



VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

FACULTAT DE MEDICINA I ODONTOLOGIA

Departamento de Estomatología

Programa de doctorado en Odontología

TESIS DOCTORAL

**Estudio prospectivo del estrés térmico y mecánico que se produce en las
manos de los odontólogos mediante estudio termográfico**

Presentada por:

María Domingo Clérigues

Dirigida por:

Carlos Bellot Arcís

Verónica García Sanz

José Ignacio Priego Quesada

Marzo 2023

INFORME DIRECTORES/AS Y TUTOR/A PARA DEPÓSITO DE TESIS

Director (es) / Codirector (es):

1.- Apellidos y nombre: BELLOT ARCÍS, CARLOS N.I.F. 73567181W, Departamento/Instituto: ESTOMATOLOGIA
Centro: FACULTAD DE MEDICINA Y ODONTOLOGIA.

2.- Apellidos y nombre: GARCIA SANZ, VERONICA N.I.F. 20832807M, Departamento/Instituto: ESTOMATOLOGIA
Centro: FACULTAD DE MEDICINA Y ODONTOLOGIA

3.- Apellidos y nombre: PRIEGO QUESADA, JOSE IGNACIO N.I.F. 44878166Z, Departamento/Instituto: EDUCACION
FISICA Y DEPORTIVA Centro: FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FISICA Y EL DEPORTE

Tutor

Apellidos y nombre. BELLOT ARCÍS, CARLOS.N.I.F. 73567181W, Departamento/Instituto: ESTOMATOLOGIA
Centro: FACULTAD DE MEDICINA Y ODONTOLOGIA.

Directores/as y tutor, respectivamente, de la tesis doctoral: "ESTUDIO PROSPECTIVO DEL ESTRÉS TERMICO Y MECANICO QUE SE PRODUCE EN LAS MANOS DE LOS ODONTÓLOGOS MEDIANTE ESTUDIO TERMOGRAFICO" de Dña. MARIA DOMINGO CLERIGUES, estudiante del Programa de Doctorado **3143 Odontología** (RD 99/2011) de la Universitat de València, emiten informe FAVORABLE para la realización del depósito y la defensa de la tesis doctoral.

Fecha: 23 de febrero 2023

Fdo.: Carlos Bellot

CARLOS
BELLOT
ARCIS

Firmado
digitalmente por
CARLOS[BELLOT]
ARCIS
Fecha: 2023.02.23
10:41:31 +01'00'

Director y tutor

Fdo.: Verónica García

VERONICA
A[GARCIA]
SANZ

Firmado
digitalmente por
VERONICA
GARCIA[SANZ]
Fecha: 2023.02.23
11:23:21 +01'00'

Directora

Fdo.: Jose I. Priego

JOSE
IGNACIO
PRIEGO
QUESADA
A

Firmado
digitalmente por
JOSE IGNACIO
PRIEGO
QUESADA
Fecha: 2023.02.23
09:04:20 +01'00'

Director

**ESCOLA DE DOCTORAT
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA**

Departament d'Estomatologia
C/ Gascó Olag. 1 46010 VALÈNCIA Tel. 963864144
<http://www.uv.es/estomatologia>
dep.estomatologia@uv.es

AGRADECIMIENTOS

Quería empezar dedicando esta tesis doctoral a mi familia, gracias a mis padres su amor incondicional y por transmitirme el espíritu del esfuerzo, la constancia y la disciplina, sin los que esta tesis no hubiese sido posible. A mis hermanos, Pablo, Nacho y Amparo, por su lealtad y cariño todos estos años, por enseñarme a ver las cosas con perspectiva y estar siempre cerca. Y a mis hijos, Álvaro y Jaime, por ser mi motor, por esponjar mi corazón y hacerme crecer cada día.

También me gustaría agradecer a mis amigos cuya lealtad, alegría y consejos me han acompañado durante estos años. En especial a Mariu, Liber, Marta, María, Arancha, Eva, Cris, Carlos, Javi, Vicente, gracias a todos me siento muy afortunada por tenerlos en mi vida.

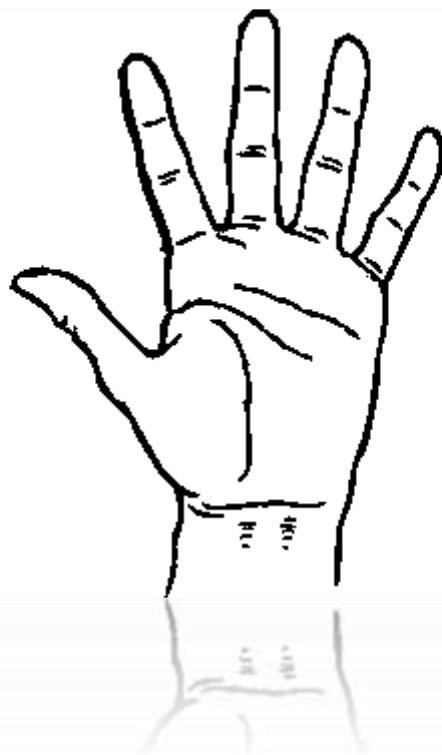
Agradecer también al departamento de fisiología de la facultad de medicina por prestarnos el material para el estudio, y por sus sabios consejos, en especial a Rosa y Rosario.

Agradecer al departamento de ortodoncia de la facultad de odontología, en especial a Vanesa por ayudarme en los inicios de esta andadura y por prestarme el despacho para dejar todo el material del estudio.

A Carlos, José, Verónica, mis directores, por su dedicación y cariño durante todos estos años. A Cindy por ser mi enlace con el departamento durante la toma de registros. Y a Javi, por ayudarme desinteresadamente con la maquetación.

Por último, agradecer a todos los participantes de este estudio, por su amabilidad al prestarse para el estudio, ya que sin ellos esto no sería posible.

ÍNDICES



ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	XI
1.INTRODUCCIÓN	3
1.1 Patologías en los profesionales de la odontología.....	3
1.1.1 Patologías genéricas	3
1.1.2 Patologías en las manos	6
1.2 Anatomía de la mano	8
1.2.1 Huesos de la mano	8
1.2.2 Músculos y tendones de la mano	11
1.2.3 Aparato extensor y ligamentos cutáneos de los dedos.....	17
1.2.4 Vascularización	18
1.2.5 Inervación	19
1.3 Termografía infrarroja	22
1.3.1 Transferencia del calor	24
1.3.2 Espectro electromagnético y radiación infrarroja.....	26
1.3.3 Leyes físicas de la radiación infrarroja.....	29
1.3.4 Termorregulación	30
Termorregulación en la mano:	34
1.4. Metodología de la termografía infrarroja en humanos	35
1.4.1 Determinación de las regiones de interés	36
1.4.2 Aspectos metodológicos de la cámara y espacio donde se realiza el estudio	37
1.4.3. Aspectos metodológicos relacionados con la persona.....	41
1.5. Análisis de los datos térmicos.	50
1.5.1. Análisis cualitativo	50
1.5.2. Análisis cuantitativo.....	51

1.6 Termografía en las manos.....	52
1.6.1 Síndrome del túnel carpiano	52
1.6.2 Síndrome de Raynaud.....	52
1.6.3 HAVS	53
1.6.4 Otras patologías	53
1.6.5 Metodología de la ITR en manos.....	53
2. JUSTIFICACION.....	67
3. hipótesis y objetivos.....	71
3.1 Hipótesis general	71
3.2. Objetivo general:	71
3.3. Objetivos específicos:.....	71
4. MATERIAL Y MÉTODO	75
4.1 Metodología	75
4.1.1 Participantes	75
4.1.2 Criterios de inclusión	75
4.1.3 Criterios de exclusión	76
4.1.4 Condiciones ambientales.....	76
4.1.5 Equipamiento	77
4.1.6. ROIs del estudio.....	79
4.2 Protocolo	82
4.3 Análisis estadístico	84
5. RESULTADOS	89
5.1 Estadística descriptiva	89
5.2 Análisis dominancia	92
5.3 Análisis pretrabajo	95
5.4 Análisis diferencias entre pretrabajo y postrabajo en noveles.....	110

5.5 Estudio mediante regresiones múltiples de los factores de la variación de temperatura media tras la realización del estrés térmico de frío	112
6.DISCUSION.....	119
6.1 Análisis de la simetría térmica y de la distribución de la temperatura en las manos	119
6.1.1 Justificación	119
6.1.2 Discusión de los resultados	120
6.2 Análisis de las diferencias térmicas en la temperatura de la piel de las manos entre los odontólogos y los controles.	122
6.2.1 Justificación	122
6.2.2 Discusión de los resultados	123
6.3 Análisis de las diferencias de temperatura debidas a la experiencia en la profesión.....	126
6.3.1 Justificación	126
6.3.2 Discusión de los resultados	127
6.4. Determinar si existen otras variables que expliquen la variación de la temperatura independientemente de la profesión y la edad.	128
6.4.1 Justificación	128
6.4.2. Discusión de los resultados	129
6.5. Limitaciones y futuros estudios.....	132
7. CONCLUSIONES	135
8. BIBLIOGRAFIA	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Artículos que utilizan la termografía para medir la temperatura de la piel de las manos.....	55
Tabla 2. Datos de los participantes clasificados en cuatro grupos: expertos odontólogos (E0), expertos no odontólogos (EN), noveles odontólogos (NO) y noveles no odontólogos (NN).....	87
Tabla 3. Datos del estudio relativos a temperatura y humedad.....	90
Tabla 4. Intervalos de confianza al 95% (IC 95%) de las diferencias significativas ($p < 0,05$) observadas entre los grupos estudiados en el momento pretrabajo en la temperatura media en cada uno de los tiempos medidos antes (tiempos del 0 a 30 segundos) y después del estrés térmico (a partir del tiempo 100).....	94
Tabla 5. Intervalos de confianza al 95% (IC 95%) de las diferencias significativas ($p < 0,05$) observadas entre los grupos estudiados en el momento pretrabajo en la temperatura máxima en cada uno de los tiempos medidos antes (tiempos del 0 a 30 segundos) y después del estrés térmico (a partir del tiempo 100)	97
Tabla 6. Intervalos de confianza al 95% (IC 95%) de las diferencias significativas ($p < 0,05$) observadas entre las diferentes ROI en cuanto a la temperatura media y a la temperatura máxima.....	100
Tabla 7. Intervalos de confianza al 95% (IC 95%) de las diferencias significativas ($p < 0,05$) observadas entre los grupos estudiados en el momento pretrabajo en la variación de la temperatura media en cada uno de los tiempos analizados después del estrés térmico (a partir del tiempo 70)	104
Tabla 8. Intervalos de confianza al 95% (IC 95%) de las diferencias significativas ($p < 0,05$) observadas entre los grupos estudiados en el momento pretrabajo en la variación de la temperatura máxima en cada uno de los tiempos medidos después del estrés térmico (a partir del tiempo 70)	105
Tabla 9. Diferencias de la variación de la temperatura máxima entre pretrabajo y post trabajo en cada grupo y diferencias entre el grupo de noveles no odontólogos versus noveles odontólogos, en los momentos de pretrabajo y postrabajo	110

Tabla 10. Regresiones múltiples obtenidas por el método stepwise para explicar la variación de la temperatura media de las regiones de interés del metatarso índice y la yema del índice...111

.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Huesos carpianos.....	9
Figura 2. Partes del metacarpo.....	10
Figura 3. Visión volar de la falange proximal.....	10
Figura 4. Visión dorsal y palma de la mano.....	11
Figura 5. Palma de la mano tras retirar la aponeurosis palmar.....	13
Figura 6. El arco palmar superficial es un ejemplo de anastomosis arterioarterial entre las arterias radial y cubital.....	19
Figura 7. Imagen de la mano exponiendo el arco palmar arterial superficial.....	22
Figura 8. Representación de una onda electromagnética.....	27
Figura 9. Relación entre la longitud de onda y la frecuencia.....	27
Figura 10. Representación del espectro electromagnético.....	28
Figura.11: Concepto de cuerpo negro.....	29
Figura 12: Ejemplo gráfico de cómo incide la radiación en el cuerpo negro.....	30
Figura 13. Factores humanos a tener en cuenta en estudios realizados con termografía.....	42
Figura 14. Cámara Flir A35.....	75
Figura 15. Higrómetro digital (Velleman WS8471).....	76
Figura 16. Termómetro platino (Dostmann p700).....	76
Figura 17. Imagen de 3 momentos del estudio a) momento basal, b) momento 100 segundos, c) momento 270.....	78
Figura 18. Regiones de interés analizadas en el estudio. Imagen del momento basal.....	78
Figura 19. Imagen del momento 100 segundos.....	79
Figura 20. Imagen en el momento 270 segundos.....	79

Figura 21. Diagrama de cajas de la desviación estándar de la temperatura de la piel de cada una de las regiones de interés (ROI) y momentos de medida.....	80
Figura 22: Foto ilustrativa de la realización del estudio, donde se ve el trípode con la cámara a una distancia de 40 cm en una posición de 90° perpendicular a la palma de la mano.....	81
Figura 23. Foto del momento en el que se realiza el CTS, metiendo las manos en la cuba de agua a una temperatura de 5-7°C con los guantes de látex y donde se puede ver el termómetro de platino, que mide la temperatura en todo momento.....	82
Figura 24. Diagrama de cajas para visualizar valores atípicos en los datos.....	82
Figura 25. Diagrama de cajas tras corregir valores atípicos en los datos.....	83
Figura 26. Análisis preliminar de los coeficientes estandarizados de la regresión múltiple con el objetivo de seleccionar las regiones de interés más representativas.....	84
Figura 27. Temperatura de la piel del participante 44 que uso crema en las manos, en comparación con el grupo al que pertenece (noveles no odontólogos) que se muestra a partir de la media del grupo y 95% del intervalo de confianza.....	88
Figura 28. Temperatura de la piel del participante 35, que realizó ejercicio antes de las mediciones por lo que la temperatura es más alta, en comparación con el grupo al que pertenece (expertos odontólogos) que se muestra a partir de la media del grupo y 95% del intervalo de confianza.....	89
Figura 29. Temperatura de la piel del participante 54 que tuvo fiebre los días anteriores a realizar el estudio, observándose valores más altos, en comparación con el grupo al que pertenece (expertos no odontólogos) que se muestra a partir de la media del grupo y 95% del intervalo de confianza.....	89
Figura 30. Media e IC 95% de la comparativa de la temperatura media de la mano dominante versus la mano no dominante.....	91
Figura 31. Media e IC 95% de la comparativa de la temperatura máxima de la mano dominante versus la mano no dominante.....	92
Figura 32. Media e IC 95% de la evolución de la temperatura media de la piel en los diferentes grupos medidos antes y después del estrés térmico de frío en la condición pretrabajo.....	93

Figura 33. Media e IC 95% de la temperatura media en las diferentes regiones de interés.....	95
Figura 34. Media e IC 95% de la evolución de la temperatura máxima en los diferentes grupos medidos antes y después del estrés térmico de frío en la condición pretrabajo.....	96
Figura 35. Media e IC 95% de la temperatura máxima en las diferentes regiones de interés....	98
Figura 36. Diagrama de cajas de la temperatura media de cada región de interés.....	99
Figura 37. Diagrama de cajas de la temperatura máxima de cada región de interés.....	99
Figura 38. Media e IC 95% de la variación de la temperatura media de los diferentes grupos en los diferentes momentos del estudio.....	102
Figura 39. Media e IC 95% de la variación de la temperatura media en las diferentes ROI por grupo y en todos los momentos del estudio.....	103
Figura 40. Media e IC 95% de la variación de la temperatura máxima de los diferentes grupos en todos los momentos del estudio.....	105
Figura 41. Media e IC 95% de la variación de la temperatura máxima de las diferentes ROI por grupos y en todos los momentos del estudio.....	107
Figura 42. Media e IC 95% de la temperatura media pretrabajo y postrabajo en noveles odontólogos.....	108
Figura 43. Media e IC 95% de la temperatura media pretrabajo y postrabajo en los noveles no odontólogos.....	108
Figura 44. Media e IC 95% de la variación de temperatura media en el momento pretrabajo y postrabajo en noveles odontólogos y noveles no odontólogos.....	109
Figura 45. Media e IC 95% de la variación de la temperatura máxima en el momento pretrabajo y postrabajo en noveles odontólogos y noveles no odontólogos.....	110
Figura 46. Relación entre la variación de temperatura media en el metatarso del dedo índice en el segundo 70 y el área de superficie corporal.....	111
Figura 47. Variable Índice de masa corporal afecta a la variación de la temperatura media, cuando el resto de las variables son controladas.....	112

Figura 48. Efecto de la variable ovulación en la variación de la temperatura media cuando el resto de las variables están controladas.....112

Figura 49. Efecto de la variable odontólogo a la variación de la temperatura media mientras las otras variables están controladas.....113

Figura 50. Efecto de la edad en la variación de la temperatura media mientras las otras variables permanecen controladas.....113

Figura 51. Efecto de estar físicamente activo a la variación de la temperatura media mientras que las otras variables permanecen controladas.....114

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

CRI: Índice de respuesta al frío

CTP: Test de estrés térmico

CTS: Síndrome del túnel carpiano

EMG: Electromiografía

EN: Experto no odontólogo

EO: Experto Odontólogo

FST: Temperatura de la piel del dedo

HAVS: Síndrome vibración brazo-mano

HTV: Vibración transmitida a la mano

ITR: Termografía infrarroja

NN: Novel no odontólogo

NO: Novel odontólogo

REBA: Rapid Entire Body Assessment

ROI: Región de interés

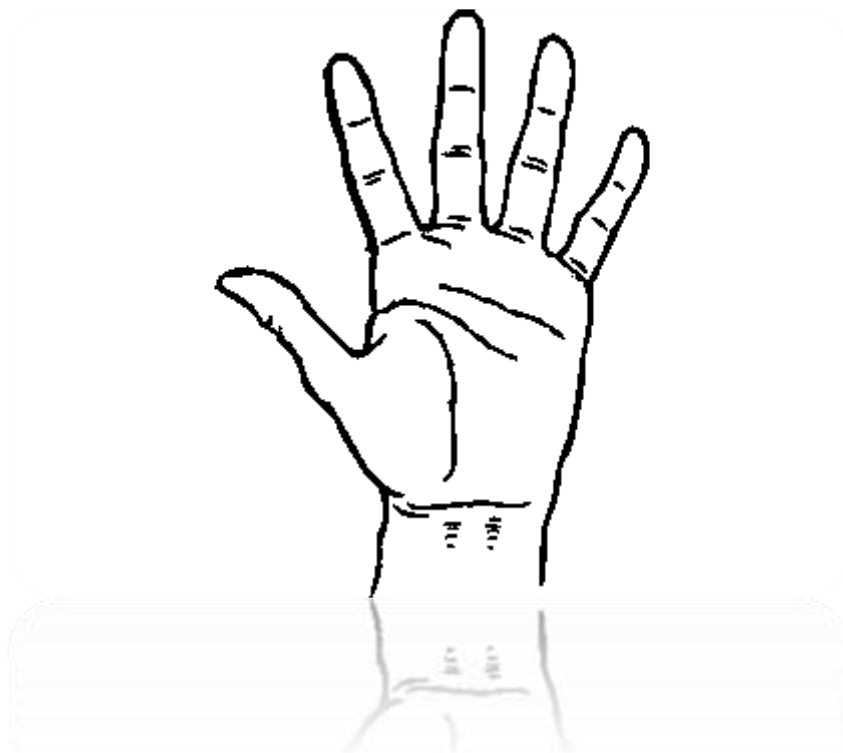
RP: Fenómeno de Raynaud

UEMSD: Desordenes musculoesqueléticos de extremidades superiores

UV o UVA: Radiación ultravioleta

VWF: Vibración inducida por el dedo blanco

INTRODUCCIÓN



1.INTRODUCCIÓN

1.1 Patologías en los profesionales de la odontología.

1.1.1 Patologías genéricas

En la actualidad, la profesión de la odontología se asocia con enfermedades profesionales genéricas tales como el estrés, problemas musculoesqueléticos debido a la postura a la hora de ejercer la profesión, y problemas dermatológicos o de audición (Kerosuo, 2009; Shrestha, 2008; Leggat, Kedjarune, y Smith, 2007; Wasoski, 1995; Khandoker et al., 2016). En las manos, que son la herramienta de trabajo de los profesionales de la odontología, destacan otros como el síndrome del túnel carpiano, el síndrome de Raynaud, el síndrome de vibración brazo-mano, así como la artritis y la artrosis (Haghighi et al., 2013; Mahbub y Harada, 2011; Chlebicka et al., 2013).

En la sociedad actual, el estrés es uno de los problemas más recurrentes en muchas profesiones. En el campo de la odontología se han publicado numerosas investigaciones en las que se relaciona, que el nivel de estrés depende en parte de las habilidades interpersonales como la empatía con los pacientes y con el personal de la clínica, pero también depende de labores administrativas y financieras (Kulich, Rydén y Bengtsson, 1998; Rutter, Herzberg y Paice, 2002; Wasoski, 1995; Katz, 1986; Schutt y Bernstein, 1986; Ayers et al., 2008). Otras publicaciones en cambio exponen que el grado de satisfacción profesional depende de estos factores: respeto, percepción de mejora profesional, estrés en el trabajo, la relación con el paciente y el tiempo que se dedica a trabajar (Wells et al., 1999 ; Locker, Burman y Otchere, 1989). Las condiciones laborales y los pacientes que acuden con ansiedad a la consulta tienen una influencia negativa en el estrés de los odontólogos (Wells et al., 1999).

Un estudio realizado en 1989 en Ontario, Canadá, reveló que las mayores fuentes de estrés en los profesionales de la odontología son trabajar bajo presión en cuanto al tiempo dedicado a cada paciente, no sentirse valorado en el trabajo, trabajar muchas horas seguidas y llevar una vida estresada fuera del trabajo (Locker, Burman y Otchere, 1989). Se encontró una asociación entre el estrés en el trabajo y las expectativas en el trabajo: un 43% de aquellos que reportan un alto nivel de estrés en el trabajo tienen intención de dejarlo, comparado con un 8,9% que afirma que su trabajo no es del todo estresante (Locker, Burman y Otchere, 1989). Estos hallazgos tienen mucho que ver con el ambiente y la forma de trabajo, por ejemplo si es una

clínica en la que se trabaja de manera organizada y bien dirigida (Locker, Burman y Otchere, 1989).

Otros estudios valoraron también los problemas con los pacientes, la desconfianza, el dolor, la ansiedad, así como las presiones económicas referidas al coste los estudios y el material, las aplicaciones necesarias en el día a día de trabajo, y el grado de perfeccionismo para obtener los resultados ideales (Wells et al., 1999 ; Katz, 1986). La interacción con pacientes puede inducir a un elevado grado de estrés en aquellas profesiones dedicadas al cuidado de la salud (Katz, 1986). Esto va a depender de la personalidad de cada persona. Realizar descansos a lo largo de la jornada de trabajo y realizar ejercicios de relajación pueden servir para disminuir dicho estrés (Katz, 1986).

En la profesión de la odontología se es más propenso a desarrollar lesiones en el sistema musculoesquelético, siendo las más comunes el dolor muscular en la espalda, en los hombros y en el cuello (Díaz-Caballero, Gómez-Palencia y Díaz-Cárdenas, 2010; Leggat, Kedjarune y Smith, 2007). Existen en la literatura diferentes estudios en los que se remarca este problema. Schirzaei et al., en el año 2015 evaluaron los factores ergonómicos y las posturas que causan dolor en estudiantes de odontología. Realizaron un cuestionario analizando el sexo, si son activos o no y la severidad del dolor mediante el método REBA (Rapid Entire Body Assessment), encontrando que el 80,8% de los participantes no eran conscientes de las posturas ergonómicas correctas para la práctica odontológica. La severidad del dolor musculoesquelético con el grupo de los odontólogos fue de un 15,9% frente al 10,5% que experimentaron los controles (Shirzaei et al., 2015).

Khan et al., (2013) observaron que las mujeres odontólogas reportaron un número más elevado de síntomas que los hombres, siendo el cuello con un 82% y la zona lumbar con un 64%, los problemas músculo-esqueléticos con una mayor prevalencia (Khan y Yee Chew, 2013). Sin embargo, otro estudio realizado solo en mujeres reportó que las regiones con mayor prevalencia de síntomas musculoesqueléticos son el cuello, seguidos de la zona dorsal y las extremidades superiores (Aminian et al., 2012).

Díaz-Caballero et al. (2010) llevaron a cabo un estudio en alumnado de odontología mediante la realización de un cuestionario analizando el conocimiento de los factores ergonómicos y se evaluó la presencia de dolor mediante la palpación de los músculos. Descubrieron que la adopción de determinadas posturas, tales como flexiones exageradas o torsión de las cervicales, pueden generar una mayor frecuencia de dolor muscular en estudiantes de odontología (Díaz-Caballero, Gómez-Palencia y Díaz-Cárdenas, 2010).

Estos problemas musculoesqueléticos se podrían reducir siguiendo alguna de estas estrategias; una adecuada ergonomía a la hora de trabajar tanto de la posición del doctor como la del paciente, descansos regulares programados, buena salud general, el uso de equipamiento ergonómico y realizar ejercicio físico específico para fortalecer musculatura (Khan y Yee Chew, 2013; Gupta, Ankola y Hebbal, 2013).

Un estudio piloto llevado a cabo por Gijbels et al. (2005) analizó mediante un cuestionario varios problemas derivados de la profesión de la odontología. Así mismo, se analizaron también problemas de audición y pérdida sensorial en los dedos en un pequeño grupo de dentistas en Bélgica. Se realizaron audiometrías en los dos oídos y se realizaron test sensoriales en los dedos de la mano dominante y la mano no dominante con relación al tiempo expuesto al ultrasonido. Encontraron que, los problemas musculoesqueléticos en la parte baja de la espalda son referidos por un 54% de los profesionales, problemas de visión por un 52,3%. También se hallaron niveles de estrés de 7 (en una escala de 0 a 10), así como infecciones en un 9%, alergias en un 5%, disminución de la sensibilidad en las huellas en un 6%, y problemas de audición en un 19,6% (Gijbels et al., 2005).

Otro estudio encontró que la dermatitis en las manos, los problemas musculoesqueléticos y los síntomas respiratorios son más comunes en mujeres que en hombres (Kerosuo, 2009). La dermatitis de manos y dedos es atribuida a problemas de la calidad del aire o por contacto con sustancias químicamente activas en relación con las medidas higiénicas, tratamientos u otras actividades que se desarrollan en la clínica dental (Jacobsen, Aasenden y Hensten-Pettersen, 1991), siendo la mayoría irritativas (Vangveeravong et al., 2011; Jacobsen, Aasenden y Hensten-Pettersen, 1991). Los guantes de látex per se pueden inducir dermatitis en los profesionales dentales, así como también en los pacientes, en los que suele acompañarse de reacciones sistémicas tales como urticaria, úlceras en la mucosa, o reacciones dermatológicas en la piel (Vangveeravong et al., 2011). Estas reacciones también pueden asociarse con el uso de anestesia local, material de ortodoncia u otros biomateriales (Jacobsen, Aasenden y Hensten-Pettersen, 1991).

En cambio, otro artículo encontró una asociación entre la dermatitis en las manos en el personal de la clínica y la edad, el asma, la frecuencia del lavado de manos y el uso de guantes, pero no con el sexo (Lönnroth et al., 1998). La sensación de dedo blanco (ausencia de riego en los dedos) aumenta con la edad entre el personal de la clínica. En este sentido, la sensación de picazón o pinchazos en los dedos se asoció con el sexo, siendo 3,5 veces más común en mujeres que en hombres (Lönnroth et al., 1998). En cambio, el entumecimiento de los dedos y

el dolor en ellos se asocia más con los dentistas que con el personal auxiliar (Lönnroth et al., 1998).

1.1.2 Patologías en las manos

El síndrome del túnel carpiano (CTS) es un problema importante en salud laboral, particularmente en trabajos que requieren de muchas repeticiones y fuerza en las manos (Silverstein, Fine, y Armstrong, 1987). Este síndrome es una afección en la cual existe una presión excesiva en el nervio mediano (Jesenšek Papež et al., 2009b). La tendinitis del tendón flexor es una de las causas más comunes de la compresión del nervio mediano (Bargiel et al., 2021), debido al incremento presión en el túnel carpiano causado por edema (Jesenšek Papež et al., 2009a).

Los síntomas del CTS depende de la duración y el grado de la compresión del nervio mediano (Bargiel et al., 2021). Los primeros síntomas afectan la sensibilidad de las fibras nerviosas, pero si la compresión persiste, se produce un daño en las fibras nerviosas (Jesenšek Papež et al., 2009b). Puede provocar entumecimiento, hormigueo, debilidad, o daño muscular en la mano y los dedos (Alhusain et al., 2019), también puede cursar con dolor y parestesia de aparición nocturna al principio, pudiendo agravarse y desarrollarse también por el día (Bargiel et al., 2021). Es más frecuente en mujeres, personas blancas con obesidad y pacientes con diabetes mellitus y artritis reumatoide (Tseng et al., 2012).

En cuanto a la prevalencia del CTS en la población general, hay autores que la encuentran en un rango de 1-2% (Haghighi et al., 2013), mientras que otros autores la encuentran entre un 3 y un 6% (Atroshi et al., 1999; Ferry et al., 1998). En los odontólogos tiende a ser más común en la mano dominante, comparado con la población general (Hamann et al., 2001). Un estudio realizado en higienistas dentales en Estados Unidos encontró una prevalencia del 56% de padecer CTS (Lalumandier et al., 2001), y otros estudios realizados en dentistas encontraron una prevalencia de CTS del 11% en Australia (Leggat y Smith, 2006) y del 17% en Irán (Khosrawi et al., 2012).

Los signos clínicos y síntomas por sí solos no son suficientes para confirmar el diagnóstico. En este sentido, test electrodiagnósticos como la electromiografía (EMG) son necesarios, pero son caros y crean discomfort (Jesenšek Papež et al., 2009b). El análisis de la EMG en profesionales de la odontología ha mostrado que el 17,5 % de los participantes fueron diagnosticados de disminución de la velocidad de conducción del nervio mediano, de los que el 10% había reportado tener síntomas clínicos del CTS (Haghighi et al., 2013) .

Otra patología que comúnmente afecta a las manos es el **síndrome de Raynaud** (RP por Raynaud Phenomenon), el cual fue descrito por Maurice Raynaud en 1962, y puede ser definido como un desorden clínico caracterizado por vasoespasmos paroxísticos en las arterias de los dedos de las manos o los pies (Schlager et al., 2010b). Se caracteriza por cambios de color episódicos en los dedos de las manos o en los pies expuestos al frío (Anderson et al., 2007) o al estrés emocional (Pauling et al., 2012; Horikoshi et al., 2016). Estos cambios de color se dan en tres fases cromáticas: blanco, cianótico y rubor en las extremidades distales después de la exposición al frío y su posterior recuperación. En la mayoría de los casos, no hay enfermedades subyacentes (Block y Sequeira, 2001; Wigley, 2002).

Los episodios se suelen asociar con dolor, disminución sensorial y función motora deteriorada (Pauling et al., 2012; Schlager et al., 2010b). Puede ocurrir de manera aislada (Síndrome de primario RP) o asociados a otra enfermedad (secundario RP) (Pauling et al., 2012). Tanto el RP primario como el secundario manifiestan los síntomas vía vasoespasmos de las pequeñas arterias y arteriolas de los dedos, reduciendo el flujo de sangre, y resultando en una disminución de la temperatura en los dedos (Lim et al., 2014; Schlager et al., 2010b).

La frecuencia, la duración y la severidad de los ataques de RP están intrínsecamente asociados con la efectividad de las estrategias adoptadas por los pacientes para evitar las condiciones responsables de los ataques (Pauling et al., 2012). Las estrategias más comúnmente utilizadas por los pacientes son evitar fumar ya que causa una bajada de la temperatura de la piel por la contracción de los vasos sanguíneos, lo cual puede producir un ataque; hacer ejercicio ya que se aumenta la circulación de la sangre entre otros beneficios para la salud; controlar el estrés para aprender a reconocer y evitar situaciones de estrés; evitar los cambios bruscos de temperatura evitando cambiar de un ambiente cálido a uno refrigerado o con aire acondicionados (Joven et al., 2008).

Los dedos de las manos que con más frecuencia se ven afectados por el RP son el índice, el corazón y el anular (Heslop, Coggon y Acheson, 1983). El pulgar no se suele ver afectado por este síndrome (Heslop, Coggon y Acheson, 1983). Los pacientes con síndrome de Raynaud reportan tener las manos más frías que los controles en verano, siendo el dedo más afectado el que suele tener la temperatura más baja (Gardner-medwin et al., 2001). La termografía infrarroja se utiliza para el diagnóstico del RP por ser un método no invasivo, la cual permite realizar estudios de la temperatura de los dedos de la mano para detectar desórdenes vasculares (Pauling et al., 2012).

El **síndrome de vibración mano-brazo (HAVS)** está provocado por un progresivo y excesivo tiempo de exposición a la vibración (Vardasca, Ring y Plassmann, 2012). Trabajadores expuestos a la vibración en las manos durante su jornada laboral (ya sean martillos neumáticos, material rotatorio, maquinaria, etc.) pueden experimentar varios desórdenes: vascular, neurológico o musculoesquelético en la mano, pero no todas las frecuencias, magnitudes o duración de la vibración causan los mismos efectos (Vardasca, Ring y Jones, 2012). El HAVS suele afectar a las manos y se caracteriza por el cierre episódico completo de los vasos sanguíneos del dedo (Vardasca, Ring y Jones, 2012), cursando con entumecimiento, y el dedo afectado se torna de color blanco por la falta de riego sanguíneo (Harada, 2002; Poole, Elms y Mason, 2006) y espasmos (Vardasca, Ring y Jones, 2012; Poole, Elms y Mason 2006).

La prevalencia de este síndrome según Azmir et al., es de entre un 15-30% en los profesionales expuestos a la vibración (Azmir et al., 2016). En cambio, otro artículo estimó la prevalencia entorno a un 2,5% hasta un 80% dependiendo de la duración, magnitud y tipo de vibración expuesta, así como de factores climáticos. Es menos común en climas cálidos y más frecuente en climas templados (Su et al., 2012).

1.2 Anatomía de la mano

Las manos son las partes más distales de los miembros superiores que están adaptadas para realizar infinidad de movimientos gracias a la acción de numerosos músculos insertados a los huesos y a los ligamentos que le sirven de sujeción (Hirt et al., 2016; Llusá, Meri, y Ruano, 2003; Doyle y Botte, 2003). Están localizadas en los extremos de los antebrazos, son prensiles y tienen cinco dedos cada una. Abarcan desde la muñeca hasta la yema de los dedos, la parte más distal de la falange (Hirt et al., 2016). Las manos tienen dos superficies, la superficie palmar (anterior) y la dorsal (posterior), y dos bordes, el radial (borde medio de la mano) y el ulnar (borde lateral de la mano) (Jones y Lederman, 2007).

1.2.1 Huesos de la mano

Cada mano está compuesta por 27 huesos: 8 huesos del carpo, 5 metacarpianos en la palma, uno en la dirección de cada uno de los dedos y 14 falanges que forman los dedos; 2 en el pulgar y 3 en el resto de dedos, que reciben el nombre de proximal, media y distal (Jones y Lederman, 2007). Los huesos de la mano están divididos en tres partes (Llusá, Meri y Ruano, 2003):

1. Carpo

Está formado por ocho huesos cortos dispuestos en 2 hileras transversales, una proximal y otra distal (Doyle y Botte, 2003; Llusá, Meri y Ruano, 2003; Hoppenfeld, DeBoer y Buckley, 2010; Hirt et al., 2016) (Figura 1). La proximal se compone de los huesos: escafoide, semilunar, piramidal y pisiforme. La distal se compone de los huesos: trapecio, trapezoide, grande y ganchoso.



Figura 1. Huesos carpianos. Imagen tomada del Manual y atlas fotográfico de anatomía del aparato locomotor (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

2. Metacarpo:

Constituye el verdadero esqueleto de la región palmar. Está formado por cinco huesos largos llamados metacarpianos (Doyle y Botte, 2003; Llusá, Meri y Ruano, 2003; Hoppenfeld, DeBoer y Buckley, 2010; Hirt et al., 2016). Estos huesos conectan la parte distal del carpo con las distintas falanges y se componen de un cuerpo, dos epífisis (una proximal, que recibe el nombre de base; y una distal que recibe el nombre de cabeza del metacarpiano) y el cuello que es la parte más estrecha y une la cabeza con la base (Llusá, Meri y Ruano, 2003) (Figura 2).

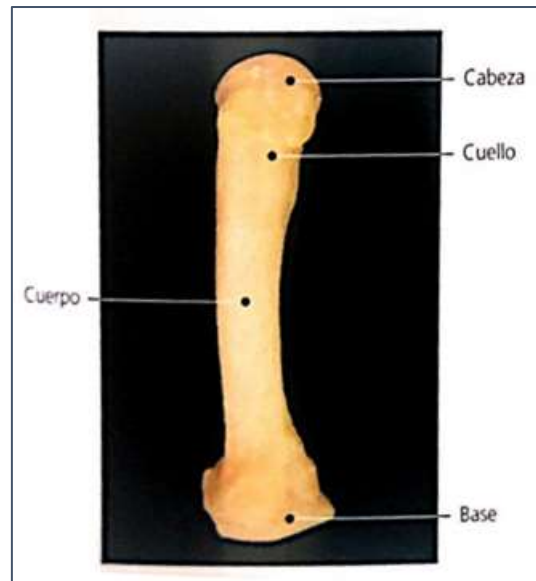


Figura 2. Partes del metacarpo. Imagen tomada del manual y atlas fotográfico del aparato locomotor (Llusá, Meri y Ruano, 2003)

3. Falanges

Las falanges son también huesos largos. Hay tres falanges en cada dedo, excepto en el pulgar que solo tiene dos (Doyle y Botte, 2003; Llusá, Meri y Ruano 2003; Hoppenfeld, DeBoer y Buckley, 2010; Hirt et al., 2016). Estas reciben el nombre de: falange proximal, falange media, falange distal (Jones y Lederman, 2007) (Figura 3).

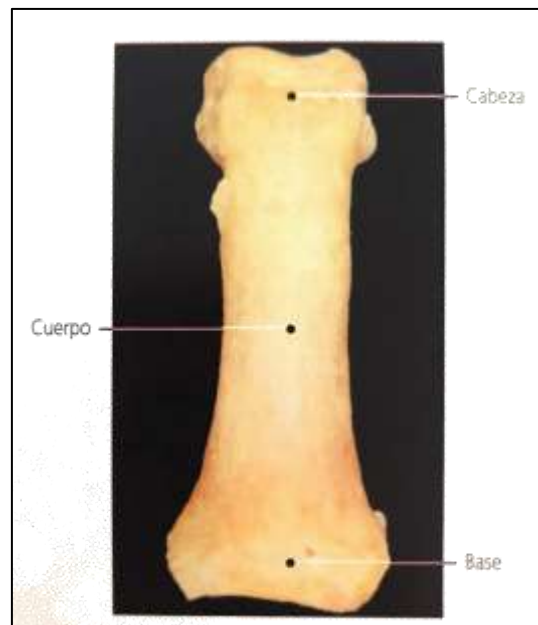


Figura 3. Visión volar de la falange proximal. Imagen tomada del manual y atlas fotográfico del aparato locomotor (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

La falange proximal articula su base con la cabeza del metacarpiano correspondiente y su cabeza con la base de la falange media (Doyle y Botte, 2003). A los lados de su cabeza tiene unos tubérculos para la inserción de los ligamentos colaterales de la articulación interfalángica proximal. La base de la falange media se articula con la cabeza de la falange proximal, donde se inserta el tendón del músculo flexor superficial de los dedos (II-V), mientras que la cabeza se articula con la base de la falange distal. También posee dos eminencias para la inserción de los ligamentos colaterales de la articulación interfalángica distal (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

En la base de la falange distal se inserta el tendón del músculo flexor profundo de los dedos (II-V), mientras que la cabeza es la tuberosidad de la falange distal. En la falange del pulgar se inserta el músculo flexor largo del pulgar. Cada dedo posee un nombre propio, los dedos son: pulgar (I), índice (II), medio o corazón (III), anular (IV), y meñique (V) (Doyle y Botte, 2003; Llusá, Meri y Ruano, 2003; Hoppenfeld, DeBoer y Buckley, 2010) (Figura 4). Los huesos sesamoideos se localizan un par en la cabeza del primer metacarpiano y otro, en el 80% de los casos, se encuentra delante de la cabeza del quinto.

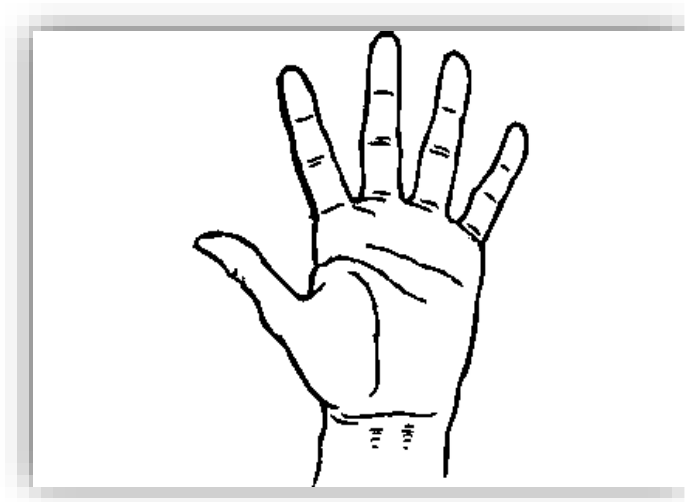


Figura 4. Visión palmar de la mano.

1.2.2 Músculos y tendones de la mano

Todos los músculos de la mano son palmares (Doyle y Botte, 2003). Dorsalmente solo encontramos los tendones de los músculos extensores y la fascia dorsal de la mano, que es la continuación de la fascia antebraquial en la región posterior. Se diferencia la fascia superficial dorsal, subcutánea, y una fascia profunda dorsal o interósea, cubriendo los interóseos

dorsales. Entre ambas pasan los tendones de los músculos extensores (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

Los músculos de la palma de la mano se dividen en tres regiones (Hoppenfeld, DeBoer y Buckley, 2010):

1. Aponeurosis palmar o región palmar media.
2. Musculatura tenar.
3. Musculatura hipotenar.

1. La aponeurosis palmar o región palmar media:

La aponeurosis palmar es una vaina fibrosa resistente debajo de la piel de la palma de la mano. Es continuación del tendón del músculo palmar menor, que se ensancha distalmente desde el borde distal del retináculo flexor para cubrir el área central de la palma de la mano entre las eminencias tenar e hipotenar (Llusá, Meri y Ruano, 2003) (Figura 5). A nivel de las bases de los dedos, se divide en cuatro bandas, una para cada dedo. A nivel del pliegue palmar distal, estas bandas se dividen en dos y discurren hacia los dedos para insertarse en las bases de las falanges proximales y las vainas flexoras fibrosas (Hoppenfeld, DeBoer y Buckley, 2010).

Se distinguen dos aponeurosis palmares, la profunda se sitúa debajo de los tendones de los músculos flexores, cubriendo la cara volar de los interóseos. La otra es la aponeurosis palmar superficial, es la propiamente dicha aponeurosis palmar que cubre la región media de la mano (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

La aponeurosis palmar media es la más importante, ocupa el espacio comprendido entre las dos eminencias de la mano. Las fibras longitudinales se extienden como un abanico que tiene como vértice la inserción del músculo palmar largo y llegan hasta la cabeza de los metacarpianos, las vainas fibrosas de los tendones de los músculos flexores y, subcutáneamente a la base de las falanges proximales de los dedos II-V (Llusá, Meri y Ruano, 2003). A nivel de los tendones de los músculos flexores, las fibras se condensan formando unas cintas pretendinosas, una para cada dedo trifalángico, adhiriéndose al pliegue cutáneo dígito-palmar (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

Encontramos dos tipos de fibras transversales, unas proximales y otras a nivel de las cabezas de los metacarpianos, donde recibe el nombre de ligamento metacarpiano transversal

superficial. Se pueden distinguir dos tipos de haces: las fibras largas son superficiales y se extienden del segundo al quinto metacarpiano, mientras que las fibras cortas unen los metacarpianos contiguos (Doyle y Botte, 2003). Las fibras transversales se entrecruzan con las longitudinales para reforzar esta región (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Entre las fibras transversas y las longitudinales se forman unos espacios llamados arcos interdigitales, por donde pasan los músculos lumbricales, las arterias y los nervios palmares (Llusá, Meri y Ruano, 2003; Doyle y Botte, 2003).

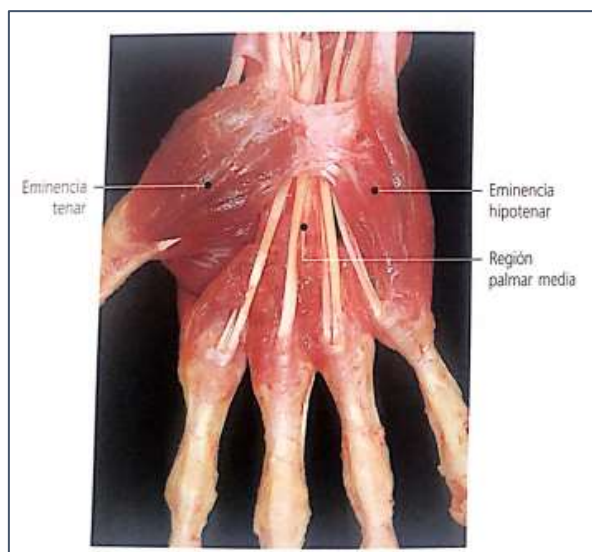


Figura 5. Palma de la mano tras retirar la aponeurosis palmar (Llusá, Meri y Ruano, 2003)

La aponeurosis palmar superficial emite unos tabiques sagitales que separan las tres zonas de la mano, presenta conexiones profundas hacia el primer y el quinto metacarpianos en sus márgenes lateral y medial, dividiendo la mano en tres compartimentos principales: los espacios tenar, hipotenar y palmar (Llusá, Meri y Ruano, 2003). También existen conexiones profundas entre la aponeurosis y los metacarpianos en la zona más distal de mano (Hoppenfeld, DeBoer y Buckley, 2010). Estas aponeurosis tienen como función proteger las estructuras de la mano y actúa en la prensión fuerte.

Los músculos de la región palmar media se sitúan profundos bajo la aponeurosis palmar superficial y de las estructuras vasculonerviosa de la palma de la mano (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Todos ellos tienen inserción en el aparato tensor y en los tendones de los músculos extensores de los dedos. Dentro de la aponeurosis palmar encontramos estos músculos:

- Los **músculos lumbricales** son cuatro, enumerados de radial a cubital (Doyle y Botte, 2003). Todos ellos nacen en los tendones del músculo flexor profundo de los dedos, aproximadamente a nivel del retináculo flexor y se tensan cuando el músculo se contrae. Los

lumbricales I y II se originan en la parte radial del tendón para el dedo índice y para el dedo medio. El III lumbrical lo hace en el borde radial del tendón en el dedo anular y en el medial para el dedo medio (Llusá, Meri y Ruano, 2003). El IV lumbrical lo hace en la zona radial del tendón para el meñique y en la medial del dedo anular. Todos pasan por debajo del ligamento metacarpiano transversal superficial y encima del profundo, dirigiéndose a la parte radial del aparato extensor, donde se insertan.

- Los músculos situados en los espacios intermetacarpianos son los **músculos interóseos**. Se dividen en dorsales y palmares (Doyle y Botte, 2003). Los músculos interóseos dorsales son cuatro y tienen su origen en los espacios interóseos del uno al cuatro. Se insertan en el aparato extensor de los dedos índice en su parte radial, medio en su parte radial y cubital y, en el dedo anular en su parte cubital. Recibe la inervación de nervio cubital y su función es realizar la flexión de la articulación metacarpofalángica y la extensión de la interfalángicas, así como la abducción de los dedos (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Los músculos interóseos palmares tienen su origen en los espacios interóseos del segundo al cuatro. Se insertan en el aparato extensor de los dedos índice en su parte cubital y en el anular y el meñique en su parte radial. Recibe la inervación del nervio cubital y su función es realizar la flexión de la articulación metacarpofalángica y la extensión de las interfalángicas, así como la abducción de los dedos.

2. Musculatura tenar:

Son músculos que están destinados a realizar los movimientos del pulgar. Hay que destacar la disposición peculiar de este dedo respecto a los otros de la mano, situándose unos 45° anterior respecto al segundo metacarpiano (Llusá, Meri y Ruano, 2003). La eminencia tenar está formada por músculos cortos: el abductor corto del pulgar, el flexor corto del pulgar, el oponente del pulgar, y por el abductor del pulgar (Hoppenfeld, DeBoer y Buckley, 2010).

- El **músculo abductor corto del pulgar** se origina en el hueso escafoide y en la parte anteroexterna del retináculo flexor, también suele tener una expansión hacia la vaina fibrosa del tendón del músculo abductor largo del pulgar (Doyle y Botte, 2003). Las fibras se dirigen al tubérculo y cara lateral de la base de la falange proximal del pulgar, al sesamoideo lateral y el aparato extensor, emitiendo algunas fibras del tendón del músculo extensor corto del pulgar. Su principal función es abducir el pulgar, aleja este dedo de la posición anatómica haciendo un arco de movimiento anterior y medial que ayuda a la oposición (Llusá, Meri y Ruano, 2003). La expansión dorsal flexiona la articulación metacarpofalángica y extiende la interfalángica del pulgar.

- El **músculo flexor corto del pulgar** se sitúa oblicuo y medial junto al músculo precedente. Tiene dos fascículos: la cabeza superficial toma origen en el retináculo flexor y en el hueso trapecio. La cabeza profunda nace en los huesos grande y trapezoide (Doyle y Botte, 2003). Entre ambas cabezas pasa el tendón del flexor largo del pulgar. Las fibras se unen en el vientre muscular que se dirige al sesamoideo lateral y a la cara radial de la falange proximal del pulgar. La cabeza profunda puede llegar hasta el sesamoideo medial. Distalmente, el tendón de inserción se fusiona con el abductor corto del pulgar y el aparato extensor (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Es flexor de la articulación metacarpofalángica y extensor, mediante el aparato extensor, de la interfalángica del pulgar, y ayuda en la oposición.

- El **músculo oponente del pulgar** es pequeño y se sitúa bajo el abductor corto del pulgar, siendo difícil su diferenciación (Doyle y Botte, 2003). Se origina en el retináculo flexor y en la cresta del hueso trapecio. Sus fibras se dirigen oblicuas buscando inserción en la cara radial del primer metacarpiano, donde se enrolla ligeramente. Actúa oponiendo el pulgar: aduce, rota y dirige el pulpejo de este dedo hacia los otros posibilitando el movimiento de pinza (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

- El **músculo abductor del pulgar** es el más profundo y medial de esta región, cubriendo los dos primeros espacios interóseos por la cara volar (Doyle y Botte, 2003). Está formado por dos fascículos: la cabeza transversa que se origina en la cara anterior del tercer metacarpiano y en la base del segundo, y la cabeza oblicua que nace en la cara anterior de los tres primeros huesos radiales de la hilera distal del carpo, sobre todo del trapezoide y el hueso grande, así como el ligamento radiado del carpo que los cubre (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Entre los dos fascículos se forma un hiato por donde pasa el arco arterial palmar profundo y la rama del nervio cubital. Está innervado por la rama profunda del nervio cubital. Su función es la aducción, flexión de la articulación metacarpofalángica y leve rotación medial del pulgar.

Los tres están innervados por el nervio mediano a través de su rama motora, que penetra en la eminencia entre el abductor corto y el flexor. El flexor corto del pulgar también recibe innervación del nervio cubital para su cabeza profunda (Hoppenfeld, DeBoer y Buckley, 2010). Esta doble innervación explica por qué en clínica, una parálisis completa del nervio mediano no necesariamente produce un aplanamiento completo de la eminencia tenar, debido a que la voluminosa cabeza profunda del flexor corto del pulgar no se atrofia (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

3. Musculatura hipotenar:

La eminencia hipotenar está formada por tres músculos: el abductor del dedo meñique, el flexor del dedo meñique y el oponente del dedo meñique (Hoppenfeld, DeBoer y Buckley, 2010). Estos músculos son inervados todos por la rama profunda del nervio cubital.

- El **músculo abductor del meñique** tiene una forma aplanada y es el más voluminoso de esta región (Doyle y Botte, 2003). Se origina en el hueso piriforme, en el ligamento pisiunciforme, en las expansiones del tendón del flexor cubital del carpo y en el retináculo flexor. Sus fibras distales se dirigen y se insertan en la articulación metacarpofalángica, en la cara cubital de la base de la falange proximal y en el aparato extensor del meñique (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Su función es abducir el dedo meñique, debido a que se inserta en el aparato extensor, flexiona la articulación metacarpofalángica y extiende las interfalángicas del meñique, lo que lleva a considerarlo funcionalmente como un interóseo.

- El **músculo flexor corto del meñique** se sitúa medial respecto al músculo anterior. Se origina en la apófisis unciforme del hueso ganchoso y en el retináculo flexor (Doyle y Botte, 2003). Los haces musculares son oblicuos en dirección medial. Alcanzando la base cubital de la falange proximal mediante un tendón que se confunde con el del abductor del meñique. Su función es flexionar la articulación metacarpofalángica y, secundariamente, ya que comparte tendón con el músculo abductor del meñique, extiende las articulaciones interfalángicas (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

- El **músculo oponente del meñique** es el más profundo de esta región (Doyle y Botte, 2003). Se sitúa bajo el músculo flexor corto del meñique siendo difícil su diferenciación. Nace en la apófisis unciforme del hueso ganchoso, en el ligamento pisiunciforme y en el retináculo flexor. Sus fibras discurren profundas a las del flexor corto y se enrollan en la cara cubital de la cabeza y diáfisis del quinto metacarpiano (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Su función es abducir y flexionar, con un pequeño componente de rotación lo que permite la oposición del meñique con el pulgar, provocando el ahuecamiento de la mano.

- Superficial a los músculos de la eminencia hipotenar se sitúa el **músculo palmar corto**, el cual está formado por una serie de fascículos transversales situados paralelamente (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Se originan en el borde cubital de la aponeurosis palmar y en el retináculo flexor. Es el único músculo inervado por la rama superficial del nervio cubital. Su función se reduce a contraer la piel a la que se adhiere y proteger el paquete vasculonervioso cubital (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

1.2.3 Aparato extensor y ligamentos cutáneos de los dedos

El **aparato extensor** es el nombre que se da a la trama de tendones de los músculos intrínsecos de la mano, extensor de los dedos y extensores propios (del índice, meñique y pulgar) (Doyle y Botte, 2003). Las inserciones de la musculatura permiten dos movimientos básicos, el de extensión de los dedos (musculatura larga o extrínseca); y la flexión de las articulaciones metacarpofalángicas y la extensión de las interfalángicas (musculatura corta o intrínseca). A nivel de la articulación metacarpofalángica, el aparato extensor emite una pequeña inserción media en sentido oblicuo y distal que se fija en la cápsula articular y en la base de la falange proximal. A nivel del tercio medio de la falange proximal el tendón extensor se divide en tres bandeletas, dos laterales y una central (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

Los músculos interóseos se insertan en el tubérculo lateral de la falange proximal y emiten fibras hacia el aparato extensor, y por esa razón participan de la extensión de las articulaciones interfalángicas (Doyle y Botte, 2003). En la región dorsal del aparato extensor se forma una cubierta aponeurótica, llamada lámina transversa supratendinosa o cofia de los interóseos (Llusá, Meri, y Ruano, 2003). El tendón terminal interóseo se divide en dos fascículos denominados bandoleta central intrínseca y bandoleta lateral intrínseca. El sistema reticular está formado por la lámina transversa, los ligamentos reticulares oblicuo y transverso y la lámina triangular (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

- Tendones:

Los ligamentos cutáneos de los dedos tienen una función importante en la protección del paquete vasculonervioso digital propio y en la transmisión de tensión entre los movimientos de los dedos y la piel (Doyle y Botte, 2003). Los más importantes son:

- El **ligamento notorio**: se localiza en las comisuras de los dedos, rodeando el paquete vasculonervioso digital propio (Llusá, Meri y Ruano 2003). Sus fibras transversas aparte de la protección, limita la abducción de los dedos (Martí et al., 2015).
- El **ligamento de Cleland**: está formado por cuatro tabiques fibrosos laterales (Llusá, Meri, y Ruano, 2003). El primero se origina entre la mitad distal de la falange proximal y el tercio proximal de la falange media. El segundo tabique se desprende de la bandoleta lateral del aparato extensor, base de la falange media y placa volar, y de la vaina fibrosa de los músculos flexores (Martí et al., 2015). El tercer tabique se origina en la porción lateral de la cabeza de la falange media y cápsula articular de la articulación interfalángica distal, así como de la vaina fibrosa de los músculos flexores

(Martí et al., 2015). El cuarto tabique se origina en la articulación interfalángica distal y en la base de la falange distal, dirigiendo sus fibras hacia la fascia profunda del pulgar (Martí et al., 2015).

- El **ligamento de Grayson**: es volar y se origina en la vaina fibrosa de los músculos flexores (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Pasa anteriormente respecto al paquete vasculonervioso digital. Sus fibras se dirigen oblicuas, la porción proximal hacia distal y a la inversa (Martí et al., 2015). Forman los pliegues palmares de las articulaciones interfalángicas.

1.2.4 Vascularización

La **arteria radial** emite una pequeña rama que se dirige a la red anterior del carpo, es la rama palmar del carpo o arteria transversa anterior del carpo. A nivel del escafoides se desprende una rama palmar superficial, que atraviesa la eminencia tenar y se dirige a anastomosarse con la arteria cubital para formar el arco palmar superficial (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Este arco se sitúa entre la aponeurosis palmar y los tendones de los músculos flexores de los dedos.

La arteria radial propiamente dicha, rodea el hueso trapecio y se vuelve dorsal atravesando el primer músculo interóseo dorsal y entra de nuevo en la mano para emitir dos ramas: la rama dorsal del carpo, que se anastomosa con la rama dorsal que emite la arteria cubital y con la arteria interósea posterior para formar la red dorsal del carpo (Doyle y Botte, 2003). La otra rama es la arteria dorsal del pulgar que desciende por la cara dorsal de este dedo.

La **arteria cubital**, al llegar a la epífisis distal del cúbito, emite dos ramas (Doyle y Botte, 2003). La rama palmar del carpo nace en el borde distal del músculo pronador cuadrado y se anastomosa con su homónima de la arteria radial para formar la red arterial anterior del carpo. Una vez ha entrado la arteria cubital en la palma de la mano se configura el arco palmar superficial, fusionándose con la rama palmar superficial de la arteria radial (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Por su parte, el arco palmar profundo se compone de la arteria radial y la rama palmar profunda que emite la arteria cubital cerca del hueso ganchoso.

El **arco palmar superficial** emite unas arterias digitales palmares comunes que se sitúan en cada espacio interóseo (Llusá, Meri y Ruano, 2003). A nivel de las articulaciones metacarpofalángicas, a excepción del pulgar, se dividen en arterias digitales palmares propias, distribuyéndose una a cada lado hasta el pulpejo de los dedos (Figura 6).

El **arco palmar profundo** emite unas ramas, las arterias digitales palmares que se distribuyen en los espacios intermetacarpianos (Llusá, Meri y Ruano, 2003). El dedo pulgar tiene una arteria propia que se desprende de este arco profundo, la arteria radial, que entra en la palma de la mano atravesando el primer interóseo dorsal. Esta se distribuye por la cara flexora del pulgar.

En la región volar de los dedos hay cuatro comunicaciones entre las arterias digitales palmares propias (Doyle y Botte, 2003). Estas anastomosis se realizan mediante cuatro arterias digitales transversas: la proximal se desprende a nivel de la cabeza del metacarpiano; la interfalángica lo hace cerca de la articulación interfalángica proximal; la media en el cuello de la falange media; y, finalmente, la distal corresponde a la terminación de las arterias digitales palmares propias en el pulpejo de los dedos (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

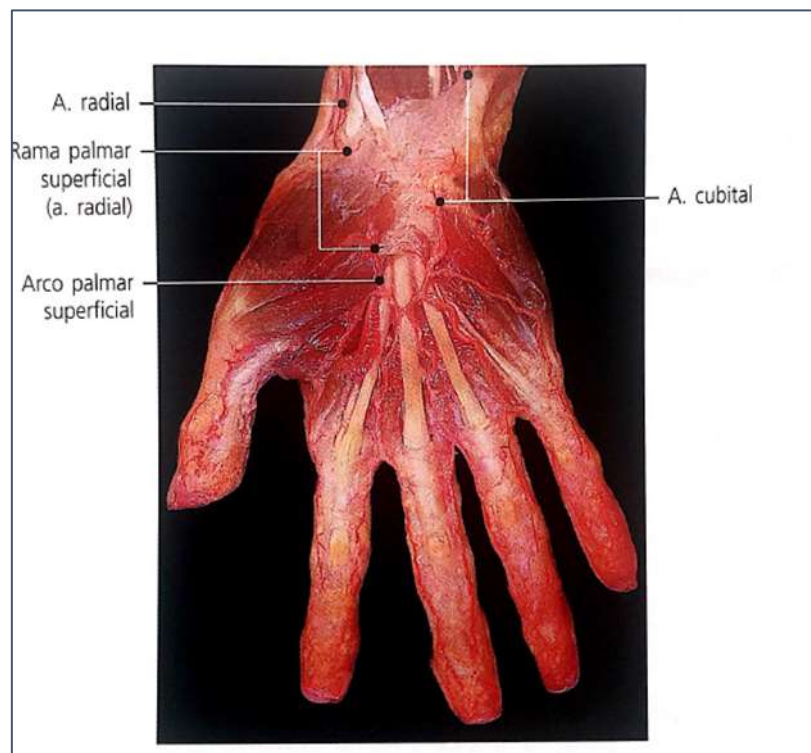


Figura 6. El arco palmar superficial es un ejemplo de anastomosis arterioarterial entre las arterias radial y cubital. Imagen tomada del Manual y atlas fotográfico de anatomía del Aparato locomotor (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

1.2.5 Inervación

Existen dos estructuras nerviosas en la palma de la mano, la rama profunda del nervio cubital y la arteria radial, que tienen recorridos que no siguen el concepto de planos. La forma en que recorren la muñeca y la mano vincula al resto de la anatomía (Hoppenfeld, DeBoer y Buckley, 2010). El **nervio mediano o medial** es un nervio terminal del plexo braquial del que se

distinguen dos partes. La raíz medial que es la encargada de inervar la musculatura intrínseca de la mano, y la raíz lateral que aporta fibras motoras para los músculos del antebrazo y las fibras sensitivas (Llusá, Meri y Ruano, 2003). El nervio interóseo antebraquial anterior se sitúa profundo, entre el músculo flexor profundo de los dedos y el flexor largo del pulgar, a los cuales inerva (Doyle y Botte, 2003). En el músculo flexor profundo de los dedos, inerva los fascículos que controlan los dedos II- III, mientras que los otros serán inervados por el nervio cubital. El trayecto sigue el eje del antebrazo hasta situarse por debajo del pronador cuadrado, al cual inerva, y alcanzando la capsula articular de la muñeca. Cuando llega al tercio distal se sitúa medial respecto a los tendones del flexor radial del carpo y flexor largo del pulgar; y lateral respecto a los del flexor superficial de los dedos y palmar largo (Llusá, Meri y Ruano, 2003). En esta zona emerge la rama palmar del nervio mediano, se localiza 3-4 cm proximal respecto a la muñeca y saliendo por el lado radial del nervio, atraviesa la fascia antebraquial y se divide en dos ramas que inervan la piel, una para la zona anterolateral de la palma de la mano (eminencia tenar) y otra para la zona media de la palma.

El nervio mediano, cuando llega a la muñeca, se introduce en el túnel carpiano. Muchas veces emite ramas musculares a la eminencia tenar dentro del túnel, pero lo más común es encontrar una rama recurrente en el lado radial con ramos musculares a la salida del túnel carpiano que se coloca entre las fibras de la cabeza superficial del flexor corto del pulgar y el abductor corto del pulgar, a los cuales inerva. Esta rama se hace profunda e inerva también al músculo oponente del pulgar (Doyle y Botte, 2003). Asimismo, emite ramas para los músculos lumbricales I-II a través de los nervios digitales comunes.

A la salida del túnel carpiano, se originan distintas ramas que forman los nervios digitales palmares comunes. Estos son sensitivos y se ubican en los espacios interóseos I-III para luego ramificarse en cada uno de ellos, a nivel de la cabeza de los huesos metacarpianos, en dos nervios digitales palmares propios o colaterales (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Estas son ramas terminales que llegan hasta el pulpejo de los dedos. Se reparten de la siguiente manera: de cada nervio común salen dos ramas que se dirigen cada una a un dedo diferente próximo. La zona que inervan es, por un lado, la de los dedos I-III y mitad del IV, por su cara palmar y por otro lado, la región de las falanges distal y media de los dedos II-III y mitad posteroradial del IV, gracias a las ramas dorsales (Llusá, Meri y Ruano, 2003).

El **nervio cubital** en la zona medial del antebrazo se sitúa a unos 5 cm de la muñeca (Doyle y Botte, 2003). Este nervio emite dos ramas: la primera se dirige dorsalmente bajo el músculo flexor cubital del carpo para inervar la piel de la mitad cubital posterior de la mano, la rama

dorsal del nervio cubital (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Esta se divide en los nervios digitales dorsales que inervan los dedos IV-V y la mitad cubital del III. Anteriormente, sale la rama palmar del nervio cubital y al llegar a la muñeca se vuelve a dividir en dos ramas (Doyle y Botte, 2003), una rama superficial que da al nervio digital palmar común del cuarto espacio, que es una rama que se divide, a nivel de la cabeza de los metacarpianos del cuarto espacio interóseo, en los nervios digitales palmares propios. Estos nervios sensitivos se encargan de la inervación de la piel del dedo V y mitad cubital del IV por su cara palmar y dorsal (Llusá, Meri y Ruano, 2003). La rama profunda es motora y da la inervación a todos los músculos de la eminencia hipotenar. Después discurre transversalmente por las estructuras profundas de la mano junto con el arco arterial palmar profundo.

El nervio cubital penetra en la mano superficial al retináculo flexor en el interior del canal de Guyon. Allí se divide en las ramas superficial y profunda (Marins et al., 2014). La rama superficial emite los nervios digitales y se sitúa en el mismo plano que el arco palmar profundo. La rama profunda desciende a través de las capas de la mano, pasando entre las dos cabezas del oponente del dedo meñique para situarse sobre los interóseos en el mismo plano que la arteria radial (Doyle y Botte, 2003). Allí da la inervación a todos los interóseos los dos lumbricales más cubitales, ambas porciones del abductor del pulgar, los tres músculos hipotensores y la cabeza profunda del flexor corto del pulgar (Hoppenfeld, DeBoer y Buckley, 2010) (Figura 7).

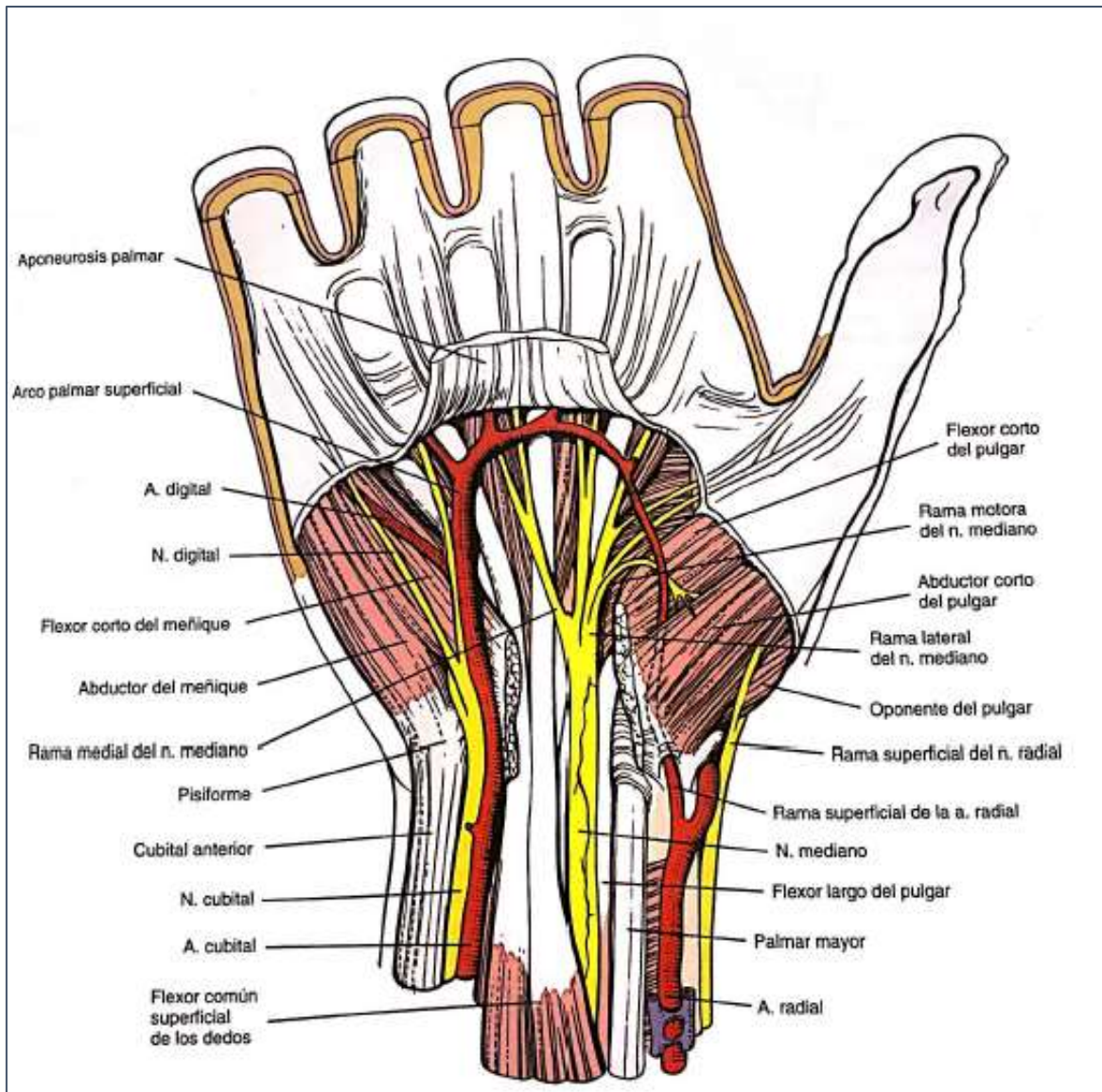


Figura 7. Imagen de la mano exponiendo el arco palmar arterial superficial. Imagen tomada del libro de Abordajes de Cirugía Ortopédica Hoppenfeld y Boer.

El **nervio radial**, al llegar a unos 5 cm por encima de la muñeca, atraviesa la fascia antebraquial y se vuelve superficial y dorsal (Llusá, Meri y Ruano, 2003). Sale entre el borde posterior del musculo braquiorradial y los tendones de los músculos extensores radiales del carpo. Acaba en varias ramas terminales sensitivas llamadas nervios digitales dorsales, que inervan el dorso de la piel hasta la articulación interfalángica proximal de los dedos I-II y la mitad de III (Llusá, Meri y Ruano, 2003). También se encuentra la rama comunicante con el nervio cubital en el dorso de la mano.

1.3 Termografía infrarroja

En la asistencia sanitaria, predominantemente en el campo de la medicina, métodos no invasivos como la termografía infrarroja se utilizan desde hace décadas para el estudio de la

circulación de la piel, por ejemplo, en la piel de las manos y los pies (Ring y Ammer, 2012). La termografía infrarroja mide temperaturas superficiales y en el caso del cuerpo humano la temperatura de la piel. La primera aplicación médica de la radiación infrarroja fue en 1956 (Vardasca et al., 2014). Desde entonces, la tecnología ha evolucionado, siendo más asequible y fácil de usar. Además, la resolución, el tamaño de la imagen y la portabilidad se han mejorado y como consecuencia, actualmente es un método reconocido, útil, y no invasivo en la práctica clínica (Fernandes et al., 2016; Priego Quesada et al., 2015).

Si la técnica se realiza siguiendo un protocolo riguroso, la interpretación de los resultados puede ser de utilidad a la hora de diagnosticar algunas enfermedades, o monitorizar la reacción fisiológica de los pacientes al estrés térmico, mecánico o químico (Sousa et al., 2017a). La termografía dinámica consiste en estudiar el proceso de recuperación de la temperatura de la piel tras un estrés térmico de frío o de calor, y ha sido referenciada como metodología de utilidad para la evaluación de algunas patologías (Pascoe et al., 2012).

De entre las ventajas de la termografía se destacan que es un método no invasivo y que se puede usar a distancia, es decir, sin interacción entre el medio ambiente y el sujeto, lo que hace que no interfiera en la termorregulación humana (Priego Quesada et al., 2015). Tiene una gran aplicabilidad ya que se usó satisfactoriamente en neurología, accidentes vasculares, enfermedades reumáticas, oncología, desórdenes dermatológicos, neonatales, oftalmológicos y cirugía, entre otras aplicaciones (Jones, 1998).

Los humanos somos seres homeotérmicos (Bommadevara y Zhu, 2002) capaces de generar y regular los niveles de la temperatura interna para sobrevivir (Marins et al., 2014). Por ejemplo, en una situación de aumento de la temperatura interna, se envía una señal neuronal para activar métodos de pérdida de calor tales como, vasodilatación, sudor, exhalación, y reducción del índice metabólico (Vardasca y Simoes, 2013). Esto es importante para mantener la homeostasis, que se define como un estado relativamente constante del cuerpo, guardando las funciones y la composición de fluidos y tejidos (Ring y Ammer, 2012). Cambios en la temperatura corporal de más de unos grados puede ser un indicador de disfunción (Vardasca y Simoes, 2013), y variaciones de temperatura bruscas pueden afectar al proceso fisiológico del cuerpo (Marins et al., 2014). La piel es el órgano más largo del cuerpo humano, envuelve todas las estructuras y actúa como una interfaz con el medioambiente, aislando al cuerpo humano. La piel a su vez contiene termorreceptores que juegan un papel muy importante en la termorregulación humana (Vardasca y Simoes, 2013). Es por este motivo que es importante diferenciar entre temperatura interna o corporal y temperatura externa o periférica. La

temperatura interna hace referencia a la cavidad abdominal, torácica y craneal, mientras que la temperatura externa o superficial hace referencia a la temperatura de la piel, del tejido subcutáneo y los músculos (Lim, 2020). La temperatura periférica es un indicador importante de los requisitos de intercambio de calor del cuerpo (Tansey y Johnson, 2015). La temperatura periférica suele ser alrededor de 4 °C más baja que la temperatura interna y se mide comúnmente en la piel de manos y pies (Tansey y Johnson, 2015). Por ejemplo, aumentos localizados de temperatura de la piel sugieren la existencia de anomalías como la fibrosis, inflamación, e infección, que causan la aparición de manchas calientes o patrones asimétricos en la imagen termográfica (Vardasca y Simoes, 2013; Vardasca et al., 2014).

La termografía infrarroja permite estudiar diferentes regiones del cuerpo al mismo tiempo según el objetivo que tenga el evaluador (Fernandes et al., 2016). Además, tiene una alta sensibilidad, precisión y reproducibilidad si el estudio está realizado de acuerdo a una buena metodología (Priego Quesada et al., 2015). Como limitaciones se encuentran que el precio de las cámaras ha ido disminuyendo con los años, pero aun así las cámaras con más alta definición siguen siendo caras (Vardasca y Simoes, 2013). Se necesita entrenamiento específico por parte del usuario para controlar los diferentes factores que pueden afectar a las mediciones, la variabilidad entre usuarios es alta y existen factores que pueden afectar a las medidas tales como, el ángulo y la distancia entre la cámara y la región a estudiar, la emisividad, la temperatura ambiental, la humedad, etc. (Ring y Ammer, 2012). El tiempo requerido para analizar las imágenes termográficas es elevado ya que los softwares del análisis de las imágenes requieren conocer muy bien la técnica y entrenar la experiencia de usuario para no cometer errores (de Andrade Fernandes et al., 2014).

También es importante recordar que la termografía se usa normalmente para calcular la temperatura superficial, y en este sentido, se necesita conocimiento acerca tanto de la transferencia del calor como de la termofisiología para establecer hipótesis lógicas y poder interpretar así los resultados térmicos (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b; Fernandes et al., 2016).

1.3.1 Transferencia del calor

El **calor** es energía en movimiento que pasa de un cuerpo caliente a un cuerpo frío, su unidad es el Julio (J). J/s o Watio son las unidades que se usan para medir el flujo de calor por unidad de tiempo (Priego Quesada, 2017). La temperatura es la medida de la energía interna de los cuerpos (Parsons, 2007). Esta se puede medir en diferentes escalas, en grados Celsius, Kelvin o Fahrenheit. La que más se usa comúnmente es la escala Celsius, la escala Fahrenheit es usada

en el mundo anglosajón y la escala Kelvin es la que se usa internacionalmente y se le llama absoluta (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b).

La transferencia de calor que ocurre cuando dos cuerpos están a diferentes temperaturas se llama flujo de calor (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). En cambio, cuando dos cuerpos tienen la misma temperatura se dice que hay un equilibrio térmico (Vardasca et al., 2012). Cuando un cuerpo tiene una temperatura constante puede ser debido a que la temperatura ambiente es la misma que la del cuerpo, o porque existe un constante aporte de calor al cuerpo que lo mantiene en una temperatura constante a pesar de la temperatura ambiente (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). La conducción, la convección, la radiación y la evaporación son los mecanismos que explican la transferencia de calor:

- a) **Conducción:** se llama conducción a la transferencia de calor por el contacto entre dos cuerpos sólidos a diferente temperatura (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). La ley de Fourier es la que mide la cantidad de transferencia de calor que se transfiere por conducción (Salazar, 2018). En el cuerpo humano, la conducción se produce entre diferentes estructuras del cuerpo y también entre el cuerpo y la ropa (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). En las extremidades, la conducción es principalmente dependiente del gradiente de temperatura entre el músculo y la piel y la capacidad térmica del músculo (Gonzalez-Alonso, 2012).
- b) **Convección:** se llama convección a la transferencia de calor por el contacto de un cuerpo sólido con un líquido o un elemento gaseoso (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). El intercambio de calor por convección entre el cuerpo y un fluido nos lo da la ley de Newton y depende del gradiente de temperatura, de la superficie de contacto entre los dos cuerpos y del coeficiente de transferencia de calor por convección, que está determinado por la densidad, la capacidad de calor, la conductividad térmica y la velocidad del fluido (Cramer et al., 2016). En el cuerpo humano, la convección podría explicarse por la disipación del calor debido al flujo de la sangre que sale del corazón y transmite calor cuando pasa a lo largo de la piel (Cramer y Jay, 2016b). Esta transferencia de calor es especialmente importante cuando el cuerpo lo sumergimos en agua, ya que se considera que el 100% de calor se pierde por convección por el contacto entre la piel y el agua (Tansey y Johnson, 2015).
- c) **Radiación:** se llama radiación a la transferencia de calor de un cuerpo por la emisión de radiación electromagnética (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). De acuerdo con la ley de Stefan-Boltzmann, todos los objetos con temperatura por encima del 0

absoluto (0 K o $-273,16^{\circ}\text{C}$) emiten radiación electromagnética; esto indica que la energía irradiada es proporcional a cuatro veces la temperatura del objeto. Además, los objetos absorben la energía electromagnética emitida por el medioambiente (Tansey y Johnson, 2015).

El cuerpo humano es capaz de emitir más calor por radiación del que es capaz de absorber, debido a que el medioambiente o el entorno es más frío (Vardasca y Simoes, 2013). La radiación es la transferencia de calor que detecta la termografía, mientras la conducción y la convección son importantes en los protocolos usados en termografía (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Esto es debido a que la conducción y la convección podrían afectar a la temperatura de la piel, y de esa manera a la radiación humana (Tortora y Graboswki, 2003). La radiación térmica es la radiación emitida por la temperatura del cuerpo humano, y está en el rango de radiación infrarroja en el espectro electromagnético (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b).

- d) **Evaporación:** ocurre cuando el calor transforma un líquido en un gas. Aproximadamente el 70% del cuerpo humano se compone de agua, una cierta cantidad de agua se pierde a través de la piel, membranas mucosas y respiración. La cantidad de evaporación está directamente relacionada con la humedad relativa del aire (Vardasca y Simoes, 2013). Cuanto mayor sea la humedad relativa menor será la tasa de evaporación. En una situación de una humedad relativa del 100% el calor podría ser obtenido por el cuerpo a través de la condensación del agua en la piel tan rápido como el calor es perdido por evaporación (Vardasca y Simoes, 2013). En un cuerpo desnudo en condiciones de reposo, acerca del 22% de la pérdida de calor ocurre por evaporación (Tortora y Graboswki, 2003).

1.3.2 Espectro electromagnético y radiación infrarroja

La radiación electromagnética es una forma de energía que puede propagarse o viajar a través del vacío (es decir, a diferencia de otras formas de energía que se conocen, no necesita un medio material para transmitirse) (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Aunque también puede propagarse por medios materiales como el aire, el agua u otros, es en el vacío donde la radiación electromagnética viaja con mayor eficiencia y velocidad. La radiación electromagnética consiste en la combinación de los campos eléctricos y magnéticos, que se propagan a través del espacio transportando energía. Las ondas son movimientos o modificaciones (perturbaciones) oscilatorias (de vaivén) de alguna magnitud que se propagan en una determinada dirección (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). La onda

electromagnética puede ser definida como la propagación de la vibración de campos eléctricos y magnéticos que juntos forman un ángulo de 90° (Figura 8). El **espectro electromagnético** es la distribución energética de las ondas electromagnéticas, que vienen determinadas por su longitud y frecuencia (Vardasca y Simoes, 2013).

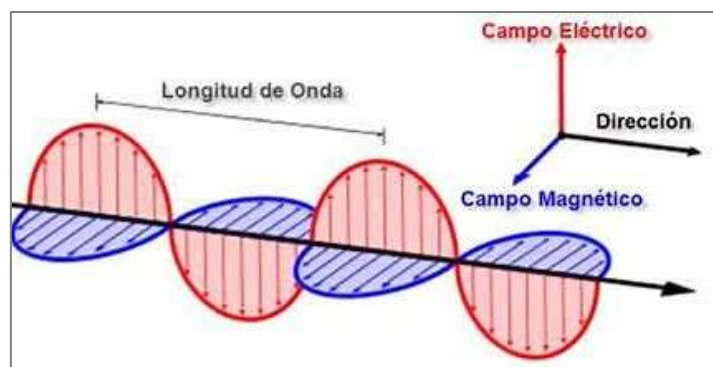


Figura 8. Representación de una onda electromagnética. Imagen tomada de areatecnologia.com.

La *longitud de onda* es el periodo espacial de la onda, que es la distancia entre dos puntos con idéntica oscilación, medida en metros, micrómetros, nanómetros, etc. La *frecuencia* mide la cantidad de oscilaciones por unidad de tiempo y su unidad es s^{-1} (Hz). Aunque la energía electromagnética siempre se desplaza a la misma velocidad en el vacío, las ondas electromagnéticas se diferencian unas de otras en su frecuencia y en su longitud de onda (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b) (Figura 9). De hecho, esa velocidad (c) puede describirse mediante una sencilla expresión que relaciona las tres magnitudes y que sirve para cualquier onda electromagnética:

$$\lambda = \frac{c}{\gamma}$$

c = velocidad de la luz en el vacío
 λ = longitud de onda
 γ = frecuencia

Figura 9. Relación entre la longitud de onda y la frecuencia. Donde λ es la longitud de onda, c es la velocidad de la luz =3,108 m/s) y γ es la frecuencia.

Se puede observar que, a una mayor frecuencia, la longitud de onda disminuye. El espectro electromagnético es una representación de la distribución de frecuencias de todas las ondas electromagnéticas (Vardasca y Simoes, 2013). Con relación a un cuerpo, el espectro electromagnético es toda la radiación electromagnética que es emitida (espectro de emisión) y absorbida (espectro de absorción) (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Las frecuencias

de las ondas son enormemente variables, desde el tamaño de una partícula subatómica hasta el de una ciudad, de modo que las energías asociadas a ellas también lo son. Al rango de variación de las frecuencias de las ondas electromagnéticas se le llama espectro electromagnético y es tan amplio que las ondas electromagnéticas se clasifican en varios tipos, porque sus efectos son muy diferentes (Vardasca y Simoes, 2013). Para los diferentes tipos de radiación, se han desarrollado diferentes tipos de técnicas de imagen en el campo de la medicina, desde los rayos X o la resonancia magnética (Hildebrandt, Raschner, y Ammer, 2010). La radiación en la que se va a enfocar este apartado es la radiación infrarroja (Figura 10).

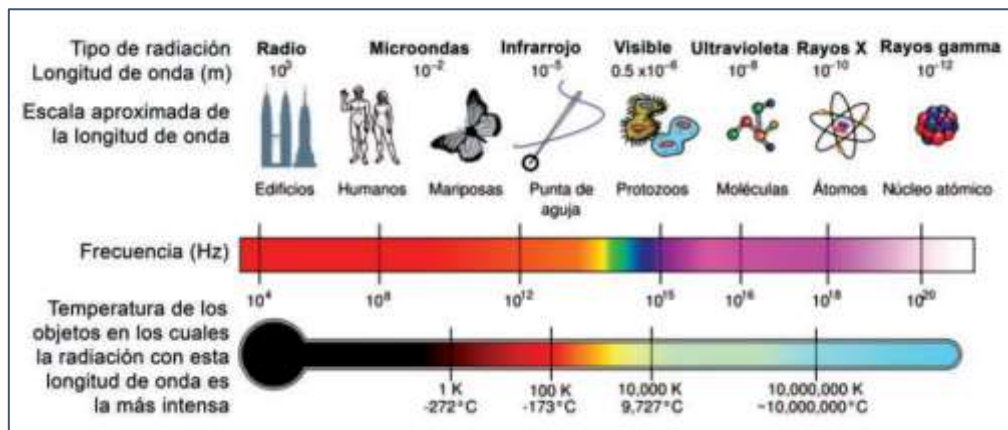


Figura 10. Representación del espectro electromagnético. Imagen tomada del Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico de la Wikipedia.

Esta radiación se conoce como radiación térmica, y su rango de longitud de onda oscila de 760 nm a 1mm. Se le conoce así, porque existe una relación entre la temperatura y la radiación infrarroja (Parsons, 2007). Es importante entender que los cuerpos con temperatura elevada son capaces de emitir otros tipos de radiación (visible o también UV), y los cuerpos se calientan durante la absorción de su radiación (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Sin embargo, en cuerpos en los que la temperatura es cercana a la de su entorno, la energía radiada proviene de la longitud de onda infrarroja del espectro electromagnético.

Por otro lado, el espectro infrarrojo se clasifica normalmente en tres rangos: cercano, medio y lejano (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). La principal razón de esta división es porque los objetos emiten más radiación en un rango que en otro (Hildebrandt, Raschner y Ammer, 2010). El cuerpo humano emite la mayoría de su radiación en el infrarrojo lejano. Por eso existen cámaras específicas para ver diferentes longitudes de onda (Vollmer y Möllmann, 2017). Las cámaras con detectores para el infrarrojo lejano son las más comúnmente usadas porque registran más cuerpos, incluyendo al cuerpo humano.

1.3.3 Leyes físicas de la radiación infrarroja

Las leyes físicas de la radiación infrarroja y su relación con la temperatura están basadas en la teoría del cuerpo negro. Gustav Kirchhoff introdujo este concepto en 1860, definiéndolo como un objeto teórico o ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Ninguna radiación es reflejada o es capaz de pasar a través de un cuerpo negro, el cual tiene una superficie y temperatura uniforme y es un emisor ideal de radiación electromagnética (Vollmer y Möllmann, 2017). Un cuerpo negro se caracteriza por tener estas tres propiedades:

- a) Todo cuerpo negro absorbe toda la radiación infrarroja, independientemente de la longitud de onda y la dirección de la radiación.
- b) Para una temperatura y longitud de onda específica, no hay superficie que pueda emitir más energía que un cuerpo negro.
- c) La radiación emitida por un cuerpo negro depende de su longitud de onda.

Sin embargo, un cuerpo negro se puede sustituir con gran aproximación por una cavidad con una pequeña abertura (Vardasca y Simoes, 2013) (Figura 11). La energía radiante incidente a través de la abertura, es absorbida por las paredes en múltiples reflexiones y solamente una mínima proporción escapa (se refleja) a través de la abertura (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Podemos por tanto decir, que toda la energía incidente es absorbida.

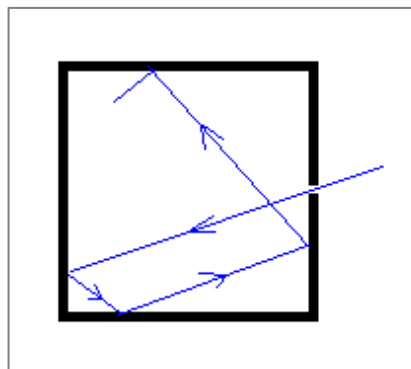


Figura 11: Concepto de cuerpo negro. Imagen tomada del Libro Application of infrared thermography in sport science, 2017.

Actualmente, existen instrumentos electrónicos conocidos como fuente de cuerpos negros que son instrumentos con una estable y exacta temperatura superficial, con una alta emisividad que son configurados con una temperatura específica de emisión (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). En la superficie de un cuerpo negro, toda la energía incidente desde el exterior

es absorbida, y toda la energía incidente desde el interior es emitida (Vardasca y Simoes, 2013) (Figura 12).

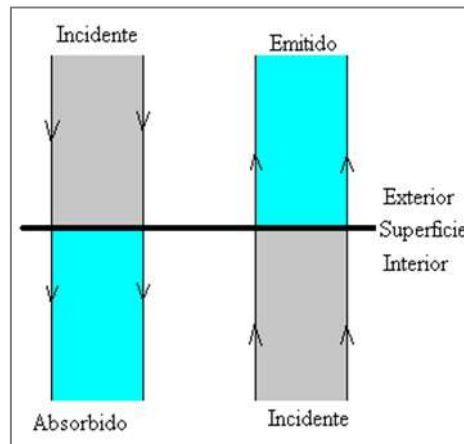


Figura 12: Ejemplo gráfico de cómo incide la radiación en el cuerpo negro. Imagen tomada de la web www.sc.ehu.es/sbweb/fisica.

1.3.4 Termorregulación

La termorregulación es definida como la respuesta que tiene el cuerpo con el objetivo de mantener la temperatura interna aproximadamente a 36 o 37°C (Hanna y Tait, 2015; Vardasca y Simoes, 2013). Fuera de ese intervalo algunas actividades funcionales pueden verse comprometidas (Marins et al., 2014). La termorregulación puede verse afectada por diversos factores tales como el ambiente externo y algunas enfermedades (Tortora y Derrickson, 2018; Gatt et al., 2015). La temperatura es diferente en cada individuo. En el cuerpo humano la temperatura varía según el sexo, la hora del día, temperatura ambiente, cuando se experimenta emociones intensas (pánico, éxtasis, depresión, asombro, alerta, ira), cuando se realiza ejercicio intenso o se consume sustancias psicoactivas. Es por ello, que el ser humano posee un sistema de control que permite responder a estas modificaciones en la temperatura corporal (Vardasca y Simoes, 2013).

El hipotálamo es el centro termorregulador y sus tareas se dividen en crear mecanismos que generen pérdida y ganancia de calor (Charkoudian, 2016). La zona funcional que se encarga del mantenimiento de calor se localiza en la zona posterior del hipotálamo, mientras que la zona que se encarga de la pérdida es mediada por la región anterior (Tansey y Johnson, 2015). Este órgano funciona como un termostato. Los termorreceptores se encuentran distribuidos a lo largo de todo el cuerpo; internamente toman la temperatura de los órganos y periféricamente toman la temperatura debajo de la dermis (Charkoudian, 2003; 2016; Taylor, Tipton y Kenny, 2014). Cualquier cambio en la temperatura es comunicado vía sistema nervioso hasta el centro

controlador formado por un grupo de neuronas en la parte anterior del hipotálamo, conocida como región preóptica (Romanovsky, 2014). Esta zona es la que recibe los impulsos nerviosos de los termorreceptores, membranas mucosas y otras áreas del hipotálamo. Estos impulsos se propagan estableciendo una serie de respuestas que reducen o aumentan la temperatura corporal (Charkoudian, 2016; Nakamura, 2011).

Cuando el sistema sensorial reconoce una disminución de la temperatura corporal, los impulsos nerviosos se envían a la zona preóptica, lo que a su vez activa el centro promotor del calor a través de la producción de hormonas que activan los mecanismos de ganancia de calor tales como: vasoconstricción (disminución del flujo sanguíneo caliente), escalofríos (contracciones musculares y estiramiento), y un lento aumento de la tasa de metabolismo (Vardasca y Ring, 2010; Vardasca y Simoes, 2013; González-Alonso, 2012; Tansey y Johnson, 2015). Si se percibe un aumento de la temperatura interna, los termorreceptores enviarán señales nerviosas a la zona preóptica, lo que genera hormonas que inhiben el centro promotor del calor y activa el centro de pérdida de calor (Vardasca y Ring, 2010; Vardasca y Simoes, 2013; González-Alonso, 2012; Tansey y Johnson, 2015; Hanna y Tait, 2015), lo que a su vez activa los mecanismos de disminución de la temperatura corporal como la vasodilatación y la estimulación de las glándulas sudoríparas que activan la transpiración a través del sistema nervioso simpático (Tortora y Derrickson, 2018).

El ser humano produce energía térmica de forma constante gracias al trabajo muscular y a la transformación de energía proporcionada por el alimento. El metabolismo es el conjunto de procesos que convierte el alimento en energía (Tansey y Johnson, 2015). Cuando los alimentos son ingeridos, algunas células desencadenan una serie de procesos que permite reducirlos a nutrientes más sencillos para poder ser asimilados (Caron y Richard, 2017), lo que le proporciona energía para efectuar las diversas funciones corporales (Tansey y Johnson, 2015). Por esta razón, la adquisición de energía mediante el consumo de alimentos debe ser por lo menos el necesario para vivir, un déficit o exceso en estas cantidades energéticas ocasiona variaciones en el ritmo metabólico del cuerpo.

Existen factores que afectan a la termorregulación y a la temperatura del cuerpo; factores externos y factores internos. Los factores externos incluyen variables climáticas como la temperatura, la radiación, el viento y la humedad (Hanna y Tait, 2015). Estas influencias son moderadas por la ropa y el área de superficie de la piel expuesta (Priego Quesada et al., 2015; Aoyagi, McLellan y Shephard, 1997). La intensidad de la actividad física es otro factor que afecta a la temperatura interna, ya que aumenta la tasa metabólica basal y la generación de

calor y eleva la temperatura central (Akimov y Son'kin, 2011; Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017a; Formenti et al., 2013). Las mujeres, debido a su ciclo menstrual, presentan oscilaciones de temperatura interna entre 0,2 y 0,4°C (Tortora y Graboswki, 2003). Las temperaturas internas persistentemente elevadas conducen al daño de las proteínas y a la liberación y activación de proteínas protectoras de choque térmico, que a su vez inhiben la tasa metabólica basal (Cheung, 2015). La edad, la enfermedad y algunos medicamentos influyen negativamente en los mecanismos fisiológicos involucrados en la termorregulación, como la sudoración y la capacidad cardíaca (Cheung y McLellan, 1998). La producción de energía térmica se estima cuando la persona se encuentra en el llamado estado basal cuyas características son (Guyton, 1984):

- No se ha realizado ejercicio durante los últimos 60 minutos.
- No se ha consumido alimento durante las últimas 12 horas.
- El sistema nervioso se encuentra en relativo reposo.
- El clima del entorno es cómodo.

Siempre que se ponen en contacto térmico dos cuerpos cuyas temperaturas son diferentes existirá transferencia de energía calórica hasta que ambos posean la misma temperatura; esta transferencia siempre se da desde el cuerpo que se encuentra a mayor temperatura hacia el cuerpo que se encuentra a menor temperatura (Vardasca y Simoes, 2013).

El calor no es algo que el cuerpo posee, es algo que éste cede o gana (Tansey y Johnson, 2015); es otra forma de energía que puede medirse en términos del efecto que causa, usualmente se define en términos de los cambios producidos en la temperatura de un cuerpo (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b; Vardasca y Simoes, 2013). Cuando la sensación térmica que tiene el cuerpo es de calor, necesita bajar su temperatura interna. Para ello, el centro que permite aumentar la transferencia de calor del cuerpo se estimula, (Vardasca, Restivo y Mendes, 2018; Vardasca y Simoes, 2013; Tansey y Johnson, 2015; Hanna y Tait, 2015; Vardasca et al., 2012) produciendo los siguientes mecanismos:

- a) **Vasodilatación:** se dilatan los vasos sanguíneos como consecuencia del aumento de la temperatura en el cuerpo, ya que permite que las moléculas se separen y ocupen mayor espacio. Esto además, aumenta la cantidad de sangre caliente que fluye desde el interior del cuerpo incrementando la presión sanguínea y transmitiendo calor al medio exterior con mayor rapidez (Hanna y Tait, 2015), lo cual permite disminuir la

temperatura corporal, y producir una dilatación de los vasos dando lugar a un enrojecimiento de la piel donde existe mayor flujo y transferencia de calor corporal (Vardasca y Simoes, 2013). Los poros de la piel también se dilatan para permitir mayor transferencia de calor a través de ellos, y además se estimulan las glándulas sudoríparas a través de los nervios simpáticos originando el sudor (Charkoudian, 2003).

- b) **Sudor:** La sudoración contribuye a la disminución de temperatura corporal puesto que está compuesta principalmente por agua; contiene electrolitos (principalmente sodio, cloro y potasio), junto con otras partículas en mucha menor medida tales como: lactato, urea, amonio, proteínas y péptidos (Hanna y Tait, 2015). En el ser humano la sudoración tiene un efecto refrigerante; al estimularse las glándulas sudoríparas, los poros de la piel se abren y permiten la salida de agua con sales minerales, y en el momento que el líquido caliente sale por el poro se origina la evaporación (Hildebrandt, Raschner y Ammer, 2010; Cramer y Jay, 2016a).

El líquido que sigue saliendo forma gotas de sudor que bañarán la piel. La piel que se encuentra a una temperatura mayor, acelera las moléculas de agua reposadas en ella, transmitiendo calor por conducción y permitiendo que algunas se evaporen, lo que disminuye la temperatura del cuerpo (Vardasca y Simoes, 2013). El efecto de la sudoración termina cuando el estímulo de “pérdida de calor” cesa (Vardasca y Simoes, 2013; Priego Quesada, 2017); si se dejan las gotas de sudor sobre la piel, ésta seguirá transmitiendo calor hasta evaporarlas.

La humedad del medio ambiente es un factor importante en la disminución de la temperatura por medio del sudor (Vardasca y Simoes, 2013); cuando el aire se encuentra saturado con vapor de agua la tasa de evaporación del sudor disminuye. Esto ocurre en mayor medida en climas húmedos y calientes (Hanna y Tait, 2015; Charkoudian, 2003; Hailes et al., 2016) como la amazonia colombiana donde la humedad relativa en épocas de lluvia es de 88% y en épocas de sequía 77%. Junto con la vasodilatación, la producción de sudor es crucial para la termorregulación ya que ayuda a la disipación del calor excesivo (Hanna y Tait, 2015). De hecho, la producción y posterior evaporación del sudor son los mecanismos principales del cuerpo para perder calor (Ring y Ammer, 2015).

Cuando las temperaturas del medio circulante son muy bajas, la transferencia de calor por la piel es alta, por lo que se debe incrementar la producción de energía térmica para alcanzar las mismas cifras y así mantener la regularidad en la temperatura corporal (Hanna y Tait, 2015;

Tansey y Johnson, 2015). En contraste a los mecanismos mencionados en el apartado anterior, ante situaciones de descenso de temperatura el cuerpo debe promover la conservación y producción del calor de la siguiente manera:

- a) **Escalofrío:** es un acto que se desencadena después de una sensación de frío notada por la piel, esto ocurre cuando la medida de la temperatura tomada por el sensor es demasiado baja en comparación a la del medio interno (Vardasca y Simoes, 2013). El hipotálamo envía señales mediante impulsos nerviosos para que los músculos empiecen movimientos involuntarios, lo cual aumenta la temperatura corporal rápidamente (Charkoudian, 2016; Taylor, Tipton y Kenny, 2014). Cabe aclarar que, en varios casos, cuando la diferencia de temperatura no es tan alta este movimiento de los músculos pasa sin ser percibido por el ser humano, ya que, se produce poca energía térmica para mantener la regularidad. Cuando el movimiento del músculo se hace notorio y brusco, es indicio de que el cuerpo necesita producir grandes cantidades de energía térmica para mantenerse estable (González-Alonso, 2012; Madden y Morrison, 2019).
- b) **Vasoconstricción:** El frío estimula contracción de los vasos cutáneos, evitando así la disipación de calor (Vardasca y Simoes, 2013). Al estimularse la zona de producción de energía térmica, los vasos sanguíneos se contraen para reducir el paso de sangre “caliente” hacia la piel lo que permite usarla en los órganos vitales (Cheshire, 2016). Esta disminución del flujo sanguíneo permite que la temperatura en la piel disminuya y por lo tanto la transferencia de calor del cuerpo al medio (Charkoudian, 2016; Tansey y Johnson, 2015; Hanna y Tait, 2015). Cuando la temperatura del cuerpo no se puede regular, el cuerpo reduce ostensiblemente el paso de sangre a las extremidades, produciendo incluso que éstas puedan perder su funcionalidad, gangrenarse o su pérdida total (Tansey y Johnson, 2015).

Termorregulación en la mano:

Dado que la piel es el órgano predominante en la mano, y ya que (en comparación con el tejido muscular) sólo se requiere una pequeña cantidad de sangre para satisfacer los requisitos de oxígeno de los tejidos, la circulación juega un papel mayoritario en la termorregulación (Hanna y Tait, 2015). El alto flujo sanguíneo cutáneo en la mano debido a la vasodilatación resulta en un aumento en la temperatura de la piel (Jones y Lederman, 2006). Esto altera el gradiente de temperatura entre el cuerpo y su entorno, y produce una pérdida de calor acelerada de la piel. En un ambiente cálido la cantidad de enfriamiento de la sangre a medida

que pasa a través de la mano es mínima, y el aumento en el flujo sanguíneo ocurre sin mucha pérdida de calor (Priego Quesada, 2017).

La pérdida de calor por evaporación en las manos, sin embargo, puede ser considerable (Yang, 1983). Debido al gran número de glándulas sudoríparas que se encuentran en la piel palmar de las manos y los pies, grandes cantidades de calor se pierden por la sudoración, y como resultado las extremidades pueden tener una temperatura superficial más baja que otras regiones del cuerpo (Jones y Lederman, 2006). En consecuencia, hay mayores fluctuaciones en las respuestas térmicas a las alteraciones de la temperatura ambiental, especialmente en las yemas de los dedos (Zontak et al., 1998). Por lo tanto, la microcirculación manual desempeña un papel importante en la termorregulación a través de una rica inervación simpática de pequeñas venas que facilitan la disipación o conservación del calor (Jones y Lederman, 2006). La regulación de la temperatura en las manos se logra principalmente mediante vasoconstricción y vasodilatación de los vasos sanguíneos cutáneos (Vardasca y Simoes, 2013; Charkoudian, 2016; Bach et al., 2015b). Durante el estrés por frío, el flujo sanguíneo de la piel se reduce, lo que conduce a una disminución en la temperatura de la piel y la conservación del calor en la temperatura corporal (Cavalheiro et al., 2016; Pauling et al., 2011).

Las causas comunes del aumento de los valores de temperatura de las manos pueden ser: artritis, trauma, infección, hiperemia reactiva (causada por estrés frío, estrés cálido y alcohol), tendosinovitis, dermatitis, fractura ósea, artritis reumatoide y osteoartritis (Yang, 1983; Rodríguez Medina et al., 2018; Jacobsen, Aasenden y Hensten-Pettersen, 1991; Lowe et al., 2019; Frize et al., 2011; Shibkov et al., 2020; Salazar, 2018). El efecto contrario, disminución de las temperaturas de las manos, pueden tener causas como: lesiones neurogénicas, oclusión arterial, diabetes, efecto del tabaquismo, lesiones cutáneas viejas (tejido cicatricial), trastornos vasculares, acrocitocianosis, neuropatía diabética, arteriosclerosis, lupus diseminado, síndrome del túnel carpiano, algodistrofia de Sudek, dermatomiositis, y esclerodermia (Vardasca y Ring, 2010; Baic et al., 2017; Haghighat et al., 2012; Niehof et al., 2006; Khandoker et al., 2017; Schuhfried et al., 2000; Silverstein, Fine, y Armstrong, 1987; Høiland, de Weerd y Mercer, 2014; Clifford et al., 1980; Charkoudian, 2003; Kerosuo, 2009).

1.4. Metodología de la termografía infrarroja en humanos

La termografía se ha usado en medicina desde 1960 (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017a). La termografía se caracteriza por el uso de una cámara que puede detectar radiación y producir imágenes térmicas llamadas termogramas. (Ammer, Ring y Ammer, 2021). Estos termogramas contienen datos de temperatura que se analizan en softwares específicos,

proporcionando la temperatura de una región de interés del cuerpo o ROI (Bach et al., 2015). La termografía es una técnica rápida para medir la temperatura, es versátil, no invasiva, sin cables y no requiere tener un contacto directo con el individuo (Fernández-Cuevas et al., 2015a; Marins et al., 2015). La selección de ROIs permite la evaluación de la distribución de temperatura en distintas regiones, por lo que permite realizar estudios que requieran un análisis de distintas áreas simultáneamente (Fournet et al., 2013). Además, los termogramas permiten visualizar las áreas calientes y frías de cada región (Moreira et al., 2017a) .

Sin embargo, la termografía también tiene algunas limitaciones inherentes relacionadas con la metodología en la toma de registros en humanos que pueden actuar como factores de confusión, y por lo tanto influyen en los resultados térmicos (Fernández-Cuevas et al., 2015a; De Andrade Fernandes et al., 2014). Por ejemplo, la distancia de la cámara a la persona evaluada y la temperatura de la sala pueden afectar a los resultados térmicos. En este sentido numerosas publicaciones que utilizan la termografía adecuan la temperatura de la sala en un rango de entre 18 °C a 25 °C, pero sin variaciones entre medidas de más de 1 o 2 °C (Fernández-Cuevas et al., 2015a; Priego Quesada et al., 2015; Coughlin et al., 2001; Gold, Cherniack y Buchholz, 2004; Bovenzi, 1987; Bargiel et al., 2021; Jesenšek Papež et al., 2009b; Baic et al., 2017). Con el objetivo de prevenir y mejorar la calidad de los datos, diferentes organizaciones han propuesto sus propios protocolos y guías de control de calidad (Ammer, 2008; IACT, 2002; Mercer et al., 2009.; Ring y Ammer, 2012; Schwartz, 2006). Siguiendo estas guías y publicaciones los aspectos metodológicos más importantes para realizar estudios termográficos en humanos son:

- Reducir el error de medición de la cámara termográfica.
- Reducir la variabilidad en las medidas de la temperatura de la piel entre participantes.
- Aumentar la reproductibilidad de las medidas.

1.4.1 Determinación de las regiones de interés

Definir las regiones de interés es uno de los pasos más importantes para diseñar un estudio termográfico (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Se ha de definir antes de empezar el estudio ya que puede afectar a otros aspectos como la posición del cuerpo durante la adaptación térmica de la sala o la posición de la cámara (Vardasca y Simoes, 2013; Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). El tamaño de la imagen es dependiente de la distancia entre la cámara y el paciente y la longitud focal de la lente de la cámara termográfica (Ring, 1975; Priego Quesada, Kunzler y Carpes 2017b; 2017a). Debido a que el tamaño de la región

afecta a los resultados obtenidos (Priego Quesada et al., 2015), para reducir el error, se recomienda un mínimo de 25 píxeles y la cámara debe colocarse lo más cerca posible de la ROI (Mercer et al., 2009). Las lentes normalmente se fijan en la mayoría de sistemas médicos, por lo que es una buena práctica mantener una distancia constante del paciente a la cámara, para conseguir una ROI reproducible y comparable con otros estudios (Ring, 1975).

El protocolo Glamorgan fue publicado en 2008 con el propósito de estandarizar determinadas áreas o regiones de interés en estudios termográficos, presentando la definición de 90 diferentes ROIs (Ammer, 2008). La diferencia en la temperatura de la piel entre diferentes regiones es debido a la composición del tejido, la actividad muscular y la capacidad de sudoración, por eso estos factores han de ser tenidos en cuenta a la hora de determinar las áreas a estudiar (Bach et al., 2015). Existen algunos artículos que defienden el uso de un software con ROI automáticas (Fournet et al., 2013), otros defienden el uso de métodos matemáticos como el Tmax, pero estos software no son accesibles para todos los usuarios y debido a este motivo una de las estrategias más utilizadas para definir las ROIs son las proporciones anatómicas o segmentos del cuerpo (Priego Quesada et al., 2015; Hildebrandt, Raschner y Ammer, 2010).

Algunas recomendaciones a la hora de elegir las ROIs son (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b):

- Poner la cámara lo más cerca posible de la región, para captar el mayor número de píxeles en la imagen termográfica.
- Cuando el objeto del estudio lo permita, usar ROIs grandes en vez de ROIs pequeñas, lo cual reducirá el efecto de los puntos calientes.
- Reducir el aspecto subjetivo de la delimitación de las ROIs lo máximo posible, usando softwares automáticos, marcadores en la piel o realizar la delimitación usando referencias anatómicas.
- Para delimitar las ROI tener en cuenta factores como la composición del tejido, la actividad muscular y la capacidad de sudoración.

1.4.2 Aspectos metodológicos de la cámara y espacio donde se realiza el estudio

La elección de la cámara es un aspecto importante a la hora de realizar un estudio mediante termografía (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017a). Las consideraciones clave de cualquier cámara termográfica incluyen: el campo de visión (tamaño y distancia objetivo), el tipo de

superficie que se va a medir (consideraciones de emisividad), la respuesta espectral (para efectos atmosféricos o transmisión a través de superficies), el rango de temperatura y el tipo de montaje (portátil de mano o de montaje fijo) (Vardasca y Simoes, 2013; Bach et al., 2015; Moreira et al., 2017a).

También asociado a la elección de la cámara, la resolución termográfica es un aspecto técnico importante que considerar. Aunque la resolución termográfica no es el factor más importante en la exactitud para calcular la temperatura, es preferible tener una cámara con la mejor resolución posible (Bach et al., 2015a; Fernández-Cuevas et al., 2015c; Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Cada pixel en una imagen termográfica, representa un dato térmico, y un mayor número de píxeles aportará una medición más robusta cuando se calcule la temperatura de una ROI (Vardasca y Mendes, 2017). En este sentido, una resolución de 320 x 240 píxeles es considerada como el mínimo de resolución necesaria para poder obtener datos satisfactorios en humanos (Fernández-Cuevas et al., 2015a; De Andrade Fernandes et al., 2014).

Tanto en medicina como en otras áreas, la capacidad de grabar un vídeo termográfico es una característica importante a la hora de elegir una cámara termográfica para realizar un estudio en humanos (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b; Merla et al., 2005; Akimov y Son'kin, 2011). A pesar del elevado coste y de las configuraciones específicas para adquirir buenas imágenes durante la realización del vídeo, el cálculo de la temperatura se puede ver distorsionado por la cercanía de otros equipos electrónicos tales como ordenadores (Ammer y Ring, 2000). Esta es la razón por la que los investigadores analizan las imágenes de manera estática sacadas de momentos determinados del vídeo termográfico (Priego Quesada et al., 2015).

Una correcta calibración de la cámara es necesaria para obtener unos resultados termográficos fiables (Ring, 1975; Vollmer y Möllmann, 2017; Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Las cámaras termográficas son calibradas en las fábricas con un elevado número de cuerpos negros a diferentes temperaturas cuando la señal de cada píxel es determinada. Un cuerpo negro es un instrumento con una temperatura superficial estable y exacta, con una elevada emisividad y configurada con una temperatura de emisión específica (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Estos cuerpos negros normalmente, tiene una emisividad de 0,98 (Vollmer y Möllmann, 2017). A parte de la calibración realizada en fábrica de la cámara, se recomienda antes de empezar un estudio o experimento que la cámara se calibre otra vez o se compruebe su calibración (Vardasca y Simoes, 2013; Ring y Ammer, 2012).

La cámara se debe encender un tiempo antes de empezar a realizar las medidas para la correcta estabilización de su electrónica (Vardasca y Simoes, 2013; Bach et al., 2015a; Priego Quesada, Kunzler y Carpes 2017b). El tiempo de estabilización necesario es diferente en función del tipo de cámara aunque en la mayoría de cámaras actuales el tiempo necesario va a estar entre 5 y 10 minutos (Priego Quesada et al., 2016; Vollmer y Möllmann, 2017).

La posición de la cámara puede afectar a las medidas y debe de estar controlada (distancia y ángulo en relación a cada ROI) (Ammer, 2021; Danko et al., 2010). La lente de la cámara se debe poner perpendicular a la ROI a estudiar (Danko et al., 2010). Ángulos mayores de 60° entre la cámara y la ROI modifican considerablemente los datos (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Es importante tomar todas las imágenes termográficas de un estudio con la misma distancia para minimizar el error (Bach et al., 2015). En este sentido, una distancia de entre 1-1,5 metros puede ser suficiente si la ROI a estudiar es un segmento del cuerpo, mientras que una distancia de 3-4 metros sería requerida si la ROI es todo el cuerpo (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Cuando se toman imágenes termográficas, es importante tener bien enfocada la cámara, ya que errores de enfoque pueden llevar a errores en el cálculo de la temperatura de la ROI (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b).

Considerando el espacio para tomar las medidas, los principales aspectos metodológicos para tener en cuenta son: la habitación, la temperatura de la habitación, la humedad relativa, y todas las fuentes de radiación infrarroja que puedan interferir en las mediciones termográficas alrededor de la persona evaluada (Vardasca, 2017; Vardasca y Simoes, 2013).

Los parámetros de la temperatura ambiente y la humedad relativa se deben poner en la cámara. El espacio mínimo dedicado para la toma de medidas es de 6 x 9 m², pero espacios de 12 m² son preferibles (Vollmer and Möllmann, 2017; Ammer y Ring, 2000). La temperatura ambiente es una de las cosas más importantes, ya que afecta a la temperatura de la piel, debido a que las dos temperaturas están relacionadas. Esto se debe a que temperatura ambiente fuera de ese rango podrían afectar a los mecanismos de termorregulación, resultando en sudor cuando la temperatura ambiente es mayor de 25°C y tiritar cuando ésta es inferior a 18 °C (Ring y Ammer, 2012). A pesar de esto, la temperatura ambiente ideal para las medidas termográficas va a depender del objetivo del proyecto de investigación a realizar.

Cuando grandes partes del cuerpo están sin ropa y expuestas al aire durante largos periodos, puede causar bajas temperaturas y crean discomfort en el paciente (Merla et al., 2005; Gatt et al., 2015), provocando una vasoconstricción. Debido a esto, cuando se examinan las

extremidades donde el sistema nervioso simpático influye en el resultado, un ambiente más cálido de 22 a 24 °C es recomendable (Ring y Ammer, 2012).

La humedad relativa en la habitación donde se toman las medidas afecta a la tasa de evaporación del sudor durante la actividad física o realización de un deporte (Fournet et al., 2013). Se recomienda el control de la humedad relativa en valores entre 40 y 70 % (Fournet et al., 2013; Priego Quesada et al., 2015; Moreira et al., 2017). También es importante evitar la presencia de partículas en el aire, como el polvo o el vapor, porque pueden absorber radiación emitida por el participante y causar errores en la estimación de la temperatura debido a que la radiación infrarroja emitida no llegue a la cámara (Marins et al., 2014).

La temperatura reflejada es el término que se utiliza para describir las fuentes térmicas que son reflejadas por la superficie que se intenta analizar o medir (Moreira et al., 2017a). Esta temperatura debe ser medida e introducida en la configuración de la cámara previo a la toma de medidas (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017a). Es recomendable medir la temperatura reflejada antes de cada prueba, la cual puede cambiar cuando las condiciones ambientales cambian (por ejemplo, la temperatura ambiente), o las condiciones del investigador (por ejemplo, cambios de ropa u otras características del espacio). Uno de los métodos más usados para medir la temperatura reflejada es el “método reflector” descrito en la normativa internacional ISO 18434-1:2008. Este método consiste en:

- Introducir en los parámetros de la cámara la distancia con un valor de 0 y una emisividad con valor de 1.
- Poner una cartulina negra con un trozo de papel de aluminio al mismo nivel al que estaría el participante.
- Medir la temperatura media del papel de aluminio (usando un rectángulo como ROI).
- Introducir la temperatura media obtenida como temperatura reflejada.

La presencia de otras superficies de radiación infrarroja cerca del espacio de medida se debe evitar. La radiación que es emitida por el cuerpo se refleja en el medio ambiente, así como por la atmósfera (Ammer, 2008). Las radiaciones que influyen son la incidencia del sol en el espacio de medida, la presencia de aparatos electrónicos y el número de personas en el espacio de medidas (evaluador y participante). También existen otras superficies de radiación como calefactores, tuberías de agua, luces cálidas o corrientes de aire (Vollmer y Möllmann, 2017). Los equipos de aire acondicionado deben de estar localizados de manera que la

corriente no vaya directamente al paciente, así como la velocidad del mismo que debe ser la más baja posible. Una distribución del aire acondicionado por conductos en la habitación sería lo ideal (Ring y Ammer, 2012).

1.4.3. Aspectos metodológicos relacionados con la persona

Los estudios termográficos realizados en humanos comúnmente consideran una emisividad de la piel de 0,98 (Costa et al., 2018; Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017a; Hildebrandt, Raschner, y Ammer, 2010; De Andrade Fernandes et al., 2014; Priego Quesada et al., 2015; Fournet et al., 2013). La mayoría de los estudios realizados usan este valor de emisividad en todos los participantes debido a la variabilidad tan baja observada (desviación estándar 0,01) (Sanchez-Marin, Calixto-Carrera y Villaseñor-Mora, 2009). Estos valores de emisividad de la piel ponen de manifiesto que el ser humano es un buen emisor de radiación infrarroja, y se pueden obtener temperaturas muy exactas (Bernard et al., 2013). Esta emisividad se debe introducir en la cámara o en el software termográfico para obtener un cálculo correcto de la temperatura (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017a).

La variabilidad térmica de la temperatura de la piel puede ser debido a numerosos factores tales como la edad (Kenny y Jay, 2013), el sexo (Kenny y Jay, 2013; Gagnon y Kenny, 2012), el metabolismo individual (Savastano et al., 2009; Chudecka, Lubkowska y Kempnińska-Podhorodecka, 2014), el estado físico (Akimov y Son'kin, 2011; Chudecka, Lubkowska y Kempnińska-Podhorodecka, 2014; Moreira et al., 2017a; Priego Quesada et al., 2015), y el tabaco (Bornmyr y Svensson, 1991; Ijzerman et al., 2003), entre otros factores. Debido a esto, a la hora de realizar un estudio termográfico en humanos hay que tener en cuenta factores que afectan al diseño del estudio, factores en cuanto a los criterios de selección de los participantes, así como factores que afectan a las instrucciones que los participantes deben seguir a la hora de hacer el estudio (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017a) (figura 13).

FACTORES HUMANOS A TENER EN CUENTA		
Diseño del estudio	Criterios de selección de los participantes	Instrucciones para los participantes
-Tiempo de adaptación a la habitación. -Postura corporal -Ritmo circadiano -Sudor	-Sexo -Edad -Superficie del cuerpo y composición del cuerpo -Estado de forma -Medicamentos	-Nutrición -Hidratación y bebidas -Tabaco -Pelo -Aplicación de cosméticos en la piel

Figura 13. Factores humanos a tener en cuenta en estudios realizados con termografía. Imagen modificada del libro Application of infrared Thermography in sports science (Priego Quesada, Kunzler, y Carpes 2017b)

1. Factores a tener en cuenta en el diseño del protocolo de un estudio:

- a) **Tiempo de adaptación térmica de la habitación:** es uno de los factores metodológicos más importantes. Es el tiempo que requiere conseguir una temperatura estable de la piel en un ambiente controlado (Marins et al., 2014; Ammer, Ring y Ammer, 2012). Cuando se realiza un estudio en humanos es importante porque el individuo llega al espacio de la toma de medidas (viene normalmente de un ambiente distinto, de la calle, de su casa, etc.) y se prepara para la toma de medidas (por ejemplo, quitándose ropa), lo que produce un cambio en las condiciones térmicas, y una variación en la temperatura de la piel (Vardasca y Simoes, 2013; Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b).

Por esto, se necesita un periodo de adaptación, si no la repetitividad de las medidas será muy baja debido a que las condiciones externas de cada día y de cada sujeto son diferentes (Krapels y Driggers, 2018). Durante el proceso de adaptación, el participante debe evitar todos los movimientos y contactos que puedan afectar a la temperatura de la piel de las ROIs; como pueden ser, cruzar las piernas, estar descalzo de pie, etc. (Ring y Philips, 1984). La mayoría de estudios utilizan un rango de tiempo de adaptación de entre 10 y 20 minutos (Priego Quesada et al. 2015; Priego Quesada et al., 2015; Bernard et al., 2013; Krapels y Driggers, 2018). No se recomiendan

tiempos de adaptación mayores, ya que, pasados los 30 minutos la temperatura oscila más y puede dar lugar a asimetrías térmicas (Goodman, 1987).

- b) **Postura:** La postura corporal en la toma de medidas va a depender de las ROIs a medir. En este sentido, la posición anatómica es la que más se usa en las medidas termográficas con radiación infrarroja (Krapels y Driggers, 2018). La postura del paciente debe ser la misma tanto en el tiempo de adaptación a la sala como durante la toma de muestra (Ring y Ammer, 2015). No es recomendable comparar imágenes térmicas que han sido tomadas en posturas diferentes, ya que la temperatura del cuerpo puede cambiar según la superficie corporal expuesta al ambiente (Ring y Ammer, 2015; Saxena, 1983; Krapels y Driggers, 2018).
- c) **Ritmo circadiano:** El ritmo circadiano afecta a la temperatura interna, temperatura de la piel, y el flujo de la sangre de la piel (Smolander et al., 1993; Costa et al., 2018). La temperatura de la piel es más baja por la mañana y conforme pasa el día va aumentando (Smolander et al., 1993; Salisbury et al., 1983). La mano es la parte del cuerpo que más aumenta la temperatura de la piel a lo largo del día (Cheung, 2015). La termorregulación del cuerpo funciona como un gradiente entre la temperatura corporal y la temperatura de la piel, lo que permite que el calor se intercambie con el medio ambiente por medio de la convección y la radiación (Waterhouse et al., 2005). Es por esto, que para reducir el efecto intra-sujeto del ritmo circadiano, se deberían tomar las medidas de cada participante en el mismo momento del día (Costa et al., 2018; De Andrade Fernandes et al., 2014). Si se van a examinar manos o pies, se debe evitar tener contacto directo con superficies que estén a distinta temperatura (Cheung, 2015), por ejemplo, si el estudio es en las manos debe evitarse el contacto con cualquier superficie, ya sea una mesa, una silla, etc., si es en las piernas o en los pies evitar que las personas evaluadas se descalcen y pongan los pies directamente en el suelo (Putley, 1984; Ring y Ammer, 2012).
- d) **Sudoración:** Tener la piel mojada por el sudor puede alterar los datos termográficos (Priego Quesada et al., 2015). Hay autores que sugieren que una capa fina de agua en la piel puede actuar como filtro para la radiación infrarroja y puede llevar a error en la estimación de la temperatura de la piel (Ring y Ammer, 2012). La sudoración representa una respuesta reguladora a la producción de calor al disipar el exceso de calor por evaporación (Nadel, Bullard y Stolwijk, 1971; Charkoudian, 2010). La mayoría de los estudios han descrito el efecto refrigerante que provoca el sudor en la

temperatura de la piel (Akimov y Son'kin, 2011; Chudecka y Lubkowska, 2010; Chudecka et al., 2015a). En conclusión, la sudoración representa un factor que afecta a la temperatura de la piel (en situaciones específicas, como el ejercicio). Por lo tanto, la sudoración podría influir en los resultados de la termografía en humanos (Fernández-Cuevas et al., 2015b). Se necesitarían más estudios a este respecto para explorar este aspecto metodológico.

2. Factores a tener en cuenta en los criterios de selección de los participantes:

- a) **Sexo:** El sexo puede influir en los patrones de temperatura (Hardy y Du Bois, 1940). Se ha demostrado en el pasado que la temperatura timpánica (Chamberlain et al., 1995), así como la temperatura de la piel de la parte superior del cuerpo es mayor en mujeres (Hashiguchi, Feng y Tochiara, 2010). Adicionalmente, la temperatura intestinal, rectal, pectoral y de las manos de las mujeres fueron superiores (Van Ooijen, Van Marken Lichtenbelt y Westerterp, 2001). Sin embargo, las razones por las cuales se produce esto no están del todo claras. Tres son las razones que podrían ser responsables de las diferencias de sexo observadas; el ciclo menstrual, la grasa subcutánea y la tasa metabólica (Fernández-Cuevas et al., 2015b).

Las mujeres presentan una temperatura interna mayor, menor tasa de sudor en todo el cuerpo y un mayor porcentaje de grasa corporal, lo que provoca una mayor pérdida de calor y resulta en una menor temperatura de la piel en muchas regiones del cuerpo (Van Ooijen, Van Marken Lichtenbelt y Westerterp, 2001). Estos efectos del sexo son más evidentes por la mañana que por la noche, debido a que el flujo sanguíneo es más bajo y el efecto de la insuflación térmica de la grasa corporal es mayor (Smolander et al., 1993). El **ciclo menstrual** se ha demostrado que influye en la temperatura de las mujeres, ya que la temperatura interna y flujo de sangre en la piel son mayores durante la fasea lútea y menores en la fase folicular resultando en un aumento de la temperatura de la piel en las mujeres (Bartelink et al., 1990; Grucza et al., 1993; Coyne et al., 2000; Lund, Gröndahl y Gröndahl, 2012; Sund-Levander, Forsberg y Wahren, 2002). En la menopausia, el control termorregulatorio del flujo sanguíneo en la piel puede estar disminuido (Charkoudian, 2003).

Mucho se ha publicado entre la relación de la **grasa subcutánea** y las diferentes temperaturas entre hombre y mujeres. Hardy y Du Bois (1940) declararon que las mujeres tienen una capa más gruesa de aislamiento contra el frío y afirmaron que las mujeres tienen una ventaja fisiológica en comparación con los hombres. Esta

conclusión se basa en que las mujeres tienen una mejor adaptación a ambientes cálidos, una zona de confort más alta y umbrales de sudoración más altos (Fernández-Cuevas et al., 2015b). Chudecka y Lubkowska, encontraron una correlación negativa entre el índice de masa corporal y la temperatura en el área abdominal, en la mano y en el muslo en mujeres obesas y también entre mujeres y hombres jóvenes en normopeso (Chudecka y Lubkowska, 2015). La **tasa metabólica** juega también un papel importante a la hora de explicar las diferencias de sexo en relación a la temperatura (Hardy y Du Bois, 1940; Havenith, 2001; Marins et al., 2015). Estos efectos han sido descritos por distintos autores, pero ninguno de estos estudios usó la termografía para medir la temperatura, y los estudios fueron llevados a cabo bajo condiciones extremas.

Fournet et al., describieron las diferencias de temperatura de la piel en el muslo entre hombres y mujeres debido a la grasa corporal local (hasta 2 ° C menos en las mujeres antes del ejercicio) (Fournet et al., 2013; Moreira et al., 2017a). Los autores concluyeron que los valores medios generales más bajos de la temperatura de la piel de las mujeres no se debían a la grasa subcutánea sino a la tasa metabólica (Fournet et al., 2013). Otro estudio ha demostrado que los hombres exhiben una más rápida recuperación en las manos después de una estimulación térmica al frío (Kacmaz et al., 2017).

- b) **Edad:** Parece claro que la temperatura y la edad están relacionadas, sin embargo, se desconoce cómo de fuerte es esta relación y la manera en que la temperatura se ve afectada por la edad (Fernández-Cuevas et al., 2015b). Chamberlain et al., demostraron con una muestra de 2447 participantes de diferentes grupos de edad, cómo la temperatura timpánica se ve disminuida en las personas mayores, y también observaron un largo descenso entre los recién nacidos y a los 15 años de edad (Chamberlain et al., 1995). Varias investigaciones de termografía compararon personas jóvenes (aproximadamente de 23 años de edad) y personas mayores (de más de 60 años) describiendo importantes diferencias de temperatura en cuanto a la edad (más de 1 °C) en la manos y los pies (Ferreira et al., 2008; Cheung, 2015), con temperaturas más bajas en general en las personas mayores.

En resumen, las personas mayores tienen temperaturas basales más bajas. Las razones por las que esto ocurre pueden ser debido a una tasa metabólica más baja, una

temperatura interna baja y la baja capacidad de disipar el calor vía vasodilatación/vasoconstricción (Sousa et al., 2018; Petrofsky et al., 2006).

- c) **Superficie del cuerpo y composición del mismo:** La superficie del cuerpo tiene un rol importante en el intercambio de calor del cuerpo (Cramer et al., 2016). Por eso para poder comparar diferentes grupos y participantes, se recomienda que la variable de la superficie del cuerpo se normalice (Cramer y Jay, 2016a). La superficie del cuerpo se puede calcular también utilizando una ecuación considerando el peso y el índice de masa corporal, siendo la más usada la ecuación de DuBois (Du Bois y Du Bois, 1916). En relación a la composición del cuerpo, los niveles de grasa corporal influyen en la capacidad de pérdida de calor provocando una menor temperatura de la piel (Glickman-Weiss et al., 1996).
- d) **Heridas o lesiones:** Una herida o lesión está a menudo relacionada con variaciones en el flujo regional de la sangre, las cuales afectan a la temperatura de la piel. La temperatura de la piel puede aumentar en casos de inflamación o disminuir en casos de tejido con una perfusión baja, degeneración o una reducida actividad muscular (Ring y Ammer, 2012). Individuos con heridas traumáticas pueden presentar alteraciones de la temperatura de la piel y en la simetría térmica (Vardasca et al., 2012). Además, otras patologías como pie diabético, fiebre, o enfermedades cardiovasculares, entre otras, pueden influir en la temperatura de la piel (Priego Quesada et al., 2016). Por eso, la mayoría de estudios seleccionan los participantes sin historial de lesiones o heridas traumáticas en los meses previos al estudio (Priego Quesada et al., 2015).
- e) **Nivel de forma física:** La actividad física influye en la temperatura de la piel (Priego Quesada et al., 2015). El nivel de forma física individual puede influir en el patrón térmico de los participantes en un estudio termográfico. Cena y Clark fueron los primeros en subrayar la diferencia en las emisiones térmicas entre participantes que entrenan y hacen ejercicio y participantes sedentarios (Cena y Clark, 1976). Los pacientes sedentarios exhiben una peor capacidad de disminución de la temperatura durante el ejercicio, y su recuperación tras el ejercicio es menos rápida (Merla et al., 2005; Formenti et al., 2013; Ichinose-Kuwahara et al., 2010). Además, las personas que entrenan a menudo tienen una mejor capacidad para la transferencia de calor entre la temperatura interna y la temperatura de la piel debido a que el flujo de sangre es mayor y es menor su grasa corporal (Simmons et al., 2011; Priego Quesada et al.,

2015). En este sentido, la variabilidad del estado de forma física resultará en una mayor variabilidad de la temperatura de la piel si se utiliza un grupo heterogéneo (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b).

- f) **Medicación:** Los medicamentos pueden afectar al flujo de la sangre en la piel y a la temperatura de la misma (Fernández-Cuevas et al., 2015b; Priego Quesada, Kunzler, y Carpes 2017b). Los tratamientos farmacológicos pueden afectar a la temperatura de la piel, pero hasta la fecha, el uso principal de la termografía suele ser evaluar los efectos terapéuticos de los tratamientos (Ring, Engel y Thomas, 1984). A partir de la investigación que se ha realizado sobre la IRT, se propone una lista de tratamientos que consta de cinco grupos primarios: analgésicos, antiinflamatorios, vasoactivos, medicamentos hormonales (anticonceptivos), profilácticos y anestésicos (Fernández-Cuevas et al., 2015b).

Los medicamentos como el paracetamol se ha descrito que producen aumento de la temperatura en pequeñas articulaciones, mientras que para producir el mismo efecto con antiinflamatorios se requiere una semana (Bacon et al., 1976). Los medicamentos hormonales afectan directamente al metabolismo, y por lo tanto a la termorregulación (Fernández-Cuevas et al., 2015b). Los anticonceptivos actualmente son comúnmente usados entre las mujeres en edad fértil; el tratamiento es hormonal y esto puede significar una alteración diaria de las temperaturas, aumentando la temperatura una media de 0.6 °C (Baker et al., 2001). En medicina para estudios termográficos, si el objetivo del estudio no es la utilización de un medicamento, normalmente se suelen utilizar individuos sanos evitando así lo problemas asociados a los mismos (Abate y Carlo, 2013; Formenti et al., 2017; Merla et al., 2005).

3. Factores a tener en cuenta en la instrucción a los participantes del estudio:

Es importante que los participantes sean instruidos en una sesión previa donde se explique el estudio o escribir una carta o un email que contenga la información y las pautas necesarias para evitar errores en las medidas (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Algunos de los factores más importantes se describen a continuación:

- a) **Nutrición:** se ha determinado que después de ingerir comida, la sangre va al estómago en detrimento de la piel, resultando en una temperatura de la piel más baja en las extremidades. A pesar de que se conoce que la ingesta de comida incrementa la temperatura del cuerpo, (Reilly y Waterhouse, 2009) los resultados

obtenidos en los estudios son inconclusos (Ring y Ammer, 2015). Algunos estudios han analizado los efectos de la ingesta de comida en la temperatura del cuerpo usando IRT, y los resultados no cambian (Mannara, Salvatori y Pizzuti, 1993). Otros han observado que el tiempo de la ingesta de comida no altera el ritmo circadiano del individuo (Harada et al., 1998; Reinberg, 1975). Por el contrario, otros investigadores han encontrado conclusiones totalmente opuestas.

Otro estudio (Kelly, 2007) describió en su revisión cómo el tiempo de la ingesta de comida influye en el metabolismo, por ejemplo, en el ramadán, durante el cual los musulmanes se abstienen de comer y beber entre la salida del sol y la puesta del sol durante 30 días. La ingesta de comida se asocia con un aumento del consumo de oxígeno y gasto energético (Shuran, 1987). Se recomienda evitar comidas pesadas aproximadamente 4 horas antes de realizar medidas termográficas en humanos para evitar sus posibles efectos (Priego Quesada et al., 2015; Priego Quesada et al., 2016).

- b) **Tabaco:** La nicotina tiene un efecto vasoconstrictor por lo que reduce la temperatura de la piel (Gershon-Cohen, Borden y Hermel, 1969). La nicotina afecta a la presión en la sangre y al ritmo cardiaco (Bornmyr y Svensson, 1991). En los años 1960s y 1970s, la termografía fue utilizada para analizar los efectos térmicos del tabaco, primero en las manos y los pies. Estos estudios determinaron un descenso en la temperatura de entre 0.5 °C y 3 °C en las extremidades, encontrando el punto más bajo entre 15 y 30 minutos después de fumar (Gershon-Cohen, Habennan y Habennan, 1968; Ewing, Davison y Fergason, 1973). Por eso, los fumadores tienen un sistema circulatorio más limitado que los no fumadores (Christensen, Vaeth y Wenzel, 2012). Se recomienda que en estudios termográficos no se incluyan fumadores o que los fumadores no fumen 12 horas antes de las medidas (Priego Quesada et al., 2015; Priego Quesada et al., 2016).
- c) **Pelo:** La presencia de pelo en la superficie de la piel puede alterar la estimación de la temperatura de la piel usando termografía (Fernández-Cuevas et al., 2015a). El pelo es un tejido avascular con una baja capacidad de calor y con una baja temperatura (Togawa et al., 1994). Por esto, si hay gran densidad de pelo en la piel, este pelo podría considerarse un artefacto y se produciría una estimación de la temperatura a la baja. Por eso, en algunos estudios preguntan a los pacientes si se pueden eliminar el pelo antes del estudio (Abate et al., 2013; Formenti et al.,

2017). Y para otros, la presencia de pelo puede ser un inconveniente en la selección de los participantes (Formenti et al., 2017; Moreira et al., 2017b).

- d) **Aplicación de cosméticos en la piel:** Esta variable es espacialmente importante porque los cosméticos influyen en la radiación emitida por la piel y son difíciles de detectar (Sousa et al., 2017b). El uso de cosméticos, cremas, geles, y otro tipo de tratamientos para la piel son relevantes en el análisis de imágenes termográficas, ya que actúan como filtro en la piel, distorsionando su radiación, influyendo en su emisividad y resultando en una estimación más baja de la temperatura (Bernard et al., 2013; Engel, 1984). La mayoría de estudios evitan el uso de lociones y otros cosméticos en el día de la toma de medidas para eliminar ese error (Ring y Ammer, 2015; Zaproudina et al., 2008; Formenti et al., 2017; Moreira et al., 2017b). Fernandez-Cuevas et al., (2015b) sugieren diferenciar estos factores en tres categorías: cosméticos (maquillaje, desodorante, antitranspirante, talco, etc.), ungüentos (cremas, aceites, loción corporal, etc.) y ungüentos medicamentosos (analgésicos, vasodilatadores, gel frío, spray, etc.). Otros autores reportan diferencias entre ungüentos medicamentosos y no medicamentosos (Henahan, 1982), observando que los ungüentos medicamentosos como algunos que contienen ácido nicótico o estrógenos, funcionan como vasodilatadores y puede causar puntos calientes que pueden persistir hasta 24 h (Engel, 1984).
- e) **Actividad física:** La actividad muscular es una de las principales fuentes de calor del cuerpo humano. De hecho, el ejercicio es considerado uno de los factores que más influye en la temperatura corporal (Ferreira et al., 2008; Jones, 1998; Kenney y Johnson, 1992). Normalmente, incrementos en la temperatura del cuerpo se relacionan con tareas aeróbicas constantes y prolongadas (Sousa et al., 2017b; Priego Quesada et al., 2015; De Andrade Fernandes et al., 2014), mientras que existen otros estudios que apuntan a un descenso de la temperatura en ejercicios intensos y máximos (Akimov y Son'kin, 2011; Zontak et al., 1998). La recuperación del ejercicio es un proceso en el cual el cuerpo trabaja en restablecer los diferentes procesos fisiológicos que ocurren durante el ejercicio, como el daño muscular, daño ADN, y estrés oxidativo, entre otros (Connolly, Sayers y Mchugh, 2003; Ryu et al., 2016). Fernández-Cuevas et al., observaron que después de una sesión de entrenamiento, se produce un progresivo aumento de la temperatura de la piel hasta 6h después del ejercicio (Fernández-Cuevas et al., 2015c). Esta idea de que el ejercicio físico afecta a la temperatura a posteriori es un factor importante a

tener en cuenta y por eso los estudios requieren que los participantes eviten la actividad física el día de la toma de medidas y también que se abstengan de realizar ejercicio físico de alta intensidad el día anterior (Priego Quesada et al., 2015).

- f) **Rayos ultravioleta (UV) o tomar el sol:** La exposición de la piel al sol o a los rayos UV resulta en un aumento de la absorción la radiación por la piel, y también en un aumento de la temperatura de la piel (Petersen, Philipsen y Wulf, 2014). Clark et al. en 1977 realizaron un experimento para determinar el efecto de los baños de sol durante 20 min a una temperatura de 31°C. Usando la termografía, los autores observaron un aumento de 5° C en la zona expuesta al sol, acompañada de una reducción de la temperatura del todo el cuerpo hasta alcanzar la temperatura normal (Clark, Mullan y Pugh, 1977). Una buena recomendación para los participantes es abstenerse de tomar el sol o rayos UV 12 horas antes del test (Priego Quesada et al., 2015; Priego Quesada et al., 2016).

1.5. Análisis de los datos térmicos.

1.5.1. Análisis cualitativo

El análisis cualitativo consiste en la representación y descripción de las imágenes obtenidas. Aunque un análisis cuantitativo de los datos es fundamental para dibujar unas conclusiones consistentes, el análisis cualitativo es muy importantes para comprobar si hay algún factor que debe ser considerado en el análisis cuantitativo (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Por ejemplo, en el análisis cualitativo se puede ver una persona que tiene RP en una mano y además es muy posible que eso cause una asimetría térmica. Por eso, es necesario realizar un análisis cualitativo para realizar una correcta interpretación de los datos numéricos.

Otra utilidad en el análisis cualitativo es obtener una representación gráfica de lo que es evaluado. En estudios anteriores se describió la necesidad de formar una base de datos común de imágenes térmicas normales de todas las partes posibles de un cuerpo humano (Vardasca et al., 2012; Jones et al., 2005). Ring discutió los aspectos técnicos para construir una base de datos de imágenes IR medicas digitales (Ring et al., 2005). Y para la comparación de imágenes térmicas múltiples Vardasca desarrolló un método de comparación basado en interpolación de varias regiones de interés (ROI) en imágenes térmicas múltiples donde los ROI se alinean semiautomáticamente (Vardasca, 2008). La adquisición de imágenes puede estandarizarse con el uso de ROIs en el software (automatizadas o manuales). En este sentido, es importante

conocer los diferentes tipos de representación que ofrecen los softwares termográficos. Algunas de las recomendaciones que se utilizan para la representación cualitativa de las imágenes en humanos son (Ring y Ammer, 2012; Vollmer y Möllmann, 2017):

- Uso de la paleta arco iris, con los colores blanco y rojo como caliente y azul o negro como frío.
- Usar un rango de imagen definido entre un mínimo de 23-24 °C y un máximo de 36-38°C. Usando el mismo campo de imagen para todas las imágenes, se podrán comparar mejor.

1.5.2. Análisis cuantitativo

Diferentes variables pueden ser obtenidas del análisis de las ROIs en el análisis termográfico, tales como la temperatura media, la temperatura máxima, la temperatura mínima y la desviación estándar (Sousa et al., 2018; Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b). Además, es posible calcular otras variables como la variación de la temperatura o la variación de la temperatura de la piel (diferencia entre antes y después de la intervención), la simetría térmica (diferencia entre las dos mitades del cuerpo) y la variación de temperatura de la ROI (diferencia entre el valor máximo y el mínimo). Diferentes estudios utilizan variables diferentes para el análisis de las imágenes térmicas (Vardasca, Vaz y Mendes, 2018). Las variables más comunes son las que se describen a continuación:

- a) **Temperatura media:** es la variable más usada en la literatura para calcular la temperatura de la piel (Fournet et al., 2013; Chudecka, Lubkowska y Kempnińska-Podhorodecka, 2014). La ventaja de utilizar la temperatura media de la piel en ROIs de gran tamaño es que puede ser un valor representativo y eliminar el efecto puntual de temperaturas elevadas que inducen a error. Sin embargo, cuando las variaciones son importantes, la temperatura media puede no dotar al experimento de información significativa (Priego Quesada et al., 2016; Priego Quesada et al., 2015).
- b) **Temperatura máxima:** es otra de las variables térmicas más usadas en los estudios termográficos. Ludwig et al., sugieren que todas las ROIs deben tener el mismo número de píxeles para poder calcular la temperatura máxima (Ludwig et al., 2016), esto minimiza el problema de las diferencia anatómicas de tamaño entre los participantes (Formenti et al., 2017).

- c) **Simetría térmica:** Vardasca et al. definieron la simetría térmica como el grado de similitud entre dos áreas de interés miradas a través del eje longitudinal del cuerpo con áreas idénticas en forma, tamaño y posición (Vardasca et al., 2012). En este sentido, se suelen analizar las diferencias de temperatura entre las partes sanas o enfermas y sus contralaterales (Lahiri et al., 2012). La simetría térmica es considerada como un método valorado para medir la normalidad/anormalidad fisiológica en la medicina, porque asimetrías mayores de 0,5-0,7°C se asocian una disfunción en el sistema musculoesquelético (Vardasca et al., 2012).
- d) **Variación de la temperatura:** la variación de temperatura producida por el ejercicio ha sido sugerida como una medida válida para determinar el efecto de diferentes intervenciones en estudios utilizando diseños de medidas repetidos (Priego Quesada et al., 2015; Priego Quesada et al., 2016).

1.6 Termografía en las manos.

La termografía en las manos ha demostrado ser una herramienta diagnóstica complementaria a la historia medica del paciente en numerosas patologías, la literatura recoge entre otras: Síndrome de Raynaud (Lim et al., 2014; Merla et al., 2001; Schuhfried et al., 2000), HAVS (Coughlin et al., 2002; Coughlin et al., 2001; Seixas et al., 2016; Ziegler et al., 2005), artritis reumatoide (Borojević et al., 2011; Frize et al., 2011), neuropatías (Cavalheiro et al., 2016), Problemas musculoesqueléticos (Gold, Cherniack y Buchholz, 2004), síndrome del túnel carpiano (Ming et al., 2005).

1.6.1 Síndrome del túnel carpiano

Una de las patologías más estudiadas en manos mediante termografía es el síndrome del túnel Carpiano o CTS. Son numerosos los estudios que abordan esta patología con IRT (Jesenšek Papež et al., 2009; Ammer, 1999; Gold, Cherniack y Buchholz, 2004; Khosrawi et al., 2012; Atroshi, Lyrén y Gummesson, 2009; Lyrén y Atroshi, 2012; Haghighi et al., 2013). Algunos de estos estudios usan la IRT como un método complementario para el diagnóstico del CTS, usando como método de diagnóstico principal la electromiografía o EMG (Jesenšek Papež et al., 2009a; Bargiel et al., 2021; Baic et al., 2017a).

1.6.2 Síndrome de Raynaud

Otra patología que afecta a la población en general y que afecta a las manos es el síndrome de Raynaud. Numerosos son los autores que utilizan la IRT para estudiar esta patología en las manos (Schlager et al., 2010; Pauling et al., 2011; Merla et al., 2001; Anderson et al., 2007;

Horikoshi et al., 2016; Schuhfried et al., 2000; Ziegler et al., 2005; Foerster et al., 2007; Vardasca et al., 2012; Coughlin et al., 2001; Ivanitsky et al., 2006; Lindberg et al., 2021; Sternbersky, Tichy y Zapletalova, 2021; Lim et al., 2014).

1.6.3 HAVS

La exposición a la vibración debida al trabajo es una reconocida causa de síndrome de Raynaud secundario como parte del síndrome de vibración mano-brazo o HAVS. Esta patología ha sido estudiada en las manos con IRT por numerosos autores (Coughlin et al., 2001; Seixas et al., 2016; Poole, Elms y Mason, 2006; Harada et al., 1998; Ziegler et al., 2005; Bovenzi, 1987; Gabriel, Vardasca y Ammer 2012; Gold, Cherniack y Buchholz 2004).

1.6.4 Otras patologías

Estas patologías son las que con más frecuencia se estudian con termografía. Sin embargo, existen en la literatura algunos estudios realizados en manos con termografía en los que se estudian otras patologías, uno de ellos es un estudio realizado a pacientes con Parkinson (Purup et al., 2020), otros en pacientes con lepra (Cavalheiro et al., 2016; Tiago et al., 2021), y otros en pacientes con intolerancia al frío (Ruijs et al., 2008; Park et al., 2013). Otro artículo estudia imágenes termográficas en pacientes expuestos a hipoxia normobárica (Jones et al., 2018).

1.6.5 Metodología de la ITR en manos

Existe mucha disparidad en la metodología empleada por los distintos autores a la hora de utilizar la IRT en manos. En cuanto al **tiempo de adaptación a la sala** el rango de tiempo varía de 10 minutos a 45 minutos. Hay autores que describen un tiempo de adaptación a la sala de 10 minutos (Cavalheiro et al., 2016), otros estudios de 15 minutos (Horikoshi et al., 2016; Gabriel, Vardasca y Ammer, 2012; Poole, Elms y Mason 2006; Vardasca, 2010; Purup et al., 2020; Tiago et al., 2021; Park et al., 2013); en otros el tiempo es de 20 minutos (Anderson et al., 2007; Schlager et al., 2010; Schuhfried et al., 2000; Gold, Cherniack y Buchholz, 2004); otros de 30 minutos (Lim et al., 2014; Foerster et al., 2007; Bovenzi, 1987; Jones et al., 2018); otro estudio 45 minutos (Coughlin et al., 2001) y hay estudios en los que no se especifica (Baic et al., 2017; Jesenšek Papež et al., 2009; Bargiel et al., 2021).

En cuanto a la **temperatura de la sala** el rango de temperatura utilizado fue de entre 21 °C y 25 °C. Mientras que unos estudios realizan las medidas con una temperatura de la sala a 21 °C (Foerster et al., 2007), otros los realizan a 22 °C (Bargiel et al., 2021; Sternbersky, Tichy y Zapletalova, 2021; Bovenzi, 1987; Gabriel, Vardasca y Ammer, 2012), otros a 23°C (Baic et al.,

2017; Jesenšek Papež et al., 2009; Anderson et al., 2007; Schlager et al., 2010; Pauling et al., 2011; Purup et al., 2020; Tiago et al., 2021), otros a 24 °C (Lim et al., 2014; Ziegler et al., 2005; Schuhfried et al., 2000) y otros a 25°C (Horikoshi et al., 2016; Coughlin et al., 2001; Gold, Cherniack y Buchholz, 2004; Park et al., 2013; Cavalheiro et al., 2016).

No hay un criterio claro en cuanto a **la visión de la mano** a estudiar. Hay estudios donde se tomaron las medidas de la parte palmar y dorsal (Bargiel et al., 2021; Jesenšek Papež et al., 2009; Ming et al., 2005). En cambio en otros estudios tomaron medidas solo de la visión palmar de la mano (Lim et al., 2014; Coughlin et al., 2001; Ruijs et al., 2008; Tiago et al., 2021; Park et al., 2013; Cavalheiro et al., 2016), y en cambio otros solo tomaron medidas del dorso de la mano (Anderson et al., 2007; Pauling et al., 2011; Schuhfried et al., 2000; Horikoshi et al., 2016; Seixas et al., 2016; Gold, Cherniack y Buchholz, 2004; Jones et al., 2018b; Purup et al., 2020; Tiago et al., 2021; Park et al., 2013).

El momento en el que se toman las medidas térmicas es variable en función de los autores: en la mayoría de los estudios se toman registros basales de la mano, se realiza un estrés térmico y se estudia la recuperación térmica de la mano. Las características del estrés térmico, así como el tiempo de recuperación a estudiar, es muy dispar entre autores.

El **estrés térmico** se suele realizar poniendo las manos con guantes en una cuba de agua. La temperatura del agua, la duración de la inmersión y el tiempo que se analiza después de sacar las manos del agua son muy variables entre estudios. Así, se observan rangos de temperatura del agua entre 5 y 20°C: hay autores que reflejan la temperatura del agua a 5°C (Bovenzi, 1987; Coughlin et al., 2001), otros a 10 °C (Horikoshi et al., 2016; Harada et al., 1998), otros a 15°C (Anderson et al., 2007; Poole, Elms y Mason, 2006; Mason, 2003; Schuhfried et al., 2000; Ruijs et al., 2008) y otros a 20 °C (Pauling et al., 2011; Ziegler et al., 2005; Seixas et al., 2016; Vardasca, 2010; Gabriel, Vardasca y Ammer, 2012; Park et al., 2013).

La **duración de la inmersión** varía entre 1 y 10 minutos: hay autores que reportan un tiempo de inmersión de 1 minuto (Coughlin et al., 2001; Seixas et al., 2016; Ziegler et al., 2005; Gabriel, Vardasca y Ammer, 2012; Park et al., 2013), otros estudios realizan la inmersión durante 5 minutos (Poole, Elms y Mason, 2006; Mason, 2003; Bovenzi, 1987; Ruijs et al., 2008), mientras que otros estudios la realizan durante 10 minutos (Coughlin et al., 2001; Vardasca, Ring, Plassmann y Jones, 2012; Harada et al., 1998). El **tiempo de análisis post inmersión** oscila entre 10 y 30 minutos: la mayoría de autores realizan el análisis post inmersión durante 10 minutos (Coughlin et al., 2001; Seixas et al., 2016; Vardasca, 2010; Poole, Elms y Mason, 2006; Mason, 2003; Ziegler et al., 2005; Gold, Cherniack y Buchholz, 2004; Vardasca, Ring, Plassmann

y Jones, 2012), otro estudio realiza el análisis durante 20 minutos (Ziegler et al., 2005) y otro durante 30 minutos (Horikoshi et al., 2016). No obstante, de manera general se puede observar que cuanto menor es la temperatura del agua, menor es la duración de la inmersión.

Para finalizar esta sección y a modo de resumen, la siguiente tabla muestra los datos más importantes de los estudios que han analizado las manos mediante termografía (Tabla 1).

Tabla 1:

Artículos más relevantes que han analizado las manos mediante termografía.

X

Artículo	Participantes	Momento de las medidas	Parte del mano	Medidas	Resultados y Conclusiones
Vardas et al., 2012	4 Grupos: -Controles 7 (27 ± 8 años) -Signos 7 (39 ± 17 años)	T0- Basal Estrés térmico: 5°C durante 5 minutos T1- 5 minutos posteriores T2- 10 minutos posteriores	Dorso	-Tª media mano derecha -Tª media mano izquierda -Simetría térmica de las manos -Diferencia de la simetría térmica en el dedo índice.	-Mano derecha: a los 5 minutos post estrés térmico las mayores diferencias de simetría térmica en el dedo índice fueron en el grupo control y en el grupo de HAVS, pero al final de la prueba fue el grupo de HAVS. -Mayores asimetrías a los 10 min tras el estrés térmico en los grupos HAVS y Signos. -No se encuentran diferencias en los cuatro grupos en los dedos, excepto en el dedo índice, siendo el grupo de HAVS presenta un patrón térmico (diferencias temperaturas entre dedos) diferente del resto de grupos. Se necesitan estudios con una muestra más amplia y estudios donde midan el test de Campbell y el test de Griffin para cuantificar el daño. Se podría simplificar la metodología realizando a la vez el estrés térmico y el mecánico.
Coughlin et al., 2001	2 Grupos: -Controles 10 (24-78 años) -Pacientes HAVS 21 (29-81 años)	Pre- Basal 0- Estrés térmico 5°C durante 5 minutos -Cada 30s post estrés térmico durante los 10 minutos	Palma	-Tª media de la yema de los dedos -Tª media de la base de los dedos -Gradiente de Tª de los dedos	-La temperatura de los pacientes con HAVS fue significativamente más baja que en los controles en todos los momentos ($p < 0.01$). -En los pacientes HAVS las yemas de los dedos fueron significativamente más frías en las bases que en las yemas ($p > 0.01$). -Durante la recuperación térmica, en los controles a partir de 3,5 minutos la temperatura de las yemas fue significativamente más alta que la de las bases, resultado en un gradiente de temperatura positiva. -En los pacientes HAVS la temperatura de las yemas fue significativamente menor que la temperatura de la base hasta 6,5 minutos, resultando en un gradiente de temperatura negativo. Nuestro estudio muestra que, si las condiciones ambientales son constantes, el estrés térmico es un método diagnóstico exacto en la investigación del HAVS. Nuestros resultados aportan peso para el uso del estrés térmico como un objetivo de investigación estándar en la evaluación de los pacientes con HAVS.

Artículo	Participantes	Momento de las medidas	Parte del mano	Medidas	Resultados y Conclusiones
Poole et al., 2006	2 Grupos: -Controles 21 (37 ± 8 años) -Casos 33 (48 ± 7 años)	T0-basal Estrés térmico 15°C durante 5 minutos -Durante los 10 minutos de recuperación post estrés térmico.	Palma	T _a absoluta de la base de los dedos T _a absoluta de la parte media de los dedos T _a absoluta de la punta de los dedos Gradiente (diferencia) entre la punta y la base del dedo Gradiente entre la punta y la parte media del dedo Gradiente entre la parte media y la base del dedo.	-Con el tiempo, la temperatura media tuvo una tendencia a ser más baja en los casos de HAVS en comparación con los controles, especialmente en la punta del dedo. Hubo una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos a lo largo del tiempo, pero no hubo diferencias significativas en los puntos temporales individuales (p> 0,05). - Las diferencias en la temperatura media entre la punta y la base del dedo fueron variables, pero se encontró que eran significativamente diferentes entre los grupos en general, siendo más bajas en los pacientes HAVS (p <0,001), pero nuevamente no hubo diferencias significativas en los puntos de tiempo individuales. Usando las condiciones aplicadas en este estudio hay poca evidencia que esta prueba de estrés térmico (15°C por 5 minutos) usando las termocuplas o la termografía infrarroja sea una prueba de diagnóstico útil para HAVS vascular. Los datos no excluyen el uso diagnóstico de la termografía (o termopares) para medir la recuperación térmica de alguna forma, pero la naturaleza del estrés térmico y el uso simplista de una sola medida no es
Foerster et al., 2007	3 Grupos: -Pacientes RP primario 40 (49 ± 16 años) -Pacientes con esclerodermia 46 (60 ± 11 años) -Controles 53 (41 ± 16)	-Basal -Estrés térmico 12°C durante 90s -30 minutos después o cuando la temperatura se haya recuperado el 63%.	No específica	-T _a de la yema de los dedos -CRI (cold response index) -Tiempo de recuperación térmica.	-El tiempo para recuperar tanto el 50 como el 63% de la temperatura de preenfriamiento se elevó significativamente en los pacientes con RP primario y en los de esclerodermia, donde el retraso en el tiempo medio de recalentamiento del 63% fue más pronunciado. -La temperatura de la punta de los dedos antes del enfriamiento fue significativamente menor en los pacientes con RP (p<0,001), mientras que la caída de temperatura efectuada por el procedimiento de enfriamiento no difirió entre los controles y los pacientes. - CRI discrimina entre pacientes con Rp y controles, el tiempo de recuperación es mayor entre los controles y los pacientes con RP en el momento de recuperación térmica al 63%. No se encuentran diferencias entre los pacientes con RP y los pacientes con Esclerodermia. Nuestros resultados demuestran que el tiempo de recalentamiento del 63% no depende sistemáticamente de patrones cinéticos individuales. Por lo tanto, el índice de respuesta al frío como se describe en este documento se puede obtener en todos los individuos sin la necesidad de determinar los tipos de curva de recalentamiento. Por lo tanto, los resultados presentados aquí se pueden extender a cualquier configuración utilizada para monitorear el recalentamiento tras la exposición de la punta de los dedos a 12°C durante 90s. Este requisito técnico mínimo debe permitir la aplicación directa del ensayo de respuesta al frío en los ensayos clínicos.

Artículo	Participantes	Momento de las medidas	Parte del mano	Medidas	Resultados y Conclusiones
Goldstein, 2004	2 Grupos: -Controles 12 (40 ± 7 años) -Casos 16 - UEMSD estrés térmico 6 (44 ± 11 años) - UEMSD's sin estrés térmico 10 (41 ± 13 años)	0-Antes de mecanografía 1 (Early) 0-2 minutos post-mecanografía 2 (middle) 3-5 minutos post-mecanografía 3 (late) 8-10 minutos post-mecanografía	Dorso	-T[°] media del dorso (El dorso se definió como un área desde la esquina del pulgar hasta la cabeza del cúbito) -región del metacarpo de la parte dorsal de la mano derecha	-En los controles, hubo un ligero aumento adicional en la temperatura de la mano a los 3-5 minutos después de la prueba antes de disminuir hacia los niveles basales en 8-10 minutos después de escribir. -Entre los sujetos sintomáticos, en contraste, la temperatura se mantuvo estable, con solo una ligera disminución [0.1 (0.2) °C] al final del período posterior a la escritura. -En los controles, hubo tres temperaturas cutáneas diferentes evidentes en los tres períodos de imágenes posteriores a la mecanografía (p<0,05), mientras que, en los casos sin manos frías, no hubo diferencia entre ninguno de los períodos de imágenes. -Para los sujetos que informaron manos frías inducidas por el teclado, no hubo diferencia de temperatura entre los períodos tempranos y medios posteriores a la escritura, mientras que la temperatura entre los períodos posteriores a la escritura media y tardía disminuyó. Las diferencias en temperatura de piel en respuesta a 9 minutos posteriores a la mecanografía eran perceptibles con termografía infrarroja en tres grupos de trabajadores de oficina: controles asintomáticos, aquellos con UEMSDs distal sin las manos frías, y aquellos con UEMSDs distal con las manos frías. Los demás con UEMSDs distales parecen tener anomalías de la temperatura de piel. Es probable que los síntomas producidos por el manejo del teclado y posteriormente sometidos al frío en la mano sean por lo menos parcialmente debido al flujo de sangre reducido, aunque los mecanismos sean desconocidos.
Ziegler et al., 2005	2 Grupos: 49 ± 11 años) -Casos 8 -Controles 13	-Exposición al calor 39°C -Exposición al frío 20°C -10 minutos post frío -20 minutos post frío	Dorso	-T[°] de la piel de los dedos, separando el dedo pulgar del resto de los dedos.	-En pacientes con RP (cálculos combinados para RP primaria y VWF) las temperaturas de los dedos 20 min después del recalentado después de la provocación fría fueron significativamente más bajas que en los controles sanos (p<0.01) - En el análisis de subgrupos, los pacientes que sufren de primario RP se encontraron temperaturas de la piel de los dedos más bajas que los controles después de un período de recalentamiento de 20 minutos de la provocación fría. A pesar de la patogénesis multifactorial del VWF, factores reológicos pueden aparecer en el RP. Además, sugerimos que el método función con IRT, en asociación con otras medidas de las propiedades viscoelásticas de la sangre, es útil para confirmar un diagnóstico de VWF clínico sospechoso.

Artículo	Participantes	Momento de las medidas	Parte del mano	Medidas	Resultados y Conclusiones
Bovenzi, 1987	2 grupos: -Casos 76 -Controles 56	-Basal -Estrés térmico 5°C durante 5 minutos - Recuperación durante 30 minutos	Dorso	-Tª media de la piel de los dedos -Tª media de las manos	-Los valores medios de FST del minuto 4 al 30 después de la extracción del dedo del agua fría fueron significativamente más bajos para los trabajadores expuestos a vibraciones con VWF (etapas 1, 2, 3 y 4 de la clasificación de Taylor) que en los referentes y en los otros trabajadores de vibración sin síntomas (etapa 1) y con. -Las mediciones de FSP inmediatamente después del enfriamiento volvieron a ver la presión cero en el dedo provocado, lo que significa el cierre completo de las arterias digitales, no se encontró en ninguno de los referentes, en dos de los 64 trabajadores de vibración sin VWF, y en 14 de los 20 trabajadores con VWF. Por lo tanto, se necesitan condiciones de ensayo bien controladas para obtener resultados reproducibles. También es necesario estandarizar el procedimiento del estrés térmico (temperatura del agua, tiempo de inmersión, enfriamiento corporal o calentamiento) para obtener datos comparables con diferentes estudios. La termometría de la piel después de la exposición al frío puede diferenciar entre los grupos de VWF y los grupos sanos, pero no es adecuada para diagnosticar el fenómeno de Raynaud sobre una base individual. El método termométrico tiene una buena especificidad, pero su sensibilidad es menor que la de otras técnicas de laboratorio, como, por ejemplo, la medición digital de la presión arterial.
Stefanczyk et al., 2007	2 grupos: -Casos 24 mujeres (19-44 años) -Controles 16 mujeres (19-42 años)	-Ti: Basal -T0: inmediatamente después del estrés -T1-12: 1,3,6,12 minutos posteriores al estrés	Dorso	-Tª media a nivel de la uña -Tª media a nivel de la muñeca	-El porcentaje de recuperación térmica es del 98,7 % en los controles y del 82,7 % en los casos. -La comparativa de las temperaturas revelan diferencias significativas entre los grupos en todas las fases excepto en T0 (inmediatamente después del estrés térmico). Las diferencias más significativas se encuentran entre t6-t12. Cambios en los parámetros de calor de la mano durante la prueba de inmersión evaluada por termografía y los cambios en los parámetros de flujo de sangre observados en la ecografía Doppler demuestran una progresión similar, lo que sugiere la equivalencia de ambos métodos. La sonografía Doppler, utilizada para evaluar los cambios en el índice resistivo de las arterias de la mano, puede servir como método de monitorización de las pruebas de función para establecer la predisposición a vasoespasmo.

Artículo	Participantes	Momento de las medidas	Parte del mano	Medidas	Resultados y Conclusiones
Jesensek et al., 2009	2 grupos -Casos 71 (media 56,8 años) -Controles 57 (media 47,6 años)	No específica	Dorso y palma	-T ° media de 12 regiones de interés Dedos (5) Metacarpo (5) Carpó (1) Muñeca (1)	-La parte dorsal de la mano es la parte con mayor porcentaje de éxito en la clasificación para el diagnóstico. -En cuanto a diferencia de temperatura en las regiones de interés comparando las de la parte dorsal y la parte palmar, se observa que fue significativa ($p < 0,05$) en todas las regiones de la parte dorsal excepto en una (5 dedo), mientras que en la parte palmar no fue significativa. -Cuando el análisis se centra en los casos severos de CTS y se omiten los leves y moderados, comparado con los controles, el porcentaje de éxito en la clasificación del CTS aumenta hasta el 83,2%. -Las diferencias de temperatura de las regiones de interés en los pacientes con CTS severos y los controles fueron significativos ($p < 0,05$). Según los resultados de este estudio de casos severos de CTS, los métodos termográficos se podrían recomendar para la investigación del síndrome del túnel carpiano puesto que estos métodos ayudarían a reducir las listas de espera largas para la realización del EMG. El método desarrollado y descrito en este estudio, con su identificación clara de los casos severos de CTS, se podría utilizar para dar prioridad a pacientes en una lista de espera para la realización del EMG, ya que el EMG sigue siendo el único gold estándar fiable.
Schlager et al., 2010	2 grupos: -Casos 25 (43 ± 14 años) -Controles 22 (40 ± 11 años)	No específica	Palma	-T ° media de la piel de los dedos. -Media de la perfusión de la piel de los dedos (Laser Doppler) -Comparativa de la temperatura con la perfusión.	-La IT (Termografía infrarroja) revelo una temperatura media de los dedos de $31,2 \pm 3,7^{\circ}\text{C}$ en los pacientes de Raynaud antes del estrés térmico, en pacientes sanos la temperatura media fue $35,42 \pm 3,1^{\circ}\text{C}$. -Después del estrés térmico, la temperatura media fue de $28,5 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ en los pacientes de Raynaud y $30,4 \pm 2,7^{\circ}\text{C}$ en el grupo control. - El análisis de todos los datos revelo una correlación significativa entre el LPDI y IT antes y después del estrés térmico ($p < 0,0001$). - Se encontró una asociación entre los cambios en las dos medidas LPDI y IT ($p = 0,016$). - La correlación de los cambios de las medidas del LPDI y la IT fueron mayores en los pacientes de Raynaud que en los pacientes sanos ($p = 0,023$ vs $p = 0,306$). IT se correlaciona bien con las mediciones de perfusión de la piel por LDPI en pacientes con síndrome de Raynaud comparado a los controles sanos ($r = 0.868$ y $r = 0.742$, ambos $p < 0.0001$). Después de la provocación fría, la correlación respectiva se atenúa levemente, pero sigue siendo aceptable en ambos grupos.

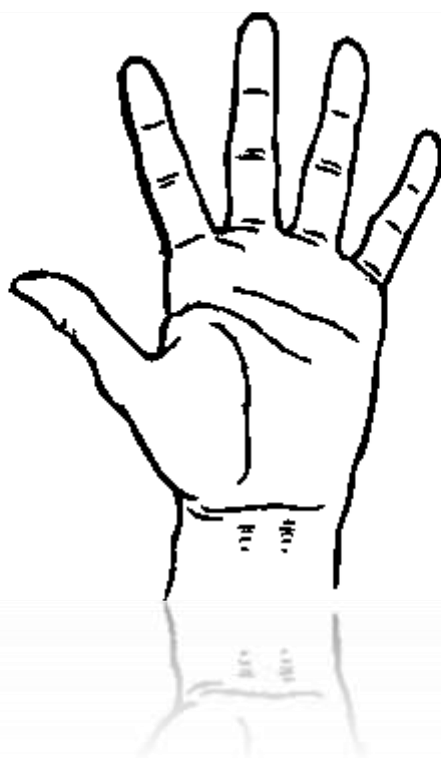
Artículo	Participantes	Momento de las medidas	Parte del mano	Medidas	Resultados y Conclusiones
Anderson et al., 2007	-Pacientes con síndrome de Raynaud primario PRP 56 (40 ± 14 años) -Pacientes con esclerosis sistémica SSc asociada al síndrome de Raynaud 45 (56 ± 11 años) - Pacientes con esclerosis limitada a la piel LCS 36 (56 ± 11 años) -Pacientes con esclerosis difusa cutánea DCSS 9 (58 ± 11 años) -Pacientes clasificables UCTD 21 (43 ± 10 años)	-Estrés térmico 15°C durante 15 minutos -15 minutos de recuperación.	Dorso	-Media de la T^a del dorso de cada mano. -Media de la temperatura de la una caja definida entre la articulación interfalángica distal y la parte distal de la uña de cada dedo. -DDD (distal-dorsal superficie). -Máxima DDD a lo largo de todos los dedos de ambas manos. -Número de dedos con una DDD > 1°C. -tiempo de demora de recuperación térmica. -Máximo ratio de recuperación térmica. -Porcentaje de recuperación.	-La mayor DDD en °C es 3,2 ± 1,5 en pacientes con esclerosis sistémica. -El número de dedos con DDD > 1°C es de 5,7 ± 2,8 en pacientes SSc, 2,9 ± 3,4 en pacientes PRP y 2,8 ± 3 en pacientes UCTH. -El porcentaje de pacientes con algún de dedo con DDD > 1°C es de 89% en pacientes SSc, 67% en pacientes con UCTH y de 52% en pacientes PRP. -El tiempo de demora en la recuperación térmica fue de 10,3 ± 4,6 minutos en paciente SSc, 7,2 ± 4,9 minutos en pacientes UCTH y de 6,9 ± 5,5 minutos en pacientes PRP. -El máximo ratio de recuperación térmica fue de 3.2 ± 2 °C/min en pacientes UCTH, 2,8 ± 2 °C / min en pacientes PRP y 2,1 ± 0,9 °C/min en pacientes SSc. -El porcentaje de recuperación pasados 15 minutos es de 138% en pacientes UCTH, 90% en paciente PRP y 63% en pacientes con SSc. En conclusión, la presencia de una DDD >1°C en cualquier dedo a una temperatura ambiente de 30°C sirve para remarcar la enfermedad vascular estructural, y en combinación con la edad del paciente y un gradiente de recuperación máximo más pequeño, puede complementar otras investigaciones alertando al clínico ante una probabilidad creciente de enfermedad subyacente de tejido conectivo.
Lim et al., 2014	2 Grupos: -Pacientes con RP 57 primario 33 secundario 24 -Controles 46	-Basal -No específica	Dorsal de la mano	-T^a media de las yemas de los dedos índice, corazón y anular -T^a media de la palma. -Diferencia de T^a entre la palma y los dedos	-ICC (Coeficiente de correlación interclase) > 0.75 lo que indica una excelente reproducibilidad) -Las diferencias de temperatura fueron significativas en los pacientes RP en todo el tiempo (p < 0.001). -Según el sexo, las diferencias en la temperatura del dedo más frío fueron significativamente mayores en los pacientes con RP que en los pacientes control (p < 0,001). -En los controles, las diferencias de temperatura entre la palma y los dedos fueron significativamente mayores en las mujeres que en los hombres (p < 0,001). En cambio, en los pacientes RP no hubo diferencias en cuanto al sexo, ni en cuanto a los pacientes fumadores y no fumadores. En conclusión, nuestro estudio indica que la evaluación termográfica en las manos y los pies puede ayudar en el diagnóstico de la RP tanto en mujeres como en hombres.

Artículo	Participantes	Momento de las medidas	Parte del mano	Medidas	Resultados y Conclusiones
Horikoshi et al., 2016	2 grupos: -Pacientes RP 10 -Controles 10	-Basal Estrés térmico 10 °C durante 10 segundos - 0,3,5,10,15,20 y 30 minutos después.	Dorso	-índice de recuperación de la uña de cada dedo. -La disparidad de la temperatura de la uña -DDD (distal-dorsal-diferencia)	-El índice de recuperación fue significativamente menor en pacientes con RP que en los controles, la diferencia mayor fue a los 5 minutos post estrés térmico ($p < 0.01$). -La disparidad de la temperatura fue significativamente mayor en los pacientes con RP que en los controles en el momento basal y en todos los momentos post estrés térmico, siendo la diferencia más alta a los 5 minutos. - En los controles, la DDD media fue positiva (la uña más caliente que la zona del metacarpo) en todos los momentos, excepto a los 0 y 3 minutos post estrés. -En los pacientes RP, la DDD media fue negativa en todos los momentos. -La DDD difiere significativamente entre los grupos en todos los momentos excepto en el momento inmediatamente después al estrés térmico. La diferencia fue mayor en el 5 minuto post estrés térmico ($p < 0,01$). En conclusión, los presentes hallazgos revelan una temperatura de la uña más baja, un índice de recuperación más bajo y una menor DDD en pacientes de RP comparado con los controles. El hallazgo más novedoso fue la disparidad en la temperatura de la uña entre los dedos en pacientes con RP.
Mason et al., 2003	1051 mineros (33-65 años)	Estrés térmico 15 °C durante 5 minutos -Monitorizan la temperatura los 10 minutos siguientes.	Palma	-La escala Stockholm para analizar el estado vascular. -Test de Griffin- para analizar la palidez de los dedos. -T ° de la mano derecha -T ° de la mano izquierda	-La edad y el tiempo de exposición a la vibración no fueron significativos en la cohorte. -El área bajo la curva muestra que el CPT fue un mal predictor del diagnóstico final o del grado de palidez de los dedos autoinformado. -10 sujetos fueron identificados con una palidez en una mano de 0 y en la otra mano por encima 8, en todos los casos la mano que reportaba la anomalía fue la mano dominante. 8 de los sujetos tuvieron mediciones de CPT y unos valores de palidez de entre 8-21 en la mano afectada, sugiriendo que al menos 2 dedos se vieron afectados. Sugerimos que esta prueba estandarizada de CPT tal como se formula y utiliza actualmente en las evaluaciones de compensación de los mineros del Reino Unido puede ser útil para discriminar entre grupos de trabajadores, pero no cumple con los criterios generalmente asociados con las pruebas de diagnóstico clínico aplicadas a un individuo.

Artículo	Participantes	Momento de las medidas	Parte del cuerpo	Medidas	Resultados y Conclusiones
Schuhfried et al., 2000	86 pacientes con RP	-Basal Estrés térmico 16°C durante 1 minuto - Inmediatamente después - 1,2,3,4,5,6,7,10,15,20 minutos post CPT.	Dorso	-T _a absoluta de las yemas de los dedos antes, 10, 20 minutos después del CPT en grados. -La diferencia de temperatura entre las yemas de los dedos y la región carpometacarpiana radial, antes, 10 y 20 minutos después del CPT. -el área media bajo la curva de la recuperación térmica de las yemas durante 20 minutos post CPT. -el porcentaje de recuperación térmica. índice de recuperación térmica de las yemas a los 20 minutos del CPT. -la fase de recuperación térmica más rápida de las yemas de los dedos de ambas manos, medida en minutos post CPT.	-En los sujetos sin RP, la recuperación térmica de las yemas se completó a los 15 minutos post estrés térmico. -La diferencia de temperatura entre las yemas y la región carpal fue alrededor de 0 antes del estrés térmico y durante la recuperación térmica. -Pacientes con RP asociada con esclerosis sistémica tienen una temperatura más baja de las yemas en la medición basal, y tienen una diferencia de temperatura entre las yemas y la región carpal negativa antes del estrés térmico. 20 minutos después del estrés térmico aún no se ha recuperado del todo la temperatura y la diferencia de temperatura permanece negativa. La diferencia de temperatura longitudinal antes de un estrés térmico es el principal parámetro termográfico para discriminar entre pacientes con y sin fenómeno de Raynaud definido por historia clínica. Un examen termográfico con el estrés térmico, especialmente para el diagnóstico del fenómeno secundario de Raynaud, no parece proporcionar ninguna información adicional. Esto resulta en menos tensión y sin dolor a través de la provocación de frío para el paciente, y en un menor gasto de esfuerzo de examen, un ahorro de tiempo y una reducción de costes.
Stemmersky et al., 2021	2 grupos -Pacientes con RP 150 -Controles 20	-Basal Estrés térmico 9°C durante 5 minutos - Inmediatamente después y a los 5, 10, 20 y 30 minutos.	Dorso	- T _a media de las falanges distales de los dedos en ambas manos -T _a media de los dedos de ambas manos -T _a media de la parte dorsal de la palma -Diferencia distal (diferencia de temperatura de los dedos antes del estrés térmico y después) -DDD diferencia distal dorsal	- De los 150 pacientes estudiados, 127 fueron diagnosticados con RP, 7 con acrocianosis y 16 son hallazgos fisiológicos. - La distribución de la temperatura fue simétrica en el momento basal en 34% de los pacientes, mientras que fue del 33% después del estrés térmico. - La temperatura absoluta más alta de los dedos se obtuvo en el 1º dedo (índice) tanto en la mano derecha como en la izquierda antes y después del estrés térmico. - El dedo más frío en el momento basal fue el 5º dedo tanto en la mano derecha como en la izquierda. -Después del estrés térmico, el 2º y 3º dedos fueron los más fríos en ambas manos. - No se encontró relación entre los cambios de temperatura y la mano dominante. Al no ser invasivo, el examen IRT es un método completamente seguro para los pacientes, y los resultados de los exámenes muestran que CPT (estrés térmico) permite una evaluación objetiva de los trastornos de perfusión acral. El uso de CPT es significativo en los casos en que el diagnóstico de RP es incierto. En los casos en que es necesario distinguir el SRP (fenómeno de Raynaud secundario) y el PRP (Fenómeno de Raynaud primario), es mejor usar IRT sin CPT, mientras se monitorea la temperatura de las falanges distales solo después de la aclimatación, o usar el parámetro DDD.

*HAVS: Síndrome de vibración brazo- mano; RP: Raynaud phenomenon (Fenómeno de Raynaud); CRI: índice de respuesta al frío; UEMSD: Upper extremity musculoskeletal disorder (Desorden musculoesquelético de extremidad superior); VWF: vibration-induced white-finger (vibración inducida por el dedo blanco); FST: finger skin temperature (temperatura de la piel del dedo); CTS: Carpal tunnel syndrome (síndrome del túnel carpiano); DDD: diferencia distal dorsal; CPT: cold provocation test (test de estrés térmico).

JUSTIFICACIÓN



2. JUSTIFICACION

La termografía infrarroja es una modalidad de imagen médica para estudiar la temperatura de la piel en tiempo real, proporcionando información fisiológica de las estructuras subyacentes (Cena y Clark, 1976). Uno de los lugares del cuerpo más accesibles a ser investigados con este método de imagen son las manos, pudiendo reflejar información valiosa sobre la correcta vascularización de una persona (Ring y Ammer, 2015). Como la temperatura periférica del cuerpo humano depende de la transferencia de calor del tejido y del flujo de sangre, la termografía es un método de interés para estudiar desordenes neurológicos y musculoesqueléticos, que cursan con cambios en la generación y transporte del calor del cuerpo hasta la piel (Adamczyk et al., 2016; Bach et al., 2015).

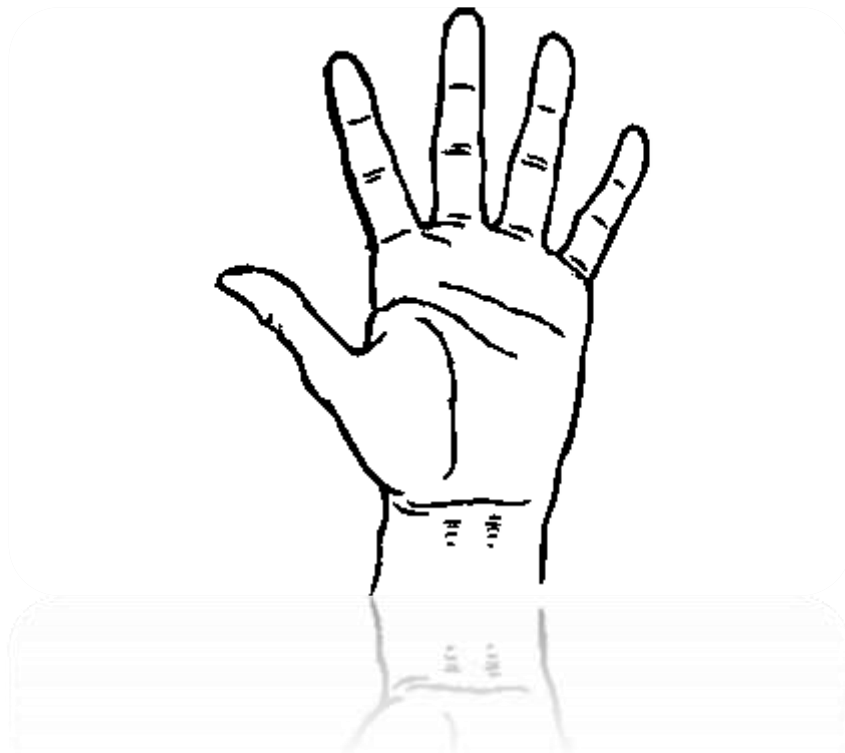
Diferentes estudios han demostrado la utilidad de la termografía dinámica (estrés térmico de frío o calor) para mejorar el diagnóstico y evaluación de patologías (Bargiel et al., 2021; Coughlin et al., 2001; Dupuis, 1995.; Ammer, 1999; Khosrawi et al., 2012; Harada y Mahbub, 2008; Mahbub y Harada, 2011; Takahashi et al., 2003; Poole, Elms y Mason, 2006; Stankovic et al., 2011; Coughlin et al., 1999; Mason, Poole y Saxton, 2003; McGeoch y Gilmour, 2000; Bartelink et al., 1990; Pauling et al., 2011b; Chlebicka et al., 2013; Foerster et al., 2007; Schuhfried et al., 2000; Lim et al., 2014; Stefańczyk et al., 2007; Bovenzi, 1987).

La simetría térmica está definida como el grado de similitud entre dos ROIs, comparadas a través del eje longitudinal del cuerpo, con idénticas áreas en tamaño y talla (Vardasca et al., 2012). El grado de simetría se establece medido en términos de media, y desviación estándar de las respectivas temperaturas en las ROIs (Ricardo Vardasca, Ring, Plassmann y Jones, 2012; Vardasca, Restivo, y Mendes, 2018). En estudios anteriores se estudiaron en sujetos sanos el grado de simetría en las extremidades superiores e inferiores del cuerpo con una diferencia entre los dos lados como máximo de 0,4°C (Vardasca et al., 2012). Debido al uso de la mano dominante durante la profesión de odontología, se consideró interesante estudiar el grado de simetría térmica entre la mano dominante y la no dominante entre los participantes, comparando odontólogos con un grupo de control de personas que utilicen las manos solo para trabajar con el ordenador.

Por otro lado, también se consideró interesante estudiar la diferencia entre los odontólogos más noveles y aquellos que tienen más experiencia, lo que conlleva más años de trabajo manual, con el consiguiente estrés mecánico adquirido.

Debido a estos problemas que se van derivando de la profesión de la odontología, por el estrés mecánico al que se ven sometidas las manos, o por los problemas de vibración en el uso de material rotatorio, así como problemas vasculares adquiridos, se considera muy interesante realizar un estudio termográfico en las manos de las personas odontólogas. En este sentido, debido a que el tiempo de experiencia puede influir en los resultados, se hace necesario analizar las diferencias entre noveles y expertos.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS



3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Como consecuencia de todo lo anteriormente descrito, en la presente tesis doctoral se plantearon los siguientes objetivos e hipótesis:

3.1 Hipótesis general

La hipótesis general del presente estudio fue si los odontólogos pueden tener más probabilidades de desarrollar alteraciones vasculares en las manos debido a su constante trabajo manual.

3.2. Objetivo general:

Determinar si existen diferencias entre odontólogos y no odontólogos en la recuperación térmica de las manos tras un estrés térmico de frío.

3.3. Objetivos específicos:

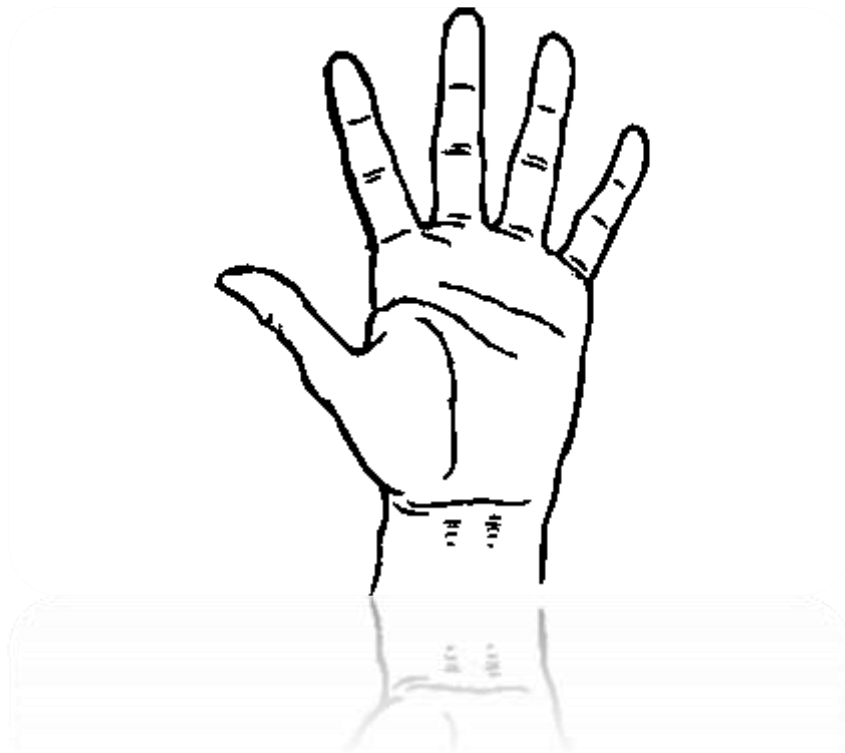
- Establecer si existe asimetría térmica entre la mano que se usa para trabajar y la mano de apoyo, es decir, entre la mano dominante y la mano de apoyo.

- Estudiar si existen diferencias de temperatura, tanto a nivel basal como de recuperación tras el estrés térmico de frío, entre los participantes odontólogos y los controles.

- Analizar si existen diferencias de temperatura, tanto a nivel basal como de recuperación tras el estrés térmico de frío, debidos a la experiencia en la profesión.

- Determinar si existen otras variables que expliquen la variación de la temperatura dependientemente de la profesión y la edad.

MATERIAL Y MÉTODO



4. MATERIAL Y MÉTODO

4.1 Metodología

4.1.1 Participantes

El proyecto de investigación llevado a cabo para la realización de esta tesis doctoral es un estudio experimental prospectivo termográfico, realizado en las manos de odontólogos sometidos a un estrés térmico y mecánico, teniendo en cuenta la experiencia profesional. El presente estudio cuenta con la aprobación del comité de ética de la Universidad de Valencia con numero H151687940483 (Anexo 1). A todos los participantes se les explicó el proyecto de investigación, rellenaron un cuestionario médico, firmaron un consentimiento informado y un consentimiento específico en relación a la ley de protección de datos (Anexo 2, 3 y 4).

La muestra fue de 78 participantes. Los odontólogos se dividieron en 2 grupos; un grupo de noveles, menores de 35 años y con menos de 5 años de experiencia, y un grupo de expertos, mayores de 35 años y con más de 5 años de experiencia. En su mayoría fueron odontólogos tanto personal docente como alumnos de máster de los distintos departamentos de la facultad de odontología de la universidad de Valencia.

Los controles se dividieron en 2 grupos: un grupo de noveles, en su mayoría alumnado de educación física, menores de 35 años y con menos de 5 años de experiencia y un grupo de expertos, en su mayoría profesorado de la universidad y personas en cuya profesión se utilizan las manos para trabajar con el ordenador. De todas las variables de caracterización, únicamente fueron los grupos diferentes en cuanto a la edad.

El área de superficie corporal que se muestra en la fue calculada mediante la siguiente formula (Du Bois & Du Bois, 1916):

$$\text{Área superficie corporal} = 0,202 * \text{masa corporal}^{0,425} * \text{altura}^{0,725}$$

4.1.2 Criterios de inclusión

Para el presente estudio se tuvo en cuenta que fueran personas que cumplieran los requisitos en cuanto a las edades por grupos:

-Odontólogos con más de 35 años y 5 años de experiencia que estuvieran en activo.

-Odontólogos con menos de 35 años que estuvieran en activo.

- Profesionales con más de 35 años y 5 años de experiencia que utilizaran para trabajar las manos con el ordenador.

- Estudiantes de otras carreras o profesionales menores de 35 años que utilizaran las manos para trabajar con el ordenador.

4.1.3 Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión fueron los siguientes:

- Presentar una lesión muscular y/o tendinosa en las manos.

- No haber seguido las indicaciones que se les daban a los participantes días antes de su medición.

Dichas indicaciones fueron:

- Durante las 24 horas previas a la toma de registros no deberá haberse sometido a rayos UVA o exposición prolongada al sol.

- No deberá hacer ejercicio previo a la toma de registros.

- 4 horas antes de la toma de registros no deberá fumar ni beber alcohol o bebidas estimulantes.

- No deberá comer de manera abundante el día de la toma de registros.

- No deberá tomar medicamentos antipiréticos o suplementos de la dieta en las 8 horas previas a la toma de registros.

- No deberá usar crema en las manos.

4.1.4 Condiciones ambientales

Las mediciones se realizaron todas en la misma sala, con aire acondicionado manteniendo la temperatura a 23°C. Los participantes antes de realizar los registros tenían que permanecer en reposo 10 minutos con las manos sin contacto con ninguna superficie, mientras se atemperaban a la temperatura de la sala. Para analizar la temperatura de la sala o temperatura ambiente y la humedad relativa, se utilizó un higrómetro digital (Velleman WS8471).

4.1.5 Equipamiento

Para la realización del presente estudio se utilizó la misma sala de la facultad, un seminario con un tamaño de 9 x 3 m, con estores radiopacos que elimina la radiación solar. Se utilizó la cámara termográfica FLIR A35 (Flir Systems, Estados Unidos) (figura 14), con una resolución de 320 x 256 píxeles y una sensibilidad de $<0,05^{\circ}\text{C}$ a 30°C (86°F). La cámara se fijó con un trípode en la misma posición siempre para que la cámara estuviera en un ángulo de 90° con respecto a las manos y a una distancia de 40 cm. Entre participante y participante se comprobó el enfoque de la cámara. Las manos se situaban sobre una cartulina negra para evitar el efecto de otras fuentes de radiación en la imagen.

Para determinar la temperatura de la sala y la humedad relativa se usó un higrómetro (Velleman WS8471, Velleman NV, Bélgica) y se registró antes de cada medición (Figura 15). El estrés térmico se llevó a cabo con una cuba de agua rectangular con agua a una temperatura entre $5-8^{\circ}\text{C}$, los participantes usaron guantes de látex para sumergir las manos en la cuba de hielo durante 10 segundos. Para conocer la temperatura del agua se usó un termómetro de platino (Dostmann P700, DOSTMANN electronic GmbH, Alemania) con el que se medía la temperatura del agua durante todo el tiempo que las manos permanecían en la cuba de agua (Figura 16).



Figura 14. Cámara Flir A35



Figura 15. Higrómetro digital (Velleman WS8471)



Figura 16. Termómetro platino (Dostmann p700)

Al comienzo de la fase de experimentación, se observaron valores de la temperatura de la piel muy altos en condiciones basales (ej. 38°C). Debido a este problema con la cámara, se mandó la cámara al fabricante para volver a revisarla. El fabricante mejoró la calibración, pero además proporcionó la siguiente recta de ajuste para mejorar aún más la fiabilidad de los datos obtenidos:

$$\text{Temperatura real (}^{\circ}\text{C)} = 0,979 * \text{Temperatura registrada con la cámara A35} - 2,608$$

Se registró el vídeo termográfico durante las mediciones con una frecuencia de 30 Hz y el software FLIR tools (Flyr systems, Estados Unidos).

4.1.6. ROIs del estudio

Para la realización del presente estudio se determinaron las ROIs siguiendo los límites anatómicos y se obtuvieron los parámetros térmicos de dichas ROIs mediante el software Research IR (Flyr Systems, Estados Unidos). Se realizó un estudio basal donde se tomaron 4 imágenes, a los 0, 10, 20 y 30 segundos de iniciar el video (tras los 10 minutos de adaptación a la sala). Tras la realización del estrés térmico, se analizó la recuperación al estrés térmico con 5 imágenes tomadas del vídeo termográfico a los 10 segundos, 30 segundos, 1 minuto, 2 minutos, y 3 minutos posteriores al estrés térmico (figura 17). La figura 18, muestra las ROIs en el momento basal, la figura 19 muestra el momento post estrés térmico y la figura 20 muestra el momento después de los 3 minutos de recuperación térmica.

Siguiendo la metodología de algunos de los estudios termográficos en las manos para no incurrir en errores, dada la posición anatómica del pulgar que no estaba perpendicular a la cámara termográfica, se excluyó del estudio dicha región (Lim et al., 2014; Stefańczyk et al., 2007).

Las 18 ROIs analizadas fueron las siguientes:

- ROI 1: Palma derecha.
- ROI 2: Palma izquierda.
- ROI 3: Metatarso dedo índice derecho.
- ROI 4: Metatarso dedo índice izquierdo.
- ROI 5: Metatarso dedo corazón derecho.
- ROI 6: Metatarso dedo corazón izquierdo.
- ROI 7: Metatarso dedo anular derecho.
- ROI 8: Metatarso dedo anular izquierdo.
- ROI 9: Metatarso dedo meñique derecho.
- ROI 10: Metatarso dedo meñique izquierdo.
- ROI 11: Yema dedo índice derecho.
- ROI 12: Yema dedo índice izquierdo.

- ROI 13: Yema dedo corazón derecho.
- ROI 14: Yema dedo corazón izquierdo.
- ROI 15: Yema dedo anular derecho.
- ROI 16: Yema dedo anular izquierdo.
- ROI 17: Yema dedo meñique derecho.
- ROI 18: Yema dedo meñique izquierdo.

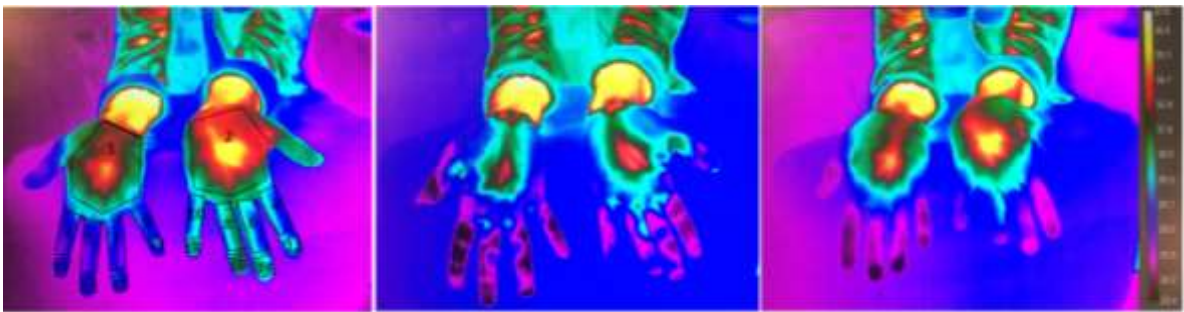


Figura 17: Imagen de 3 momentos del estudio a) momento basal, b) momento 100 segundos, c) momento 270.

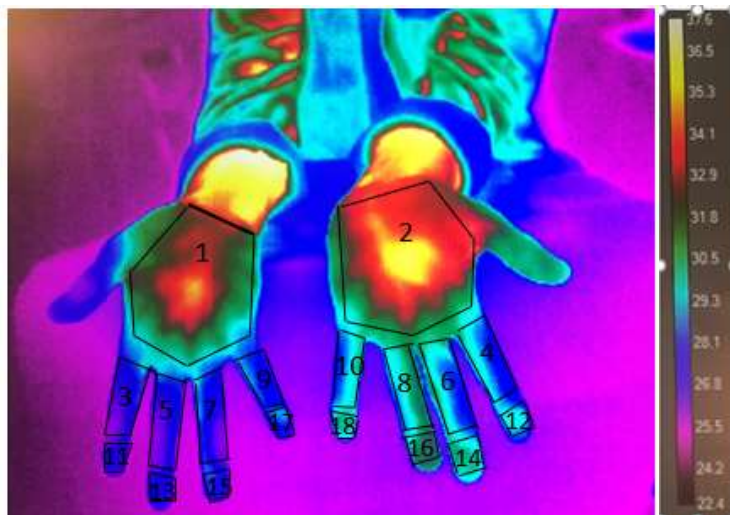


Figura 18. Regiones de interés analizadas en el estudio. Imagen del momento basal.

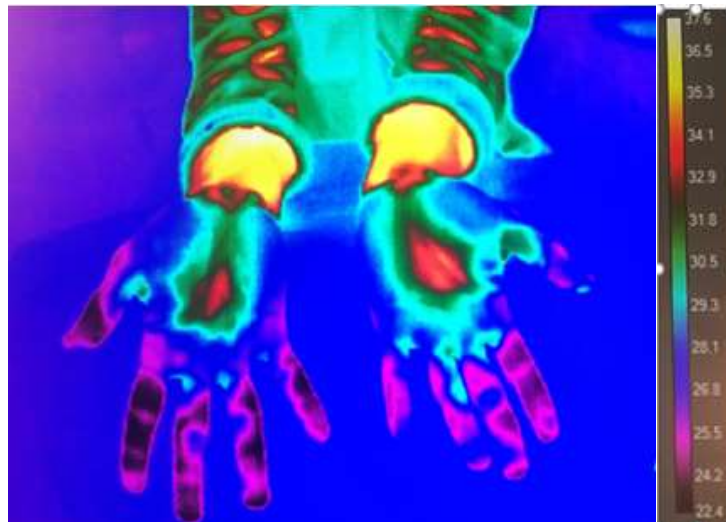


Figura 19. Imagen del momento 100 segundos.

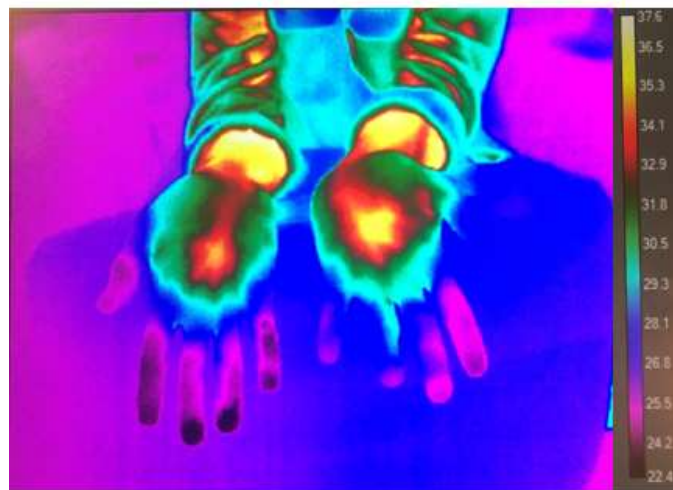


Figura 20. Imagen en el momento 270 segundos.

Se analizaron las temperaturas medias, máximas y desviación de las ROIs con una emisividad de 0,98. Para el cálculo de la variación de la temperatura (ΔT), en primer lugar, se realizó el promedio de las medidas a los 0, 10, 20 y 30 segundos antes del estrés térmico, obteniendo una temperatura basal. Esta temperatura basal fue restada a todos los momentos de medida con el objetivo de obtener la ΔT .

Aunque se extrajeron los datos de la desviación estándar de cada una de las ROIs, se observó una gran variabilidad entre participantes, sin que importase el grupo de pertenencia (figura 21). Por esta razón se decidió no analizar dicha variable en los resultados.

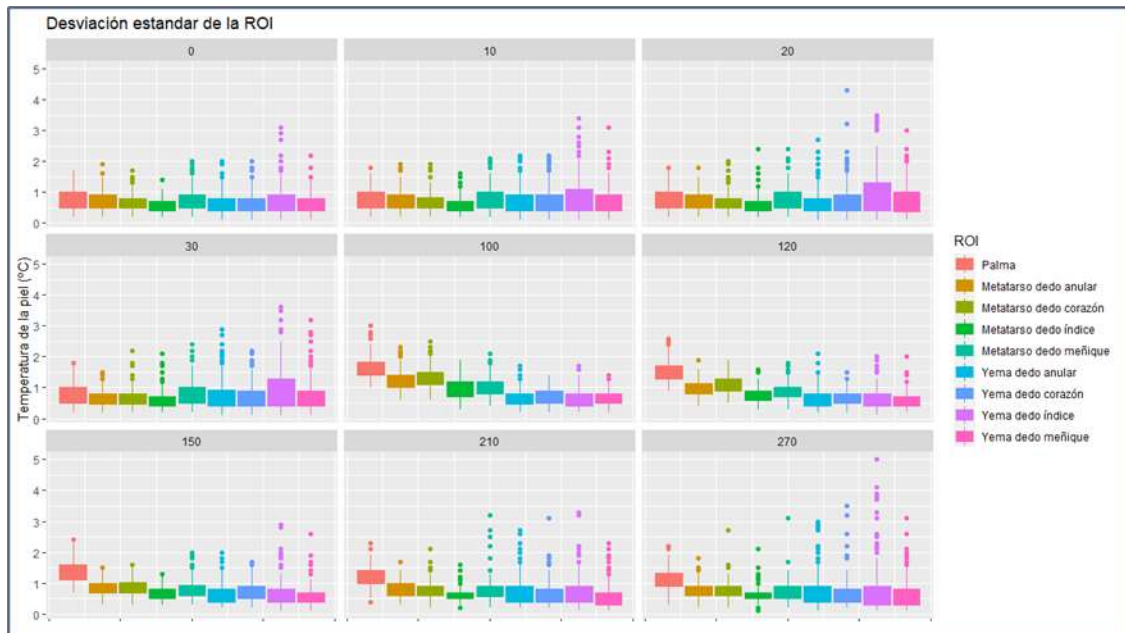


Figura 21. Diagrama de cajas de la desviación estándar de la temperatura de la piel de cada una de las regiones de interés (ROI) y momentos de medida.

4.2 Protocolo

Se tomó un video de ambas manos. En el presente estudio se tomaron las medidas de la parte palmar de la mano, por un lado, para evitar interferencias con el vello en los caballeros de la zona dorsal y por otro, porque la piel que no tiene vello se caracteriza por presentar una densa vascularización y la presencia de anastomosis arteriovenosas, y por tanto es una zona idónea para analizar alteraciones vasculares.

Se establecieron 2 grupos:

- Casos: **odontólogos** que se subdividirán en 2; **NO** (novel odontólogo: menos de 5 años de experiencia) y **EO** (experto odontólogo: más de 5 años de experiencia)
- Controles: personas de otras profesiones en los que la utilización de las manos no sea de uso profesional, se subdividirán en 2 grupos; **NN** (novel no odontólogo: menos de 5 años de experiencia) y **EN** (experto no odontólogo: más de 5 años de experiencia).

Los registros se tomaron en la Clínica Odontológica (Facultad de Medicina y odontología de la Universidad de Valencia), los pacientes rellenaron un consentimiento informado y un cuestionario médico (Anexo 1,2). La temperatura de la habitación estaba a una temperatura constante de en torno a 22° C (en la sección 4.1.4 se muestran los valores de temperatura de la sala registrados). El paciente estaba en reposo, con las manos al descubierto 10 minutos antes de la toma de registros.

Se realizó un análisis del estrés térmico y mecánico de los **NOVELES** en el siguiente orden:

- 10 minutos de reposo

-Se realizó un video con el registro basal del paciente de 30 segundos (Figura 22) y posteriormente se sometió a un estrés térmico metiendo las manos con guantes de látex en una cuba de agua a una temperatura entre 5-8 °C durante 10 segundos, y después de salir del agua se continuó el video durante los 3 minutos siguientes.



Figura 22. Foto ilustrativa de la realización del estudio, donde se ve el trípode con la cámara a una distancia de 40 cm en una posición de 90° perpendicular a la palma de la mano.

-Se sometió a un estrés mecánico (4 horas de trabajo; en el caso del odontólogo con pacientes)

-Se volvió a realizar un video desde la toma del registro basal de 30 segundos, pasando por el estrés térmico y durante los 3 minutos siguientes.

Se realizó un análisis del estrés térmico de los **EXPERTOS** con más de 5 años de experiencia:

-10 minutos de reposo

-Se realizó un video empezando con la toma del registro basal de 30 segundos y posteriormente se sometió a un estrés térmico metiendo las manos con guantes de látex en una cuba de agua (figura 23) a una temperatura entre 5-8 °C durante 10 segundos, y se continuó el video durante 3 minutos siguientes.



Figura 23. Foto del momento en el que se realiza el CTS, metiendo las manos en la cuba de agua a una temperatura de 5-7°C con los guantes de látex y donde se puede ver el termómetro de platino, que mide la temperatura en todo momento.

4.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el software R Studio (Versión 1.2.5033, R Studio Inc.). En primer lugar, se realizaron gráficos de cajas de todas las variables, factores y momentos, con el objetivo de detectar posibles valores atípicos o errores en el registro de los datos en el Excel. La figura 24 muestra como ejemplo un gráfico en el que se observa un error en los datos, y la figura 25 el mismo gráfico después de haberse corregido dicho error.

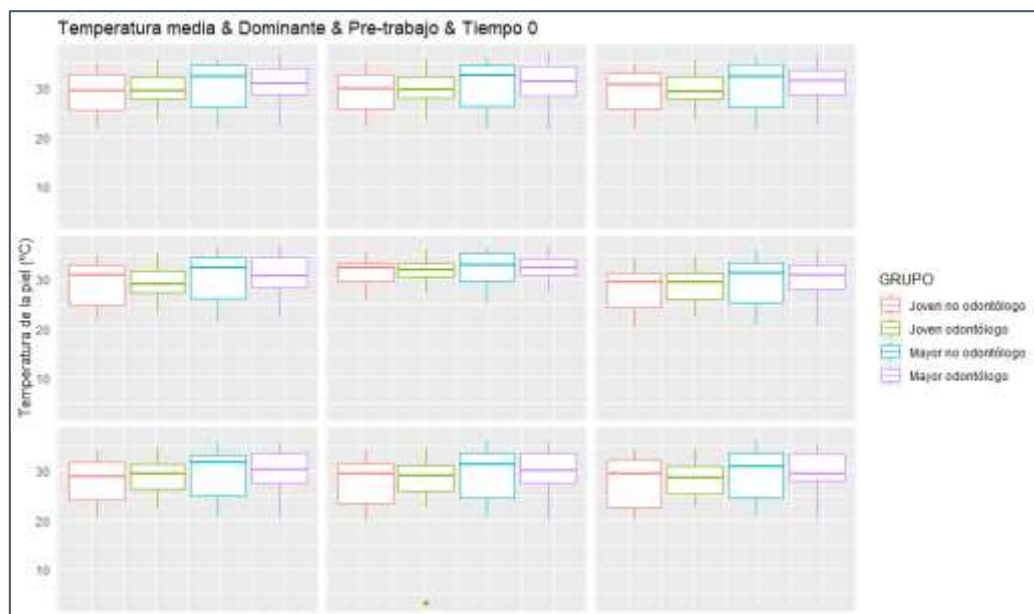


Figura 24. Diagrama de cajas para visualizar valores atípicos en los datos.

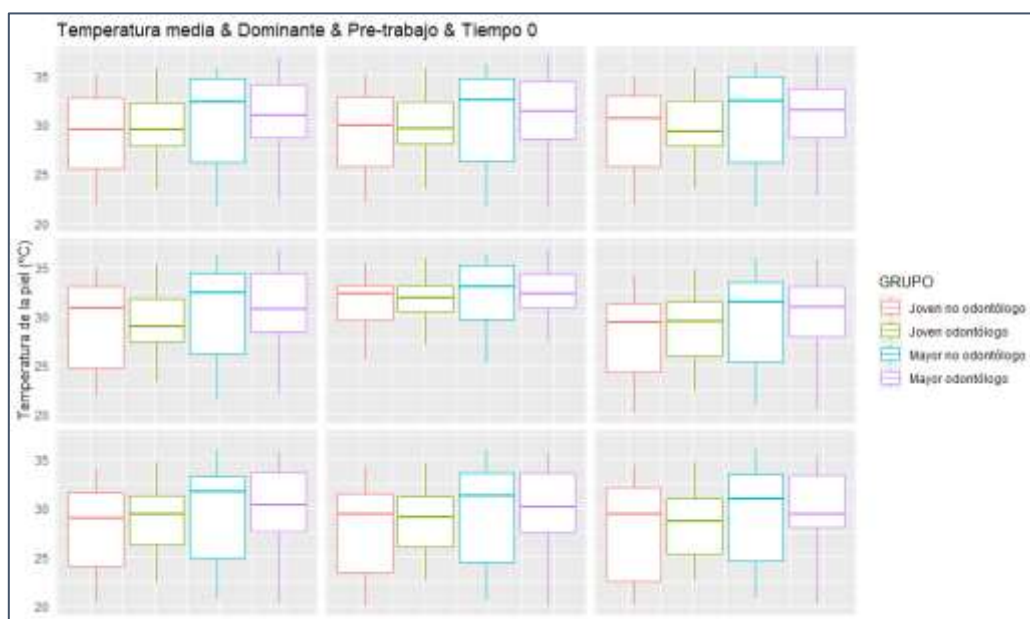


Figura 25. Diagrama de cajas tras corregir valores atípicos en los datos.

Se confirmó la normalidad de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). Tras esto, se realizaron ANOVAs de medidas repetidas para todos los parámetros (temperatura media, máxima, la variación de temperatura media y la variación de temperatura máxima) con los siguientes factores intra-sujeto (ROI, dominancia y tiempo) y un factor inter-sujetos (Grupo). Para analizar las diferencias entre pretrabajo y postrabajo en noveles, se realizaron otra vez los ANOVAs añadiendo el factor intra-sujeto momento (pretrabajo vs. postrabajo). La función utilizada en R Studio para los ANOVAs revisó la asunción de esfericidad mediante el test de Mauchly, y cuando dicho test fue violado se aplicó de manera automática la corrección de Greenhouse-Geisser. Para los ANOVA significativos, se hicieron comparaciones por pares de Bonferroni, y los datos se mostraron mediante el Intervalo de Confianza al 95% de las diferencias (IC 95%). En las comparaciones por pares entre los grupos, únicamente se mostrarán en los resultados las comparaciones de experiencia dentro del mismo grupo de profesión, o las comparaciones entre profesiones dentro del mismo grupo de edad, obviando por tanto las comparaciones cuando ambos factores se cruzan (expertos odontólogos vs. noveles no odontólogos, y expertos no odontólogos vs. jóvenes odontólogos). Las figuras muestran los datos mediante las medias y los IC 95% de las medias. Se estableció $p < 0,05$ como límite de significancia.

Se realizaron modelos de regresión múltiple con el método de selección de variables stepwise para analizar los factores que explican la variación de la temperatura media. En primer lugar, se realizó un primer modelo con todas las ROIs, con el objetivo de ver las diferencias entre ROIs para así seleccionar las ROIs sobre las que realizar los análisis definitivos. La figura 26 muestra los coeficientes estandarizados de dicho modelo obtenido, en el que se decidió seleccionar como regiones representativas de todas, el metatarso del dedo índice y la yema del dedo índice. De esta manera, se realizaron modelos de regresión múltiple para dichas dos regiones, en 3 momentos: nada más acabar el enfriamiento (segundo 70), a mitad del proceso de recuperación (segundo 120) y final del proceso de recuperación (segundo 240). Las variables explicativas que se introdujeron en los modelos fueron: momento (pretrabajo, postrabajo), sexo, edad, índice de masa corporal, área de superficie corporal, si toma medicamentos (sí o no), si el participante es activo físicamente (sí o no), el periodo de la ovulación (1. hombre, 2. mujer sin menstruación ya sea por menopausia o por lactancia, 3. Fase folicular, 4. Fase lútea), si es odontólogo (sí o no). Todas las variables introducidas en los modelos fueron significativas ($p < 0,05$).

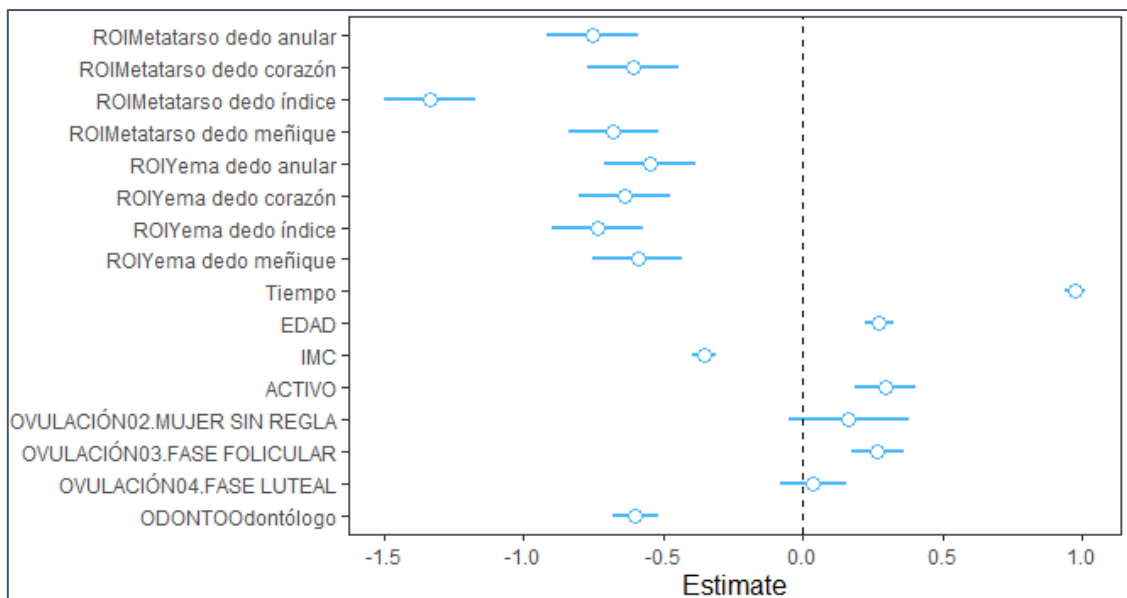
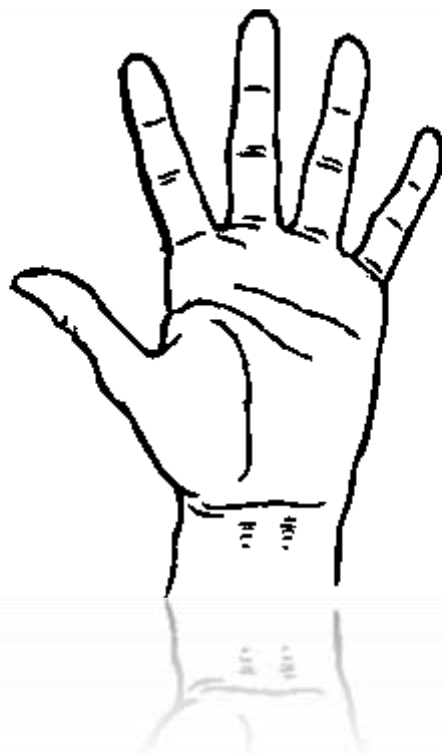


Figura 26. Análisis preliminar de los coeficientes estandarizados de la regresión múltiple con el objetivo de seleccionar las regiones de interés más representativas.

RESULTADOS



5. RESULTADOS

5.1 Estadística descriptiva

La muestra fue de 78 participantes (Tabla 2). Los odontólogos se dividieron en 2 grupos; un grupo de noveles, menores de 35 años y con menos de 5 años de experiencia (23 participantes, con una edad media de 27 años, 14 mujeres y 9 hombres), y un grupo de expertos, mayores de 35 años y con más de 5 años de experiencia profesional (21 participantes con una edad media de 42 años, 14 mujeres y 7 hombres).

Los controles se dividieron también en 2 grupos: un grupo de noveles, en su mayoría alumnado de educación física, menores de 35 años y con menos de 5 años de experiencia (18 participantes, con una edad media 28 años, 10 hombres y 8 mujeres) y un grupo de expertos, (21 participantes, edad media 41 años, 11 mujeres y 10 hombres). De todas las variables de caracterización, únicamente fueron los grupos diferentes en cuanto a la edad.

Tabla 2:

Datos de los participantes clasificados en cuatro grupos: expertos odontólogos (EO), expertos no odontólogos (EN), noveles odontólogos (NO) y noveles no odontólogos (NN).

	Grupo EO	Grupo EN	Grupo NO	Grupo NN
Número de participantes	20	20	22	16
Edad (años)	42 ± 8	42 ± 10	27 ± 2	28 ± 3
Sexo (% mujeres)	70%	55%	59%	37%
Masa corporal (Kg)	64 ± 11	71 ± 15	64 ± 11	72 ± 13
Altura (m)	1,69 ± 0,08	1,70 ± 0,08	1,72 ± 0,10	1,72 ± 0,17
IMC (Kg/m²)	22 ± 3,2	24 ± 3,9	21 ± 2,2	25 ± 8,2
Superficie corporal (m²)	1,73 ± 0,16	1,82 ± 0,21	1,75 ± 0,20	1,83 ± 0,24
Participantes que toman medicamentos (%)	40%	15%	32%	13%
Participantes que son activos (%)	70%	70%	91%	86%
Numero entrenamientos/semana	2 ± 0	2 ± 2	3 ± 1	3 ± 2

Del total de 87 participantes reclutados, tras el análisis se eliminaron 9, debido a incumplimientos del protocolo o no estar en buenas condiciones: llevar crema (Figura 27), haber realizado ejercicio antes de la medida (Figura 28), tener fiebre (Figura 29), etc.

Los participantes 81,84 y 86, fueron excluidos del estudio debido a que la temperatura del agua era muy baja y la temperatura ambiental alta y no tuvo respuesta tras el estrés térmico. Los participantes 54 y 86 tuvieron fiebre días antes de la toma de medidas. El participante 35 llegó haciendo ejercicio a las mediciones y tenía la temperatura alta. La participante 44 se puso crema en las manos y tenía las temperaturas muy bajas.

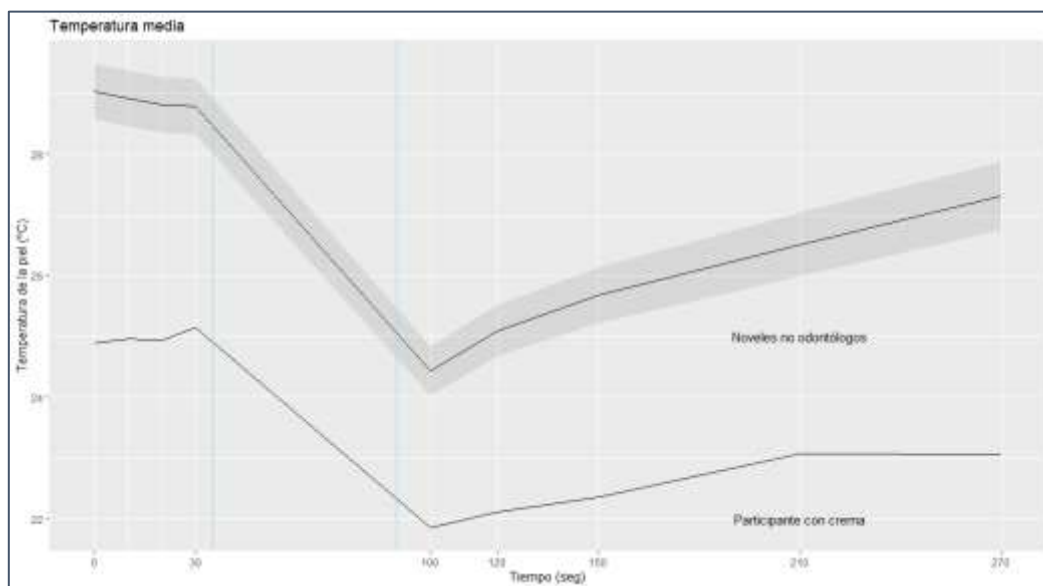


Figura 27. Temperatura de la piel del participante 44 que uso crema en las manos, en comparación con el grupo al que pertenece (noveles no odontólogos) que se muestra a partir de la media del grupo y 95% del intervalo de confianza. Obsérvese las líneas blancas verticales que indican el momento en que se toman los registros de los datos de temperatura durante 30 segundos en estado basal, después se realiza el estrés térmico y se analiza la recuperación durante los 3 minutos siguientes, y el lapso de tiempo entre las líneas azules indica cuándo se realiza el estrés térmico.

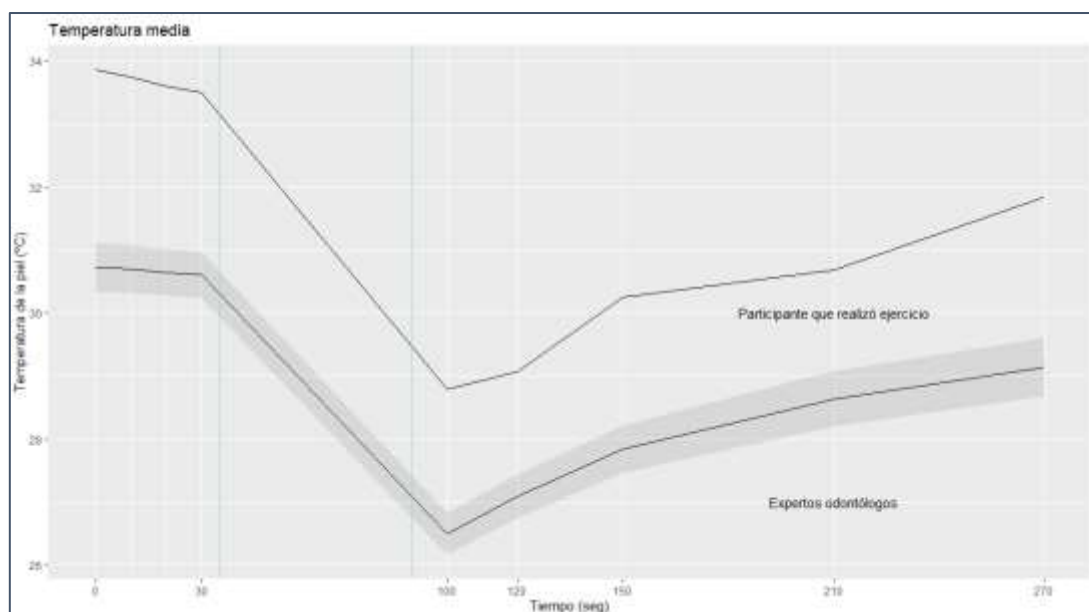


Figura 28. Temperatura de la piel del participante 35, que realizó ejercicio antes de las mediciones por lo que la temperatura es más alta, en comparación con el grupo al que pertenece (expertos odontólogos) que se muestra a partir de la media del grupo y 95% del intervalo de confianza.

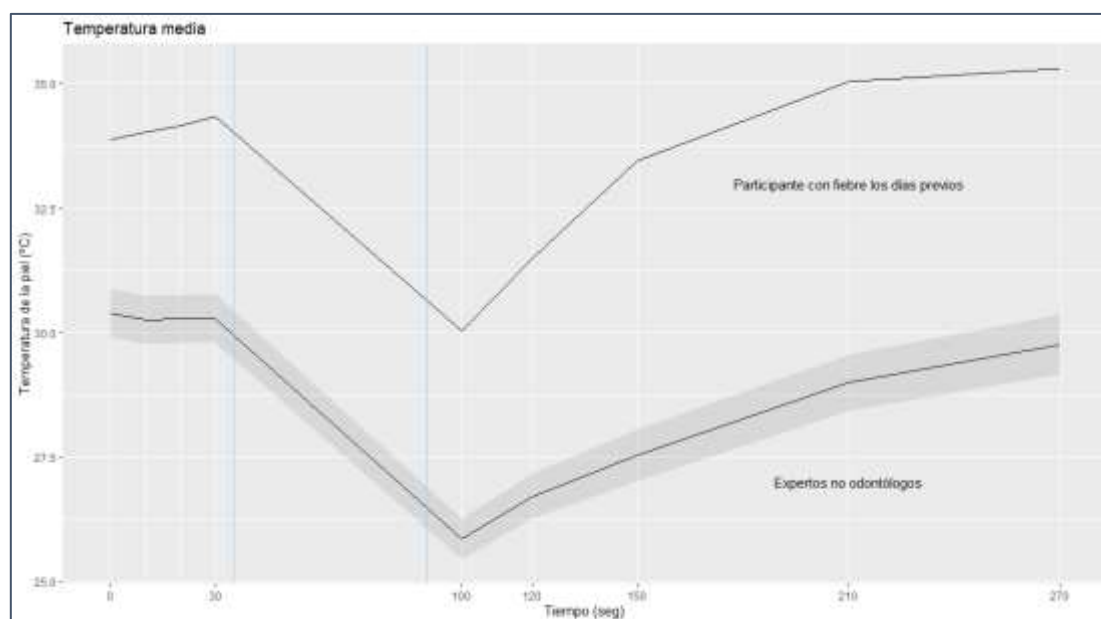


Figura 29. Temperatura de la piel del participante 54 que tuvo fiebre los días anteriores a realizar el estudio, observándose valores más altos, en comparación con el grupo al que pertenece (expertos no odontólogos) que se muestra a partir de la media del grupo y 95% del intervalo de confianza.

En cuanto a las condiciones ambientales, los 4 grupos no tuvieron diferencias en temperatura ambiente ($21,9 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$) y temperatura del agua ($6,4 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$), pero sí en humedad relativa ya que el grupo OE tuvo valores más altos que los grupos CE y CN (Tabla 3).

Tabla 3:

Datos del estudio relativos a temperatura y humedad.

	Grupo EO	Grupo EN	Grupo NO	Grupo NN
Temperatura de la sala (°)	$21,9 \pm 0,3$	$21,9 \pm 0,2$	$21,7 \pm 0,6$	$22 \pm 0,5$
Humedad relativa (%)	38 ± 3	43 ± 4	40 ± 5	41 ± 3
Temperatura del agua (°)	$6,7 \pm 0,5$	$6,4 \pm 0,5$	$6,5 \pm 0,6$	$6,1 \pm 0,8$

EO: Experto odontólogo; EN: Experto no odontólogo; NO: Novel odontólogo; NN: Novel no odontólogo

5.2 Análisis dominancia

Tras los diferentes ANOVAs realizados, no se observó ningún efecto de la dominancia ($p > 0,05$) en el análisis de la temperatura media y máxima de ninguno de los grupos o momentos. Como ejemplo de este resultado, se muestra a continuación la comparación de la mano dominante y la mano no dominante en la temperatura media (Figura 30) y máxima (Figura 31) en el ensayo pretrabajo. Debido a esto, no se tuvo en cuenta el factor dominancia en los siguientes análisis.

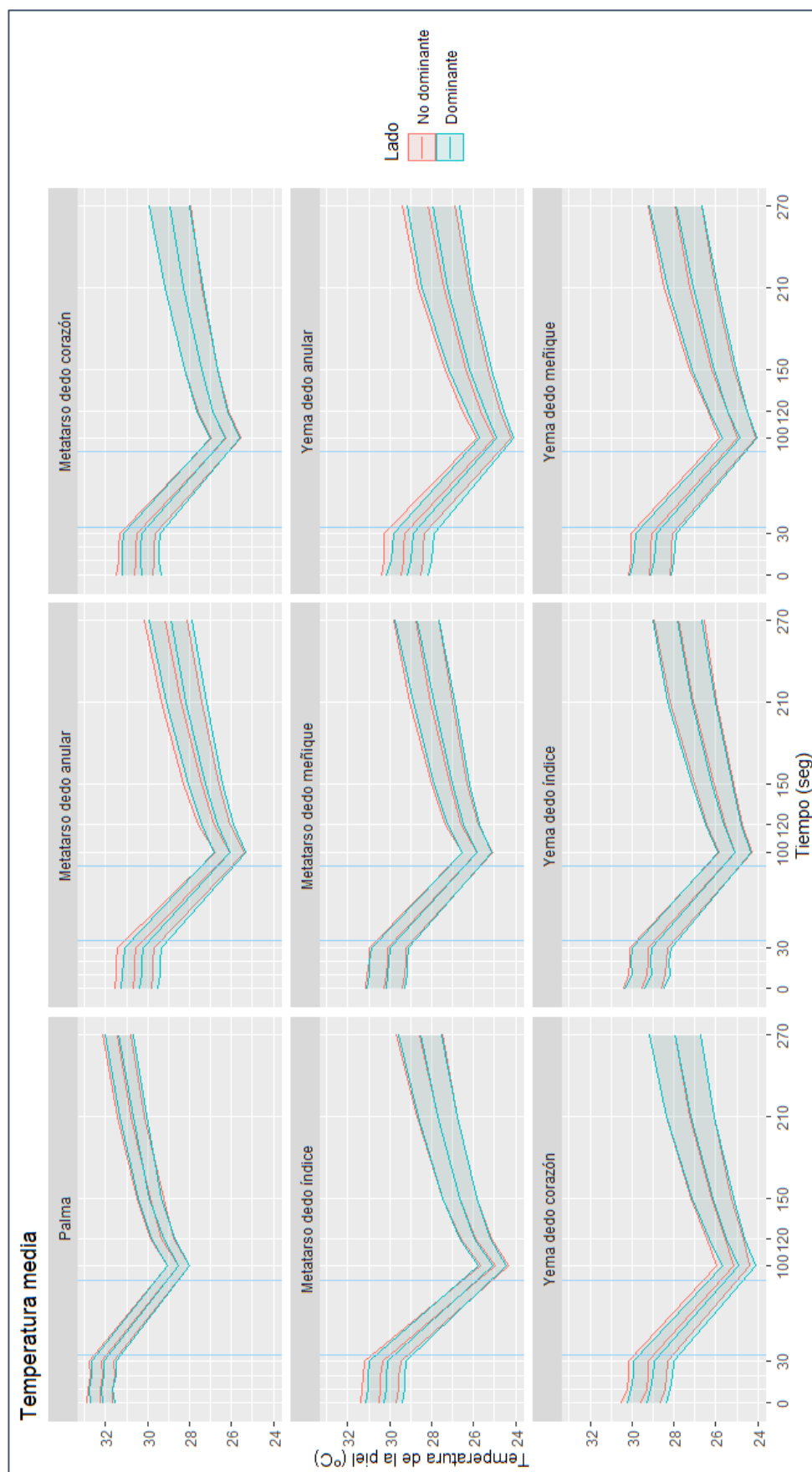


Figura 30. Media e IC 95% de la comparativa de la temperatura media de la mano dominante versus la mano no dominante.

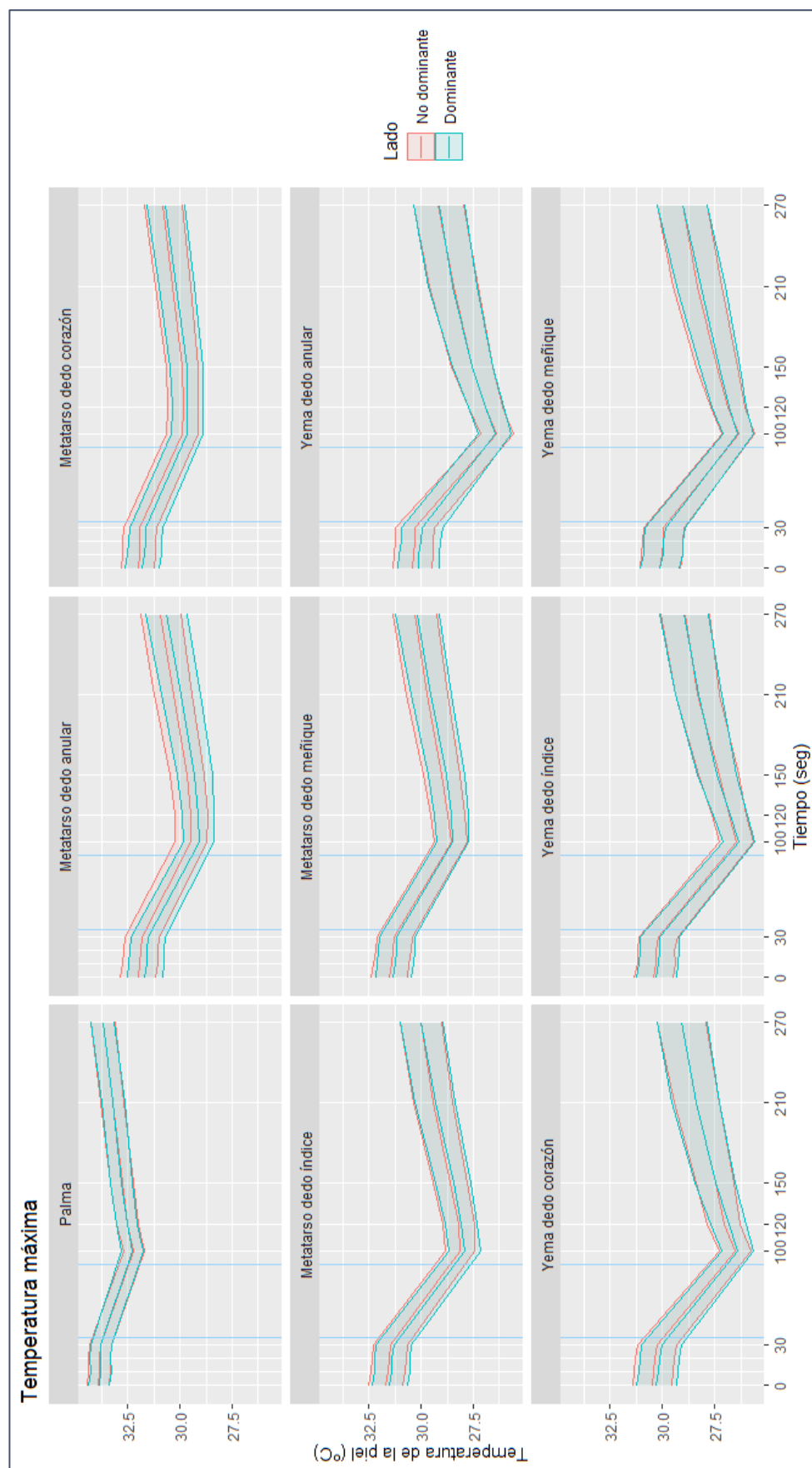


Figura 31. Media e IC 95% de la comparativa de la temperatura máxima de la mano dominante versus la mano no dominante.

5.3 Análisis pretrabajo

Con relación a la temperatura media, el ANOVA observó un efecto del ROI ($p < 0,001$), del tiempo ($p < 0,001$) y del grupo ($p < 0,001$), así como de la interacción entre el tiempo y el grupo ($p < 0,001$). Con relación a la interacción entre el tiempo y el grupo (figura 32), los noveles presentaron menores temperaturas que los expertos en todas las medidas.

Las temperaturas de los expertos no fueron diferentes entre ellos (odontólogos vs. no odontólogos) en ninguno de los momentos ($p > 0.05$). Por su parte, los noveles odontólogos presentaron mayores temperaturas que los no odontólogos en el momento 100 segundos y en el momento 120 segundos. Los p valores y los intervalos de confianza de las diferencias entre pares de grupos se muestran en la tabla 4. Aunque la interacción entre la ROI, el tiempo y el grupo no fue significativa, se muestra la gráfica de su evolución (figura 33) para poder valorarse las diferentes temperaturas medias de las ROIs.

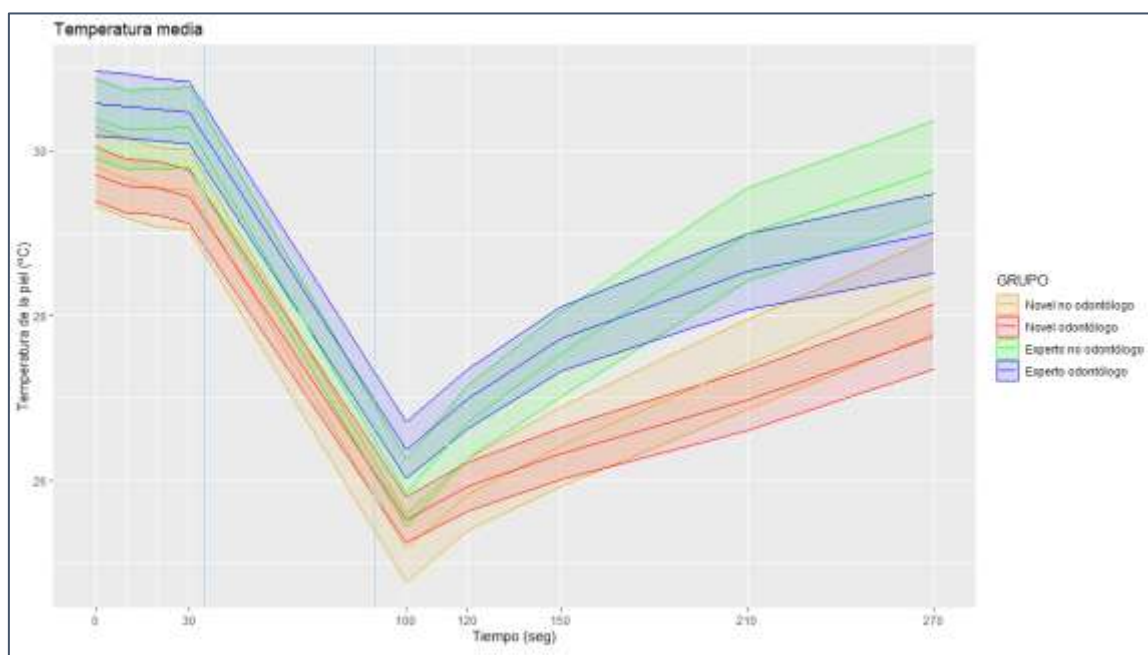


Figura 32. Media e IC 95% de la evolución de la temperatura media de la piel en los diferentes grupos medidos antes y después del estrés térmico de frío en la condición pretrabajo.

Tabla 4:

Intervalos de confianza al 95% (IC 95%) de las diferencias significativas ($p < 0,05$) observadas entre los grupos estudiados en el momento pretrabajo en la temperatura media en cada uno de los tiempos medidos antes (tiempos del 0 a 30 segundos) y después del estrés térmico (a partir del tiempo 100).

Tiempo	Grupo 1	Grupo 2	IC 95% de la diferencia		p	símbolo p
0	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1,4	-0,3	0,007	**
10	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1,5	-0,5	0,001	**
20	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1,4	-0,4	0,001	**
30	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1,5	-0,5	0,000	***
100	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1,3	-0,4	0,001	**
120	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-1,5	-0,3	0,033	*
120	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1,5	-0,6	0,000	****
150	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-1,8	-0,4	0,011	*
150	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1,9	-0,9	0,000	****
210	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-2,4	-0,8	0,000	***
210	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-2,1	-1,0	0,000	****
270	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-2,2	-0,6	0,006	**
270	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1,9	-0,6	0,000	***

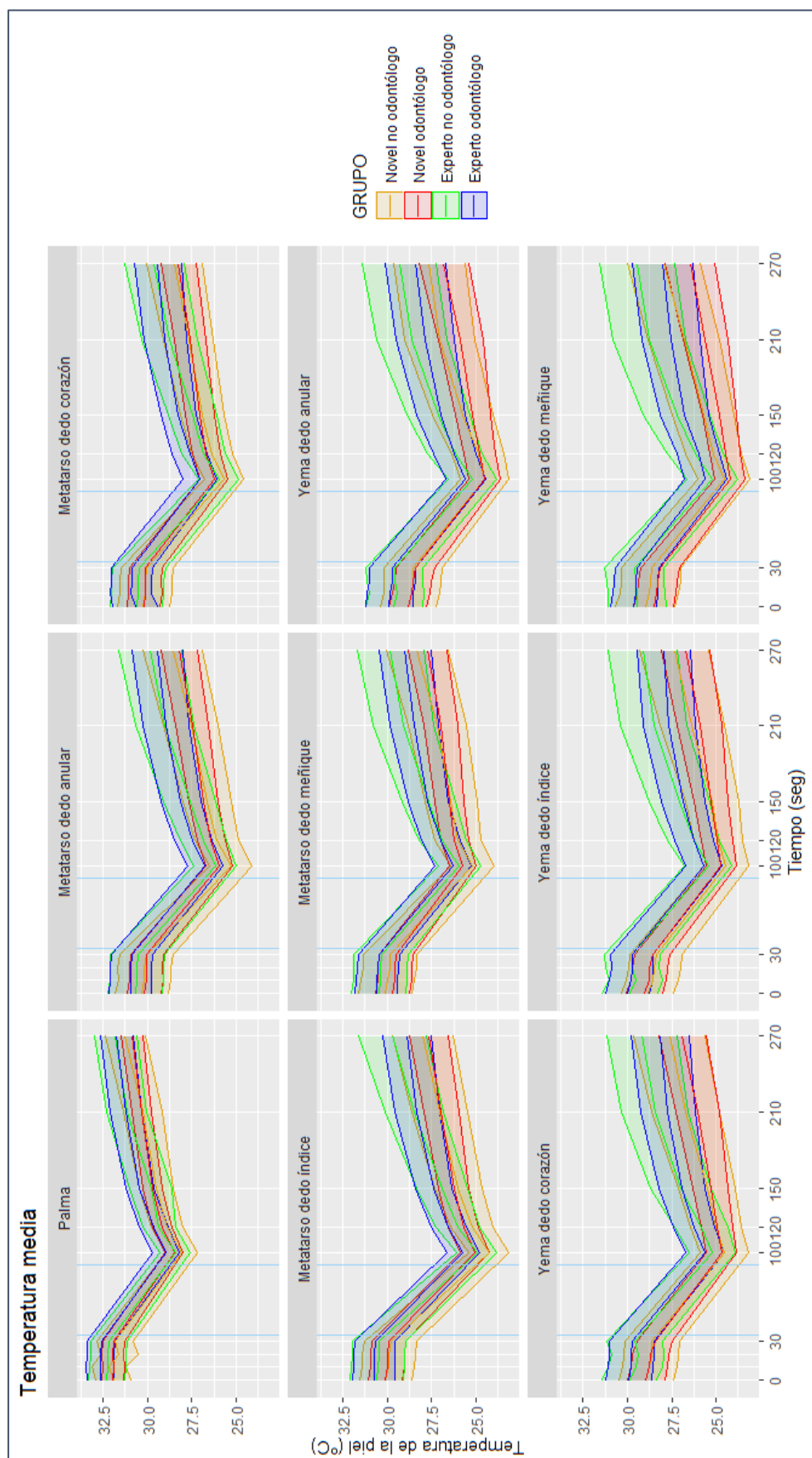


Figura 33. Media e IC 95% de la temperatura media en las diferentes regiones de interés.

Con relación a la temperatura máxima, el ANOVA observó un efecto del ROI ($p<0,001$), del tiempo ($p<0,001$) y del grupo ($p<0,001$), así como de la interacción entre el tiempo y el grupo ($p<0,001$), y el ROI y el tiempo ($p<0,001$). Con relación a la interacción entre el tiempo y el grupo (figura 34), la temperatura de los noveles fue menor que las de los expertos en todas las medidas. La temperatura de los expertos (odontólogos vs no odontólogos) no fue diferente en ninguno de los momentos de medición ($p>0.05$).

Por otra parte, los noveles odontólogos tuvieron menores temperaturas que los expertos odontólogos en el momento 150 y 210. Los p valores y los intervalos de confianza de las diferencias entre pares de grupos se muestran en la tabla 5. Aunque la interacción entre la ROI, el tiempo y el grupo no fue significativa, se muestra la gráfica de su evolución (figura 35) para poder valorarse las diferentes temperaturas medias de las ROIs.

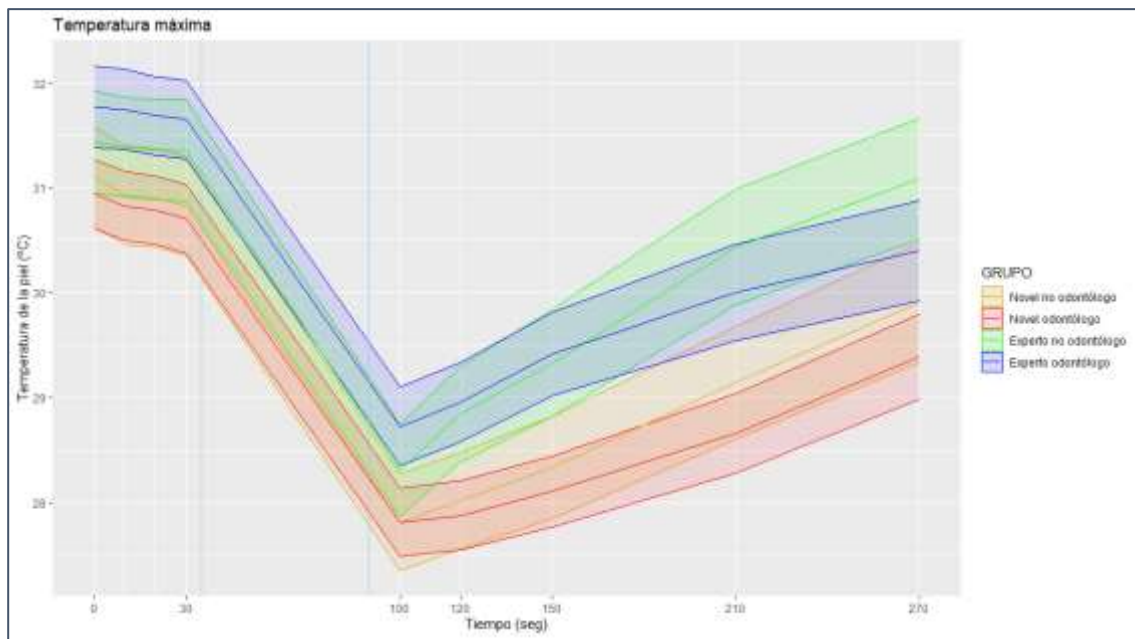


Figura 34. Media e IC 95% de la evolución de la temperatura máxima en los diferentes grupos medidos antes y después del estrés térmico de frío en la condición pretrabajo.

Tabla 5:

Intervalos de confianza al 95% (IC 95%) de las diferencias significativas ($p < 0,05$) observadas entre los grupos estudiados en el momento pretrabajo en la temperatura máxima en cada uno de los tiempos medidos antes (tiempos del 0 a 30 segundos) y después del estrés térmico (a partir del tiempo 100).

Tiempo	Grupo 1	Grupo 2	IC 95% de la diferencia		p	símbolo p
0	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1.3	-0.3	0.008	**
20	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1.4	-0.4	0.002	**
30	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1.4	-0.4	0.001	**
100	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1.4	-0.4	0.002	**
120	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1.6	-0.6	0.000	***
150	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-1.7	-0.3	0.036	*
150	Novel odontólogo	Experto no odontólogo	-1.8	-0.6	0.001	***
150	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1.8	-0.8	0.000	****
210	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-2.1	-0.5	0.006	**
210	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1.9	-0.7	0.000	****
270	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-2.0	-0.4	0.025	*
270	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-1.6	-0.4	0.009	**

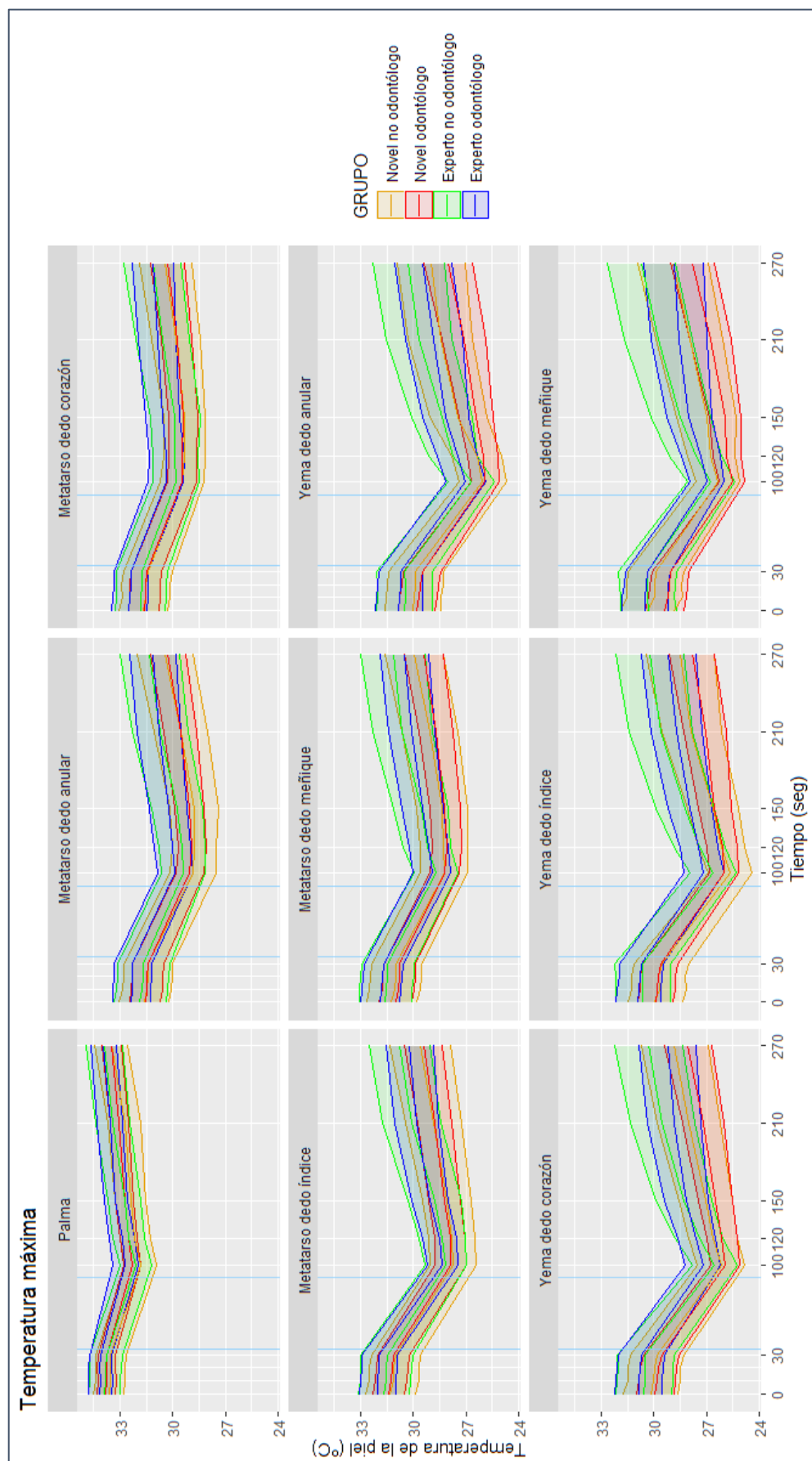


Figura 35. Media e IC 95% de la temperatura máxima en las diferentes regiones de interés.

Tras estos resultados, también se muestran las diferencias entre las ROIs tanto para la temperatura media (figura 36), como para la temperatura máxima (figura 37). En la temperatura media y en la temperatura máxima, la ROI de la palma tiene mayor temperatura que el resto de las ROIs. Los metatarsos tienen mayor temperatura que las yemas. Se puede observar como la dispersión de los datos aumenta a menor valor de temperatura, mostrándose la palma con menor dispersión comparado con las yemas. En la tabla 6 se muestra la comparativa de las ROI.

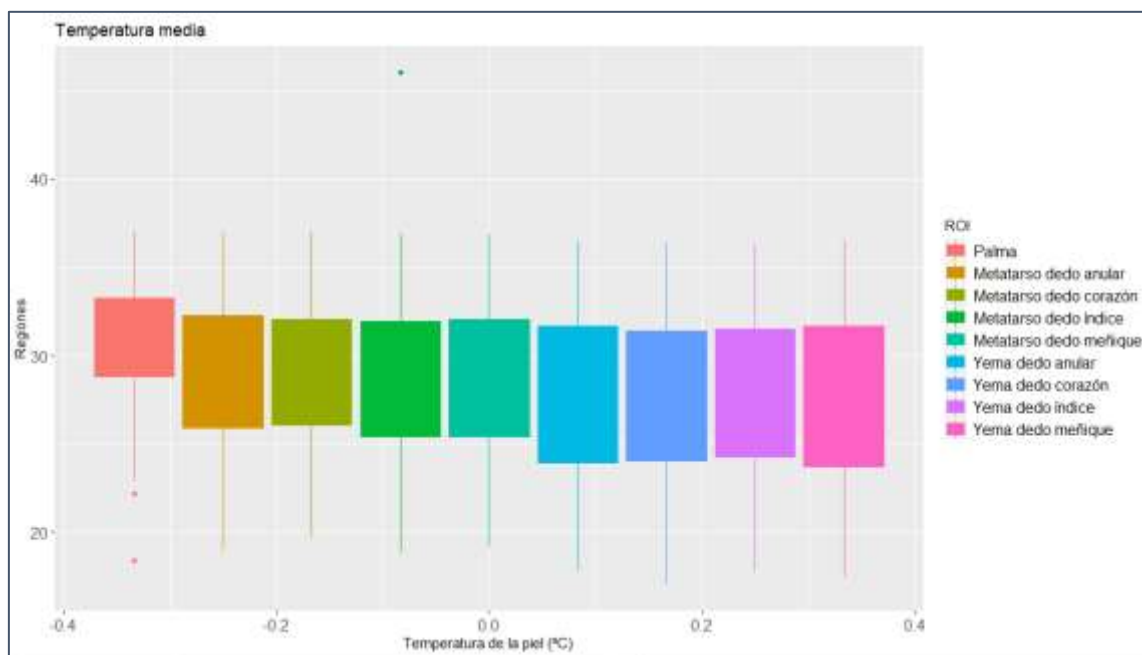


Figura 36. Diagrama de cajas de la temperatura media de cada región de interés.

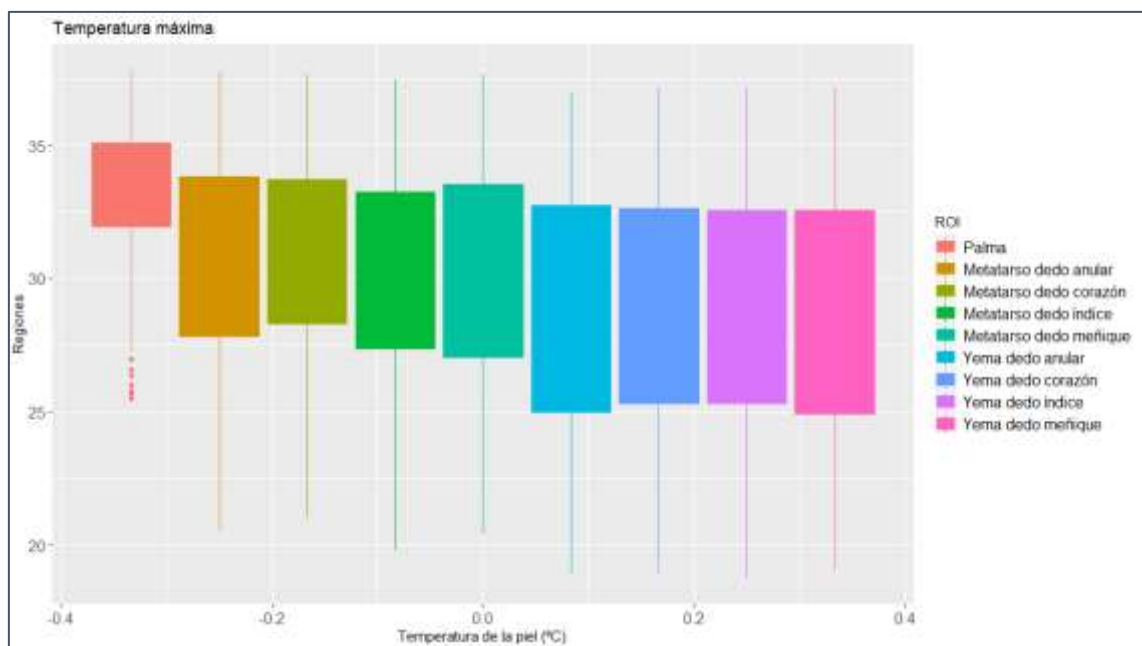


Figura 37. Diagrama de cajas de la temperatura máxima de cada región de interés.

Tabla 6:

Intervalos de confianza al 95% (IC 95%) de las diferencias significativas ($p < 0,05$) observadas entre las diferentes ROI en cuanto a la temperatura media y a la temperatura máxima.

TEMPERATURA MEDIA					
Grupo 1	Grupo 2	IC 95% de las diferencias		p	Símbolo p
Palma	Metatarso dedo anular	1,9	2,4	0,000	****
Palma	Metatarso dedo corazón	1,9	2,4	0,000	****
Palma	Metatarso dedo índice	2,3	2,9	0,000	****
Palma	Metatarso dedo meñique	2,2	2,7	0,000	****
Palma	Yema dedo anular	3,0	3,6	0,000	****
Palma	Yema dedo corazón	3,0	3,6	0,000	****
Palma	Yema dedo índice	3,0	3,6	0,000	****
Palma	Yema dedo meñique	3,1	3,7	0,000	****
Metatarso dedo anular	Yema dedo anular	0,8	1,5	0,000	****
Metatarso dedo anular	Yema dedo corazón	0,8	1,5	0,000	****
Metatarso dedo anular	Yema dedo índice	0,9	1,5	0,000	****
Metatarso dedo anular	Yema dedo meñique	1,0	1,6	0,000	****
Metatarso dedo corazón	Yema dedo anular	0,9	1,5	0,000	****
Metatarso dedo corazón	Yema dedo corazón	0,9	1,5	0,000	****
Metatarso dedo corazón	Yema dedo índice	0,9	1,5	0,000	****
Metatarso dedo corazón	Yema dedo meñique	1,0	1,6	0,000	****
Metatarso dedo índice	Yema dedo anular	0,4	1,0	0,001	**
Metatarso dedo índice	Yema dedo corazón	0,4	1,0	0,001	***
Metatarso dedo índice	Yema dedo índice	0,4	1,0	0,001	***
Metatarso dedo índice	Yema dedo meñique	0,5	1,2	0,000	****
Metatarso dedo meñique	Yema dedo anular	0,5	1,2	0,000	****
Metatarso dedo meñique	Yema dedo corazón	0,5	1,2	0,000	****
Metatarso dedo meñique	Yema dedo índice	0,6	1,2	0,000	****
Metatarso dedo meñique	Yema dedo meñique	0,7	1,3	0,000	****
TEMPERATURA MÁXIMA					
Palma	Metatarso dedo anular	2,4	2,9	0,000	****
Palma	Metatarso dedo corazón	2,2	2,7	0,000	****
Palma	Metatarso dedo índice	3,1	3,6	0,000	****
Palma	Metatarso dedo meñique	2,9	3,4	0,000	****

Palma	Yema dedo anular	4,2	4,8	0,000	****
Palma	Yema dedo corazón	4,2	4,8	0,000	****
Palma	Yema dedo índice	4,3	4,8	0,000	****
Palma	Yema dedo meñique	4,4	4,9	0,000	****
Metatarso dedo anular	Metatarso dedo índice	0,4	1,0	0,000	***
Metatarso dedo anular	Metatarso dedo meñique	0,2	0,8	0,013	*
Metatarso dedo anular	Yema dedo anular	1,5	2,2	0,000	****
Metatarso dedo anular	Yema dedo corazón	1,5	2,2	0,000	****
Metatarso dedo anular	Yema dedo índice	1,6	2,2	0,000	****
Metatarso dedo anular	Yema dedo meñique	1,7	2,3	0,000	****
Metatarso dedo corazón	Metatarso dedo índice	0,6	1,1	0,000	****
Metatarso dedo corazón	Metatarso dedo meñique	0,4	1,0	0,000	****
Metatarso dedo corazón	Yema dedo anular	1,7	2,3	0,000	****
Metatarso dedo corazón	Yema dedo corazón	1,7	2,3	0,000	****
Metatarso dedo corazón	Yema dedo índice	1,8	2,4	0,000	****
Metatarso dedo corazón	Yema dedo meñique	1,9	2,5	0,000	****
Metatarso dedo índice	Yema dedo anular	0,9	1,5	0,000	****
Metatarso dedo índice	Yema dedo corazón	0,9	1,5	0,000	****
Metatarso dedo índice	Yema dedo índice	0,9	1,6	0,000	****
Metatarso dedo índice	Yema dedo meñique	1,0	1,7	0,000	****
Metatarso dedo meñique	Yema dedo anular	1,0	1,6	0,000	****
Metatarso dedo meñique	Yema dedo corazón	1,0	1,6	0,000	****
Metatarso dedo meñique	Yema dedo índice	1,1	1,7	0,000	****
Metatarso dedo meñique	Yema dedo meñique	1,2	1,8	0,000	****

Con relación al análisis de las variaciones de la temperatura media, el ANOVA observó un efecto del ROI ($p<0,001$), del tiempo ($p<0,001$) y del grupo ($p<0,001$), así como de la interacción entre el tiempo y el grupo ($p<0,001$), y el ROI y el tiempo ($p<0,001$). Con relación a la interacción entre el tiempo y el grupo (figura 38 y tabla 7), los expertos no odontólogos tienen mayor variación de la temperatura que los otros tres grupos. Los noveles no odontólogos obtuvieron una mayor variación de temperatura que los noveles odontólogos.

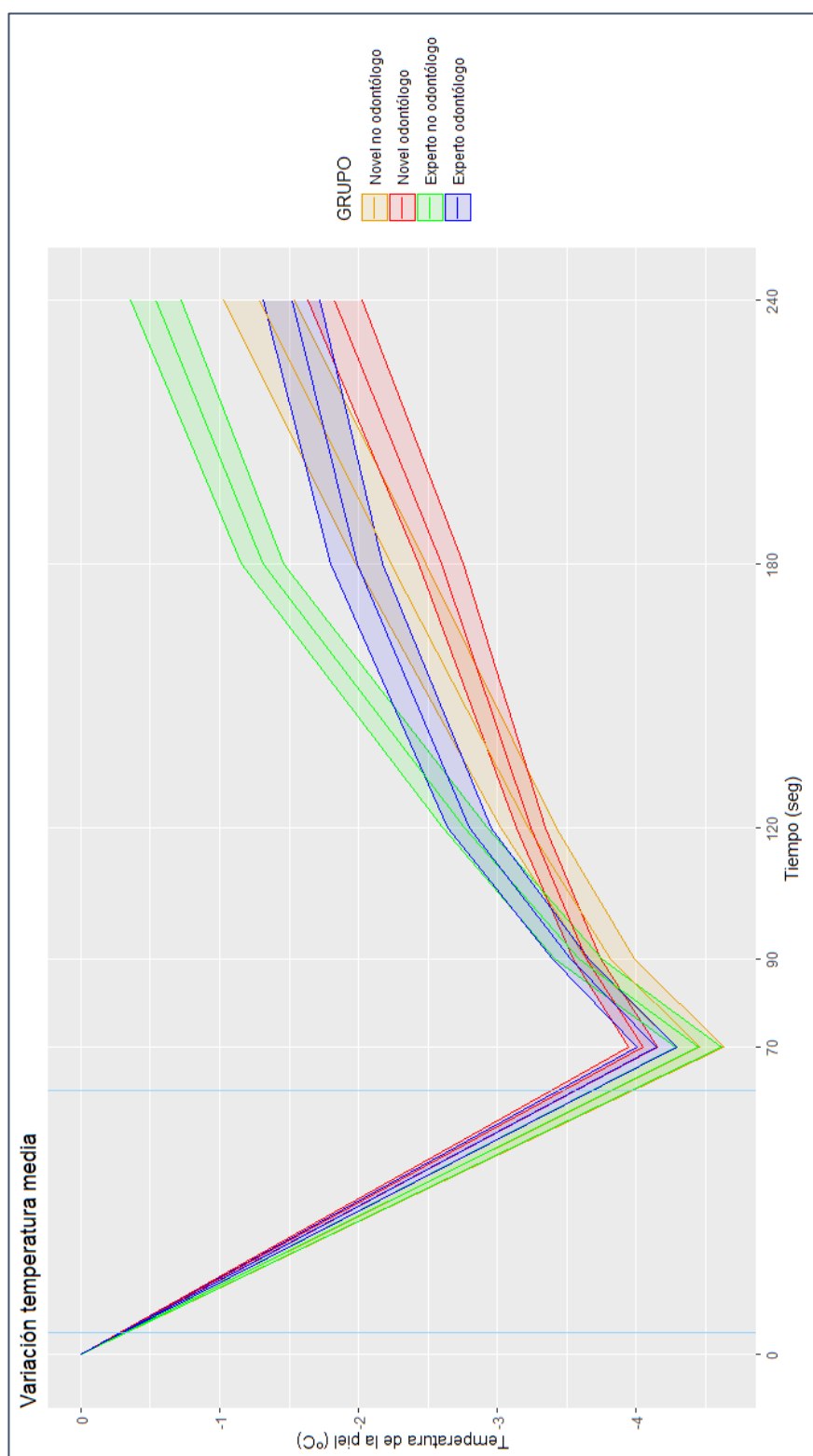


Figura 38. Media e IC 95% de la variación de la temperatura media de los diferentes grupos en los diferentes momentos del estudio.

Aunque la interacción entre la ROI, el tiempo y el grupo no fue significativa, se muestra la gráfica de su evolución (figura 39) para poder valorarse las diferentes temperaturas medias de las ROIs.

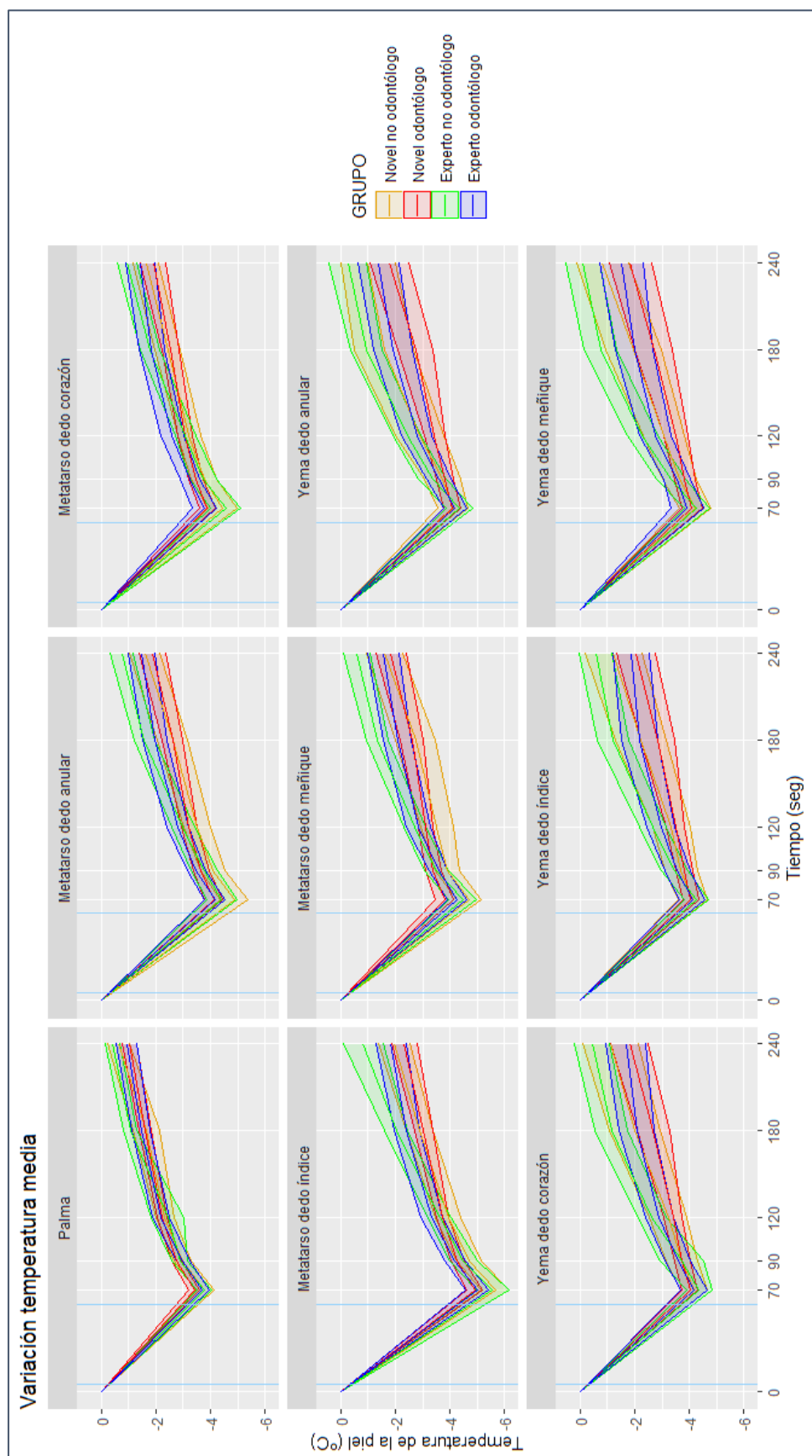


Figura 39. Media e IC 95% de la variación de la temperatura media en las diferentes ROI por grupo y en todos los momentos del estudio.

Tabla 7:

Intervalos de confianza al 95% (IC 95%) de las diferencias significativas ($p < 0,05$) observadas entre los grupos estudiados en el momento pretrabajo en la variación de la temperatura media en cada uno de los tiempos analizados después del estrés térmico (a partir del tiempo 70).

Tiempo	Grupo 1	Grupo 2	IC 95% de las diferencias		p	símbolo p
70	Novel no odontólogo	Novel odontólogo	-0,6	-0,2	0	***
70	Experto no odontólogo	Experto odontólogo	-0,5	-0,1	0,039	*
120	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-0,7	-0,2	0,003	**
120	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-0,6	-0,3	0	****
180	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-1,2	-0,6	0	****
180	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-0,9	-0,4	0	****
180	Experto no odontólogo	Experto odontólogo	0,4	0,9	0	****
240	Novel no odontólogo	Novel odontólogo	0,2	0,9	0,005	**
240	Experto no odontólogo	Experto odontólogo	0,7	1,2	0	****

Con relación al análisis de las variaciones de la temperatura máxima, el ANOVA observó un efecto del ROI ($p < 0,001$), del tiempo ($p < 0,01$) y del grupo ($p < 0,001$), así como de la interacción entre el tiempo y el grupo ($p < 0,01$), y el ROI y el tiempo ($p < 0,001$). Con relación a la interacción entre el tiempo y el grupo (figura 40), los expertos no odontólogos obtuvieron una mayor variación de temperatura máxima que el resto de los grupos.

La variación de la temperatura máxima tras tres minutos de recuperación térmica muestra que los odontólogos, tanto los noveles como los expertos terminan con una variación de temperatura similar. Se pueden observar los resultados numéricos de las diferencias significativas en la tabla 8.

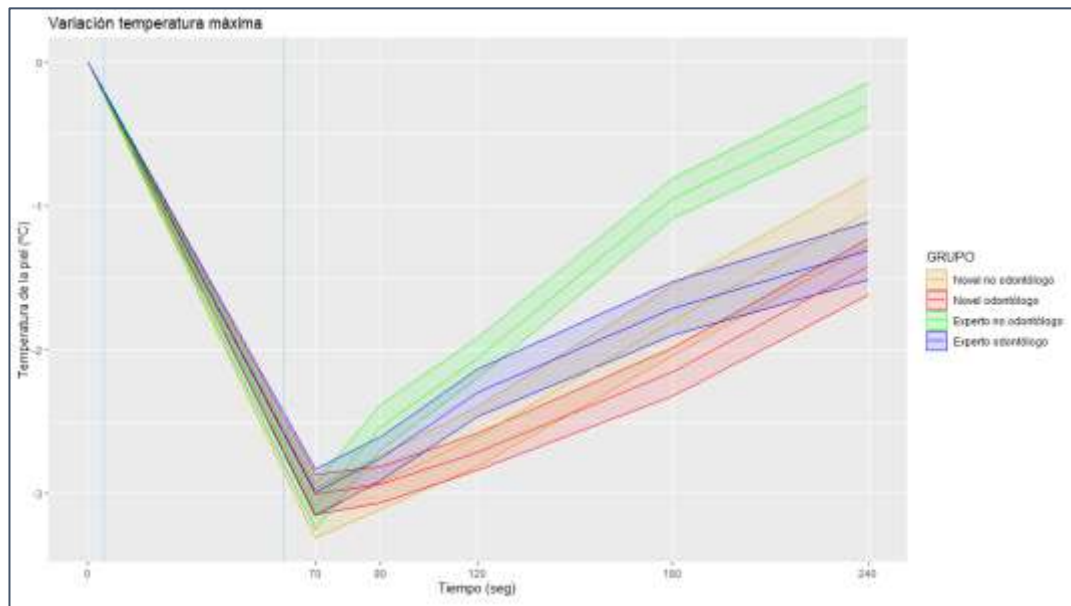


Figura 40. Media e IC 95% de la variación de la temperatura máxima de los diferentes grupos en todos los momentos del estudio.

Aunque la interacción entre la ROI, el tiempo y el grupo no fue significativa, se muestra la gráfica de su evolución (figura 41) para poder valorarse las diferentes temperaturas máximas de las ROIs.

Tabla 8:

Intervalos de confianza al 95% (IC 95%) de las diferencias significativas ($p < 0,05$) observadas entre los grupos estudiados en el momento pretrabajo en la variación de la temperatura máxima en cada uno de los tiempos medidos después del estrés térmico (a partir del tiempo 70).

Tiempo	Grupo 1	Grupo 2	IC 95% de las diferencias		p	símbolo p
90	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-0.6	-0.1	0.013	*
120	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-0.8	-0.3	0.000	***
120	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-0.6	-0.2	0.001	***
180	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-1.1	-0.6	0.000	****
180	Novel odontólogo	Experto odontólogo	-0.7	-0.2	0.003	**
180	Experto no odontólogo	Experto odontólogo	0.5	1.0	0.000	****
240	Novel no odontólogo	Experto no odontólogo	-1.0	-0.5	0.000	****
240	Experto no odontólogo	Experto odontólogo	0.8	1.3	0.000	****

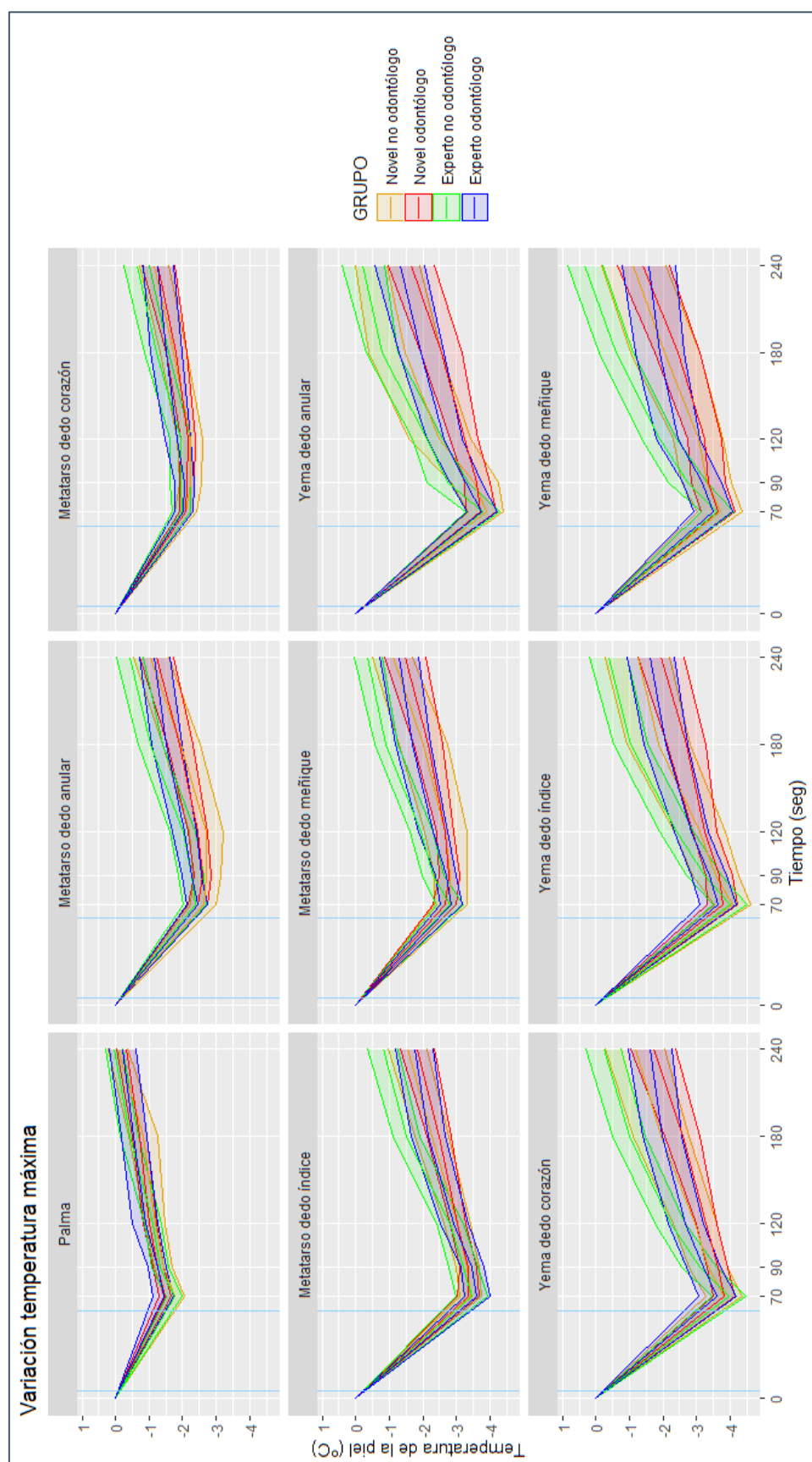


Figura 41. Media e IC 95% de la variación de la temperatura máxima de las diferentes ROI por grupos y en todos los momentos del estudio.

5.4 Análisis diferencias entre pretrabajo y postrabajo en noveles

Al analizar las diferencias entre pretrabajo y postrabajo en temperaturas medias de noveles odontólogos y noveles no odontólogos, el ANOVA obtuvo una diferencia significativa entre ambos momentos como factor principal ($p < 0,01$), pero no fue significativa la interacción de dicho factor con el resto de los factores (tiempo y ROI). La temperatura en el momento postrabajo fue mayor que en el momento pretrabajo en noveles odontólogos (figura 42; IC 95% [0,7, 1,1°C] $p < 0,001$), pero menor en noveles no odontólogos (Figura 43; IC 95% [-0,7, -1,1°C] $p < 0,001$). Se observaron resultados similares para la temperatura máxima.

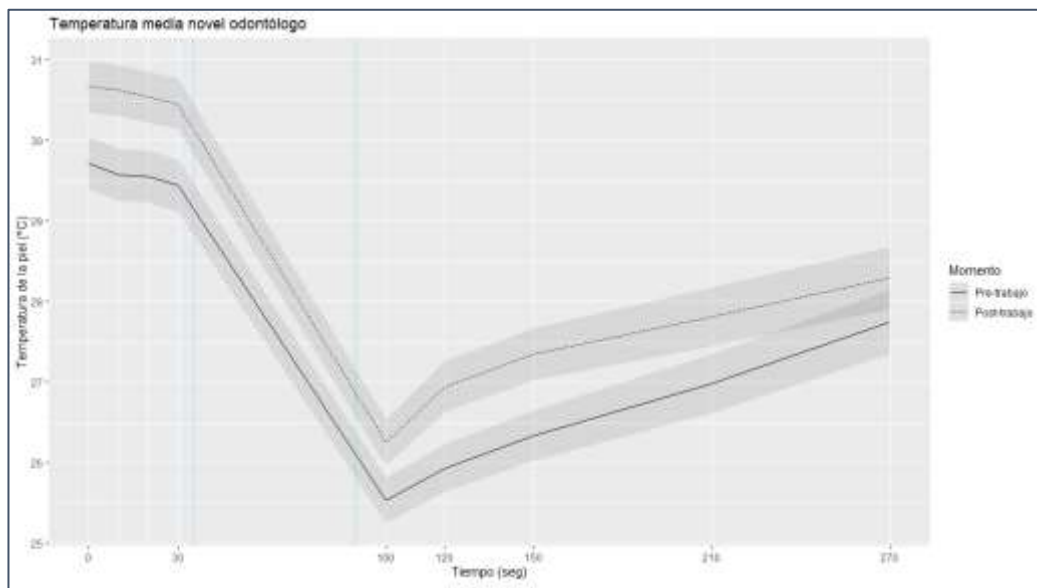


Figura 42. Media e IC 95% de la temperatura media pretrabajo y postrabajo en noveles odontólogos.

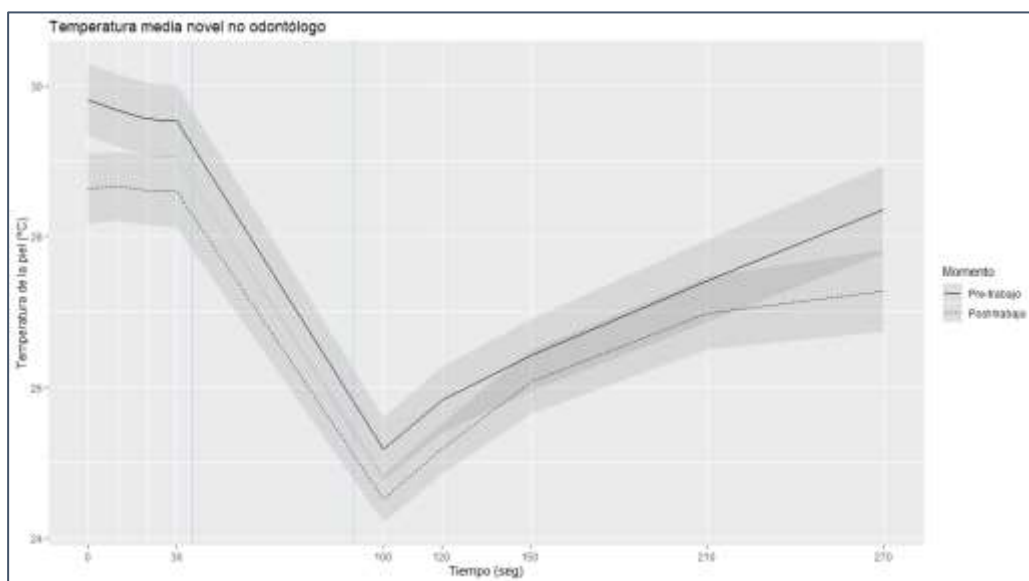


Figura 43. Media e IC 95% de la temperatura media pretrabajo y postrabajo en los noveles no odontólogos.

Para poder comparar el comportamiento de ambos grupos en ambos momentos debido a que parten de temperaturas iniciales diferentes, es importante analizar la variación de temperatura. El ANOVA obtuvo un efecto del ROI ($p<0,001$), del tiempo ($p<0,001$), del momento ($p<0,01$) y del grupo ($p<0,001$), así como de la interacción entre el tiempo y el grupo ($p<0,001$), el ROI y el grupo ($p<0,01$) y el momento y el grupo ($p<0,001$). La figura 44 muestra los resultados que a continuación se describen. La variación de temperatura media en el momento postrabajo fue mayor que en el momento pretrabajo en noveles odontólogos (IC 95% [0,0, 0,3°C]; $p=0,02$), con resultados inversos en noveles no odontólogos (IC 95% [-0,7, -0,3°C]; $p<0,001$). Los noveles odontólogos y no odontólogos no mostraron diferencias en el momento pretrabajo ($p=0,4$), pero sí en el momento postrabajo, teniendo mayores variaciones los noveles no odontólogos (IC 95% [0,5, 0,9°C]; $p<0,001$). En cuanto a las temperaturas máximas, se observaron resultados similares salvo que la interacción entre el tiempo, el momento y el grupo sí que fue significativa ($p<0,001$) (figura 45) (Tabla 9).

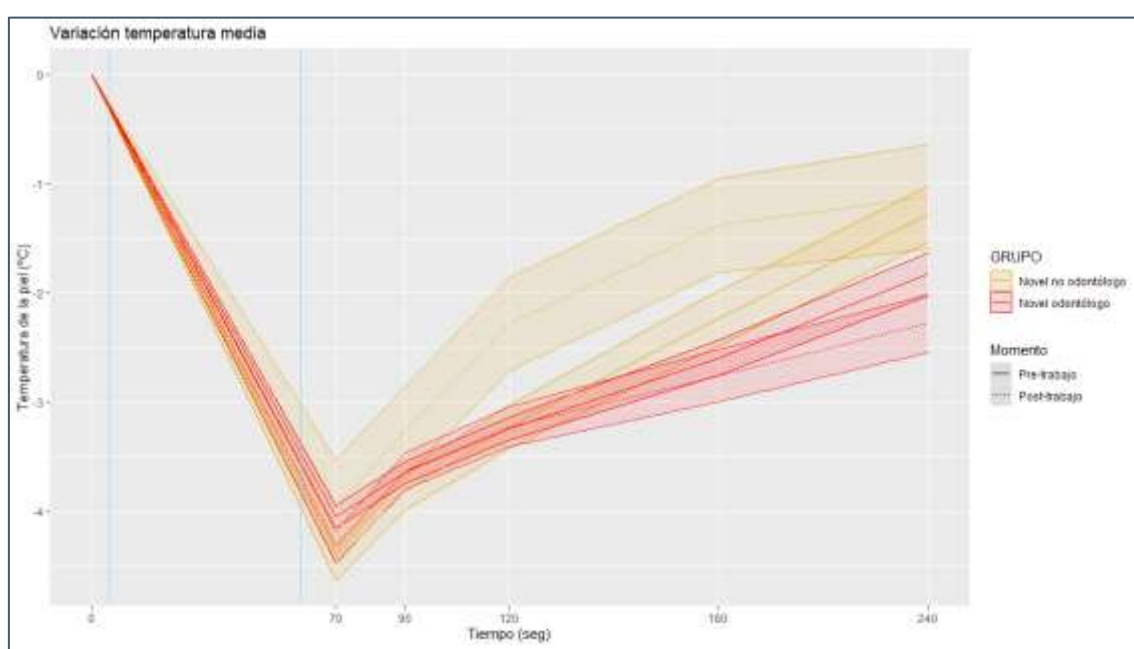


Figura 44. Media e IC 95% de la variación de temperatura media en el momento pretrabajo y postrabajo en noveles odontólogos y noveles no odontólogos.

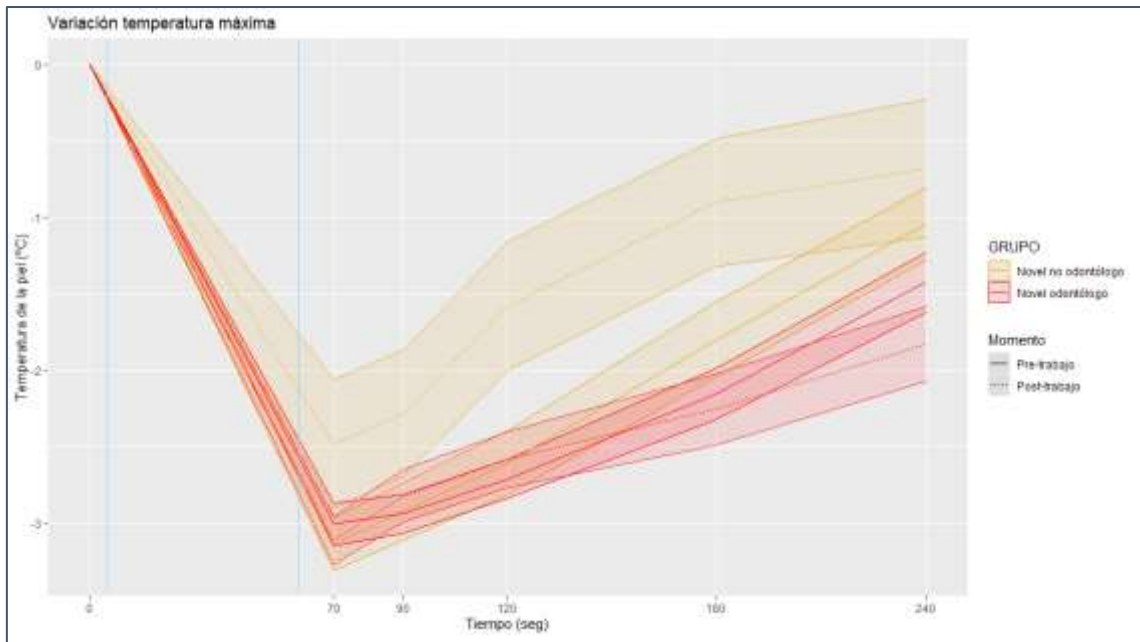


Figura 45. Media e IC 95% de la variación de la temperatura máxima en el momento pretrabajo y postrabajo en noveles odontólogos y noveles no odontólogos.

Tabla 9:

Diferencias de la variación de la temperatura máxima entre pretrabajo y post trabajo en cada grupo y diferencias entre el grupo de noveles no odontólogos versus noveles odontólogos, en los momentos de pretrabajo y postrabajo.

Tiempo	Grupo1	Grupo2	IC 95% de las diferencias	p
Grupo1: noveles no odontólogos				
70	Pretrabajo	Postrabajo	-1,1	0,006
90	Pretrabajo	Postrabajo	-1,1	0,005
120	Pretrabajo	Postrabajo	-1,5	0
180	Pretrabajo	Postrabajo	-1,4	0
Grupo2: noveles odontólogos				
240	Pretrabajo	Postrabajo	0,1	0,011
Momento: pretrabajo				
180	Novela no odontólogo	Novela odontólogo	0,1	0,018
240	Novela no odontólogo	Novela odontólogo	0,1	0,015
Momento: postrabajo				
70	Novela no odontólogo	Novela odontólogo	0,2	0,007
90	Novela no odontólogo	Novela odontólogo	0,1	0,017
120	Novela no odontólogo	Novela odontólogo	0,5	0
180	Novela no odontólogo	Novela odontólogo	0,9	0
240	Novela no odontólogo	Novela odontólogo	0,6	0

5.5 Estudio mediante regresiones múltiples de los factores de la variación de temperatura media tras la realización del estrés térmico de frío

En la siguiente tabla se muestran los modelos de regresión obtenidos. Los modelos de regresión explican entre el 4 y el 27% de la varianza. Las variables explicativas que están

directamente relacionadas con la variación de la temperatura media son ser activo, estar en época de menstruación en comparación con no tenerla y la edad. Las variables explicativas que están inversamente relacionadas con la variación de la temperatura media son el índice de masa corporal, el área de superficie corporal y ser odontólogo (Tabla 10). De manera gráfica, se muestra de la figura 46 a la 51, como cada uno de estos factores afecta a la variación de la temperatura media cuando el resto de las variables incluidas en el modelo son controladas.

Tabla 10:

Regresiones múltiples obtenidas por el método stepwise para explicar la variación de la temperatura media de las regiones de interés del metatarso índice y la yema del índice.

Momento (segundo)	ROI	Variables explicativas	Coefficiente	Estadísticos del modelo P-valor (R ²)
70	Metatarso índice	Índice de masa corporal	-0,13 $\pm$ 0,02	<0,001 (0,27)
		Área de superficie corporal	-2,52 $\pm$ 0,49	
		Ser activo	0,59 $\pm$ 0,27	
	Yema índice	Índice de masa corporal	-0,08 $\pm$ 0,02	<0,001 (0,17)
		Ovulación. Fase folicular	1,17 $\pm$ 0,25	
		Ovulación. Fase lútea	0,89 $\pm$ 0,32	
		Ser odontólogo	-0,47 $\pm$ 0,23	
120	Metatarso índice	Edad	0,04 $\pm$ 0,01	<0,001 (0,12)
		Índice de masa corporal	-0,10 $\pm$ 0,02	
		Ser activo	0,67 $\pm$ 0,28	
	Yema índice	Edad	0,04 $\pm$ 0,01	0,001 (0,07)
		Índice de masa corporal	-0,06 $\pm$ 0,03	
240	Metatarso índice	Edad	0,06 $\pm$ 0,02	<0,001 (0,11)
		Índice de masa corporal	-0,06 $\pm$ 0,03	
		Ser odontólogo	-0,90 $\pm$ 0,30	
	Yema índice	Ser odontólogo	-1,13 $\pm$ 0,37	0,002 (0,04)

Nota: Los valores de los interceptos han sido eliminados

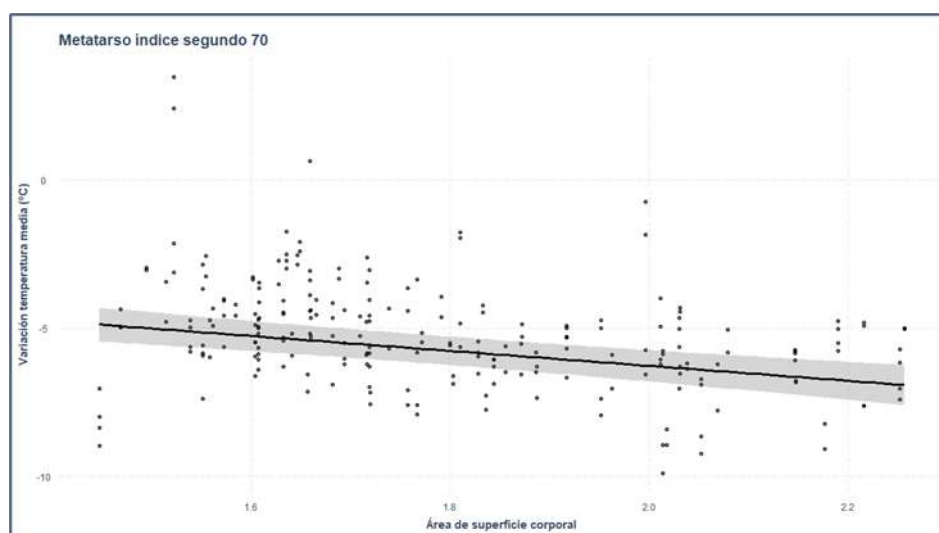


Figura 46. Relación entre la variación de temperatura media en el metatarso del dedo índice en el segundo 70 y el área de superficie corporal.

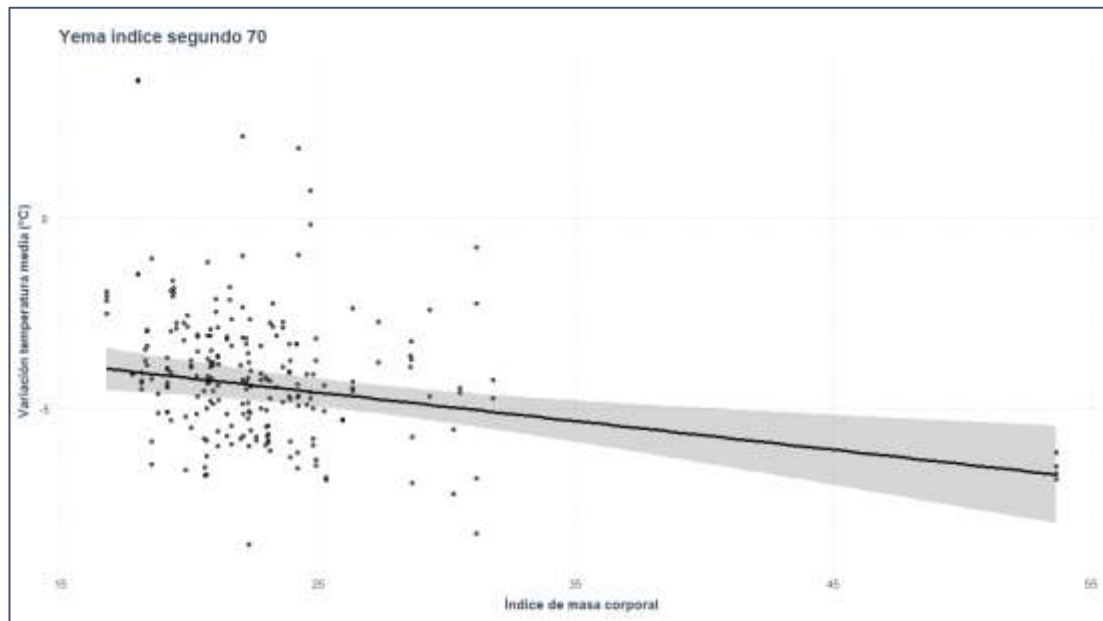


Figura 47. La variable Índice de masa corporal afecta a la variación de la temperatura media, cuando el resto de las variables son controladas.

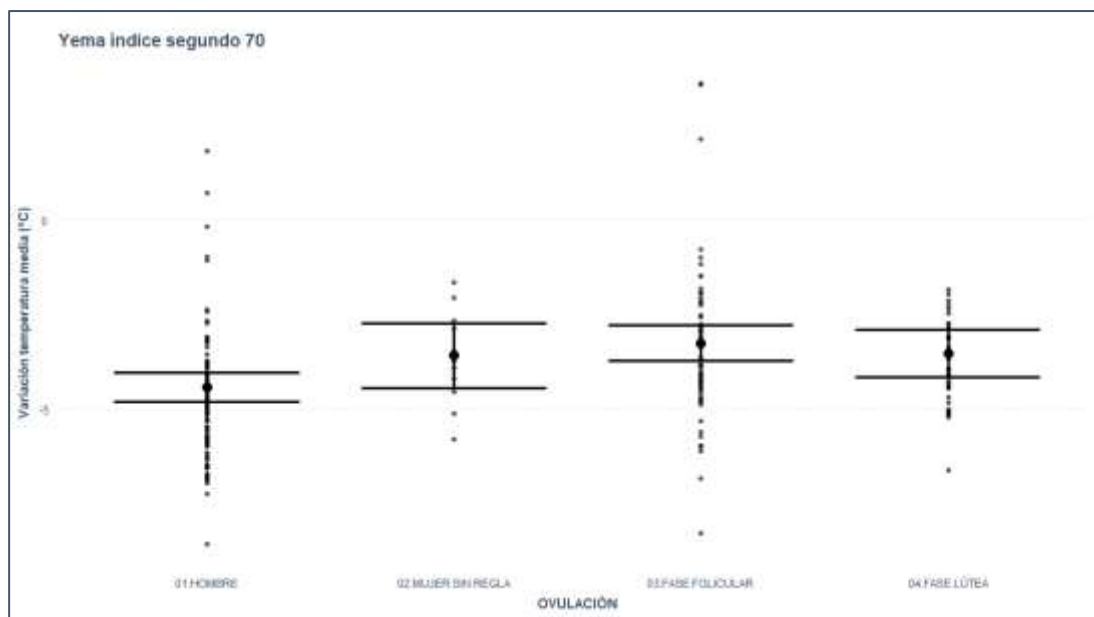


Figura 48. Efecto de la variable ovulación en la variación de la temperatura media cuando el resto de las variables están controladas.

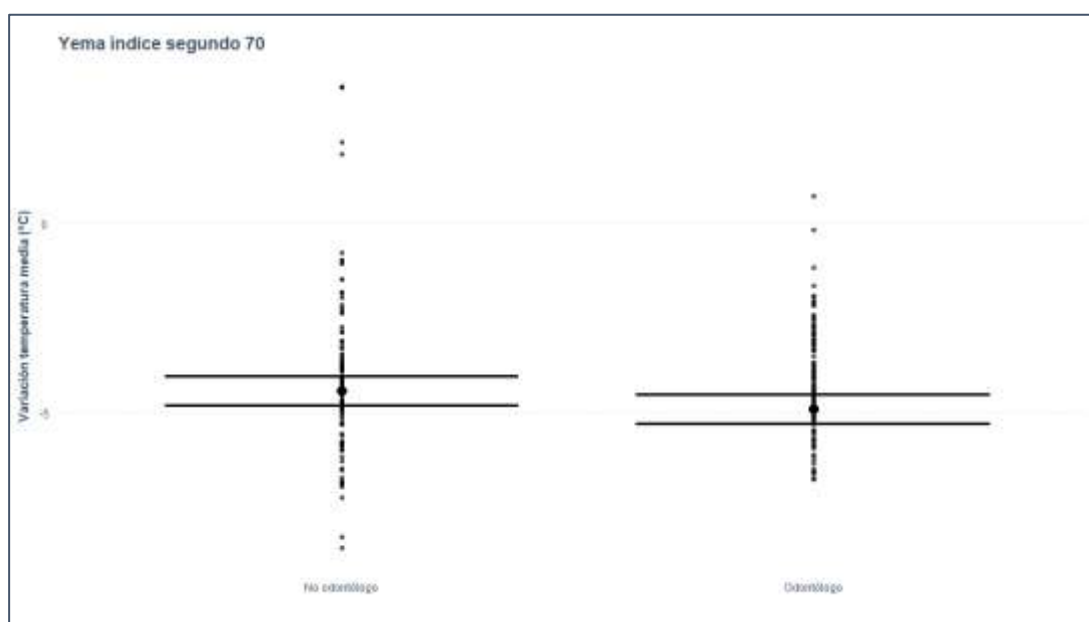


Figura 49. Efecto de la variable odontólogo a la variación de la temperatura media mientras las otras variables están controladas.

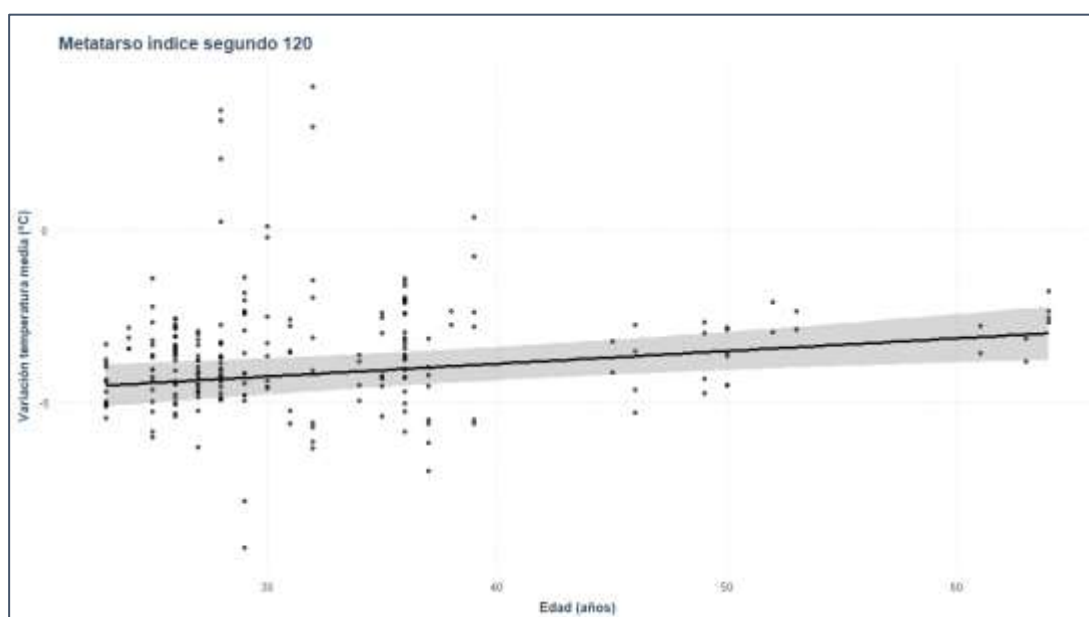


Figura 50. Efecto de la edad en la variación de la temperatura media mientras las otras variables permanecen controladas.

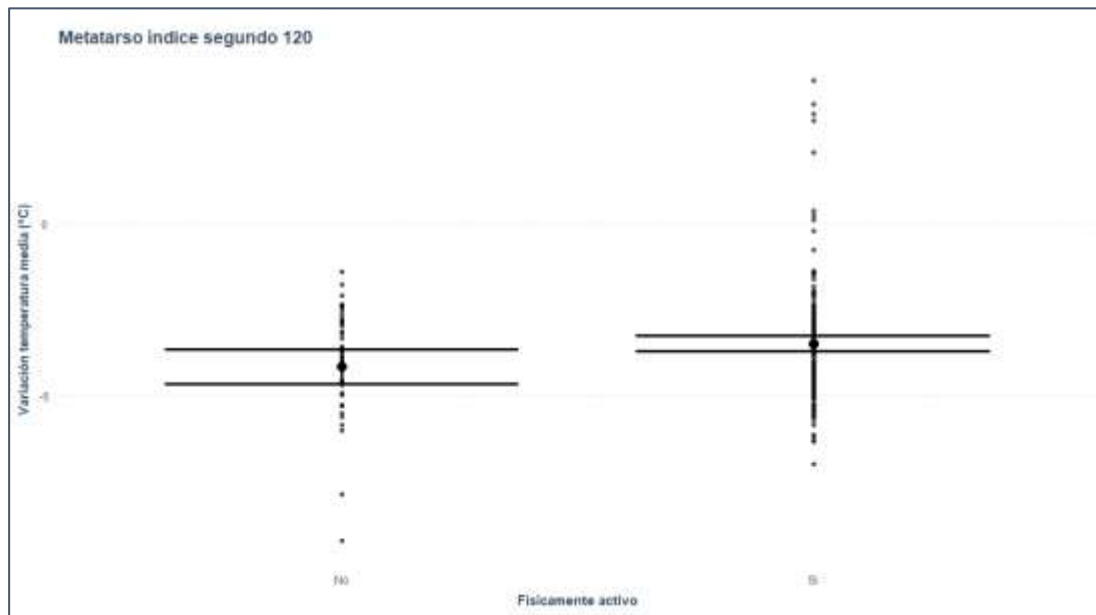
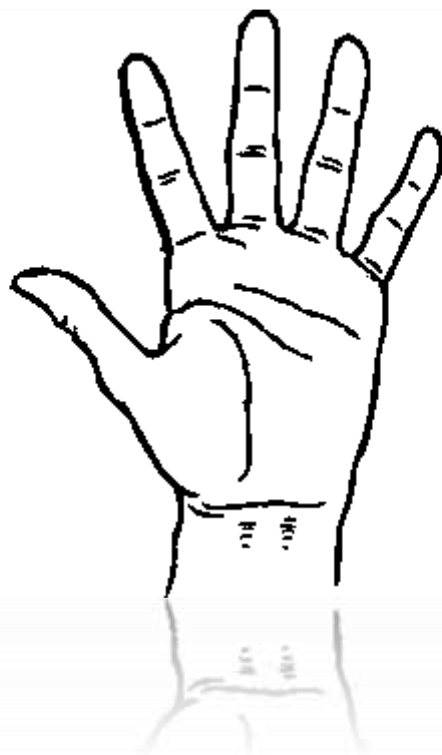


Figura 51. Efecto de estar físicamente activo a la variación de la temperatura media mientras que las otras variables permanecen controladas.

DISCUSIÓN



6.DISCUSION

En la presente sección se discuten los resultados obtenidos en la tesis doctoral siguiendo el mismo orden propuesto tanto en los objetivos generales y específicos, así como en la sección de resultados.

El objetivo general de la presente tesis doctoral fue determinar si existen diferencias entre odontólogos y no odontólogos en la recuperación térmica de las manos tras realizar un estrés térmico de frío. En este sentido, las temperaturas medias de los expertos no fueron diferentes entre ellos (odontólogos vs no odontólogos) en ninguno de los momentos ($p>0,05$). Por su parte, los noveles odontólogos presentaron mayores temperaturas medias que los noveles no odontólogos en el momento 100 segundos y en el momento 120 segundos tras el estrés térmico. En cuanto a la temperatura máxima, la temperatura de los expertos tanto odontólogos como no odontólogos no fue diferente en ninguno de los momentos ($p>0,05$). En cambio, los noveles odontólogos tuvieron menores temperaturas que los expertos odontólogos en el momento 150 y 210.

6.1 Análisis de la simetría térmica y de la distribución de la temperatura en las manos

6.1.1 Justificación

Como se ha descrito en el apartado 1.5, la simetría térmica es el grado de similitud entre dos áreas de interés, miradas a través del eje longitudinal del cuerpo como áreas idénticas en forma, tamaño y posición (Vardasca et al., 2012). El grado de similitud es medido en términos de temperatura media y desviación estándar en las áreas de interés. Dos áreas con una diferencia de temperatura media de no más $0,2^{\circ}\text{C}$ y una desviación estándar con una diferencia de temperatura de no más de $0,2^{\circ}\text{C}$ son consideradas simétricas (Vardasca et al., 2018; Vardasca, Ring, Plassmann y Jones, 2012).

En este sentido, se suelen analizar las diferencias de temperatura entre las partes sanas o enfermas y sus contralaterales (Lahiri et al., 2012). La simetría térmica se considera un método valorado para medir la normalidad/anormalidad fisiológica en la medicina, porque asimetrías mayores de $0,5-0,7^{\circ}\text{C}$ se asocian a una disfunción en el sistema musculoesquelético (Vardasca et al., 2012). Por lo tanto, se puede concluir que el grado de similitud entre dos ROI bilaterales que se consideran dentro del rango normal debe presentar una diferencia inferior a $0,8^{\circ}\text{C}$ en un estado estable (Vardasca et al., 2018). Por ello que consideramos interesante analizar la simetría térmica de las manos, ya que, debido a la profesión de la odontología, se pueden

tener más probabilidades de desarrollar alteraciones vasculares en su mano dominante debido su constante trabajo manual.

6.1.2 Discusión de los resultados

Los resultados muestran que no se observó ningún efecto de la dominancia ($p>0,05$) en el análisis de la temperatura media y máxima de ninguno de los grupos o momentos. No se encuentran diferencias térmicas entre la mano dominante y la no dominante entre ninguno de los grupos, ni en los distintos momentos. Por lo que no se observó asimetría térmica en las manos. Nuestros resultados están en concordancia con los resultados obtenidos por otros autores. Sterbersky, Tichy y Zapletova en 2021, obtuvieron una distribución de la temperatura simétrica en las manos en el 34% de los pacientes en el momento basal, mientras que fue del 43% después del estrés térmico, no encuentra relación entre los cambios de temperatura y la mano dominante (Sterbersky, Tichy y Zapletalova, 2021). Chlebicka et al., en cambio, encontraron una distribución simétrica en dos de sus grupos de estudio sin patología, siendo del 91% en el grupo G1 y del 83% en el grupo G4, mientras que en los grupos G3 y G4 que cursan con el síndrome de dedos congelados no se encontraron asimetrías.

Los resultados del presente estudio difieren de los hallazgos obtenidos en otros artículos en los que sí encuentran asimetría térmica en las manos. Vardasca y colaboradores en 2012, encontraron las mayores asimetrías a los 5 minutos post estrés térmico en el dedo índice tanto en el grupo control como en el grupo HAVS. En cambio, al final de la prueba solo observaron asimetría en el grupo HAVS (Vardasca et al., 2012). Uematsu en 1985, encontró una diferencia de temperatura entre el lado que cursaba con el nervio dañado y el lado sano de $1,55^{\circ}\text{C}$, mientras que la diferencia de temperatura entre pacientes sanos era de $0,3^{\circ}\text{C}$ (Uematsu, 1985). Estas diferencias entre los resultados de la presente tesis y estudios previos pueden ser debido a que en nuestro estudio comparamos participantes principalmente sanos, mientras que estos artículos comparan personas sanas y personas con patologías en las manos, sin tener en cuenta la mano dominante.

En relación con las ROIs utilizadas, hay autores que encontraron en las extremidades inferiores diferencias de temperaturas medias absolutas por debajo de $0,89^{\circ}\text{C}$ ($p<0,05$). Sin embargo, en el caso de las manos, la diferencia de temperatura entre la zona de la palma de la mano y los dedos fue de $1,44^{\circ}\text{C}$ ($p<0,05$) (Gatt et al., 2015). Estos resultados concuerdan con los del presente estudio en los que se observó que la ROI de la palma es la que mayor temperatura tiene comparado con resto de ROI de los dedos. Una posible explicación sería que la palma es

la región de la mano que está más cerca del centro del cuerpo por lo que la temperatura basal es más elevada y tiene una recuperación térmica más rápida.

Con relación a la temperatura de los dedos, en el presente estudio se observó que los metatarsos tienen mayor temperatura que las yemas, siendo las yemas las ROIs que menor temperatura presentan. Los resultados obtenidos están en concordancia con otros estudios que analizaron pacientes HAVS (Coughlin et al., 2001; Poole, Elms y Mason, 2006), y en estudios que analizaron pacientes con RP (Foerster et al., 2007; Lim et al., 2014; Schuhfried et al., 2000). En este sentido, Coughlin et al., (2001) observaron que la temperatura de las yemas fue significativamente menor que la temperatura de las bases de los dedos hasta los 6,5 minutos posteriores al estrés térmico en pacientes con HAVS, mientras que Poole et al., (2006) encontraron que la temperatura de los pacientes con HAVS es más baja, especialmente en las yemas, pero sin diferencias significativas en los puntos temporales individuales.

Por otro lado, Foerster et al., (2007) obtuvieron en los pacientes con RP temperaturas más bajas en las yemas de los dedos antes del estrés térmico, significando que los pacientes con esta patología tardan más tiempo en recuperar la temperatura de preenfriamiento, mientras que Schuhfried et al., (2000) encontraron que la recuperación térmica de las yemas se alcanzó a los 15 minutos posteriores al estrés térmico. En este sentido, sería lógico pensar que al ser la yema la ROI más lejana o distal al centro del cuerpo, es la región más fría y la que más tiempo tarda en recuperar su temperatura tras un estrés térmico de frío, y si, además, ese dedo está afectado por alguna patología, el tiempo de recuperación térmica podría verse comprometido, resultando mayor.

En la literatura, no hay unanimidad a la hora de definir las ROIs a estudiar en la mano. El protocolo Glamorgan fue publicado en 2008 con el propósito de estandarizar determinadas áreas o regiones de interés en estudios termográficos, presentando la definición de 90 diferentes ROIs (Ammer, 2008). Existen algunos artículos que defienden el uso de un software con ROI automáticas (Fournet et al., 2013), otros defienden el uso de métodos matemáticos como el Tmax, pero estos softwares no son accesibles para todos los usuarios y debido a este motivo una de las estrategias más utilizadas para definir las ROIs son las proporciones anatómicas o segmentos del cuerpo (Priego Quesada et al., 2015; Hildebrandt, Raschner y Ammer, 2010). En nuestro estudio, hemos diseñado las ROIs siguiendo la anatomía de la mano, dividiendo la mano en 3 partes: palma, metatarsos y yemas. Este diseño coincide con algunos artículos como el de Coughlin et al., en 2001, pero difiere de otros artículos en los que dividen la mano en carpo, metacarpo y dedos como Chlebicka et al., (2013) y Jesensek et al.,

(2009), entre otros. La falta de unanimidad en las ROIs hace que los resultados y la comparativa de los mismos con otros artículos se vea en cierto modo comprometida.

6.2 Análisis de las diferencias térmicas en la temperatura de la piel de las manos entre los odontólogos y los controles.

6.2.1 Justificación

En los últimos años, la termografía infrarroja se ha convertido en una técnica cada vez más popular para determinar la temperatura superficial de la piel, gracias a que no influye en la termorregulación del cuerpo al ser sin contacto (De Andrade Fernandes et al., 2014). Entender la termorregulación del cuerpo resulta fundamental a la hora de interpretar los resultados obtenidos por la termografía infrarroja. La termorregulación se define como las respuestas fisiológicas del cuerpo para conservar la temperatura interna más o menos constante, alrededor de los 37°C (con cambios inferiores a 1°C), con el fin de mantener la homeostasis de los procesos metabólicos (Charkoudian, 2016; Vardasca y Simoes, 2013).

Debido al gran número de glándulas sudoríparas que se encuentran en la piel palmar de las manos y los pies, grandes cantidades de calor se pierden por la sudoración, y como resultado las extremidades pueden tener una temperatura superficial más baja que otras regiones del cuerpo (Jones y Lederman, 2006). En consecuencia, hay mayores fluctuaciones en las respuestas térmicas a las alteraciones de la temperatura ambiental, especialmente en las yemas de los dedos (Zontak et al., 1998). Por lo tanto, la microcirculación manual desempeña un papel importante en la termorregulación a través de una rica inervación simpática de pequeñas venas que facilitan la disipación o conservación del calor (Jones y Lederman, 2006). La regulación de la temperatura en las manos se logra principalmente mediante vasoconstricción y vasodilatación de los vasos sanguíneos cutáneos (Vardasca y Simoes, 2013; Charkoudian, 2016; Bach et al., 2015b).

La temperatura superficial de las diferentes regiones de la mano puede verse influenciada debido al trabajo manual, por el número de horas trabajadas, por la edad y sexo del trabajador, así como, por el nivel de forma física entre otros factores (Charkoudian, 2003; Cheung, 2015; Gulyaev et al., 1995; Lenasi y Strucl, 2004). Por ello consideramos interesante analizar las diferencias de temperatura en las manos de odontólogos versus trabajadores que no tienen un trabajo manual.

6.2.2 Discusión de los resultados

Uno de los objetivos de la presente tesis doctoral fue analizar si existen diferencias de temperatura, tanto a nivel basal como tras la recuperación de la temperatura tras un estrés térmico de frío, entre los odontólogos y los controles. En nuestro estudio encontramos que la temperatura de la piel de las manos tanto en el momento basal como durante la recuperación térmica después del estrés térmico de frío, es más baja en los noveles que en los expertos independientemente de la profesión, aunque estas diferencias no se dan entre ser o no odontólogo. Esto podría deberse a que todas las medidas fueron tomadas en la primera hora de la mañana, por lo que la variabilidad térmica dependería de la variabilidad de cada individuo, sin influir el factor profesión.

Tal y como se ha mencionado en el apartado 1.4, la temperatura de la piel es más baja por la mañana y conforme pasa el día va aumentando (Smolander et al., 1993; Salisbury et al., 1983). La mano es la parte del cuerpo que más aumenta la temperatura de la piel a lo largo del día (Cheung, 2015). Nuestros resultados estarían en concordancia con estudios previos, en los que se ha determinado que para reducir el efecto intra-sujeto del ritmo circadiano, se deberían tomar las medidas de cada participante en el mismo momento del día (Costa et al., 2018; De Andrade Fernandes et al., 2014).

En cuanto a la edad existen estudios que describieron importantes diferencias de temperatura en cuanto a la edad (más de 1°C) en las manos y los pies (Ferreira et al., 2008; Cheung, 2015), con temperaturas más bajas en general en las personas mayores. Nuestro estudio difiere con estos resultados encontrando que los noveles tienen temperaturas de la piel más bajas que los expertos. Esto podría deberse a que el grupo de expertos no tiene edad suficiente para considerarse mayor, ya que la edad media de los grupos de expertos en nuestro estudio es de 42 años. Puede que por tanto la mayor temperatura del grupo de expertos se deba a la medicación, ya que esta afecta a vascularización periférica, produciendo vasodilatación.

En relación con el análisis pretrabajo, con relación a la temperatura media y máxima, la temperatura de los expertos (odontólogos vs no odontólogos) no fue significativa en ninguno de los momentos de medición. Estos resultados parecen demostrar que el factor profesión no influye en los resultados y que el factor edad se comporta de igual manera en los odontólogos que en los controles, no encontrando diferencias significativas entre ambos grupos.

Por otra parte, los noveles odontólogos tuvieron menores temperaturas que los expertos odontólogos en el momento 150 y 210. Estos resultados podrían deberse al estrés mecánico

adquirido en las manos de los expertos odontólogos, que tras realizar un estrés térmico de frío experimentan un descenso de la temperatura, pero se produce una recuperación más rápida y mantenida en el tiempo que los noveles odontólogos. La sangre que fluye en las venas y arterias de la mano es de temperatura más baja que en otras regiones del cuerpo. Este fenómeno se explica porque la sangre en la arteria braquial se enfría por la sangre fría que regresa al corazón desde la mano a través de venas profundas muy cerca de los vasos, una disposición que se asemeja a un intercambiador de calor de contraflujo (Wahl et al., 2019).

El método utilizado en la mano para conservar el calor consiste en que la mayor parte de la sangre venosa que regresa de la sección distal se desvía a los tejidos profundos y, por lo tanto, se calienta por la sangre que pasa a través del tronco de la arteria principal (Wahl et al., 2019). Para disipar el calor, la sangre venosa elude esta trampa de calor en forma de sangre calentada que pasa a través de la arteria principal, siendo desviada inicialmente por anastomosis arteriovenosas en el sistema superficial de las venas cutáneas y subcutáneas donde el calor se pierde en el ambiente externo. Siendo los vasos autonómicos y sensoriales los que podrían contribuir a una hiperemia reactiva después de la exposición al frío buscando normalizar la temperatura corporal (Harada, 2002; Laskar y Harada, 2005; Mahbub et al., 2011).

Nuestros resultados difieren de un estudio realizado a mineros en los que se encontró que la edad y el tiempo de exposición a la vibración no fueron significativos (Mason, 2003). Sin embargo, existen evidencias epidemiológicas de que la frecuencia, la magnitud y la duración de la vibración están asociadas a la aparición de síndromes en profesionales usuarios de gran variedad maquinaria vibratoria (Bovenzi, 1987, 2010; Pelmear et al., 1987). Estos síndromes suelen aparecer en la mano dominante de los artesanos de mediana edad, trabajadores manuales que experimentaron traumas repetidos en la palma de la mano, ya sea por hábito personal o el uso de las herramientas de sus oficios (Harada y Mahbub, 2008).

Los trabajos específicos implicados han incluido la minería, la mecánica de automóviles, el trabajo en aserraderos, la carpintería, la carnicería, el uso de las manos para golpear placas de acero y el uso de martillos y destornilladores (Cooke, 2003). Existen diferentes autores que reportan estudios en este tipo de trabajadores (Conn, Bergan y Bell, 1970; Kaji et al., 2016; Little y Ferguson, 1972), llegaron a la conclusión de que, el cambio en el suministro vascular a la mano fue el resultado de un traumatismo contundente repetitivo en la mano. La naturaleza del trabajo realizado por los sujetos de cada uno de estos trabajadores, es tal que cualquier efecto de la vibración mano-brazo no puede distinguirse de los efectos de traumas hipotenares únicos o múltiples (Wahl et al., 2019). Es un concepto comprensible, el trauma repetido sobre

la eminencia hipotenar puede resultar de agarrar una pieza de un equipo que tenga asociada una vibración (Cooke, 2003; Wahl et al., 2019).

La cuantificación de la duración de la exposición a HTV (hand transmitted vibration) es una tarea difícil porque no se puede descartar el sesgo de recuerdo cuando el tiempo de exposición diaria se estima mediante cuestionario o entrevista directa de empleados y empleadores (Gerhardsson et al., 2005; Palmer et al., 2000). Varias investigaciones han informado de que los trabajadores de HTV tienden a sobreestimar su duración diaria real de exposición a la vibración de las herramientas (Cooke, 2003; Harada y Mahbub, 2008; Harada, 2002; Poole y Mason, 2009). Para reducir este sesgo, se realizó una encuesta en el lugar de trabajo durante una semana por supervisores que utilizaron un método de cronómetro recomendado por la guía de la UE sobre HTV para medir el tiempo que los operadores de herramientas están expuestos a la vibración (Engström y Dandanell, 1986). En este sentido, se necesitarían más estudios para poder explicar la relación entre el efecto de la cantidad de horas que se está expuesto a la vibración con las variaciones de temperatura de la piel tras un estrés térmico de frío en los profesionales de la odontología.

En nuestro estudio, encontramos que los odontólogos, tanto los noveles como expertos, terminan con una variación de temperatura máxima similar 3 minutos después de un estrés térmico de frío. Esto podría deberse a que tener un trabajo manual, como es la profesión de la odontología, al ejercitar las manos constantemente durante su trabajo, puede que la edad no altere la capacidad de recuperación térmica en los vasos que vascularizan las manos, explicando las no diferencias entre noveles y expertos, y sí entre odontólogos y no odontólogos. En este sentido harían falta estudios que comparen mediante termografía diferentes profesiones manuales, entre ellas la odontología para despejar nuestra hipótesis.

Así mismo, en el análisis de las diferencias entre pretrabajo y postrabajo en noveles, la temperatura media y máxima en el momento postrabajo fue mayor que el momento pretrabajo en noveles odontólogos, pero menor en noveles no odontólogos. Lo que vendría a demostrar que la temperatura en el momento basal se comporta de igual modo para todos los grupos, debido a lo comentado con anterioridad, la temperatura a primera hora de la mañana es más baja en las manos y conforme van pasando las horas la temperatura aumenta.

De igual modo, que la temperatura postrabajo sea mayor en el grupo de los noveles odontólogos, mientras que en el grupo de los noveles no odontólogos disminuya, podría demostrar que el tener un trabajo manual hace que la circulación periférica de la mano tenga una mayor capacidad de termorregularse, normalizando la temperatura de las manos después

de un estrés térmico de frío de manera más rápida, que en aquellos trabajadores no utilizan las manos para realizar su oficio.

Uno de los problemas en la metodología de los estudios realizados mediante termografía en manos es la variabilidad de la prueba de estrés térmico de frío. Esta prueba se ha demostrado válida para el estudio y diagnóstico de enfermedades vasculares que afectan a la mano como se ha comentado con anterioridad. Sin embargo, no hay un protocolo claro en cuanto a la temperatura a la que debe estar el agua, ni en cuanto al tiempo de inmersión. Y parece claro, que cuanto menor es la temperatura del agua, menor es el tiempo de inmersión. Para reducir el sufrimiento durante el estrés térmico, se tiende a aumentar la temperatura del agua y realizar una inmersión más corta (Harada, 2002). Hasta la fecha, sin embargo, no hay datos suficientes que respalden esta teoría, ya que, existen otros factores que pueden influir en las condiciones de la prueba de estrés térmico de frío como la temperatura de la sala, la estación del año, la isquemia durante la inmersión etc. (Harada, 2002).

6.3 Análisis de las diferencias de temperatura debidas a la experiencia en la profesión.

6.3.1 Justificación

Parece claro que la temperatura y la edad están relacionadas, sin embargo, se desconoce cómo de fuerte es esta relación y la manera en que la temperatura se ve afectada por la edad (Fernández-Cuevas et al., 2015b). Numerosos estudios han demostrado que, con el envejecimiento se deteriora la circulación de la piel (Cheung, 2015; Ferreira et al., 2008; Petrofsky et al., 2006; Sousa et al., 2018). La causa principal es el daño a las células del endotelio vascular de los vasos sanguíneos, lo que provoca una reducción en la producción de óxido nítrico u otros vasodilatadores (Petrofsky et al., 2006). Esto puede traducirse en deficiencias en el sistema vasomotor y, por tanto, pueden tener una tasa metabólica muy lenta y una producción reducida de la transpiración (Kenney y Hodgson, 1987).

La profesión de la odontología se asocia con enfermedades profesionales genéricas tales como el estrés, problemas musculoesqueléticos debido a la postura a la hora de ejercer la profesión, y problemas dermatológicos o de audición (Kerosuo, 2009; Shrestha, 2008; Leggat, Kedjarune, y Smith, 2007; Wasoski, 1995; Khandoker et al., 2016). En las manos, que son la herramienta de trabajo de los profesionales de la odontología, destacan el síndrome del túnel carpiano, el síndrome de Raynaud, el síndrome de vibración brazo-mano, así como la artritis y la artrosis (Haghighi et al., 2013; Mahbub y Harada, 2011; Chlebicka et al., 2013).

Debido a estos problemas que se van derivando de la profesión de la odontología consideramos interesante tener en cuenta el tiempo de experiencia y así analizar las diferencias entre noveles y expertos, para averiguar si son los odontólogos con más edad más propensos a desarrollar problemas vasculares en las manos, viéndose reflejados por diferencias de temperatura en las manos.

6.3.2 Discusión de los resultados

Con respecto a la temperatura media y la temperatura máxima, los noveles presentaron menores temperaturas que los expertos en todas las medidas. Sin embargo, nuestros resultados difieren de dos investigaciones de termografía en las que compararon personas jóvenes (aproximadamente de 23 años) y personas mayores (de más de 60 años), observando temperaturas más bajas en general (más de 1°C) en las manos y los pies en las personas mayores (Ferreira et al., 2008; Cheung, 2015). Existen factores relacionados con la edad, tales como la reducción de la proporción de células productoras de calor, la disminución del agua corporal total, el retraso y la reducción de la respuesta a la vasoconstricción y vasodilatación, una disminución de la tasa metabólica y secundaria al deterioro y la enfermedad que pueden afectar la termorregulación en las personas mayores (Cheung, 2015; Christensen et al., 2012; Ferreira et al., 2008; Kenney & Hodgson, 1987; Petrofsky et al., 2006; Sousa et al., 2018). Esto puede deberse, a que en nuestro estudio la edad media de los expertos fue de 42 años, ya que realizamos el estudio considerando expertos a los profesionales con más de cinco años de experiencia. Por lo que sería necesario realizar este estudio en profesionales retirados o cerca de hacerlo para poder refrendar estos resultados.

Estos resultados podrían explicarse también a que los profesionales de la odontología con más experiencia en muchos casos dedican menos horas a la práctica clínica que los profesionales noveles. Compatibilizando trabajo clínico con trabajos de gestión, administración, investigación o docencia en comparación con los trabajadores noveles. Por ello, sería interesante realizar estudios donde se contabilizarán el número de horas a la semana en los que los profesionales de la odontología están tratando pacientes, ya que el desgaste manual no es el mismo en todos los profesionales.

6.4. Determinar si existen otras variables que expliquen la variación de la temperatura independientemente de la profesión y la edad.

6.4.1 Justificación

La variabilidad térmica de la temperatura de la piel puede ser debido a numerosos factores tales como la edad (Kenny y Jay, 2013), el sexo (Kenny y Jay, 2013; Gagnon y Kenny, 2012), el metabolismo individual (Savastano et al., 2009; Chudecka, Lubkowska y Kempieńska-Podhorodecka, 2014), el estado físico (Akimov y Son'kin, 2011; Chudecka, Lubkowska y Kempieńska-Podhorodecka, 2014; Moreira et al., 2017a; Priego Quesada et al., 2015), y el tabaco (Bornmyr y Svensson, 1991; Ijzerman et al., 2003), entre otros factores.

Especialmente en la descripción de diferencias entre hombres y mujeres, la antropometría o morfología es relevante, ya que el hombre promedio es más pesado y alto, y por lo tanto tiene una mayor superficie y masa corporal, y una menor relación superficie-masa que su contraparte femenina (Chudecka et al., 2014a; Chudecka y Lubkowska, 2015b; Neves, 2017b; Neves et al., 2017a). El área de superficie corporal es importante para el intercambio de calor. La pérdida de calor es proporcional al gradiente entre la piel y el medio ambiente, y al área de superficie disponible para el intercambio de calor (Chudecka et al., 2014a; Chudecka y Lubkowska, 2015b). Por lo tanto, para una pérdida de calor seco una persona más pequeña necesitará aumentar la temperatura de la piel más que una persona con un área de superficie más grande (Chudecka et al., 2014a; Neves, 2017a; Savastano et al., 2009).

En cuanto a la masa, en transitorios térmicos, para una tasa de almacenamiento de calor igual, una masa más grande se calentará menos que una masa más pequeña (Chudecka et al., 2014a; Neves et al., 2017a; Savastano et al., 2009). El calor fluye desde las partes internas del cuerpo hacia las capas más superficiales y la piel, así como en sentido contrario, por lo que requiere la activación de la circulación de la piel con solo una pequeña cantidad de calor conducida pasivamente a través de los tejidos (Havenith y Lloyd, 2020).

Las fluctuaciones hormonales relacionadas con el ciclo menstrual parecen afectar el sistema termorregulador. Estudios en mujeres han observado que, una temperatura corporal aumentada durante la fase luteal se asocia con un mayor umbral de temperatura para alcanzar la sudoración y la vasodilatación cutánea (Bartelink et al., 1990; Coyne et al., 2000; Frascarolo et al., 1990; Grucza et al., 1993). También se ha observado cambios en el inicio de la sudoración en mujeres durante la fase L del ciclo menstrual. El flujo sanguíneo de la piel

disminuye en la fase L en mujeres en reposo expuestas a un entorno termoneutral (Frascarolo et al., 1990).

El nivel de forma física individual puede influir en el patrón térmico de los participantes en un estudio termográfico. Las personas que entrenan a menudo tienen una mejor capacidad para la transferencia de calor entre la temperatura interna y la temperatura de la piel debido a que el flujo de sangre es mayor y es menor su grasa corporal (Simmons et al., 2011; Priego Quesada et al., 2015). En este sentido, la variabilidad del estado de forma física resultara en una mayor variabilidad de la temperatura de la piel si se utiliza un grupo heterogéneo (Priego Quesada, Kunzler y Carpes, 2017b).

Por otro lado, se ha descrito en la literatura que otras causas comunes que pueden cursar con un aumento de los valores de temperatura de las manos son: artritis, traumatismo, infección, hiperemia reactiva (causada por estrés por frío, estrés por calor y alcohol), tenosinovitis, dermatitis, fractura ósea, algodistrofia reumatoide y osteoartritis (Yang, 1983; Rodríguez Medina et al., 2018; Jacobsen, Aasenden y Hensten - Pettersen, 1991; Lowe et al., 2019; Frize et al., 2011; Shibkov et al., 2020; Salazar, 2018). El efecto contrario, disminución de la temperatura de las manos, puede tener como causas comunes: lesiones neurogénicas, oclusión arterial, diabetes, efectos del tabaquismo, lesiones cutáneas viejas (tejido cicatricial), trastornos vasoespásticos, acrocianosis, neuropatía diabética, arteriosclerosis, lupus diseminado, síndrome del túnel carpiano, algodistrofia de Sudek, dermatomiositis, esclerodermia y vasoespasmos por fumar (Vardasca y Ring, 2010; Baic et al., 2017; Haghighat et al., 2012; Niehof et al., 2006; Khandoker et al., 2017; Schuhfried et al., 2000; Silverstein, Fine, y Armstrong, 1987; Høiland, de Weerd y Mercer, 2014; Clifford et al., 1980; Charkoudian, 2003; Kerosuo, 2009).

6.4.2. Discusión de los resultados

Los resultados de la presente tesis doctoral muestran que dentro de las variables que influyen en la variación de la temperatura se encuentra el sexo. Estudios previos muestran como los hombres, por lo general, tienen una temperatura de la piel de las manos mayor a la de las mujeres (Christensen et al., 2012; Marins et al., 2015; Moreira et al., 2017; Neves et al., 2017a). Esto está en consonancia con los resultados obtenidos en nuestro estudio, donde ser hombre resulta en una mayor variación en la temperatura. Esto podría ser debido a las diferencias en la circulación de la sangre en la piel entre hombre y mujeres o debido a una tasa metabólica más alta en hombres. Las mujeres presentan una temperatura interna mayor,

menor tasa de sudor en todo el cuerpo y un mayor porcentaje de grasa corporal, lo que provoca una mayor pérdida de calor y resulta en una menor temperatura de la piel en muchas regiones del cuerpo (Bartelink et al., 1990; Formenti et al., 2013; Fournet et al., 2013; Gerrett et al., 2015). Estos efectos del sexo son más evidentes por la mañana que por la noche, debido a que el flujo sanguíneo es más bajo y el efecto de la insuflación térmica de la grasa corporal es mayor (Baker et al., 2001; Bartelink et al., 1993; Costa et al., 2018; Coyne et al., 2000; Harding et al., 2019; Smolander et al., 1993). Este fue uno de los motivos que se tuvo en cuenta para determinar la hora a la que realizar el estudio y así disminuir la variabilidad térmica.

El ciclo menstrual se ha demostrado que influye en la temperatura de las mujeres, ya que la temperatura interna y flujo de sangre en la piel son mayores durante la fasea lútea y menores en la fase folicular resultando en un aumento de la temperatura de la piel en las mujeres (Bartelink et al., 1990; Grucza et al., 1993; Coyne et al., 2000; Lund, Gröndahl y Gröndahl, 2012; Sund-Levander, Forsberg y Wahren, 2002). En cambio, en la menopausia, el control termorregulatorio del flujo sanguíneo en la piel puede estar disminuido (Charkoudian, 2003). Los resultados de nuestro estudio están en consonancia con estos estudios, ya que muestran que existen una mayor variación de la temperatura en las mujeres que en el momento del estudio tienen la menstruación.

En nuestro estudio sí que analizamos la influencia en la temperatura periférica de los medicamentos, con la variable medicación, pero no analizamos en concreto el efecto de los anticonceptivos en las mujeres. Sin embargo, estudios previos muestran que el uso de los anticonceptivos aumenta el flujo sanguíneo y la respuesta vascular (Reinberg et al., 1996; Bartelink et al., 1993), mientras que otros observan un descenso en la respuesta vascular (Charkoudian y Johnson ,1997). Por lo que en estudios próximos se debería tener en cuenta esta variable en las mujeres, ya que pueden verse alterados los resultados de la temperatura periférica en las mujeres que estén tomando anticonceptivos.

Otra de las variables que los resultados del presente estudio muestran que está directamente relacionada con el aumento de la variación de la temperatura, es el estar activo. Como ya se ha descrito con anterioridad, el nivel de forma física individual puede influir en al patrón térmico de los participantes. Cena y Clark fueron los primeros en subrayar la diferencia en las emisiones térmicas entre participantes que entrenan y hacen ejercicio y participantes sedentarios (Cena y Clark, 1976). Los pacientes sedentarios exhiben una peor capacidad de disminución de la temperatura durante el ejercicio, y su recuperación tras el ejercicio es menos rápida (Merla et al., 2005; Formenti et al., 2013; Ichinose-Kuwahara et al., 2010)

Además, las personas que entrenan a menudo tienen una mejor capacidad para la transferencia de calor debido a que el flujo de sangre es mayor y es menor su grasa corporal (Simmons et al., 2011; Priego Quesada et al., 2015). La recuperación del ejercicio es un proceso en el cual el cuerpo trabaja en restablecer los diferentes procesos fisiológicos que ocurren durante el ejercicio, como el daño muscular, daño ADN, y estrés oxidativo, entre otros (Connolly, Sayers y Mchugh, 2003; Ryu et al., 2016). Otros autores, observaron que, después de una sesión de entrenamiento, se produce un progresivo aumento de la temperatura de la piel, generando un aumento del flujo sanguíneo periférico, hasta 6 horas después del ejercicio (Fernández-Cuevas et al., 2015c).

La temperatura de la piel depende de factores intrínsecos, como el porcentaje de grasa corporal y la grasa subcutánea (Chudecka et al. 2014b; Neves et al. 2015). Los depósitos de tejido adiposo en la hipodermis actúan como aislantes, interfiriendo en la transferencia de calor entre el cuerpo y el ambiente, disminuyendo en consecuencia la temperatura de la superficie de la piel (Neves, 2017a). Neves en su estudio, tomó una muestra en el que las participantes eran mujeres con peso normal o sobrepeso, es decir, no había individuos con bajo peso u obesos. Se observó que el aumento del porcentaje de grasa redujo la temperatura de la piel hasta 0,7°C en regiones de las extremidades superiores y 0,5°C en regiones de las extremidades inferiores. Por lo tanto, en un grupo considerado homogéneo en términos de IMC, la temperatura de la piel puede verse alterada como resultado del exceso de tejido adiposo. En este sentido, parece necesario considerar la acción de la grasa, cuando se estudian los patrones térmicos en humanos. Se han analizado varias disfunciones y enfermedades con imágenes térmicas, pero pocos estudios han tenido en cuenta el impacto del tejido adiposo.

No sólo los individuos con más grasa subcutánea pueden tener la temperatura de la piel reducida (Neves et al., 2015), sino que también pueden tener una menor variación de la temperatura de la piel, cuando se exponen a situaciones como el ejercicio. Esto está en consonancia con los resultados obtenidos en nuestro estudio, en los que la variable índice de masa corporal estaría inversamente relacionada con la variación de la temperatura. Estos hallazgos coinciden con la literatura, donde numerosos artículos refrendan nuestros resultados (Chudecka, Lubkowska, y Kempieńska-Podhorodecka, 2014b; Chudecka y Lubkowska, 2010; Neves, 2017b; Neves et al., 2017; 2015; Savastano et al., 2009; Chudecka y Lubkowska, 2016).

La superficie corporal es importante para el intercambio de calor. La pérdida de calor es proporcional al gradiente de temperatura entre la piel y el entorno, y a la superficie disponible para el intercambio de calor (Tansey y Johnson, 2015; Vardasca y Simoes, 2013). Por lo tanto,

para una pérdida de calor seca en reposo, una persona más pequeña necesitará aumentar la temperatura de la piel más que una persona con mayor superficie. En efecto, esto implica que las personas más pequeñas (es decir, las mujeres) deberían tener ventaja en ambientes cálidos con respecto a las personas más grandes (hombres), cuando la capacidad de producción de sudor es igual o cuando el clima limita la evaporación, impidiendo cualquier diferencia en la capacidad de evaporación del sudor (por ejemplo, en un ambiente cálido y de alta humedad). En nuestro estudio encontramos que la superficie corporal es inversamente proporcional a la variación de temperatura, por lo que en cuanto a los valores de temperatura existe una menor variación de temperatura cuando la superficie corporal es mayor. Estos resultados concuerdan con diferentes estudios observados en la literatura (Anderson, 1999; Gerrett et al., 2015; Havenith 2001; Havenith et al., 1998; Havenith y van Middendorp, 1990; Havenith, Luttikholt y Vrijkotte, 1995; Shapiro et al., 1980).

El tabaco afecta a la circulación periférica y existen estudios que determinaron un descenso en la temperatura de entre 0.5°C y 3°C en las extremidades de los fumadores, encontrando el punto más bajo entre 15 y 30 minutos después de fumar (Gershon-Cohen, Habennan y Habennan, 1968; Ewing, Davison y Fergason, 1973). Sin embargo, en nuestro estudio no hubo diferencias entre los fumadores y los no fumadores. Esto podría deberse al número tan bajo de fumadores presentes en la muestra (6) y a que, tal como se recomienda en estudios termográficos, los fumadores fueron instruidos para que no fumaran 12 horas antes de las medidas (Priego Quesada et al., 2015; Priego Quesada et al., 2016). De este modo, la temperatura podría verse influenciada por el número de cigarrillos que consumen a la semana, y grandes fumadores podrían experimentar una vasoconstricción importante unido a una reducción del grosor del vaso sanguíneo. Ningún participante de nuestro estudio fue, sin embargo, gran fumador.

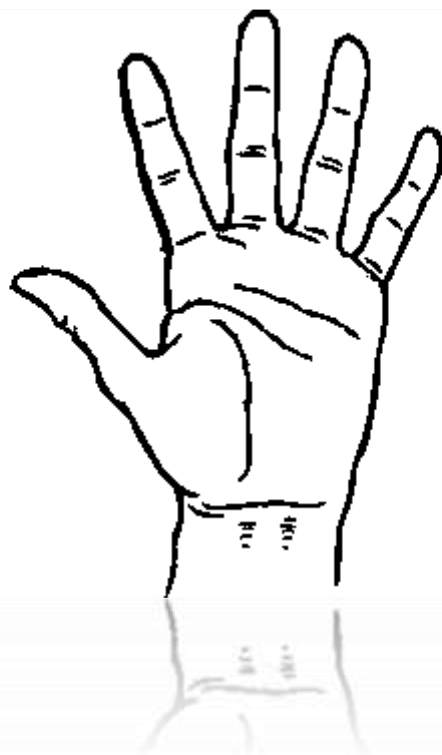
6.5. Limitaciones y futuros estudios

El presente estudio presenta algunas limitaciones que deben mencionarse y tenerse en cuenta a la hora de interpretar los resultados obtenidos:

1. La edad de los participantes expertos puede que no sea representativa, ya que se consideraron personas expertas, aquellas que contaban con más de 5 años de experiencia. Siendo la edad media de los grupos de experto de 42 años. Por lo que se necesitarían estudios con personas expertas con una experiencia mayor a 5 años.

2. Debido a la cantidad de participantes en el estudio, no se pudo realizar el estudio en un mismo periodo estacional, pudiendo este factor influir en los resultados, a pesar a haber seguido un protocolo adecuado en cuanto al acondicionamiento de la sala y del participante previo a la toma de medidas.
3. La mayoría de los participantes fueron personas activas, con un nivel de forma física bueno. Como ya se ha comentado con anterioridad, las personas que entrenan a menudo tienen una mejor capacidad para la transferencia de calor que las personas sedentarias, pudiendo haber enmascarado este factor el efecto de la profesión.
4. En las mujeres no se tuvo en cuenta la influencia de la ingesta de anticonceptivos en la temperatura periférica. Estudios previos muestran que el uso de los anticonceptivos afecta al flujo sanguíneo y a la respuesta vascular, lo que se traduce en una alteración de los valores de temperatura.
5. Se debería tener en cuenta para futuros estudios el número de horas de trabajo en que los odontólogos están realizando trabajo manual, ya que el número de horas podría ser muy variable entre los diferentes grupos.

CONCLUSIONES

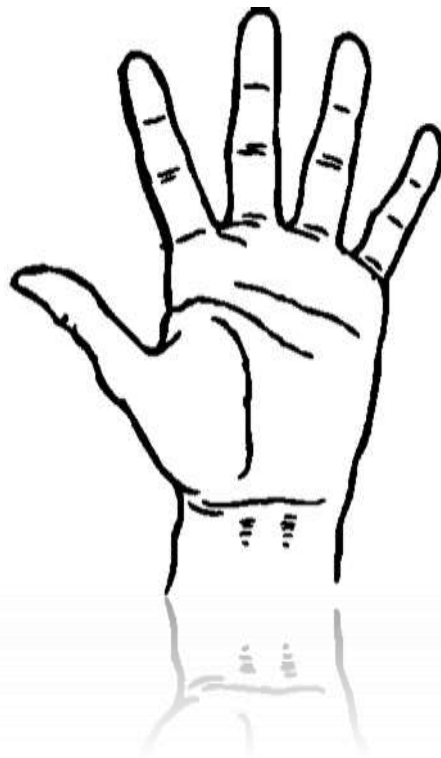


7. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones derivadas de la presente tesis doctoral que responden a los objetivos planteados:

1. No existen diferencias en la respuesta térmica de la mano tras un enfriamiento entre odontólogos y no odontólogos. Esto podría significar que los profesionales de la odontología por el ejercicio de su profesión no tienen más probabilidades de desarrollar alteraciones vasculares debido a su constante trabajo manual.
2. No se observan asimetrías térmicas entre la mano dominante y la mano de apoyo en ninguno de los grupos, sugiriendo que no existe una mayor alteración fisiológica para la mano que más se usa para trabajar.
3. Aunque no se observó un efecto de la profesión en la temperatura de la piel tanto a nivel basal como tras el estrés térmico de frío, sí que fue menor en los novales que en los expertos independientemente de la profesión. Puede que por tanto la mayor temperatura del grupo de expertos se pueda deber a la medicación, ya que se ha demostrado que esta afecta a la vascularización periférica, produciendo una vasodilatación.
4. Algunos factores afectan de manera importante a la variación de temperatura tras un estrés térmico de frío y deben ser contempladas por futuros estudios. En este sentido, las variables que están directamente relacionadas con la variación de la temperatura son ser activo, tener la menstruación y la edad. Mientras que, las variables que están inversamente relacionadas con la variación de la temperatura son el índice de masa corporal, el área de superficie corporal y ser odontólogo.

BIBLIOGRAFÍA



8. BIBLIOGRAFIA

- Abao, L., Di Donato, L., Romani, G. L., & Merla, A. (2013). Comparison of cutaneous thermic response to a standardised warm up in trained and untrained individuals. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(2), 209–215. <https://www.researchgate.net/publication/236181052>
- Adamczyk, J. G., Krasowska, I., Boguszewski, D., & Reaburn, P. (2016). The use of thermal imaging to assess the effectiveness of ice massage and cold-water immersion as methods for supporting post-exercise recovery. *Journal of Thermal Biology*, 60, 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.05.006>
- Akimov, E. B., & Son'kin, V. D. (2011). Skin temperature and lactate threshold during muscle work in athletes. *Human Physiology*, 37(5), 621–628. <https://doi.org/10.1134/S0362119711050033>
- Alhusain, F. A., Almohrij, M., Althukeir, F., Alshater, A., Alghamdi, B., Masuadi, E., & Basudan, A. (2019). Prevalence of carpal tunnel syndrome symptoms among dentists working in Riyadh. *Annals of Saudi Medicine*, 39(2), 104–111. <https://doi.org/10.5144/0256-4947.2019.07.03.1405>
- Ammer, K. (2008). The Glamorgan protocol for recording and evaluation of thermal images of the human body. *Thermology International*, 18(4), 125–144. <https://www.researchgate.net/publication/233420893>
- Ammer, K. (2021). *Influence of Imaging and Object Conditions on Temperature Readings From Medical Infrared Images View project*. 1–4. <https://www.researchgate.net/publication/29873073>
- Ammer, K. (1999). Diagnosis of nerve entrapment syndromes by thermal imaging. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology - Proceedings*, 2, 1117. <https://doi.org/10.1109/iembs.1999.804279>
- Anderson, G. S. (1999). Human morphology and temperature regulation. In *International Journal of Biometeorology* (Vol. 43, Issue 3, pp. 99–109). Springer. <https://doi.org/10.1007/s004840050123>
- Anderson, M. E., Moore, T. L., Lunt, M., & Herrick, A. L. (2007). The 'distal-dorsal difference': a

- thermographic parameter by which to differentiate between primary and secondary Raynaud's phenomenon. *Rheumatology*, 46(3), 533–538. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/ke1330>
- Atroshi, I., Lyrén, P. E., & Gummesson, C. (2009). The 6-item CTS symptoms scale: A brief outcomes measure for carpal tunnel syndrome. *Quality of Life Research*, 18(3), 347–358. <https://doi.org/10.1007/s11136-009-9449-3>
- Ayers, K. M. S., Thomson, W. M., Newton, J. T., & Rich, A. M. (2008). Job stressors of New Zealand dentists and their coping strategies. *Occupational Medicine*, 58(4), 275–281. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqn014>
- Azmir, N. A., Ghazali, M. I., Yahya, M. N., & Ali, M. H. (2016). Hand-arm vibration disorder among grass-cutter workers in Malaysia. In *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* (Vol. 22, Issue 3, pp. 433–438). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/10803548.2016.1150571>
- Bach, A. J. E., Stewart, I. B., Minett, G. M., & Costello, J. T. (2015). Does the technique employed for skin temperature assessment alter outcomes? A systematic review. In *Physiological Measurement* (Vol. 36, Issue 9, pp. R27–R51). <https://doi.org/10.1088/0967-3334/36/9/R27>
- Bacon, P., Collins, A., Ring, F., & Cosh, J. (1976). Thermography in the assessment of inflammatory arthritis. *Clinics in Rheumatic Diseases*, 2, 51–65. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10011181387>
- Baic, A., Kasprzyk, T., Rżany, M., Stanek, A., Sieroń, K., Suszyński, K., Marcol, W., & Cholewka, A. (2017). Can we use thermal imaging to evaluate the effects of carpal tunnel syndrome surgical decompression? *Medicine (United States)*, 96(39). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000007982>
- Baker, F. C., Waner, J. I., Vieira, E. F., Taylor, S. R., Driver, H. S., & Mitchell, D. (2001). Sleep and 24 hour body temperatures: A comparison in young men, naturally cycling women and women taking hormonal contraceptives. *Journal of Physiology*, 530(3), 565–574. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.0565k.x>
- Baker, G. F., Tortora, G. J., & Nostakos, N. P. A. (1976a). Principles of Anatomy and Physiology. *The American Journal of Nursing*, 76(3), 477. <https://doi.org/10.2307/3423898>

- Baker, G. F., Tortora, G. J., & Nostakos, N. P. A. (1976b). Principles of Anatomy and Physiology. *The American Journal of Nursing*, 76(3), 477. <https://doi.org/10.2307/3423898>
- Bargiel, P., Czapla, N., Prowans, P., Kotrych, D., Ziętek, P., Lusina, D., Łęgosz, P., & Petriczko, J. (2021). Thermography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Open Medicine (Poland)*, 16(1), 175–182. <https://doi.org/10.1515/med-2021-0007>
- Barnes, J. N. (2017). Sex-specific factors regulating pressure and flow. *Experimental Physiology*, 102(11), 1385–1392. <https://doi.org/10.1113/EP086531>
- Bartelink, M. L., De Wit, A., Wollersheim, H., Theeuwes, A., & Thien, T. (1993). Skin vascular reactivity in healthy subjects: Influence of hormonal status. *Journal of Applied Physiology*, 74(2), 727–732. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.2.727>
- Bartelink, M. L., Wollersheim, H., Theeuwes, A., Van Duren, D., & Thien, T. (1990). Changes in skin blood flow during the menstrual cycle: The influence of the menstrual cycle on the peripheral circulation in healthy female volunteers. *Clinical Science*, 78(5), 527–532. <https://doi.org/10.1042/cs0780527>
- Bernard, V., Staffa, E., Mornstein, V., & Bourek, A. (2013). Infrared camera assessment of skin surface temperature - Effect of emissivity. *Physica Medica*, 29(6), 583–591. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2012.09.003>
- Block, J. A., & Sequeira, W. (2001). Raynaud's phenomenon. *Lancet*, 357(9273), 2042–2048. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)05118-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)05118-7)
- Bommadevara, M., & Zhu, L. (2002). Temperature difference between the body core and arterial blood supplied to the brain during hyperthermia or hypothermia in humans. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, 1(2), 137–149. <https://doi.org/10.1007/s10237-002-0011-2>
- Borhan Haghighi, A, H Khosropanah, F Vahidnia, S Esmailzadeh, y Z. E. (2013). Association of dental practice as a risk factor in the development of carpal tunnel syndrome. *Journal of Dentistry (Shiraz, Iran)*, 14(1), 37–40. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24724115> <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC3927669>
- Bornmyr, S., & Svensson, H. (1991). Thermography and laser-Doppler flowmetry for monitoring changes in finger skin blood flow upon cigarette smoking. *Clinical Physiology*, 11(2), 135–

141. <https://doi.org/10.1111/j.1475-097X.1991.tb00106.x>
- Borojević, N., Kolarić, D., Grazio, S., Grubišić, F., Antonini, S., Nola, I. A., & Herceg, Že. (2011). Thermography hand temperature distribution in rheumatoid arthritis and osteoarthritis. *Periodicum Biologorum*, 113(4), 445–448.
- Bovenzi, M. (1987). Finger thermometry in the assessment of subjects with vibration-induced white finger. In *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* (Vol. 13, Issue 4, pp. 348–351). <https://doi.org/10.5271/sjweh.2044>
- Bovenzi, M. (2010). A prospective cohort study of exposure-response relationship for vibration-induced white finger. *Occupational and Environmental Medicine*, 67(1), 38–46. <https://doi.org/10.1136/oem.2009.046128>
- Caron, A., & Richard, D. (2017). Neuronal systems and circuits involved in the control of food intake and adaptive thermogenesis. In *Annals of the New York Academy of Sciences* (Vol. 1391, Issue 1, pp. 35–53). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/nyas.13263>
- Cavalheiro, A. L., da Costa, D. T., de Menezes, A. L. F., Pereira, J. M., & de Carvalho, E. M. (2016). Thermographic analysis and autonomic response in the hands of patients with leprosy. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 91(3), 274–283. <https://doi.org/10.1590/abd1806-4841.20164612>
- Cena, K., & Clark, J. A. (1976). Proceedings: Thermographic observations of skin temperatures of trained and untrained runners. *The Journal of Physiology*, 257(1), 8P-9P. <https://europepmc.org/article/med/948090>
- Chamberlain, J. M., Terndrup, T. E., Alexander, D. T., Silverstone, F. A., Wolf-Klein, G., O'Donnell, R., & Grandner, J. (1995). Determination of Normal Ear Temperature with an Infrared Emission Detection Thermometer. *Annals of Emergency Medicine*, 25(1), 15–20. [https://doi.org/10.1016/S0196-0644\(95\)70349-7](https://doi.org/10.1016/S0196-0644(95)70349-7)
- Charkoudian, N. (2003). Skin blood flow in adult human thermoregulation: How it works, when it does not, and why. In *Mayo Clinic Proceedings* (Vol. 78, Issue 5, pp. 603–612). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.4065/78.5.603>
- Charkoudian, N. (2010). Mechanisms and modifiers of reflex induced cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans. In *Journal of Applied Physiology* (Vol. 109, Issue 4, pp. 1221–1228). American Physiological Society Bethesda, MD.

- <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00298.2010>
- Charkoudian, N. (2016). Human thermoregulation from the autonomic perspective. In *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical* (Vol. 196, pp. 1–2). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.02.007>
- Charkoudian, N., & Johnson, J. M. (1997). Modification of active cutaneous vasodilation by oral contraceptive hormones. *Journal of Applied Physiology*, 83(6), 2012–2018. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.83.6.2012>
- Cheshire, W. P. (2016). Thermoregulatory disorders and illness related to heat and cold stress. In *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical* (Vol. 196, pp. 91–104). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.01.001>
- Cheung, S. S. (2015). Responses of the hands and feet to cold exposure. In *Temperature* (Vol. 2, Issue 1, pp. 105–120). Routledge. <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1008890>
- Chlebicka, I., Matusiak, Ł., Maj, J., Baran, E., & Szepletowski, J. C. (2013). Freezing fingers syndrome, primary and secondary raynaud's phenomenon: Characteristic features with hand thermography. *Acta Dermato-Venereologica*, 93(4), 428–432. <https://doi.org/10.2340/00015555-1508>
- Christensen, J., Vaeth, M., & Wenzel, A. (2012). Thermographic imaging of facial skin-gender differences and temperature changes over time in healthy subjects. *Dentomaxillofacial Radiology*, 41(8), 662–667. <https://doi.org/10.1259/dmfr/55922484>
- Chudecka, M., & Lubkowska, A. (2010). Temperature changes of selected body's surfaces of handball players in the course of training estimated by thermovision, and the study of the impact of physiological and morphological factors on the skin temperature. *Journal of Thermal Biology*, 35(8), 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.08.001>
- Chudecka, M., & Lubkowska, A. (2015a). Thermal maps of young women and men. *Infrared Physics and Technology*, 69, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.01.012>
- Chudecka, M., & Lubkowska, A. (2015b). Thermal maps of young women and men. *Infrared Physics and Technology*, 69, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.01.012>
- Chudecka, M., & Lubkowska, A. (2016). Thermal Imaging of Body Surface Temperature Distribution in Women with Anorexia Nervosa. *European Eating Disorders Review*, 24(1), 57–61. <https://doi.org/10.1002/erv.2388>

- Chudecka, M., Lubkowska, A., & Kempieńska-Podhorodecka, A. (2014a). Body surface temperature distribution in relation to body composition in obese women. *Journal of Thermal Biology*, 43(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.03.001>
- Chudecka, M., Lubkowska, A., & Kempieńska-Podhorodecka, A. (2014b). Body surface temperature distribution in relation to body composition in obese women. *Journal of Thermal Biology*, 43(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.03.001>
- Chudecka, M., Lubkowska, A., Leźnicka, K., & Krupecki, K. (2015). The Use of Thermal Imaging in the Evaluation of the Symmetry of Muscle Activity in Various Types of Exercises (Symmetrical and Asymmetrical). *Journal of Human Kinetics*, 49(1), 141–147. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0116>
- Clark, R. P., Mullan, B. J., & Pugh, L. G. (1977). Skin temperature during running--a study using infra-red colour thermography. *The Journal of Physiology*, 267(1), 53–62. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1977.sp011800>
- Clifford, P. C., Martin, M. F. R., Sheddon, E. J., Kirby, J. D., Baird, R. N., & Dieppe, P. A. (1980). Treatment of vasospastic disease with prostaglandin E1. *British Medical Journal*, 281(6247), 1031–1034. <https://doi.org/10.1136/bmj.281.6247.1031>
- Conn, J., Bergan, J. J., & Bell, J. L. (1970). Hypothenar hammer syndrome: posttraumatic digital ischemia. *Surgery*, 68(6), 1122–1128. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10017982336/>
- Connolly, D. A. J., Sayers, S. P., & McHugh, M. P. (2003). Treatment and prevention of delayed onset muscle soreness. In *Journal of Strength and Conditioning Research* (Vol. 17, Issue 1, pp. 197–208). [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0197:TAPODO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0197:TAPODO>2.0.CO;2)
- Cooke, R. A. (2003). Hypothenar hammer syndrome: A discrete syndrome to be distinguished from hand-arm vibration syndrome. In *Occupational Medicine* (Vol. 53, Issue 5, pp. 320–324). <https://doi.org/10.1093/occmed/kqg071>
- Costa, C. M. A., Moreira, D. G., Sillero-Quintana, M., Brito, C. J., de Azambuja Pussieldi, G., de Andrade Fernandes, A., Cano, S. P., & Bouzas Marins, J. C. (2018). Daily rhythm of skin temperature of women evaluated by infrared thermal imaging. *Journal of Thermal Biology*, 72, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.12.002>
- Coughlin, P. A., Chetter, I. C., Kent, P. J., & Kester, R. C. (2001). The analysis of sensitivity, specificity, positive predictive value and negative predictive value of cold provocation

- thermography in the objective diagnosis of the hand-arm vibration syndrome. *Occupational Medicine*, 51(2), 75–80. <https://doi.org/10.1093/occmed/51.2.075>
- Coughlin, P., Chetter, I. C., Kent, P. J., & Kester, R. C. (2002). Analysis of cold provocation thermography in the objective diagnosis of the hand–arm vibration syndrome. *British Journal of Surgery*, 86(5), 694–695. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2168.1999.0694c.x>
- Coyne, M. D., Kesick, C. M., Doherty, T. J., Kolka, M. A., & Stephenson, L. A. (2000). Circadian rhythm changes in core temperature over the menstrual cycle: Method for noninvasive monitoring. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 279(4 48-4), 1316–1320. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.2000.279.4.r1316>
- Cramer, M. N., & Jay, O. (2016). Biophysical aspects of human thermoregulation during heat stress. *Autonomic Neuroscience*, 196, 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.03.001>
- De Andrade Fernandes, A., Dos Santos Amorim, P. R., Brito, C. J., De Moura, A. G., Moreira, D. G., Costa, C. M. A., Sillero-Quintana, M., & Marins, J. C. B. (2014). Measuring skin temperature before, during and after exercise: A comparison of thermocouples and infrared thermography. *Physiological Measurement*, 35(2), 189–203. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/35/2/189>
- Díaz-Caballero, A. J., Gómez-Palencia, I. P., & Díaz-Cárdenas, S. (2010). Ergonomic factors that cause the presence of pain muscle in students of dentistry. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*, 15(6). <https://doi.org/10.4317/medoral.15.e906>
- Doyle, J. R., & Botte, M. J. (2003). *Surgical Anatomy of the Hand and Upper Extremity*. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <https://doi.org/10.2106/00004623-200312000-00049>
- Du Bois, D., & Du Bois, E. F. (1916). Clinical calorimetry: Tenth paper a formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Archives of Internal Medicine*, XVII(6_2), 863–871. <https://doi.org/10.1001/archinte.1916.00080130010002>
- Dupuis, H. (1987). Thermographic assessment of skin temperature during a cold provocation test. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 13(4), 352–355. <https://doi.org/10.5271/sjweh.2029>
- Engel, J. M. (1984). Physical and Physiological Influence of Medical Ointments on Infrared

- Thermography. In *Recent Advances in Medical Thermology* (pp. 177–183). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7697-2_23
- Engstrom, K., & Dandanell, R. (1986). Exposure conditions and Raynaud's phenomenon among riveters in the aircraft industry. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 12(4), 293–295. <https://doi.org/10.5271/sjweh.2138>
- Ewing, K. L., Davison, T. W., & Fergason, J. L. (1973). Effects of Activity, Alcohol, Smoking, and the Menstrual Cycle on Liquid Crystal Breast Thermography. *The Ohio Journal of Science*, 73(1), 55–58. <http://hdl.handle.net/1811/21956>
- Fernandes, A. de A., Amorim, P. R. dos S., Brito, C. J., Sillero-Quintana, M., & Marins, J. C. B. (2016). Regional skin temperature response to moderate aerobic exercise measured by infrared thermography. *Asian Journal of Sports Medicine*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.5812/asjasm.29243>
- Fernández-Cuevas, I., Bouzas Marins, J. C., Arnáiz Lastras, J., Gómez Carmona, P. M., Piñonosa Cano, S., García-Concepción, M. Á., & Sillero-Quintana, M. (2015). Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Physics and Technology*, 71, 28–55. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.02.007>
- Ferreira, J. J. A., Mendonça, L. C. S., Nunes, L. A. O., Andrade Filho, A. C. C., Rebelatto, J. R., & Salvini, T. F. (2008). Exercise-associated thermographic changes in young and elderly subjects. *Annals of Biomedical Engineering*, 36(8), 1420–1427. <https://doi.org/10.1007/s10439-008-9512-1>
- Foerster, J., Kuerth, A., Niederstrasser, E., Krautwald, E., Pauli, R., Paulat, R., Eweleit, M., Riemekasten, G., & Worm, M. (2007). A cold-response index for the assessment of Raynaud's phenomenon. *Journal of Dermatological Science*, 45(2), 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.jdermsci.2006.11.006>
- Formenti, D., Ludwig, N., Gargano, M., Gondola, M., Dellerma, N., Caumo, A., & Alberti, G. (2013). Thermal imaging of exercise-associated skin temperature changes in trained and untrained female subjects. *Annals of Biomedical Engineering*, 41(4), 863–871. <https://doi.org/10.1007/s10439-012-0718-x>
- Formenti, D., Ludwig, N., Rossi, A., Trecroci, A., Alberti, G., Gargano, M., Merla, A., Ammer, K., & Caumo, A. (2017). Skin temperature evaluation by infrared thermography: Comparison of two image analysis methods during the nonsteady state induced by physical exercise.

- Infrared Physics and Technology*, 81, 32–40.
<https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.12.009>
- Fournet, D., Ross, L., Voelcker, T., Redortier, B., & Havenith, G. (2013). Body mapping of thermoregulatory and perceptual responses of males and females running in the cold. *Journal of Thermal Biology*, 38(6), 339–344.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2013.04.005>
- Frascarolo, P., Schutz, Y., & Jequier, E. (1990). Decreased thermal conductance during the luteal phase of the menstrual cycle in women. *Journal of Applied Physiology*, 69(6), 2029–2033. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.69.6.2029>
- Frize, M., Adéa, C., Payeur, P., Di Primio, G., Karsh, J., & Ogungbemi, A. (2011). Detection of rheumatoid arthritis using infrared imaging. *Medical Imaging 2011: Image Processing*, 7962, 79620M. <https://doi.org/10.1117/12.874552>
- Gabriel, E. J., Vardasca, P. R., & Ammer, P. K. (2012). *Austrian Society of Thermology and European Association of Thermology Indexed in Embase/Excerpta Medica*. 22(3), 2012.
- Gagnon, D., & Kenny, G. P. (2012). Does sex have an independent effect on thermoeffector responses during exercise in the heat? In *Journal of Physiology* (Vol. 590, Issue 23, pp. 5963–5973). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.240739>
- Gardner-Medwin, J. M., Macdonald, I. A., Taylor, J. Y., Riley, P. H., & Powell, R. J. (2001). Seasonal differences in finger skin temperature and microvascular blood flow in healthy men and women are exaggerated in women with primary Raynaud's phenomenon. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 52(1), 17–23. <https://doi.org/10.1046/j.0306-5251.2001.01405.x>
- Gatt, A., Formosa, C., Cassar, K., Camilleri, K. P., De Raffaele, C., Mizzi, A., Azzopardi, C., Mizzi, S., Falzon, O., Cristina, S., & Chockalingam, N. (2015). Thermographic patterns of the upper and lower limbs: Baseline data. *International Journal of Vascular Medicine*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/831369>
- Gerhardsson, L., Balogh, I., Lambert, P. A., Hjortsberg, U., & Karlsson, J. E. (2005). Vascular and nerve damage in workers exposed to vibrating tools. The importance of objective measurements of exposure time. *Applied Ergonomics*, 36(1), 55–60.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.09.001>

- Gerrett, N., Ouzzahra, Y., Redortier, B., Voelcker, T., & Havenith, G. (2015). Female thermal sensitivity to hot and cold during rest and exercise. *Physiology and Behavior*, 152, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.08.032>
- Gershon-Cohen, J., Borden, A. G., & Hermel, M. B. (1969). Thermography of extremities after smoking. *The British Journal of Radiology*, 42(495), 189–191. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-42-495-189>
- Gershon-Cohen, J., Habennan, J. D., & Habennan, J. D. (1968). Thermography of Smoking. *Archives of Environmental Health*, 16(5), 637–641. <https://doi.org/10.1080/00039896.1968.10665120>
- Gijbels, F., Jacobs, R., Princen, K., Nackaerts, O., & Debruyne, F. (2006). Potential occupational health problems for dentists in Flanders, Belgium. *Clinical Oral Investigations*, 10(1), 8–16. <https://doi.org/10.1007/s00784-005-0003-6>
- Glickman-Weiss, E. L., Hearon, C. M., Nelson, A. G., & Kime, J. (1996). Relationship between thermoregulatory parameters and DEXA-estimated regional fat. *Wilderness and Environmental Medicine*, 7(1), 19–27. [https://doi.org/10.1580/1080-6032\(1996\)007\[0019:RBTPAD\]2.3.CO;2](https://doi.org/10.1580/1080-6032(1996)007[0019:RBTPAD]2.3.CO;2)
- Gold, J. E., Cherniack, M., & Buchholz, B. (2004). Infrared thermography for examination of skin temperature in the dorsal hand of office workers. *European Journal of Applied Physiology*, 93(1–2), 245–251. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1210-6>
- González-Alonso, J. (2012). Human thermoregulation and the cardiovascular system. *Experimental Physiology*, 97(3), 340–346. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2011.058701>
- GOODMAN, & P. (1987). Dynamic thermoregulation of back and upper extremity by computer-aided infrared imaging. *Thermography*, 2, 573–577. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10029002544>
- Grucza, R., Pekkarinen, H., Titov, E. K., Kononoff, A., & Hänninen, O. (1993). Influence of the menstrual cycle and oral contraceptives on thermoregulatory responses to exercise in young women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 67(3), 279–285. <https://doi.org/10.1007/BF00864229>
- Gulyaev, Y. V., Markov, A. G., Koreneva, L. G., & Zakharov, P. V. (1995). Dynamical Infrared Thermography in Humans. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 14(6),

- 766–771. <https://doi.org/10.1109/51.473272>
- Gupta, A., Ankola, A., & Hebhal, M. (2013). Optimizing human factors in dentistry. *Dental Research Journal*, 10(2), 254. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.113362>
- Hailes, W. S., Cuddy, J. S., Cochrane, K., & Ruby, B. C. (2016). Thermoregulation During Extended Exercise in the Heat: Comparisons of Fluid Volume and Temperature. *Wilderness and Environmental Medicine*, 27(3), 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2016.06.004>
- Hanna, E. G., & Tait, P. W. (2015). Limitations to thermoregulation and acclimatization challenge human adaptation to global warming. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(7), 8034–8074. <https://doi.org/10.3390/ijerph120708034>
- Harada, N., & Mahbub, M. H. (2008). Diagnosis of vascular injuries caused by hand-transmitted vibration. In *International Archives of Occupational and Environmental Health* (Vol. 81, Issue 5, pp. 507–518). <https://doi.org/10.1007/s00420-007-0246-4>
- Harada, Noriaki. (2002). Cold-stress tests involving finger skin temperature measurement for evaluation of vascular disorders in hand-arm vibration syndrome: Review of the literature. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 75(1–2), 14–19. <https://doi.org/10.1007/s004200100273>
- Harada, Noriaki, Iwamoto, M., Laskar, M. S., Hirosawa, I., Nakamoto, M., Shirono, S., & Wakui, T. (1998). Effects of room temperature, seasonal condition and food intake on finger skin temperature during cold exposure test for diagnosing hand-arm vibration syndrome. *Industrial Health*, 36(2), 166–170. <https://doi.org/10.2486/indhealth.36.166>
- Harding, E. C., Franks, N. P., & Wisden, W. (2019). The temperature dependence of sleep. In *Frontiers in Neuroscience* (Vol. 13, Issue APR). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00336>
- Hardy, J. D., & Du Bois, E. F. (1940). Differences between Men and Women in Their Response to Heat and Cold. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 26(6), 389–398. <https://doi.org/10.1073/pnas.26.6.389>
- Hashiguchi, N., Feng, Y., & Tochihara, Y. (2010). Gender differences in thermal comfort and mental performance at different vertical air temperatures. *European Journal of Applied Physiology*, 109(1), 41–48. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1158-7>

- Havenith, G., Luttikholt, V. G. M., & Vrijkotte, T. G. M. (1995). The relative influence of body characteristics on humid heat stress response. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(3), 270–279. <https://doi.org/10.1007/BF00238575>
- Havenith, George. (2001). Human surface to mass ratio and body core temperature in exercise heat stress - A concept revisited. *Journal of Thermal Biology*, 26(4–5), 387–393. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(01\)00049-3](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(01)00049-3)
- Havenith, George, Coenen, J. M. L., Kistemaker, L., & Kenney, W. L. (1998). Relevance of individual characteristics for human heat stress response is dependent on exercise intensity and climate type. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77(3), 231–241. <https://doi.org/10.1007/s004210050327>
- Havenith, George, & Lloyd, A. B. (2020). Counterpoint to “Infrared cameras overestimate skin temperature during rewarming from cold exposure”. *Journal of Thermal Biology*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102663>
- Havenith, George, & van Middendorp, H. (1990). The relative influence of physical fitness, acclimatization state, anthropometric measures and gender on individual reactions to heat stress. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 61(5–6), 419–427. <https://doi.org/10.1007/BF00236062>
- Henahan, J. (1982). Thermography finds multitude of applications. *JAMA : The Journal of the American Medical Association*, 247(24), 3296, 3301–3303. <https://doi.org/10.1001/jama.247.24.3296>
- Heslop, J., Coggon, D., & Acheson, E. D. (1983). The prevalence of intermittent digital ischaemia (Raynaud’s phenomenon) in a general practice. *Journal of the Royal College of General Practitioners*, 33(247), 85–89.
- Hildebrandt, C., Raschner, C., & Ammer, K. (2010). An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. *Sensors*, 10(5), 4700–4715. <https://doi.org/10.3390/s100504700>
- Hirt, B., Harun, S., Wagner, M., & Zumhasch, R. (2016). *Hand and Wrist Anatomy and Biomechanics: A Comprehensive Guide - Bernhard Hirt, Harun Seyhan, Michael Wagner - Google Libros*. https://books.google.es/books?id=3H5FDQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=anatomy+of+the+hand&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=anatomy+of+the+hand&f=false

- Høiland, I. I., de Weerd, L., & Mercer, J. B. (2014). The effect of oral uptake of nicotine in snus on peripheral skin blood circulation evaluated by thermography. *Temperature*, 1(3), 220–226. <https://doi.org/10.4161/23328940.2014.984553>
- Hoppenfeld, S., DeBoer, P., & Buckley, R. (2010). *Vías de abordaje en cirugía ortopédica : un enfoque anatómico*. <http://854898.ststephens-olds.net/descargar/854898/Vias%2Bde%2Babordaje%2Bde%2Bcirugia%2Bortopedica%252Eun%2Benfoque%2Banatomico.pdf>
- Horikoshi, M., Inokuma, S., Kijima, Y., Kobuna, M., Miura, Y., Okada, R., & Kobayashi, S. (2016). Thermal disparity between fingers after cold-water immersion of hands: A useful indicator of disturbed peripheral circulation in Raynaud phenomenon patients. *Internal Medicine*, 55(5), 461–466. <https://doi.org/10.2169/internalmedicine.55.5218>
- Ichinose-Kuwahara, T., Inoue, Y., Iseki, Y., Hara, S., Ogura, Y., & Kondo, N. (2010). Sex differences in the effects of physical training on sweat gland responses during a graded exercise. *Experimental Physiology*, 95(10), 1026–1032. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2010.053710>
- IJZERMAN, R. G., SERNE, E. H., WEISSENBRUCH, M. M. van, JONGH, R. T. de, & STEHOUWER, C. D. A. (2003). Cigarette smoking is associated with an acute impairment of microvascular function in humans. *Clinical Science*, 104(3), 247–252. <https://doi.org/10.1042/cs1040247>
- International Academy of Clinical Thermology - IACT. (2012). *Thermography Guidelines. Standards and protocols*. Thermography Guidelines. <http://www.iact-org.org/professionals/thermog-guidelines.html>
- Ivanitsky, G. R., Khizhnyak, E. P., Deev, A. A., & Khizhnyak, L. N. (2006). Thermal imaging in medicine: A comparative study of infrared systems operating in wavelength ranges of 3-5 and 8-12 μm as applied to diagnosis. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 407(1), 59–63. <https://doi.org/10.1134/S1607672906020049>
- Jacobsen, N., Aasenden, R., & Hensten-Pettersen, A. (1991). Occupational health complaints and adverse patient reactions as perceived by personnel in public dentistry. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 19(3), 155–159. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0528.1991.tb00132.x>
- Jesenšek Papež, B., Palfy, M., Mertik, M., & Turk, Z. (2009). Infrared thermography based on

- artificial intelligence as a screening method for carpal tunnel syndrome diagnosis. *Journal of International Medical Research*, 37(3), 779–790. <https://doi.org/10.1177/147323000903700321>
- Jimenez-Perez, I., Gil-Calvo, M., Priego-Quesada, J. I., Aparicio, I., Pérez-Soriano, P., & Ortiz de Anda, R. M. C. (2020). Effect of prefabricated thermoformable foot orthoses on plantar surface temperature after running: A gender comparison. *Journal of Thermal Biology*, 91, 102612. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102612>
- Jones, B. F. (1998). A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 17(6), 1019–1027. <https://doi.org/10.1109/42.746635>
- Jones, C., Ring, E., Plassmann, P., Ammer, K., & Wiecek, B. (2005). Standardization of infrared imaging: a reference... *Thermology International*. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Standardization+of+infrared+imaging%3A+a+reference+atlas+for+clinical+thermography-initial+results%2C&btnG=
- Jones, D., Covins, S. F., Miller, G. E., Morrison, K. I., Clark, A. G., Calcott, S. D., Anderson, A. M., Lucas, S. J. E., & Imray, C. H. E. (2018a). Infrared thermographic analysis of surface temperature of the hands during exposure to normobaric hypoxia. *High Altitude Medicine and Biology*, 19(4), 388–393. <https://doi.org/10.1089/ham.2018.0008>
- Jones, D., Covins, S. F., Miller, G. E., Morrison, K. I., Clark, A. G., Calcott, S. D., Anderson, A. M., Lucas, S. J. E., & Imray, C. H. E. (2018b). Infrared thermographic analysis of surface temperature of the hands during exposure to normobaric hypoxia. *High Altitude Medicine and Biology*, 19(4), 388–393. <https://doi.org/10.1089/ham.2018.0008>
- Jones, L. A., & Lederman, S. J. (2007). Human Hand Function. In *Human Hand Function*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195173154.001.0001>
- Joven, B. E., & Carreira, P. E. (2008). Síndrome de raynaud: Etiología y manejo. In *Reumatologia Clinica* (Vol. 4, Issue 2, pp. 59–66). [https://doi.org/10.1016/S1699-258X\(08\)71801-1](https://doi.org/10.1016/S1699-258X(08)71801-1)
- Kacmaz, S., Ercelebi, E., Zengin, S., & Cindoruk, S. (2017). The use of infrared thermal imaging in the diagnosis of deep vein thrombosis. *Infrared Physics and Technology*, 86, 120–129. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2017.09.005>
- Kaji, H., Honma, H., Usui, M., Yasuno, Y., & Saito, K. (1993). Hypothenar hammer syndrome in workers occupationally exposed to vibrating tools. *Journal of Hand Surgery (British and*

- European Volume*), 18(6), 761–766. [https://doi.org/10.1016/0266-7681\(93\)90240-G](https://doi.org/10.1016/0266-7681(93)90240-G)
- Katz, C. A. (1986). Stress factors operating in the dental office work environment. *Dental Clinics of North America*, 30(4 Suppl), S29-36. <https://europepmc.org/article/med/3465638>
- Kelly, G. S. (2007). Body temperature variability (part 2): Masking influences of body temperature variability and a review of body temperature variability in disease. In *Alternative Medicine Review* (Vol. 12, Issue 1, pp. 49–62). <http://web.b.ebscohost.com/abstract?site=ehost&scope=site&jrnl=10895159&AN=25205473&h=rLW08tLGylfY%2BMt51Fk%2Bq7vjDNC97wkrXlwsPA0nnw9r1YESvuweycsFyo0ZjUed0zRUtb5Oq6EeelIZCDr%2Bkw%3D%3D&crl=c&resultLocal=ErrCrlNoResults&resultNs=Ehost&crlhashurl=login.aspx>
- Kenney, W. L., & Hodgson, J. L. (1987). Heat Tolerance, Thermoregulation and Ageing. *Sports Medicine: An International Journal of Applied Medicine and Science in Sport and Exercise*, 4(6), 446–456. <https://doi.org/10.2165/00007256-198704060-00004/METRICS>
- Kenney, W. L., & Johnson, J. M. (1992). Control of skin blood flow during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(3), 303–312. <https://doi.org/10.1249/00005768-199203000-00005>
- Kenny, G. P., & Jay, O. (2013). Thermometry, calorimetry, and mean body temperature during heat stress. *Comprehensive Physiology*, 3(4), 1689–1719. <https://doi.org/10.1002/cphy.c130011>
- Kerosuo, E., Kerosuo, H., & Kanerva, L. (2000). Self-reported health complaints among general dental practitioners, orthodontists, and office employees. *Acta Odontologica Scandinavica*, 58(5), 207–212. <https://doi.org/10.1080/000163500750051755>
- Khan, S. A., & Yee Chew, K. (2013). Effect of working characteristics and taught ergonomics on the prevalence of musculoskeletal disorders amongst dental students. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 14. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-14-118>
- Khandoker, A. H., Al-Angari, H. M., Marzbanrad, F., & Kimura, Y. (2017). Investigating fetal myocardial function in heart anomalies by Doppler myocardial performance indices. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS*, 2197–2200. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2017.8037290>
- Khandoker, A. H., Marzbanrad, F., Kimura, Y., Nuaimi, S. Al, & Palaniswami, M. (2016).

- Assessing the development of fetal myocardial function by a novel Doppler myocardial performance index. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS, 2016-Octob*, 3753–3756. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2016.7591544>
- Khosrawi, S., Kelishadi, A., Sajadieh, S., Badrian, H., & Haghighat, A. (2012). Prevalence of clinical findings of carpal tunnel syndrome in Isfahanian dentists. *Advanced Biomedical Research*, 1(1), 13. <https://doi.org/10.4103/2277-9175.96069>
- Krapels, K., & Driggers, R. G. (2018). Infrared imaging. In *Encyclopedia of Modern Optics* (Vols 1–5, pp. 229–240). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809283-5.00709-6>
- Kulich, K. R., Rydén, O., & Bengtsson, H. (1998). A descriptive study of how dentists view their profession and the doctor-patient relationship. *Acta Odontologica Scandinavica*, 56(4), 206–209. <https://doi.org/10.1080/00016359850142808>
- Lahiri, B. B., Bagavathiappan, S., Jayakumar, T., & Philip, J. (2012). Medical applications of infrared thermography: A review. In *Infrared Physics and Technology* (Vol. 55, Issue 4, pp. 221–235). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2012.03.007>
- Laskar, S., & Harada, N. (2005). Different conditions of cold water immersion test for diagnosing hand-arm vibration syndrome. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 10(6), 351–359. <https://doi.org/10.1007/bf02898196>
- Leggat, P. A., Kedjarune, U., & Smith, D. R. (2007). Occupational health problems in modern dentistry: A review. *Industrial Health*, 45(5), 611–621. <https://doi.org/10.2486/indhealth.45.611>
- Leggat, P. A., & Smith, D. R. (2006). Musculoskeletal disorders self-reported by dentists in Queensland, Australia. *Australian Dental Journal*, 51(4), 324–327. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2006.tb00451.x>
- Lenasi, H., & Strucl, M. (2004). Effect of regular physical training on cutaneous microvascular reactivity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 606–612. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121948.86377.51>
- Lim, C. L. (2020). Fundamental concepts of human thermoregulation and adaptation to heat: A review in the context of global warming. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 1–33. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217795>

- Lim, M. J., Kwon, S. R., Jung, K. H., Joo, K., Park, S. G., & Park, W. (2014). Digital thermography of the fingers and toes in Raynaud's phenomenon. *Journal of Korean Medical Science*, 29(4), 502–506. <https://doi.org/10.3346/jkms.2014.29.4.502>
- Lindberg, L., Kristensen, B., Eldrup, E., Thomsen, J. F., & Jensen, L. T. (2021). Infrared thermography as a method of verification in raynaud's phenomenon. *Diagnostics*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/diagnostics11060981>
- Little, J. M., & Ferguson, D. A. (1972). The Incidence of the Hypothenar Hammer Syndrome. *Archives of Surgery*, 105(5), 684–685. <https://doi.org/10.1001/archsurg.1972.04180110009004>
- Llusá, M., Meri, A., & Ruano, D. (2003). (2003). *Manual y atlas fotográfico del aparato locomotor* (A. Meri & D. Ruano Gil (eds.)) [Book]. Médica Panamericana.
- Locker, D., Burman, D., & Otchere, D. (1989). Work-related stress and its predictors among Canadian dental assistants. *Community Dentistry and Oral Epidemiology*, 17(5), 263–266. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0528.1989.tb00630.x>
- Lönnroth, E. C. (1998). Hand dermatitis and symptoms from the fingers among Swedish Dental personnel. *Swedish Dental Journal*, 22(1–2), 23–32. <https://europepmc.org/article/med/9646390>
- Lowe, G. L., Sutherland, M. A., Waas, J. R., Schaefer, A. L., Cox, N. R., & Stewart, M. (2019). Physiological and behavioral responses as indicators for early disease detection in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 102(6), 5389–5402. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15701>
- Ludwig, N., Trecroci, A., Gargano, M., Formenti, D., Bosio, A., Rampinini, E., & Alberti, G. (2016). Thermography for skin temperature evaluation during dynamic exercise: a case study on an incremental maximal test in elite male cyclists. *Applied Optics*, 55(34), D126. <https://doi.org/10.1364/ao.55.00d126>
- Lund, H., Gröndahl, K., & Gröndahl, H.-G. G. (2012). Cone beam computed tomography evaluations of marginal alveolar bone before and after orthodontic treatment combined with premolar extractions. *European Journal of Oral Sciences*, 120(3), 201–211. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2012.00964.x>
- Lyrén, P. E., & Atroshi, I. (2012). Using item response theory improved responsiveness of

- patient-reported outcomes measures in carpal tunnel syndrome. *Journal of Clinical Epidemiology*, 65(3), 325–334. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2011.08.009>
- Madden, C. J., & Morrison, S. F. (2019). Central nervous system circuits that control body temperature. In *Neuroscience Letters* (Vol. 696, pp. 225–232). Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2018.11.027>
- Mahbub, M. H., & Harada, N. (2011). Review of different quantification methods for the diagnosis of digital vascular abnormalities in hand-arm vibration syndrome. In *Journal of Occupational Health* (Vol. 53, Issue 4, pp. 241–249). <https://doi.org/10.1539/joh.10-0030-RA>
- Mahbub, M. H., Ishitake, T., Kurozawa, Y., Toibana, N., Ide, F., Ohnari, H., Tanigawa, K., Takahashi, Y., & Harada, N. (2011). Diagnostic performance of cold provocation test with hands immersion in water at 10°C for 5 min evaluated in vibration-induced white finger patients and matched controls. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 84(7), 805–811. <https://doi.org/10.1007/s00420-011-0612-0>
- Mannara, G., Salvatori, G. C., & Pizzuti, G. P. (1993). Ethyl alcohol induced skin temperature changes evaluated by thermography. Preliminary results. *Bollettino Della Società Italiana Di Biologia Sperimentale*, 69(10), 587–594. <https://europepmc.org/article/med/8198799>
- Marins, J. C. B., Formenti, D., Costa, C. M. A., De Andrade Fernandes, A., & Sillero-Quintana, M. (2015). Circadian and gender differences in skin temperature in militaries by thermography. *Infrared Physics and Technology*, 71, 322–328. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.05.008>
- Marins, J. C. B., Moreira, D. G., Cano, S. P., Quintana, M. S., Soares, D. D., De Andrade Fernandes, A., Da Silva, F. S., Costa, C. M. A., & Dos Santos Amorim, P. R. (2014). Time required to stabilize thermographic images at rest. *Infrared Physics and Technology*, 65, 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2014.02.008>
- Martí, M. R., Pérez, M., Burgaya, A., Calvet, P., & Gondolbeu, A. (2015). Anatomía aplicada a la cirugía de los tendones flexores. *Revista Iberoamericana de Cirugía de La Mano*, 43(02), 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.ricma.2015.08.001>
- Mason, H. J. (2003). A critique of a UK standardized test of finger rewarming after cold provocation in the diagnosis and staging of hand-arm vibration syndrome. *Occupational Medicine*, 53(5), 325–330. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqg096>

- McGeoch, K. L., & Gilmour, W. H. (2000). Cross sectional study of a workforce exposed to hand-arm vibration: With objective tests and the Stockholm workshop scales. *Occupational and Environmental Medicine*, 57(1), 35–42. <https://doi.org/10.1136/oem.57.1.35>
- Mercer, J., Mercer, J. B., Francis, E., & Ring, J. (n.d.). *Fever screening and infrared thermal imaging: Concerns and guidelines Military epidemiology View project Development of a special digital camera for the thermal and visual assessment of the diabetic foot View project Fever screening and infrared thermal i*. Retrieved 17 September 2020, from <https://www.researchgate.net/publication/259066625>
- Merla, A., Iodice, P., Tangherlini, A., De Michele, G., Di Romualdo, S., Saggini, R., & Romani, G. L. (2005). Monitoring skin temperature in trained and untrained subjects throughout thermal video. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology - Proceedings*, 7 VOLS, 1684–1686. <https://doi.org/10.1109/iembs.2005.1616767>
- Merla, Arcangelo, Di Donato, L., Farina, G., Pisarri, S., Proietti, M., Salsano, F., & Romani, G. L. (2001). Study of Raynaud's phenomenon by means of infrared functional imaging. *Annual Reports of the Research Reactor Institute, Kyoto University*, 3, 2856–2859. <https://doi.org/10.1109/iembs.2001.1017382>
- Ming, Z., Zaproudina, N., Siivola, J., Nousiainen, U., & Pietikainen, S. (2005). Sympathetic pathology evidenced by hand thermal anomalies in carpal tunnel syndrome. *Pathophysiology*, 12(2), 137–141. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2005.05.002>
- Moreira, D. G., Costello, J. T., Brito, C. J., Adamczyk, J. G., Ammer, K., Bach, A. J. E., Costa, C. M. A., Eglin, C., Fernandes, A. A., Fernández-Cuevas, I., Ferreira, J. J. A., Formenti, D., Fournet, D., Havenith, G., Howell, K., Jung, A., Kenny, G. P., Kolosovas-Machuca, E. S., Maley, M. J., ... Sillero-Quintana, M. (2017). Thermographic imaging in sports and exercise medicine: A Delphi study and consensus statement on the measurement of human skin temperature. *Journal of Thermal Biology*, 69(5189), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.07.006>
- Nadel, E. R., Bullard, R. W., & Stolwijk, J. A. (1971). Importance of skin temperature in the regulation of sweating. *Journal of Applied Physiology*, 31(1), 80–87. <https://doi.org/10.1152/jappl.1971.31.1.80>
- Neves, E. B. (2017a). The effect of body fat percentage and body fat distribution on skin

- surface temperature with infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*, 66, 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.03.006>
- Neves, E. B. (2017b). The effect of body fat percentage and body fat distribution on skin surface temperature with infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*, 66, 1–9.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.03.006>
- Neves, E. B., Bandeira, F., Ulbricht, L., Vilaça-Alves, J., & Reis, V. M. (2015). Influence of muscle cross-sectional area in skin temperature. *BIOIMAGING 2015 - 2nd International Conference on Bioimaging, Proceedings; Part of 8th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies, BIOSTEC 2015*, 64–68.
<https://doi.org/10.5220/0005181500640068>
- Neves, E. B., Salamunes, A. C. C., de Oliveira, R. M., & Stadnik, A. M. W. (2017a). Effect of body fat and gender on body temperature distribution. *Journal of Thermal Biology*, 70, 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.10.017>
- Neves, E. B., Salamunes, A. C. C., de Oliveira, R. M., & Stadnik, A. M. W. (2017b). Effect of body fat and gender on body temperature distribution. *Journal of Thermal Biology*, 70, 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.10.017>
- Niehof, S. P., Huygen, F. J. P. M., van der Weerd, R. W. P., Westra, M., & Zijlstra, F. J. (2006). Thermography imaging during static and controlled thermoregulation in complex regional pain syndrome type 1: Diagnostic value and involvement of the central sympathetic system. *BioMedical Engineering Online*, 5. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-5-30>
- Palmer, K. T., Haward, B., Griffin, M. J., Bendall, H., & Coggon, D. (2000). Validity of self reported occupational exposures to hand transmitted and whole body vibration. *Occupational and Environmental Medicine*, 57(4), 237–241.
<https://doi.org/10.1136/oem.57.4.237>
- Park, K. S., Kim, J. W., Jo, J. Y., Hwang, D. S., Lee, C. H., Jang, J. B., Lee, K. S., Yeo, I., & Lee, J. M. (2013). Effect of Korean red ginseng on cold hypersensitivity in the hands and feet: Study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 14(1), 438.
<https://doi.org/10.1186/1745-6215-14-438>
- Parsons, K. (2007). Human Thermal Environments. In *Human Thermal Environments*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420025248>

- Pauling, J. D. D., Flower, V., Shipley, J. A. A., Harris, N. D. D., & McHugh, N. J. J. (2011). Influence of the cold challenge on the discriminatory capacity of the digital distal–dorsal difference in the thermographic assessment of Raynaud’s phenomenon. *Microvascular Research*, 82(3), 364–368. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2011.03.007>
- Pauling, J. D., Flower, V., Shipley, J. A., Harris, N. D., & McHugh, N. J. (2011). Influence of the cold challenge on the discriminatory capacity of the digital distal-dorsal difference in the thermographic assessment of Raynaud’s phenomenon. *Microvascular Research*, 82(3), 364–368. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2011.03.007>
- Pauling, John D., Shipley, J. A., Harris, N. D., & McHugh, N. J. (2012). Use of infrared thermography as an endpoint in therapeutic trials of Raynaud’s phenomenon and systemic sclerosis. In *Clinical and Experimental Rheumatology* (Vol. 30, Issue SUPPL.71).
- Pelmear, P. L., Roos, J., Leong, D., & Wong, L. (1987). Cold provocation test results from a 1985 survey of hard-rock miners in Ontario. *Scand J Work Environ Health*, 13, 343–347. <https://about.jstor.org/terms>
- Petersen, B., Philipsen, P. A., & Wulf, H. C. (2014). Skin temperature during sunbathing—relevance for skin cancer. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 13(8), 1123–1125. <https://doi.org/10.1039/c4pp00066h>
- Petrofsky, J. S., Lohman, E., Hye, J. S., Garcia, J., Anders, A., Sutterfield, C., & Khandge, C. (2006). The effect of aging on conductive heat exchange in the skin at two environmental temperatures. *Medical Science Monitor*, 12(10), CR400–CR408. <https://www.medscimonit.com/abstract/index/idArt/459192>
- Poole, K., Elms, J., & Mason, H. (2006). Cold-provocation testing for the vascular component of hand-arm vibration syndrome in health surveillance. *Industrial Health*, 44(4), 577–583. <https://doi.org/10.2486/indhealth.44.577>
- Poole, K., & Mason, H. (2009). Disability in the Upper Extremity and Quality of Life in hand-arm vibration syndrome. <https://doi.org/10.1080/09638280500164610>, 27(22), 1373–1380. <https://doi.org/10.1080/09638280500164610>
- Priego Quesada, J. I., Lucas-Cuevas, A. G., Gil-Calvo, M., Giménez, J. V., Aparicio, I., Cibrián Ortiz de Anda, R. M., Salvador Palmer, R., Llana-Belloch, S., & Pérez-Soriano, P. (2015). Effects of graduated compression stockings on skin temperature after running. *Journal of Thermal Biology*, 52, 130–136. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2015.06.005>

- Priego Quesada, Jose I., Carpes, F. P., Bini, R. R., Salvador Palmer, R., Pérez-Soriano, P., & Cibrián Ortiz de Anda, R. M. (2015). Relationship between skin temperature and muscle activation during incremental cycle exercise. *Journal of Thermal Biology*, 48, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.12.005>
- Priego Quesada, Jose Ignacio. (2017). *Application of infrared Thermography in sports science*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47410-6>
- Priego Quesada, Jose Ignacio, Kunzler, M. R., & Carpes, F. P. (2017). *Methodological Aspects of Infrared Thermography in Human Assessment* (pp. 49–79). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47410-6_3
- Priego Quesada, Jose Ignacio, Lucas-Cuevas, A. G., Salvador Palmer, R., Pérez-Soriano, P., & Cibrián Ortiz De Anda, R. M. (2016). Definition of the thermographic regions of interest in cycling by using a factor analysis. *Infrared Physics and Technology*, 75, 180–186. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.01.014>
- Priego Quesada, Jose Ignacio, Martínez Guillamón, N., De Anda, R. M. C. O., Psikuta, A., Annaheim, S., Rossi, R. M., Corberán Salvador, J. M., Pérez-Soriano, P., & Salvador Palmer, R. (2015). Effect of perspiration on skin temperature measurements by infrared thermography and contact thermometry during aerobic cycling. *Infrared Physics and Technology*, 72, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.07.008>
- Purup, M. M., Knudsen, K., Karlsson, P., Terkelsen, A. J., & Borghammer, P. (2020). Skin Temperature in Parkinson's Disease Measured by Infrared Thermography. *Parkinson's Disease*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/2349469>
- Putley, E. H. (1984). The Development of Thermal Imaging Systems. In *Recent Advances in Medical Thermology* (pp. 151–166). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7697-2_21
- Recent Advances in Medical Thermology. (1984). In *Recent Advances in Medical Thermology*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7697-2>
- Reinberg, A. (1975). Circadian changes in the temperature of human beings. In *Bibliotheca radiologica* (Issue 6, pp. 128–139). <https://europepmc.org/article/med/1101884>
- Reinberg, A. E., Touitou, Y., Soudant, É., Bernard, D., Bazin, R., & Mechkouri, M. (1996). Oral contraceptives alter circadian rhythm parameters of cortisol, melatonin, blood pressure,

- heart rate, skin blood flow, transepidermal water loss, and skin amino acids of healthy young women. *Chronobiology International*, 13(3), 199–211. <https://doi.org/10.3109/07420529609012653>
- Ricardo Vardasca, J. G. M. (2017). Innovative Research in Thermal Imaging for Biology and Medicine. *Researchgate.Net*, i, 167. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2072-6>
- Ring, E. F. (1975). Thermography and rheumatic diseases. In *Bibliotheca radiologica* (Issue 6, pp. 97–106). <https://europepmc.org/article/med/170907>
- Ring, E. F. J., & Ammer, K. (2012). Infrared thermal imaging in medicine. In *Physiological Measurement* (Vol. 33, Issue 3, p. R33). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/3/R33>
- Ring, E. F. J., & Ammer, K. (2015a). The technique of infrared imaging in medicine. *Infrared Imaging: A Casebook in Clinical Medicine*, 7–14. <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-1143-4ch1>
- Ring, E. F. J., & Ammer, K. (2015b). The technique of infrared imaging in medicine. In *Infrared Imaging: A Casebook in Clinical Medicine* (pp. 1–4). <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-1143-4ch1>
- Ring, E. F. J., Engel, J. M., & Page Thomas, D. P. (1984). Thermologic methods in clinical pharmacology - Skin temperature measurement in drug trials. *International Journal of Clinical Pharmacology Therapy and Toxicology*, 22(1), 20–24. <https://europepmc.org/article/med/6698656>
- Ring, F. J., Ammer, K., Wiecek, B., Plassmann, P., Jones, C. D., Jung, A., & Murawski, P. (2005). Technical challenges for the construction of a medical image database. *Detectors and Associated Signal Processing II*, 5964, 59640N. <https://doi.org/10.1117/12.627785>
- Rodríguez Medina, D., Domínguez Trejo, B., Cortés Esteban, P., Cruz Albarrán, I., Morales Hernández, L., & Leija Alva, G. (2018). Biopsychosocial Assessment of Pain with Thermal Imaging of Emotional Facial Expression in Breast Cancer Survivors. *Medicines*, 5(2), 30. <https://doi.org/10.3390/medicines5020030>
- Ruijs, A. C. J. J., Jaquet, J.-B. B., Brandsma, M., Daanen, H. A. M. M., & Hovius, S. E. R. R. (2008). Application of infrared thermography for the analysis of rewarming in patients with cold intolerance. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand*

- Surgery*, 42(4), 206–210. <https://doi.org/10.1080/02844310802033943>
- Rutter, H., Herzberg, J., & Paice, E. (2002). Stress in doctors and dentists who teach. *Medical Education*, 36(6), 543–549. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2002.01229.x>
- Ryu, J. H., Paik, I. Y., Woo, J. H., Shin, K. O., Cho, S. Y., & Roh, H. T. (2016). Impact of different running distances on muscle and lymphocyte DNA damage in amateur marathon runners. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(2), 450–455. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.450>
- Salazar, F. I. A. (2018). *Estudio de la ley de Fourier de conducción de calor en materiales viscoelásticos* [El autor]. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/442>
- Salisbury, R. S., Parr, G., de Silva, M., Hazleman, B. L., & Page-Thomas, D. P. (1983). Heat distribution over normal and abnormal joints: Thermal pattern and quantification. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 42(5), 494–499. <https://doi.org/10.1136/ard.42.5.494>
- Sanchez-Marin, F. J., Calixto-Carrera, S., Villaseñor-Mora, C., & Villaseñor-Mora, C. (2009). Novel approach to assess the emissivity of the human skin. *Journal of Biomedical Optics*, 14(2), 024006. <https://doi.org/10.1117/1.3086612>
- Savastano, D. M., Gorbach, A. M., Eden, H. S., Brady, S. M., Reynolds, J. C., & Yanovski, J. A. (2009). Adiposity and human regional body temperature. *American Journal of Clinical Nutrition*, 90(5), 1124–1131. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27567>
- Saxena, V. P. (1983). Temperature distribution in human skin and subdermal tissues. *Journal of Theoretical Biology*, 102(2), 277–286. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(83\)90365-X](https://doi.org/10.1016/0022-5193(83)90365-X)
- Schlager, O., Gschwandtner, M. E., Herberg, K., Frohner, T., Schillinger, M., Koppensteiner, R., & Mlekusch, W. (2010). Correlation of infrared thermography and skin perfusion in Raynaud patients and in healthy controls. *Microvascular Research*, 80(1), 54–57. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2010.01.010>
- Schuhfried, O., Vacariu, G., Lang, T., Korpan, M., Kiener, H. P., & Fialka-Moser, V. (2000). Thermographic parameters in the diagnosis of secondary Raynaud's phenomenon. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(4), 495–499. <https://doi.org/10.1053/mr.2000.4870>
- Schutt, N. L., & Bernstein, D. A. (1986). Relaxation skills for the patient, dentist, and auxiliaries. *Dental Clinics of North America*, 30(4 Suppl), S93-105. <https://europepmc.org/article/med/3536628>

- Schwartz, R. G. (2006). Guidelines For Neuromusculoskeletal Thermography Practice Guidelines Committee of the American Academy of Thermology. *The American Academy of Thermology*, 5–9.
- Seixas, A., Soares, M., Vardasca, R., Gabriel, J., & Rodrigues, S. (2016). Using thermal imaging to monitor the treatment of latent myofascial trigger points in the upper trapezius. *Proceedings of the 2016 International Conference on Quantitative InfraRed Thermography*. <https://doi.org/10.21611/qirt.2016.118>
- Shapiro, Y., Pandolf, K. B., Avellini, B. A., Pimental, N. A., & Goldman, R. F. (1980). Physiological responses of men and women to humid and dry heat. *Journal of Applied Physiology Respiratory Environmental and Exercise Physiology*, 49(1), 1–8. <https://doi.org/10.1152/jappl.1980.49.1.1>
- Shibkov, A. A., Lebyodkin, M. A., Lebedkina, T. A., Gasanov, M. F., Zolotov, A. E., & Denisov, A. A. (2020). Millisecond dynamics of deformation bands during discontinuous creep in an AlMg polycrystal. *Physical Review E*, 102(4). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.102.043003>
- Shirzaei, M., Mirzaei, R., Khaje-Alizade, A., & Mohammadi, M. (2015). Evaluation of ergonomic factors and postures that cause muscle pains in dentistry students' bodies. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 7(3), e414–e418. <https://doi.org/10.4317/jced.51909>
- Shrestha, B. P., Singh, G. K., & Niraula, S. R. (2008). Work related complaints among dentists. *Journal of the Nepal Medical Association*, 47(170), 77–81. <https://doi.org/10.31729/jnma.317>
- Shuran, & Melanie. (n.d.). *Dissertation - Direct quantitation of heat loss in human subjects using infrared thermography.pdf*.
- Silverstein, B. A., Fine, L. J., & Armstrong, T. J. (1987). Occupational factors and carpal tunnel syndrome. *American Journal of Industrial Medicine*, 11(3), 343–358. <https://doi.org/10.1002/ajim.4700110310>
- Simmons, G. H., Wong, B. J., Holowatz, L. A., & Kenney, W. L. (2011). Changes in the control of skin blood flow with exercise training: Where do cutaneous vascular adaptations fit in? In *Experimental Physiology* (Vol. 96, Issue 9, pp. 822–828). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2010.056176>

- Smolander, J., Härmä, M., Lindqvist, A., Kolari, P., & Laitinen, L. A. (1993). Circadian variation in peripheral blood flow in relation to core temperature at rest. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 67(2), 192–196. <https://doi.org/10.1007/BF00376666>
- Sousa, E., Vardasca, R., Mendes, J., & Costa-Ferreira, A. (2018). Towards the automatic detection of hand fingertips and phalanges in thermal images. *Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics*, 27, 1053–1062. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68195-5_117
- Sousa, E., Vardasca, R., Teixeira, S., Seixas, A., Mendes, J., & Costa-Ferreira, A. (2017). A review on the application of medical infrared thermal imaging in hands. In *Infrared Physics and Technology* (Vol. 85, pp. 315–323). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2017.07.020>
- Stankovic, S. J., Jankovic, S. M., Borjanovic, S. S., Tenjovic, L. R., Popevic, M. B., & Barjaktarovic, M. C. (2011). Rewarming curves and derived parameters in the diagnosis of hand-arm vibration. *Medicina Del Lavoro*, 102(5), 445–454.
- Stefańczyk, L., Woźniakowski, B., Pietrzak, P., Majos, A., & Grzelak, P. (2007). Comparison of thermography and Doppler sonography in the evaluation of the cold immersion test in women with excessive vasospastic reaction. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 13 Suppl 1(Suppl 1), 121–128. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17507897>
- Sternbersky, J., Tichy, M., & Zapletalova, J. (2021). Infrared thermography and capillaroscopy in the diagnosis of raynaud's phenomenon. *Biomedical Papers*, 165(1), 90–98. <https://doi.org/10.5507/bp.2020.031>
- Su, A. T., Darus, A., Bulgiba, A., Maeda, S., & Miyashita, K. (2012). The clinical features of hand-arm vibration syndrome in a warm Environment-A review of the literature. In *Journal of Occupational Health* (Vol. 54, Issue 5, pp. 349–360). Japan Society for Occupational Health. <https://doi.org/10.1539/joh.12-0089-RA>
- Sund-Levander, M., Forsberg, C., & Wahren, L. K. (2002). Normal oral, rectal, tympanic and axillary body temperature in adult men and women: A systematic literature review. *Scandinavian Journal of Caring Sciences*, 16(2), 122–128. <https://doi.org/10.1046/j.1471-6712.2002.00069.x>

- Takahashi, S., Iwamoto, M., Yoshimura, M., Laskar, M. S., Shirono, S., Fujimura, T., & Harada, N. (2003). Factors influencing autonomic nervous function during cold-water immersion test in patients with hand-arm vibration syndrome. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 76(3), 249–252. <https://doi.org/10.1007/s00420-002-0409-2>
- Tansey, E. A., & Johnson, C. D. (2015). Recent advances in thermoregulation. *Advances in Physiology Education*, 39(1), 139–148. <https://doi.org/10.1152/advan.00126.2014>
- Taylor, N. A. S., Tipton, M. J., & Kenny, G. P. (2014). Considerations for the measurement of core, skin and mean body temperatures. In *Journal of Thermal Biology* (Vol. 46, pp. 72–101). <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2014.10.006>
- Tiago, L. M. de P., Dos Santos, D. F., Antunes, D. E., Tiago, L. M. P., & Goulart, I. M. B. (2021). Assessment of neuropathic pain in leprosy patients with relapse or treatment failure by infrared thermography: A cross-sectional study. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 15(9), e0009794. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009794>
- Tkáčová, M., Hudak, R., Foffová, P., & Živčák, J. (2010a). An importance of camera-subject distance and angle in musculoskeletal application of medical thermography. *Acta Electrotechnica et Informatica*, 10(2), 57–60. <https://www.researchgate.net/publication/266346218>
- Tkáčová, M., Hudak, R., Foffová, P., & Živčák, J. (2010b). An importance of camera-subject distance and angle in musculoskeletal application of medical thermography. *Acta Electrotechnica et Informatica*, 10(2), 57–60. <https://www.researchgate.net/publication/266346218>
- Togawa, T., & Saito, H. (1994). Non-contact imaging of thermal properties of the skin. *Physiological Measurement*, 15(3), 291–298. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/15/3/007>
- Tseng, C. H., Liao, C. C., Kuo, C. M., Sung, F. C., Hsieh, D. P. H., & Tsai, C. H. (2012). Medical and non-medical correlates of carpal tunnel syndrome in a Taiwan cohort of one million. *European Journal of Neurology*, 19(1), 91–97. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2011.03440.x>
- Uematsu, S. (1985a). Symmetry of skin temperature comparing one side of the body to the other. *Thermology*, 1(1), 4–7. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10026733414>

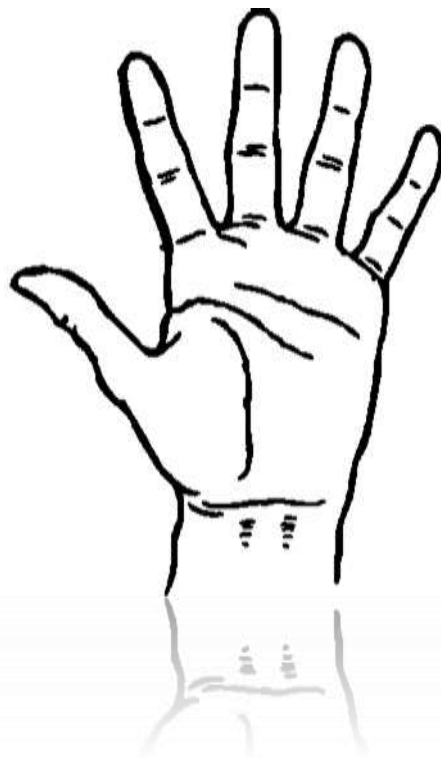
- Uematsu, S. (1985b). Symmetry of skin temperature comparing one side of the body to the other. *Thermology*, 1(1), 4–7. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2009.01.005>
- Van Ooijen, A. M. J., Van Marken Lichtenbelt, W. D., & Westerterp, K. R. (2001). Individual differences in body temperature and the relation to energy expenditure: The influence of mild cold. *Journal of Thermal Biology*, 26(4–5), 455–459. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(01\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(01)00060-2)
- Vangveeravong, M., Sirikul, J., & Daengsuwan, T. (2011). Latex allergy in dental students: a cross-sectional study. *Journal of the Medical Association of Thailand = Chotmaihet Thangphaet*, 94 Suppl 3, S1-8. <https://europepmc.org/article/med/22043747>
- Vardasca, R. A. (2008). Template based alignment and interpolation... *The Research Office*, 21–24. https://scholar.google.com/scholar?cluster=4788686107248691140&hl=es&as_sdt=2005&sciodt=0,5
- Vardasca, R. A. R. (2010). *The effect of work related mechanical stress on the peripheral temperature of the hand*. <http://dspace1.isd.glam.ac.uk/dspace/handle/10265/452>
- Vardasca, R, Gabriel, J., Jones, C. D., Plassmann, P., & Ring, E. F. J. (2014). A Template Based Method for Normalizing Thermal Images of the Human Body. *QIRT2014 Conférence, July*, 1–6. <https://doi.org/10.21611/qirt.2014.089>
- Vardasca, Ricardo, Restivo, M. T., & Mendes, J. (2018). Skin Temperature Bilateral Differences at Upper Limbs and Joints in Healthy Subjects. In *Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics* (Vol. 27, pp. 1005–1010). https://doi.org/10.1007/978-3-319-68195-5_110
- Vardasca, Ricardo, Ring, E. F. J., Plassmann, P., Jones, C. D., & Gabriel, J. (2012). Using clinical thermography as diagnostic complementary procedure for Hand Arm Vibration Syndrome. *Thermology International*, 22(3), 67–75. <http://www.uhlen.at/thermology-international/data/pdf/TI223A.pdf#page=68>
- Vardasca, Ricardo, Ring, F., Plassmann, P., & Jones, C. (2012). Thermal symmetry of the upper and lower extremities in healthy subjects. *Thermology International*, 22(2), 53–60.
- Vardasca, Ricardo, & Simoes, R. (2013). Current issues in medical thermography. *Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics*, 8, 223–237. <https://doi.org/10.1007/978-94->

007-0726-9_12

- Vardasca, Ricardo, Vaz, L., & Mendes, J. (2018). Classification and decision making of medical infrared thermal images. In *Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics* (Vol. 26, pp. 79–104). https://doi.org/10.1007/978-3-319-65981-7_4
- Vollmer, M., & Möllmann, K.-P. (2017a). Infrared Thermal Imaging. In *Infrared thermal imaging: Fundamentals, research and applications*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/9783527693306>
- Vollmer, M., & Möllmann, K. P. (2017b). Infrared thermal imaging: Fundamentals, research and applications. In *Infrared thermal imaging: Fundamentals, research and applications*. <https://doi.org/10.1002/9783527693306>
- Wahl, U., Kaden, I., Köhler, A., & Hirsch, T. (2019). Vascular trauma of the hand – a systematic review. In *Vasa - European Journal of Vascular Medicine* (Vol. 48, Issue 3, pp. 205–215). Hogrefe AG. <https://doi.org/10.1024/0301-1526/a000743>
- Wardle, S. (2017). Sex differences in thermoregulation: Implications for physical performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20, S16. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.09.040>
- Wasoski, R. L. (1995). Stress, professional burnout and dentistry. In *Journal - Oklahoma Dental Association* (Vol. 86, Issue 2, pp. 28–30). <https://europepmc.org/article/med/9526243>
- Waterhouse, J., Drust, B., Weinert, D., Edwards, B., Gregson, W., Atkinson, G., Kao, S., Aizawa, S., & Reilly, T. (2005). The circadian rhythm of core temperature: Origin and some implications for exercise performance. In *Chronobiology International* (Vol. 22, Issue 2, pp. 207–225). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1081/CBI-200053477>
- Wells, A., & Winter, P. (1999). Influence of practice and personal characteristics on dental job satisfaction. *Journal of Dental Education*, 63(11), 805–812. <https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.1999.63.11.tb03316.x>
- Wigley, F. M. (2002). Clinical practice. Raynaud's Phenomenon. *The New England Journal of Medicine*, 347(13), 1001–1008. <https://doi.org/10.1056/NEJMcp013013>
- Yang, W.-J. (1983). Human Body Temperature: Its Measurement and Regulation. *The Quarterly Review of Biology*, 58(3), 474–474. <https://doi.org/10.1086/413516>

- Zaproudina, N., Varmavuo, V., Airaksinen, O., & Närhi, M. (2008). Reproducibility of infrared thermography measurements in healthy individuals. *Physiological Measurement*, 29(4), 515–524. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/29/4/007>
- Ziegler, S., Zöch, C., Gschwandtner, M., Eckhardt, G., Windberger, U., Minar, E., Rüdiger, H., & Osterode, W. (2005). Thermoregulation and rheological properties of blood in primary Raynaud's phenomenon and the vibration-induced white-finger syndrome. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 78(3), 218–222. <https://doi.org/10.1007/s00420-004-0601-7>
- Zontak, A., Sideman, S., Verbitsky, O., & Beyar, R. (1998). Dynamic thermography: Analysis of hand temperature during exercise. *Annals of Biomedical Engineering*, 26(6), 988–993. <https://doi.org/10.1114/1.33>

ANEXOS



ANEXO 1:

Comité de ética



D. José María Montiel Company, Profesor Contratado Doctor del departamento de Estomatología, y Secretario del Comité Ético de Investigación en Humanos de la Comisión de Ética en Investigación Experimental de la Universitat de València,

CERTIFICA:

Que el Comité Ético de Investigación en Humanos, en la reunión celebrada el día 4 de octubre de 2018, una vez estudiado el proyecto de tesis doctoral titulado:

"Estudio prospectivo del estrés térmico y mecánico que se produce en las manos de los odontólogos mediante estudio termográfico", número de procedimiento H1516879420483,

cuya responsable es Dña. María Domingo Clérigues, dirigida por D. Carlos Bellot Arcis, ha acordado informar favorablemente el mismo dado que se respetan los principios fundamentales establecidos en la Declaración de Helsinki, en el Convenio del Consejo de Europa relativo a los derechos humanos y cumple los requisitos establecidos en la legislación española en el ámbito de la investigación biomédica, la protección de datos de carácter personal y la bioética.

Y para que conste, se firma el presente certificado en Valencia, a cinco de octubre de dos mil dieciocho.



ANEXO 2:

Documento informativo previo a la toma de registros.



INFORMACION DE INTERES PREVIO A LA TOMA DE REGISTROS

Estudio prospectivo del estrés térmico y mecánico que se produce en las manos de los Odontólogos mediante estudio termográfico

La termografía es una modalidad de imagen médica para estudiar la temperatura de la piel en tiempo real, proporcionando información fisiológica de las estructuras subyacentes. Uno de los lugares del cuerpo más accesibles a ser investigados con este método de imagen son las manos, estas pueden reflejar información valiosa sobre la correcta vascularización de una persona. La termografía es una imagen térmica a partir del registro de la radiación infrarroja emitida por los cuerpos. Como la temperatura periférica del cuerpo humano depende de la transferencia de calor del tejido y del flujo de sangre, la termografía como método para medir valores de temperatura es un método muy fiable para estudiar desordenes neurológicos y musculoesqueléticos, que cursan con cambios en la generación y transporte del calor del cuerpo hasta la piel.

Los objetivos de nuestro estudio son:

1. Establecer el grado de asimetría térmica entre la mano que se usa para trabajar y la mano de apoyo.
2. Estudiar si existen diferencias de temperatura significativas entre los casos (odontólogos) y los controles.
3. Estudiar si se produce una diferencia de temperatura significativa en las manos de los odontólogos con más experiencia versus odontólogos jóvenes.

Se tomarán un video de ambas manos. Primero se realizarán 30 segundos de grabación basal e inmediatamente después se sumergirán las manos en una cuba de agua con hielo a 10°C de temperatura durante 10 segundos y posteriormente se tomará un video de los 3 minutos posteriores a la inmersión de las manos en el hielo. Después se estudiará el estrés mecánico en las manos después de un mínimo de 4 horas trabajando, se tomarán registros basales y se volverán a sumergir las manos en una cuba de agua con hielo durante 10 segundos y durante los 3 minutos siguientes.

Para que la toma de registros sea satisfactoria, os informamos de una serie de consideraciones importantes que debéis tener en cuenta previamente:

1. Durante las 24 horas previas a la toma de registros no deberá haberse sometido a rayos UVA o exposición prolonga al sol.
2. No deberá hacer ejercicio previo a la toma de registros.
3. 4 horas antes de la toma de registros no deberá fumar ni beber alcohol o bebidas estimulantes.
4. No deberá comer de manera abundante el día de la toma de registros.
5. No deberá tomar medicamentos antipiréticos o suplementos de la dieta en las 8 horas previas a la toma de registros.
6. No deberá usar crema en las manos.

Gracias por su colaboración.

ANEXO 3:

Cuestionario médico para los pacientes.



Estudio prospectivo del estrés térmico y mecánico que se produce en las manos de los Odontólogos mediante estudio termográfico

Objetivo: Realizar un estudio del estrés térmico y mecánico de las manos en Odontólogos mediante estudio termográfico.

Nombre _____ Apellidos _____

Fecha de Nacimiento _____ Profesión _____

Años de experiencia _____

Teléfono de contacto _____ Email _____

Peso _____ Altura _____

Universidad _____ Departamento _____

☐ Alumno de Master _____ Año de master _____

☐ Profesor _____

ANAMENSIS

Por favor, rellene este cuestionario médico marcando con una "X" y en caso afirmativo por favor especifique.

1. Enfermedades

Especifique desde cuando

	SI	NO	
Diabetes	SI	NO	
Hipertensión	SI	NO	
Asma	SI	NO	
Hipotiroidismo	SI	NO	
Hipertiroidismo	SI	NO	
Lupus	SI	NO	
Cardiopatías	SI	NO	
Colesterol	SI	NO	
Epilepsia	SI	NO	
Anemia	SI	NO	
Esclerosis	SI	NO	
Alergia	SI	NO	
Enfermedades renales	SI	NO	
Enfermedades del corazón	SI	NO	
Enfermedades psiquiátricas	SI	NO	
Transfusión	SI	NO	
Artritis	SI	NO	
Artrosis	SI	NO	
Cáncer	SI	NO	

-Radioterapia	SI	NO	
-Quimioterapia	SI	NO	
Psoriasis	SI	NO	
Epilepsia	SI	NO	
Trasplante	SI	NO	
Lesión muscular, ósea o tendinosa en los últimos 6 meses	SI	NO	

2. Cuestionario

- Toma medicación de forma habitual, por favor indique cual _____

- Si es mujer, por favor indique la fecha de la última regla _____ (se ha comprobado que en determinados días del ciclo menstrual la temperatura corporal varia)

- Mano dominante, zurdo o diestro? _____

- ¿Realiza ejercicio físico de manera habitual? _____ ¿cuantos días a la semana? _____

¿Cuántas horas? _____ ¿Qué deporte? _____

- Toma anticonceptivos orales _____ Indique cual _____

- Fuma _____ N cigarrillos/día _____

- ¿Ha fumado en las 4 últimas horas? _____

- Bebe alcohol _____ ¿ha bebido alcohol en las 4 últimas horas? _____

- ¿Ha tenido fiebre en la última semana? _____

- ¿Ha tomado antipiréticos/diuréticos hoy? _____ Especifique cual _____

- ¿Ha tomado café, redbull u otra bebida estimulante en las últimas 4 horas? _____

- ¿Hace cuántas horas realizó la última comida? _____ ¿fue abundante o pesada? _____

- ¿Toma algún suplemento para la dieta? _____ Especifique cual _____

- ¿Se ha expuesto a rayos UVA durante las últimas 24 horas? _____

- ¿Ha usado crema en las manos hoy? _____

- ¿Ha realizado ejercicio físico en el día de hoy? _____ ¿hace cuánto? _____

¿Qué tipo de ejercicio? _____

ANEXO 4:

Consentimiento informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO DEL PACIENTE PARA LA UTILIZACIÓN DE DATOS CLÍNICOS

1. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

Se solicita su autorización para utilizar los datos clínicos y de la evolución del tratamiento del estrés térmico y mecánico realizado en las manos y que se hallan recogidos en su historia clínica, para el trabajo de investigación: *Estudio prospectivo del estrés térmico y mecánico que se produce en las manos de los Odontólogos mediante estudio termográfico*, cuya finalidad es evaluar el estrés térmico y mecánico de las manos en Odontólogos mediante estudio termográfico.

2. OBJETIVO

Los resultados de éste proyecto de investigación pueden contribuir a la mejora en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades profesionales. Los datos de su historia clínica serán custodiados en los términos previstos en la Ley 14/2007, de 3 de julio, y en el Real Decreto 1716/2011, de 18 de noviembre.

3. BENEFICIOS ESPERADOS

No percibirá ninguna compensación económica o de otro tipo por participar en ésta investigación. Sin embargo, si las investigaciones que se pudieran realizar tuvieran éxito, podrían ayudar en el futuro a pacientes que tienen la misma enfermedad o padecen otras enfermedades similares. La información no será vendida o distribuida a terceros con fines comerciales.

4. CONSECUENCIAS PREVISIBLES DE SU NO PARTICIPACIÓN Y DERECHO DE REVOCACIÓN DEL CONSENTIMIENTO

La participación en este proyecto de investigación es voluntaria y puede cancelarse en cualquier momento. Si rechaza participar, no habrá consecuencias negativas para usted. Si se retira del proyecto, puede decidir si los datos utilizados hasta ese momento, deben borrarse o si se pueden seguir utilizando tras haberlos convertido en anónimos (p. ej., eliminando los datos de la información identificativa, incluido el código, para que resulte imposible volver a identificarlos).

Pueden solicitar a los investigadores que les proporcionen los datos almacenados en el registro y que corrijan los errores en ellos en cualquier momento.

5. PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES Y CONFIDENCIALIDAD

Sus datos personales y de salud serán incorporados a un Fichero de datos para su tratamiento, de acuerdo con lo estipulado en la Ley Orgánica 15/1999 de Protección de datos de Carácter Personal, de 13 de diciembre (LOPD). El titular de los datos personales podrá ejercitar los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición al tratamiento de datos de carácter personal, y de revocación del consentimiento, en los términos previstos en la normativa aplicable.

7. INFORMACIÓN DE CONTACTO

Si tienen alguna pregunta sobre este proyecto de investigación, puede consultar en cualquier momento al Investigador: Maria Domingo Clérigues

Si deciden participar en este proyecto, rellenen y firmen el formulario de consentimiento que aparece a continuación.

CONSENTIMIENTO INFORMADO DEL PACIENTE PARA LA UTILIZACIÓN DE DATOS CLÍNICOS

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO

EJEMPLAR PARA EL PACIENTE

9. DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO

D./Dña de años de edad, con domicilio en DNI

D./Dña de años de edad, con domicilio en DNI en calidad de representante (en caso de minoría legal o incapacidad) de con DNI

DECLARO

- Que he leído la hoja de información que se me ha entregado.
- Que he comprendido las explicaciones que se me han facilitado.
- Que he podido realizar observaciones y me han sido aclaradas las dudas que he planteado.
- Que puedo revocar el consentimiento en cualquier momento sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.
- Que de forma libre y voluntaria cedo los datos que se hallan recogidos en mi historia clínica para el estudio que se me ha propuesto.
- Que puedo incluir restricciones sobre el uso de las mismas.

CONSIENTO

Que se utilicen los datos que se hallan recopilados en mi historia clínica para el mencionado estudio.

Que el investigador pueda acceder a mis datos en la medida en que sea necesario y manteniendo siempre su confidencialidad.

Que el personal del centro me contacte en el futuro en caso de que se estime oportuno añadir nuevos datos a los recogidos y/o tomar nuevas muestras. ☐ Sí ☐ No

☐ Deseo incluir la siguiente restricción al uso de mis datos:

Fdo.: D./Dña

En a de de 20

Si el sujeto del estudio es un adolescente capaz intelectual y emocionalmente de entre 12 y 16 años debe de ser oída su opinión y autorizar su participación en el estudio firmando también este consentimiento. Cuando se trate de menores no incapaces ni incapacitados, pero emancipados o con 16 años cumplidos, no cabe prestar el consentimiento por representación y será el propio sujeto del estudio quien firmará el consentimiento (Ley 41/2002).

Declaración Investigador:

He informado debidamente al donante

Fdo.: DNI

En a de de 20

REVOCACIÓN

Fdo.: D./Dña

Revoco el consentimiento cedido para la utilización de mis datos para el estudio propuesto

En a de de 20

CONSENTIMIENTO INFORMADO DEL PACIENTE PARA LA UTILIZACIÓN DE DATOS CLÍNICOS

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO

EJEMPLAR PARA EL CENTRO

D./Dña de años de edad, con domicilio en DNI.....

D./Dña de años de edad, con domicilio en DNI..... en calidad de representante (en caso de minoría legal o incapacidad) de

con DNI.....

DECLARO

- Que he leído la hoja de información que se me ha entregado.
- Que he comprendido las explicaciones que se me han facilitado.
- Que he podido realizar observaciones y me han sido aclaradas las dudas que he planteado.
- Que puedo revocar el consentimiento en cualquier momento sin tener que dar explicaciones y sin que esto repercuta en mis cuidados médicos.
- Que de forma libre y voluntaria cedo los datos que se hallan recogidos en mi historia clínica para el estudio que se me ha propuesto
- Que puedo incluir restricciones sobre el uso de las mismas.

CONSIENTO

Que se utilicen los datos que se hallan recopilados en mi historia clínica para el mencionado estudio.

Que el investigador pueda acceder a mis datos en la medida en que sea necesario y manteniendo siempre su confidencialidad.

Que el personal del centro me contacte en el futuro en caso de que se estime oportuno añadir nuevos datos a los recogidos y/o tomar nuevas muestras. ☐ Sí ☐ No

☐ Deseo incluir la siguiente restricción al uso de mis datos:

.....

Fdo.: D./Dña

En a de de 20.....

Si el sujeto del estudio es un adolescente capaz intelectual y emocionalmente de entre 12 y 16 años debe de ser oída su opinión y autorizar su participación en el estudio firmando también este consentimiento. Cuando se trate de menores no incapaces ni incapacitados, pero emancipados o con 16 años cumplidos, no cabe prestar el consentimiento por representación y será el propio sujeto del estudio quien firmará el consentimiento (Ley 41/2002).

Declaración del investigador:

He informado debidamente al donante

Fdo.: DNI.....

En a de de 20...

REVOCACIÓN

Fdo.: D./Dña

Revoco el consentimiento cedido para la utilización de mis datos para el estudio propuesto

En a de de 20.....