

ARTICLE / INVESTIGACIÓN

Termografía infrarroja una herramienta exacta para detectar infecciones en úlceras diabéticas

Infrared thermography an accurate tool for detecting diabetic ulcer infections

Dante Rodríguez-Alonso*, Santiago Benites castillo, Nélica Milly Otiniano, Ana Chian Garcia DOI. 10.21931/RB/2023.08.03.58

Escuela de Medicina Humana, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú.
Corresponding author: drodriguezal@ucv.edu.pe

Resumen: Determinar la exactitud de la termografía infrarroja como herramienta de diagnóstico para detectar infecciones en úlceras diabéticas en comparación con el diagnóstico clínico según la Infectious Diseases Society of America (IDSA). Se reclutaron a 80 pacientes diabéticos con úlceras sospechosas de infección y realizaron tanto un examen clínico como una termografía infrarroja de las lesiones. El diagnóstico clínico según la IDSA se basó en la presencia de varios síntomas y signos, mientras que la infección termográfica se definió como una diferencia de temperatura de al menos 3°C entre la lesión y el tejido circundante. Los resultados mostraron que la exactitud de la termografía infrarroja fue del 91%, lo que indica que esta herramienta puede ser útil para detectar infecciones de manera precoz y prevenir complicaciones graves en el pie diabético, como la sepsis y la amputación. Este estudio sugiere que la termografía infrarroja podría ser una herramienta complementaria útil para el diagnóstico de infecciones en úlceras diabéticas en la atención primaria.

Palabras clave: Exactitud diagnóstica, imagen termográfica, úlcera diabética, infección.

Abstract: To determine the accuracy of infrared thermography as a diagnostic tool for detecting infections in diabetic ulcers compared to clinical diagnosis according to the Infectious Diseases Society of America (IDSA). Eighty diabetic patients with suspected infected ulcers were recruited and underwent a clinical examination and infrared thermography of the lesions. According to the IDSA, clinical diagnosis was based on the presence of various symptoms and signs. At the same time, thermographic infection was defined as a temperature difference of at least 3°C between the lesion and surrounding tissue. The results showed that the accuracy of infrared thermography was 91%, indicating that this tool can be helpful in the early detection of infections and preventing severe complications in diabetic foot, such as sepsis and amputation. This study suggests that infrared thermography could be a useful complementary tool for diagnosing infections in diabetic ulcers in primary care.

Key words: Diagnostic accuracy, thermographic image, diabetic ulcer, infection.

Introducción

La prevalencia mundial del pie diabético es del 6,3%, habiendo sido evaluada en 800 000 participantes diabéticos en un metaanálisis¹. La úlcera diabética se manifiesta por ser infectada y desencadenar amputación en un 50% y muerte en un 20-30% en los países en desarrollo².

El diagnóstico clínico de la infección de úlceras diabéticas según la Infectious Diseases Society of America (IDSA) se realiza mediante la identificación de signos como dolor, rubor, secreción purulenta, tumefacción, celulitis, absceso, fascitis y osteomielitis³. La infección de las úlceras diabéticas puede ir desde una úlcera infectada superficial hasta sepsis⁴. Los biomarcadores sanguíneos, microbiológicos e imágenes permiten apoyar el diagnóstico de infección y mejorar la exactitud diagnóstica⁵.

Las imágenes biomédicas en las úlceras crónicas son tecnologías que pueden ayudar a su evaluación y a determinar su severidad⁶. Las úlceras crónicas se diagnostican utilizando imágenes biomédicas no invasivas, como la tomografía coherente óptica, la espectroscopia infrarroja, la imagen Doppler láser, las imágenes digitales, la imagen

termográfica y la imagen fluorescente⁷.

La termografía clínica estudia la emisión infrarroja de la piel humana, captada, procesada y analizada como imagen para identificar alteraciones en la piel⁸. La imagen termográfica es una modalidad innovadora para el apoyo diagnóstico del pie diabético⁹. Las úlceras diabéticas infectadas se benefician de la imagen termográfica por ser no invasivas y exactas¹⁰.

Los pocos antecedentes encontrados del uso de la termografía en las úlceras diabéticas infectadas fueron reportados por Chanmugam *et al.*¹¹ y Hutting *et al.*¹² en Estados Unidos y Holanda, respectivamente.

El objetivo de determinar la exactitud por sensibilidad y especificidad del diagnóstico por imagen termográfica en comparación con el diagnóstico clínico en úlceras diabéticas con sospecha de infección en una consulta ambulatoria se justifica por el correcto tamizaje de la infección de úlceras diabéticas, evitando complicaciones mayores como la amputación y muerte, y por el aporte científico y tecnológico en el diagnóstico del pie diabético infectado con el uso de la imagen termográfica.

Citation: Alonso D R, Benites Castillo S, Milly Otiniano N, Chian Garcia A, Termografía infrarroja una herramienta exacta para detectar infecciones en úlceras diabéticas. *Revis Bionatura* 2023;8 (3) 58. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.03.58>

Received: 25 June 2023 / **Accepted:** 26 August 2023 / **Published:** 15 September 2023

Publisher's Note: Bionatura stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Materiales y métodos

El diseño del estudio consistió en pruebas diagnósticas, siendo las variables el diagnóstico de úlceras diabéticas infectadas por IDSA (prueba estándar) y el diagnóstico de úlceras diabéticas infectadas por imagen termográfica (prueba evaluable). La sensibilidad se refiere a la capacidad de detectar correctamente la enfermedad entre los enfermos, la especificidad para identificar a los sanos entre los sanos por la prueba estándar y la exactitud es la concordancia entre el resultado de la medición y el valor real de la medida¹³. Una úlcera diabética es una herida crónica que no cicatriza después de 3 meses, que se localiza en el pie y resulta de alteraciones neuro-arteriales periféricas, deformidades y trauma¹⁴.

La población muestral fueron las úlceras de pie en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 sospechosos de infección captados en un centro médico privado de la costa norte del Perú. El tamaño de la muestra se calculó utilizando la fórmula $n = N Z^2 p \times q / d^2 (N - 1) + Z^2 p \times q$. Se consideró el valor $p = 0.33$ extrapolado del estudio de Rodríguez-Alonso *et al.*¹⁵ y $N = 105,788$ diabéticos extrapolados del sistema público de salud peruano para el año 2018; por lo tanto, el resultado fue 16 para cada prueba evaluable y estándar. El tipo de muestreo utilizado fue el de conveniencia de experto. La unidad de análisis fue la úlcera diabética localizada en cada pie. Los criterios de inclusión de la muestra fueron úlceras diabéticas de pacientes mayores de 18 años, con aprobación de consentimiento informado y procedentes de consulta ambulatoria. Los criterios de exclusión de la muestra fueron úlceras diabéticas de pacientes con demencia senil, mujeres embarazadas, hospitalizados, emergencias vasculares y IDSA severo.

La técnica de recolección fue por interrogatorio y observación por personal de salud adiestrado. Los datos procedentes de la recolección se integraron en un software de gestión para Android denominado "úlceras diabéticas", incluido en un smartphone que integró las características epidemiológicas y clínicas basadas en los estudios previos^{15,16}, clasificación de úlceras diabéticas por la Universidad de Texas¹⁷ e IDSA³.

La captación de pacientes diabéticos se realizó desde el 1 de abril del 2020 hasta el 30 de marzo de 2021 por una enfermera. La recolección de datos se llevó a cabo mediante anamnesis y examen físico por un médico de familia y una enfermera. Los datos recolectados fueron ingresados en el software de gestión médico mencionado en tiempo real. La prueba estándar consistió en el diagnóstico de infección clínica leve (presencia de 3 o más síntomas y signos tales como eritema, induración, dolor o secreción purulenta) o el diagnóstico de infección clínica moderada (presencia de celulitis, fascitis, absceso u osteomielitis), según el protocolo IDSA³. Este diagnóstico fue realizado por el médico de familia y corroborado por el médico experto en pie diabético mediante telemedicina. La recolección de imágenes termográficas se realizó mediante una cámara FLIR E8 (resolución infrarroja de 320 x 240 píxeles, sensibilidad térmica $< 0,05^\circ\text{C}$), previa adaptación del paciente al ambiente de temperatura y humedad de $15\text{-}25^\circ\text{C}$ y $60\text{-}70\%$ respectivamente, durante 10 minutos, según las recomendaciones de la American Academy of Thermology¹⁸. La región de interés para capturar la imagen fue el lecho de la úlcera y 5 cm alrededor de ésta, previo retiro de los apósitos. El procesamiento de la imagen capturada se realizó mediante

el programa FLIR TOOL para Windows 10, realizando mediciones cuantitativas puntuales (medición en un punto) y sectoriales (medición promedio en un área) intra lesionales y extra lesionales. El análisis de la imagen termográfica se realizó utilizando las mediciones antes mencionadas según el algoritmo propuesto por Spahn *et al.*¹⁹, y el resultado de la diferencia entre la medición extra lesional sectorial menos la intra lesional puntual más baja se consideró infección termográfica cuando el valor era de 3°C o más²⁰.

Se realizó estadística descriptiva según los datos utilizando SPSS versión 25, y el cálculo de la exactitud, sensibilidad y especificidad se realizó utilizando el programa EPIDAT 4.2. Este estudio obtuvo la aprobación del comité de ética del Instituto de Investigación de Ciencia y Tecnología de la Universidad Cesar Vallejo, Perú. Para este estudio, se solicitó el consentimiento informado a los participantes, se tuvo en cuenta la confidencialidad de los datos, la protección de la identidad de los participantes y el respeto a la propiedad intelectual.

Resultados

En este estudio, se evaluaron 80 úlceras diabéticas sospechosas de infección en 72 pacientes con una edad promedio de 61.91 ± 11.131 años y hubo un predominio del género masculino en un 59.4%. Las características epidemiológicas de los pacientes diabéticos con úlceras evaluadas incluyen un tiempo de enfermedad de diabetes de más de 5 años en un 82.5%, falta de regularidad de tratamiento en un 75%, tratamiento con medicamento en un 67.5%, presencia de comorbilidades en un 67.5%, neuropatía periférica en un 86.25% y enfermedad arterial periférica en un 55%. Para obtener más detalles, consulte la tabla 1.

Las características clínicas de las úlceras diabéticas mostraron una longitud promedio de $2,47 \pm 2,14$ cm y un ancho promedio de $1,93 \pm 1,43$ cm. La ubicación anatómica más común fue el hallux en un 38,75%. La profundidad no ósea se observó en un 68,75% de los casos, mientras que la secreción purulenta se encontró en un 63,75%. El color del lecho ulcerativo fue amarillo en un 46,25%. El diagnóstico predominante según la Universidad de Texas¹⁷ fue vascular-infeccioso en un 31,25%, mientras que el diagnóstico predominante según el IDSA fue infección en un 56,25%. Para obtener más detalles, consulte la tabla 2.

Las características de las imágenes termográficas mostraron una temperatura sectorial intra lesional y extra lesional promedio de $31,27 \pm 2,26^\circ\text{C}$ y $33,04 \pm 2,16^\circ\text{C}$, respectivamente. La temperatura puntual intralesional mínima y extra lesional máxima fueron de $30,40 \pm 2,29^\circ\text{C}$ y $33,61 \pm 2,07^\circ\text{C}$, respectivamente. Los cuadrantes más afectados intra lesional y extra lesional fueron la zona 1 y zona 2 en un 31,25% y 33,75%, respectivamente. El resultado térmico final predominante fue de 3°C o más, lo que corresponde a infección en un 53,75%. Consulte la tabla 3 para obtener más detalles.

La figura 1 muestra la imagen termográfica de un caso de úlcera diabética infectada, donde se indican las mediciones sectoriales y puntuales.

Se evaluaron 80 úlceras diabéticas para detectar la presencia de infección mediante pruebas de imagen termográfica en comparación con la prueba estándar. Se encontraron 37 verdaderos positivos (VP), 35 verdaderos negativos (VN), 8 falsos positivos (FP) y 0 falsos negativos (FN). La exactitud (Ex) se calculó como el promedio de la suma

Característica epidemiológicas	Tipo	parámetro	n(%)
Diabetes	Tratamiento	Dieta	13(16.25)
		Medicamentos	67(83.75)
	Tiempo de enfermedad	Menos de 5 años	14(17.50)
		5 años a mas	66(82.50)
	Regularidad de tratamiento	si	20(25.00)
		no	60(75.00)
Comorbilidades	si	26(32.50)	
	no	54(67.50)	
Neurovasculares	Neuropatia periferica	si	69(86.25)
		no	11(13.75)
	Enfermedad arterial periferica	si	44(55.00)
		no	36(45.00)

Tabla 1. Características epidemiológicas en los pacientes diabéticos tipo II con úlceras de pie con sospecha de infección.

Características clínicas	Tipo	Parámetro	n(%)
Exploración de ulcera	Localización anatomica	Hallux	31(38.75)
		Dedos menores	23(28.75)
		metatarso	9(11.25)
		Mediopia dorso	5(6.25)
		Mediopia planta	5(6.25)
		Talon	7(8.75)
	Profundidad	Superficial	12(15)
		Profundo no óseo	55(68.75)
		Profundo óseo	13(16.25)
	Tipo de exudado	No puruleto	29(36.25)
		Purulento	51(63.75)
Color de lecho ulceroso	Rojo	25(31.25)	
	Amarillo	37(46.25)	
	Negro	18(22.5)	
Diagnostico	Segun Universidad de Texas	A(no infecciosa ni vascular)	16(20)
		B(infecciosa)	18(22.5)
		C(vascular)	21(26.25)
		D(infecciosa y vascular)	25(31.25)
	Segun IDSA	Infecciosa	35(43.75)
		No infecciosa	45(56.25)

Tabla 2. Características clínicas en 80 úlceras de pie en diabéticos tipo II con sospecha de infección.

de la sensibilidad (S) y especificidad (E), donde S se define como $VP/(VP+FP)$ y E se define como $VN/(VN+FN)$. Por lo tanto, la S, E y Ex fueron del 82%, 100% y 91%, respectivamente. Consulte la tabla 4 para obtener más detalles.

Discusión

Las úlceras diabéticas pueden provocar amputaciones

y muertes a causa de infecciones. Por lo tanto, es fundamental realizar un tamizaje eficiente²¹. El protocolo más estudiado y aceptado en los estudios científicos es el diagnóstico clínico por infección de las úlceras diabéticas según IDSA, por lo que se considera la prueba estándar²². Las imágenes termográficas pueden mejorar la precisión diagnóstica de la exploración clínica de las úlceras diabéticas infectadas⁷, ya que las reacciones inflamatorias provocan una elevación de la temperatura y de la emisión térmica de

Caraterística termografica	Tipo	parámetro	n(%)
Zona sectorial	Intralesional	Zona 1(superior derecha)	26(32.50)
		Zona 2(inferior derecha)	24(30.00)
		Zona 3(superior izquierda)	12(15.00)
		Zona 4(superior izquierda)	18(22.50)
	Extralesional	Zona 1(superior derecha)	18(22.50)
		Zona 2(inferior derecha)	28(35.00)
		Zona 3(superior izquierda)	14(17.50)
		Zona 4(superior izquierda)	20(25.00)
Clasificación	Infección	si	37(46.25)
		no	43(53.75)

Tabla 1. Características termografica en 80 úlceras de pie en diabéticos tipo II con sospecha de infección.

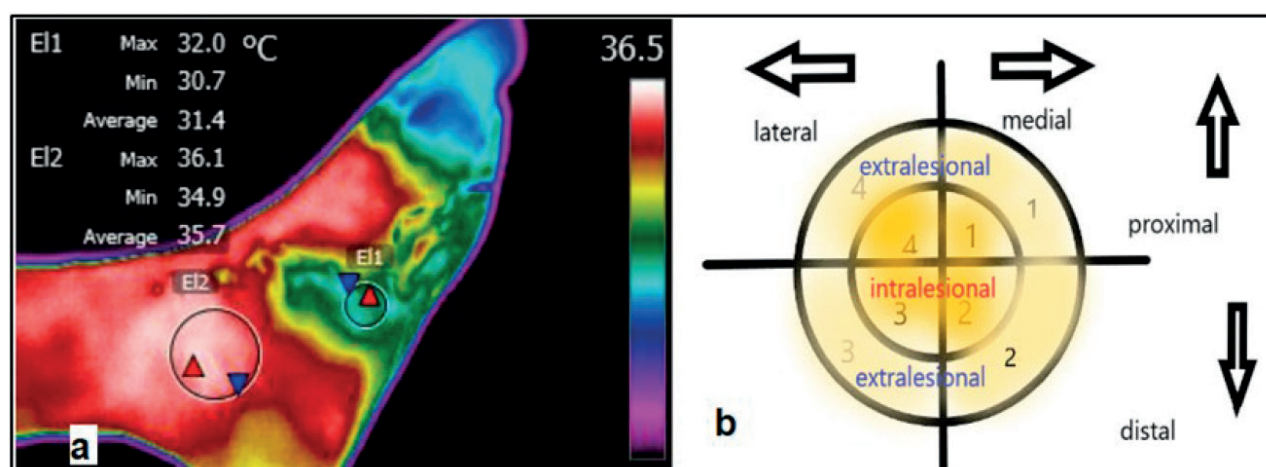


Figura 1. “a” muestra la imagen termografica de ulcera diabetesica con mediciones sectoriales y medicione puntuales intralesionales y extralesionales ;“b” muestra el esquema de zonas evaluadas por analisis de imagen del software.Flecha roja :punto mas caliente,flecha azul :punto mas frío,los números 1,2,3,4 son las zonas analizadas.

Infección	Por clasificación clinica (IDSA) positiva	Por clasificación clinica (IDSA) negativo	Total
Por imagen termográfica positiva	37	0	37
Por imagen termográfica negativo	8	35	43
Total	45	35	80

Tabla 4. Distribución de 80 úlceras de pie en diabéticos tipo II con sospecha de infección usando imagen termográfica versus estándar clínico.

la zona afectada, lo que se puede cuantificar¹¹.

Este estudio ha evaluado la precisión de la prueba de imagen termográfica en comparación con la prueba estándar en el contexto del COVID-19 y ha encontrado una precisión muy alta, ya que superó el 90% en el diagnóstico de infección de úlceras diabéticas. Sin embargo, esto no significa necesariamente que la sola imagen termográfica pueda ser diagnóstica, ya que se trata de probabilidades. Los escasos antecedentes sobre el uso de la imagen termográfica en la infección de úlceras diabéticas fueron series de casos descriptivos, algunos favorables a su uso y otros no^{11,12}. Por lo tanto, este estudio es diferente en diseño, ya que es analítico.

Los estudios mencionados analizaron las imágenes de las regiones de interés intra lesionales y extra lesionales de las úlceras, pero el estudio de Hutting *et al.*¹² utilizó un análisis comparativo de las imágenes de la lesión de un pie afectado con el otro. Por lo tanto, el estudio de Chanmugam *et al.*¹¹ fue similar, pero su contexto fue general por la evaluación de diferentes tipos de úlceras crónicas.

El valor térmico límite utilizado en este estudio para calificar la infección (3 grados Celsius o más de aumento de temperatura) descrito por Armstrong *et al.*²⁰ fue similar al de los estudios mencionados. El análisis de la imagen en este estudio está influenciado por la anatomía y fisiología particular del pie en el contexto neurológico, vascular y mus-

culosquelético del diabético²³⁻²⁵, y los factores externos ambientales locales se controlaron según las directrices de la American Academy of Thermology¹⁸. Este estudio considera que la localización anatómica fundamental del análisis se encuentra en la zona periférica de la úlcera, ya que es la piel íntegra y se puede evaluar su emisión térmica, sin menospreciar el lecho ulcerativo, que es más susceptible a modificar su emisión térmica por factores como el pH, los exudados y la temperatura²⁶.

Se encontró una alta sensibilidad en la capacidad de identificar infecciones de las úlceras diabéticas a través de imágenes termográficas. Cuando hay una verdadera infección, la termografía es capaz de identificarla con precisión. Sin embargo, la presencia de falsos positivos en casos de osteomielitis y abscesos significaron que las imágenes pueden ser negativas a pesar de la presencia de infección real, ya que la termografía no puede detectar el calor que no alcanza el valor límite de umbral al disiparse en la profundidad de los tejidos^{11,19}.

Por otro lado, la especificidad fue ideal, lo que indica que la imagen termográfica fue capaz de identificar la ausencia de infección en úlceras sin infección real, ya que no hubo falsos negativos. Esto se debe a que la emisión infrarroja expresada por calor no pudo superar el valor de 3°C. La exactitud de la imagen termográfica fue muy alta cuando se combinaron la especificidad y la sensibilidad, lo que indica que es muy precisa para detectar infecciones en úlceras diabéticas.

La categoría de infección está sujeta a la metodología de análisis de la imagen utilizada en este estudio. Se utilizó un algoritmo propuesto por Spahn *et al.*¹⁸ basado en las leyes físicas de termodinámica y fisiología de los angiosomas^{27,28}. Este estudio corroboró que este algoritmo es útil y válido.

La fortaleza de este estudio radica en el alto entrenamiento del personal de salud en el área clínica y termografía, pero las principales limitaciones fueron que el muestreo por conveniencia estuvo supeditado al contexto de la COVID-19 y el software de análisis de imagen utilizado fue no específico para úlceras crónicas.

Conclusiones

Este estudio de prueba diagnóstica en 80 úlceras diabéticas con sospecha de infección utilizando imágenes termográficas en comparación con el estándar clínico tuvo una muy alta exactitud. Esto implica que esta imagen puede ser utilizada por el personal de salud en el diagnóstico del pie diabético para detectar precozmente la infección y evitar complicaciones como sepsis y amputación.

Contribuciones de los autores

Conceptualización por DRA, Metodología por DRA, Software por DRA, Validación por SBC, Análisis formal e investigación por DRA y SBC, Recursos SBC, Curación de datos y redacción-preparación del borrador original por DRA y SBC, redacción-revisión y edición por DRA, NMO, ACG y MTA, visualización por DRA y SBC, supervisión por SBC, administración de proyectos por DRA, adquisición de fondos por DRA y SBC. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento

Esta investigación ha sido financiada por la subven-

ción de fondos del Concejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONCYTEC) de Perú para proyectos de investigación y tecnología 2018.

Declaración de la Junta de Revisión Institucional

El estudio se realizó de acuerdo con las pautas de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por la Junta de Revisión Institucional (o Comité de Ética) de Instituto de Investigación y tecnología de la Universidad César Vallejo en la ciudad de Trujillo (Perú) el día 21 de octubre del 2020 con resolución N° CEC-UCV-002-2020.

Declaración de consentimiento informado

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los sujetos involucrados en el estudio.

Agradecimientos

A Fondecyt-Perú (Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación) como gestor administrativo y técnico de los fondos de CONCYTEC y al Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad César Vallejo-Trujillo.

Conflictos de Interés

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Referencias bibliográficas

1. Zhang P, Lu J, Jing Y, Tang S, Zhu D, Bi Y. Global epidemiology of diabetic foot ulceration: a systematic review and meta-analysis. *Ann Med*. 2017 ;49(2):106-116. DOI: 10.1080/07853890.2016.1231932
2. Schaper N, Van Netten J, Apelqvist J, Lipsky B, Bakker K; International Working Group on the Diabetic Foot. Prevention and management of foot problems in diabetes: a Summary Guidance for Daily Practice 2015, based on the IWGDF Guidance Documents. *Diabetes Metab Res Rev*. 2016; 32 (1):7-15. DOI: 10.1016/j.diabres.2016.12.007
3. Lipsky BA, Berendt AR, Cornia PB, Pile JC, Peters EJ, Armstrong DG, Deery HG, Embil JM, Joseph WS, Karchmer AW, Pinzur MS, Senneville E. 2012 Infectious Diseases Society of America clinical practice guideline for the diagnosis and treatment of diabetic foot infections. *J Am Podiatr Med Assoc* 2013 ;103(1):2-7. DOI: 10.7547/1030002
4. Chastain CA, Klopfenstein N, Serezani CH, Aronoff DM. A Clinical Review of Diabetic Foot Infections. *Clin Podiatr Med Surg*. 2019; 36(3):381-395. DOI: 10.1016/j.cpm.2019.02.004
5. Noor S, Khan RU, Ahmad J. Understanding Diabetic Foot Infection, and its Management. *Diabetes Metab Syndr*. 2017 ;11(2):149-156. DOI: 10.1016/j.dsx.2016.06.023.
6. Sen CK, Ghatak S, Gnyawali SC, Roy S, Gordillo GM. Cutaneous Imaging Technologies in Acute Burn and Chronic Wound Care. *Plast Reconstr Surg*. 2016;138(3S):119S-128S. DOI: 10.1097/PRS.0000000000002654
7. Li S, Mohamedi AH, Senkowsky J, Nair A, Tang L. Imaging in Chronic Wound Diagnostics. *Adv Wound Care (New Rochelle)*. 2020 ;9(5):245-263. DOI: 10.1089/wound.2019.0967.
8. Brioschi ML, Yeng LT, Teixeira MJ. Medical Thermography: What is It? And Its Applications. *Pan American Journal of Medical Thermology* 2(1):14-17. DOI: 10.18073/2358-4696/pajmt.v2n1p14-17.
9. Hernandez-Contreras D, Peregrina-Barreto H, Rangel-Magdaleno J, Gonzalez-Bernal J. Narrative review: Diabetic foot and infrared thermography. *Infrared Physics & Technology* 2016;78: 105-117. DOI: 10.1016/j.infrared.2016.07.013
10. Li S, Renick P, Senkowsky J, Nair A, Tang L. Diagnostics for Wound Infections. *Adv Wound Care (New Rochelle)*. 2021 ;10(6):317-327. DOI: 10.1089/wound.2019.1103

- 11.Chanmugam A, Langemo D, Thomason K, Haan J 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. DOI: 10.1097/01.ASW.0000522161.13573.62
- 12.Hutting KH, Aan de Stegge WB, Kruse RR, van Baal JG, Bus SA, van Netten JJ. Infrared thermography for monitoring severity and treatment of diabetic foot infections. *Vasc Biol*. 2020 ;2(1):1-10. DOI: 10.1530/VB-20-0003
- 13.Leefflang MMG, Allerberger F. How to: evaluate a diagnostic test. *Clin Microbiol Infect*. 2019;25(1):54-59. DOI: 10.1016/j.cmi.2018.06.011
- 14.Noor S, Zubair M, Ahmad J. Diabetic foot ulcer--A review on pathophysiology, classification and microbial etiology. *Diabetes Metab Syndr*. 2015 ;9(3):192-9. DOI: 10.1016/j.dsx.2015.04.007
- 15.Rodriguez-Alonso D, Cabrejo-Paredes J,Benites-Castillo S. Diagnostic accuracy in thermographic imaging for granulation of uninfected diabetic ulcers. Conference of 15th Quantitative InfraRed Thermography. Proceeding of conference QIRT 2020: 1-5. DOI: 10.21611/qirt.2020.110
- 16.Rodríguez-Alonso D, Cabrejo-Paredes J. Exactitud y seguridad diagnóstica de la prueba neurológica y arterial según IWGDF en la neuropatía periférica diabética y enfermedad arterial periférica para diabéticos tipo 2 en la atención primaria de salud. *Horiz Med* 2018; 18(3):12-18. DOI:10.24265/horizmed.2018.v18n3.03
- 17.Wang X, Yuan CX, Xu B, Yu Z. Diabetic foot ulcers:Classification, risk factors and management. *World J Diabetes* 2022;13(12):1049-1065.DOI: 10.4239/wjd.v13.i12.1049.
- 18.American Academy of Thermology., Guidelines for neuromusculoskeletal infrared thermography sympathetic skin response (SSR) studies. *Pan Am J Med Thermol* 2017,2.:35-43,2015. DOI: 10.18073/2358-4696/pajmt.v2n1p35-43
- 19.Spahn J, Spahn T, Nuguru K. method for quantifying wound infection using long - wave infrared thermography. United States; US 2017 / 0296066 A1, 2017. <https://patents.google.com/patent/US20170296066A1/en>
- 20.Armstrong DG, Lipsky BA, Polis AP, Abramson MA. Does dermal thermometry predict clinical outcome in diabetic foot infection? Analysis of data from the SIDESTEP* trial. *International Wound Journal* 2006; 3(4):302-7. DOI: 10.1111/j.1742-481X.2006.00269.x
- 21.Lipsky BA, Senneville E, Abbas ZG, Aragón-Sánchez J, Diggle M, Embil JM, Kono S et al. Guidelines on the diagnosis and treatment of foot infection in persons with diabetes (IWGDF 2019 update). *Diabetes Metab Res Rev* 2020 ;36 (S1):1-24. DOI: 10.1002/dmrr.3280
- 22.Senneville É, Lipsky BA, Abbas ZG, Aragón-Sánchez J, Diggle M, Embil JM, Kono S, Lavery LA, Malone M, van Asten SA, Urbančič-Rovan V, Peters EJG. Diagnosis of infection in the foot in diabetes: a systematic review. *Diabetes Metab Res Rev*. 2020 ;36 (S1):1-13. DOI: 10.1002/dmrr.3281
- 23.Ammer K, Ring F. *The Thermal Human Body: A Practical Guide to Thermal Imaging*. 1er edition, Singapore: Jenny Stanford Publishing;2019:203-210. DOI:10.1201/9780429019982
- 24.Adam M, Ng EYK, Tan JH, Heng ML, Tong JWK, Acharya UR. Computer aided diagnosis of diabetic foot using infrared thermography: A review. *Comput Biol Med* 2017; 91:326-336. DOI: 10.1016/j.compbiomed.2017.10.030
- 25.Zolet CMLS, Ulbricht L, Romaneli EFR, Neves EB. Thermal Asymmetries and Mean Foot Temperature. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc* 2019 :2821-2824. DOI: 10.1109/EMBC.2019.8857378
- 26.Power G, Moore Z, O'Connor T. Measurement of pH, exudate composition and temperature in wound healing: a systematic review. *J Wound Care* 2017 ;26(7):381-397. DOI: 10.12968/jowc.2017.26.7.381
- 27.Vollmer M, Möllmann KP, *Fundamentals of infrared thermal imaging*.2nd edition, Weinheim: Wiley-VCH ;2018 :1-106. DOI:10.1002/9783527693306
- 28.Raheman FJ, Rojoa DM, Patel NG. Performance of infrared thermography and thermal stress test in perforator mapping and flap monitoring: A meta-analysis of diagnostic accuracy. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2021:S1748-68. DOI: 10.1016/j.bjps.2021.03.08