su utilidad en un grupo reducido de casos. Nuestros resultados muestran patrones de diferencias de temperaturas que parecen relacionarse con el comportamiento del área de la herida.

Los modelos tridimensionales termográficos, además, al ser creados con dispositivos portátiles, pueden ayudar a realizar la monitorización de este tipo de lesiones en zonas remotas en donde hay falta de especialistas, maximizando la labor del profesional y permitiendo el acceso por medio de telemedicina a un mejor manejo de las lesiones por parte de personal especializado.

Los resultados de nuestro estudio piloto motivan a realizar análisis más amplios, con una muestra grande de pacientes, para poder definir precisamente esta relación y así poder utilizar estas métricas que son de fácil acceso y bajo costo.

Dirección del autor

Dra. Evelyn Gutiérrez
Pontificia Universidad Católica del Perú
Avda. Universitaria 1801
San Miguel 15088, Lima, Perú
Correo electrónico: egutierrez@pucc.edu.pe

1. **Jørgensen LB, Halekoh U, Jemec GBE, Sørensen JA, Yders-træde KB.** Monitoring Wound Healing of Diabetic Foot Ulcers Using Two-Dimensional and Three-Dimensional Wound Measurement Techniques: A Prospective Cohort Study. *Adv Wound Care.* 2020;9(10):553-563.
2. **Zvietcovich F, Castaneda B, Valencia B, Llanos-Cuentas A.** A 3D assessment tool for accurate volume measurement for monitoring the evolution of cutaneous Leishmaniasis wounds. In: *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.* IEEE; 2012:2025-2028. doi:10.1109/EMBC.2012.6346355
3. **Treuillet S, Albouy B, Lucas Y.** Three-Dimensional Assessment of Skin Wounds Using a Standard Digital Camera. *IEEE Trans Med Imaging.* 2009;28(5):752-762.
4. **van Netten JJ, Clark D, Lazzarini PA, Janda M, Reed LF.** The validity and reliability of remote diabetic foot ulcer assessment using mobile phone images. *Sci Rep.* 2017;7(1):9480.
5. **Zenteno O, González E, Treuillet S, et al.** Volumetric monitoring of cutaneous leishmaniasis ulcers: can camera be as accurate as laser scanner? *Comput Methods Biomech Biomed Eng Imaging Vis.* 2019;7(5-6):667-675.
6. **Ring EFJ, Ammer K.** Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol Meas.* 2012;33(3):R33-R46.
7. **Dini V, Salvo P, Janowska A, Di Francesco F, Barbini A, Romanelli M.** Correlation Between Wound Temperature Obtained With an Infrared Camera and Clinical Wound Bed Score in Venous Leg Ulcers. *Wounds Compend Clin Res Pract.* 2015;27(10):274-278.
8. **Chaves MEA, Silva FS da, Soares VPC, et al.** Evaluation of healing of pressure ulcers through thermography: a preliminary study. *Res Biomed Eng.* 2015;31(1):3-9.
9. **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.
10. **Mendonça AC, Júnior JAF, Frade MAC, et al.** Thermographic Characterization of Cutaneous Ulcers of Different Etiologies. *J Med Syst.* 2020;44(9):160.
11. **Lucas Y, Treuillet S.** Optical Imaging Technology for Wound Assessment: A State of the Art. In: *Tavares JMRS, Natal Jorge RM, eds. VipIMAGE 2017.* Vol 27. Springer International Publishing; 2018:745-753.
12. **AliceVision.** Meshroom: A 3D reconstruction software. Published online 2018. <https://github.com/alicvision/meshroom>
13. **Gutierrez E, Castañeda B, Treuillet S, Hernandez I.** Multimodal and Multiview Wound Monitoring with Mobile Devices. *Photonics.* 2021;8(10):424.
14. **Rania N, Douzi H, Yves L, Sylvie T.** Semantic Segmentation of Diabetic Foot Ulcer Images: Dealing with Small Dataset in DL Approaches. In: *El Moataz A, Mammas D, Mansouri A, Nouboud F, eds. Image and Signal Processing.* Springer International Publishing; 2020, Pp.162-169.
15. **Chanmugam A, Langemo D, Thomson K, et al.** Relative Temperature Maximum in Wound Infection and Inflammation as Compared with a Control Subject Using Long-Wave Infrared Thermography. *Adv Skin Wound Care.* 2017;30(9):406-414.
16. **Fierheller M, Sibbald RG.** A Clinical Investigation into the Relationship between Increased Periwound Skin Temperature and Local Wound Infection in Patients with Chronic Leg Ulcers. *Adv Skin Wound Care.* 2010;23(8):369-379.
17. **Fraihan L, AlKhodari M, Ninan J, Mustafa B, Saleh A, Ghazal M.** Diabetic foot ulcer mobile detection system using smart phone thermal camera: a feasibility study. *Biomed Eng OnLine.* 2017;16(1):117.
18. **van Doremalen RFM, van Netten JJ, van Baal JG, Vollenbroek-Hutten MMR, van der Heijden F.** Infrared 3D Thermography for Inflammation Detection in Diabetic Foot Disease: A Proof of Concept. *J Diabetes Sci Technol.* 2020;14(1):46-54.

19. **Pereira Covarrubias N, Venegas Navarrete J, Troncoso Olchevskaia E, Kufeke Marchant M, Roa Gutiérrez R.** Termografía portátil en Cirugía Plástica: el nuevo estetoscopio del cirujano reconstructivo. *Cir plást iberolatinoam.* 2020;46:319-328.
20. **Xue EY, Chandler LK, Viviano SL, Keith JD.** Use of FLIR ONE Smartphone Thermography in Burn Wound Assessment: *Ann Plast Surg.* 2018;80(Suppl 4):S236-S238.