



Principios físicos y avances recientes de la termografía infrarroja en odontología

Physical principles and recent advances of infrared thermography in dentistry

Hans Kepler Becerra López¹ <https://orcid.org/0000-0002-8376-0659>

Midian Clara Castillo Pedraza¹ <https://orcid.org/0000-0003-3170-3959>

Jorge Homero Wilches Visbal^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-3649-5079>

¹Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad del Magdalena. Santa Marta, Colombia.

*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: jhwilchev@gmail.com

RESUMEN

Introducción: El calor resultante de los procesos metabólicos celulares puede medirse mediante termografía infrarroja, especialmente en células con alto consumo de energía como las musculoesqueléticas. En odontología, los cambios térmicos pueden indicar anomalías o trastornos musculares. Se realizó una búsqueda de información científica en las bases de datos PubMed, SciELO, Redalyc, entre otras, de 2015 a 2020, en inglés y español.

Objetivo: Describir los principios físicos y los avances más recientes de la termografía infrarroja en odontología, relacionados con trastornos temporomandibulares, el dolor pediátrico, aplicaciones en implantología y endodoncia.

Desarrollo: Se encontraron varias aplicaciones de la termografía en odontología: i) trastornos temporomandibulares, ii) en el diagnóstico del lupus eritematoso, iii) en implantología, iv) endodoncia y v) dolor en odontopediatría. Sobre i) y ii) en la literatura consultada se obtuvieron resultados que respaldaban la eficacia de la termografía infrarroja como un examen diagnóstico complementario, sobre todo en mujeres. Respecto a iii) y iv) la termografía infrarroja mostró ser efectiva como método para evaluar los cambios térmicos en procedimientos como la preparación de la zona del implante y en la

<http://scielo.sld.cu>

<http://www.revmedmilitar.sld.cu>



técnica de condensación vertical. Finalmente, en v), la TIR parece útil para la detección el nivel de dolor en niños.

Conclusión: La termografía infrarroja es una herramienta diagnóstica con potencial de detección de anomalías que inducen cambios térmicos, además de ser un excelente método para detectar las altas temperaturas en diversos procedimientos odontológicos, que sin el debido cuidado puede llevar al fracaso del tratamiento

Palabras clave: trastornos temporomandibulares; implantes; lupus eritematoso; termografía; síndrome miofascial.

ABSTRACT

Introduction: The heat resulting from cellular metabolic processes can be measured by infrared thermography, especially in cells with high energy consumption such as musculoskeletal cells. In dentistry, thermal changes can indicate muscle abnormalities or disorders. A search for scientific information was carried out in databases PubMed, SciELO, Redalyc, among others, from 2015 to 2020, in English and Spanish.

Objective: To describe the physical principles and the most recent advances of infrared thermography in dentistry, related to temporomandibular disorders; pediatric pain; applications in implantology and endodontics.

Development: Several applications of thermography were found in dentistry: i) temporomandibular disorders, ii) in the diagnosis of lupus erythematosus, iii) in implantology, iv) endodontics and v) pain in pediatric dentistry. Regarding i) and ii) in the consulted literature, results were obtained that supported the efficacy of Infrared Thermography as a complementary diagnostic test, especially in women. Regarding iii) and iv) Infrared Thermography proved to be effective as a method to evaluate thermal changes in procedures such as the preparation of the implant area and in the vertical condensation technique. Finally, in v), the Infrared Thermography seems useful for detecting the level of pain in children.



Conclusion: Infrared thermography is a diagnostic tool with the potential to detect anomalies that induce thermal changes, as well as being an excellent method to detect high temperatures in various dental procedures that, without due care, can lead to treatment failure.

Keywords: temporomandibular disorders; implants; lupus erythematosus; thermography; myofascial syndrome.

Recibido: 02/09/2021

Aprobado: 05/10/2021

INTRODUCCIÓN

En 1800 el astrónomo *William Herschel*⁽¹⁾ utilizando un prisma y termómetros observó que la luz solar presentaba una mayor longitud de onda que la luz roja, descubrió así la radiación infrarroja. Sin embargo, fue su hijo *Sir J. Herschel*⁽²⁾ quien logró registrar estas longitudes de onda invisibles en papel y acuñó así el término “termografía”. Este descubrimiento fue precedido por una gran cantidad de estudios en el último siglo, como los del físico y matemático *Max Planck*⁽³⁾ quien demostró la existencia de correlación entre la temperatura de un cuerpo y la intensidad de la radiación infrarroja que emite.

La termografía infrarroja (TIR) es un método de medición pasivo en el cual se utiliza una cámara que registra y muestra, en tiempo real, la distribución bidimensional de la temperatura de un cuerpo. El registro se realiza en función de la radiación infrarroja emitida, sin necesidad de luz visible. Esto es posible debido a que la radiación infrarroja emanada de cualquier cuerpo es directamente proporcional a su temperatura superficial.^(3,4,5,6) El amplio potencial de aplicación de esta técnica se basa en el hecho de que cualquier cuerpo con temperatura mayor que el cero absoluto (-273 °C o 0 K), emite radiación infrarroja.⁽³⁾

En la materia biológica, los procesos metabólicos implican el intercambio de materia y calor de las células con el entorno, dando origen a cambios de temperatura, susceptibles de ser censados



termográficamente y posteriormente analizados.⁽⁷⁾ En medicina, la termografía se introdujo, con el objetivo de diagnosticar diversas enfermedades, tales como inflamación, dermatitis, parálisis facial, entre otras.⁽⁸⁾

Por su éxito en el diagnóstico médico, se sucedieron aplicaciones en otras disciplinas de la salud. En 1968, *Crandell y Hill* fueron los pioneros de la TIR en la odontología, al intentar escanear extraoralmente el absceso periapical de un diente incisivo lateral superior. Aunque no obtuvo el resultado esperado, auguró su futura utilidad en esta área.

Desde entonces la TIR ha sido implementada en la detección de enfermedades, así como para realizar mediciones de dolor u observar el estado intraóseo durante implantes.⁽⁸⁾ Debido a su rápido crecimiento y expansión en odontología,⁽⁹⁾ vale la pena examinar sus aplicaciones más actuales.

Se ejecutó una búsqueda de información científica del 15 de mayo al 15 de junio de 2021, en bases de datos/buscadores como SciELO, Medigraphyc, Redalyc, PubMed y Semantic Scholar para la elaboración de una revisión narrativa. Se emplearon las palabras clave (en español e inglés): termografía infrarroja (*infrared thermography*), odontología (*dentistry*), trastornos (*disorders*), principios físicos (*physics principles*), dolor (*pain*), a través de operadores booleanos AND y OR. Se garantizó que, al menos, el 50 % de las fuentes seleccionadas se hayan publicado en los últimos 5 años (2015 – 2020), excluyendo tipologías no revisadas por pares.

Esta revisión se realiza para describir los principios físicos básicos y los avances recientes de la TIR relacionados con los trastornos temporomandibulares (TTM); el dolor pediátrico y aplicaciones en implantología y endodoncia.

DESARROLLO

Principios físicos y generalidades de la termografía

La TIR, desde su aparición a mediados del siglo XX, se ha extendido a numerosas áreas del conocimiento: desde las ciencias militares hasta la ingeniería y la medicina. Su conveniencia se fundamenta en su abordaje “no-invasivo”, de “no-contacto” e indoloro, por lo que, a distancia, se pueden



evaluar características biológicas (cuyos cambios se reflejen térmicamente), sin necesidad de intervenciones quirúrgicas. A diferencia de técnicas imagenológicas basadas en rayos X o ingesta de radioisótopos, la TIR no induce efectos dañinos colaterales.⁽¹⁰⁾

La TIR permite medir y monitorear, en tiempo real, variaciones térmicas que se suceden en fenómenos como la evaporación, conducción y mudanzas superficiales de la temperatura corporal, debido a que los procesos metabólicos del cuerpo humano se relacionan con el consumo de energía en las células y a que parte de esta energía se desprende en forma de calor. Además, como el sistema musculoesquelético demanda cantidades altas y diferenciales de nutrientes y oxígeno para mantener la homeostasis, el flujo sanguíneo se regula temporalmente dependiendo de si está en reposo o en contracción, de modo que el registro termográfico estará condicionado por la microcirculación global y el efecto que, sobre esta, tenga el sistema nervioso autónomo.⁽¹¹⁾ Algunas de sus limitaciones tienen que ver con la no existencia de un protocolo estándar, la necesidad de formación profesional para interpretar el termograma y las condiciones del entorno (paciente y sala de estudio).⁽⁴⁾

Ley de Stefan-Boltzmann: en 1840, *William y Jhon Herschel* determinaron el ancho de banda de las diferentes franjas del espectro infrarrojo está comprendido entre 0,01 μm y 100 μm de longitud de onda. En 1860, *Kirchoff* demuestra que la capacidad de un cuerpo para emitir y absorber energía térmica es la misma. Posteriormente en 1879, *Stefan* determina que la intensidad de energía irradiada (I) por un cuerpo negro es función de la cuarta potencia de su temperatura absoluta. *Boltzmann*, en 1884, llegó a la misma conclusión. Estos hallazgos se resumen en la conocida ley de Stefan-Boltzmann.^(3,12)

$$I = \sigma T^4, \quad (1)$$

Donde, T es la temperatura del cuerpo (en K), I , la Intensidad de la radiación emitida por el cuerpo (en W/m^2) y σ , la constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$).

La ecuación de *Stefan-Boltzmann* indica que un pequeño aumento en la temperatura se traduce en un gran aumento en la intensidad. También describe las relaciones que permiten que el calor sea transmitido en forma de radiación.

Para un cuerpo real (cuerpo gris), la ley de Stefan-Boltzmann se expresa como:

<http://scielo.sld.cu>

<http://www.revmedmilitar.sld.cu>



$$I = \sigma \varepsilon T^4, \quad (2)$$

Donde la emisividad, ε , indica la proporción de radiación térmica de un cuerpo real respecto al ideal (cuerpo negro).^(3,5)

Ley de Wien: la ley de Wien o ley de desplazamiento, establecida empíricamente por el físico alemán *Wilhelm Wien*, en 1884, establece que, entre la temperatura de un cuerpo y su longitud de onda de máxima emisión de energía existe una relación inversamente proporcional. Esto explica las variaciones de color del rojo al amarillo, a medida que la temperatura de un objeto aumenta. Matemáticamente, viene dada por:

$$\lambda = \frac{2898 \text{ K} \cdot \mu\text{m}}{T}, \quad (3)$$

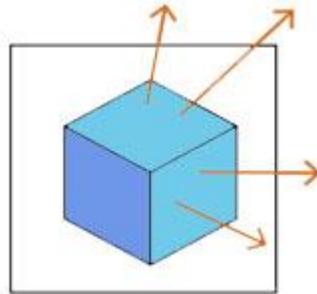
Donde:

λ : longitud de onda de máxima emisión o longitud de onda pico (en μm)

T: temperatura absoluta (en K)

Según la ecuación (Ec. 3), cuanto mayor sea la temperatura de un cuerpo, menor será su longitud de onda pico. Esta ley es utilizada por los diseñadores de sensores térmicos para encajar su sensibilidad al rango de longitudes de onda del cuerpo, de acuerdo con la temperatura a la que se encuentran. Para ejemplificar, en biología, son usados sensores de radiación de onda larga (8 – 12 μm) para cuantificar cambios de temperaturas en animales o seres humanos, cuya temperatura superficial oscila entre los 30 y 33 °C, equivalente a longitudes de onda pico entre 9,56 y 9,47 μm .⁽¹⁰⁾

Emitancia (ε): la emitancia, representada con la letra griega épsilon (ε), hace referencia a la capacidad que posee un material de emitir/propagar radiación infrarroja, como se observa en la figura 1.



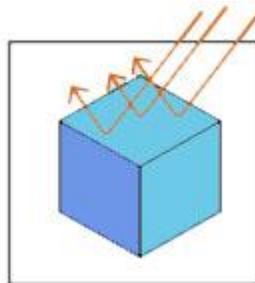
Fuente: elaboración propia inspirada en Auer.⁽³⁾

Fig. 1 - Esquema geométrico del concepto de emisividad.

Los principales factores que afectan la emisividad son el tipo, superficie y temperatura del material, así como la humedad del ambiente. Así, objetos metálicos suelen tener baja emisividad, mientras los orgánicos alta. La emisividad, también incrementa con la temperatura de un cuerpo.⁽³⁾

Su valor está comprendido en $0 < \varepsilon \leq 1$ siendo $\varepsilon = 1$ la emisividad máxima, que corresponde a un cuerpo negro (aquel que absorbe el 100 % de la radiación térmica que recibe; significa que no transmite radiación).^(3,5,12) En los tejidos biológicos, se estima una emisividad entre 0,95 y 0,98, cuyo específico para cada tejido no puede especificarse, dado que todos comparten la misma matriz de composición: agua y materia orgánica. Para la piel se ha propuesto usar 0,98 como valor de emisividad.⁽¹⁰⁾

Reflectancia (ρ): la reflectancia, representada simbólicamente mediante la letra griega rho (ρ), hace referencia a la capacidad de un material de reflejar la radiación infrarroja.⁽³⁾

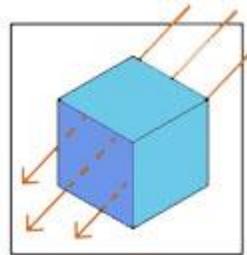


Fuente: elaboración propia inspirada en Auer.⁽³⁾

Fig. 2 - Esquema geométrico del concepto de reflexión.



Transmitancia (τ): la transmitancia, representada por la letra griega τ (τ), se refiere a la medida de la capacidad de un material de transmitir (permitir el paso a través suyo) de la radiación infrarroja⁽³⁾ como se observa en la figura 3.



Fuente: elaboración propia inspirada en Auer.⁽³⁾

Fig. 3 - Esquema geométrico del concepto de transmisión.

La transmisión depende del tipo y espesor del material.

Ley de radiación de Kirchhoff: un termograma o termografía es una imagen bidimensional en escala de colores, que registra la temperatura de cada pixel de un cuerpo en función del grado de la energía térmica emitida, reflejada y absorbida, propia y del ambiente. El aparato donde se visualiza la imagen es conocido como cámara termográfica.⁽¹⁰⁾

Para comprender el proceso de registro visual de la termografía, es imprescindible abordar la ley de radiación de Kirchhoff, descrita a continuación.

Para una determinada longitud de onda, la potencia de energía térmica incidente o absorbida (φ_i) por la cámara termográfica depende de:⁽¹⁰⁾

- 1: La potencia de emisión o cantidad de energía por unidad de tiempo emitida por el cuerpo (φ_e).
- 2: La potencia reflejada o cantidad de energía reflejada por unidad de tiempo por el cuerpo (φ_ρ).
- 3: La potencia transmitida o cantidad de energía por unidad de tiempo que atraviesa al cuerpo (φ_τ).



Entonces:

$$\varphi_i = \varphi_\epsilon + \varphi_\rho + \varphi_\tau. \quad (4)$$

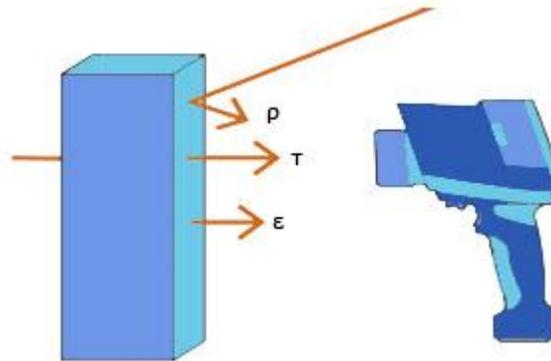
Dividiendo la ecuación (Ec. 4) por la potencia incidente, se tiene que:

$$\frac{\varphi_\epsilon}{\varphi_i} + \frac{\varphi_\rho}{\varphi_i} + \frac{\varphi_\tau}{\varphi_i} = 1, \quad (5)$$

O

$$\epsilon + \rho + \tau = 1, \quad (6)$$

Donde son los coeficientes de emisión, reflexión o transmisión, o simplemente emisividad, reflectancia y transmitancia, las cuales son propiedades del material, como se observa en la figura 4.



Fuente: elaboración propia inspirada en Auer.⁽³⁾

Fig. 4 - Esquema geométrico del concepto de transmisión, emisión y reflexión sobre un mismo cuerpo.

Debido a que en la práctica, muchos materiales no son transparentes a la radiación, la transmitancia puede ser ignorada, de modo que la ecuación (Ec. 6) se transforma en:



$$\varepsilon + \rho = 1, \quad (7)$$

Señala que la radiación que alcanza la cámara termográfica es la emitida o reflejada en el cuerpo. Según la ecuación (Ec. 7), la emitancia y la reflectancia son inversamente proporcionales, por lo que buenos emisores son malos reflectores. Además, según esta ley, un cuerpo negro en equilibrio térmico absorberá toda la radiación que le llega y, por conservación de energía, tendrá que emitir la misma cantidad de energía absorbida. Por tanto, como corolario, la emitancia será igual a la absorbancia (α), es decir:

$$\alpha + \rho = 1, \quad (8)$$

Donde la absorbancia se define como la cantidad de energía por unidad de tiempo que es absorbida por el cuerpo, respecto a la incidente.

Por tanto, a partir de la radiación emitida, se puede obtener la temperatura superficial de cualquier cuerpo y poder ser mostrada en forma de imagen. De este modo, los tonos de color que se observan en la imagen termográfica, son las diferencias entre los coeficientes de emisión y reflexión de cada una de las partes del cuerpo que está siendo inspeccionado.^(3,12)

TIR en el diagnóstico de TTM

TTM es un término colectivo usado para englobar varios tipos de enfermedades que afectan al sistema masticatorio, en especial a la articulación temporomandibular (ATM), se caracterizan por ser crónicas; con ruidos articulares, dolores miofasciales, articulares y limitaciones en el movimiento mandibular.^(11,13,14) Su origen multifactorial, abarca factores anatómicos, oclusales y emocionales.⁽⁴⁾ Aunque hace más de medio siglo, los TTM han sido objeto de investigación, su diagnóstico termográfico es complejo y suelen requerir exámenes clínicos imagenológicos complementarios, como los de resonancia magnética.⁽⁷⁾

Moreira y otros⁽¹⁵⁾ realizaron una revisión sistemática cuyo propósito fue evaluar la eficacia de la TIR cómo método de evaluación de TTM y musculoesqueléticos (TME). De los 2 032 artículos encontrados,



seleccionaron 25, por cumplir con los criterios de inclusión (muestra superior a 20 pacientes, publicados entre 1985 y 2021, realizados en humanos y redactados en inglés, español, portugués o francés). A pesar de discrepancias en los resultados de los artículos seleccionados, encontraron convergencias como: i) en individuos sanos la diferencia térmica entre las zonas homólogas contralaterales fue leve; ii) en estructuras orofaciales, individuos con síntomas unilaterales presentaron diferencias térmicas mayores o iguales a 0,4 °C. Concluyeron que, si bien la precisión de la TIR para el diagnóstico de TTM y TME es de baja a moderada, consideran que su aporte al diagnóstico de ambos trastornos podría ser significativo si se usa como herramienta de apoyo.

En otra revisión sistemática, *Pita de Melo* y otros⁽⁴⁾ examinaron la efectividad de la TIR en el diagnóstico de TTM. Para ello, dos revisores independientes hicieron una búsqueda en 8 bases de datos, hasta mayo de 2018, sin restricción en el idioma y evaluando la calidad del resumen de los artículos. La metodología se ciñó a la herramienta QUADAS (del inglés *Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies*)-2 que es una de las herramientas para evaluar estudios de precisión diagnóstica. De 77 estudios identificados, 9 cumplieron con los criterios de elegibilidad (estudios de precisión, ejecutados en humanos, sin restricción de sexo y edad). En 4 de ellos tuvieron como conclusión que la TIR tiene baja precisión, efectividad limitada o es del todo inexacto para el diagnóstico de TTM. Los 5 restantes, concluyeron en sentido opuesto al sugerir que la TIR puede llegar a ser un método promisorio o complementario para el diagnóstico de los TTM, debido a su alta sensibilidad y especificidad. Reconocen la necesidad de más estudios para determinar la confiabilidad de la TIR para diagnosticar TTM.

Una investigación⁽¹⁶⁾ llevada a cabo por investigadores de la Universidad de Oulu, en Finlandia, tuvo por objeto evaluar si los hallazgos termográficos encuentran relación entre el dolor y los signos de TTM. Para esto, se estudiaron termográficamente 40 sujetos sometidos a masticación de parafina; de los 40, 22 eran mujeres y 18 hombres, mientras que 19 estaban diagnosticados con TTM. Los resultados fueron analizados en función del sexo, síntomas de TTM y la aparición de dolor. Se tomaron imágenes en estado de relajación y de masticación. Observaron que, en pacientes con TTM, las temperaturas después de la masticación eran más altas que en los de control. Las discrepancias fueron significativas en mujeres e insignificantes en hombres. Concluyeron que la TIR sería efectiva para discriminar pacientes mujeres con TTM de aquellas sanas y para cuantificar el dolor asociado a esos trastornos.



Rodriguez-Bigaton y otros,⁽¹¹⁾ llevaron a cabo un estudio observacional para determinar la precisión de TIR del punto central de los músculos masetero y temporal anterior, en 104 mujeres universitarias que fueron divididas en 2 grupos: con TTM (52) y grupo control o sin TTM (52). Se usó la curva ROC para determinar la precisión del diagnóstico (área bajo la curva), el mejor punto de corte, la sensibilidad y la especificidad. No fueron observadas diferencias estadísticamente significativas en la temperatura superficial de los músculos masticatorios de ambos grupos. De la curva ROC, dedujeron que la precisión del diagnóstico por TIR fue menor que la recomendada en la literatura. Concluyeron que la termografía no es una técnica precisa para diagnosticar TTM miogénicos.

Pese a la escasez de estudios y la discrepancia de resultados acerca del tema,⁽¹¹⁾ la termografía infrarroja parece ser un método prometedor para el diagnóstico de TTM, principalmente en mujeres, como evidenció el estudio anterior. Por tanto, vale la pena seguir realizando estudios acerca de este método en el diagnóstico de TTM, con el fin de establecer un método de medición totalmente efectivo.

Aunque la TIR puede ser empleada en el diagnóstico de TTM, se ha venido explorando su aplicación en enfermedades que afectan el normal funcionamiento de la ATM y los músculos masticatorios, que se manifiestan en dificultades en la apertura bucal y zumbidos en los oídos.⁽¹¹⁾

Frecuentemente, pacientes con lupus eritematoso sistémico (LES) refieren molestias articulares alrededor de la ATM y artritis reumatoide. El LES es una enfermedad autoinmune, crónica y multisistémica, que demanda cantidades importantes de recursos económicos relativos al cuidado de la salud y la pérdida de productividad del paciente. Es más grave en pacientes hispanos y afroamericanos, de bajos estratos socioeconómicos y nivel educativo, en comparación con caucásicos.⁽¹⁷⁾ Cerca del 90 % de los casos corresponden a mujeres en edad fértil.⁽¹⁸⁾

De la misma forma que para el cuerpo humano; la temperatura media en la ATM en los lados derecho e izquierdo no difiere significativamente (no más de 0,1 °C – 0,2 °C). Sin embargo, en la presencia de trastornos o anomalías subyacentes en las articulaciones, habrá un aumento en la diferencia de temperatura de hasta 0,4 °C (el doble de la condición de normalidad).^(19,20) De aquí, que la TIR pueda ser, también, una valiosa herramienta para detectar LES en función de cambios térmicos de la ATM.

En efecto, *Rahmayani* y otros⁽²¹⁾ utilizando TIR evaluaron, en una mujer de 42 años con LES, las condiciones térmicas en las zonas alrededor de la ATM incluyendo el área alrededor de la parte posterior



de la oreja, la frente, la cabeza, las articulaciones, los músculos temporales y los músculos maseteros. Los hallazgos fueron que la temperatura de la ATM derecha fue de 34,6 °C y la de la izquierda de 34,1 °C, alcanzando una diferencia de 0,5 °C, siendo indicativo de perturbaciones de la ATM derecha. Concluyeron que la TIR es una interesante alternativa para medir la temperatura de la ATM en busca de anomalías, las cuales se asociaron a discrepancias de más de 0,2 °C entre los lados izquierdo y derecho de la ATM en pacientes con LES. Asimismo, aconsejaron la aplicación de terapia con rayos infrarrojos en los alrededores de la ATM a fin de mejorar la circulación sanguínea, relajar los músculos que la rodean y aplacar el dolor.

Por otro lado, el síndrome miofascial, uno de los TTM más comunes, se caracteriza por puntos gatillo (puntos dolorosos ubicados en los músculos masticatorios), y dolor asociado a espasmos musculares, que generan en ocasiones, dificultad para realizar movimientos de apertura y cierre.⁽²²⁾ Su etiología aún no ha sido totalmente dilucidada, pero se cree que obedece a factores como el estrés, el bruxismo o condiciones genéticas. Su tratamiento puede implicar abordajes invasivos o no invasivos como: acupuntura, ultrasonido, electroterapia, férula oclusal (apoyado en hallazgos clínicos de hiperactividad muscular), terapia de laser de baja intensidad, etc.⁽²³⁾

En un estudio reciente, *Altindiş y Güngörmüş*⁽²⁴⁾ compararon dos tipos de tratamiento (férula oclusal y terapia láser de baja intensidad) en 20 pacientes turcos con síndrome miofascial, con edades entre los 18 y 45 años. Todos fueron examinados clínicamente y se aplicaron los criterios de diagnóstico de investigación de TTM. Se dividieron en dos grupos iguales, cada uno recibió uno de los tratamientos. Se examinaron la intensidad del dolor pre y postratamiento, la sensibilidad muscular y la temperatura superficial del masetero y el temporal anterior. Se hizo comparación intra e intergrupala antes y después del procedimiento. Los resultados arrojaron disminución significativa en la temperatura, dolor y sensibilidad postratamiento, respecto al pretratamiento, especialmente en el masetero, para ambos grupos. Aunque en ciertas regiones del masetero el grupo tratado con láser de baja intensidad mostró temperaturas significativamente menores que en el otro, no resultó así para el dolor y la sensibilidad. Concluyeron que ambas técnicas son efectivas para el síndrome miofascial. No obstante, al tener en cuenta los datos termográficos, la terapia láser parece ser más ventajosa y la TIR, una herramienta objetiva para este fin.



TIR para el diagnóstico del dolor pediátrico

Evitar el dolor es crucial para el éxito de tratamientos en odontopediatría. No obstante, varios factores, tales como el miedo, traumas previos, la ansiedad etc., pueden alterar la forma en la que estos pacientes perciben el dolor. En pacientes con dificultades cognitivas o escasa edad, resulta complicado determinar el grado de dolor percibido, a través de medios habituales como la comunicación y la observación. Por este motivo se han venido explorando nuevas alternativas para la cuantificación del dolor que faciliten los tratamientos en el área de odontopediatría.⁽²⁵⁾

Kolosovas y otros⁽²⁶⁾ se propusieron utilizar la TIR para establecer la existencia de correlación entre cambios de temperaturas y de frecuencia cardíaca como indicador de dolor e incomodidad. Para ello, registraron cambios térmicos por TIR en la carúncula lagrimal de 18 niños sanos (11 varones y 7 mujeres menores de 11 años), junto con medidas de frecuencia cardíaca, antes, durante y después de la extracción del primer molar debido a tratamiento ortodóntico. La frecuencia fue medida con un pulsioxímetro colocado en el dedo índice. Emplearon la regresión lineal para evaluar la existencia de correlación y la prueba t de Student pareada, entre el estado basal y el momento de la extracción. No encontraron correlación entre ambas variables, pero sí diferencias significativas en la temperatura y la frecuencia cardíaca antes y durante el procedimiento. Concluyeron que los cambios termográficos en la carúncula, se asocian con el dolor en pacientes sometidos a exodoncias, por lo que se sugieren como marcadores de dolor; no obstante, señalaron la necesidad de más estudios para confirmar esta hipótesis.

Aplicaciones de la TIR en endodoncia

La TIR ha permitido evaluar cambios térmicos en procedimientos dentales como los acontecidos en técnicas de condensación vertical caliente. Esta consiste en colocar materiales de obturación, como la gutapercha, en el conducto radicular, con la finalidad de sellar el espacio y evitar posibles infecciones. De acuerdo con *Clinton* y *Himel*,⁽²⁷⁾ la técnica de condensación vertical caliente aventaja a la de condensación lateral en el sellado de los espacios del conducto radicular. Además, varios dispositivos permiten ejecutar esta técnica en rangos de temperatura entre 150 °C y 650 °C, ya que en esta franja se evitan daños en la raíz y el cemento.



Diegritz y otros,⁽²⁸⁾ hicieron un trabajo de investigación que buscó medir el aumento de la temperatura en la superficie de la raíz, durante la compactación vertical caliente en 45 premolares divididos en 3 grupos, con 1 sistema de obturación diferente para cada uno. Todos los grupos fueron sometidos a 200 °C. Las medidas de temperatura se obtuvieron, mediante una cámara termográfica, a 3 s (T0) y 1 min (T1), luego de activar el disipador térmico. La T0 osciló entre 48 y 84 °C, de acuerdo con el sistema de obturación. Además, hubo diferencias significativas entre la media de los T0 de los sistemas. Concluyeron que el aumento de temperatura en la superficie radicular durante la compactación vertical, depende considerablemente del sistema obturador.

La colocación de restauraciones provisionales es crítica en pacientes con fracturas o pérdidas en el sector anterior ya que, por la exposición visual de estos, puede ocasionar burlas o rechazo y afectar la psicología del paciente. También son importantes en la masticación, porque la pérdida de algunos dientes puede conllevar a alteraciones oclusales. La realización inadecuada del provisional, sin duda afectará la restauración definitiva.^(29,30) Las restauraciones provisionales pueden confeccionarse de manera directa o indirecta. Las resinas acrílicas, frecuentemente utilizadas en la práctica odontológica de forma directa, al pasar por una reacción de polimerización, liberan calor que, sin el debido cuidado, puede ocasionar daños en la cámara pulpar.⁽³¹⁾

Lipski y otros,⁽³²⁾ adelantaron una investigación cuyo fin era medir los cambios térmicos de la superficie adyacente a la parte superior de la cámara pulpar, de premolares extraídos de pacientes jóvenes y ancianos durante la preparación de restauraciones provisionales. Conocían previamente, que las coronas provisionales y materiales de prótesis dentales fijas parciales, producen calor durante la polimerización y que puede transmitirse a la cámara pulpar, dependiendo de factores como el grosor y la calidad de la dentina restante, después de la preparación de la corona. Utilizaron 20 raíces de premolares maxilares: 10 de jóvenes (con cámara pulpar grande) y 10 de ancianos (con cámara pulpar pequeña). Utilizaron dos materiales provisionales, Turbo Temp 2 y Luxatemp Fluorescence. Midieron los cambios en el lado interno del techo de la cámara, con cámara termográfica cada 2 s. Después, determinaron el grosor de dentina restante. Los resultados fueron: diferencias significativas en el grosor de dentina restante, mayor en ancianos (2,82 mm) que en jóvenes (1,9 mm). El aumento de la temperatura en el techo de la cámara fue aproximadamente el doble en el grupo de menor edad respecto al de mayor edad, en ambos



materiales. No encontraron diferencias significativas entre los materiales para ambos grupos. Concluyeron que una dentina remanente de 1,9 mm o más, protege la pulpa de aumentos de temperatura durante la provisionalización con materiales probados.

TIR para implantes odontológicos

Una prótesis dental implantosoportada es aquella que, sujeta en un implante maxilar o mandibular, comúnmente constituido de titanio, funciona bajo el principio de osteointegración. El éxito del implante está directamente relacionado con la calidad del hueso, la vascularización, la ausencia de factores iatrogénicos, y la adecuada unión entre el hueso y el implante. Es sabido que al momento de utilizar las turbinas, se genera un aumento de temperatura intraóseo, que puede llevar al fracaso del procedimiento, dado que a los 40 – 41 °C comienza la hipertermia ósea; a partir de los 47 °C se reduce la perfusión intraósea y desde los 48 °C aparece la necrosis, lo que llevaría a la pérdida del hueso, requiriendo cambios hacia procedimientos más invasivos.⁽³³⁾

Harder y otros,⁽³⁴⁾ al identificar que la aplicación de calor durante el procedimiento de perforación puede llevar a complicaciones en el lugar del implante, por aumento de la temperatura intraósea, objetivaron evaluar la capacidad de termopares y TIR para detectar cambios en la temperatura intraósea durante la preparación del lecho del implante dental. Simularon el hueso cortical de la mandíbula humana, mediante bloques óseos estandarizados de costillas bovinas. Emplearon fresas de acero de 3 mm de diámetro con la forma del implante, a velocidad angular constante de 1200 rpm, bajo un sistema de enfriamiento externo y otro combinando externo e interno. Los cambios de temperatura se registraron con un termopar T Cu-CuNi y una cámara termográfica Fluke Ti 20 a presiones de contacto de 5 y 20 N. Los resultados mostraron que la TIR detectó cambios de temperatura significativamente mayores para ambos sistemas de enfriamiento y presiones. Por tanto, concluyeron que la TIR es más efectiva que los termopares para percibir mudanzas térmicas intraóseas durante la preparación del lecho del implante.

La TIR es una herramienta diagnóstica con potencial de detección de anomalías que inducen cambios térmicos, además de ser un excelente método para detectar las altas temperaturas en diversos procedimientos odontológicos, que sin el debido cuidado puede llevar al fracaso del tratamiento.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Crandell CE, Hill RP. Thermography in dentistry: A pilot study. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol.* 1966 [acceso: 11/08/2021];21(3): 316-20. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0030422066900648>
2. Barnes RB. Thermography of the Human Body: Infrared-radiant energy provides new concepts and instrumentation for medical diagnosis. *Science.* 1963 [acceso: 11/08/2021];140(3569): 870-7. Disponible en: <https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.140.3569.870>
3. Auer D. Termografía, guía de bolsillo Teoría- Aplicación Práctica- Consejos y Trucos.. Barcelona: Testo AG; 2017 [acceso: 11/08/2021]. Disponible en: http://www.ait-orsenor.com/testo_guia.pdf
4. De Melo DP, Bento PM, Peixoto LR, Martins SKLD, Martins CC. Is infrared thermography effective in the diagnosis of temporomandibular disorders? A systematic review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2019 [acceso: 11/08/2021]; 127(2): 185-92. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212440318311908>
5. Azpeitia FI. La termografía infrarroja: un sorprendente recurso para la enseñanza de la física y la química. *Rev Eureka sobre Enseñanza y Divulg las Ciencias.* 2016 [acceso: 11/08/2021]; 13(3): 617–627. Disponible en: <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2994/2767>
6. Viegas F, Mello MT de, Rodrigues SA, Costa CMA, Freitas L de SN, Rodrigues EL, et al. The use of thermography and its control variables: a systematic review. *Rev Bras Med do Esporte.* 2020 [acceso: 11/08/2021]; 26(1): 82-6. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-86922020000100082&tlng=en
7. Dibai Filho AV, Packer AC, Costa ACDS, Rodrigues-Bigaton D. Accuracy of Infrared Thermography of the Masticatory Muscles for the Diagnosis of Myogenous Temporomandibular Disorder. *J Manipulative Physiol Ther.* 2013 [acceso: 11/08/2021]; 36(4): 245-52. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0161475413000596>
8. Komoriyama M, Nonomoto R, Tanaka R, Hosoya N, Gomi K, Iino F, et al. Application of Thermography in Dentistry-Visualization of Temperature Distribution on Oral Tissues-. *Dent Mater J.*



2003 [acceso: 11/08/2021]; 22(4): 436-43. Disponible en:

http://www.jstage.jst.go.jp/article/dmj1982/22/4/22_4_436/article

9. Kasprzyk-Kucewicz T, Cholewka A, Bałamut K, Kownacki P, Kaszuba N, Kaszuba M, et al. The applications of infrared thermography in surgical removal of retained teeth effects assessment. *J Therm Anal Calorim.* 2021 [acceso: 11/08/2021]; 144(1): 139-44. Disponible en:

<http://link.springer.com/10.1007/s10973-020-09457-6>

10. Tattersall GJ. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comp Biochem Physiol Part A Mol Integr Physiol.* 2016 [acceso: 11/08/2021]; 202:78-98. Disponible en:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1095643316300435>

11. Rodrigues-Bigaton D, Dibai-Filho AV, Packer AC, Costa AC de S, de Castro EM. Accuracy of two forms of infrared image analysis of the masticatory muscles in the diagnosis of myogenous temporomandibular disorder. *J Bodyw Mov Ther.* 2014 [acceso: 11/08/2021]; 18(1): 49-55. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1360859213000727>

12. Yaneth L, Duarte N. Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo. *Floridablanca: Universidad Pontificia Bolivariana;* 2014 [acceso: 11/08/2021]. Disponible en:

https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1561/digital_20999.pdf?sequence=1&isAllowed=y

13. Machoy M, Szyszka-Sommerfeld L, Rahnama M, Koprowski R, Wilczyński S, Woźniak K. Diagnosis of Temporomandibular Disorders Using Thermovision Imaging. *Pain Res Manag.* 2020 [acceso: 11/08/2021]; 2020: 5481365. Disponible en:

<https://www.hindawi.com/journals/prm/2020/5481365/>

14. Barbosa J, Amorim A, Arruda M, Medeiros G, Freitas A, Vieira L, et al. Infrared thermography assessment of patients with temporomandibular disorders. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2020 [acceso: 11/08/2021]; 49(4): 20190392. Disponible en:

<https://www.birpublications.org/doi/10.1259/dmfr.20190392>

15. Moreira A, Batista R, Oliveira S, Branco CA, Mendes J, Figueiral MH. Role of thermography in the assessment of temporomandibular disorders and other musculoskeletal conditions: A systematic

<http://scielo.sld.cu>

<http://www.revmedmilitar.sld.cu>



review. Proc Inst Mech Eng Part H J Eng Med. 2021 [acceso: 11/08/2021]; 235(10): 1099-1112.

Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34082627/>

16. Rytivaara R, Näpänkangas R, Kainulainen T, Sipola A, Kallio-Pulkkinen S, Raustia A, et al. Thermographic findings related to facial pain – a survey of 40 subjects. CRANIO®. 2021:1-8. DOI: 10.1080/08869634.2021.1894859

17. Valencia P, Mora C, Rossinni Y, Arbeláez AM, Plazas M, Londoño J. Análisis de grupos focales en pacientes colombianos con lupus eritematoso sistémico: una mirada cualitativa a las representaciones de la enfermedad. Rev Colomb Reumatol. 2017 [acceso: 11/08/2021]; 24(1):11-7. Disponible en:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0121812316300950>

18. Bermúdez Marrero W, Vizcaino Luna Y, Fusté Jiménez C, González Otero Z, Egüez Mesa J. Caracterización clínico epidemiológica de pacientes con lupus eritematoso sistémico. Rev Cuba Reumatol. 2016 [acceso: 11/08/2021]; 18(2): 182-91. Disponible en:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-59962016000400003

19. Dibai-Filho AV, Guirro RRDJ. Evaluation of Myofascial Trigger Points Using Infrared Thermography: A Critical Review of the Literature. J Manipulative Physiol Ther. 2015 [acceso: 11/08/2021]; 38(1): 86-92. Disponible en:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0161475414002139>

20. Nitecka-Buchta A, Szymon Klaczek, BM, Martyna C, Krzysztof K, Katarzyna K, Magorzata M, Baron S. Hot or not: Indirect analysis of deep tissue temperature in patients with painful temporomandibular disorder (TMD). Int J Latest Res Sci Technol. 2014 [acceso: 11/08/2021]; 3(5):67-70. Disponible en: https://www.mnkjournals.com/journal/ijlrst/Article.php?paper_id=10396

21. Rahmayani L, Yahya M, Soraya C, Syahreza S. Thermal condition of muscle area around the temporomandibular joint in patient with systemic lupus erythematosus using infrared thermography application: A case report. J Int Soc Prev Community Dent. 2020 [acceso: 11/08/2021]; 10(5): 674. Disponible en: <http://www.jispcd.org/text.asp?2020/10/5/674/296205>

22. Friction J. Myofascial Pain: Mechanisms to Management. Oral Maxillofac Surg Clin North Am. 2016 [acceso: 11/08/2021]; 28(3): 289-311. Disponible en:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1042369916300176>

<http://scielo.sld.cu>

<http://www.revmedmilitar.sld.cu>



23. Costa YM, Ariji Y, Ferreira DMAO, Bonjardim LR, Conti PCR, Ariji E, et al. Muscle hardness and masticatory myofascial pain: Assessment and clinical relevance. *J Oral Rehabil.* 2018 [acceso: 11/08/2021]; 45(8): 640-6. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/joor.12644>
en: <http://link.springer.com/10.1007/s10266-019-00472-0>
24. Altındış T, Güngörmüş M. Thermographic evaluation of occlusal splint and low level laser therapy in myofascial pain syndrome. *Complement Ther Med.* 2019 [acceso: 11/08/2021]; 44:277-81. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096522991930144X>
25. Leal SO, Neves EB, Mello DB, Filgueiras MQ, Dantas EM. Pain perception and thermographic analysis in patients with chronic lower back pain submitted to osteopathic treatment. *Motricidade.* 2019 [acceso: 11/08/2021]; 15(2-3): 12-20. Disponible en: <https://revistas.rcaap.pt/motricidade/article/view/17662>
26. Kolosovas-Machuca ES, Martínez-Jiménez MA, Ramírez-GarcíaLuna JL, González FJ, Pozos-Guillen AJ, Campos-Lara NP, et al. Pain Measurement through Temperature Changes in Children Undergoing Dental Extractions. *Pain Res Manag.* 2016 [acceso: 11/08/2021]; 372617:1-5. Disponible en: <http://www.hindawi.com/journals/prm/2016/4372617/>
27. Clinton K, Himel V. Comparison of a Warm Gutta-Percha Obturation Technique and Lateral Condensation. *J Endod.* 2001 [acceso: 11/08/2021]; 27(11): 692-5. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0099239905604864>
28. Diegritz C, Gerlitzki O, Fotiadou C, Folwaczny M. Temperature changes on the root surface during application of warm vertical compaction using three different obturation units. *Odontology.* 2020 [acceso: 11/08/2021]; 108(3): 358-65. Disponible
29. Keys WF, Keirby N, Ricketts D. Provisional restorations – a permanent problem? *Dent Update.* 2016 [acceso: 11/08/2021]; 43(10): 908-14. Disponible en: <http://www.magonlinelibrary.com/doi/10.12968/denu.2016.43.10.908>
30. Peng C-C, Chung K-H, Yau H-T, Ramos V. Assessment of the internal fit and marginal integrity of interim crowns made by different manufacturing methods. *J Prosthet Dent.* 2020 [acceso: 11/08/2021]; 123(3): 514-22. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022391319302793>



31. Castelnuovo J, Tjan AHL. Temperature rise in pulpal chamber during fabrication of provisional resinous crowns. *J Prosthet Dent.* 1997 [acceso: 11/08/2021]; 78(5): 441-6. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002239139770057X>
32. Lipski M, Woźniak K, Szyszka-Sommerfeld L, Borawski M, Drożdżik A, Nowicka A. In Vitro Infrared Thermographic Assessment of Temperature Change in the Pulp Chamber during Provisionalization: Effect of Remaining Dentin Thickness. *J Healthc Eng.* 2020 [acceso: 11/08/2021];2020: 8838329:1-5. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/jhe/2020/8838329/>
33. Birkenfeld F, Becker ME, Kurz B, Harder S, Kern M, Lucius R. Changes in human mandibular bone morphology after heat application. *Ann Anat - Anat Anzeiger.* 2010 [acceso: 11/08/2021]; 192(4): 227-31. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S094096021000083X>
34. Harder S, Egert C, Freitag-Wolf S, Mehl C, Kern M. Intraosseous Temperature Changes During Implant Site Preparation: In Vitro Comparison of Thermocouples and Infrared Thermography. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2018[acceso: 13/08/2021]; 33(1):72-8. Disponible en: http://quintpub.com/journals/omi/abstract.php?iss2_id=1499&article_id=17995

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.