

## Termografía infrarroja en la detección de la función endotelial normal

Susana I. Morales-Montalvo,<sup>1,2</sup> Ma. del Pilar Cruz-Domínguez,<sup>1\*</sup> Ma. de los Ángeles Martínez-Godínez,<sup>2</sup> Erick Calderón-Aranda,<sup>3</sup> Michel A. Martínez-Bencomo,<sup>4</sup> Gabriela Martínez-Díaz,<sup>5</sup> Alejandro Cruz-Segura<sup>6</sup> y Ángel Miliar-García<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Investigación, Hospital de Especialidades, Centro Médico Nacional La Raza, Instituto Mexicano del Seguro Social; <sup>2</sup>Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Medicina, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México; <sup>3</sup>Departamento de Ecocardiografía, Hospital de Especialidades, Centro Médico Nacional La Raza, Instituto Mexicano del Seguro Social; <sup>4</sup>Departamento de Imagenología, Hospital de Especialidades, Centro Médico Nacional La Raza, Instituto Mexicano del Seguro Social; <sup>5</sup>Facultad de Medicina, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla; <sup>6</sup>Laboratorio de Biología Molecular, Unidad de Posgrado, Escuela Superior de Medicina, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México; <sup>7</sup>Departamento de Cirugía Plástica, Hospital de Especialidades, Centro Médico Nacional La Raza, Instituto Mexicano del Seguro Social. Ciudad de México. Mexico

### Resumen

**Antecedentes:** La sospecha de disfunción endotelial (DE) permitirá prevenir la aterosclerosis acelerada y la muerte prematura. **Objetivo:** Establecer la utilidad de la termografía en el cribado de la función endotelial en adultos con factores de riesgo cardiovascular. **Material y métodos:** Estudio transversal analítico de prueba diagnóstica. El incremento del diámetro de la arteria braquial  $< 11\%$  a un minuto posisquemia significó probable DE, confirmada si el diámetro fue  $\geq 11\%$  posnitroglicerina sublingual. Se obtuvieron fotografías termográficas al minuto de la región palmar. Se aplicó estadística descriptiva, curva ROC, pruebas U de Mann-Whitney, chi cuadrada o exacta de Fisher. **Resultados:** Se incluyeron 38 sujetos, mediana de edad de 50 años, con 624 mediciones termográficas; nueve presentaron DE (vasodilatación mediada por flujo de 2.5 %). El mejor punto de corte para la función endotelial normal en sujetos con factores de riesgo cardiovascular fue  $\geq 36\text{ }^{\circ}\text{C}$  al minuto de isquemia, con sensibilidad de 85%, especificidad de 70%, valores predictivos positivo y negativo de 78 y 77%, área bajo la curva de 0.796, razón de verisimilitud positiva de 2.82 y razón de verisimilitud negativa de 0.22. **Conclusión:** La medición de la temperatura en la región palmar mediante termografía infrarroja  $\geq 36\text{ }^{\circ}\text{C}$  tras un minuto de isquemia es práctica, no invasiva y económica para el cribado de la función endotelial normal en adultos con factores de riesgo cardiovascular.

**PALABRAS CLAVE:** Aterosclerosis. Endotelio vascular. Termografía. Vasodilatación.

### Infrared thermography for normal endothelial function screening

#### Abstract

**Background:** Endothelial dysfunction (ED) suspicion will allow to prevent accelerated atherosclerosis and premature death. **Objective:** To establish the usefulness of thermography for endothelial function screening in adults with cardiovascular risk factors. **Material and methods:** Cross-sectional, analytical diagnostic test. A brachial arterial diameter (BAD) increase  $< 11\%$  at one-minute post-ischemia meant probable ED and was confirmed if BAD was  $\geq 11\%$  post-sublingual nitroglycerin. Thermographic photographs of the palmar region were obtained at one minute. Descriptive statistics, ROC curve, Mann-Whitney's U-test, chi-square test, or Fisher's exact test were used. **Results:** Thirty-eight subjects with a median age of 50 years, and with 624 thermographic measurements were included. Nine had ED (flow-mediated vasodilation (FMV): 2.5 %). The best cutoff point for normal endothelial function in subjects with cardiovascular risk factors was  $\geq 36\text{ }^{\circ}\text{C}$  at one minute of ischemia, with

#### \*Correspondencia:

Ma. del Pilar Cruz-Domínguez  
E-mail: drapilarcd@gmail.com

Fecha de recepción: 20-07-2023

Fecha de aceptación: 14-12-2023

DOI: 10.24875/GMM.23000293

Gac Med Mex. 2024;160:26-35

Disponible en PubMed

www.gacetamedicademexico.com

0016-3813/© 2023 Academia Nacional de Medicina de México, A.C. Publicado por Permanyer. Este es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

85 % sensitivity, 70 % specificity, positive and negative predictive values of 78 and 77 %, area under the curve of 0.796, LR+ 2.82, LR- 0.22. **Conclusions:** An infrared thermography-measured temperature in the palmar region greater than or equal to 36 °C after one minute of ischemia is practical, non-invasive, and inexpensive for normal endothelial function screening in adults with cardiovascular risk factors.

**KEYWORDS:** Atherosclerosis. Vascular endothelium. Thermography. Vasodilation.

## Antecedentes

La muerte prematura está asociada a enfermedades cardiovasculares (ECV) en todo el mundo.<sup>1</sup> En México, la tasa de mortalidad está relacionada con la enfermedad isquémica del corazón y la diabetes mellitus (DM).<sup>2</sup> La obesidad, la hipercolesterolemia y el tabaquismo son factores de riesgo cardiovascular clásicos en la población mexicana con disfunción endotelial inicial.

El desequilibrio de las sustancias vasoactivas a favor de la inflamación, la vasoconstricción, la permeabilidad, el estrés oxidativo y la proliferación se asocia a disfunción endotelial,<sup>3</sup> cuya persistencia favorece la aterogénesis, la rigidez vascular, la agregación plaquetaria y la trombosis.<sup>4</sup>

Mediante ecografía de la arteria braquial, la vasodilatación mediada por flujo (VMF) mide la apertura del diámetro vascular en respuesta al flujo sanguíneo repentino después de isquemia.<sup>5-8</sup> Una VMF < 11 % mostró sensibilidad de 80 %, especificidad de 86.67 %, valor predictivo positivo de 76.66 % y valor predictivo negativo de 83.33 % para disfunción endotelial.<sup>9</sup> Sin embargo, su determinación requiere la intervención de un cardiólogo capacitado, equipos costosos y estandarización metodológica.<sup>6,10-12</sup>

La termografía infrarroja es un método no invasivo, portátil y rentable, capaz de medir la radiación infrarroja de onda media a larga y convertirla en temperatura con una precisión de hasta 0.08 °C.<sup>13-15</sup> Muestra una imagen digital y un mapa de calor en una perspectiva comparativa de fenómenos que van desde la termogénesis, los ajustes del flujo sanguíneo periférico, el enfriamiento por evaporación y la fisiología respiratoria.<sup>15</sup> Los cambios térmicos evaluados con termografía infrarroja incluyen cáncer de mama, melanoma cutáneo, quemaduras, hemangiomas y obstrucción vascular.<sup>16-20</sup>

El estudio tuvo como objetivo determinar la sensibilidad y especificidad de la termografía para evaluar la función endotelial normal, ya que actualmente no existe información al respecto.

## Material y métodos

Se realizó un estudio de diagnóstico observacional, transversal y analítico que incluyó pacientes consecutivos del Hospital de Especialidades del Centro Médico Nacional La Raza, entre febrero de 2019 y febrero de 2020, edad  $\geq$  18 años, con o sin factores de riesgo cardiovascular (hipertensión arterial, diabetes, dislipidemia, tabaquismo), sin ningún tratamiento farmacológico en el último mes y que firmaron el consentimiento informado. Los criterios de no inclusión fueron antecedentes de enfermedad vascular, embarazo en curso, alergia a la nitroglicerina y uso de fármacos vasodilatadores o vasoconstrictores. El tamaño de muestra se calculó en 35 pacientes, con una sensibilidad esperada de 90 % para detectar función endotelial normal mediante termografía; se incluyeron 38 sujetos. El estudio se llevó a cabo conforme a lo estipulado en el Reglamento de la Ley General de Salud sobre Investigación para la Salud y en la Declaración de Helsinki; fue aprobado por el comité de ética e investigación.

### Evaluación clínica

Todos los sujetos incluidos fueron sometidos a una entrevista guiada por un instrumento de recolección. La entrevista tuvo como objetivo recopilar datos demográficos y sobre el estado de salud de los encuestados. Posteriormente, se les citó para pruebas termográficas, ultrasonográficas y toma de muestras de laboratorio. También se entregó a los participantes una hoja con las instrucciones a seguir el día de la evaluación.

### Ultrasonografía (VMF)

La función vascular se evaluó en todos los sujetos del estudio por método convencional de VMF en la arteria braquial del antebrazo derecho. El paciente permaneció en reposo en una habitación tranquila a 25.7 °C (rango intercuartílico [RIC] = 24.7, 28), durante 15 a 30 minutos, en decúbito supino sobre una camilla

junto al equipo de ecografía (Transducer L12-4, Philips Ultrasound, Inc. conectado a una tableta Galaxy Tab A modelo SM-T51, sistema Android versión 9). Se realizó medición de la presión arterial basal con un esfigmomanómetro convencional sin retirar el manguito neumático. Las imágenes ecográficas se obtuvieron en tres momentos:

- Con el sujeto en reposo.
- Durante el estrés vascular tangencial.
- Después de soltar el manguito neumático.

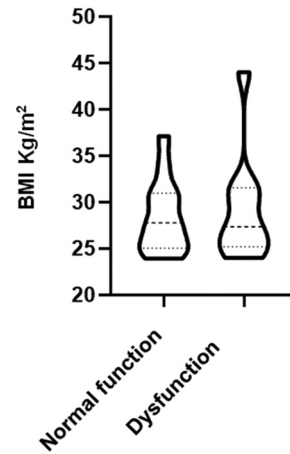
La arteria braquial se midió por su sección longitudinal, de 2 a 15 cm por encima del codo, y se identificó el centro de la arteria una vez que se obtuvo la imagen más clara de las capas íntimas anterior y posterior. La zona de transducción (foco) se ubicó en la pared vascular más cercana para evaluar la línea "M" (la interfaz entre la media y la adventicia) en comparación con la pared lejana. La piel se marcó con un rotulador quirúrgico en una posición satisfactoria del transductor, manteniendo el brazo en la misma posición durante todo el estudio. Se obtuvo una imagen de termografía infrarroja en reposo y se midió la velocidad del flujo arterial con una señal Doppler pulsada en un ángulo de 70° respecto al vaso, con la dirección del pasaje (1.5 mm) en el centro de la arteria.

Posteriormente, se tomaron tres mediciones del diámetro interno de la arteria braquial para establecer una media. Se insufló el manguito neumático a presión suprasistólica (40 mm Hg por encima de la basal), corroborando ecográficamente la interrupción del flujo sanguíneo arterial durante cinco minutos.

La isquemia se eliminó súbitamente y se visualizó la restauración del flujo sanguíneo. Un minuto después de desinflar el manguito, se tomaron tres veces imágenes ecográficas del diámetro interno de la arteria braquial. Se clasificó como disfunción endotelial si el incremento en el diámetro vascular fue < 11 % y como función endotelial normal si fue  $\geq$  11 % del diámetro original de la arteria braquial. Si el sujeto mostró vasodilatación < 11 %, se administraron 0.4 mg de nitroglicerina sublingual y un minuto después se comparó el diámetro de la arteria braquial para evaluar la capacidad de vasodilatación independiente del endotelio.

### Termografía

La temperatura de los participantes se midió con una cámara termográfica FLIR ONE Pro de tercera generación (sistema Android, micro-USB, con resolución de 160 x 120 píxeles, rango dinámico de escena

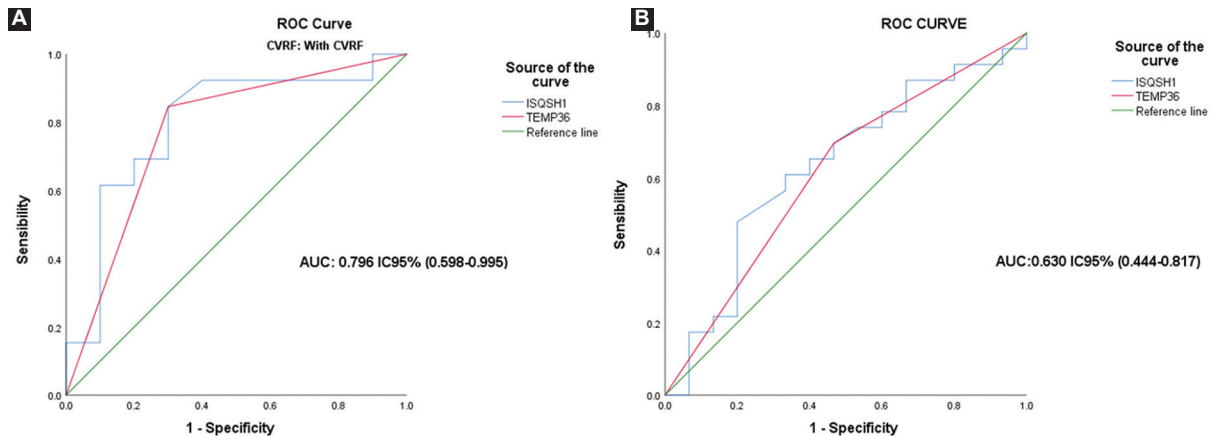


**Figura 1.** Índice de masa corporal de la población con factores de riesgo cardiovascular, con función endotelial normal y disfunción endotelial.

de -20 a 400 °C, precisión  $\pm$  3 °C, peso de 36.5 g, fabricado por FLIR Systems Inc., Estados Unidos). Las imágenes térmicas adquiridas se analizaron con el programa termográfico específico para dispositivos FLIR (FLIR Systems Inc., Estados Unidos). La cámara se colocó sobre una base horizontal, perpendicular a la superficie de la piel, a 30 cm de distancia. Durante la VMF se obtuvieron mediciones del centro de la palma, muñeca y tercer dedo, basales y cada minuto durante cinco minutos desde el inicio de la isquemia; se obtuvieron tres en el período de posisquemia (Figura 1). Si al sujeto se le diagnosticó disfunción por VMF, se indicó la ingestión de 0.4 mg de nitroglicerina sublingual y se dejó transcurrir cinco minutos. Durante ese tiempo, se volvieron a tomar mediciones de la temperatura del centro de la palma, muñeca y tercer dedo en los minutos 3 y 5. Cada paciente tuvo entre 15 a 21 evaluaciones termográficas, para un total de 624 mediciones.

### Análisis estadístico

Las variables cualitativas nominales y ordinales se resumieron con frecuencias y porcentajes y se compararon con chi cuadrada. Las variables cuantitativas se analizaron con la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para determinar su tipo de distribución; estas variables se presentaron como medias y desviaciones estándar en los datos paramétricos, mientras que en los datos no paramétricos se utilizaron medianas y rangos intercuartílicos (RIC).



**Figura 2.** **A:** curva ROC que muestra el punto de corte con mayor sensibilidad y especificidad para evaluar la normofunción endotelial en sujetos con factores de riesgo cardiovascular. Temperatura > 36 °C, sensibilidad de 85 %, especificidad de 70 %, área bajo la curva de 0.796 (IC 95 % = 0.598-0.995); **B:** curva ROC que muestra el punto de corte con mayor sensibilidad y especificidad para evaluar la normofunción endotelial en población adulta. Temperatura > 36 °C, sensibilidad de 70 %, especificidad de 53 %, área bajo la curva de 0.630 (IC 95 % = 0.444-0.817). ISQSH1: temperaturas obtenidas de la mano de estudio al minuto de isquemia. TEMP36: mejor punto de corte.

Se realizó una curva ROC para todas las temperaturas obtenidas. Se evaluaron los deltas entre los diferentes minutos en las palmas, muñecas y anulares de pacientes con y sin disfunción endotelial según el estándar de oro (VMF). Se calculó el punto de corte de temperatura más sensible y específico, así como los valores predictivos positivos y negativos y las razones de verosimilitud. Se calcularon coeficientes de variación intra e interensayo para todas las evaluaciones en 10 % de la muestra total de pacientes. Todos los análisis y gráficos se realizaron con los programas SPSS versión 25 y GraphPad Prism 8.

## Resultados

Se incluyeron 38 sujetos, 28 mujeres y 10 hombres, sin tratamiento por patología cardiovascular, con una mediana de edad de 50 años (RIC = 34.8, 58.3). Los factores de riesgo cardiovascular más frecuentes en la población adulta fueron el sobrepeso, la obesidad, la dislipemia y el sedentarismo (Tabla I).

La temperatura corporal mediana fue de 36.3 °C (RIC = 35.9, 36.5), la presión arterial sistólica de 110 mm Hg (RIC = 100, 126.2), la presión arterial diastólica de 70 mm Hg (RIC = 60, 80), el colesterol de 188.4 mg/dL (RIC = 166.1, 219.5) y los triglicéridos de 126.6 mg/dL (RIC = 104, 213.7).

La temperatura basal de la palma determinada mediante termografía en todos los miembros del estudio fue de 32.2 °C (28.9-35) y de 36.4 °C (35.2-37.1) al minuto posisquemia.

La disfunción endotelial estuvo presente en nueve pacientes diagnosticados con VMF con una mediana de 2.5 % (RIC = - 8.3, 5,1).

El índice de masa corporal como factor de riesgo cardiovascular fue evidentemente mayor en los sujetos diagnosticados con disfunción endotelial mediante VMF (Figura 1).

Se realizó curva ROC de las temperaturas obtenidas al minuto de isquemia de todos los sujetos con o sin factores de riesgo cardiovascular, con su respectivo nomograma de Fagan, con la que se determinó que una temperatura  $\geq 36$  °C en la palma de la mano constituyó el mejor punto de corte para evaluar la función endotelial normal, con sensibilidad de 70 %, especificidad de 53 %, área bajo la curva de 0.630 (IC 95 % = 0.444-0.817), razón de verosimilitud positiva de 1.49 (IC 95 % = 0.81-2.73) y razón de verosimilitud negativa de -0.57 (IC 95 % = 0.26-1.24), Figuras 2 a 6.

Al evaluar la función endotelial normal en sujetos con factores de riesgo cardiovascular, se observó que nuevamente una temperatura  $\geq 36$  °C de la palma de la mano fue el mejor punto de corte, pero con mayor sensibilidad y especificidad, de 85 y 75 %, respectivamente (Figura 2). El poder estadístico fue de 76 % basado en la sensibilidad real de 85 %.

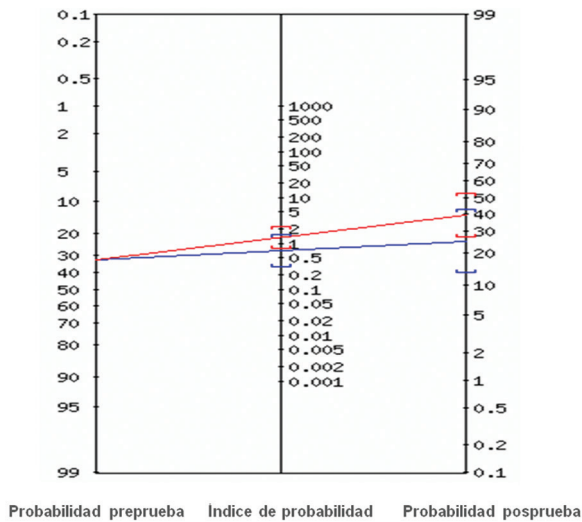
En la Tabla 2 se compara el rendimiento diagnóstico de la VMF y la termografía en pacientes con factores de riesgo cardiovascular. La termografía muestra un buen rendimiento al tener una alta sensibilidad.

**Tabla 1. Características sociodemográficas y bioquímicas de la población adulta**

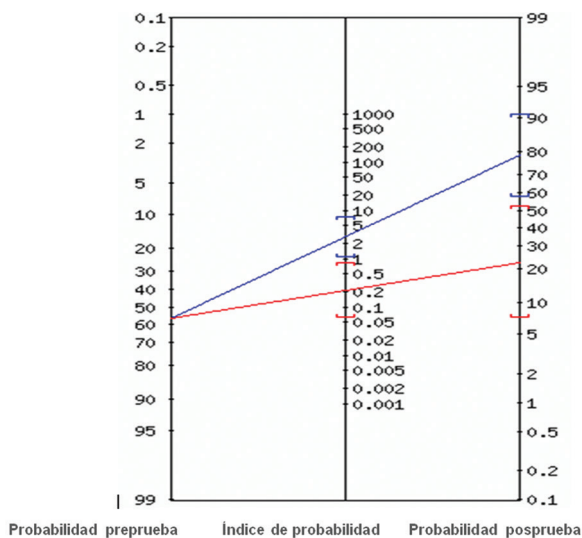
	(n = 38)	%
Sexo		
Femenino	28	73.7
Masculino	10	26.3
Antecedentes cardiovasculares hereditario-familiares	18	47.4
Diabetes <i>mellitus</i> tipo 2	3	7.9
Hipertensión arterial sistémica	8	21.1
Dislipidemia	20	52.6
Tabaquismo	4	10.5
Estilo de vida sedentario	20	52.6
Índice de masa corporal		
Peso normal	13	34.2
Sobrepeso y obesidad	25	65.8
	Mediana	P25, P75
Edad (años)	50	34.8, 58.3
Peso (kg)	69.5	58.8, 75
Altura (m)	1.57	1.53, 1.66
Índice de masa corporal (kg/m <sup>2</sup> )	26.6	24.2, 30.1
Temperatura corporal (°C)	36.3	35.9, 36.5
Temperatura ambiental (°C)	25.7	24.7, 28
Presión arterial sistólica (mm Hg)	110	100, 126.2
Presión arterial diastólica (mm Hg)	70	60, 80
Glucosa (mg/dL)	92.9	86.7, 103.7
Creatinina (mg/dL)	0.77	0.71, 0.82
Colesterol (mg/dL)	188.4	166.1, 219.5
Triglicéridos (mg/dL)	126.6	104, 213.7
Sodio (mmol/L)	139.5	139, 140
Potasio (mmol/L)	4.3	4, 4.5
Hemoglobina (g/dL)	14.5	13.9, 15.3
Amplitud de la distribución eritrocitaria (%)	13.4	13, 14
Leucocitos (K/ $\mu$ L)	5.9	5.2, 7.8
Neutrófilos (10 <sup>3</sup> $\times$ mL)	3.6	2.5, 4.6
Linfocitos (10 <sup>3</sup> $\times$ mL)	1.8	1.5, 2.4
Monocitos (10 <sup>3</sup> $\times$ mL)	0.45	0.34, 0.61
Eosinófilos (10 <sup>3</sup> $\times$ mL)	0.1	0.8, 0.2
Basófilos (10 <sup>3</sup> $\times$ mL)	0.04	0.02, 0.05
Plaquetas (K/ $\mu$ L)	254	217, 300
Tiempo de protrombina (segundos)	14.7	14.3, 15.3
Tiempo parcial de tromboplastina (segundos)	30.2	28, 33.2
Razón normalizada internacional	1.07	1.05, 1.1
Índice de neutrófilos-linfocitos	1.8	1.2, 2.5
Índice plaquetas-linfocitos	142	92, 203.6
Índice monocitos-linfocitos	0.25	0.17, 0.38

P25, P75: percentil 25, percentil 75.





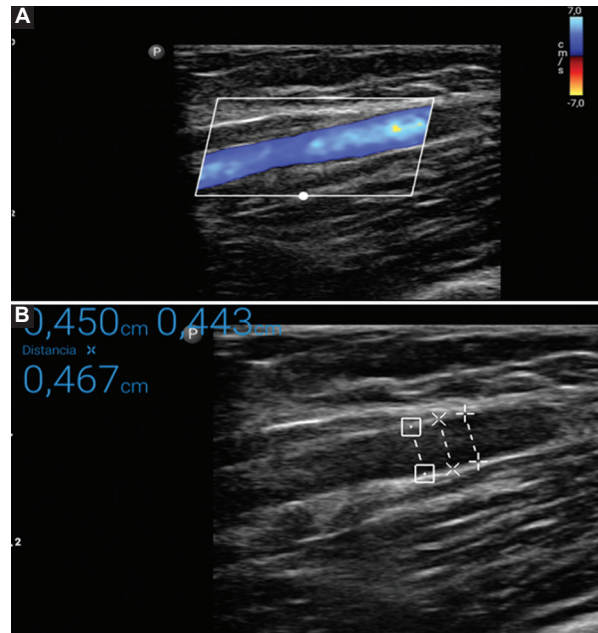
**Figura 3.** Nomograma de Fagan de la termografía para evaluar la normofunción endotelial en una población adulta. Razón de verosimilitud positiva de 1.49 (IC 95 % = 0.81-2.73) y razón de verosimilitud negativa de 0.57 (IC 95 % = 0.26-1.24).



**Figura 4.** Nomograma de Fagan de la termografía para evaluar la normofunción endotelial en sujetos con factores de riesgo cardiovascular. Razón de verosimilitud positiva de 2.82, (IC 95 % = 1.06-7.48) y razón de verosimilitud negativa de 0.22 (IC 95 % = 0.06-0.84).

## Discusión

En la presente investigación encontramos que la termografía infrarroja fue más útil para evaluar la función endotelial normal que la disfunción endotelial. Por lo tanto, proponemos que se utilice como método de detección complementario en



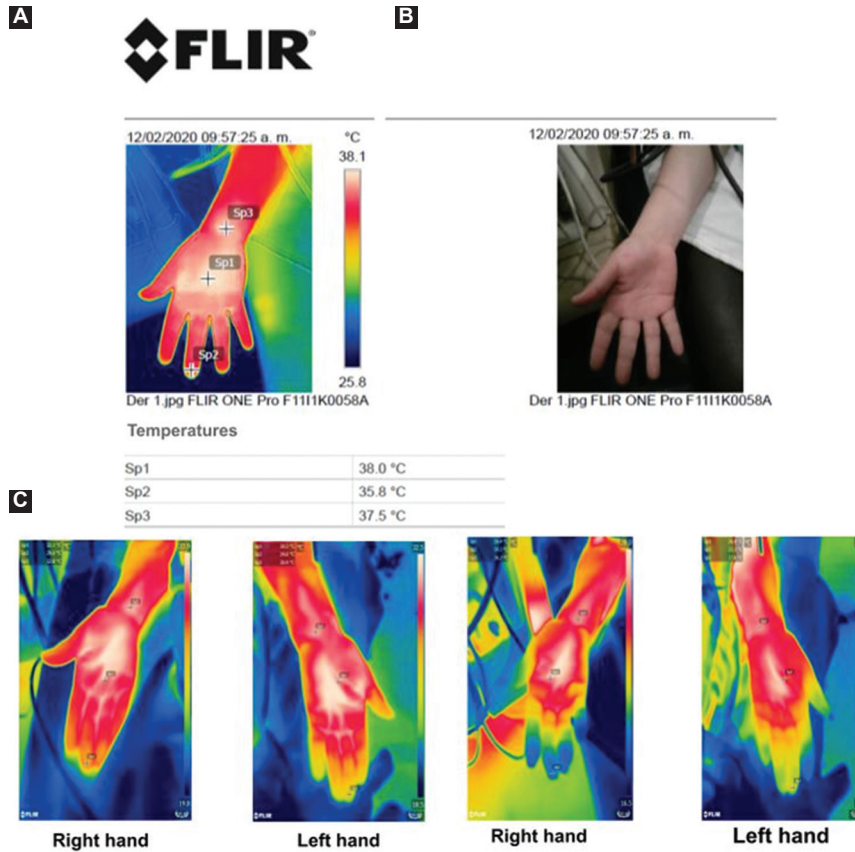
**Figura 5.** A: localización de la arteria braquial mediante ecografía. B: mediciones del diámetro de la arteria braquial mediante ecografía.

personas con una posible anomalía, especialmente en aquellas con factores de riesgo cardiovascular conocidos.

La población incluida en este estudio mostró características demográficas similares en cuanto a edad, peso, índice de masa corporal, sexo y factores de riesgo cardiovascular a las descritas en la mayoría de los artículos publicados sobre población adulta con y sin factores de riesgo cardiovascular clásicos al evaluar la función endotelial con VMF, como los de Maruashi *et al.*,<sup>21,22</sup> Heiss *et al.*<sup>23</sup> y Mučka *et al.*<sup>24</sup>

Entre los factores de riesgo clásicos, los más prevalentes incluidos en nuestro estudio fueron el sobrepeso y la obesidad. Koenen *et al.*,<sup>25</sup> Elagizi *et al.*<sup>26</sup> y Katta *et al.*<sup>27</sup> coinciden en que el sobrepeso y la obesidad son de las principales causas de morbilidad y mortalidad por la aparición de ECV, tanto en el ámbito mundial como en el nacional.

En 1992, Celermajer *et al.*<sup>6</sup> desarrollaron la técnica de VMF para medir la función endotelial, técnica que 30 años después todavía está vigente y que utilizamos en nuestra metodología de estudio. Sin embargo, cabe señalar que existe una gran variabilidad en los puntos de corte utilizados para definir normalidad o patología. Diferentes artículos publicados definen la vasodilatación normal inducida por estrés del flujo sanguíneo tangencial de entre 7 y 11 % de la apertura del diámetro vascular.<sup>28,29</sup>



**Figura 6.** A: informe termográfico de los diferentes puntos evaluados en cada participante (tercer dedo, palma y muñeca). Se informó el mismo termograma durante el inicio, a cinco minutos de la isquemia y a tres minutos posisquemia. B: termograma basal de los diferentes puntos evaluados en ambas manos. C: termograma al minuto de isquemia de los diferentes puntos evaluados (tercer dedo, palmar y muñeca) en ambas manos.

**Tabla 2.** Rendimiento diagnóstico de la vasodilatación mediada por flujo y de la termografía para evaluar la normofunción endotelial en población adulta

Prueba de estudio	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)	VPP (%)	VPN (%)
Vasodilatación mediada por flujo $\leq 11\%$	80	86.67	76.66	83.33
Termografía $> 36\text{ }^{\circ}\text{C}$ en sujetos con factores de riesgo cardiovascular	85	70	78	77

VPP: valor predictivo positivo, VPN: valor predictivo negativo.

También existe variabilidad en el tiempo de isquemia y en el tiempo hasta la medición del diámetro vascular posterior a la isquemia. Sin embargo, el punto más relevante es que la vida media del óxido nítrico producido por el endotelio sano es muy corta, de unos pocos segundos. En 2018, Matsui *et al.*<sup>30</sup> compararon el tiempo convencional *versus* uno menor para realizar la VMF; concluyeron que 50 segundos

de isquemia eran óptimos para una buena evaluación, con un punto de corte de 7 % para individuos con factores de riesgo cardiovascular, con sensibilidad de 71 % y especificidad de 85 %. Es importante destacar que en nuestro estudio, 60 segundos de isquemia fueron óptimos cuando se evaluó la función endotelial mediante termografía, con sensibilidad de 85 % y especificidad de 70 %.

La temperatura de las zonas del cuerpo en reposo varía según la distancia a la región central, donde la temperatura es más alta que en la periferia. La mediana de la temperatura palmar basal en la mano de control *versus* la mano con isquemia probada en individuos sin factores de riesgo cardiovascular (sanos) fue de 34.3 y 32.1 °C, respectivamente. El valor de la temperatura basal en las manos en nuestro estudio concuerda con el atlas de termografía del cuerpo humano de Rajčúková *et al.*<sup>31</sup>

Medir la temperatura con un termómetro de mercurio es difícil si se trata de zonas externas sin pliegues, por lo que la termografía ha sido un método útil. Las primeras investigaciones de termografía en el ámbito de las enfermedades cardiovasculares fueron reportadas en 1984 por De Cesaris *et al.*,<sup>32</sup> quienes encontraron hipotermia (-2 °C) en manos de sujetos hipertensos después de administrar atenolol o labetalol más clortalidona en comparación con sujetos sanos. Esto refuerza nuestra investigación: en nuestro estudio encontramos un punto de corte con una temperatura basal (promedio de 34.3 °C) para evaluar la función endotelial normal.

Respecto a otros estudios, la termografía es útil como prueba de detección junto con la elastografía para diagnosticar el cáncer de mama. Sin embargo, todavía es necesario considerarla como una prueba independiente para diagnosticar esta u otras patologías. Sin embargo, actualmente existe evidencia de su buen desempeño.<sup>33,34</sup>

La termografía ya se ha incluido en la evaluación de patologías vasculares. En un estudio sobre termografía en nódulos tiroideos, Damião *et al.*<sup>35</sup> encontraron que los nódulos malignos tienen temperaturas más altas que los benignos (33.46 °C *versus* 33.01 °C). En un artículo de Cruz Segura *et al.*,<sup>16</sup> se probó la utilidad de la termografía dado que la temperatura obtenida de vasos obstruidos después de la reconstrucción microquirúrgica con colgajos fue de 31.95 °C en promedio, en comparación con 34.80 °C en vasos abiertos. Los resultados anteriores muestran que en condiciones de incremento del flujo vascular existe un incremento de la temperatura, mientras que la temperatura tiende a disminuir respecto a los parámetros de referencia en el caso de isquemia por oclusión vascular o perfusión reducida.

Sin embargo, nuestro estudio muestra un aumento de la temperatura de la mano al minuto de la isquemia. En apoyo de nuestros hallazgos, Akata *et al.*<sup>36</sup> identificaron que después de colocar un torniquete en una pierna, la isquemia provocaba el ascenso de la

temperatura corporal, seguido de un descenso una vez liberada la isquemia. Además, el estudio de Müller muestra un aumento de la temperatura de la piel de las manos ante la misma condición de isquemia.<sup>37</sup> Se planteó la hipótesis de que limitar el calor metabólico al compartimento térmico central eleva la temperatura central del cuerpo, y que la vasodilatación resultante deriva en una mayor temperatura de la superficie de la piel medida en la punta del dedo.

Respecto a la necesidad de realizar estudios adicionales cuando se utilizan métodos de cribado, es importante mencionar que aunque el cáncer de mama se detecte mediante termografía, siempre se debe realizar una mastografía para un diagnóstico más preciso, a diferencia de la disfunción endotelial, en la que no es estrictamente necesario enviar al paciente a estudios más costosos o retrasar su diagnóstico cuando la prueba es normal.

Por lo tanto, la evaluación clínica proporcionada por un médico general o de familia es suficiente para indicar que el endotelio está funcionando adecuadamente si mediante termografía se alcanza una temperatura > 36 °C al minuto de isquemia producida por presión con una pulsera de baumanómetro. En caso contrario, si la temperatura es inferior a la esperada, las indicaciones podrían ser mejorar la salud endotelial controlando factores de riesgo cardiovascular modificables o realizar pruebas complementarias.

Sabemos que las causas de la alteración de la función endotelial son múltiples; lo más importante es restaurar la función endotelial de forma global con un manejo integral y adecuado de los factores de riesgo cardiovascular.<sup>38</sup> Lo más económico y accesible para los pacientes es insistir en la prevención primaria como mantener una dieta saludable, reducir el peso corporal mediante actividad física regular y constante y dejar de fumar, entre otros.<sup>39</sup>

Recomendamos que la termografía sea considerada una prueba de cribado para evaluar la función endotelial normal sin descuidar los métodos de diagnóstico clínico, y la VMF para diagnosticar la disfunción endotelial. Sin embargo, es necesario seguir investigando formas no invasivas, económicas y eficientes de prevenir la aparición de ECV y así evitar millones de muertes anuales por ese motivo.

Deben mencionarse varias limitaciones de nuestro estudio. En primer lugar, obtener el tamaño de la muestra requirió mucho trabajo, ya que se requirieron pacientes con factores de riesgo cardiovascular sin tratamientos con vasodilatadores o modificadores del endotelio; por lo tanto, solo se reclutaron 38 para el



estudio. Otro punto es que la concordancia inter e intraobservador con kappa en estudios de termografía se ha reportado entre 0.89 y 0.97;<sup>40,41</sup> sin embargo, es una debilidad del estudio no haberlo determinado. Una fortaleza de la investigación fue la facilidad de uso de una cámara termográfica conectada a un teléfono celular, lo que favorece el uso cotidiano de esta técnica diagnóstica en la práctica clínica.

## Conclusiones

La temperatura en la región palmar mediante termografía infrarroja  $\geq 36$  °C después de un minuto de isquemia es una prueba no invasiva y económica que podría ser útil para detectar la función endotelial normal en adultos con factores de riesgo cardiovascular. Son necesarios más estudios y con mayor población para demostrar su utilidad.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los participantes en este estudio por su tiempo y disposición para compartir sus experiencias. Sus contribuciones han sido invaluable para ayudarnos a comprender el tema y obtener conclusiones significativas.

## Conflicto de intereses

Los autores no reconocen intereses en competencia.

## Financiamiento

Este trabajo fue apoyado por el Fondo de Investigación en Salud (FIS) del Instituto Mexicano del Seguro Social, con el número de registro FIS/IMSS/PROT/G17-2/174.

## Responsabilidades éticas

**Protección de sujetos humanos y animales.** Los autores declaran que para este estudio no realizaron experimentos en humanos ni en animales.

**Confidencialidad de los datos.** Los autores declaran haber seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

**Derecho a la privacidad y consentimiento informado.** Los autores obtuvieron el consentimiento informado por escrito de los pacientes o sujetos mencionados en el artículo. El autor correspondiente está en posesión de ese documento.

**Uso de inteligencia artificial para la generación de texto.** Los autores declaran que no han utilizado ningún tipo de inteligencia artificial generativa para la redacción de este manuscrito, ni para la creación de imágenes, gráficos, tablas o sus correspondientes pies de foto.

## Bibliografía

1. World Health Organization. The top 10 causes of death. 2020. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
2. INEGI [Internet]. México: Estadística de defunciones registradas de enero a junio de 2022 (preliminar). INEGI; 2023. p. 1-40. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/DR/DR-Ene-jun2022.pdf>
3. Tryfonos A, Mills J, Green DJ, Wagenmakers AJM, Dawson EA, Cocks M. Association between atherogenic risk-modulating proteins and endothelium-dependent flow-mediated dilation in coronary artery disease patients. *Eur J Appl Physiol.* 2023;123(2):367-380.
4. Qu K, Yan F, Qin X, Zhang K, He W, Dong M, et al. Mitochondrial dysfunction in vascular endothelial cells and its role in atherosclerosis. *Front Physiol.* 2022;13:1084604.
5. Mučka S, Miodońska M, Jakubiak GK, Starzak M, Cieślak G, Stanek A. Endothelial function assessment by flow-mediated dilation method: a valuable tool in the evaluation of the cardiovascular system. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(18):11242.
6. Celermajer DS, Sorensen KE, Gooch VM, Spiegelhalter DJ, Miller OI, Sullivan ID, et al. Non-invasive detection of endothelial dysfunction in children and adults at risk of atherosclerosis. *Lancet.* 1992;340(8828):1111-1115.
7. Maruhashi T, Kajikawa M, Kishimoto S, Hashimoto H, Takaeko Y, Yamaji T, et al. Diagnostic criteria of flow-mediated vasodilation for normal endothelial function and nitroglycerin-induced vasodilation for normal vascular smooth muscle function of the brachial artery. *J Am Heart Assoc.* 2020;9(2):e013915.
8. Chia PY, Teo A, Yeo TW. Overview of the assessment of endothelial function in humans. *Front Med (Lausanne).* 2020;7:542567.
9. Panda SK, Vandana M, Goutham VVN. A study on assessment of endothelial dysfunction in hypertension. *Int J Contemp Med Surg Radiol.* 2020;5(1):A26-A30.
10. Heiss C, Rodríguez-Mateos A, Bapir M, Skene SS, Sies H, Kelm M. Flow-mediated dilation reference values for evaluation of endothelial function and cardiovascular health. *Cardiovasc Res.* 2023;119(1):283-293.
11. Ma T, Liu X, Ren Q, Zhang Z, Sun X, Zheng Y, et al. Flow-mediated dilation analysis coupled with nitric oxide transport to enhance the assessment of endothelial function. *J Appl Physiol.* 2021;131(1):1-14.
12. Thijssen DHJ, Bruno RM, van Mil ACCM, Holder SM, Fatta F, Greyling A, et al. Expert consensus and evidence-based recommendations for the assessment of flow-mediated dilation in humans. *Eur Heart J.* 2019;40(30):2534-2547.
13. Politi S, Aloisi A, Bartoli V, Guglietta A, Magnifica F. Infrared thermography images acquisition for a technical perspective in screening and diagnostic processes: protocol standardized acquisition. *Cureus.* 2021;13(11):e19931.
14. Wang Q, Zhou Y, Ghassemi P, McBride D, Casamento JP, Pfefer TJ. Infrared thermography for measuring elevated body temperature: clinical accuracy, calibration, and evaluation. *Sensors (Basel).* 2021;22(1):215.
15. Tattersall GJ. Infrared thermography: a non-invasive window into thermal physiology. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2016;202:78-98.
16. Cruz-Segura A, Cruz-Domínguez MP, Jara LJ, Miliar-García Á, Hernández-Soler A, Grajeda-López P, et al. Early detection of vascular obstruction in microvascular flaps using a thermographic camera. *J Reconstr Microsurg.* 2019;35(7):541-548.
17. Pereira N, Hallock GG. Smartphone thermography for lower extremity local flap perforator mapping. *J Reconstr Microsurg.* 2021;37(1):59-66.
18. Verstockt J, Verspeek S, Thiessen F, Tjalma WA, Brochez L, Steenackers G. Skin cancer detection using infrared thermography: measurement setup, procedure and equipment. *Sensors (Basel).* 2022;22(9):3327.
19. Asif A, Poyiatzis C, Raheman FJ, Rojoa DM. The use of infrared thermography (IRT) in burns depth assessment: a diagnostic accuracy meta-analysis. *Eur Burn J.* 2022;3(3):432-446.
20. Leñero-Bardallo JA, Acha B, Serrano C, Pérez-Carrasco JA, Ortiz-Álvarez J, Bernabéu-Wittel J. Thermography as a method for bedside monitoring of infantile hemangiomas. *Cancers (Basel).* 2022;14(21):5392.
21. Maruhashi T, Soga J, Fujimura N, Idei N, Mikami S, Iwamoto Y, et al. Endothelial dysfunction, increased arterial stiffness, and cardiovascular risk prediction in patients with coronary artery disease: FMD-J (flow-mediated dilation Japan) study A. *J Am Heart Assoc.* 2018;7(14):e008588.

22. Maruhashi T, Iwamoto Y, Kajikawa M, Oda N, Kishimoto S, Matsui S, et al. Interrelationships among flow-mediated vasodilation, nitroglycerin-induced vasodilation, baseline brachial artery diameter, hyperemic shear stress, and cardiovascular risk factors. *J Am Heart Assoc.* 2018;7(1):e006797.
23. Heiss C, Rodríguez-Mateos A, Bapir M, Skene SS, Sies H, Kelm M. Flow-mediated dilation reference values for evaluation of endothelial function and cardiovascular health. *Cardiovasc Res.* 2023;119(1):283-293.
24. Mučka S, Miodońska M, Jakubiak GK, Starzak M, Cieślak G, Stanek A. Endothelial function assessment by flow-mediated dilation method: a valuable tool in the evaluation of the cardiovascular system. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(18):11242.
25. Koenen M, Hill MA, Cohen P, Sowers JR. Obesity, adipose tissue and vascular dysfunction. *Circ Res.* 2021;128(7):951-968.
26. Elagizi A, Kachur S, Carbone S, Lavie CJ, Blair SN. A review of obesity, physical activity, and cardiovascular disease. *Curr Obes Rep.* 2020;9(4):571-581.
27. Katta N, Loethen T, Lavie CJ, Alpert MA. Obesity and coronary heart disease: epidemiology, pathology, and coronary artery imaging. *Curr Probl Cardiol.* 2021;6(3):100655.
28. Maruhashi T, Kajikawa M, Kishimoto S, Hashimoto H, Takaeko Y, Yamaji T, et al. Diagnostic criteria of flow-mediated vasodilation for normal endothelial function and nitroglycerin-induced vasodilation for normal vascular smooth muscle function of the brachial artery. *J Am Heart Assoc.* 2020;9(2):e013915.
29. Thijssen DHJ, Bruno RM, Van Mil ACCM, Holder SM, Fata F, Greyling A, et al. Expert consensus and evidence-based recommendations for the assessment of flow-mediated dilation in humans. *Eur Heart J.* 2019;40(30):2534-2547.
30. Matsui S, Kajikawa M, Maruhashi T, Hashimoto H, Kihara Y, Chayama K, et al. New assessment of endothelial function measured by short time flow-mediated vasodilation: comparison with conventional flow-mediated vasodilation measurement. *Int J Cardiol.* 2018;265:24-29.
31. Rajtůková V, Živčák J, Michalíková M, Tóth T. Methodology of thermographic atlas of the human body. 2012 42(4):32-35.
32. De Cesaris R, Grimaldi A, Balestrazzi M, Ranieri G, Chiarappa R, Avantiaggiato F. Changes in blood pressure and thermographic values resulting from use of a beta-blocker plus diuretic and of an alpha-beta-blocker plus diuretic. *Drugs Exp Clin Res.* 1985;11(10):725-729.
33. Hoffer OA, Ben-David MA, Katz E, Zoltnik Kirshenabum D, Alezra D, Zimmer Y, et al. Thermal imaging as a tool for evaluating tumor treatment efficacy. *J Biomed Opt.* 2018;23(05):1.
34. Rakhunde MB, Gotarkar S, Choudhari SG. Thermography as a breast cancer screening technique: a review article. *Cureus.* 2022;14(11):e31251.
35. Pereira-Damião C, González-Montero RJ, Hernández-Morán MB, de Oliveira Marçal E Silva Carvalho ME, Carvalho S, De Farias GC, et al. Application of thermography in the diagnostic investigation of thyroid nodules. *Endocr J.* 2021;68(5):573-581.
36. Akata T, Kanna T, Izumi K, Kodama K, Takahashi S. Changes in body temperature following deflation of limb pneumatic tourniquet. *J Clin Anesth.* 1998;10(1):17-22.
37. Müller-Seubert W, Herold H, Graf S, Ludolph I, Horch RE. Evaluation of the influence of short tourniquet ischemia on tissue oxygen saturation and skin temperature using two portable imaging modalities. *J Clin Med.* 2022;11(17):5240.
38. Poredos P, Poredos AV, Gregoric I. Endothelial dysfunction and its clinical implications. *Angiology.* 2021;72(7):604-615.
39. Kaminsky LA, German C, Imboden M, Ozemek C, Peterman JE, Brubaker PH. The importance of healthy lifestyle behaviors in the prevention of cardiovascular disease. *Prog Cardiovasc Dis.* 2022;70:8-15.
40. Kang SL, Manojlovich L, Mroczek D, Benson L. Infrared thermography as an adjunctive tool for detection of femoral arterial thrombosis after cardiac catheterization: a prospective, pilot study. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2022;99(4):1149-1156.
41. Aboushady MA, Talaat W, Hamdoon Z, M Elshazly T, Ragy N, Bourauel C, Talaat S. Thermography as a non-ionizing quantitative tool for diagnosing periapical inflammatory lesions. *BMC Oral Health.* 2021;13:21(1):260.