

Artículo original

COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE OCULAR MEDIANTE TERMOGRAFÍA INFRARROJA EN UNA POBLACIÓN ADULTA SANA

Sandra Belalcázar, MD ^{1,2}, María Camila Plata, MD ^{1,2}, Daniela Roca Contreras, MD ^{1,2}, Diana Alejandra Cortés, MD ^{1,2}, Shirley Rosenstiehl, MD ^{1,2}, Ana Carolina Rodríguez, MSc ³, Oscar Julián Perdomo, PhD (c) ², Claudia Rosa Carvajal, Ft ¹, Francisco J. Rodríguez, MD ^{1,2}

1. Fundación Oftalmológica Nacional, Bogotá, Colombia.

2. Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad del Rosario, Bogotá- Colombia

3. Universidad Distrital Francisco José de Caldas – Grupo de investigación LASER

RESUMEN

Objetivo: Describir el comportamiento de la Temperatura de la Superficie Ocular (TSO) mediante imágenes de termografía infrarroja en una población adulta, sana. **Metodología:** Estudio observacional descriptivo de corte transversal. Se eligieron sujetos mayores de 18 años, considerados visual y sistémicamente sanos, luego de la realización de historia clínica y valoración oftalmológica completa. La temperatura, humedad y luminosidad ambientales fueron monitoreadas. Las imágenes fueron tomadas con la cámara OPTRIS PI-450. Se analizó la temperatura en 7 puntos de la superficie ocular. El análisis de los datos se llevó a cabo a través del programa IBM SPSS Statistics 21. **Resultados:** Se incluyeron 43 ojos de 22 sujetos que cumplían los criterios de inclusión; el 74% eran mujeres. La mediana de la edad de la muestra estudiada fue de 31 años (Q1 28 – Q3 36 años). La mediana de la temperatura corporal fue de 36.40 °C (Q1 36,30°C – Q3 36.50°C). La córnea central mostró una mediana de temperatura de 33.78 °C (Q1 33,17°C – Q3 34.68°C), el limbo superior presentó una mediana de temperatura de 34,22°C (Q1 33,48°C – Q3 34.66°C), en el limbo inferior se encontró una mediana de temperatura de 33.88°C (Q1 33,24 °C – Q3 34.92°C), el limbo nasal tuvo una mediana de temperatura de 34.42° C (Q1 33,90°C – Q3 35.18°C), el limbo temporal presentó una mediana de temperatura de 33.90 °C (Q1 33,54°C – Q3 35.53°C), la conjuntiva nasal presentó una mediana de temperatura de 35.10 ° C (Q1 34.54–Q3 35.53), la conjuntiva temporal mostró una mediana de temperatura de 34.50 ° C (Q1 33.66–Q3 35.22). **Conclusión:** La termografía infrarroja puede ser un método reproducible para la medición de la TSO y representaría una herramienta diagnóstica no invasiva en

Recibido: 19 de agosto de 2019

Aceptado: 30 de noviembre de 2019

Correspondencia: sbelalcazarrey@gmail.com

patología ocular. La temperatura de la superficie ocular es menor en el centro de la córnea al compararla con los puntos conjuntivales nasal y temporal. La temperatura de la superficie ocular total es 2 grados menor que la temperatura corporal. Estudios analíticos comparativos son requeridos para establecer la utilidad de la termografía infrarroja como herramienta diagnóstica o de tamizaje en patologías oculares.

Palabras clave: Termografía; oftalmología; temperatura; temperatura corporal; fenómenos fisiológicos oculares.

DOI: 10.26852/01234250.47

TEMPERATURE OF OCULAR SURFACE THROUGH INFRARED THERMOGRAPHY IMAGING IN A HEALTHY ADULT POPULATION.

ABSTRACT

Purpose: To describe the temperature of ocular surface by infrared thermography imaging in a healthy adult population. **Methods:** A cross-sectional study was carried out. Subjects older than 18 years considered visually and systemically healthy were chosen, after completing medical record and ophthalmological evaluation. The ambient temperature, humidity and luminosity were monitorized. The images were taken with the OPTRIS PI-450 camera. The temperature was analyzed at 7 points of the ocular surface. Data analysis was performed through the IBM SPSS Statistics 21 program. **Results:** 43 eyes were included (22 subjects) that met the inclusion criteria, 74% were women. The median age of the subjects studied was 31 years (Q1 28,00 – Q3 36.00 years). Median body temperature was 36.40 °C (Q1 36,30°C – Q3 36.50°C). The central cornea had a median temperature of 33.78 °C (Q1 33,17°C – Q3 34.68 °C), the superior limbus had a median temperature of 34,22°C (Q1 33,48°C – Q3 34.66°C), the inferior limbus had a median temperature of 33.88°C (Q1 33,24 °C – Q3 34.92°C), the nasal limbus had a median temperature of 34.42° C (Q1 33,90°C – Q3 35.18°C), the temporal limbus had a median temperature of 33.90 °C (Q1 33,54 °C – Q3 35.53 °C), the nasal conjunctiva had a median temperature of 35.10 °C (Q1 34,54 °C– Q3 35.53°C), the temporal conjunctiva had a median temperature of 34,50 °C (Q1 33,66 °C – Q3 35.22°C). **Conclusions:** Infrared Thermography Imaging can be a reproducible measurement method of the Ocular Surface Temperature, and it could get to be a non invasive diagnostic tool for ocular pathology. This study showed that OST at the center of the cornea is lower compared to nasal and temporal conjunctival areas. OST is 2 °C lower than the body temperature. Further analytic comparative studies are required to establish the usefulness of the IT as a diagnostic or screening tool in ocular pathology.

Keywords: Thermography; Ophthalmology; Temperature; Body Temperature; Ocular Physiological Phenomena.

INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad la temperatura corporal se ha considerado uno de los mejores indicadores de bienestar y salud (1). Cada estructura del cuerpo tiene su propio rango de temperatura normal basado en la localización, vascularización y actividad metabólica. Sin embargo, ciertas condiciones como la inflamación local o generalizada llevan a un aumento de la irrigación sanguínea y de la actividad metabólica, causando variaciones de la temperatura local (2).

La termografía infrarroja (IRT) es un método de medición de temperatura no invasivo, que se utiliza para capturar la distribución de temperatura en tiempo real sobre las superficies de los objetos. Con los avances en el campo de la tecnología de imágenes y sensores, se han encontrado amplias aplicaciones de las imágenes térmicas en el área de la salud (1). Estas ofrecen la ventaja de obtener una medición bidimensional de la temperatura en tiempo real. La evolución de esta tecnología ha permitido que la toma de una sola imagen pueda contener miles de puntos de temperatura, registrados en una fracción de segundo (2).

Las imágenes térmicas se han empleado para estudiar un gran número de enfermedades donde la temperatura de la piel refleja la presencia de inflamación en los tejidos subyacentes, o donde el flujo sanguíneo aumenta o disminuye secundario a una anormalidad clínica. Las imágenes térmicas pueden aplicarse en la medicina como pruebas diagnósticas, de tamizaje o como medidas de desenlace en ensayos clínicos. Esta tecnología ha sido empleada en el diagnóstico de patologías como cáncer de mama, neuropatía diabética y enfermedades inflamatorias como la artritis. Es un método seguro y no utiliza ninguna radiación (2).

No obstante, pocas aplicaciones han sido realizadas hasta el momento en el campo de la oftalmología (3,4). En la literatura se encuentran algunos estudios que han intentado aplicar esta técnica de obtención de imágenes para la evaluación de algunas entidades oftalmológicas. El ojo seco ha sido una de las entidades más estudiadas con este método (5,6). Versura y colaboradores, compararon el mapa de termografía ocular de pacientes con ojo seco evaporativo vs ojos

sanos, evidenciándose que la temperatura de la córnea después de la apertura ocular fue significativamente menor en pacientes con ojo seco evaporativo que en los controles (5). La temperatura corneal también ha sido estudiada en otras situaciones como por ejemplo en ojos con queratocono llevados a crosslinking (7) y en pacientes con trasplante corneal (8). También se ha propuesto esta tecnología como medio de tamizaje de patologías como el glaucoma (9,10). Fabiani y cols. evidenciaron variaciones en la temperatura de la superficie ocular directamente correlacionadas con variaciones en la Presión Intraocular (PIO), proponiéndose como hipótesis que la estimulación por variaciones térmicas sobre las terminaciones nerviosas oculares, podrían alterar la dinámica del flujo de humor acuoso, llevando a alteraciones en la PIO (10). Sniegowski y cols, por su parte, quisieron estudiar la diferencia en la TSO entre pacientes facos y pseudofacos. Sus resultados mostraron una tendencia a la disminución en la TSO en ojos facos, mientras que en ojos pseudofacos se presentaba un aumento en la TSO con la edad (11). También se encuentran estudios en la literatura en los que se propone la termografía infrarroja como método diagnóstico y pronóstico para la orbitopatía distiroidea (12,13), entre otras patologías. Sin embargo, consideramos que para conocer la utilidad clínica de este tipo de imágenes en el campo de la oftalmología, es importante evaluar inicialmente el comportamiento y distribución de la TSO en ojos sanos.

El propósito de este estudio es describir el comportamiento de la temperatura de la superficie ocular mediante imágenes de termografía infrarroja en una población adulta, sana.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio observacional descriptivo de corte transversal. Se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia. Se invitó a participar a familiares y funcionarios de un instituto oftalmológico de Bogotá, y se seleccionaron todos los ojos de sujetos que aceptaran participar de forma voluntaria en el estudio y que cumplieran los criterios de inclusión y ninguno de exclusión.

Los criterios de inclusión fueron sujetos mayores de 18 años al momento de la firma de consentimiento informado, considerados sanos oculares: agudeza visual mejor corregida igual o mejor a 20/30, ninguna alteración de la superficie ocular anterior (schirmer menor de 10 mm en 5 min, no tinción con fluoresceína, no pterigion, no pingüecula), segmento anterior sano, ángulos abiertos, segmento posterior y retina sin alteraciones, presión intraocular dentro de rangos normales (10-21 mmHg). Se excluyeron sujetos con antecedente de enfermedad sistémica como diabetes, cáncer, enfermedad cardiovascular o enfermedades autoinmunes; defectos refractivos mayores de -3.00 Dioptrías (D) o mayores de +3.00 D; antecedente de cirugía intraocular, uso crónico de medicamentos tópicos oculares. Tiempo de ruptura lagrimal menor de 10 segundos. Puntuación en la prueba del índice de enfermedad de superficie ocular (Test de OSDI, Ocular Surface Disease Index) mayor a 13.

Se realizó un examen oftalmológico completo a todos los sujetos, evaluando el estado de párpados, conjuntiva, córnea, tiempo de ruptura lagrimal, cámara anterior, cristalino, polo posterior, presión intraocular (PIO) y autorrefracción, para determinar si el sujeto podía ser incluido al estudio. Se valoró el diagnóstico de ojo seco mediante el Test de OSDI.

La temperatura corporal fue medida en todos los sujetos previo a la toma de las imágenes térmicas, con un termómetro digital infrarrojo sin contacto YI-100D, serie YS-01818.

Las imágenes térmicas fueron tomadas en un único consultorio a todos los sujetos, en el que la temperatura y humedad ambientales fueron constantemente monitoreadas y mantenidas en un promedio de 21°C +/- 2 y 55 % +/-2, respectivamente. La luminosidad ambiental en dicho consultorio se mantuvo en 300 lux. Las imágenes térmicas fueron tomadas a todos los sujetos entre las 8:00 y 10:00 am.

Las imágenes de termografía infrarroja fueron tomadas con la cámara térmica OPTRIS PI-450, con sensibilidad térmica (NETD) de 40 mK, con detector de tipo FPA no refrigerado (17 x 17 μm), resolución óptica de 382 x 288 pixeles, rango espectral de 7.5-13 μm , rango de temperatura de -20 °C hasta 900 °C, y

frecuencia de la imagen de 80 Hz/seg. La técnica para la obtención de las imágenes es la termografía digital, la cual permite captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético. La cámara térmica utilizada en este estudio, OPTRIS PI-450, 2017b, utiliza una longitud de onda que oscila entre 1 μm y 20 μm dentro del espectro, para la medición de "radiación térmica". Dependiendo de la temperatura, cada objeto emite cierta cantidad de radiación infrarroja. Un cambio en la temperatura del objeto, se acompaña de un cambio en la intensidad de la radiación. La intensidad de la radiación emitida depende del material.

Dentro de la caracterización propia del instrumento de medición, las especificaciones del lente determinan decisivamente la trayectoria óptica del instrumento infrarrojo, que también depende de la relación entre la distancia y el tamaño del punto (eje central del ojo). El filtro espectral selecciona el rango de longitud de onda, que es relevante para la medición de temperatura. El detector en cooperación con la electrónica de procesamiento transforma la radiación infrarroja emitida en señales eléctricas. En nuestro estudio, la cámara se caracterizó con una lente de 1000 mm.

Por otro lado, la intensidad de la radiación infrarroja emitida por cada cuerpo depende de la temperatura y de las características de radiación del material de superficie del objeto de medición. La emisividad (ϵ -Épsilon) se usa como un factor constante de material para describir la capacidad del cuerpo para emitir energía infrarroja. Este rango puede oscilar entre 0 y 1. Un "cuerpo negro" es la fuente de radiación ideal con una emisividad de 1.0 mientras que un espejo muestra una emisividad de 0.1. En nuestra investigación se utilizó la emisividad de la piel humana, la cual es de 0.98, con una transmisividad de casi 0.

La cámara fue ubicada y fijada a 10 cm del ojo a examinar, mientras el sujeto apoyaba el mentón y la frente para disminuir los movimientos de la cabeza.

Se realizó la calibración de la cámara y pruebas preliminares de captura a través del software OPTRIS PI-Connect. Las imágenes fueron tomadas visualizando el eje central del ojo. La toma de imágenes fue llevada a cabo por parte de una investigadora entrenada en el adecuado manejo de la cámara térmica.

El procesamiento y análisis de las imágenes se llevó a cabo mediante el software PYTHON. Se analizó la temperatura de cada imagen en 7 puntos de la superficie ocular: Córnea central, Limbo Superior, Limbo Inferior, Limbo Nasal, Limbo Temporal, Conjuntiva Nasal y Conjuntiva Temporal.

Los datos se registraron en una base de datos electrónica diseñada en Excel, por parte de dos investigadores designados para tal fin, registrándose los hallazgos del examen oftalmológico, la temperatura, humedad y luminosidad ambiental en el momento de la toma, la temperatura corporal del sujeto, y la temperatura arrojada por el software al analizar cada punto de interés.

El tiempo para la toma de las imágenes, análisis de las mismas y recolección de datos fue desde octubre de 2018 hasta enero de 2019. Para el análisis estadístico se exploró la normalidad de las variables cuantitativas mediante el test estadístico de Shapiro Wilk. Se realizó un análisis univariado con distribución de frecuencias reportada en porcentaje para las variables categóricas. Las variables cuantitativas continuas con distribución normal fueron descritas como media y desviación estándar; las variables cuantitativas con distribución no normal fueron descritas como mediana y rango intercuartílico. El análisis estadístico se realizó en el programa IBM SPSS Statistics 21.

La ejecución de este proyecto de investigación tiene en consideración las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud que dicta: el Código de Nüremberg (1947), la Declaración de Helsinki (1964), el Informe Belmont (1979) y la Resolución 8430 de 1993.

Este proyecto fue sometido y aprobado por el comité de ética en investigación institucional. Antes de realizar cualquier procedimiento del estudio se obtuvo el consentimiento informado por escrito del sujeto de investigación (aprobado por el comité de ética institucional)

Este estudio se rige bajo las normas de reporte de estudios observacionales STROBE.

RESULTADOS

Fueron incluidos cuarenta y tres (43) ojos de veintidós (22) sujetos que cumplieron los criterios de inclusión; 74% eran mujeres. La mediana de edad de la muestra estudiada fue de 31 años (Q1 28 – Q3 36 años). La mediana de la temperatura de la superficie ocular fue de 34.36 °C para el ojo derecho (Q1 33,80 °C – Q3 34.86 °C), y de 34.07 °C para el ojo izquierdo (Q1 33,75 °C – Q3 34.99 °C). La tabla 1 resume las características generales de la muestra estudiada.

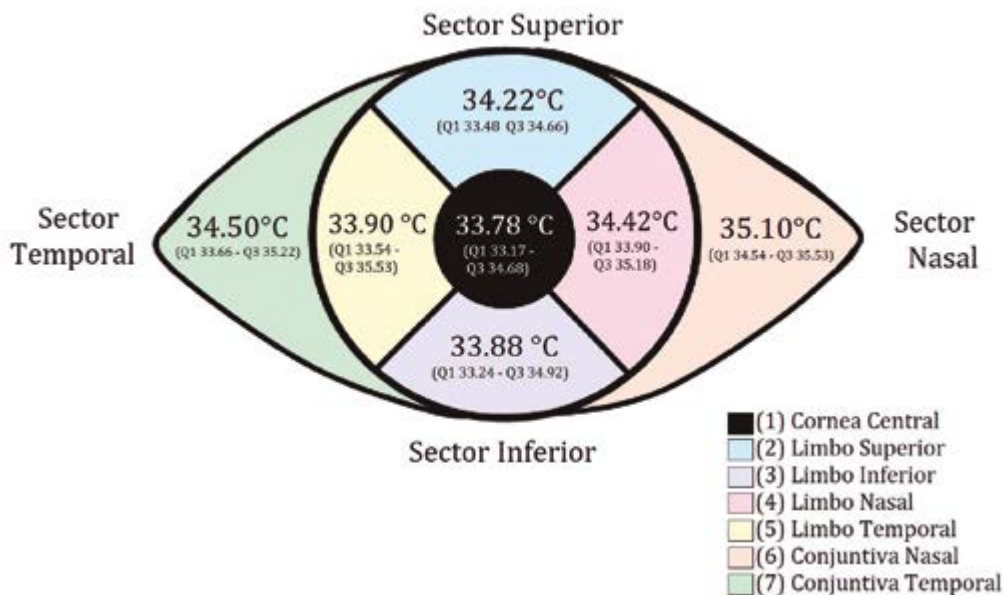
Al analizar los puntos de interés, el punto central de la córnea presentó una mediana de temperatura de 33.78 °C (Q1 33,17 °C – Q3 34.68 °C), el limbo superior tuvo una mediana de 34,22°C (Q1 33,48 °C – Q3 34.66 °C), el limbo inferior tuvo una mediana de 33.88°C (Q1 33,24 °C – Q3 34.92°C), el limbo nasal presentó una mediana de temperatura de 34.42° C (Q1 33,90 °C – Q3 35.18 °C), el limbo temporal presentó una mediana de temperatura de 33.90 °C (Q1 33,54 °C – Q3 35.53 °C). La conjuntiva bulbar nasal presentó una mediana de temperatura de 35.10 °C (Q1 34,54 °C – Q3 35.53 °C), y la conjuntiva bulbar temporal mostró una mediana

TABLA 1. DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS GENERALES

CARACTERÍSTICAS GENERALES (43 OJOS-22 SUJETOS)				
	%	MEDIANA	Q1	Q3
Edad (años)		31	28	36
Sexo (F/M)	74/26			
T. Corp. (°C)		36,4	36,3	35,5
T. OD (°C)		34,36	33,8	34,86
T. OI (°C)		34,07	33,75	34,99
PIO (mmHg)		12	11	13

F: Femenino, M: Masculino, T. Corp: Temperatura corporal, T. OD: Temperatura del Ojo Derecho, T. OI: Temperatura del Ojo Izquierdo, PIO: Presión Intraocular

FIGURA 1. Mediana de temperatura por puntos de la superficie ocular



de temperatura de 34,50 °C (Q1 33,66 °C – Q3 35,22 °C) (Fig. 1).

La mediana de la temperatura de la superficie ocular total en todos los ojos fue de 34,17°C (Q1 33,80 °C – Q3 34,98°C) y la temperatura corporal 36,40 °C (Q1 36,30 °C – Q3 36,50 °C) (Fig. 3).

DISCUSIÓN

Este estudio pretende caracterizar el comportamiento de la temperatura de la superficie ocular en población sana. Describir dicho comportamiento en ojos sanos resulta indispensable para el posterior conocimiento de las variaciones en la temperatura de la superficie ocular en situaciones patológicas.

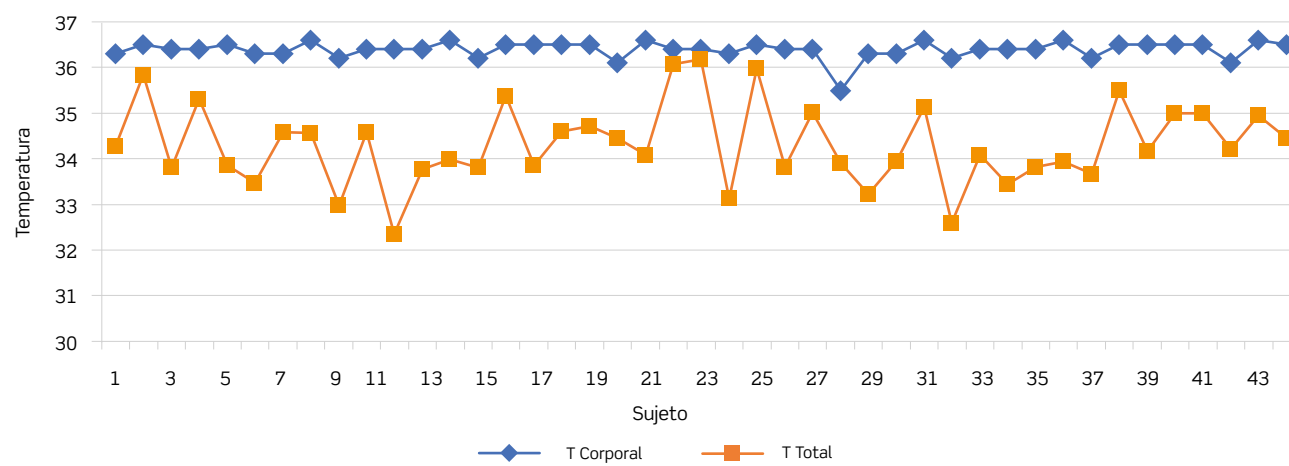
Estudios anteriores han sugerido que la temperatura corporal, temperatura ambiental, y el parpadeo afectan la temperatura de la córnea (14-17). Por esta razón se registró la temperatura corporal en todos los sujetos del estudio y se controló la temperatura ambiental, la humedad y la luminosidad al momento de la toma de la imagen.

Los resultados mostraron rangos de temperatura más baja en el punto central de la córnea y temperatura más alta en los extremos de la conjuntiva nasal y temporal. Este resultado puede explicarse debido a que la córnea es avascular y el centro de ella es más propenso a la evaporación lagrimal, mientras que las áreas escleroconjuntivales tienen más irrigación y están menos influenciadas por la evaporación lagrimal. Este resultado es similar a lo encontrado en otros estudios, que han empleado otras técnicas de valoración de la temperatura ocular y han tenido en cuenta otras variables de control del medio y del sujeto de estudio (13,18).

La temperatura total de la superficie ocular fue en promedio 2 grados menor que la temperatura corporal, esto puede ser debido a la menor vascularización de la superficie ocular y es un resultado consistente con otras investigaciones similares (18).

Otros estudios han asociado la edad con temperatura de la superficie ocular, reportando una disminución de la temperatura a mayor edad (19). En este estudio no consideramos esta variable para análisis debido a que fue realizada en población adulta joven sin gran variabilidad de la misma.

FIGURA 2. Comparación de la TSO total y la Temperatura Corporal.



T Corporal: Temperatura Corporal, T Total: Temperatura Superficie Ocular Total

En este estudio tratamos de controlar la mayoría de variables para tener un resultado más preciso y veraz del valor normal de la temperatura ocular; sin embargo, una de las limitaciones fue la falta de control de variables como el parpadeo, tamaño pupilar, características de los vasos de la superficie ocular entre otros, que puedan ser causantes de la variabilidad de temperatura de la superficie ocular.

Factores externos y fisiológicos influyen en la temperatura de la superficie ocular. La medición de la TSO mediante termografía infrarroja puede ser reproducible y representaría una herramienta diagnóstica no invasiva en patología ocular. Las aplicaciones sugeridas en investigación para este dispositivo incluyen la inflamación ocular, película lagrimal, cirugía fotorrefractiva y flujo sanguíneo ocular (14, 20-25).

De encontrarse utilidad clínica para esta herramienta en el campo de la oftalmología, las imágenes de termografía infrarroja facilitarían el acto clínico, permitiendo un diagnóstico precoz de algunas patologías con un método no invasivo, rápido y seguro para el paciente.

Estos resultados son un punto de partida para otros estudios analíticos en donde se realicen asociaciones con

patología ocular, incluso, podría ser una herramienta de tamizaje o seguimiento de patologías oculares como alteración de la superficie ocular y glaucoma, lo que tendría un gran impacto a nivel de salud pública en la población colombiana.

CONCLUSIÓN

La termografía infrarroja puede ser un método reproducible para la medición de la TSO y representaría una herramienta diagnóstica no invasiva en patología ocular. La temperatura de la superficie ocular es menor en el centro de la córnea al compararla con los puntos periféricos conjuntivales nasal y temporal. La temperatura de la superficie ocular total es 2 grados menor que la temperatura corporal. Estudios analíticos comparativos son requeridos para establecer la utilidad de la termografía infrarroja como herramienta diagnóstica o de tamizaje en patologías oculares.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

FINANCIACIÓN

Para el desarrollo de este proyecto se contó con el apoyo del fondo de investigación de la Fundación Oftalmológica Nacional – FUNDONAL.

REFERENCIAS

1. Menaka M, Manoharan U, Sharath D, Bhattacharjee P, Venkatraman B. Application of Thermal Imaging in Ophthalmology. 2017;10-2. <https://doi.org/10.21611/qirt.2017.012>
2. Ring EFJ, Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol Meas*. 2012;33(3):32-46. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/3/R33>
3. Acharya R, Yun WL, Ng EY, Yu W, Suri JS. Imaging systems of human eye: a review. *Journal of medical systems*. 32(4), 2008:301-315. <https://doi.org/10.1007/s10916-008-9135-y>
4. Purslow C, Wolffsohn JS. Ocular Surface Temperature. *Eye Contact Lens Sci Clin Pract* 2005;31(3):117-23. <https://doi.org/10.1097/01.ICL.0000141921.80061.17>
5. Versura P, Giannaccare G, Fresina M, Campos EC. Subjective Discomfort Symptoms Are Related to Low Corneal Temperature in Patients with Evaporative Dry Eye. *Cornea*. 2015;34(9):1079-85. <https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000000512>
6. Azharuddin M, Bera SK, Datta H, Dasgupta AK. Thermal fluctuation based study of aqueous deficient dry eyes by non-invasive thermal imaging. *Exp Eye Res*. 2014; 120:97-102. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2014.01.007>
7. Mencucci R, Mazzotta C, Corvi A, Terracciano L, Rechichi M, Matteoli S. In vivo thermographic analysis of the corneal surface in keratoconic patients undergoing riboflavin-UV-A accelerated cross-linking. *Cornea*. 2015;34(3):323-7. <https://doi.org/10.1097/ICO.0000000000000324>
8. Sniegowski MC, Erlanger M, Olson J. Thermal imaging of corneal transplant rejection. *Int Ophthalmol*. 2017;1-5 <https://doi.org/10.1007/s10792-017-0731-z>
9. Nammalwar P, Narasimhan V, Kannan T. Non-invasive Glaucoma Screening Using Ocular Thermal Image Classification. 2017;25(3):227-36. <https://doi.org/10.20532/cit.2017.1003412>
10. Fabiani C, Li Voti R, Rusciano D, Mutolo MG, Pescosolido N. Relationship between Corneal Temperature and Intraocular Pressure in Healthy Individuals: A Clinical Thermographic Analysis. *J Ophthalmol*. 2016;2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3076031>
11. Shih SR, Li HY, Hsiao YL, Chang TC. The application of temperature measurement of the eyes by digital infrared thermal imaging as a prognostic factor of methylprednisolone pulse therapy for Graves' ophthalmopathy. *Acta Ophthalmol*. 2010;88(5):154-9. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2010.01941.x>
12. Di Maria C, Allen J, Dickinson J, Neoh C, Perros P. Novel Thermal Imaging Analysis Technique for Detecting Inflammation in Thyroid Eye Disease. *J Clin Endocrinol Metab* 2014;99(12):4600-6. <https://doi.org/10.1210/jc.2014-1957>
13. Sniegowski M, Erlanger M, Velez-Montoya R, Olson JL. Difference in ocular surface temperature by infrared thermography in phakic and pseudophakic patients. *Clin Ophthalmol*. 2015;9:461-6. <https://doi.org/10.2147/OPHT.S69670>
14. Auker CR, Parver LM, T. Doyle, and D. O. Carpenter, "Choroidal blood flow. I. Ocular tissue temperature as a measure of flow," *Archives of Ophthalmology*, vol. 100, no.8, pp. 1323-1326, 1982. <https://doi.org/10.1001/archoph.1982.01030040301020>

15. Mapstone R: Determinants of corneal temperature. *Br J Ophthalmol* 1968;52:729-741. <https://doi.org/10.1136/bjo.52.10.729>
16. Rysä P, Sarvaranta J: Corneal temperature in man and rabbit. Observations made using an infrared camera and a cold chamber. *Acta Ophthalmol* 1974;52:810-816. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.1974.tb01117.x>
17. Sodi A, Matteoli S, Giacomelli G, Finocchio L, Corvi A, Menchini U. Ocular Surface Temperature in Age-Related Macular Degeneration. *Journal of Ophthalmology* 2014-281010 <https://doi.org/10.1155/2014/281010>
18. Schwartz B: Environmental temperature and the ocular temperature gradient. *Arch Ophthalmol* 1965;74:237-243. <https://doi.org/10.1001/archophth.1965.00970040239022>
19. Freeman RD, Fatt I: Environmental influences on ocular temperature. *Invest Ophthalmol* 1973;12:596-602.
20. Aliò J, Padron M: Influence of age on the temperature of the anterior segment of the eye Measurements by infrared thermometry. *Ophthalmic Res* 1982;14:153-159. <https://doi.org/10.1159/000265187>
21. Huber A: Temperaturmessung am Auge. *Ophthalmologica* 1960;139:351-357. <https://doi.org/10.1159/000303721>
22. Mapstone R: Ocular thermography. *Br J Ophthalmol* 1970;54:751-754. <https://doi.org/10.1136/bjo.54.11.751>
23. Efron N, Brennan NA, Hore J, Rieper K: Temperature of the hyperemic bulbar conjunctiva. *Curr Eye Res* 1988;7:615-618. <https://doi.org/10.3109/02713688809031818>
24. Fujishima H, Toda I, Yamada M, Sato N, Tsubota K: Corneal temperature in patients with dry eye evaluated by infrared radiation thermometry. *Br J Ophthalmol* 1996;80:29-32. <https://doi.org/10.1136/bjo.80.1.29>
25. Betney S, Morgan PB, Doyle SJ, Efron N: Corneal temperature changes during photorefractive keratectomy. *Cornea* 1997;16:158-161. <https://doi.org/10.1097/00003226-199703000-00007>