



**universidad
de león**

TESIS DOCTORAL

**EFFECTO DEL METABOLISMO Y DE LA
COMPOSICIÓN CORPORAL SOBRE LA
EMISIÓN TERMOGRÁFICA DE LA PIEL EN
HOMBRES SANOS**

Fernando Omar Barraza Gómez

Programa de Doctorado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Tutor: Dr. Ildefonso Alvear Ordenes

Dirigida por: Dr. Ildefonso Alvear Ordenes y Dra. María José Cuevas González

León, 2023

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que han estado presentes a lo largo de estos años.

A mi familia, pilar fundamental de vida.

A mi madre, por sus cuidados y abnegación.

A mi esposa Paola por su amor, apoyo constante y tranquilidad.

A mi niño y niñas, por acompañarme en todo.

A mi amigo Iván Canto, por ayudarme a mí y a mi familia en los momentos complejos.

A mis suegros, que siempre están ahí para apoyarnos.

Al Dr. Marcelo Tuesta, por su ayuda y amistad.

A mi tutor, director de tesis, Dr. Ildelfonso Alvear Órdenes, por su amistad, calidad profesional, apoyo constante y dedicación para la realización de este proyecto en su línea de investigación.

A mi codirectora, Dra. María José Cuevas, por su rigurosidad, sus recomendaciones y apoyo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xi
1. ANTECEDENTES	
1.1. Temperatura corporal	1
1.1.2. Termometría	3
1.1.2.1. Método termográfico	4
1.1.2.2. Condiciones de evaluación termográfica	5
1.1.2.3. Equipamiento	6
1.1.2.4. Termografía en las ciencias de la salud	6
1.2. Composición corporal	9
1.2.1. Antropometría	12
1.2.2. Métodos antropométricos	12
1.2.2.1. Índice de masa corporal (IMC) o índice de Quetelet	13
1.2.2.2. Sumatorio de pliegues	15
1.2.2.3. Índice cintura-cadera (ICC)	15
1.2.2.4. Índice cintura-estatura (ICE)	16
1.2.2.5. Perímetro de cintura (PC)	17
1.2.2.6. Método fraccionamiento en 5 masas corporales	18
1.3. Metabolismo energético	20
1.3.1. Calorimetría	21
1.3.1.1. Calorimetría directa	21
1.3.1.2. Calorimetría indirecta	22
1.3.2. Gasto energético	23
1.3.2.1. Gasto energético en reposo (GER)	24
1.3.2.2. Fórmulas predictivas gasto energético en reposo (GER)	25
2. OBJETIVOS	
2.1. Objetivo general	27
2.2. Objetivos específicos	27
3. METODOLOGÍA	

3.1. Diseño experimental.....	29
3.2. Muestra.....	29
3.3. Material y método.....	30
3.3.1. Procedimiento Antropométrico	31
3.3.2. Termografía por infrarrojo (TI)	35
3.3.3. Gasto energético en Reposo (GER).....	37
3.3.4. Modelo predictivo para gasto energético en reposo (GER).....	37
3.3.5. Preparación del laboratorio.....	38
3.3.5.1. Instrumentos para la evaluación antropométrica	39
3.3.5.2 Instrumento para la evaluación termográfica.....	40
3.3.5.3. Instrumentos para la evaluación del gasto energético en reposo (GER).....	41
3.3.5.4. Tratamiento estadístico	44
4. RESULTADOS	
4.1. Primer estudio.....	45
4.2. Segundo estudio.....	56
4.3. Tercer estudio	67
5. DISCUSIÓN	
5.1. Primer estudio.....	76
5.2. Segundo estudio.....	79
5.3. Tercer estudio	83
6. CONCLUSIONES	
6.1. Conclusión general	90
6.2. Conclusión primer estudio.....	90
6.3. Conclusión segundo estudio	90
6.4. Conclusión tercer estudio	91
7. BIBLIOGRAFÍA.....	92
8. ANEXOS.....	118

RESULTADOS DE LA TESIS DOCTORAL

Publicación 1:

Barraza Gómez, F., Alvear Ordenes, I., Yáñez Sepúlveda, R., & Hecht Chau, G. (2022). Asociación entre la Termografía por Infrarrojo y Parámetros Antropométricos de Riesgo Cardiometabólico en Hombres. *International Journal of Morphology*, 40(1), 51-56. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022022000100051> (Anexo 8).

Publicación 2:

Barraza Gómez, F., Alvear Ordenes., I, Hecht Chau, G., Henríquez, M., & Tuesta, M. (2021). Asociación entre la Termografía por Infrarrojo, Parámetros Antropométricos y Gasto Energético de Reposo en Hombres. *International Journal of Morphology*, 39(4), 1176-1182. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022021000401176> (Anexo 9).

Publicación 3:

Barraza Gómez, F., Hecht Chau, G., Báez San Martín, E., Toro Salinas, A., Henríquez, M., García Pelayo, S, Cuevas, María J. Alvear Ordenes, I. (2023) Relación entre la temperatura de superficie, la composición corporal e indicadores antropométricos de obesidad y sobrepeso. *International Journal of Morphology*, 41(6), 1829-1837. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022023000601824> (Anexo 10)

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

Σ-6p	Sumatorio de seis pliegues
CO₂	Dióxido de carbono
DEXA	<i>Dual energy x-ray absorptiometry</i> (absorciometría de rayos X de energía dual)
DLW	<i>Double checker water</i> (Agua doblemente marcada)
FIR	Far infrared (Infrarrojo lejano)
FRCV	Factores de Riesgo Cardiovascular
GER	Gasto energético en reposo
HDL	<i>High-density lipoprotein</i> (Lipoproteína de alta densidad)
ICC	Índice cintura cadera
ICE	Índice cintura estatura
IMC	Índice de masa corporal
LDL	<i>Low-density lipoproteins</i> (Lipoproteínas de baja densidad)
lm	Lumen
MA	Masa adiposa
MIR	<i>Mid infrared</i> (Región espectral de infrarrojo medio)
MLG	Masa libre de grasa
MM	Masa muscular
MÓ	Masa ósea
MP	Masa piel
MR	Masa residual
NIR	<i>Near infrared</i> (Región espectral de infrarrojo cercano)
O₂	Oxígeno
OMS	Organización Mundial de la Salud

PC	Perímetro de cintura
PDA	Pletismografía por desplazamiento de aire
RM	Resonancia magnética
R²	Coefficiente de determinación
r	Coefficiente de correlación
T^a	Temperatura
TAC	Tomografía axial computarizada
TI	Termografía infrarroja
VO₂	Consumo de oxígeno
VCO₂	Producción de dióxido de carbono
Z	Z de Phantom

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro electromagnético (Modificado de Sliney, 2016).....	4
Figura 2. Fórmulas para determinar masa fraccional 5 tejidos, superficie corporal y proporcionalidad Phantom, a partir de los datos de Kerr (1988).	34
Figura 3. Fórmulas para determinar tejidos totales, tejido óseo corporal total y Phantom óseo cuerpo, a partir de los datos de Kerr (1988).	34
Figura 4. Fórmulas para determinar tejido adiposo en kilogramos, predicción tejido muscular y tejido muscular en kilogramos, a partir de los datos de Kerr (1988).....	34
Figura 5. Fórmulas para determinar tejido residual, tejido piel, tejido óseo cabeza, a partir de los datos de Kerr (1988).	35
Figura 6. Fórmulas para determinar tejido óseo corporal total, predicción tejido adiposo, tejido residual en kilogramos, a partir de los datos de Kerr (1988).	35
Figura 7. Zonas de identificación pliegues cutáneos y sitios termográficos analizados (Barraza et al., 2021).	36
Figura 8. Zonas esquemáticas de identificación pliegues cutáneos y sitios termográficos (Barraza et al., 2022).....	36
Figura 9. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el sumatorio de 6 pliegues (mm).....	47
Figura 10. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con la MA (%).	47
Figura 11. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el ICE.	48
Figura 12. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el IMC.	48
Figura 13. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el ICC.	49
Figura 14. Correlación de la temperatura del pliegue supraespinal (°C) con el IMC (kg/m ²).	51
Figura 15. Correlación de la temperatura del pliegue abdominal (°C) con el IMC (kg/m ²).	52
Figura 16. Correlación del PC (cm) con la temperatura de 6 pliegues (°C).....	52
Figura 17. Correlación del PC (cm) con la temperatura del pliegue abdominal (°C).	52
Figura 18. Correlación del PC (cm) con la temperatura del pliegue supraespinal (°C).	53
Figura 19. Correlación del GER (Kcal/día/kg) con la temperatura de 6 pliegues (°C).....	53
Figura 20. Correlación del GER (Kcal/día/kg) con el IMC (kg/m ²).	54
Figura 21. Correlación del GER (Kcal/día/kg) con la MA (%).	54

Figura 22. Correlación del GER (Kcal/día/kg) con la MM (%).	55
Figura 23. Correlación del GER (Kcal/día/kg) con la MR (%).	55
Figura 24. Correlación de la temperatura del pliegue subescapular (°C) con el grosor del pliegue subescapular (mm).	59
Figura 25. Correlación de la temperatura del pliegue supraespinal (°C) y el grosor del pliegue supraespinal (mm).	59
Figura 26. Correlación de la temperatura del pliegue del muslo (°C) con el grosor del pliegue muslo (mm).	60
Figura 27. Correlación de la temperatura del pliegue de la pantorrilla (°C) con el grosor del pliegue pantorrilla (mm).	60
Figura 28. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el IMC (kg/m ²).	61
Figura 29. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el PC (cm).	61
Figura 30. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el ICE.	62
Figura 31. Correlación del sumatorio de 6 pliegues (mm) con el ICE.	62
Figura 32. Correlación de la temperatura del pliegue subescapular (°C) con el IMC (kg/m ²).	63
Figura 33. Correlación de la temperatura del pliegue subescapular (°C) con el PC (cm).	63
Figura 34. Correlación de la temperatura del pliegue supraespinal (°C) con el PC (cm).	64
Figura 35. Correlación de la temperatura del pliegue abdominal (°C) con el PC (cm).	64
Figura 36. Correlación de la temperatura del pliegue del muslo (°C) con el PC (cm).	65
Figura 37. Correlación de la temperatura del pliegue de la pantorrilla (°C) con el PC (cm).	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aplicaciones de la termografía en el ámbito militar, en el deporte y en la salud.....	7
Tabla 2. Variables antropométricas para la determinación de tejidos corporales en el método 5 componentes.	20
Tabla 3. Fórmulas predictivas del gasto energético en reposo (GER).....	26
Tabla 4. Variables antropométricas y GER del primer estudio.	45
Tabla 5. Datos del fraccionamiento en 5 masas corporales.	45
Tabla 7. GER promedio por día (Kcal/día) y por kg de peso (Kcal/día/kg).	46
Tabla 8. Correlación entre valores de pliegues cutáneos y temperatura superficial de cada uno de los pliegues.	49
Tabla 9. Correlaciones entre los valores promedio de T ^a medido a través de termografía por infrarrojo y los parámetros antropométricos evaluados.	50
Tabla 10. Características generales, fisiológicas, antropométricas y metabólicas de los sujetos que participaron en el segundo estudio.....	56
Tabla 11. Fraccionamiento de 5 masas corporales promedio en porcentaje.....	56
Tabla 12. Temperaturas promedio de las zonas de pliegues corporales.	57
Tabla 13. GER por día (Kcal/día) y por kilogramo de peso (Kcal/día/kg).	57
Tabla 14. Correlaciones, para cada punto anatómico, entre las medidas de grosor de los pliegues cutáneos y las medidas de temperatura en la superficie de la piel para cada pliegue.	58
Tabla 15. Correlaciones observadas entre la media de la temperatura superficial y los parámetros antropométricos estudiados.....	66
Tabla 16. Correlaciones entre el promedio de temperatura superficial, variables de fraccionamiento de masas y GER.	66
Tabla 17. Características generales de la muestra utilizada para el modelo predictivo, n = 64.	67
Tabla 18. Variables utilizadas para la ecuación predictiva del GER (Kcal/día).....	68
Tabla 19. Datos del GER promedio obtenidos mediante análisis de gases, del GER previsto con la fórmula original de Harris & Benedict y el GER que fue determinado con la fórmula predictiva desarrollada en esta investigación.....	70
Tabla 20. Diferencias entre GER (Kcal/día) estimado por análisis de gases vs. fórmulas predictivas y fórmula desarrollada en la investigación. 71	
Tabla 21. Diferencias entre modelos de distribución no normal.	72

Tabla 22. Correlación de Spearman entre GER (Kcal/día) respiración a respiración y la estimación del GER (Kcal/día) por medio de fórmulas.....	73
Tabla 23. Test T para muestras relacionadas. Diferencias de media entre el GER (Kcal/día) respiración a respiración y las fórmulas de predicción del GER (Kcal/día).....	74
Tabla 24. Valores promedio y desviación estándar de las estimaciones del GER (Kcal/día), utilizando análisis de gases, y las fórmulas predictivas (Kcal/día).	75

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 1.</i> Cinta métrica (Rosscraft®, USA).....	39
<i>Fotografía 2.</i> Antropómetro corto para mediciones antropométricas, modelo Gaucho (Rosscraft®, USA).....	40
<i>Fotografía 3.</i> Antropómetro largo para mediciones antropométricas, modelo Gaucho (Rosscraft®, USA).....	40
<i>Fotografía 4.</i> Cámara termográfica (FLIR System, Oregon, USA).....	41
<i>Fotografía 5.</i> Impresión de pantalla del software FLIR, tools+, utilizado para el análisis de imágenes termográficas.....	41
<i>Fotografía 6.</i> Equipo de gases Cortex Metamax® 3B, utilizado en el estudio.....	42
<i>Fotografía 7.</i> Equipo Cortex Metamax y software de evaluación.	42
<i>Fotografía 8.</i> Sujeto durante la evaluación con el equipo de gases Cortex Metamax.	43
<i>Fotografía 9.</i> Gas de calibración para el equipo Cortex Metamax.	43

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1.</i> Información del procedimiento	118
<i>Anexo 2.</i> Consentimiento Informado	120
<i>Anexo 3.</i> Proforma Antropométrica	121
<i>Anexo 4.</i> Informe software excel composición corporal.....	122
<i>Anexo 5.</i> Planilla de resultados GER	124
<i>Anexo 6.</i> Imágenes termográficas de zonas evaluadas.....	125
<i>Anexo 7.</i> Software de análisis termográfico	127
<i>Anexo 8.</i> Publicación 1 en revista International Journal of Morphology	128
<i>Anexo 9.</i> Publicación 2 en revista International Journal of Morphology	130
<i>Anexo 10.</i> Publicación 3 en revista International Journal of Morphology	132

RESUMEN

Introducción

El incremento de tejido corporal subcutáneo puede alterar la capacidad de la piel para liberación calor. Los parámetros antropométricos utilizados para estimar la composición corporal son variables normalmente utilizadas para identificar los factores de riesgo cardiovascular (FRCV). Por ello, el uso de la termografía por infrarrojo (TI) se transforma en una herramienta que entrega una información relevante cuando se evalúan los FRCV, así como el gasto energético en reposo (GER) y la composición corporal.

Objetivos

El objetivo general de este estudio buscó obtener las relaciones, en sujetos sanos normopeso, entre 18 y 50 años, de la emisión termográfica de la piel, de los factores de riesgo cardiovascular (FRCV), de la composición corporal y del gasto energético en reposo (GER).

Métodos

Para responder a este objetivo se realizaron dos estudios: a) en el primero, participaron 24 varones sanos (edad, $33,9 \pm 8,7$ años; masa corporal, $85,8 \pm 9,7$ kg; estatura, $172,5 \pm 6,1$ cm; e, índice de masa corporal (IMC), $28,9 \pm 3,4$ kg/m²); b) en el segundo estudio participaron 64 hombres sanos (edad, $26,4 \pm 7,8$ años; estatura, $171,3 \pm 7,2$ cm; masa corporal, $76,1 \pm 13,3$ kg; e, IMC, $25,9 \pm 3,7$ kg/m²). Se evaluó el GER, a través de calorimetría indirecta por análisis de gases, se realizaron evaluaciones con TI y evaluaciones antropométricas. A partir de los datos termográficos y de los pliegues obtenidos del segundo estudio, se realizó una estimación del GER, aplicando un modelo de regresión múltiple, que se desarrolló como un tercer estudio.

Resultados

Las temperaturas individuales (supraespinal, toracoabdominales y abdominal) y la temperatura media de los 6-pliegues mostraron correlaciones que fueron negativas con el IMC, con el perímetro de cintura, el índice de cintura cadera, el índice de cintura estatura, así como con la sumatoria de 6 pliegues; todos ellos mostraron una $p < 0,05$. Se encontraron correlaciones negativas entre el GER y el porcentaje de masa adiposa ($r = -0,59$, $p = 0,002$), así como con el IMC ($r = -0,53$, $p = 0,006$). El promedio de temperatura por TI medida en los 6 pliegues presentó una correlación positiva con el GER ($r = 0,44$; $p = 0,02$). Sin embargo, la temperatura promedio recogida por TI de los 6-pliegues, así como todas las temperaturas obtenidas por TI para cada uno de los pliegues, mostraron correlaciones negativas significativas con el índice cintura estatura, el índice cintura cadera, el perímetro de cintura, el IMC y la sumatoria de 6 pliegues cutáneos ($p < 0,05$; $r = -0,35$ a $-0,65$). Por otra parte, sujetos con $IMC \leq 24,9$ kg/m² mostraron valores más altos de temperatura superficial, en todas las zonas

estudiadas, presentando diferencias con los sujetos con niveles de IMC > 24,9 kg/m² y donde la disipación del calor corporal fue menor.

La regresión múltiple se utilizó para seleccionar un grupo de variables que permitió formular la siguiente ecuación de estimación del GER, en Kcal/día:

$$\text{Modelo Y} = -715,11 + (1,39 * \text{Peso Corporal}) + (65,36 * \text{D-Tórax-T}) + (106,34 * \text{D-femoral}) + (-62,64 * \text{Pl-Subescap-T}^a) + (-3,81 * \text{Pl-Supraespinal-T}^a) + (-53,84 * \text{Pl-Pantorrilla-T}^a) + (33,66 * \text{Pl-Tríceps-T}^a) + (31,12 * \text{Pl-Abdominal-T}^a) + (43,61 * \text{Pl-Muslo T}^a),$$

con un $R^2 = 0,68$ y un valor de $p < 0,001$.

Donde:

D-Tórax-T = Diámetro de tórax transverso, en cm.

D-Femoral = Diámetro femoral o biepicondilar, en cm.

Pl-Subescap-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue subescapular, en °C.

Pl-Supraespinal-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue supraespinal, en °C.

Pl-Pantorrilla-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue de la pantorrilla, en °C.

Pl-Tríceps-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue del tríceps, en °C.

Pl-Abdominal-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue abdominal, en °C.

Pl-Muslo-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue del muslo, en °C.

Conclusiones

Se observan modificaciones de los patrones termográficos, de la superficie de la piel, provocados por la composición corporal con los valores del GER y que no afectan a la media de la temperatura superficial total; por lo que estos valores podrían ser utilizados como variables de predicción. Se observa también que algunos parámetros de la composición corporal, que se asocian a los FRCV, muestran relación con los valores termográficos de la superficie de la piel. Sujetos con un IMC normal mostraron una disipación de calor y unos valores de temperatura superficial mayores para todas las zonas evaluadas, a diferencia de los sujetos con un IMC que se encontraban por encima del límite de normalidad. Lo identificado anteriormente hizo posible crear una fórmula predictiva en base a parámetros de composición corporal y valores termográficos. Por lo que, a partir de estos datos, nuevos estudios podrían ser propuestos.

Palabras clave: antropometría, índice de masa corporal, metabolismo, gasto energético en reposo, factores de riesgo cardiovascular, termometría.

ABSTRACT

Introduction

Increased subcutaneous body tissue can alter the skin's ability to release heat. Anthropometric parameters for estimating body composition are variables commonly used to identify cardiovascular risk factors (CVRFs). Therefore, infrared thermography (IRT) is becoming a tool that provides relevant information in the assessment of CVRFs, body composition, and resting energy expenditure (REE).

Objectives

The overall objective of this study was to determine the relationships between skin thermographic emission, cardiovascular risk factors (CVRF), body composition, and resting energy expenditure (REE) in healthy, normal-weight subjects between 18 and 50 years of age.

Methods

To respond to this objective, two studies were conducted: a) In the first study, a total of 24 healthy men (age 33.9 ± 8.7 years, 85.8 ± 9.7 kg body weight, 172.5 ± 6.1 cm height, and 28.9 ± 3.4 kg/m² of body mass index [BMI]) participated. B) The second study included 64 healthy men (age 26.4 ± 7.8 years, 171.3 ± 7.2 cm height, 76.1 ± 13.3 kg body mass, and 25.9 ± 3.7 kg/m² [BMI]). REE was assessed using indirect calorimetry by gas analysis, and IRT and anthropometric assessments were performed. REE was estimated from the thermographic and skinfold data obtained from the second study, which was developed as a third study by applying a multiple regression model.

Results

Individual temperatures (supraspinal, thoracoabdominal, and abdominal) and the mean temperature of the six skinfolds showed negative correlations with BMI, waist circumference, waist-hip ratio, waist-height ratio, and the sum of the six skinfolds, all at $p < 0.05$. Negative correlations were found between REE and adipose mass percentage ($r = -0.59$, $p = 0.002$), as well as with BMI ($r = -0.53$, $p = 0.006$). The average temperature with IRT measured in the six folds showed a positive correlation with REE ($r = 0.44$, $p = 0.02$). However, the average temperature of the six skinfolds obtained by IRT, as well as all temperatures obtained by IRT for each of the folds, showed significant negative correlations with waist-height ratio, waist-hip ratio, waist circumference, BMI, and the sum of the six skinfolds ($p < 0.05$; $r = -0.35$ to -0.65). On the other hand, subjects with BMI ≤ 24.9 kg/m² presented higher surface temperature values in all the areas studied, in contrast to subjects with BMI levels > 24.9 kg/m², where body heat dissipation was lower.

Multiple regression was used to select a set of variables that allowed us to formulate the following equation for REE estimation in Kcal/day:

Model $Y = -715.11 * + (1.39 * \text{Weight Corp}) + (65.36 * \text{D - Thorax T}) + (106.34 * \text{D - femoral}) + (-62.64 * \text{SKL - Subscap T}^\circ) + (-3.81 * \text{SKL - Supraspinal T}^\circ) + (-53.84 * \text{SKL - Calf T}^\circ) + (33.66 * \text{SKL - Triceps T}^\circ) + (31.12 * \text{SKL - Abdominal T}^\circ) + (43.61 * \text{SKL -Thigh T}^\circ)$, with $R^2 = 0.68$ and a value of $p < 0,001$.

Where:

D-Thorax-T = Transverse thoracic diameter, in cm.

D-Femoral = Femoral or biepicondylar diameter, in cm.

SKL-Subscap-T[°] = Temperature per IRT in the subscapular fold area, in °C.

SKL-Supraspinal-T[°] = Temperature per IRT in the supraspinal crease area, in °C.

SKL-Calf-T[°] = Temperature by IRT in the calf crease area, in °C.

SKL-Triceps-T[°] = Temperature by IRT in the triceps crease area, in °C.

SKL-Abdominal-T[°] = Temperature by IRT in the abdominal fold area, in °C.

SKL-Thigh-T[°] = Temperature by IRT in the thigh crease zone, in °C.

Conclusions

Modifications of skin surface thermographic patterns caused by body composition and REE values are observed; these do not affect the mean total surface temperature. Therefore, these values could be used as predictive values. It is observed as well that some body composition parameters, associated with CVRFs, show an association with skin surface thermographic values. Subjects with a normal BMI showed higher heat dissipation and surface temperature values for all areas assessed, in contrast to subjects with a BMI above the normal limit. The findings above made it possible to create a predictive formula based on body composition parameters and thermographic values. New studies can be conducted based on this data.

Keywords: Anthropometry, body mass index, metabolism, resting energy expenditure, cardiovascular risk factors, thermometry.

1. ANTECEDENTES

1.1. Temperatura corporal

La evaluación de la temperatura (T^a) corporal no es reciente, es un indicador fisiológico que lleva cuantificándose desde la antigüedad y ha sido considerado fundamental en el ámbito de la salud (Geijer et al., 2016; Jiang et al., 2005). Variaciones en la T^a corporal, superiores a los valores considerados de normalidad ($36,1^{\circ}\text{C} - 37,5^{\circ}\text{C}$), son indicios de patologías o de procesos infecciosos que pueden estar desarrollándose en el organismo (Kovats & Hajat, 2008; Matthies et al., 2008; Niven et al., 2015). A diferencia, las bruscas disminuciones de la T^a corporal en situaciones estresantes de frío, provocan problemas para mantener la homeostasia, induciendo cambios metabólicos, como protección ante la hipoxia, que pueden afectar el funcionamiento de órganos vitales (Kot & Botella, 2010).

Se estima que aproximadamente un 60% del gasto energético diario se utiliza para mantener los niveles adecuados de T^a corporal (Chudecka et al., 2014). La medición del calor corporal ha sido utilizada durante mucho tiempo para detectar síntomas de infección u otras patologías, ya que la elevación de la T^a del organismo por sobre los niveles de normalidad es un buen indicador de enfermedad (Kluger et al., 1998; Lahiri et al., 2012).

La T^a corporal, para su descripción, se ha subdividido en T^a central y T^a superficial. La T^a central normal de sujetos sanos corresponde al calor generado por las vísceras y órganos, que se debe mantener relativamente estable (36 a $37,5^{\circ}\text{C}$) en condiciones de buena salud. Esto es importante, ya que es la T^a central y no la superficial la que puede ser termorregulada (Geneva et al., 2019; Mah et al., 2021; Périard et al., 2015). Hay que considerar también que la T^a evaluada difiere dependiendo de la región anatómica utilizada para su determinación (Jenssen et al., 2016; Romanovsky et al., 2009); sus variaciones pueden caracterizar la zona anatómica analizada (tejido adiposo, muscular, etc.), su vascularización o su mayor actividad metabólica (tejidos anómalos en formación). Entre los sitios anatómicos frecuentemente utilizados en clínica para valorar la T^a se encuentran la cavidad bucal, el conducto auditivo externo, la zona axilar y la rectal (Jensen et al., 2000). Entre ellos, los valores de T^a más elevados se encuentran en la zona rectal, luego la cavidad bucal, canal auditivo externo y, por último, la zona axilar, con la menor T^a entre ellos (Geneva et al., 2019; Jensen et al., 2000; Niven et al., 2015; Sund-Levander et al., 2002).

La T^a superficial fluctúa producto de los efectos del ambiente y es un indicador relevante de los mecanismos termorreguladores (Priego Quesada et al., 2015). En condiciones termo neutrales, en salas con control de T^a constante a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y en sujetos sanos, se han observado algunos valores promedio que corresponden a zonas anatómicas, como en brazo $32,6 \pm 0,34^\circ\text{C}$, espalda superior $34,0 \pm 0,19^\circ\text{C}$, pecho $33,1 \pm 0,18^\circ\text{C}$, abdomen $33,7 \pm 0,19^\circ\text{C}$, muslo $29,4 - 30,2^\circ\text{C}$ y pierna $30,3 - 31,3^\circ\text{C}$ (Chudecka et al., 2014). Utilizando estos datos, se han realizado comparaciones con zonas contralaterales de extremidades y segmentos como tórax, abdomen o espalda, no encontrándose diferencias significativas en zonas anatómicas del lado contrario en sujetos sanos (Bouzas Marins et al., 2014). La vasoconstricción periférica y de los extremos más distales de las extremidades permite que el calor no se disipe de manera importante, manteniéndolo en las zonas más centrales y protegiendo a los órganos vitales de la pérdida de calor (Chicharro & Vaquero, 2006; Hall & Guyton, 2016).

La T^a corporal central esta mediada por diversos mecanismos integrados y asociados al sistema nervioso, que se retroalimentan de forma continua con la información de la T^a ambiente que envían los receptores desde diversas zonas corporales para dar estabilidad a la T^a central (Chicharro & Vaquero, 2006; Kanosue et al., 2010). En reposo, se estima que la sudoración regula un 20% de la T^a corporal, por evaporación (Hall & Guyton., 2016). Sin embargo, más del 60% del calor se emite como ondas electromagnéticas infrarrojas al ambiente, a través de la radiación. Finalmente, el contacto continuo de la superficie del cuerpo con el aire ambiental provoca una pérdida entre el 15 y 20% y la transferencia de calor a los elementos sólidos o líquidos aporta cerca de un 5% de la pérdida de calor, por conducción (Chicharro & Vaquero, 2006). Los circuitos nerviosos, en el que se integran receptores a distintos niveles, mantienen un proceso de retroalimentación constante al cerebro (Tan & Knight, 2018). Tanto los receptores periféricos en la piel y los receptores centrales térmicos, alojados en los órganos, son lo suficientemente sensibles como para determinar fluctuaciones de $0,5$ a 1°C (Matthies et al., 2008). Toda esta información es recibida por el hipotálamo, en el diencéfalo (Matthies et al., 2008; Robinson, 2004), en la que se pueden discriminar dos regiones funcionales: a) La zona anterior del hipotálamo, que regula los procesos de elevación de la T^a generando una mayor tasa de eliminación de agua, por medio de la activación de las glándulas sudoríparas (transpiración), con un aumento de la vasodilatación, disponibilidad de más sangre en las zonas subdérmicas y todo ello mediado por el sistema nervioso simpático

(Charkoudian, 2003); b) La zona posterior del hipotálamo, que regula las respuestas ante la disminución de la T^a y que genera reacciones reflejas para producir calor corporal por medio de movimientos involuntarios, como los escalofríos (Dall & Stanford, 1990). Todo un sistema termorregulador que se activa ante los cambios observados en los receptores de la piel y el encéfalo (McInnis et al., 2020). Estos cambios de la T^a corporal, así como sus variaciones pueden ser detectadas por el clásico termómetro de mercurio o sensores de T^a . Sin embargo, en la actualidad, es muy común observar la utilización de la termografía por infrarrojos para detectar, a distancia la T^a corporal superficial, identificando las respuestas a los flujos sanguíneos superficiales (Hildebrandt et al., 2010)

1.1.2. Termometría

El estudio de la medición de la T^a por medio de cámaras termográficas, en distintos objetos y en diversos ámbitos, se denomina termometría (Real academia española, 2023). En el caso de la termometría, que utiliza la captura de la radiación electromagnética, se le denomina termografía por infrarrojo (TI) (Melnizky et al., 1997). Existen distintos procedimientos para medir la T^a corporal, por ejemplo, la termometría eléctrica de contacto, que corresponde al uso de sensores transductores que permiten la valoración del calor en la piel (Bharara et al., 2006). Sin embargo, en este procedimiento, la presión en la zona a evaluar, ha generado diferencias en la circulación periférica superficial de la sangre y, por lo tanto, alteraciones en los valores de T^a recogida (Bharara et al., 2006).

Principalmente el método de termometría infrarroja no invasiva se caracteriza por ser práctico en la aplicación, no incomodar a los sujetos evaluados, no exponerlos a emisiones de radiación, ser capaces de entregar datos confiables y precisos de los valores de T^a corporal y, por otra parte, hacer de este proceso de cuantificación algo más práctico (Kiekkas et al., 2016; Jiang et al., 2005).

Las ondas infrarrojas fueron descubiertas, entre los años 1899 y 1901, por el anglo-germano William Herschel, astrónomo y músico quien además descubrió el planeta Urano (Hoskin et al., 2015; Sliney, 2016). El descubrimiento de la emisión de ondas del espectro infrarrojo permitió abrir nuevos horizontes en lo que a la determinación de la T^a corporal se refiere (Ring, 2007). En el año 1960 ya se registran los primeros usos de la tecnología de medición por TI, aunque entonces el desarrollo de

equipamiento y de personas cualificadas era escaso en el área de la salud (Ring, 2010). El bajo costo de la TI en el estudio de la fisiología para evaluar la producción de calor metabólico ha abaratado costos y es fundamental para comprender algunos aspectos fisiológicos, especialmente en condiciones de campo (Tattersall, 2016).

1.1.2.1. Método termográfico

La evaluación del calor corporal superficial expedido se cuantifica a partir de la emisión de ondas infrarrojas captadas a través de cámaras que detectan el espectro electromagnético infrarrojo 0,75 a 20 μm de longitud de onda (Beć et al, 2020). Este es un proceso sin contacto, en tiempo real y que permite evaluar una amplia superficie corporal sin ser un método invasivo (Cutti et al., 2014; Foster., 2021). Todos los objetos que emiten una T^a mayor a 0°C son capaces de generar radiación electromagnética calorífica (infrarrojos o radiación térmica) y que se relacionan a los valores de T^a de los objetos (Jones, 1998). En el espectro electromagnético la luz sólo forma una pequeña parte de ese campo, en el que encontramos las ondas de radio, las ondas infrarrojas, las ondas ultravioletas, los rayos x y los rayos gamma (Figura 1). En cuanto al espectro de la energía infrarroja se encuentran en diferentes longitudes de onda y es posible encontrar como longitudes de onda infrarroja cercana (*near infrared*, NIR) que corresponde al límite más cercano de radiación que es posible detectar por el ojo humano (0,76 – 1,5 μm), también la infrarroja mediana (*mid infrared*, MIR), entre 1,5 – 5,6 μm , y la lejana (*far infrared*, FIR), entre 5,6 – 1000 μm ; en el caso de la radiación electromagnética infrarroja del cuerpo humano, esta va desde 2 a 20 μm . Es por ello que, específicamente, la radiación infrarroja emitida por el cuerpo humano a una T^a normal del mismo (37°C), se encuentra a un valor de 9 μm del espectro infrarrojo (Ng, 2009).

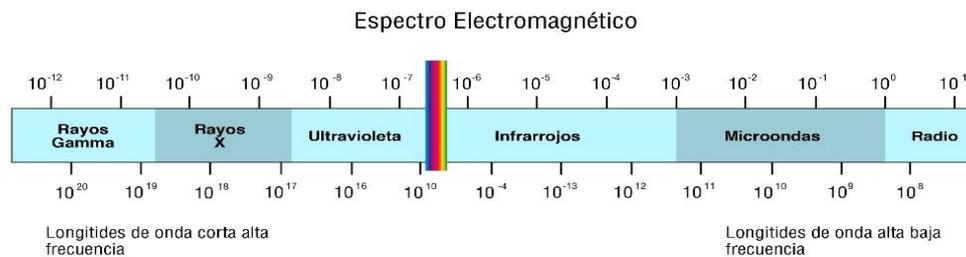


Figura 1. Espectro electromagnético (Modificado de Sliney, 2016).

La obtención de imágenes infrarrojas corresponde a un procedimiento no invasivo, que mide la radiación infrarroja de onda media a larga que emiten los objetos. La importancia de la TI actual es su capacidad para producir una imagen digitalizada o un video de alta velocidad que representa un mapa térmico de la escena en colores falsos (determinado según la paleta de colores utilizada) y que permite su posterior análisis de T^a (Khaksari et al., 2021; Ng et al., 2004). Un método que ha sido desarrollado y se ha aplicado en la industria (Rodríguez Martín, 2015), en el deporte (de Andrade, 2017) y ampliamente en diversas instancias clínicas en el ámbito de la salud (Dostalova et al., 2017; Hidalgo Salvador et al., 2014; Jones, 1998; Parisky et al., 2003; Wishart et al., 2010).

1.1.2.2. Condiciones de evaluación termográfica

La radiación infrarroja emitida por un objeto varía dependiendo de las condiciones experimentales, como; la humedad, el flujo de aire y la T^a de la zona. Es por ello que se hace imprescindible en termografía que las evaluaciones, especialmente en aplicaciones médicas, deban realizarse en ambientes controlados y se ciñan a un protocolo estandarizado (Clark, 1996). En este sentido se ha recomendado que para la obtención de imágenes y datos confiables de TI sólo se recojan datos cuando se siguen determinadas normas establecidas (Ring & Ammer, 2000). Estos protocolos implican el control de la sala de recogida de muestras, el control de T^a , el sistema de captura de imágenes, el procesamiento de las mismas y el análisis de resultados, los evaluados deben mantenerse en un ambiente confortable y que el estrés térmico no dé como resultado el enfriamiento de la piel ayudado por la vasoconstricción (Ring y Ammer, 2000). El uso de vestimenta durante la evaluación está condicionado a la zona anatómica a evaluar, por lo que el sujeto podría encontrarse sin vestimenta o levemente vestido (Gratt & Anbar, 1998). Otro aspecto a considerar es que la habitación de evaluación no cuente con otros equipos que generen luz (Amalu et al., 2006). La T^a de la habitación, de recogida de imágenes, no debe ser muy elevada ya que sobre los 25°C se activarían los mecanismos termorreguladores y la transpiración (sudoración) que puede provocar problemas (Ring y Ammer, 2000). Es así que las condiciones de T^a deberían encontrarse entre los 18 y los 25°C , realizando tiempos de aclimatación de entre 5 y 20 minutos (Armstrong et al., 1997; Bagavathiappan et al., 2010; Bouzida et al., 2009; Gratt & Anbar, 1998; Hosaki et

al., 2002; Park et al., 2007; Sun et al., 2006). Todos estos criterios son importantes para obtener datos precisos durante las evaluaciones de TI.

1.1.2.3. Equipamiento

Las cámaras de TI han evolucionado tecnológicamente desde cámaras que utilizaban un detector de un solo elemento y dos espejos para producir imágenes a otras de dos espejos de escaneo junto con una matriz lineal grande con pequeños sensores y modelos matemáticos (Ring, 2006).

Por otra parte, el procesamiento de las imágenes termográficas a través de los softwares informáticos permiten realizar los análisis rápidamente o almacenar las imágenes para su análisis posterior (Jones et al., 2005).

1.1.2.4. Termografía en las ciencias de la salud

Las imágenes térmicas son utilizadas en medicina desde, aproximadamente, 1960 (Ring, 2010). En ese mismo periodo, en Gran Bretaña, se aplicó la termografía para explorar quemaduras y zonas de injerto de piel, y en 1979, se propusieron los primeros criterios de estandarización de esta técnica (Ring & Ammer, 2012). El calor corporal que llega a la superficie del cuerpo se puede detectar gracias a la radiación corporal como ondas infrarrojas, que pueden ser medidas con gran precisión (Rojas Valverde et al., 2021). Esta producción de calor proviene de los procesos biológicos desarrollados en el cuerpo humano y, parte de esa energía, luego se disipa como calor a través de las capas de la piel (Malchaire et al., 2017). Aunque la técnica no es específica y, a veces, depende en gran medida de los antecedentes y el entorno circundante, hay una serie de razones por las que la TI ha tenido una amplia aceptación entre la comunidad médica (Lahiri et al., 2012). La utilidad clínica se ha instaurado por la seguridad de su uso (no expone al sujeto a radiación), por no ser un procedimiento invasivo, ser poco compleja, de bajo costo, por su aplicación en tiempo real, que permite una monitorización continua y longitudinal en el tiempo (Fernández Cuevas et al., 2015; Hidalgo Salvador et al., 2014). Por ello, la utilización de imágenes térmicas se ha desarrollado en diversos ámbitos (Tabla 1).

Tabla 1. Aplicaciones de la termografía en el ámbito militar, en el deporte y en la salud.

	APLICACIONES DE LA TI	ESTUDIOS	
MILITAR	Ámbito militar	Rogalski, 2011	
	Detección cáncer de mama	Ng & Kee, 2008	
	Detección de fiebre	Bitar et al., 2009	
	Patologías vasculares	Bagavathiappan et al., 2009	
	Fisiología de quemaduras	Fernández Cuevas et al., 2015	
	Neuropatías en diabéticos	Armstrong et al., 1997; Bagavathiappan et al., 2009	
	Cáncer de piel	Herman & Cetingul, 2011	
	Odontología y dermatología	Di Carlo, 1995; Fikackova & Ekberg, 2004	
	Termoencefaloscopia	Shevelev, 1998	
	Síndrome de ojo seco	Zelichowska et al., 2005	
SALUD	Artritis, osteoartritis, reumatismo de tejidos blandos, procesos inflamatorios, fibromialgia	Cheung et al., 2012	
	Estados de Celulitis	Bauer et al., 2020	
	Patologías vasculares	Leñero Bardallo et al., 2021	
	Detección de enfermedad hepática metastásica	Mansfield et al., 1970	
	Isquemia intestinal	Brooks et al., 2000	
	Transplante renal	Kopsa et al., 1979	
	Tratamiento cardiaco	Manginas et al., 2010	
	Ginecología	Birnbaum & Kliot, 1964; Gershon Cohen et al., 1965	
	Medicina alternativa acupuntura	Ernst & Lee, 1985; Lo, 2002	
	Crioterapia	Costello et al., 2012	
	Medicina forense	Al Alousi et al., 2001; Cattaneo et al., 2009	
	Evaluación de daños por radiación en el cuerpo humano	Benko, Koteles, & Németh, 1996	
	ENTRENAMIENTO	Gasto energético durante ejercicio	Jensen et al., 2016
		Entrenamiento de la fuerza	Vieira et al., 2020
		Termorregulación	Bouzida et al., 2009
Cambios en morfoestructura corporal		Law et al., 2018	
Daño muscular producido por ejercicio		Gutiérrez Vargas et al., 2017	
LESIONES	Síndrome de pinzamiento del hombro	Park et al., 2007	
	Recuperación de lesiones en el fútbol	Barcelos et al., 2014	
	Dolor muscular de aparición tardía	Al Nakhli et al., 2012	

La TI se ha utilizado durante ejercicio y en sujetos sanos, bajo condiciones ambientales estables, con la intención de estimar el gasto energético (Jensen et al., 2016), estimar el estado de fatiga (Hadžić et al., 2019) y observar cambios en el tiempo en la morfoestructura corporal (Law et al., 2018).

Desde los años sesenta, existe una mayor comprensión de la fisiología térmica, así como de la relación observada entre la T^a de la piel y la perfusión sanguínea, permitiendo un análisis confiable de los datos termográficos (Ring, 2010). Además, la técnica de evaluación y las ventajas de las imágenes digitales analizadas por ordenador, ha mejorado enormemente la confiabilidad de la utilización de esta tecnología en medicina (Ring, 2010). Es probable que por sus diversas ventajas comparativas, en los próximos años, seguirá aumentando el uso de la TI en el campo de la medicina (Lahiri et al., 2012).

La piel, órgano más grande del cuerpo humano, es crucial en la termorregulación y forma una interface entre el cuerpo y el ambiente (Ring, 2010). Ciertamente se ha observado una disminución de la T^a de la superficie corporal en las mujeres, a medida que aumenta el porcentaje de adiposidad corporal en el área abdominal, sin embargo, se observa un efecto opuesto con la T^a de las manos (Chudecka et al., 2014).

Valores de sobrepeso y obesidad harían variar y elevar los niveles de calor corporal a nivel central, relacionándolo a un mayor volumen de tejido adiposo que disminuye la capacidad de eliminación de calor por la piel (Salamunes et al., 2017; Weigert et al., 2018); especialmente en el esqueleto axial, observándose una pérdida de la regulación vasoconstrictora periférica (Carrasco et al., 2002). Otros estudios han observado que, en zonas localizadas, como la zona abdominal y el muslo, la T^a se encuentra disminuida mientras mayores son los niveles de sobrepeso (Chudecka et al., 2014; Chudecka et al., 2015). En hombres y mujeres se ha observado que la T^a promedio de regiones como el pecho, la espalda baja o la espalda alta, desciende cuando se observan mayores porcentajes de grasa corporal total (Chudecka & Lubkowska, 2015). Es interesante, observar también una relación entre los valores de T^a superficial y los de tejido adiposo subcutáneo evaluado en base al grosor de pliegues cutáneos (Neves et al., 2015).

Con respecto a los factores de riesgo cardiovascular (FRCV), son de interés las relaciones relevantes que se han encontrado entre la T^a superficial de la piel y la presencia de estados de salud vinculados a enfermedades cardiovasculares

(Thiruvengadam et al., 2014; Huang et al., 2011). Por ejemplo, se ha encontrado que la disipación de calor corporal superficial se ve modificada en función de la composición corporal, especialmente de la masa libre de grasa (MLG) (Blasco Redondo, 2015; Müller et al., 2018).

Se sabe que el calor producido por el metabolismo es eliminado, al exterior a través de la piel, para mantener el equilibrio de la T^a corporal (Fernández Cuevas et al., 2015). En este sentido, existe una alta correlación entre la T^a superficial de la piel (zonas de mayor calor) y el gasto energético (Lahiri et al., 2012; Ng, 2009; Umadevi et al., 2011). Estudios han demostrado que, ante la presencia de obesidad, se ve disminuida la T^a de la superficie de la piel; tanto en el abdomen como en la región del muslo (Chudecka & Lubkowska, 2015; Chudecka et al., 2014), aunque está aumentada en las zonas anteriores de las manos (Chudecka & Lubkowska, 2015). Ciertamente las imágenes térmicas infrarrojas seguirán siendo una herramienta de diagnóstico médico, una alternativa más precisa y menos invasiva, que podrá ayudar a determinar otros factores fisiológicos como el nivel de inflamación o el gasto energético (Frise et al., 2009), o los niveles de tejido adiposo marrón (Law et al., 2018) o procesos de regeneración/degeneración de los tejidos en patologías traumáticas.

1.2. Composición corporal

El desarrollo de su conocimiento ha permitido avances importantes en el área de salud, los estados nutricionales y su asociación al bienestar de la población (Valtueña Martínez et al., 1996). Algunas variables simples como estatura se han transformado en un indicador de buen estado de salud y de nutrición de una sociedad (Llorca Jaña et al., 2018). La estimación de los diferentes componentes del cuerpo humano, según sus tejidos que lo componen, ha sido fundamental para el estudio de los procesos nutricionales de la población, su relación y seguimientos a patologías asociadas a la desnutrición y la obesidad, así como el desarrollo de planes de intervención (González Jiménez, 2013; Madden & Smith, 2016). La evaluación de la composición corporal se ha desarrollado por medio de método directo y de estimación con la finalidad de conocer las adaptaciones biológicas que el genotipo y fenotipo han provocado durante la evolución de la raza humana (Demerath & Fields, 2014). En el tiempo cuantificar la composición del cuerpo humano en masas fraccionales, ha

llevado a crear variadas formas de determinación y cuantificación de los tejidos (González Jiménez, 2013). Es por tal motivo que en la bibliografía es posible encontrar métodos que han dividido al cuerpo humano para su estudio en 2, 3, 4 y hasta 5 componentes (Wilson et al., 2013). Tal es el caso de la división en tejido óseo, muscular, adiposo, residual y piel, desarrollado en base a disección cadavérica extrapolada a fórmulas que en 1988 se conocieron como el fraccionamiento en 5 componentes (Kerr, 1988).

Los métodos corresponden a directos como la disección cadavérica, indirectos como lo realizado por medio de equipos tecnológicos o por medio fórmulas que son doblemente indirectas cada uno de ellos presenta grados de validez y confiabilidad distintos, en donde la tecnología de los equipamientos utilizados, hasta la pericia del evaluador influyen en los procedimientos y protocolos (Fosbøl & Zerahn, 2015). La disección de cuerpos, método único directo y procedimiento que viene a ser el *gold standard* y el más ideal para cuantificar los componentes del cuerpo humano, es imposible de realizar con una magnitud poblacional (Martínez, 2010; Costa Moreira, 2015).

Entre los métodos indirectos, se puede encontrar la tomografía axial computarizada, método considerado como el más preciso para cuantificar tejido muscular, adiposo y órganos, a partir de los resultados generados por los rayos X que penetran el cuerpo generando una imagen; un método que discrimina el tejido adiposo que se entremezcla con la musculatura (Ayvaz & Çimen, 2011)

Por otra parte está la denominada absorciometría de rayos X, que calcula principalmente tres tipos de tejidos (muscular, adiposo y óseo) y corresponde a un proceso de cuantificación de fotones (Pietrobelli et al., 1997). También se puede encontrar la resonancia nuclear magnética, esta consiste en la generación de ondas de radiofrecuencia que emiten los fotones, luego de estos volver a su estado de normalidad, esas ondas generan imágenes que permiten diferentes niveles de contraste entre los tejidos (Lukaskyi, 1997). Principalmente presenta los mejores grados de confiabilidad al cuantificar tejido muscular y masa adiposa de la zona del abdomen (Shuster et al., 2012).

Algunos otros métodos de análisis corresponden a los denominados doblemente indirectos, estos se han desarrollado por medio de la extrapolación de los valores arrojados por disección cadavérica o por lo cuantificado a través de equipos de

detección química y molecular como los anteriormente nombrados (Sant'Anna et al., 2009).

Dentro de estos métodos es posible encontrar a la antropometría, método que por medio de la cuantificación de valores estructurales anatómicos (peso o masa, talla o largo, ancho o diámetro, perímetro o circunferencia), en unidades de milímetros o centímetros, y sus relaciones con las evaluaciones directas, ha permitido desarrollar fórmulas o ecuaciones de predicción para estimar las masas corporales (Lescay et al, 2017).

Dentro de estos métodos es posible encontrar a la antropometría, método que por medio de la cuantificación de valores estructurales anatómicos, en unidades de milímetros o centímetros, y sus relaciones con las evaluaciones directas, ha permitido desarrollar fórmulas o ecuaciones de predicción para estimar las masas corporales (Lescay et al, 2017).

Por lo tanto, a partir del peso, estatura, grosor de pliegues, diámetros y perímetros anatómicos, se han obtenido fórmulas de estimación que han sido ampliamente utilizadas; entre ellas las fórmulas de Durning y Womersley para determinar la densidad del cuerpo humano y el tejido adiposo (Durnin & Womersley, 1974), la de Deborha Kerr (Kerr, 1988) para la estimación en 5 grupos de masas corporales, Brook (Brook, 1971), las de Siri (Siri, 1993), Matiegca (Matiegka, 1921) y Brozek (Brozek et al., 1963).

La bioimpedancia también debe ser considerada como otro método doblemente indirecto, que consiste en hacer circular una corriente eléctrica por el cuerpo y cuantificar el nivel de conductibilidad del mismo. Para ello, se estima que un tejido magro es un buen conductor de los voltajes eléctricos y no así los adipocitos (Ayvaz & Çimen, 2011; Alvero Cruz et al., 2011).

Por último, la pletismografía, un método de elevada confiabilidad y validez que consiste en el desplazamiento de aire dentro de un espacio hermético permitiendo determinar el volumen desplazado y, a partir de ello, los volúmenes corporales (Fields et al., 2002).

Los métodos nombrados anteriormente difieren en precisión, exactitud y confiabilidad. Por ejemplo, las técnicas de imagen, como la resonancia magnética nuclear y la tomografía computarizada, son herramientas más precisas ya que permiten visualizar y cuantificar tejidos, diferenciando la densidad de los mismos y diferenciando los tejidos grasos subcutáneos de los internos. Lo complejo es que

estos métodos todavía son muy costosos y difíciles de implementar en un laboratorio (Alves Junior et al., 2017; Kuriyan, 2018).

1.2.1. Antropometría

El término antropometría hace alusión al estudio de la cuantificación de las dimensiones de las estructuras corporales (Lescay et al, 2017; Casadei & Kiel, 2022; Warriar et al., 2022). El termino antropometría corresponde a la cuantificación de la estructura humana y es altamente importante para la necesidad del ser humano de comprender los cambios que se producen desde el nacimiento hasta su muerte (Cameron & Jones, 2010; Llorca Jaña et al., 2018; Ulijaszek & Kerr, 1999).

La antropometría es la técnica más utilizada a nivel mundial, para la determinación de los componentes de la composición corporal, y ha servido para desarrollar estudios poblacionales, tanto trasversales como longitudinales, durante el crecimiento y la evolución estructural producida en las personas por diferentes circunstancias (Moreira et al., 2015). La antropometría ha sido la principal fuente de recopilación de información de la morfoestructura humana en las distintas edades y tipos de población (Ayvaz & Çimen, 2011; Sant'Anna et al., 2009).

Producto de la aplicabilidad en grandes poblaciones se ha utilizado ampliamente en el ámbito de la salud y los estudios han servido de base para el desarrollo de políticas públicas que permiten establecer criterios de buena o mala nutrición incluso tomando en consideración aspectos de distribución socio económica (Steyn & McHiza, 2014). Si bien la antropometría no es considerada como el *gold standard* en cuanto a la fiabilidad de las evaluaciones, cuando es desarrollada por evaluadores capacitados y con experiencia, es posible aumentar la validez y confiabilidad de la evaluación disminuyendo el error (Harris, 2009).

Por lo tanto, la antropometría es una disciplina que aporta herramientas de interés en la valoración de la composición corporal y seguirá siendo primordial en los estudios poblacionales.

1.2.2. Métodos antropométricos

Algunos métodos incluyen la identificación en 2 componentes, como el tejido magro y el tejido graso, desarrollado por el investigador Benke (Behnke et al., 1995); otros corresponden a la utilización de 4 componentes, donde se encuentran el tejido

adiposo, tejido óseo, agua y proteínas muscular, desarrollado por Keys y Brozek (Keys & Brozek, 1953; Brozek et al., 1963); también está el de 4 componentes desarrollado por Matiegka, que se compone de tejido adiposo, tejido muscular, tejido óseo y tejido residual (Matiegka, 1921); y, por último, el de 5 componentes, representados por los tejidos adiposo, piel, muscular, óseo y residual, desarrollado por Kerr (Kerr, 1988); todos estos métodos se utilizan para evaluar la composición corporal.

Otros utilizan medidas básicas ampliamente aceptadas como son las medidas de altura, peso, perímetros y pliegues de la piel, se han usado frecuentemente para el control de los cambios producidos en las personas (Santos et al., 2014).

Características como la facilidad de evaluación y el bajo costo económico, han hecho que el índice de masa corporal (IMC) sea el indicador más utilizado, además ha permitido clasificar a los sujetos en diversas situaciones nutricionales y desarrollar estudios de grandes poblaciones (Borga et al., 2018; Martín Calvo et al., 2016), otros son la sumatoria de los pliegues que se ha utilizado para la valoración nutricional (Milanese et al., 2011), el índice cintura-cadera (ICC) que es un indicador confiable de tejido visceral (Seidell et al., 1987), índice cintura-estatura (ICE) y el perímetro de cintura (PC) que se ha utilizado para valorar la distribución del tejido adiposo que rodea a las vísceras abdominales (Janssen et al., 2002), índices que han sido asociados por estos autores para obtener información sobre obesidad y su relación con FRCV.

Diversos métodos e índices se han utilizado para determinar el biotipo y su relación con diversas patologías. Cada uno presenta sus ventajas y deficiencias. Poseer una buena aceptación y comprensión de las limitaciones prácticas y teóricas, permitirán realizar un análisis adecuado de los resultados (Madden & Smith, 2016).

1.2.2.1. Índice de masa corporal (IMC) o índice de Quetelet

El IMC es un método que por décadas ha permitido determinar y clasificar el estado ponderal de las personas, este índice fue creado por Adolphe Quetelet científico estadístico, quien debido a su marcado interés por los estudios poblacionales, integro sus conocimientos a la investigación de las características estructurales de las personas (Eknoyan, 2007). Es un índice que ha permitido clasificar según la relación del peso y la estatura al cuadrado distintos niveles de estado nutricional, en sujetos

delgados y obesos es un buen predictor de salud (Guh et al., 2009). La forma más utilizada de estimar el estado nutricional de los sujetos es el IMC: peso corporal normalizado por altura al cuadrado (kg/m^2) (Ayvaz & Çimen, 2011; Hatipoglu et al., 2010). Es un método simple y económico, utilizado como referencia por la Organización mundial de la salud y que corresponde a los siguientes valores, en cuanto a su distribución: bajo peso, con valores por debajo 18,5 de IMC; peso normal, con valores entre 18,5 y 24,9 de IMC; pre-obesidad y sobrepeso, entre 25 y 29,9 de IMC; obesidad clase 1, entre 30 y 34,9 de IMC; obesidad clase 2, entre 35 y 39,9 de IMC; y, obesidad clase 3, con un valor mayor de 40 de IMC (Borga et al., 2018).

En la actualidad son millones de personas que se encuentran con exceso de peso y elevados valores de grasa corporal a nivel mundial y el IMC sigue siendo una herramienta útil para detectar grados de mal nutrición y como un indicador de la relación entre el peso, la obesidad y la mortalidad (Chan et al., 2014; Flegal et al., 2013; Lee & Lee, 2021). El IMC ha sido relevante a la hora de establecer relaciones en una amplia gama de dimensiones patológicas en el área de la salud (Amiri & Behnezhad, 2019). Se ha asociado a enfermedades tales como la retinopatía diabética (Zhou et al., 2017), al cáncer de endometrio (Secord et al., 2016), la proyección inferior de órganos pélvicos (Zenebe et al., 2021), caries dentales en niños y adolescentes (Hooley et al., 2012), mayor probabilidad de muerte por COVID-19 (Peres et al., 2020), mayor prevalencia de artritis reumatoidea (Qin et al., 2015), mayor prevalencia de cáncer al pulmón (Duan et al., 2015), en la gravedad y muerte por pancreatitis (Dobszai et al., 2019), problemas a la vesícula biliar (Aune et al., 2015) y la estrecha relación con patologías asociadas al riesgo cardiovascular, diabetes, hipertensión y accidentes cerebro vasculares que causan una gran mortalidad a nivel mundial. Es por último importante considerar que la relación peso y estatura al cuadrado es un índice que tiene muy buena correlación con el método de absorciometría dual fotónica, método de referencia a nivel mundial en la determinación de tejido adiposo (Martin Calvo et al., 2016). Y también ha servido para poder cuantificar el efecto de la obesidad en las etapas tempranas de la vida y su posterior desarrollo en la adolescencia y adultez (Simmonds et al., 2016).

1.2.2.2. Sumatorio de pliegues

La evaluación de los pliegues cutáneos se utiliza para cuantificar el grosor de la grasa subcutánea en variadas regiones del cuerpo (Duren et al., 2008) y presenta múltiples beneficios principalmente por su bajo valor económico y rapidez, por lo que es muy utilizado en el ámbito de la salud (Ramírez Vélez et al., 2011). Es por tal que incluso con su capacidad indirecta para determinar el tejido adiposo por medio de la evaluación de algunos pliegues representativos de valores promedio de cantidad de tejido adiposo subcutáneo total (Garrido Chamorro et al., 2012). Otros autores también han encontrado que los valores de pliegues corporales se correlacionan con el tejido adiposo de todo el organismo (Amaral et al., 2011). Es por lo demás importante nombrar que correlaciones entre pliegues y sectores anatómicos entregan información sobre obesidad corporal total, mientras que otros pliegues como los de las extremidades superiores y tórax posterior y región pélvica entregan información en cuanto al tejido adiposo del tronco (Knechtle et al., 2011).

Es posible encontrar en la literatura la relación existente entre los valores de grosor de pliegues como los de la zona subescapular y tricípital que presentan una excelente relación estadística con la representación del tejido adiposo y su organización en el tejido subcutáneo corporal, lo que además se asocia con implicancias en cuanto al riesgo de desarrollo de enfermedades cardiovasculares (Sarría et al., 1998). Por otra parte los valores de pliegues cutáneos, en milímetros o grosor del pliegue, presenta una elevada correlación con la T^a superficial de la piel que fue recogida desde las zonas de los pliegues evaluados (Barraza Gómez et al., 2021). Por todo ello, se considera que la medida de los pliegues cutáneos, además de ser una forma válida para conocer el porcentaje total de grasa corporal, presenta una estrecha relación con parámetros cardiovasculares y termográficos (Karalejic et al., 2011).

1.2.2.3. Índice cintura-cadera (ICC)

El ICC corresponde a la división de ambas medidas, este se ha relacionado en diversos estudios con FRCV, y enfermedades tales como diabetes, dislipidemia, problemas lumbares, cáncer de colon y recto, resistencia a la insulina, infarto agudo y mortalidad prematura (Cameron et al., 2013; Cao et al., 2018; Dong et al., 2017; Jayedi et al., 2020; Ladhani., 2017; You et al., 2022). Por otra parte, se ha observado que al relacionar los datos de altura y perímetro de cadera estos entregaron valores

inversos en cuanto a la predominancia de desarrollar diabetes entre las mujeres y que estas relaciones serían más adecuadas considerando el PC (Bozorgmanesh et al., 2011; Cameron et al., 2013).

1.2.2.4. Índice cintura-estatura (ICE)

El ICE corresponde a un índice de fácil aplicación y que actualmente es ampliamente utilizado para determinar niveles de sobrepeso y obesidad en variados grupos de personas y edades (Jensen et al., 2016). Esta relación ICE, es la división entre el PC y la estatura del sujeto, este indicador ha permitido evaluar y determinar niveles de adiposidad general en los últimos años (Yoo, 2016). Las investigaciones desarrolladas con el ICE han permitido validar que este índice es incluso mejor en la determinación de adiposidad que el PC por sí sólo y a la relación peso estatura en su extrapolación a patologías y asociado a FRCV y metabólico (Ashwell et al., 2012; Ladhani et al., 2017; Liu et al., 2019; Yoo, 2016). Algunos estudios refuerzan lo anteriormente comentado identificando mejores relaciones de este índice con el tejido adiposo y residual (Jensen et al., 2016).

En la investigación que incluyó a más de 88.000 adultos principalmente de países asiáticos, se pudo determinar que el ICE fue de mejor alcance a la hora de relacionarse con enfermedades como la elevada presión arterial, los elevados niveles de colesterol y la resistencia a la insulina y diabetes (Lee et al., 2008). En otra investigación con una gran muestra poblacional donde participaron cerca de trescientos mil adultos, el ICE fue mejor predictor que el PC a la hora de extrapolar problemas cardiometabólicos en sujetos mayores de edad; el PC logró resultados de un 3%, en cambio el ICE mejoró aún más la detección a un 4 – 5% incluso resultados superiores al IMC (Ashwell et al., 2012).

Se puede evidenciar que el ICE se encuentra fuertemente relacionado con FRCV, sobrepeso y obesidad lo cual se hace patente en otro estudio prospectivo de tamaño corporal y riesgo de accidente cerebrovascular entre más de cuarenta y cinco mil sujetos de sexo femenino menores de 60 años, en este estudio longitudinal que duró once años, se demostró que las medidas de obesidad abdominal ($ICE > PC$) se relacionan de mejor manera con lesiones cerebrovasculares (Lu et al., 2006).

En los últimos años es recurrente encontrar estudios longitudinales que afirman la mejor validación del ICE que otros indicadores. En la investigación desarrollada en

más de 16.000 hombres durante 14 años y a 32.000 mujeres durante 5,5 años, el ICE fue un mejor predictor de enfermedades cardiovasculares que sus homólogos IMC y PC (Gelber et al., 2008). Otra ventaja que presenta este índice corresponde a que puede ser trabajado con puntos de identificación únicos, por lo que no es necesario utilizar variables como la edad (Ashwell et al., 2012; Kromeyer Hauschild et al., 2013). Por lo anterior se ha podido establecer puntos medios para este índice en relación con aspectos patológicos cardiometabólicos, en un estudio desarrollado en una amplia gama de sujetos de diferentes ubicaciones en el mundo donde hubo participación de sujetos europeos, orientales y de América Central. Estos valores se centraron en puntos de 0,5 tanto para hombres como para mujeres (Browning et al., 2010). Al igual que lo identificado en una investigación realizada con sujetos adultos chinos, donde se estableció que la zona adecuada para un ICE para el grupo de enfermedades cardiovasculares fue 0,5; en tal caso los datos más elevados de ICE para discriminar en el grupo de factores de riesgo con especificidad superior al 90% fueron 0,55 para sexo masculino y 0,58 para sexo femenino (Peng et al., 2015). Cuando se hacía mención a que el ICE se ha identificado como un mejor predictor de enfermedades cardiovasculares, es tal que en una relación ICE superior a 0,5 con un IMC normal, ha determinado que corresponde a un elevado riesgo de muerte. Estos valores de riesgo son complejos y determinantes ya que podrían ser mayores al de sujetos con obesidad que poseen sobrepeso (Bosomworth, 2019). Ahora al hacer referencia a la estatura se ha identificado que en general sujetos de estatura más elevada han presentado menores niveles de mortalidad por infarto agudo al miocardio y accidentes vasculares cerebrales (Barker et al., 1990). Se hace entonces evidente producto de lo anteriormente nombrado tener en cuenta tanto la estatura como el PC para obtener mejores resultados predictivos a la hora de encontrar sujetos con más altas probabilidades de tener riesgo cardiovascular y metabólico (Yoo, 2016).

1.2.2.5. Perímetro de cintura (PC)

El PC es una medida básica que es evaluada luego de una espiración normal y entre las últimas costillas y la cresta iliaca (Norton & Olds, 1996). Ha sido utilizado para determinar valores de obesidad a nivel central corporal (Magalhães et al., 2014; Savva et al., 2000). Por otra parte es esta una medida de valor potencial en pediatría, dada su relación con el riesgo cardiovascular en adultos (Rudolf et al., 2007). Este

indicador, PC se ha utilizado por bastante tiempo como una forma fácil, rápida y de bajo costo a la hora de diagnosticar la obesidad abdominal (Gao et al., 2015; Krakauer & Krakauer, 2018; Wang, 2003). El índice de obesidad abdominal se ha mostrado como uno de los mejores discriminadores de los FRCV, llevando a utilizar el PC en la definición actual de síndrome metabólico (Lee et al., 2008; Pischon et al., 2008; Zimmet et al., 2007).

Es así que la acumulación de grasa a nivel abdominal y la acumulada en zonas de muslo y órganos como páncreas e hígado son determinantes en lo que corresponde a riesgo cardiometabólico (Liu et al., 2010). El PC y la relación cintura-cadera, son indicadores que se correlacionan más fuertemente con el riesgo metabólico (Liu et al., 2010). Investigaciones en este indicador muestran que tanto el IMC como el PC son buenos predictores de los niveles de tejido adiposo en el organismo (Jensen et al., 2016). De igual manera al establecer relaciones entre el PC y otros métodos de determinación de obesidad es que las referencias indicaron que este se encuentra fuertemente ligado con el tejido adiposo identificado por medio de impedancia bioeléctrica o pliegues cutáneos, y que además hay relaciones moderadas con el porcentaje de tejido adiposo determinado por DEXA, pletismografía por desplazamiento de aire o dilución de isótopos (Jensen et al., 2016).

1.2.2.6. Método fraccionamiento en 5 masas corporales

La determinación de la composición corporal que corresponde al método de 5 componentes derivado de la tesis doctoral de Deborah Kerr, corresponde a una extrapolación por medios de fórmulas validadas con la disección cadavérica (Martin, 1984). Con estas medidas se posibilitó el cálculo de la composición corporal en 5 masas (tejido piel, tejido adiposo, tejido muscular, tejido óseo y tejido residual), según el fraccionamiento de Deborah Kerr (Kerr, 1988).

Por medio de este trabajo es que se pudo obtener relaciones entre las fracciones corporales pesadas una vez diseccionados los cadáveres donados que en total correspondieron a sujetos 12 hombres y 13 mujeres, a los cuales se les realizó evaluaciones antropométricas de diámetros, perímetros, pliegues y peso, posteriormente se desarrollaron estimaciones calculando la densidad individual de cada uno de los tejidos y se establecieron fórmulas matemáticas para estimar la composición corporal en 5 componentes (Clarys et al., 1984).

Respecto a las divisiones del fraccionamiento se establecieron cinco componentes los cuales corresponden a la masa piel, corresponde al tejido que se puede aislar de la musculatura, del tejido conjuntivo, glándulas y tejido adiposo (Ross & Kerr, 1993). La cantidad de superficie piel diseccionada fue distinta respecto al sexo masculino y femenino, al respecto se encontró mayor superficie en el sexo masculino.

El tejido adiposo corresponde al que se pudo encontrar acompañando a los órganos también al encontrado en la musculatura y al subcutáneo (Ross & Kerr, 1993). Tejido muscular estriado que además contenía tejido conjuntivo, tejido nervioso, vasos sanguíneos y sangre, tejido que fue posible separar por medio de disección (Kerr, 1988). El tejido óseo, todas las estructuras esqueléticas, más sus asociados de cartílago y periostio, más el tejido adiposo que los huesos contienen en sus cavidades (Ross & Ward, 1982). Por último, el tejido residual que corresponde a los órganos como corazón, pulmones, tracto bronquial, el mesenterio, órganos reproductores y vísceras digestivas con sus fluidos no identificados en las otras fracciones de masas (Ross & Kerr, 1993). En la tabla 2, se aprecian las variables antropométricas consideradas para la determinación de la composición corporal en el método cinco componentes en cada una de sus fracciones de masas y agrupadas en medidas básicas, pliegues, perímetros y diámetros se nombran a continuación.

La composición corporal por medio del método 5 componentes se ha utilizado ampliamente en investigaciones y en diversas poblaciones, algunas de ellas son en adultos mayores (Gajardo & Martínez, 2013), en población escolar (Martínez et al., 2013), también se han desarrollado investigaciones en deportes competitivos como en basquetbol (Rivera Sosa, 2016), en clasificación de antropométrica en Jiu-jitsu Brasileño (Báez et al., 2014) en la clasificación de características antropométricas por posición de juego en fútbol (Almagiá et al., 2008; Bahamondes et al., 2012; Barraza et al., 2015; Jorquera et al., 2012; Jorquera et al., 2013), en rugbistas según su posición en el campo de juego (Báez San Martín et al., 2019), hándbol (Barraza Gómez et al., 2015), en periodos de formación militar (Barraza Gómez et al., 2021; Barraza Gómez et al., 2020). Es por lo señalado anteriormente que el uso de la antropometría y el método de 5 componentes se ha transformado en una herramienta importante para la cuantificación de las masas corporales; es un método que permite comparar resultados con otras poblaciones debido a su amplia masificación y validación en la investigación a nivel mundial.

Tabla 2. Variables antropométricas para la determinación de tejidos corporales en el método 5 componentes.

	Peso
Tejido piel	Estatura
	Talla sentado
	Perímetro brazo relajado
Tejido muscular	Perímetro antebrazo
	Perímetro tórax
	Perímetro muslo
	Perímetro pantorrilla
	Pliegue tricipital
Tejido adiposo	Pliegue subescapular
	Pliegue supraespinal
	Pliegue abdominal
	Pliegue muslo frontal
	Pliegue pierna medial
Tejido óseo	Diámetro biacromial
	Diámetro biiliocrestideo
	Diámetro biepicondilar húmero
	Diámetro biepicondilar Fémur
Tejido residual	Perímetro cabeza
	Perímetro cintura
	Diámetro anteroposterior tórax
	Diámetro transversal tórax

1.3. Metabolismo energético

El metabolismo consiste en una serie de procesos biológicos que ocurren en las células para permitir que, por medio de la absorción y degradación de sustratos energéticos, como los carbohidratos, las grasas y las proteínas el cuerpo humano produzca ATP (adenosina trifosfato) y de esa forma generar energía para los procesos biológicos y mantenerse con vida (Judge & Dodd, 2020; Rigoulet et al., 2020). El estudio del metabolismo energético humano es fundamental para diversos campos de investigación que van desde las ciencias biológicas básicas, militares, nutricionales, en crecimiento, en el deporte y hasta en el manejo clínico del control de peso (Heymsfield. et al., 2012; Montani et al., 2018; Mtaweh et al., 2018). Durante

los años 1600 se realizaron los primeros estudios experimentales asociados a procesos metabólicos, llevándose a cabo un ensayo donde se pesaba a una persona pre y post trabajo de un día cotidiano (Eknoyan, 2007).

Y de esa forma se descubrió que la mayoría de los alimentos que se ingerían, generaban calor y ese calor se eliminaba por medio de la transpiración (Eknoyan, 2007; Poncet et al., 2011). Enfermedades complejas para la población mundial como lo son el sobrepeso y la obesidad han puesto en la palestra la importancia de cuantificar no sólo los componentes estructurales del cuerpo humano, sino que también los requerimientos energéticos de las personas y poder de esa forma equilibrar lo que se consume en alimentación y lo que realmente se degrada (Brychta et al., 2010). Es de tal manera que cuantificar los procesos metabólicos de forma directa e indirecta a permitido comprender la oxidación de los sustratos energéticos como lo es la relación entre el oxígeno (O_2) consumido o consumo de oxígeno (VO_2), la excreción de dióxido de carbono (CO_2) o producción de CO_2 (VO_2) de las células y la generación de calor (Montani et al., 2018).

1.3.1. Calorimetría

El proceso por el cual se cuantifica la disipación de calor corporal producido por los procesos metabólicos se denomina calorimetría, esta a su vez puede ser determinada de forma directa donde se obtienen valores muy precisos de la velocidad a la que el calor es eliminado por el cuerpo humano (Levine, 2005). Proceso realizado en cámaras cerradas herméticas, de alta complejidad en su uso y poco accesibles para la investigación. Por otra parte, está la estimación indirecta, por medio de la cuantificación del VO_2 y del VCO_2 excretado (Cramer & Jay, 2019; McLean & Tobin, 2007).

1.3.1.1. Calorimetría directa

La calorimetría directa viene a ser el método creado más preciso y el de referencia mundial para la cuantificación del gasto energético (Pisanu et al., 2020). Este proceso consiste en la obtención de datos en cuanto a la velocidad a la que el cuerpo disipa el calor corporal, tiene su fundamento en los supuestos de equilibrio térmico y en lo complejo que es almacenar energía, por lo que a través del calor generado por los

procesos fisiológicos se puede estimar el gasto de energía (Jequier, 1986; Lyden et al., 2014).

El proceso calorimétrico directo es altamente costoso y que conlleva el complejo diseño de una cámara y un espacio con características muy particulares y de alta precisión para hacer posible la medición del intercambio de calor entre el cuerpo humano y el ambiente, entre otras limitaciones también impiden que la calorimetría directa sea la metodología principal para medir el gasto energético (Lam & Ravussin, 2016).

Por otra parte, es también importante considerar que en la actualidad la tecnología y su creciente desarrollo ha permitido la creación de equipos portátiles que, por medio de sensores, permiten cuantificar la T^a y la disipación del calor corporal por medio de la piel y extrapolar el ritmo metabólico, procesos que llevados a cabo en investigaciones han permitido establecer altas correlaciones con la determinación no directa al estimar el gasto energético (Benito et al., 2012; Lyden et al., 2014; Melanson et al., 2009). El desarrollo de investigación, equipamiento para medir gases y diversas fórmulas extrapoladas de los métodos anteriores ha permitido estimar el gasto energético en diversas poblaciones, es sin duda la calorimetría directa para la determinación del gasto energético, el método más fiable y preciso a la hora de evaluar los procesos oxidativos aeróbicos y anaeróbicos, logrando cuantificar la transferencia de calor entre la piel y el ambiente (Kenny et al., 2017).

1.3.1.2. Calorimetría indirecta

La cuantificación del gasto energético por medio de métodos indirectos tiene sus bases en los procesos de degradación de sustratos oxidativos (Cramer & Jay, 2019). La calorimetría indirecta es el estándar de referencia en los centros de salud para cuantificar el gasto energético por medio de la determinación de gases como el O_2 y CO_2 (Blundell et al., 2012; Mtaweh et al., 2018; Tatuco Babet et al., 2016; Zusman et al., 2019). La determinación indirecta del gasto energético es aplicada en investigaciones y usada frecuentemente debido a sus múltiples beneficios, el equipamiento es menos costoso y además es posible adaptarlo a otros entornos de evaluación (Levine, 2005).

La calorimetría indirecta tiene su base en ecuaciones de degradación de grasas, carbohidratos y proteínas, de esa manera llegar a extrapolar el gasto energético

usando las bases de la utilización de oxígeno al degradar alimentos y su producto de desecho que es el CO₂ (Wilson, 2013).

La propuesta respecto a la producción de calor total en el cuerpo humano se representó de la siguiente manera; producción de calor [kcal] = $3,9 \times \text{VO}_2 \text{ [L]} + 1,11 \times \text{VCO}_2 \text{ [L]}$. (Por lo cual se consideró que la determinación del gasto de energía era posible medirlo por medio de la utilización de oxígeno y la liberación de CO₂ del organismo (Webster, 1986; Weir, 1990).

Los métodos utilizados para la determinación indirecta del gasto energético corresponden a la cuantificación de gases como el O₂ consumido para los procesos metabólicos y el CO₂ excretado como desecho del mismo proceso de oxidación de sustratos (Kien & Ugrasbul, 2004). El cociente respiratorio corresponde a la relación entre la cantidad de O₂ consumido y de CO₂ generado producto de la oxidación de sustratos, y por esta vía es posible estimar el gasto energético (Vargas, 2011). Es por cuanto que esta relación existente entre la cuantificación de gases y el gasto energético obtenido ha sido el *gold standard* de los procesos indirectos debido a su fiabilidad y validez (Esteves de Oliveira et al., 2008). De igual forma utilizando este método indirecto se han desarrollado fórmulas predictivas, ampliamente utilizadas en la población mundial y que han utilizado algunas variables básicas como peso, estatura, sexo y edad (Weijs et al., 2008).

1.3.2. Gasto energético

El gasto energético total diario corresponde a la cantidad de energía necesaria para que el cuerpo humano pueda realizar las diversas acciones cotidianas ya sea en reposo o en actividad y pueda mantener el equilibrio entre gasto y consumo (Fuentes Servín et al., 2021; *World Health Organization* (1998).

Gran parte de los alimentos ingeridos es posible utilizar como energía para el funcionamiento de nuestro organismo, la energía que no se logra utilizar es transformada en desechos que se excretan por medio de los sistemas urinarios, digestivo y cardiovascular por medio de la transpiración (Lam & Ravussin, 2016).

Al referirnos a la cantidad de energía total diaria que se requiere para mantener las funciones fisiológicas es posible subdividir está en tres, encontramos el efecto calórico de los alimentos que hace alusión a la cantidad de energía necesaria para desdoblar e integrar a las células los sustratos como combustible y también para

retener como depósitos acumulables en distintas zonas corporales lo que corresponde aproximadamente a un 10% (*Institute of Medicine, 2005*).

Por otra parte, la tasa de actividad física que corresponde a la energía necesaria para realizar las diferentes actividades diarias y que va en función de la intensidad (*Alfonzo González et al., 2004; Levine, 2004*). La tasa de actividad física representa cerca del 15 a 30% del gasto en sujetos que no realizan actividad física y de cerca del 50% en personas que realizan actividad física o deporte (*Levine, 2004*).

Por último, se encuentra el gasto energético en reposo (GER) que corresponde a la cantidad de energía necesaria para mantener las funciones fisiológicas en reposo.

1.3.2.1. Gasto energético en reposo (GER)

El GER se refiere a la energía necesaria para mantener las funciones fisiológicas de los sistemas corporales en reposo completo y representa un 70 a 75% del gasto energético total en personas físicamente inactivas, por lo cual viene a ser el elemento de mayor preponderancia en la cantidad de energía diaria y también en la regulación de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las demandas fisiológicas (*Buchholz et al., 2001; Hume et al., 2016; Ravussin & Bogardus, 1992; Ravussin et al., 1986*). El GER es una variable que no considera el efecto termogénico de los alimentos ni la actividad física (*Hall & Guo, 2017*).

Estos procesos termogénicos son posibles de evaluar y cuantificar, lo que ha permitido establecer las relaciones que presentan con el GER (*Heymsfield, 2018; Müller et al., 2018*). Por otra parte, los niveles de composición corporal y específicamente la estrecha relación de la masa libre de grasa viene a ser el mayor determinante en las variaciones del GER y son explicativas en alrededor del 70% de las diferencias, otros como el sexo, la enfermedad, la etnia y la edad también contribuyen a esas variaciones (*Weekes, 2007; Hall & Guyton, 2016; Weyer et al., 1999*).

El GER generalmente se evalúa en termoneutralidad donde el evaluado se encuentra en posición supino, sin movimiento, y considerando al menos 4 horas después de la última comida (*McArdle et al., 2010*). El cumplimiento riguroso de las condiciones de medición, que incluye asegurarse de que los sujetos eviten el ejercicio, las situaciones estresantes o los estimulantes a intervalos definidos antes de la prueba, garantizará la calidad de los datos recopilados (*Comper et al., 2006*).

Sin embargo, con objeto de minimizar posibles errores de estimación, el método requiere unas estrictas condiciones de medida (De la Cruz Marcos et al., 2015; Frankenfield et al., 2005).

Aunque el GER se puede medir con diferentes métodos la complejidad de estas herramientas, lo costoso del calorímetro, el tiempo para realizar las evaluaciones y la falta de personal calificado, limitan su aplicación en la práctica clínica. (Blundell et al., 2012; Harris & Benedict, 1919; Pinheiro Volp et al., 2011; Shaneshin et al., 2011; Weijs & Vansant, 2010).

Por otra parte, a pesar de los grandes avances que ha sufrido la técnica calorimétrica indirecta, en la actualidad cuando se carece de equipos de gases para determinar gasto energético, el método más utilizado en la práctica clínica para determinar el GER son las ecuaciones predictivas (Bzikowska Jura et al., 2020; De la Cruz Marcos et al., 2015; Frankenfield et al., 2005; Karlsson et al., 2017; Kruizenga et al., 2016; Esteves de Oliveira., 2008).

1.3.2.2. Fórmulas predictivas gasto energético en reposo (GER)

Las fórmulas predictivas del GER son ampliamente utilizadas en la práctica clínica para determinar el consumo de energía diario, para proporcionar los requerimientos energéticos a enfermos (adaptar la ingesta nutricional) y también para comparar con el GER medido por calorimetría indirecta (Carrasco et al., 2002; Fuentes Servín et al., 2021; Harris & Benedict, 1919; Jesús et al., 2015). Las fórmulas de estimación del GER han sido fundamentales a la hora de establecer los requisitos energéticos (Thom et al., 2020). Si bien las fórmulas predictivas en algunas ocasiones han subestimado o sobreestimado el GER en cerca de unas 200 kilocalorías son sin duda la forma más utilizada por lo dietistas (Spears., 2009). La fórmula predictiva de Harris y Benedict (1918), ha sido la más utilizada y se ha determinado que presenta cerca de un 15% de sobreestimación de la tasa metabólica basal, así como también en el GER (Ruiz de la Fuente & Rodríguez, 2014). En la tabla 3 se observan algunas fórmulas de estimación del GER utilizadas en hombres, como las de Henry (2005), la de Mifflin et al. (1990), la de Owen (1988) la de Schofield (1985), la de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Organización Mundial de la Salud y Universidad de Naciones Unidas (FAO/WHO/UNU, 1985), la de Harris & Benedict

(1918) y, esta última fórmula (Harris & Benedict, 1918), que fue modificada por Roza & Shizgal (1984).

Tabla 3. Fórmulas predictivas del gasto energético en reposo (GER).

AUTOR	FÓRMULA
Henry, 2005	Edades 18–30 y: $(14,4 \times \text{Peso (kg)}) + (313 \times \text{Altura (m)}) + 113$ Edades 30–60 y: $(11,4 \times \text{Peso (kg)}) + (541 \times \text{Altura (m)}) - 137$
Mifflin et al, 1990	$(10 \times \text{Peso (kg)}) + (6,25 \times \text{Altura}) - (5 \times \text{Edad}) + 5$
Owen, 1988	$879 + 10,2 \times \text{Peso (kg)}$
Schofield, 1985	Edades 18–30 y: $(0,063 \times \text{Peso (kg)}) + 2,896/4,184 \times 1000$ Edades 30–60 y: $(0,048 \times \text{Peso (kg)}) + 3,653/4,184 \times 1000$
FAO/WHO/UNU, 1985	Edades 18–30: $(15,3 \times \text{Peso (kg)}) + 679$ Edades 30–60: $(11,6 \times \text{Peso (kg)}) + 879$
Harris & Benedict, 1918	$66,4730 + (13,7516 \times \text{Peso (kg)}) + (5,0033 \times \text{Altura (cm)}) - (6,7550 \times \text{Edad})$
Roza & Shizgal, 1984 (a partir de Harris & Benedict, 1918)	$88,362 + (13,397 \times \text{Peso (kg)}) + (4,799 \times \text{Altura (cm)}) - (5,677 \times \text{Edad})$

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura; WHO, Organización Mundial de la Salud; UNU, Universidad Naciones Unidas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

El objetivo principal de este proyecto es relacionar la emisión termográfica de sujetos sanos normopeso con variables antropométricas relacionadas con riesgo cardiometabólico, masas corporales y gasto energético en reposo (GER) y establecer un modelo predictivo para el GER.

2.2. Objetivos específicos

1.- Determinar si existe relación entre la temperatura (T^a) medida por termografía infrarroja (TI), de las zonas corporales utilizadas para medir los pliegues, con el grosor de los pliegues utilizados en antropometría para la determinación de la composición corporal, así como también con el gasto energético en reposo (GER).

2.- Determinar la relación existente entre diferentes variables antropométricas asociadas al riesgo cardiometabólico y la temperatura (T^a) en la superficie de la piel medida por termografía por infrarrojo (TI).

3.- Generar una ecuación predictiva que permita estimar el gasto energético en reposo (GER) en hombres sanos, entre 18 y 50 años, a partir de la temperatura superficial de la piel medida por termografía por infrarrojo (TI) de zonas utilizadas en antropometría y parámetros antropométricos.

Para lograr estos objetivos se realizaron tres proyectos.

A) Primer estudio: Un estudio piloto observacional prospectivo transversal, con un grupo 24 sujetos, hombres, sanos, para mapear las características termográficas de la superficie corporal y su relación con las variables analizadas de la composición corporal y del GER con equipo de gases respiración a respiración por calorimetría indirecta.

B) Segundo estudio: Un estudio observacional prospectivo transversal con un grupo de 64 sujetos, hombres, sanos, para obtener las características termográficas por zonas de pliegues, valores de composición corporal por antropometría y valores de GER con equipo de gases respiración a respiración, que permitan determinar relaciones con las variables asociadas de riesgo cardiometabólico y sentar las bases para una ecuación predictiva de GER.

C) Tercer estudio: Se desarrolla a partir de los datos recogidos en el segundo estudio, para estructurar una fórmula que permita la estimación del GER en reposo. Se desarrolla una fórmula a partir de los datos obtenidos mediante regresión lineal múltiple, utilizando como criterio analítico el R^2 .

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño experimental

En este proyecto se realizó un primer estudio piloto para determinar las posibles relaciones entre la T^a superficial de la piel y el GER, lo que dio origen al primer artículo científico publicado (Barraza Gómez et al., 2021). Luego y debido a que el volumen de población no logró ser la esperada para alcanzar el desarrollo del objetivo número tres, fue necesario ampliar la población. Para ello, se consideró una población de sujetos con un rango de edad e IMC más amplio. Este segundo estudio (Barraza et al., 2022) permitió el desarrollo de una fórmula predictiva que condujo a cumplir el objetivo tres de esta investigación.

En este estudio, todos los datos se recogieron en una condición medioambiental controlada; tanto para las mediciones de TI, como para las evaluaciones antropométricas y del GER. En la muestra evaluada sólo se incluyeron aquellos sujetos que habían mantenido una estabilidad de su peso en los tres meses previos a la evaluación. Se excluyeron a los sujetos que habían consumido fármacos o suplementos alimenticios que favorecieran la pérdida de peso, por inhibición del apetito o por aumento del metabolismo. También se excluyeron a los que hubieran consumido drogas que pudieran afectar la T^a o la función cardiovascular.

A todos los sujetos se les explicó el procedimiento, aclarando las dudas que fueron surgiendo. Finalizada esta fase, los sujetos firmaron una carta de consentimiento en donde se encontraba descrito la totalidad del procedimiento experimental. Finalmente, como no se realizaron recogidas de muestras biológicas, se siguieron todas las recomendaciones descritas en la declaración de Helsinki para estudios con seres humanos y, el protocolo experimental, fue valorado positivamente por la Comisión Académica del Programa de Doctorado.

3.2. Muestra

Primer estudio. En el primer estudio participaron 24 sujetos hombres, con una edad de $33,9 \pm 8,7$ años; una masa corporal de $85,8 \pm 9,7$ kg, una estatura de $172,5 \pm 6,1$ cm, sanos, militares, no fumadores, pertenecientes a una base aérea de Chile (Tabla 4). Además, sólo se aceptaron a los voluntarios que no tenían antecedentes clínicos que pudieran, de algún modo, afectar su peso corporal, el metabolismo y, por tanto, los propios resultados.

Segundo estudio. En el segundo estudio se incorporaron 64 sujetos hombres, con una edad de $26,4 \pm 7,8$ años, una masa corporal de $76,1 \pm 13,3$ kg, una estatura de $171,3 \pm 7,2$ cm, sanos, no fumadores y pertenecientes a la región de Valparaíso, Chile (Tabla 10).

Tercer estudio. Para el desarrollo de la fórmula se utilizaron los mismos sujetos del estudio 2 (64 hombres, $26,4 \pm 7,8$ años de edad; masa corporal de $76,1 \pm 13,3$ kg; estatura de $171,3 \pm 7,2$ cm, sanos, no fumadores, pertenecientes a la región de Valparaíso, Chile).

3.3. Material y método

Los sujetos visitaron dos veces el laboratorio. En la primera visita se realizó un examen físico-médico, junto a una historia clínica de cada uno de los colaboradores. Se comunicaron y explicaron todos los procedimientos a los que los sujetos iban a ser expuestos, así como las indicaciones que deberían seguir los días previos a las evaluaciones, como: a) mantener sus actividades cotidianas y, 48 horas previas, abstenerse de ejercicio intenso; b) de la prohibición de fumar y de consumir alcohol, cafeína, así como alimentos y/o suplementos (líquidos, geles o sólidos) de características diuréticas, excitantes o fármacos; y, c) no aplicar sobre la piel ningún tipo de ungüentos, cremas o cosméticos. Se les solicitó también que llegaran en ayuno (8 horas) y que durmieran una media de 8 horas. Finalizada esta primera sesión y para evitar los posibles efectos de ansiedad durante las evaluaciones, se les familiarizó con el equipo de medición de consumo de O_2 . En la segunda visita al laboratorio, la primera evaluación fue siempre la del GER y luego la de TI, ambas en una misma sala. Luego, los sujetos pasaban a un segundo laboratorio en el que se realizaron las medidas antropométricas. Se tuvo siempre la preocupación de mantener ambas salas aclimatadas entre los $20\text{--}23^\circ\text{C}$ (Ring & Ammer, 2012; Compher et al., 2006) y todos los sujetos permanecieron 15 minutos sentados como parte del proceso de aclimatación corporal y de reposo previo (Jalil et al., 2019). Para poder mantener la T^a de las salas, se utilizaron calefactores por radiación que se separaron con un pequeño panel y que se apagaban durante la recogida de TI; la humedad relativa del aire se mantuvo entre el $60\text{--}70\%$. Es importante considerar que para obtener datos confiables del gasto energético es necesario que los sujetos se encuentren en una situación de estado estable (Mtaweh et al., 2018).

3.3.1. Procedimiento Antropométrico

De manera general, se recogieron los datos de peso corporal, estatura y de la talla sentado. A partir de estos dos primeros datos se obtuvo el IMC que fue obtenido al dividir el peso corporal (en kilogramos) por la estatura (en metros al cuadrado). Además, se evaluaron los 6 pliegues cutáneos o panículos adiposos utilizados en los cálculos; el pliegue tricípital, el subescapular, el supraespinal, el abdominal, el muslo medio y el de la pantorrilla. También, se evaluaron los 10 perímetros necesarios para los cálculos, como el de cabeza, de brazo relajado, de brazo contraído, de antebrazo, de tórax, de cintura, de cadera, de muslo máximo, de muslo medio y de pantorrilla) y los 6 diámetros corporales que también fueron utilizados en los cálculos, como el biacromial, el tórax transverso, el tórax anteroposterior, el bi-iliocrestidio, el humeral y el femoral. Para asegurar una medida correcta, un antropometrista certificado (nivel II) realizó el protocolo completo de las medidas, según la estandarización de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK, *International Society for the Advancement of Kinanthropometry*) (Stewart et al., 2011). Utilizando los datos anteriormente recogidos, se calcularon los porcentajes de la masa muscular (MM%), de la masa adiposa (MA%), de la masa piel (MP%), de la masa ósea (MÓ%) y de la masa residual (MR%), utilizando siempre el método de estimación de la composición corporal de Kerr (Kerr, 1988). Finalmente, se calcularon los indicadores antropométricos del PC, ICC y el ICE.

Durante la evaluación un miembro del equipo, con experiencia en las técnicas de medición y de dictado de los valores antropométricos, se dedicó a registrar los datos, permitiendo mayor fluidez, evitando errores de transcripción y asegurando la secuencia correcta de los sitios de medida requeridos. También para minimizar los errores de la medición, se trabajó en una instrucción previa con los miembros del equipo investigador y donde la lectura debía ser fuerte, clara y de un dígito a la vez. El peso corporal, como toda masa, fue medida en kilogramos. La estatura fue evaluada con un estadiómetro, desde la parte más superior de la cabeza (en el plano de Frankfort) hasta el apoyo bipodal. La talla sentado se evaluó con el sujeto sentado en un cajón antropométrico (de 40 cm de altura) y se midió hasta la parte más superior de la cabeza, también en el plano de Frankfort, utilizando el estadiómetro.

En cuanto a la evaluación de los pliegues cutáneos, diámetros y perímetros, se realizaron marcaciones antropométricas previas sobre las referencias anatómicas específicas descritas en el texto Antropométrica (Norton & Olds, 1996). Los pliegues se evaluaron en forma sucesiva desde la parte más superior a la más inferior del cuerpo humano. Las medidas se realizaron todas en el lado derecho del sujeto, considerando que el caliper había sido previamente calibrado, sujetando el evaluador el pliegue de piel de la zona a medir y dejando fuera el tejido muscular para sólo comprimir el tejido piel y el tejido adiposo subcutáneo adherido. La medición fue registrada siempre a los 2 segundos de compresión producida por el caliper.

Los pliegues evaluados fueron: el tríceps, que fue recogido en la zona posterior de la zona tricipital, en el punto medio entre la marca acromial y de la cabeza del radio; el pliegue subescapular, que fue evaluado identificando el ángulo inferior escapular medido de forma oblicua; el pliegue supraespinal, que fue evaluado en el punto que da la intersección de la línea axilar sobre la espina iliaca anterosuperior y la línea horizontal de la cresta iliaca proyectada hacia anterior; el pliegue abdominal, que fue evaluado a cinco centímetros del borde lateral del ombligo; el pliegue del muslo frontal, que fue evaluado en el punto medio entre las referencias del pliegue natural de la ingle y el borde superior de la patela, para ello el sujeto se encontraba sentado y traccionando con sus palmas la piel del muslo para ayudar a que el evaluador pudiese sólo cuantificar la piel y el tejido subcutáneo adyacente, realizando la medida en el eje longitudinal del muslo (Norton & Olds, 1996); y, por último, el pliegue de la pantorrilla o pierna medial, que fue medido en la cara medial de la pantorrilla, con el sujeto apoyando su pie sobre un cajón y rodilla a 90°, con la finalidad de relajar la extremidad y hacer más accesible tanto la evaluación como el registro del pliegue. En cuanto a los diámetros óseos estos fueron evaluados con antropómetros pequeños y grandes, utilizando el apoyo sobre los dorsos de las manos para luego ajustar los límites sobre los puntos óseos, realizando compresión. Con este procedimiento se midieron los diferentes diámetros: el diámetro biacromial, que corresponde a la distancia entre los extremos más laterales de ambos procesos acromiales; el diámetro de tórax transversal, que corresponde a la evaluación a la altura de la marca mesoesternal de la distancia entre ambas fosas axilares, registrándose el valor en el momento en que el sujeto realizaba una espiración normal; el diámetro de tórax anteroposterior que se realizó con el antropómetro grande, desde el costado del

sujeto, midiendo la distancia entre la zona medial del cuerpo del esternón y la apófisis espinosa de la vértebra equivalente en altura; el diámetro biiliocrestideo, que se evaluó entre las zonas laterales más prominentes de ambas crestas iliacas; el diámetro biepicondilar del húmero, que fue medido con el brazo relajado y en flexión de 90°, desde los extremos más distales de ambos procesos laterales epicondilares del húmero; y, por último, el diámetro biepicondilar del fémur, que se realizó con el sujeto sentado, rodilla a 90°, con el antropómetro pequeño, entre las distancias más extremas de ambos cóndilos del fémur (Norton & Olds, 1996). La evaluación de los perímetros fue desarrollada con una cinta de metal inextensible, se utilizó la técnica de las manos cruzadas y desde cefálico a podal para facilitar la continuidad de la evaluación y minimizar el error en la sujeción de la cinta. Los perímetros evaluados fueron: el de la cabeza, en el que se midió el perímetro de la cabeza en un plano horizontal, en la parte superior de ambas cejas; el brazo relajado, que fue evaluado desde lateral, con el brazo relajado, en el punto medio entre el acromion y la cabeza del radio; el perímetro de brazo contraído, que se evaluó con el codo en flexión de 90°, durante máxima contracción del bíceps, sobre la zona de mayor volumen; el perímetro de antebrazo, que se realizó en la zona de mayor volumen de ese segmento, en el tercio más proximal, con brazo en leve elevación anterior y la mano en supinación; el perímetro de tórax o mesoesternal, que corresponde a la medida a la altura de la zona mesoesternal, medida que se realiza al finalizar una espiración normal; el PC, que se realiza en la zona más delgada que se encuentra entre las últimas costillas y la pelvis; el perímetro de cadera, que corresponde a la zona más abultada de los glúteos y es medida desde lateral; el perímetro de muslo máximo, que se mide a 1 cm por debajo del pliegue glúteo; el perímetro de muslo medio, que se evalúa en la distancia media entre el trocánter y la meseta tibial lateral; y, por último, el perímetro de la pierna, que corresponde al mayor volumen de la zona del músculo gastrocnemio (Norton & Olds, 1996).

En las figuras 2, 3, 4, 5 y 6 se observan las masas fraccionales corporales descritas anteriormente y las fórmulas desarrolladas por Deborah Kerr (Kerr, 1988).

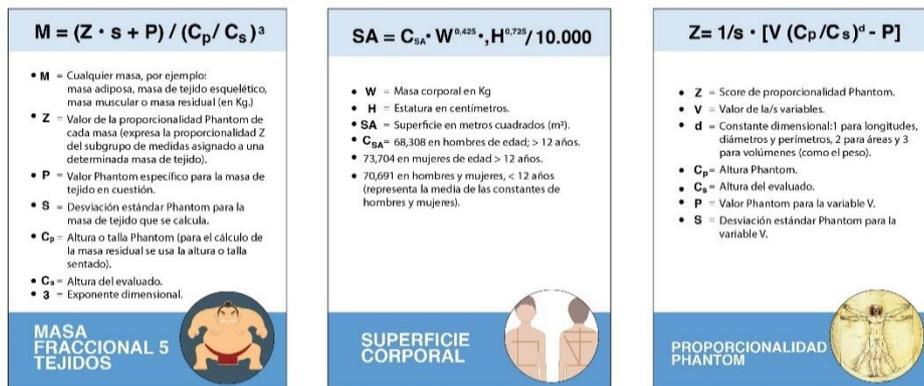


Figura 2. Fórmulas para determinar masa fraccional 5 tejidos, superficie corporal y proporcionalidad Phantom, a partir de los datos de Kerr (1988).

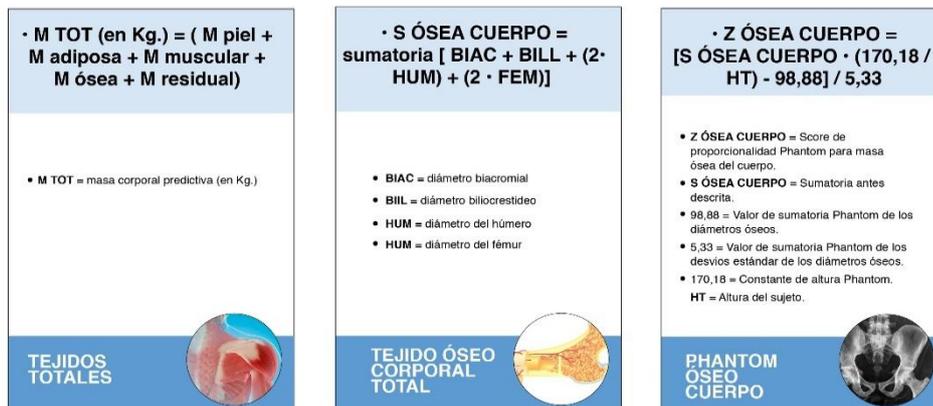


Figura 3. Fórmulas para determinar tejidos totales, tejido óseo corporal total y Phantom óseo cuerpo, a partir de los datos de Kerr (1988).

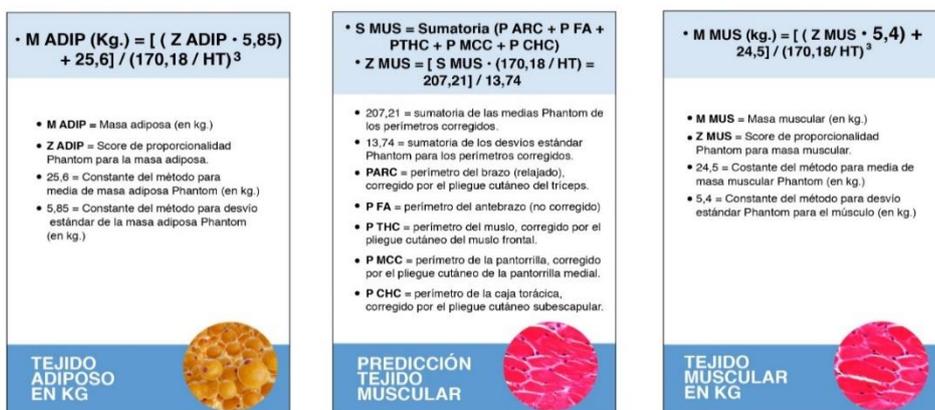


Figura 4. Fórmulas para determinar tejido adiposo en kilogramos, predicción tejido muscular y tejido muscular en kilogramos, a partir de los datos de Kerr (1988).

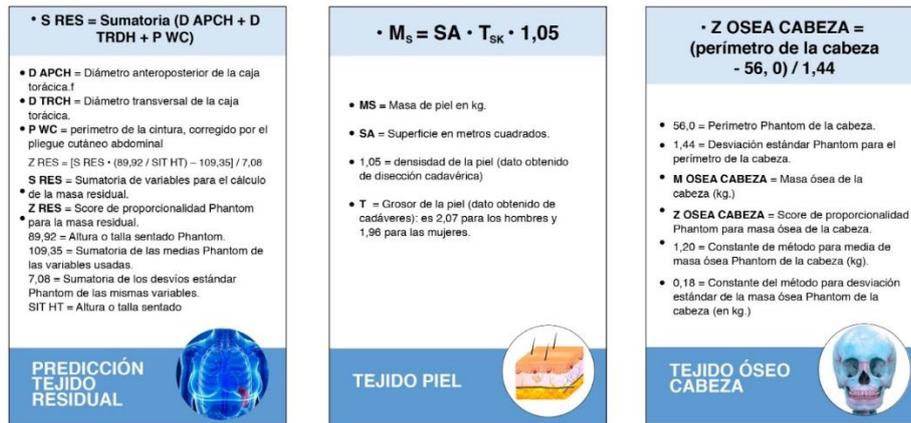


Figura 5. Fórmulas para determinar tejido residual, tejido piel, tejido óseo cabeza, a partir de los datos de Kerr (1988).



Figura 6. Fórmulas para determinar tejido óseo corporal total, predicción tejido adiposo, tejido residual en kilogramos, a partir de los datos de Kerr (1988).

3.3.2. Termografía por infrarrojo (TI)

Para las mediciones de TI los sujetos debieron de pasar una fase de aclimatación, durante 15 minutos, en posición sentado, sobre un asiento sin respaldo. Finalizado este período de aclimatación, se recogieron las imágenes de TI en cuatro posiciones (frente, espalda, en posición de marcha hacia la derecha y hacia la izquierda) para permitir enfocar las zonas o regiones correspondientes a los pliegues cutáneos que fueron utilizados en la medición de la composición corporal (Figura 7 y 8).

Para la recogida de estas imágenes los sujetos evaluados se encontraban sólo con ropa interior y en las posiciones anatómicas señaladas (Figura 3.6). La cámara termográfica se ubicó siempre en una posición perpendicular a la zona o región

evaluada y manteniendo una distancia entre 95–100 cm de la superficie de la piel (Fernández Cuevas et al., 2015).

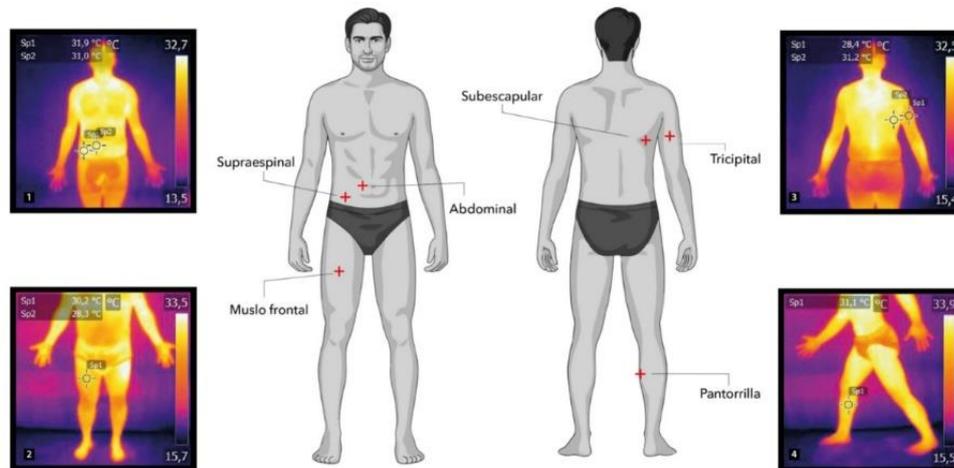


Figura 7. Zonas de identificación pliegues cutáneos y sitios termográficos analizados (Barraza et al., 2021).

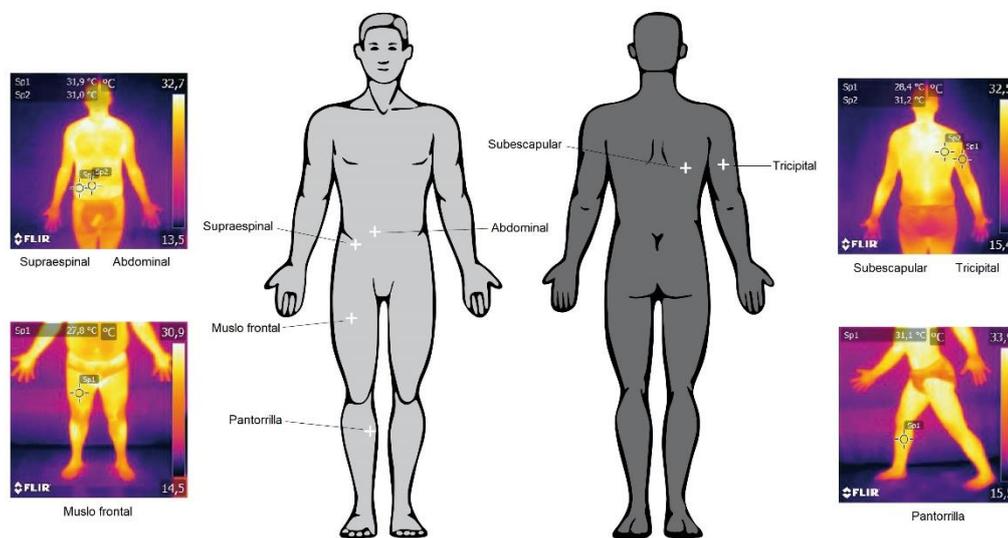


Figura 8. Zonas esquemáticas de identificación pliegues cutáneos y sitios termográficos (Barraza et al., 2022)

3.3.3. Gasto energético en Reposo (GER)

Para la evaluación del GER se utilizó un ergoespirómetro, de medición respiración a respiración, portátil, modelo METAMAX[®] 3B (Cortex-Medical, Leipzig, Germany). La calorimetría indirecta de circuito abierto utilizada tenía un alcance telemétrico de más de 1000 metros (telemetría bidireccional con tecnología Bluetooth[®]), aunque en todas las mediciones nunca se alejó más de dos metros el analizador de gases. Cada día, antes de iniciar las mediciones del GER, se calibró el equipo, considerando gases, volumen, humedad y presión barométrica (Gilder et al., 1967; Macfarlane, 2001). Previo al inicio de la evaluación, cada sujeto permaneció recostado en posición supina en una camilla, controlando su sensación térmica, bajo condiciones de reposo, relajados y despiertos. El equipo Cortex por medio de su sistema inalámbrico y con conexión a una banda de pecho determinó la frecuencia cardiaca de reposo. El sujeto estuvo en reposo 10 minutos antes de la prueba (Blasco Redondo, 2015; Compher et al., 2006). Para cada recogida de muestra, se rechazaron los primeros 5 minutos iniciales (Oliveira et al., 2014) y una vez que el sujeto hubiera alcanzado un estado estable (Mtaweh et al., 2018), se registró el consumo de los gases durante 20 min. Se consideró que el sujeto había alcanzado un grado de estabilidad del consumo de gases cuando, en un período de 5 minutos, el VO_2 y VCO_2 promedio por minuto no se modificó más de un 10% y en el que el cociente respiratorio promedio no se modificó más de un 5% (Compher et al., 2006; Mtaweh et al., 2018). Cabe señalar que la sala era ventilada, durante un minuto, cada 2 evaluaciones del GER.

3.3.4. Modelo predictivo para gasto energético en reposo (GER)

Para poder cumplir con el objetivo tercero, de la investigación, y establecer un modelo predictivo de GER a partir de variables antropométricas y termográficas, se utilizó la muestra de 64 sujetos del segundo estudio. En este grupo, con un rango más amplio de edades, se evaluaron las distintas zonas de los pliegues corporales, de las relaciones con la T^a superficial de la misma zona y con el GER. Para ello, se probaron estadísticamente las variables utilizadas en la investigación (Peso corporal, Diámetro de tórax transverso, Diámetro femoral, Temperatura (T^a) del pliegue subescapular, Temperatura (T^a) del pliegue supraespinal, Temperatura (T^a) del pliegue de la pantorrilla, Temperatura (T^a) del pliegue del tríceps, Temperatura (T^a) del pliegue abdominal, y Temperatura (T^a) del pliegue de muslo) permitiendo una mejor

predicción del GER, en Kcal/día. Todas estas variables fueron probadas estadísticamente en el modelo, por lo que no hubo colinealidad con las variables seleccionadas; ya que se observó certeza estadística de que no había otras variables que pudiesen tener importancia o significación para ajustar el modelo de estimación del GER, en Kcal/día. El análisis utilizado para el modelo fue de regresión lineal múltiple.

El modelo cumplió con el criterio de normalidad de los residuos, no se observó ningún sujeto de la muestra fuera de rango, tampoco hubo colinealidad entre las variables del modelo. La posibilidad de que las estimaciones del modelo de regresión sean inestables es rechazada, por lo que el modelo de regresión múltiple estimado cumple las condiciones de aplicación.

En la tabla 17 figuran los coeficientes B que permitieron la ecuación seleccionada:

$$\text{Modelo Y} = -715,11 + (1,39 * \text{Peso Corporal}) + (65,36 * \text{D-Tórax-T}) + (106,34 * \text{D-Femoral}) + (-62,64 * \text{Pl-Subescap-T}^a) + (-3,81 * \text{Pl-Supraespinal-T}^a) + (-53,84 * \text{Pl-Pantorrilla-T}^a) + (33,66 * \text{Pl-Tríceps-T}^a) + (31,12 * \text{Pl-Abdominal-T}^a) + (43,61 * \text{Pl-Muslo-T}^a)$$

Donde:

D-Tórax-T = Diámetro de tórax transverso, en cm.

D-Femoral = Diámetro femoral o biepicondilar, en cm.

Pl-Subescap-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue subescapular, en °C.

Pl-Supraespinal-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue supraespinal, en °C.

Pl-Pantorrilla-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue de la pantorrilla, en °C.

Pl-Tríceps-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue del tríceps, en °C.

Pl-Abdominal-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue abdominal, en °C.

Pl-Muslo-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue del muslo, en °C.

3.3.5. Preparación del laboratorio

Para la realización de la investigación se utilizaron 2 laboratorios, uno para la realización de las evaluaciones termográficas y de GER, el cual estaba temperado entre 20–23°C, con una camilla y una zona de pared recubierta en tela color negro opaco (zona vertical para la recogida de imágenes térmicas en posición anatómica). La opacidad de las superficies utilizadas era importante para evitar la reflexión de la luz. También se bloqueó la entrada de luz exterior, manteniendo iluminación eléctrica que era apagada durante las mediciones y luego se encendía una luz led

de baja intensidad, que se posicionaba en dirección opuesta al sujeto, manteniendo unas óptimas condiciones para la recogida de las imágenes termográficas (Derén & Bauer, 2014).

El segundo laboratorio de igual forma se encontraba a una T^a entre 20 y 23°C, contaba con una camilla, un escritorio para que el planillero registrara la información entregada por el evaluador y todo el equipo antropométrico.

3.3.5.1. Instrumentos para la evaluación antropométrica

Balanza electrónica: Funcionamiento con energía eléctrica, rango de carga de 0 a 300 kg, con 20 g de sensibilidad en la medida, Marca Jadever (JWI 3000[®], Taiwan).

Estadiómetro: Para la medición de la estatura y talla sentado se utilizó un estadiómetro Seca 213 (Seca, Alemania). Con escala en milímetros y centímetros en el eje vertical, tope superior para ser localizado en el *vertex* de la cabeza.

Calibre de pliegues cutáneos: Los pliegues cutáneos fueron medidos con un calibre Harpenden, modelo 0120 (Harpenden[®], England). ISAK ha utilizado como instrumento de criterio o referencia los calibres Harpenden. (Norton & Olds, 1996) Los fabricantes de estos calibres certifican una compresión de 10 gr/mm² en el momento de salir de fábrica. Tienen un rango hasta aproximadamente 50 mm, en divisiones de 0,2 mm, pero podría interpolarse de manera precisa hasta lo más cercano a 0,1 mm.

Cinta métrica: Se utilizó una cinta antropométrica, de acero, 5 mm de ancho y 200 cm de largo, flexible y retráctil para medir los perímetros (Rosscraft[®], USA) (Fotografía 1).



Fotografía 1. Cinta métrica (Rosscraft[®], USA).

Antropómetros: Se utilizaron dos calibres deslizantes (corto y largo), para realizar las mediciones antropométricas (Fotografías 2 y 3), modelo Gaucho (Rosscraft®, USA).



Fotografía 2. Antropómetro corto para mediciones antropométricas, modelo Gaucho (Rosscraft®, USA).



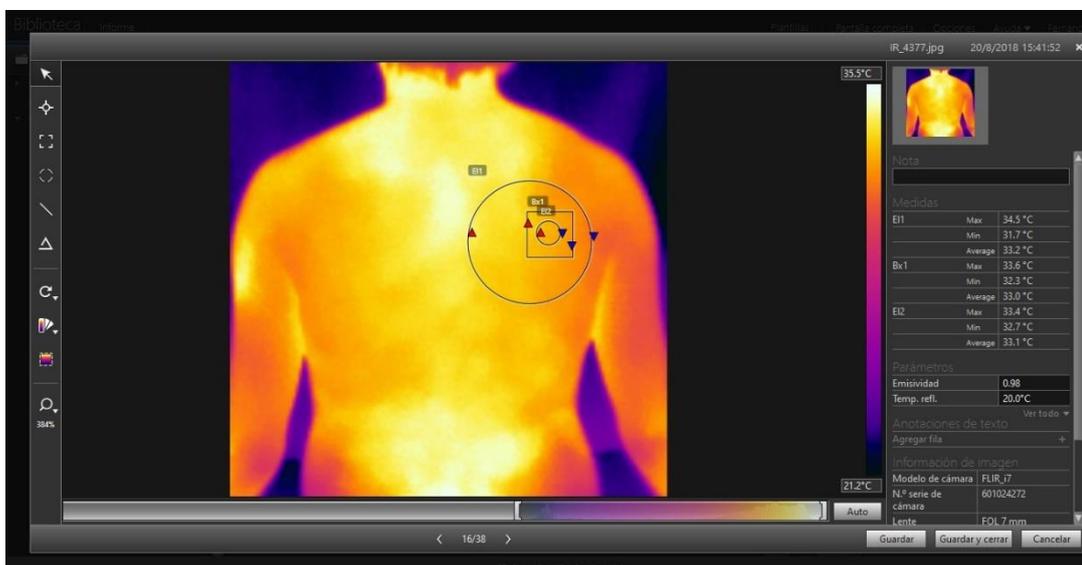
Fotografía 3. Antropómetro largo para mediciones antropométricas, modelo Gaucho (Rosscraft®, USA).

3.3.5.2 Instrumento para la evaluación termográfica

Cámara termográfica: Cámara termográfica Flir-i7 (Fotografía 4), con una lente $f = 6,8$ mm, programada para medición directa en unidades Celsius, con software interno 6.4.3, imagen mate, con una emisividad (ϵ) ajustada a 0,98, una calidad de imagen de 140 x 140 píxeles, un campo visual 29° (H) x 29° (V), y una sensibilidad térmica de 0,10°C. Se utilizó un software FLIR, tools+ (Fotografía 5), para el análisis de las imágenes termográficas (FLIR System, Oregon, USA).



Fotografía 4. Cámara termográfica (FLIR System, Oregon, USA).



Fotografía 5. Impresión de pantalla del software FLIR, tools+, utilizado para el análisis de imágenes termográficas.

3.3.5.3. Instrumentos para la evaluación del gasto energético en reposo (GER)

Analizador de gases: Se utilizó un ergoespirómetro portátil, de respiración a respiración, portátil, modelo METAMAX[®] 3B (Cortex-Medical, Leipzig, Germany). Ultraligero, con sistema móvil Breath-by-Breath con un peso de 580 g, con alcance telemétrico de más de 1000 metros (telemetría bidireccional con tecnología Bluetooth[®]), sistema de transporte en el pecho y la espalda (Fotografía 6). Control conveniente a través de Smart Control y computadora portátil o como batería independiente de 6 horas vida útil y 400 horas almacenamiento de datos en control de flujo dinámico constante (Fotografía 7). Para el proceso de calibración se utilizó una botella con gas de calibración con una mezcla de 5% de CO₂ y 15% de O₂- BAL

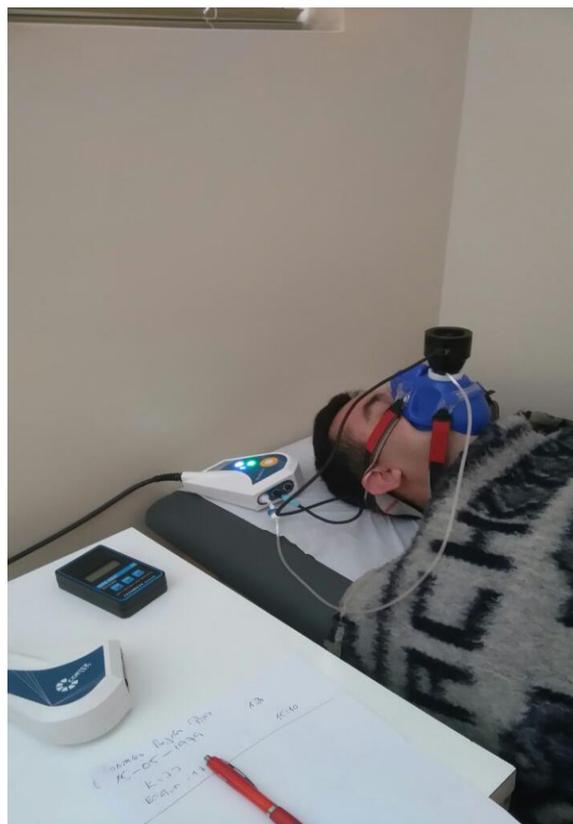
N₂, Cortex (Fotografía 9) Los sujetos utilizaron una máscara de tipo naso-bucal (Hans Rudolph, Kansas City, USA), conectada a una turbina y a una línea de muestra para la detección de los volúmenes de aire exhalado y de las concentraciones de gases (Fotografía 8).



Fotografía 6. Equipo de gases Cortex Metamax® 3B, utilizado en el estudio.



Fotografía 7. Equipo Cortex Metamax y software de evaluación.



Fotografía 8. Sujeto durante la evaluación con el equipo de gases Cortex Metamax.



Fotografía 9. Gas de calibración para el equipo Cortex Metamax.

3.3.5.4. Tratamiento estadístico

Tanto para la confección de los gráficos como para el análisis de los datos recogidos se utilizó el software GraphPad Prism 7. Todos los datos de las características generales de los sujetos, antropométricos y de TI, se muestran como promedio y desviación estándar. La prueba de Shapiro-Wilk se utilizó para analizar la normalidad de la distribución de los datos recogidos. Por lo que se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson para analizar las asociaciones entre las variables que mostraron normalidad. Para los índices de tejido muscular *versus* adiposo y muscular y el residual *versus* adiposo, porcentaje del tejido muscular y Σ -6p, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman. Para todas las relaciones, para ser consideradas estadísticamente significativas, se exigió un valor mínimo de $p < 0,05$.

Para la obtención de modelo predictivo del GER, las variables se describieron como media (desviación estándar) o mediana (percentil 5 – percentil 95), en función de la normalidad de su distribución (Kolmogorov-Smirnov). La fórmula que se desarrolló en el estudio, a partir de los datos de termografía y antropométricos, se obtuvo aplicando un modelo de MRM (Modelo de regresión múltiple), mediante regresión lineal múltiple. Se aplicó como criterio analítico el R^2 ajustado, con una significación estadística mínima de $p < 0,05$ y se utilizó el programa SPSS 22.0 para todos los análisis estadísticos.

4. RESULTADOS

4.1. Primer estudio

Las características generales y antropométricas de los sujetos estudiados (n = 24) se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Variables antropométricas y GER del primer estudio.

Variables	Promedio ± DE
Edad (años)	33,9 ± 8,7
Peso corporal (kg)	85,8 ± 9,7
Estatura (cm)	172,5 ± 6,1
Σ-6p (mm)	108,8 ± 45,5
IMC (kg/m²)	28,9 ± 3,4
FC (lat/min)	53,9 ± 9,6
PC (cm)	92,8 ± 8,3
ICC	0,91 ± 0,1
ICE	0,54 ± 0,06
MA (%)	27,5 ± 5,4
MM (%)	44,6 ± 4,1
MR (%)	13,1 ± 0,9
GER (Kcal/día)	2224 ± 294,6

Σ-6p, Sumatorio de 6 pliegues cutáneos; IMC, Índice de masa corporal; FC, Frecuencia cardíaca; PC, Perímetro de cintura; ICC, Índice cintura cadera; ICE, Índice cintura estatura; MA, Masa adiposa; MM, Masa muscular; MR, Masa residual; GER, Gasto energético en reposo; DE, Desviación estándar

En la tabla 5 se muestran los valores promedio de la masa adiposa (MA%), masa muscular (MM%), masa residual (MR%), masa ósea (MÓ%) y masa piel (MP%) por el método de cinco componentes de Kerr.

Tabla 5. Datos del fraccionamiento en 5 masas corporales.

Sujetos n = 24	MA%	MM%	MR%	MÓ%	MP%
Promedio	27,47	44,57	13,13	10,20	4,64
Mínimo	13,88	32,57	11,48	7,79	3,78
Máximo	42,70	55,28	14,79	12,10	5,43
± DE	5,44	4,13	0,98	1,08	0,40

MA, Masa adiposa; MM, Masa muscular; MR, Masa residual; MÓ, Masa ósea; MP, Masa piel; DE, Desviación estándar.

En la tabla 6 se observan los valores promedio de la T^a superficial de cada sitio anatómico utilizado para la evaluación de pliegues cutáneos.

Tabla 6. Temperaturas (T^a) de las zonas de pliegues corporales.

Sujetos n = 24	Temperatura de los Pliegues					
	Tríceps (°C)	Subescapular (°C)	Supraespinal (°C)	Abdominal (°C)	Muslo (°C)	Pantorrilla (°C)
Promedio	28,5	30,5	29,6	29,4	29,3	29,6
Mínimo	26,7	26,7	26,9	24,7	26,7	26,9
Máximo	31,8	34,2	33,1	33,5	32,2	31,2
± DE	1,14	1,88	1,71	2,24	1,52	1,24

DE, Desviación estándar.

En la tabla 7 se muestran los valores promedio de GER, por Kcal/día y por Kcal/día/kilogramos de peso corporal.

Tabla 7. GER promedio por día (Kcal/día) y por kg de peso (Kcal/día/kg).

Sujetos n = 24	GER (Kcal/día)	GER (Kcal/día/kg)
Promedio	2224,04	26,20
Mínimo	1608	18,05
Máximo	2908	36,10
± DE	294,69	4,31

GER, Gasto energético en reposo; VCO₂, Volumen de dióxido de carbono; VO₂, consumo de oxígeno; Kcal, Kilocalorías; Kg, Kilogramo; DE, Desviación estándar.

En las figuras 9, 10, 11, 12, y 13 se muestran, respectivamente, las correlaciones de la T^a de 6 pliegues con el Σ-6p, $r = -0,52$, $p = 0,084$ (Figura 9), la correlación de la T^a de 6 pliegues con la MA %, $r = -0,45$, $p = 0,0269$ (Figura 10), la correlación de la T^a de 6 pliegues con el índice cintura estatura, $r = -0,59$, $p = 0,0023$ (Figura 11), la correlación entre la T^a de 6 pliegues con el IMC, $r = -0,54$, $p = 0,054$ (Figura 12) y la correlación de T^a de 6 pliegues con el ICC, $r = -0,48$, $p = 0,0151$ (Figura 13).

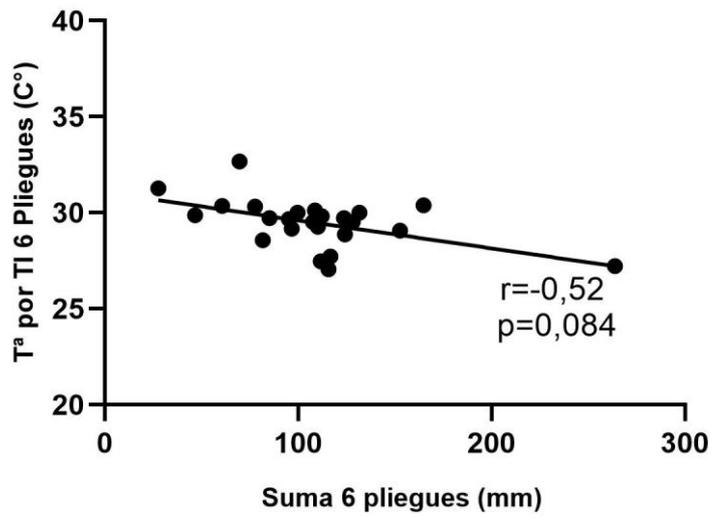


Figura 9. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el sumatorio de 6 pliegues (mm).

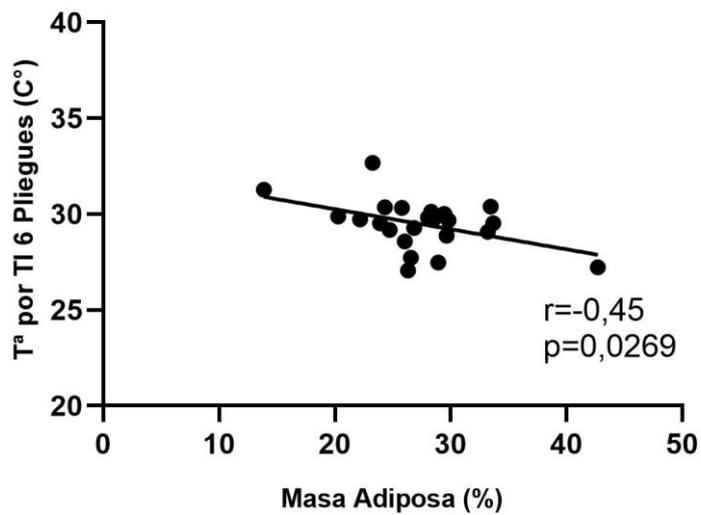


Figura 10. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con la MA (%).

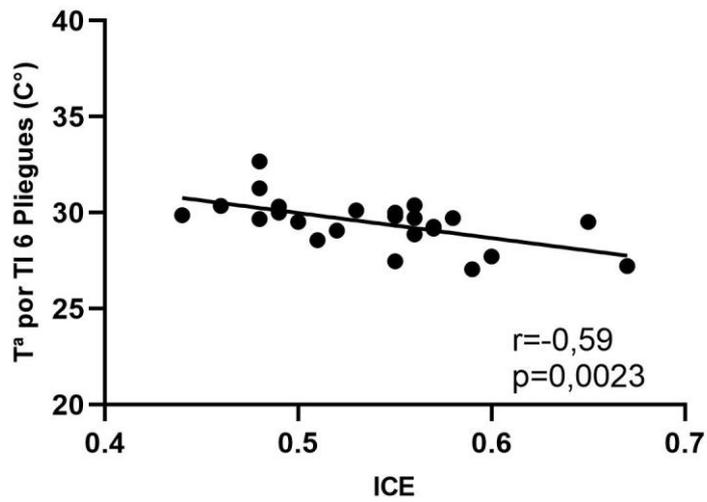


Figura 11. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el ICE.

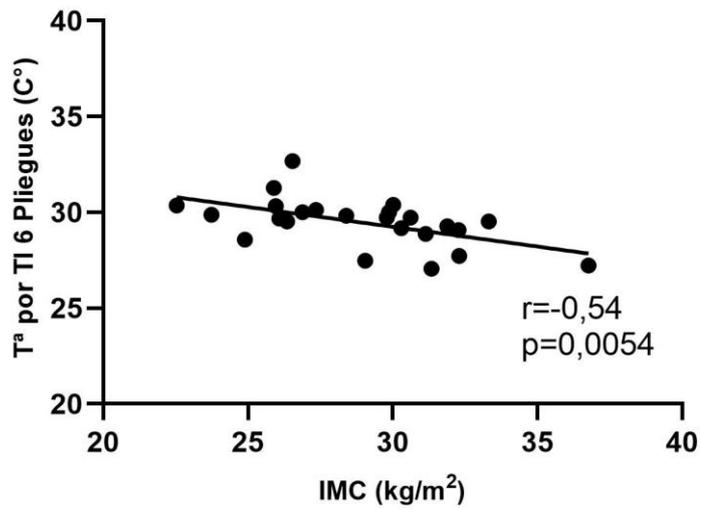


Figura 12. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el IMC.

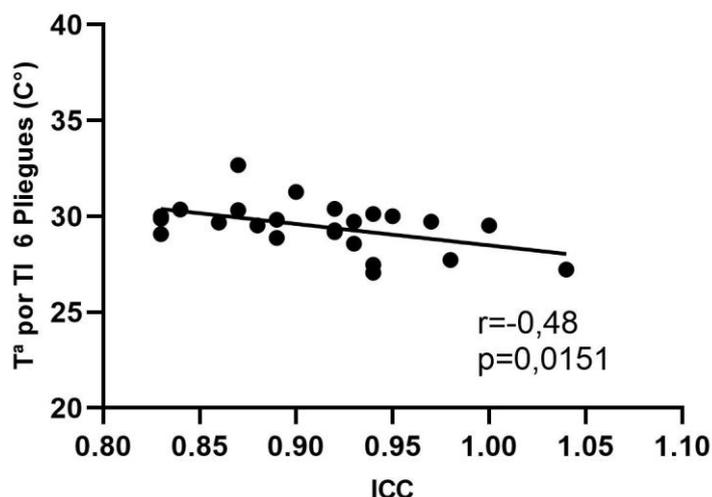


Figura 13. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el ICC.

Las correlaciones negativas ($p < 0,05$) más marcadas, entre la T^a superficial de cada uno de los pliegues y su grosor, en mm, se pueden observar en la tabla 8. En ella, cabe destacar las relaciones para los pliegues de pantorrilla, del supraespinal y del subescapular, con valores de $r = -0,52$ ($p = 0,001$), $r = -0,50$ ($p = 0,01$), y $r = -0,47$ ($p = 0,018$), respectivamente.

Tabla 8. Correlación entre valores de pliegues cutáneos y temperatura superficial de cada uno de los pliegues.

Medición antropometría de pliegues cutáneos (mm)						
Variables	Tríceps (mm)	Sub- escapular (mm)	Supra- espinal (mm)	Abdominal (mm)	Muslo frontal (mm)	Pantorrilla (mm)
Tríceps	-0,22	--	--	--	--	--
Subescapular	--	-0,47*	--	--	--	--
TI (°C) Supraespinal	--	--	-0,50*	--	--	--
Abdominal	--	--	--	-0,27	--	--
Muslo frontal	--	--	--	--	-0,34	--
Pantorrilla	--	--	--	--	--	-0,52**

TI, termografía por infrarrojo. (*) $p < 0,05$; (**) $p < 0,01$.

En la tabla 9 se pone de manifiesto que la T^a promedio de los 6 pliegues, y las individuales, toracoabdominales, supraespinal y abdominal, mostraron correlaciones negativas con el IMC, el PC, el ICC, el ICE, y la Σ-6p (p < 0,05). Además, la T^a promedio de los 6 pliegues también mostró correlación negativa con la MA% (p = 0,0269). La T^a individual del pliegue supraespinal mostró una correlación negativa con la MA% (p = 0,0194) y positiva con la MM% (p = 0,0068). Individualmente, la T^a de los pliegues tríceps (p = 0,0297), subescapular (p = 0,0043), supraespinal (p = 0,005), abdominal (p = 0,0010) y de la pantorrilla (p = 0,0062) tuvieron correlaciones negativas con el PC. Asimismo, las T^a de los pliegues supraespinal (p = 0,0037), abdominal (p = 0,0031) y pantorrilla (p = 0,0154) también mostraron correlaciones negativas con el ICE. También la relación del GER vs. MA% (r = -0,59, p = 0,002) y GER vs. IMC (r = -0,53, p = 0,006) mostraron correlaciones negativas, pero esta relación fue positiva con el promedio de T^a de los 6-pliegues, con un r = 0,44 (p = 0,02).

Por último, la T^a supraespinal (p = 0,0149), la T^a abdominal (p = 0,0138) y la T^a de la pantorrilla (p = 0,0068) también mostraron correlaciones negativas con el IMC.

Tabla 9. Correlaciones entre los valores promedio de T^a medido a través de termografía por infrarrojo y los parámetros antropométricos evaluados.

Variables de T ^a por TI (°C)	Parámetros antropométricos								
	(MM/MA)	(MM+MR)/MA	MA (%)	MM (%)	IMC (kg/m ²)	PC (cm)	ICC	ICE	Σ-6p (mm)
Tríceps	0,29	0,26	-0,29	0,28	-0,35	-0,44*	-0,27	-0,34	-0,31
Subescapular	0,26	0,22	-0,36	0,26	-0,38	-0,56*	-0,40	-0,42*	-0,27
Supraespinal	0,38	0,32	-0,47*	0,53**	-0,49*	-0,65*	-0,46**	-0,57**	-0,48**
Abdominal	0,28	0,23	-0,37	0,33	-0,49*	-0,63*	-0,52**	-0,58**	-0,42**
Muslo frontal	0,20	0,20	-0,25	0,22	-0,29	-0,33	-0,21	-0,29	-0,28
Pantorrilla	0,12	0,11	-0,32	0,19	-0,53*	-0,54*	-0,31	-0,49*	-0,20
T^a-6p	0,32	0,29	-0,45*	0,32	-0,54**	-0,69*	-0,48*	-0,59*	-0,45**

T^a, Temperatura; TI, Termografía por infrarrojo; MM, Masa muscular; MA, Masa adiposa; MR, Masa residual; IMC, Índice de masa corporal; PC, Perímetro de cintura; ICC, Índice cintura cadera; ICE, Índice cintura estatura; Σ-6p, Sumatorio de los 6 pliegues cutáneos; T^a-6p, Temperatura promedio de los 6 pliegues cutáneos. (*) p < 0,05; (**) p < 0,01.

En las figuras 14 a la 23 se muestran las correlaciones de las variables en estudio. Se muestran, respectivamente: la correlación de la T^a del pliegue supraespinal con el IMC, $r = -0,49$ $p = 0,0149$ (Figura 14); la correlación de la T^a del pliegue abdominal con el IMC, $r = -0,49$ $p = 0,0138$ (Figura 15); la correlación del PC con la T^a de 6 pliegues, $r = -0,69$, $p = 0,0002$ (Figura 16); la correlación del PC con la T^a del pliegue abdominal, $r = -0,63$, $p = 0,001$ (Figura 17); la correlación del PC con la T^a del pliegue supraespinal, $r = -0,65$, $p = 0,0005$ (Figura 18); la correlación del GER con la T^a de 6-pliegues $r = 0,44$, $p = 0,02$ (Figura 19); la correlación del GER con el IMC, $r = -0,53$, $p = 0,006$, (Figura 20); la correlación del GER con la MA%, $r = -0,59$, $p = 0,002$ (Figura 21); la correlación del GER con la MM%, $r = -0,48$, $p = 0,01$ (Figura 22); y, por último, la correlación del GER con la MR%, $r = -0,40$, $p = 0,05$ (Figura 23),

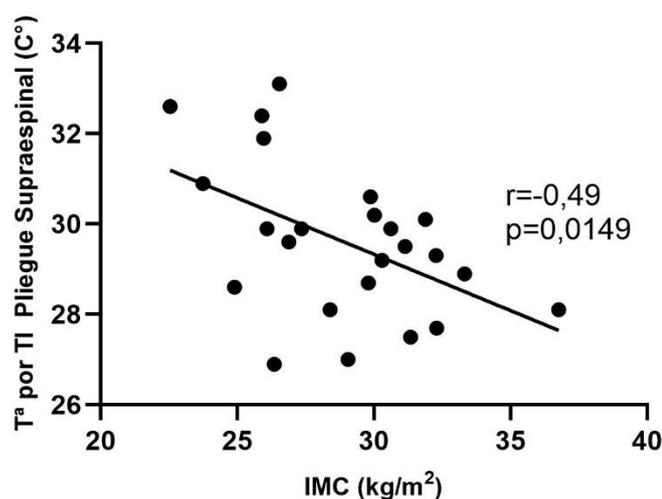


Figura 14. Correlación de la temperatura del pliegue supraespinal (°C) con el IMC (kg/m²).

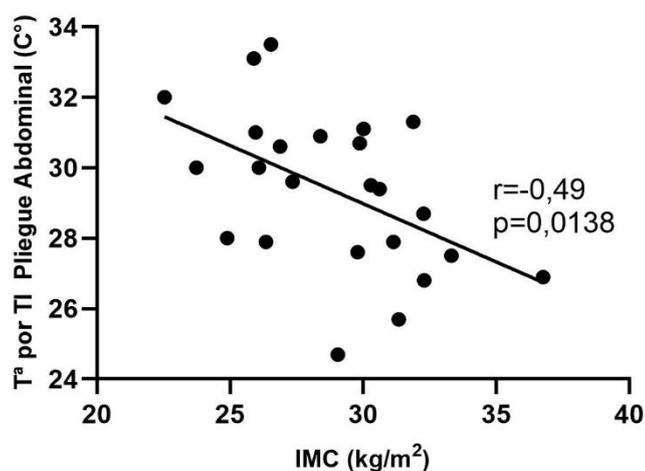


Figura 15. Correlación de la temperatura del pliegue abdominal (°C) con el IMC (kg/m²).

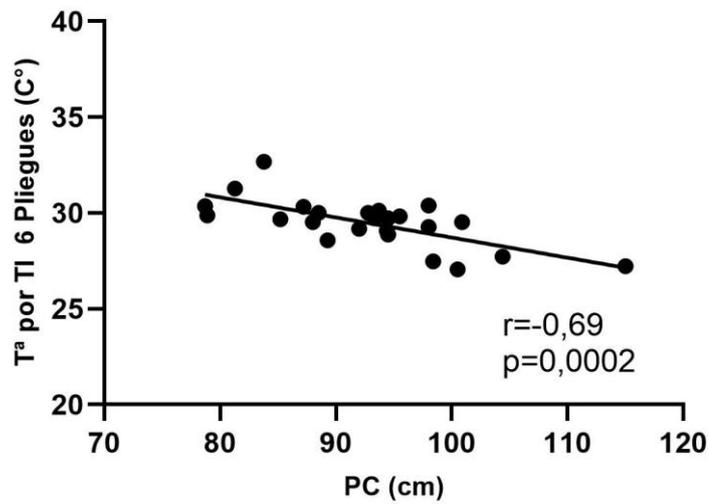


Figura 16. Correlación del PC (cm) con la temperatura de 6 pliegues (°C).

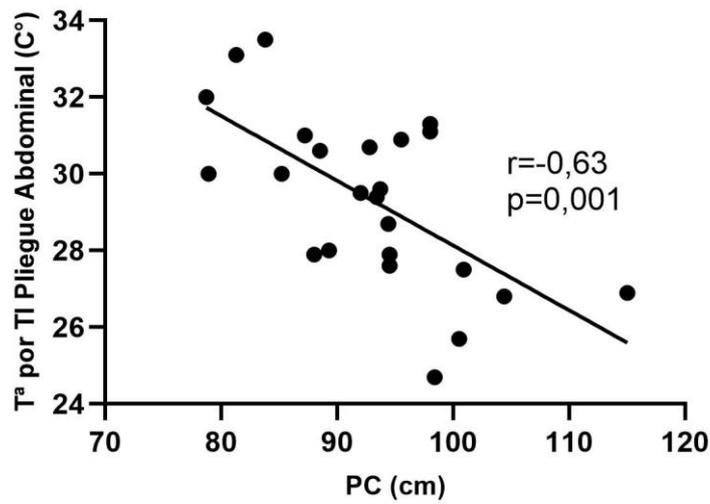


Figura 17. Correlación del PC (cm) con la temperatura del pliegue abdominal (°C).

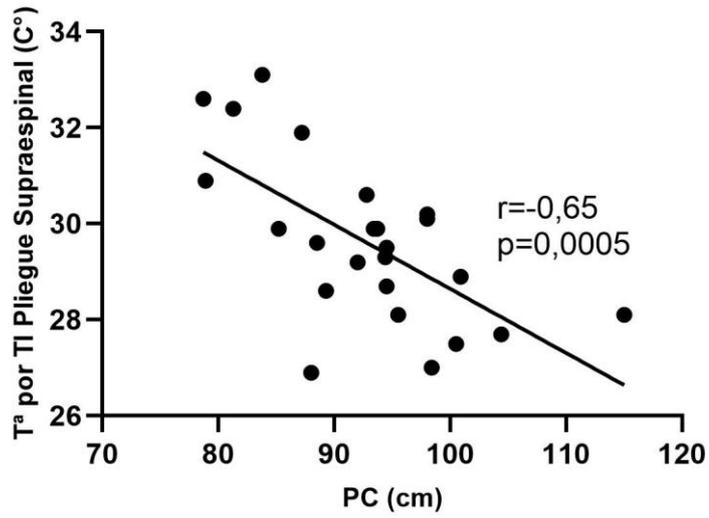


Figura 18. Correlación del PC (cm) con la temperatura del pliegue supraespinal (°C).

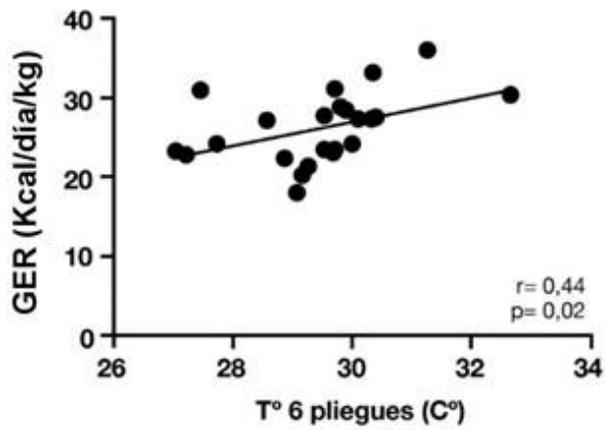


Figura 19. Correlación del GER (Kcal/día/kg) con la temperatura de 6 pliegues (°C).

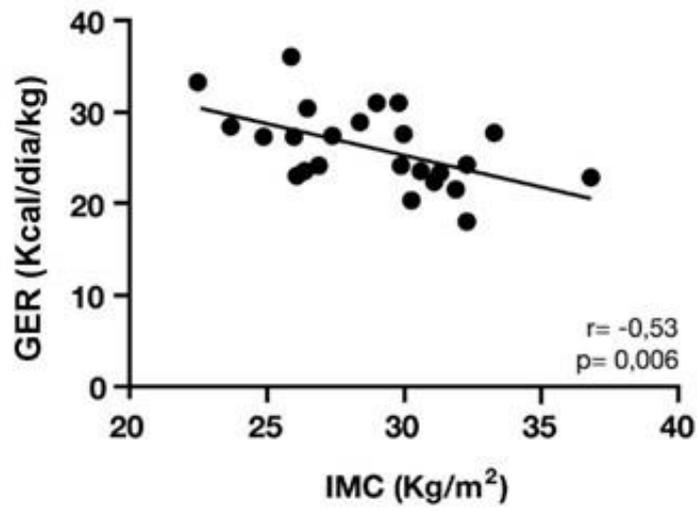


Figura 20. Correlación del GER (Kcal/día/kg) con el IMC (kg/m²).

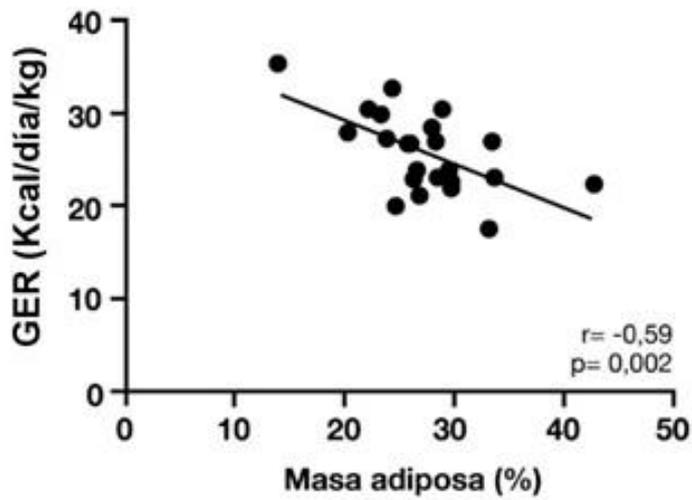


Figura 21. Correlación del GER (Kcal/día/kg) con la MA (%).

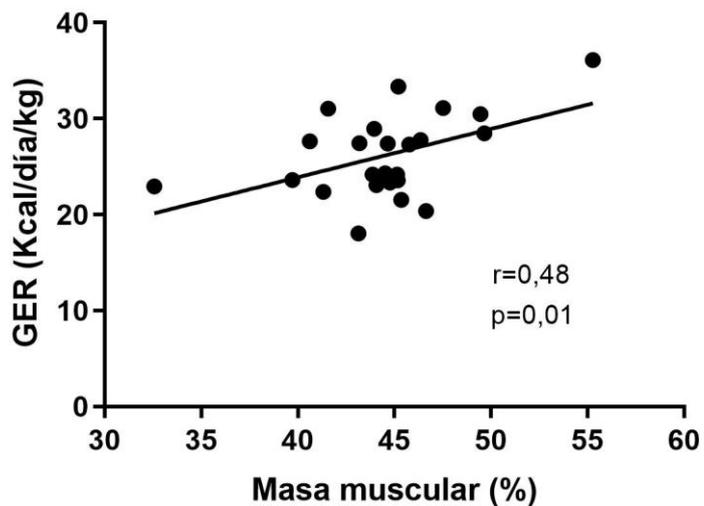


Figura 22. Correlación del GER (Kcal/día/kg) con la MM (%).

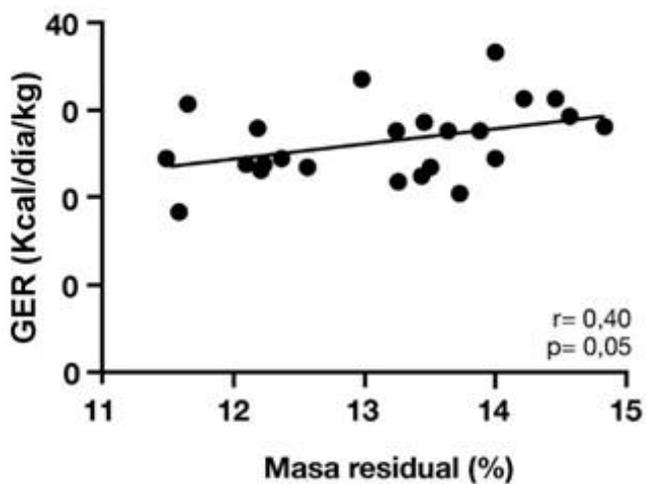


Figura 23. Correlación del GER (Kcal/día/kg) con la MR (%).

4.2. Segundo estudio

La tabla 10 muestra las características generales de los sujetos que participaron en el estudio (n = 64), así como sus valores antropométricos y del GER.

Tabla 10. Características generales, fisiológicas, antropométricas y metabólicas de los sujetos que participaron en el segundo estudio.

Variables	Media	±	DE
Edad (años)	26,4	±	7,8
Peso corporal (kg)	76,1	±	13,3
Estatura (cm)	171,3	±	7,2
Σ-6p (mm)	90,8	±	39,2
IMC (kg/m²)	25,9	±	3,7
FC (lat/min)	51,4	±	4,3
PC (cm)	85,6	±	9,2
ICC	0,9	±	0,0
ICE	0,5	±	0,1
MA (%)	27,3	±	4,9
MM (%)	45,1	±	3,9
MR (%)	12,0	±	1,1
GER (Kcal/día)	1908,4	±	427,1

Σ-6p, Sumatoria de 6 pliegues cutáneos; IMC, Índice de masa corporal; FC, Frecuencia cardíaca; PC, Perímetro de cintura; ICC, Índice cintura cadera; ICE, Índice cintura estatura; MA, Masa adiposa; MM, Masa muscular; MR, Masa residual; GER, Gasto energético de reposo; DE, Desviación estándar.

En la tabla 11 se incluyen los porcentajes promedio de las masas fraccionales en 5 componentes, masa adiposa, masa muscular, masa residual, masa ósea y masa piel.

Tabla 11. Fraccionamiento de 5 masas corporales promedio en porcentaje.

Sujetos n = 64	MA%	MM%	MR%	MÓ%	MP%
Promedio	27,29	45,12	12,03	10,51	5,05
Mínimo	13,88	32,57	9,6	7,79	3,78
Máximo	42,7	55,28	14,79	14,2	6,31
± DE	4,93	3,92	1,13	1,25	0,56

MA, Masa adiposa; MM, Masa muscular; MR, Masa residual; MÓ, Masa ósea; MP, Masa piel.

Los valores promedio de la T^a superficial de cada sitio anatómico utilizado para la evaluación de pliegues cutáneos se muestran en la tabla 12. Se pueden observar que los valores son menores en las extremidades y mayores en las zonas del tronco.

Tabla 12. Temperaturas promedio de las zonas de pliegues corporales.

Sujetos n = 64	Temperatura de los Pliegues					
	Triceps (°C)	Sub- escapular (°C)	Supra- espinal (°C)	Abdominal (°C)	Muslo (°C)	Pantorrilla (°C)
Promedio	31,8	33,7	32,9	32,7	31,8	31,7
Mínimo	26,7	26,7	26,9	25,7	26,7	26,9
Máximo	38,0	38,3	37,7	37,5	35,7	36,1
± DE	2,89	2,64	2,68	2,82	2,21	1,97

DE, Desviación estándar.

Los valores promedio del GER, en Kcal/día y Kcal/día/kg, se muestran en la siguiente tabla (Tabla 13).

Tabla 13. GER por día (Kcal/día) y por kilogramo de peso (Kcal/día/kg).

Sujetos n = 64	GER (Kcal/día)	GER (Kcal/día/kg)
Promedio	1908,45	25,29
Mínimo	1047,00	14,57
Máximo	3024,00	40,85
± DE	427,18	5,09

GER, Gasto energético en reposo; Kcal, Kilocalorías; Kg, Kilogramo; DE, Desviación estándar.

En la tabla 14 se recogen las correlaciones entre la medición de T^a superficial y los pliegues de cada zona evaluada.

Tabla 14. Correlaciones, para cada punto anatómico, entre las medidas de grosor de los pliegues cutáneos y las medidas de temperatura en la superficie de la piel para cada pliegue.

Variables TI (°C)	Tríceps (mm)	Sub escapular (mm)	Supra- espinal (mm)	Abdominal (mm)	Muslo (mm)	Pantorrilla (mm)
Tríceps	-0,16	--	--	--	--	--
Subescapular	--	-0,55**	--	--	--	--
Supraespinal	--	--	-0,42**	--	--	--
Abdominal	--	--	--	-0,21	--	--
Muslo medio	--	--	--	--	0,39**	--
Pierna medial	--	--	--	--	--	-0,50**

TI, Termografía por infrarrojo. (**) $p < 0,01$.

En las figuras 24 a la 37 se muestran las correlaciones de las variables en estudio. Se muestran, respectivamente: la correlación de la T^a del pliegue subescapular con el grosor del pliegue subescapular, $r = -0,55$ $p = 0,0001$ (Figura 24); la correlación de la T^a del pliegue supraespinal con el grosor del pliegue supraespinal, $r = -0,42$ $p = 0,005$ (Figura 25); la correlación de la T^a del pliegue del muslo con el grosor del pliegue del muslo, $r = -0,39$, $p = 0,001$ (Figura 26); la correlación de la T^a del pliegue de la pantorrilla con el grosor del pliegue de la pantorrilla, $r = -0,50$, $p = 0,001$ (Figura 27); la correlación de la T^a de 6 pliegues con el IMC, $r = -0,65$, $p = 0,00$ (Figura 28); la correlación de la T^a de 6 pliegues con el PC, $r = -0,64$, $p = 0,00$ (Figura 29); la correlación de la T^a de 6 pliegues con el ICE, $r = -0,61$, $p = 0,02$ (Figura 30); la correlación del Σ -6p con el ICE, $r = -0,73$, $p = 0,01$ (Figura 31); la correlación de la T^a del pliegue subescapular con el IMC, $r = -0,62$, $p = 0,00$ (Figura 32); la correlación de la T^a del pliegue subescapular con el PC $r = -0,62$, $p = 0,00$ (Figura 33); la correlación de la T^a del pliegue supraespinal con el PC $r = -0,63$, $p = 0,00$ (Figura 34); la correlación de la T^a del pliegue abdominal y el PC, $r = -0,62$, $p = 0,00$ (Figura 35); la correlación de la T^a del pliegue del muslo y el PC, $r = -0,56$, $p = 0,001$ (Figura 36); y, por último, la correlación de la T^a del pliegue pantorrilla y el PC, $r = -0,58$, $p = 0,00$ (Figura 37).

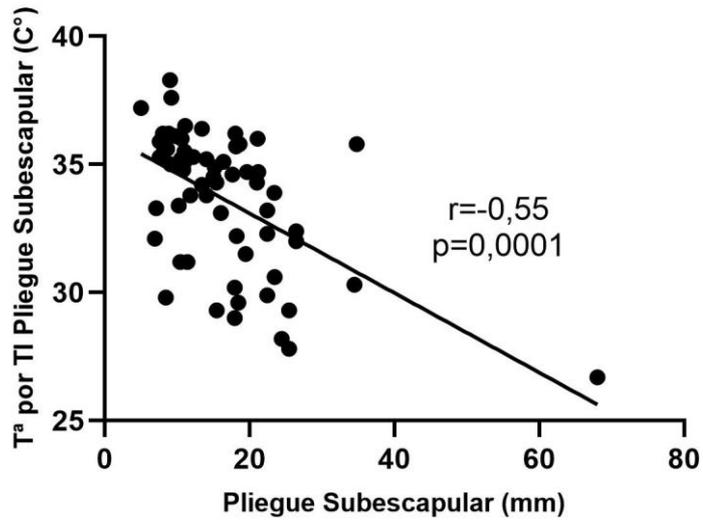


Figura 24. Correlación de la temperatura del pliegue subescapular (°C) con el grosor del pliegue subescapular (mm).

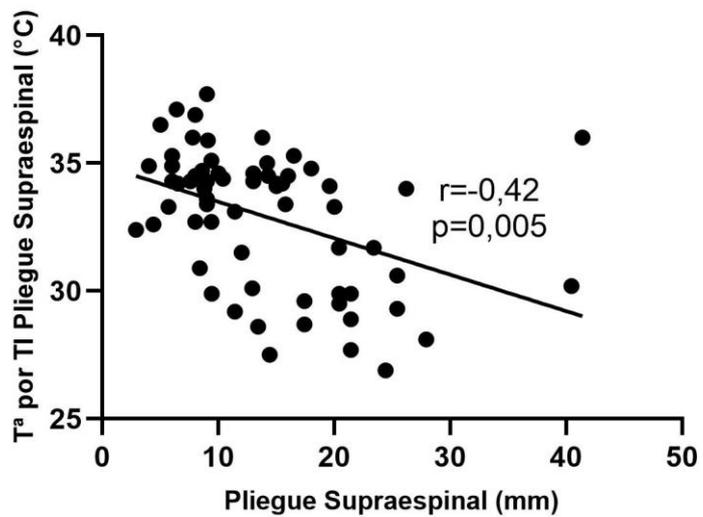


Figura 25. Correlación de la temperatura del pliegue supraespinal (°C) y el grosor del pliegue supraespinal (mm).

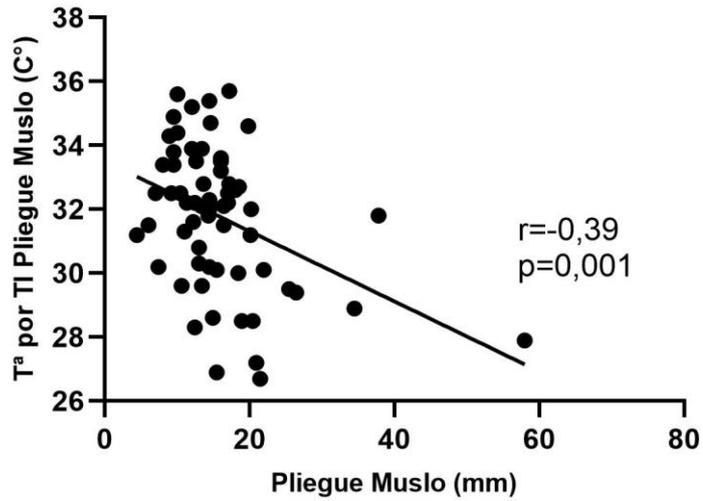


Figura 26. Correlación de la temperatura del pliegue del muslo (°C) con el grosor del pliegue muslo (mm).

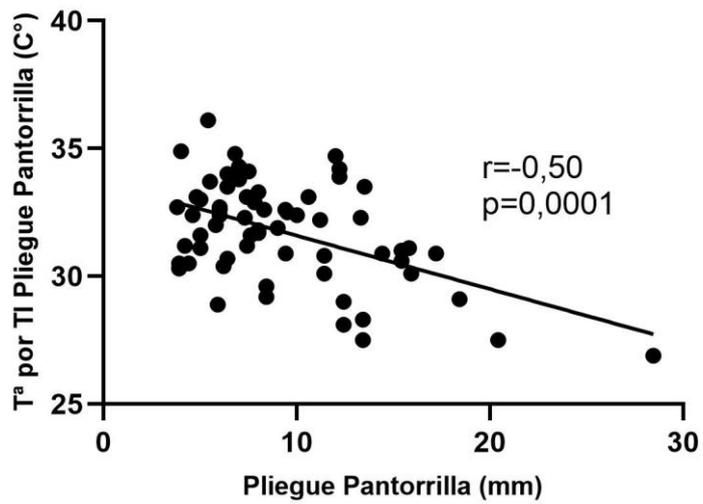


Figura 27. Correlación de la temperatura del pliegue de la pantorrilla (°C) con el grosor del pliegue pantorrilla (mm).

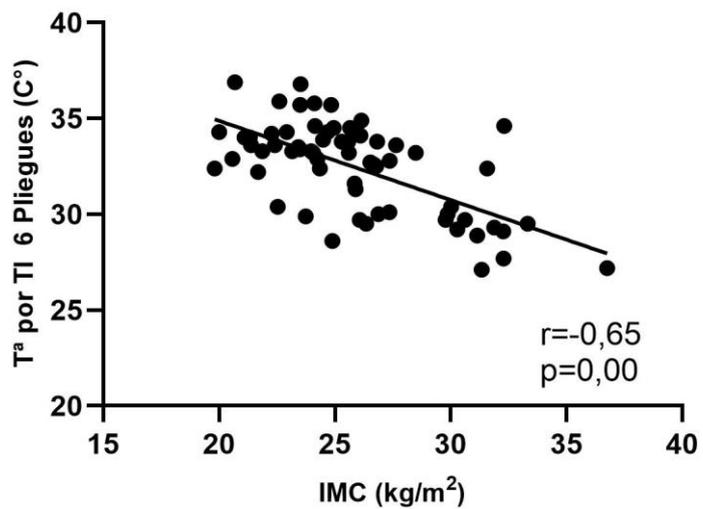


Figura 28. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el IMC (kg/m²).

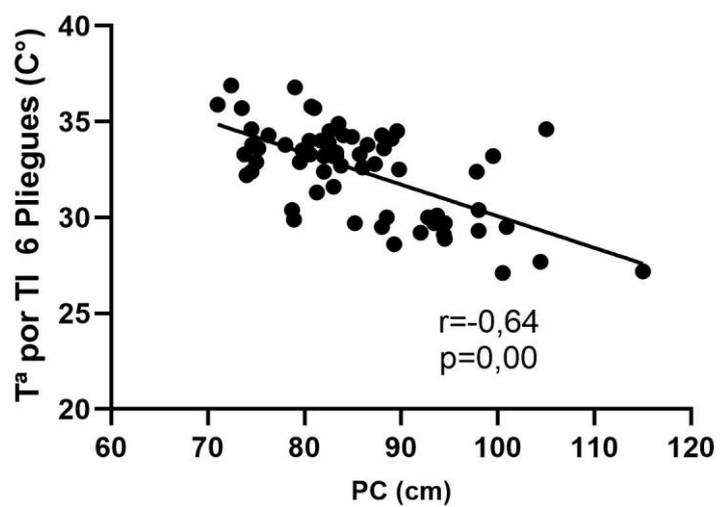


Figura 29. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el PC (cm).

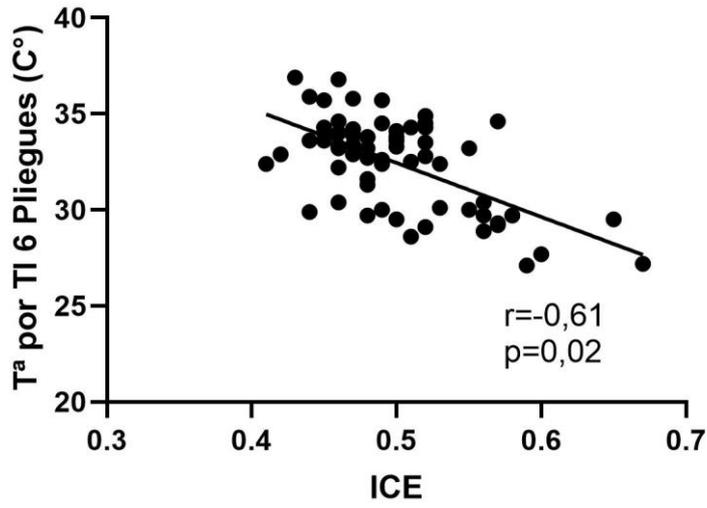


Figura 30. Correlación de la temperatura de 6 pliegues (°C) con el ICE.

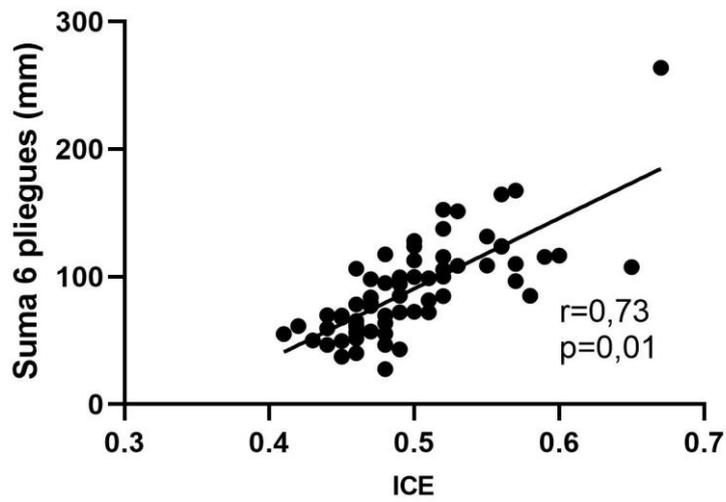


Figura 31. Correlación del sumatorio de 6 pliegues (mm) con el ICE.

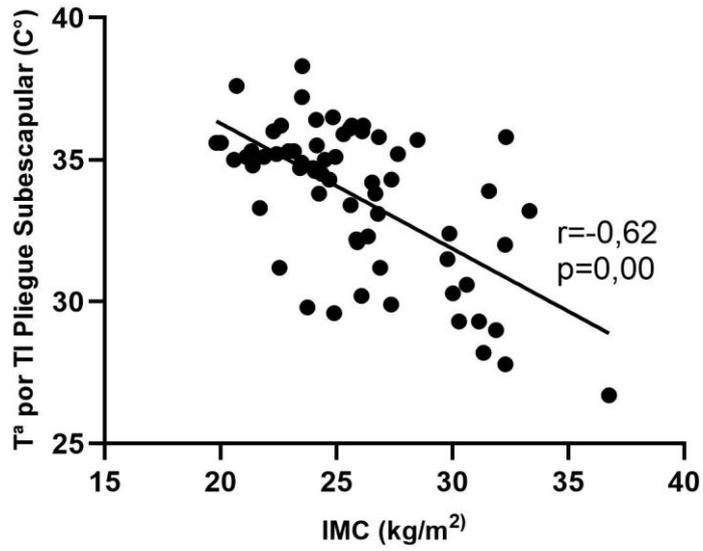


Figura 32. Correlación de la temperatura del pliegue subescapular (°C) con el IMC (kg/m²).

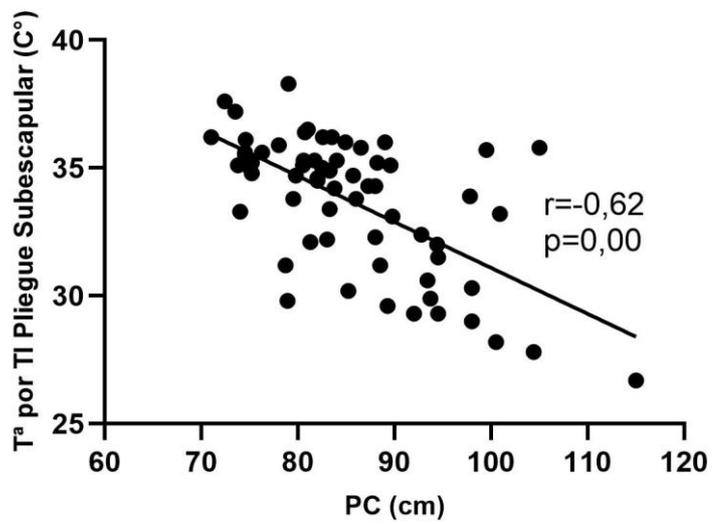


Figura 33. Correlación de la temperatura del pliegue subescapular (°C) con el PC (cm).

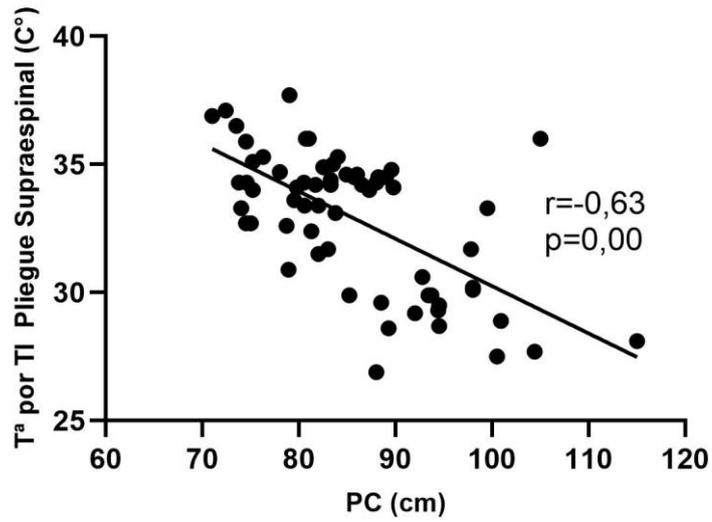


Figura 34. Correlación de la temperatura del pliegue supraespinal (°C) con el PC (cm).

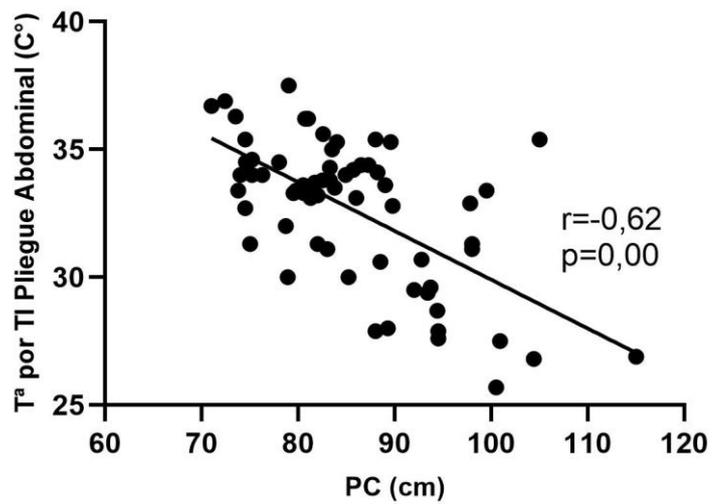


Figura 35. Correlación de la temperatura del pliegue abdominal (°C) con el PC (cm).

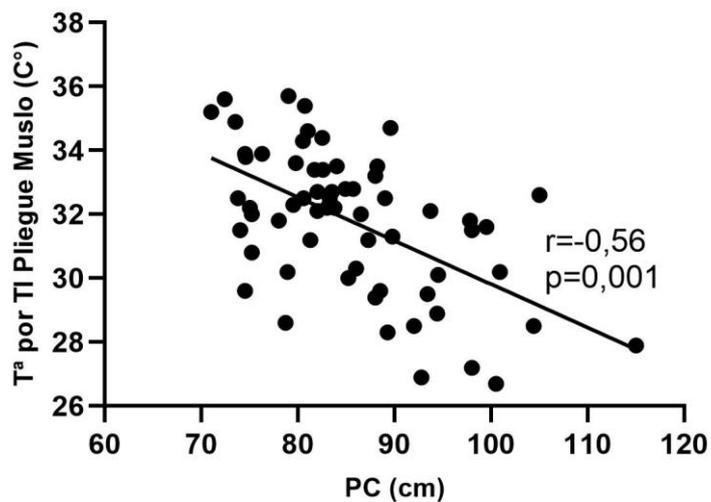


Figura 36. Correlación de la temperatura del pliegue del muslo (°C) con el PC (cm).

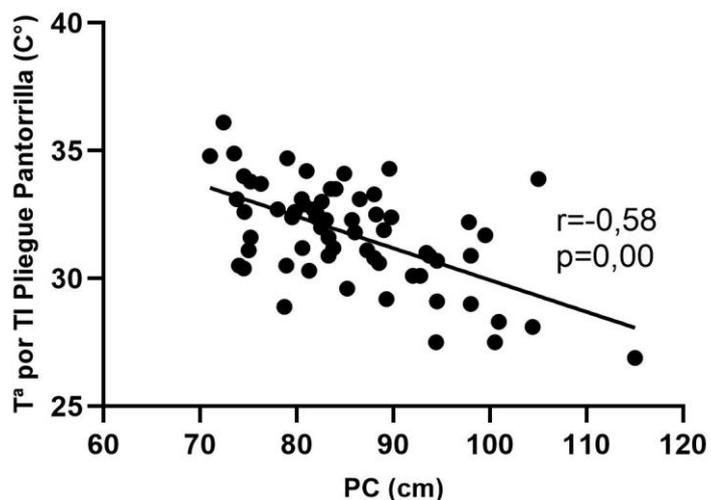


Figura 37. Correlación de la temperatura del pliegue de la pantorrilla (°C) con el PC (cm).

Como se observa en la tabla 15, se ha relacionado la Tª promedio de los 6 pliegues (temperaturas de las zonas de recogida de los pliegues tríceps, pliegue subescapular, pliegue supraespinal, pliegue abdominal, pliegue del muslo medio y el pliegue de la pierna medial), con el IMC, PC, ICC, ICE ($p < 0,01$) y la Σ -6p ($p < 0,05$), mostrando correlaciones negativas significativas.

Tabla 15. Correlaciones observadas entre la media de la temperatura superficial y los parámetros antropométricos estudiados.

Variables	Parámetros antropométricos					
	IMC (kg/m ²)	PC (cm)	ICC	ICE	Σ-6p (mm)	
TI (°C)	Tríceps	-0,59**	-0,54**	-0,46**	-0,54**	-0,35*
	Subescapular	-0,63**	-0,62**	-0,52**	-0,60**	-0,45*
	Supraespinal	-0,63**	-0,63**	-0,52**	-0,61**	-0,47*
	Abdominal	-0,61**	-0,62**	-0,54**	-0,61**	-0,44*
	Muslo medio	-0,58**	-0,57**	-0,43**	-0,53**	-0,41*
	Pierna medial	-0,60**	-0,58**	-0,42**	-0,55**	-0,40*
	T ^a -6p	-0,65**	-0,64**	-0,52**	-0,62**	-0,45*

TI, Termografía por infrarrojo; T^a-6p, Temperatura promedio de los 6 pliegues cutáneos; IMC, Índice de masa corporal; PC, Perímetro de cintura; ICC, Índice cintura cadera; ICE, Índice cintura estatura; Σ-6p, Sumatorio de los 6 pliegues cutáneos. (*) p < 0,05, (**) p < 0,01.

En la tabla 16 se puede observar que la T^a promedio de los 6-pliegues presentó correlaciones negativas significativas con el GER (r = -0,39, p < 0,001), con la MR% (r = -0,58, p < 0,000) y el Σ-6p (r = -0,45, p < 0,000). Por otra parte, todos los valores de T^a de los diferentes pliegues, presentaron correlaciones negativas significativa con el GER; tríceps (p < 0,009), subescapular (p < 0,001), supraespinal (p < 0,002), abdominal (p < 0,005), muslo medio (p < 0,009) y pierna medial (p < 0,000).

Tabla 16. Correlaciones entre el promedio de temperatura superficial, variables de fraccionamiento de masas y GER.

Variables	GER (Kcal/día)	MR %	Σ-6p (mm)	
TI (°C)	Tríceps	-0,325**	-0,555**	-,352**
	Subescapular	-0,413**	-0,561**	-,449**
	Supraespinal	-0,375**	-0,557**	-,469**
	Abdominal	-0,345**	-0,582**	-,443**
	Muslo medio	-0,324**	-0,468**	-,411**
	Pierna medial	-0,436**	-0,568**	-,401**
	T ^a -6p	-0,391**	-0,587**	-,450**

TI, Termografía por infrarrojo; GER, Gasto energético en reposo; T^a-6p, Temperatura promedio de los 6 pliegues cutáneos; MR, Masa residual; Σ-6p, Sumatorio de los 6 pliegues cutáneos. (*) p < 0,05, (**) p < 0,01.

4.3. Tercer estudio

En la tabla 17 se muestra en promedio de la edad y de otras variables como el peso, la estatura, la MM%, la MA% y el GER (Kcal/día), de la muestra estudiada y que origina de la recogida de datos del segundo estudio.

Tabla 17. Características generales de la muestra utilizada para el modelo predictivo, n = 64.

Variables	Media	±	DE
Edad (años)	26,4	±	7,8
Peso corporal (kg)	76,1	±	13,3
Estatura (cm)	171,3	±	7,2
Σ-6p (mm)	90,8	±	39,2
IMC (kg/m²)	25,9	±	3,7
FC (lat/min)	51,4	±	4,3
PC (cm)	85,6	±	9,2
ICC	0,9	±	0,0
ICE	0,5	±	0,1
MA (%)	27,3	±	4,9
MM (%)	45,1	±	3,9
MR (%)	12,0	±	1,1
GER (Kcal/día)	1908,50	±	427,20

DE, Desviación estándar; Σ-6p, Sumatoria de 6 pliegues; IMC, Índice de masa corporal; FC, Frecuencia cardíaca; ICC, Índice cintura cadera; ICE, Índice cintura estatura; MA, Masa adiposa; MM, Masa muscular; MR, Masa residual; GER, Gasto energético en reposo.

Las variables utilizadas en los ensayos de estimación para la ecuación predictiva del GER (Kcal/día) desarrollada en este estudio, se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Variables utilizadas para la ecuación predictiva del GER (Kcal/día).

	Coeficientes estandarizados		Coeficientes no estandarizados		Sig.	95% intervalo de confianza para B	
	B	Error estándar	Beta	t		Límite inferior	Límite superior
Constante utilizada	-715,11	1633,96		-,43	,66	-3991,01	2560,77
Peso Corporal (kg)	1,39	5,37	,046	,25	,79	-9,39	12,16
Diámetro de Tórax Transverso (cm)	65,36	24,41	,459	2,67	,01	16,42	114,30
Diámetro Femoral (cm)	106,33	95,90	181	1,10	,27	-85,94	298,61
Pliegue Subescapular T^a (°C)	-62,64	41,88	-,410	-1,49	,14	-146,61	21,32
Pliegue Supraespinal T^a (°C)	-3,80	65,74	-,025	-,058	,95	-135,60	127,99
Pliegue Pantorrilla T^a (°C)	-53,83	47,56	-,263	-1,13	,26	-149,18	41,51
Pliegue Tríceps T^a (°C)	33,66	34,06	,241	,98	,32	-34,62	101,95
Pliegue Abdominal T^a (°C)	31,12	58,75	,218	,53	,59	-86,66	148,91
Pliegue Muslo T^a (°C)	43,61	39,60	,239	1,10	,27	-35,79	123,02

GER, Gasto energético en reposo.

Como se comentó anteriormente, en la tabla 18 se presentaron los coeficientes B para la fórmula desarrollada (GER, en Kcal/día) y que, después de variados ensayos de las propuestas formuladas, quedó estructurada de la siguiente forma:

$$\text{Modelo Y} = -715,11 + (1,39 * \text{Peso Corp}) + (65,36 * \text{D-Tórax-T}) + (106,34 * \text{D-femoral}) \\ + (-62,64 * \text{Pl-Subescap-T}^a) + (-3,81 * \text{Pl-Supraespinal-T}^a) + (-53,84 * \text{Pl-Pantorrilla-Ta}) \\ + (33,66 * \text{Pl-Tríceps-T}^a) + (31,12 * \text{Pl-Abdominal-T}^a) + (43,61 * \text{Pl-Muslo-T}^a).$$

Donde:

D-Tórax-T = Diámetro de tórax transverso, en cm.

D-Femoral = Diámetro femoral o biepicondilar, en cm.

Pl-Subescap-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue subescapular, en °C.

Pl-Supraespinal-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue supraespinal, en °C.

Pl-Pantorrilla-Ta = Temperatura por TI en la zona del pliegue de la pantorrilla, en °C.

Pl-Tríceps-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue del tríceps, en °C.

Pl-Abdominal-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue abdominal, en °C.

Pl-Muslo-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue del muslo, en °C.

Con esta fórmula de regresión múltiple lineal, se obtuvo un R² = 0,68, con una p < 0,001).

En la tabla 19 se recoge el promedio del GER (Kcal/día), medido a partir del análisis de gases y previsto con la fórmula de Harris y Benedict (Harris & Benedict, 1918) por el propio analizador Cortex, y el estimado a través de la fórmula desarrollada en la investigación.

Tabla 19. Datos del GER promedio obtenidos mediante análisis de gases, del GER previsto con la fórmula original de Harris & Benedict y el GER que fue determinado con la fórmula predictiva desarrollada en esta investigación.

Sujetos n = 64	GER (Kcal/día)	GER PREVISTO (Harris & Benedict, 1918)	GER (Ecuación desarrollada por T^a)
Promedio	1908,50	1858,85	1892,83
± DE	427,20	239,72	276,61

GER, Gasto energético en reposo; GER PREVISTO, estimado por la fórmula de (Harris & Benedict, 1918) del equipo Cortex.

En las tablas 20 y 21 se puede observar el análisis para establecer las diferencias entre los diversos modelos predictivos incluida la fórmula desarrollada en esta investigación.

Tabla 20. Diferencias entre GER (Kcal/día) estimado por análisis de gases vs. fórmulas predictivas y fórmula desarrollada en la investigación.

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	DE	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	GER vs. GER PREVISTO	49,6	352,8	44,1	-38,52	137,71	1,125	63	0,265
Par 2	GER vs. Mifflin et al., 1990	204,3	380,4	47,55	109,3	299,36	4,297	63	0,000
Par 3	GER vs. Owen, 1988	253,5	375,0	46,87	159,78	347,12	5,407	63	0,000
Par 4	GER vs. FAO/WHO/UNU, 1985	208,3	409,1	51,13	106,17	310,52	4,075	63	0,000
Par 5	GER vs. Henry, 2005	386,8	383,8	47,98	290,89	482,64	8,061	63	0,000
Par 6	GER vs. Harris y Benedict, 1918 (Sex M)	332,6	384,7	48,09	236,53	428,72	6,917	63	0,000
Par 7	GER vs. Roza & Shizgal., 1984. (A partir de Harris & Benedict, 1984)	129	375,4	46,93	35,2	222,76	2,748	63	0,008
Par 8	GER vs. GER ESTIMADO (ecuación en estudio, 2023)	15,6	312,9	39,11	-62,52	93,77	0,400	63	0,691

GER, Gasto energético en reposo; GER PREVISTO, estimado por la fórmula de (Harris & Benedict) del equipo CORTEX; FAO, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura; WHO, Organización Mundial de la Salud; UNU, Universidad de las Naciones Unidas; GER ESTIMADO, según la ecuación predictiva desarrollada en la investigación.

Tabla 21. Diferencias entre modelos de distribución no normal.

Diferencias entre Modelos*								
GER PREVISTO EQUIPO CORTEX - GER	Mifflin et al., 1990 - GER	Owen, 1988 - GER	FAO/ WHO/UN U, 1985 - GER	Henry, 2005 - GER	Harris & Benedict, 1918 (Sex, M) - GER	Roza & Shizgal., 1984. (A partir de Harris & Benedict, 1918) - GER	GER Estimado (ecuación en evaluación, 2023) - GER	
Z**	-,936	-3,799	-4,581	-3,578	-5,885	-5,397	-2,555	-,268
Sig. asintótica (bilateral)	,349	,000	,000	,000	,000	,000	,011	,789

GER, Gasto energético en reposo; FAO, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura; WHO, Organización Mundial de la Salud. (*) Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo; (**) Se basa en rangos positivos.

La correlación entre el GER, respiración a respiración, y el estimado por fórmulas se describen en la tabla 22. Todas las ecuaciones mostraron resultados significativos para la correlación de Spearman. Las correlaciones observadas se clasificaron como moderadas y los mejores resultados fueron obtenidos por la ecuación desarrollada en la investigación GER estimado ecuación tesis, ($r = 0,687$; $p < 0,001$), GER Previsto equipo Cortex ($r = 0,589$; $p < 0,001$) y Owen et al. ($r = 0,535$; $p < 0,001$).

Tabla 22. Correlación de Spearman entre GER (Kcal/día) respiración a respiración y la estimación del GER (Kcal/día) por medio de fórmulas.

Método	Mediana	IC 95%	Coefficiente correlación Spearman
GER (Kcal/día)	1908,50 ± 427,20	1801,70 - 2015,20	
GER previsto (Equipo Cortex)	1858,90 ± 239,70	1799,00 - 1918,70	,589**
Mifflin, 1990	1704,10 ± 155,60	1665,30 - 1743,00	,461**
Owen, 1988	1655,00 ± 135,40	1621,20 - 1688,80	,535**
FAO/WHO/UNO, 1985	1700,10 ± 208,80	1647,90 - 1752,30	,308*
Henry, 2005	1521,70 ± 158,50	1482,10 - 1561,30	,456**
Harris & Benedict, 1918 (Sex, M)	1575,80 ± 126,90	1544,10 - 1607,50	,474**
Roza & Shizgal, 1984 (A partir de Harris & Benedict, 1918)	1779,50 ± 189,50	1732,10 - 1826,80	,471**
GER estimado (ecuación en estudio, 2023)	1892,83 ± 276,61	1823,70 - 1961,90	,687**

GER, Gasto energético en reposo; FAO, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura; WHO, Organización Mundial de la Salud. **. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

La tabla 23 muestra las diferencias en cuanto a la cantidad de Kcal/día de diferencia según fórmulas predictivas, análisis de gases y la fórmula desarrollada en la investigación.

Tabla 23. Test T para muestras relacionadas. Diferencias de media entre el GER (Kcal/día) respiración a respiración y las fórmulas de predicción del GER (Kcal/día).

Métodos determinación GER	Δ GER	DS	Δ GER - 1,96DS	Δ GER- 1,96DS	Rango
GER previsto (Equipo Cortex)	49,59	352,77	-641,8	741,0	1382,8
Mifflin et al., 1990	204,33**	380,43	-541,3	950,0	1491,3
Owen, 1988	253,45**	374,99	-481,5	988,4	1470,0
FAO/WHO/UNU, 1985	208,35**	409,05	-593,4	1010,1	1603,5
Henry, 2005	386,77**	383,83	-365,5	1139,1	1504,6
Harris & Benedict, 1918 (Sex M)	332,63**	384,68	-421,4	1086,6	1508,0
Roza & Shizgal, 1984 (A partir de Harris & Benedict, 1918)	128,98**	375,43	-606,9	864,8	1471,7
GER estimado (Ecuación en estudio, 2023)	15,63	312,85	-597,6	628,8	1226,4

GER, Gasto energético en reposo; FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura; WHO, Organización Mundial de la Salud; UNU, Universidad de las Naciones Unidas. * $p < 0.05$; ** $p < 0.001$;

Finalmente, se muestran los datos obtenidos del GER (Kcal/día), en la tabla 24, de los sujetos evaluados utilizando análisis de gases y fórmulas predictivas utilizadas de fuentes bibliográficas, además de los datos obtenidos a partir de la fórmula desarrollada en la investigación.

Tabla 24. Valores promedio y desviación estándar de las estimaciones del GER (Kcal/día), utilizando análisis de gases, y las fórmulas predictivas (Kcal/día).

Métodos determinación GER	Media ± DE (Kcal/día)	
GER (Kcal/día) respiración a respiración	1908,50 ±	427,20
GER (Previsto equipo Cortex)	1858,86 ±	239,73
Mifflin et al., 1990	1704,12 ±	155,55
Owen, 1988	1655,00 ±	135,39
FAO/WHO/UNU, 1985	1700,11 ±	208,81
Henry, 2005	1521,69 ±	158,47
Harris & Benedict, 1918	1575,83 ±	126,89
Roza & Shizgal, 1984 Roza & Shizgal, 1984 (A partir de Harris & Benedict, 1918)	1779,47 ±	189,54
GER estimado (Ecuación en estudio, 2023)	1892,83 ±	276,61

GER, Gasto energético en reposo; FAO, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura; WHO, Organización Mundial de la Salud; UNU, Universidad de las Naciones Unidas.

5. DISCUSIÓN

5.1. Primer estudio

En cuanto al fraccionamiento de las masas corporales, con el método de 5 componentes, es posible observar en la tabla 5 que los valores de masa adiposa (27,47%) de la muestra, son valores más elevados a los encontrados en sujetos militares (Barraza et al., 2020). Además, los datos de masa adiposa son superiores a los observados en militares de las fuerzas armadas de Estados Unidos (Institute of Medicine Committee on Military Nutrition, 1990) y que en militares de Malasia (Sedek et al., 2010). En cuanto a los valores de masa muscular (44,57%) y de masa residual (13,13%), son valores (Tabla 5) muy cercanos a los encontrados en el estudio (Barraza et al., 2020). En cuanto al IMC, que alcanzó un valor promedio de $28,89 \pm 3,4$ (Tabla 4), son valores clasificados dentro del rango de sobrepeso según la OMS. Es así que un estudio realizado en población chilena (Regimiento de Buin, Chile), en un grupo de 415 sujetos, con edades comprendidas entre los 18 y los 50 años, encontró también valores muy similares. En este estudio, los sujetos < 30 años mostraron un IMC promedio de $25,4 \pm 2,9 \text{ kg/m}^2$, los sujetos de 30 – 39 años un promedio de $29,4 \pm 2,9 \text{ Kg/m}^2$ y los sujetos > 40 años presentaron un promedio de $30,3 \pm 2,5 \text{ kg/m}^2$ (Durán et al., 2017).

Termografía de la piel

El análisis de la T^a de la piel en cada región utilizada en la investigación, mostró diferencias térmicas entre las distintas regiones. Estos valores, expresados como valores máximos, mínimo y promedio, se muestran diferentes entre ellos; en la zona posterior de brazo ($31,8^{\circ}\text{C}$, $26,7^{\circ}\text{C}$ y $28,5^{\circ}\text{C}$), zona subescapular ($34,2^{\circ}\text{C}$, $26,7$ y $30,5^{\circ}\text{C}$), zona abdominal ($33,5^{\circ}\text{C}$, $24,7^{\circ}\text{C}$ y $29,4^{\circ}\text{C}$), zona muslo ($32,2^{\circ}\text{C}$, $26,7^{\circ}\text{C}$ y $29,3^{\circ}\text{C}$) y zona de la pierna ($31,2^{\circ}\text{C}$, $26,9^{\circ}\text{C}$ y $29,6^{\circ}\text{C}$) (Tabla 6). Unos valores que son similares a los diferentes estudios que han sido consultados. Por ejemplo, Barcelos et al. (2014) muestra valores similares en las zonas del muslo y pierna. Sin embargo, este mismo autor describe con valores máximos, mínimos y promedio, para la zona abdominal de 36°C , $27,4^{\circ}\text{C}$ y $34,1^{\circ}\text{C}$, para la zona del muslo de $35,7^{\circ}\text{C}$, $28,5^{\circ}\text{C}$ y 33°C y para la zona de la pierna de $34,8^{\circ}\text{C}$, $26,6^{\circ}\text{C}$ y $30,9^{\circ}\text{C}$, valores que son más elevados.

Aunque no era objeto de estudio pero sí de análisis previo, en este estudio no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el lado derecho y el izquierdo. Así y como ejemplo, entre los valores encontrados en la cara anterior del muslo derecho ($30,2 \pm 1,9^{\circ}\text{C}$) vs. muslo izquierdo ($30,2 \pm 1,9^{\circ}\text{C}$) y, de igual forma, en la pierna derecha ($29,8 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$) vs. izquierda ($29,9 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$), al igual como fue observado por otros investigadores (Bouzas Marins et al., 2014). También se han encontrado valores de T^a promedio en zonas de brazo posterior ($32,7^{\circ}\text{C}$), torso posterior (34°C), muslo frontal (32°C) y pierna frontal ($32,6^{\circ}\text{C}$) (Chudecka et al., 2014) y que son similares a los encontrados en este estudio. Así se han referido datos de sujetos varones con T^a promedio similares también a nuestro estudio, en zonas de brazo posterior ($32,34^{\circ}\text{C}$), torso posterior ($33,92^{\circ}\text{C}$), abdomen ($32,72^{\circ}\text{C}$), muslo frontal ($31,96^{\circ}\text{C}$) y pierna frontal ($31,97^{\circ}\text{C}$) (Chudecka & Lubkowska, 2015). En la región abdominal otros autores han encontrado valores promedio de $31,8 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, en sujetos obesos y en sujetos normopeso $32,8 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$ (Savastano et al., 2009); unos datos casi idénticos, en sus promedios, a los encontrados en esta investigación (pliegue abdominal $32,7 \pm 5,9^{\circ}\text{C}$).

Gasto energético en reposo GER

En la investigación, el cociente respiratorio (VCO_2/VO_2) máximo utilizado como referencia, en el periodo de reposo previo a la evaluación, fue de 0,85, un valor establecido como una condición básica necesaria para estimar el GER.

En cuanto a los valores promedio de GER, considerando las 2224 Kcal/día y las 26,20 Kcal/día/kg (Tabla 7), son datos similares a los encontrados en sujetos chilenos con edades entre $29,2 \pm 9,4$ años de edad y donde se han observado valores promedio de $23,6 \pm 3,3$ Kcal/Kg/día (Carrasco et al., 2002).

La T^a de superficie, medida por TI, de las 6 zonas de pliegues cutáneos utilizados y el del GER, mostraron relación con las medidas de los valores antropométricos (Figura 19). Esto demuestra que la T^a promedio de estas superficies (brazo/tronco/muslo/pierna) se ve influida por los diferentes grados de acumulación de tejido graso corporal subcutáneo. Una relación que puede ser observada también con la Σ -6p, la MA%, así como con una variable muy asociada al estado ponderal, es decir, el IMC de los sujetos (Figura 14 y 15); así también, por otros parámetros como el PC, el ICC y el ICE, todos ellos indicadores del riesgo metabólico como se observa en los gráficos (Figuras 9 a 18).

Se observó también que un mayor estado ponderal (un parámetro que también es dependiente del aumento de la masa adiposa) y que se relacionó con un valor más bajo del GER (Figuras 20 y 21), mostrando T^a superficiales menores en estos sujetos (Figura 19). Este hecho, coincide con los resultados de Neves (Neves et al., 2015; Neves et al., 2017), existiendo correlación entre el grosor del pliegue del tríceps con el valor de T^a en la misma zona de piel. Cabe señalar que el espesor de los pliegues subescapular, del supraespinal y el de la pantorrilla, afectaron la T^a de la superficie de la piel medida por TI (Tabla 8). Estas diferencias justifican el efecto de la acumulación de grasa subcutánea sobre los perfiles o patrones de liberación de calor en la superficie de la piel de los sujetos.

Ciertamente, se encontró una relación negativa entre el estado ponderal, el % de masa adiposa y la T^a superficial individual, registrada en los pliegues supra-espinal, abdominal y de la pantorrilla (Tabla 9). Además, se identificó una correlación positiva moderada entre la MR% y el GER ($p = 0,05$) que, de cierta manera, evidencia este efecto (Figura 23).

Es de conocimiento general que existe una tendencia a la acumulación de grasa visceral (nivel abdominal), cuando el estado ponderal se ve incrementado; un tipo de tejido que puede medirse por absorciometría de rayos X de energía dual o DXA. Por ello en antropometría, los incrementos del PC se asocian con un aumento de la grasa visceral, por lo que este perímetro se ha utilizado en atención primaria para controlar la salud cardiovascular y el estado metabólico (Almeida et al., 2018). El PC fue uno de los parámetros antropométricos que mostró la mayor relación (alta) negativa con la T^a superficial total (Figura 18), así como con las T^a recogidas en las zonas supraespinal y abdominal. Es evidente, que hay un mayor efecto aislante de la grasa visceral, en la pérdida de calor hacia el exterior, que puede ser identificado por otros parámetros antropométricos como la masa residual, el IMC y el % de masa adiposa. Un elemento novedoso y que es de interés en este estudio, es la relación positiva que fue observada entre la media de la T^a de superficie con el GER (Figura 19).

La masa residual (Figura 23) tuvo una tendencia positiva y correlacionada con el mayor gasto energético. En este sentido, existe evidencia de que el impacto de los órganos internos en el GER varía entre los grupos de edad, con una mayor contribución del cerebro y de las vísceras, tanto en niños como en adolescentes en comparación con adultos y en donde la contribución de la masa de muscular

esquelética es mayor (Müller et al., 2018). Es así que los sujetos con una mayor proporción de tejidos con un metabolismo reconocidamente activo, como vísceras y músculo (Figura 22), y con una menor proporción de MA% (Figura 21) – tejidos que son reconocidos como de baja actividad metabólica – tuvieron un mayor GER; un GER que se relacionó con la mayor T^a de la superficie de la piel evaluada.

Al igual como se observó con la T^a promedio, el GER disminuyó cuando los valores de los tejidos de los sujetos en estudio invertían su composición. Quizá por ello, sujetos que muestran ser sanos (metabolismo, antropometría normal, mayor producción de calor de vísceras y músculos) presentan menor resistencia a la disipación de calor, incrementando la T^a corporal registrada sobre la superficie de la piel.

5.2. Segundo estudio

El GER evaluado correspondió, en promedio, a $1908,4 \pm 427,1$ Kcal/día, unos valores que difieren en comparación a lo reportado por Barraza et al. (2021) donde en sujetos militares se observó un promedio de $2224 \pm 294,6$ Kcal/día; unos valores más elevados que lo evidenciado en sujetos adultos de la región de Valparaíso, Chile.

El GER presentó estrechas relaciones con el sumatorio de T^a en los pliegues y también de forma individual para la T^a de cada pliegue, encontrándose correlaciones negativas significativas (Tabla 16). Además, se observó que sujetos con menores niveles de IMC presentaron mayores valores de T^a superficial, lo que es coincidente con el estudio 1 (Barraza et al., 2021),

Termografía de la piel

Uno de los objetivos de este estudio fue analizar el comportamiento de la T^a de la piel para cada región utilizada en la investigación, para el GER y para los indicadores de riesgo cardiovascular. Para ello, se analizaron las regiones específicas, con valores máximos, mínimo y promedio, que correspondieron a sitios como la zona posterior de brazo 38°C , $26,7^{\circ}\text{C}$ y $31,8^{\circ}\text{C}$, zona subescapular $38,3^{\circ}\text{C}$, $26,7^{\circ}\text{C}$ y $33,7^{\circ}\text{C}$, zona abdominal $37,5^{\circ}\text{C}$, $25,7^{\circ}\text{C}$ y $32,7^{\circ}\text{C}$, zona muslo $35,7^{\circ}\text{C}$, $26,7^{\circ}\text{C}$ y $31,8^{\circ}\text{C}$ y zona de pierna $36,1^{\circ}\text{C}$, $26,9^{\circ}\text{C}$ y $31,7^{\circ}\text{C}$ (Tabla 12), poniéndose de manifiesto que los datos son similares, para las zonas de muslo y pierna a lo descrito por Barcelos et al. (2014).

Así mismo en la zona del muslo se encontraron valores máximos, mínimos y promedios de 35,7°C, 28,5°C y 33°C y en la zona de la pierna valores máximos, mínimos y promedios de 34,8°C, 26,6°C y 30,9°C. Unos valores que en ninguno de los casos mostraron diferencias significativas entre hemicuerpos (lado derecho/lado izquierdo).

Valores encontrados en muslo derecho, en la región anterior ($30,2 \pm 1,9^{\circ}\text{C}$), así como en el muslo izquierdo ($30,2 \pm 1,9^{\circ}\text{C}$) en la misma región; y, para pierna derecha ($29,8 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$) e izquierda ($29,9 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$), son similares a los reportados en el estudio de Bouzas Marins et al., (2014). Hay que destacar que estos valores de normalidad se modifican con las diferencias en el IMC. Por ejemplo, en el estudio publicado por Barraza et al., (2023), los valores observados para muslo derecho, en la región anterior ($32,60 \pm 1,95^{\circ}\text{C}$), en sujetos con $\text{IMC} \leq 24,9$, difieren de los observados en los sujetos con un $\text{IMC} > 24,9$ para la misma región ($30,64 \pm 2,3^{\circ}\text{C}$); así también en la pierna, en sujetos con $\text{IMC} \leq 24,9$ los valores alcanzados ($32,01 \pm 1,54^{\circ}\text{C}$) difieren de los observados en sujetos con $\text{IMC} > 24,9$ ($30,54 \pm 1,76^{\circ}\text{C}$).

También se han encontrado valores de T^a promedio en zonas de brazo posterior ($32,7^{\circ}\text{C}$), torso posterior (34°C), muslo frontal (32°C) y pierna frontal ($32,6^{\circ}\text{C}$) similares a los del estudio de Chudecka (Chudecka et al., 2014). Los datos de T^a promedio de esta investigación son también similares a los observados por otros autores para las zonas del brazo posterior ($32,34^{\circ}\text{C}$), del torso posterior ($33,92^{\circ}\text{C}$), del abdomen ($32,72^{\circ}\text{C}$), del muslo frontal ($31,96^{\circ}\text{C}$) y de la pierna frontal ($31,97^{\circ}\text{C}$) de los sujetos (Chudecka & Lubkowska, 2015). Por ejemplo, en la región abdominal otros autores han encontrado valores promedio de $31,8 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, en sujetos obesos, y de $32,8 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$, en sujetos normopeso (Savastano et al., 2009); que son unos datos casi idénticos, en promedio, a los encontrados en nuestra investigación para el pliegue abdominal $32,7^{\circ}\text{C} \pm 5,9^{\circ}\text{C}$.

Parece evidente y así lo sugieren los datos, que la T^a superficial promedio en los pliegues subescapular, supraespinal, muslo y pantorrilla se ven afectados por el grosor de dichos pliegues (Figuras 24–27). Lo cual evidencia la capacidad de la grasa subcutánea para aislar la pérdida de calor en la superficie de la piel.

Además, como se puede observar en las Figuras 28 a la 31, la grasa corporal subcutánea acumulada, representada por la $\Sigma\text{-6p}$, el IMC y los indicadores de riesgo metabólico (ICC, ICE y PC), mostraron una relación significativa negativa con la T^a

promedio; unos resultados que coinciden con los encontrados en 184 sujetos y donde se observaron correlaciones negativas entre la T^a superficial y los indicadores antropométricos de riesgo cardiovascular (Gao et al., 2022).

La T^a de los 6 pliegues evaluados tiene una estrecha relación con el indicador antropométrico del IMC (Figura 28) y también con la Σ -6p, presentando correlaciones negativas significativas (Tabla 16). Esto evidencia que los niveles de tejido adiposo subcutáneo, presentan una relación con la disipación de calor corporal en la superficie de la piel y que éstos pueden ser asociados con los valores de estado ponderal, a la hora de estudiar FRCV.

El PC, otro de los indicadores de riesgo cardiovascular, también presenta una estrecha relación con la disipación de calor por la piel (Figura 29), encontrándose que valores elevados de PC se relacionan con FRCV y, además, con una disminución de la T^a disipada en esa misma zona anatómica (Gao et al., 2022). Ciertamente, tanto un mayor estado ponderal (Figura 28) como elevados niveles de masa metabólicamente menos activa, tienen una estrecha relación con los valores más bajos de T^a superficial (Tabla 15) (Chudecka et al., 2014; Salamunes et al., 2017; Savastano et al., 2009).

Se ha evidenciado que sujetos con sobrepeso y obesos moderados, muestran menores pérdidas de calor, con un mayor aislamiento térmico del cuerpo que los controles, por lo que estos autores concluyeron que la disminución de la pérdida de calor puede contribuir a su balance energético positivo, al disminuir el costo de energía para mantener la T^a corporal durante el frío (Montani et al., 2018). Los presentes resultados sugieren que los participantes en el estudio que presentan mayores valores en milímetros (medición de pliegues cutáneos) presentan una menor T^a superficial medida en la misma zona (Tabla 14) y, de igual manera, mostraron una correlación significativa negativa entre el Σ -6p y cada una de las T^a individuales (Tabla 16), unos datos que son coincidentes con lo reportado por (Barraza et al., 2021).

Estas diferencias se encuentran asociadas a la acción tipo barrera generada por el tejido adiposo subcutáneo del pliegue, lo cual puede limitar el intercambio de calor con el exterior (Chudecka et al., 2014). Por otra parte, un estudio realizado con termografía, para determinar el nivel de captación de glucosa en una zona específica del cuerpo humano (zona supraclavicular), donde se localiza principalmente el tejido

adiposo marrón, mostró una alta correlación con la T^a superficial a medida que esta captación de glucosa aumentaba, lo que determinó que la termografía es una herramienta útil en la determinación de este tipo de tejido graso (Law et al., 2018).

Se ha demostrado que la acumulación de tejido adiposo es heterogénea en las diversas regiones corporales, como también cuando consideramos las diferencias que presentan hombres y mujeres. Es por tanto que, como la muestra utilizada en esta investigación es del sexo masculino con las características propias de la acumulación de tejido adiposo, la MA% tiende a acumularse preponderantemente en la zona del abdomen, y de forma similar a lo que ocurre en otras zonas corporales, tiene una elevada correlación con la menor disipación de calor en la misma zona (Chudecka & Lubkowska, 2015). Ciertamente, el cuerpo realiza adaptaciones fisiológicas para poder disipar el calor generado y mantener las condiciones de termoneutralidad necesarias. Para ello, se hace evidente que los sujetos con mayores niveles de masa adiposa logran una menor disipación de calor y deben, por tanto, permitir que la disipación del calor ocurra en otras zonas corporales. En este sentido, las manos se transforman en una zona anatómica relevante como lugar de disipación de calor (Savastano et al., 2009; Jalil et al., 2019).

El segmento corporal del tronco es la principal zona de producción de calor en reposo, debido al elevado metabolismo que tienen las vísceras toracoabdominales que contribuyen con el GER (Chudecka et al., 2014; Hwaung et al., 2019). Desde el punto de vista antropométrico, el PC ha sido asociado con un incremento de la grasa visceral, y ha sido utilizado para el control de la salud cardiovascular y metabólica en prevención primaria (Hwaung et al., 2019). Investigaciones actuales vinculan las enfermedades metabólicas con variaciones en la T^a superficial de la piel, indicando altos valores de correlación entre T^a superficial e índices cardiometabólicos. De hecho, se ha documentado que sujetos con diabetes mellitus presentan valores menores de T^a en las manos en comparación con sujetos sanos (Sivanandam et al., 2012; Brasil et al., 2020).

En este sentido, el PC se ha mostrado como una de las variables antropométricas que alcanzó una relación significativa con la T^a superficial total y con las obtenidas individualmente en todos los pliegues cutáneos evaluados (Figura 29). Es importante recalcar que, el efecto de barrera en la disipación de calor que ejerce el tejido adiposo subcutáneo y precisamente influyendo en la evaluación de la T^a por termografía en

la zona abdominal, podría ser en un futuro una alternativa de estudio para evaluar su relación con los FRCV en diferentes patologías; desorden metabólico, obesidad, cardiopatía, y/o síndrome metabólico (Barraza Gómez et al., 2022; Gao et al., 2022). Según Valentino et al. (2015), el contenido de grasa corporal evaluado mediante la medición de pliegues cutáneos y el cálculo del IMC, presentan una relación significativa con FRCV. Adicionalmente, tanto el sumatorio de pliegues, el ICE y el ICC, se han descrito como índices que presentan una fuerte relación con la prevalencia de FRCV, así como el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares (Freedman et al., 1999; Huxley et al., 2010).

La relación encontrada entre variables antropométricas, parámetros asociados al riesgo cardiometabólico y la T^a superficial de la piel, medida con termografía, podría potenciar el uso de esta última técnica como un método complementario de evaluación por la alta relación que existe entre los parámetros antropométricos de riesgo cardiovascular y la T^a de la piel (Huang et al., 2011). El uso de termografía, a diferencia de los métodos donde se utilizan dispositivos de contacto, permiten a las cámaras térmicas una mayor y mejor obtención de datos ya que logran cuantificar los cambios de T^a en una o varias zonas corporales a la vez (Kastberger & Stachl, 2003). Además, el hecho de no tener necesidad de tomar contacto con la superficie de la piel no perturban la zona de muestra analizada, como se observa al contrario con los sistemas de control de T^a por contacto que al realizar las mediciones en la piel, aumentan la probabilidades de perturbar o dañar al sujeto, así como alterar las zonas anatómicas y, por tanto, la propia distribuciones de T^a (Tattersall, 2016).

5.3. Tercer estudio

La evaluación de las necesidades energéticas es un componente necesario en el desarrollo y evaluación de un plan de atención nutricional, que permite identificar las problemáticas asociadas al gasto de energía y a la ingesta de nutrientes. La tasa metabólica, como ya se identificó en el apartado de antecedentes, se puede medir por vías directas e indirectas o estimar mediante ecuaciones. La estimación del GER (Kcal/día o Kcal/día/kg) por medio de fórmulas predictivas es, con mucho, el método más comúnmente utilizado. Se sabe que variables como la edad, el peso, la composición corporal, la etnia, el género, la alimentación, la salud y el tiempo de

sueño nocturno, son algunos de los factores que pueden influir en la determinación del GER. La utilización de fórmulas predictivas, en muchas ocasiones, son validadas para otras poblaciones que presentan diferencias con las personas que las utilizan en otros lugares del planeta. Es por tal motivo que, una vez analizadas las variables antropométricas, junto con la T^a superficial de la piel y las relaciones con la calorimetría indirecta, se propuso la creación de una nueva fórmula para hombres chilenos, adultos, sanos entre 18 y 50 años. En la Tabla 18 se presentaron los coeficientes B para la fórmula desarrollada (ver página 52). Estos datos explican, de mejor manera, el modelo en relación a las demás variables de la investigación para la predicción del GER (Kcal/día).

$$\text{Modelo Y} = -715,11 + (1,39 * \text{Peso Corp}) + (65,36 * \text{D-Tórax-T}) + (106,34 * \text{D-femoral}) + (-62,64 * \text{Pl-Subescap-T}^a) + (-3,81 * \text{Pl-Supraespinal-T}^a) + (-53,84 * \text{Pl-Pantorrilla-T}^a) + (33,66 * \text{Pl-Tríceps-T}^a) + (31,12 * \text{Pl-Abdominal-T}^a) + (43,61 * \text{Pl-Muslo-T}^a).$$

Para esta fórmula de regresión múltiple lineal, se obtuvo un $R^2 = 0,68$, con una $p < 0,001$.

Donde:

D-Tórax-T = Diámetro de tórax transverso, en cm.

D-Femoral = Diámetro femoral o biepicondilar, en cm.

Pl-Subescap-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue subescapular, en °C.

Pl-Supraespinal-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue supraespinal, en °C.

Pl-Pantorrilla-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue de la pantorrilla, en °C.

Pl-Tríceps-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue del tríceps, en °C.

Pl-Abdominal-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue abdominal, en °C.

Pl-Muslo-T^a = Temperatura por TI en la zona del pliegue del muslo, en °C.

Por otra parte existe una gran cantidad de fórmulas desarrolladas para la evaluación del GER, la mayoría de las ecuaciones se han basado en un análisis regresivo utilizando variables como el peso corporal, la altura, sexo y edad, o análisis de algunas variables independientes; como el tejido adiposo, el tejido libre de grasa, el área de superficie corporal y el nivel de potasio corporal total (Weijs et al., 2008). No existen estudios que valoren el GER a partir de datos de TI o de la combinación de datos de TI y antropométricos. Los estudios más cercanos se relacionan a la estimación del gasto energético utilizando el VO₂ durante ejercicio, en sujetos sanos (Jensen et al., 2016) o para estimar el estado de fatiga (Hadžić et al., 2019).

Las fórmulas de estimación del gasto energético en reposo, han sido en su mayoría desarrolladas en personas sanas, utilizando variables que se han obtenido tras regresiones estadísticas y donde las variables más utilizadas comprenden el peso corporal, la estatura, el sexo y la edad (Blasco Redondo, 2015). En el caso de la fórmula FAO/WHO/UNU (1985), se tiene en cuenta el sexo, grupos de edad y peso (Weijs et al., 2008). Algunos autores también han considerado el IMC (Weijs et al., 2008). Por otra parte, para el desarrollo del modelo de éste estudio se optó por la referencia de la calorimetría indirecta, por ser la técnica *gold standard* a nivel mundial. En nutrición, la predicción precisa del GER es importante para establecer objetivos de ingesta dietética adecuados para un control eficaz del peso (Song et al., 2014).

En esta ocasión y considerando las relaciones obtenidas en esta investigación (variables de composición corporal, T^a superficial de la piel y las relaciones encontradas con el GER), se ha desarrollado una nueva ecuación considerando no sólo las variables comúnmente utilizadas, sino también otras variables como la T^a superficial de la piel y parámetros antropométricos (diámetros óseos y grosor de pliegues cutáneos) que han sido representativos del GER.

Al identificar si existen diferencias entre el valor de gasto energético determinado por el análisis de gases (es decir, el valor predictivo que el equipo entrega y que está basado en la fórmula que siempre ha sido la más utilizada a nivel mundial; la ecuación de Harris y Benedict (Frankenfield et al., 2005)) y por la fórmula desarrollada en esta investigación (Tabla 20), se puso de manifiesto que no existieron diferencias significativas ($p > 0,691$). Es relevante destacar que, tanto la fórmula original de Harris & Benedict y la fórmula desarrollada en la presente investigación, utilizaron muestras similares; hombres con un peso normal. No obstante, difieren en el rango de edad que se utilizó y en el tamaño muestral: en la investigación de Harris y Benedict participaron 136 sujetos en edades comprendidas entre los 16 y los 63 años. Por otra parte, al igual que en la investigación desarrollada en esta tesis las evaluaciones se realizaron en estado de reposo (Harris & Benedict, 1918), manteniendo así las exigencias del protocolo.

En un estudio que desarrolló Oliveira (Oliveira et al., 2014), en donde se realizó un análisis comparativo con las fórmulas predictivas de Harris y Benedict (1918), con

una $p = 0,15$, de Schofield (1985), con una $p = 0,41$, de la OMS, con una $p = 0,59$ (Weijs et al., 2008), de Henry y Rees, con una $p = 0,13$ (Oliveira et al., 2014) y la calorimetría indirecta en adolescentes obesos, tampoco se encontraron diferencias significativas al comparar las 4 fórmulas predictivas, así como los respectivos valores de calorimetría indirecta para esa población.

En otro estudio, se encontraron diferencias significativas para todas las ecuaciones o modelos evaluados ($p < 0,05$) y la determinación del GER por calorimetría indirecta, al utilizar las fórmulas de predicción encontradas en la bibliografía, como las de Owen (Owen et al., 1988), la de Mifflin (Mifflin et al., 1990), la de la FAO/WHO/UNU (FAO/WHO/UNU, 1985), la de Henry (Henry, 2005), la de Harris y Benedict (Harris & Benedict, 1918) y la fórmula modificada de Harris y Benedict (Roza & Shizgal, 1984). Aunque, en la fórmula propuesta en este estudio no se encontraron diferencias significativas con la fórmula que utiliza el equipo Cortex y con la calorimetría indirecta (Tabla 21).

En cuanto a la correlación entre el GER, estimado a partir de los valores de VCO_2/VO_2 , y el estimado por las fórmulas, se observó que las ecuaciones mostraron resultados significativos para la correlación de Spearman. Esto puede deberse a que para la determinación de GER se utilizan variables que, en la mayoría de las fórmulas son similares, como; la edad, el peso corporal, el género y la altura, por lo que se evidencian correlaciones en todas ellas, aunque no así en la desarrollada en esta investigación, en la que se incorporaron valores de T^a superficial de la piel, así como diámetros óseos. Las correlaciones observadas con estas fórmulas se clasificaron como moderadas pero, con la fórmula propuesta en la investigación, se obtuvieron los mejores resultados por el modelo desarrollado GER estimado con la ecuación tesis, $r = 0,687$ $p < 0,001$, GER previsto equipo Cortex, ($r = 0,58$; $p < 0,001$) y Owen et al ($r = 0,53$; $p < 0,001$) (Tabla 22).

Resulta importante comentar que la ecuación de la OMS se desarrolló a partir de la investigación en jóvenes europeos, la mayoría de los cuales eran militares y reclutas, con un 45% de ascendencia italiana (Frankenfield et al., 2005). Caso contrario fue lo ocurrió en una investigación desarrollada en sujetos chinos, de entre 20 y 40 años, con un IMC entre 15 y 30 kg/m^2 , y donde las mismas fórmulas aplicadas a la predicción del GER sobreestimaron los valores medios de GER. Esto parece indicar

que las diferencias étnicas podrían marcar desigualdades entre los GER en reposo tanto para la evaluación indirecta por medio de calorimetría como para la predicción por medio de fórmulas (Rao et al., 2012).

Las ecuaciones de la FAO/WHO/UNU (1985), la de Harris & Benedict (1918) y la de Mifflin et al. (1990) sobrestimaron significativamente el GER medio; en un 7,5%, 6,0% y 2,4%, respectivamente. El porcentaje de la validez de la predicción para las ecuaciones de FAO/WHO/UNU (1985), las de Harris & Benedict (1918), la de Mifflin et al. (1990) y la de Owen (1988) fue del 60%, 67%, 75% y 73%, respectivamente (Song et al., 2014). En la investigación, al comparar con la fórmula de la FAO/WHO/UNU, se sobreestimó en 208 Kcal/día el GER evaluado por gases; a diferencia de nuestra fórmula que tuvo un promedio 15,63 kcal/día de diferencia con la calorimetría indirecta (Tabla 23). Esto puede deberse a que la fórmula de la FAO/WHO/UNU consideró para su diseño a una población con un rango más amplio de edades, 30 – 82 años).

Otro punto a considerar es que, en la revisión bibliográfica desarrollada, sólo se encontraron 2 investigaciones que relacionan el consumo de O₂ con el flujo óptico de calor y otro que estimó el gasto de energía por medio de imágenes de video por TI. En el primero el VO₂ y el gasto de energía se pudo estimar con bastante precisión (Jensen et al., 2016) y, en el segundo, se pudo demostrar que por medio del análisis de video simple se podían obtener estimaciones del gasto de energía íntimamente vinculadas con las evaluaciones de consumo de O₂ (Gade et al., 2017). Otro estudio que utilizó el flujo de calor medido en la piel encontró una elevada validez para estimar el gasto calórico (Lyden et al., 2014).

Como ya se ha señalado anteriormente, no se encontraron ecuaciones predictivas que utilizaran valores de T^a superficial de la piel. Además, la fórmula desarrollada en esta investigación considera variables antropométricas como peso y diámetro tórax; este último, relaciona una zona de elevada T^a producto de los órganos que se alojan en esa región anatómica y que son capaces de generar procesos metabólicos importantes (Chudecka et al., 2014; Hwaung et al., 2019).

Con relación al método de fraccionamiento de las masas corporales y la determinación de la masa muscular utilizando el modelo de 5 componente que se

aplicó en esta investigación, se establecieron relevantes relaciones entre los diámetros óseos y la estimación de la masa muscular (Kerr, 1988). En cuanto a las diferencias de medias entre las diversas fórmulas, así como la desarrollada en la investigación *vs.* GER, se puede observar que en comparación con las fórmulas predictivas previas (FAO/WHO/UNU, 1985; Roza & Shizgal., 1984 (A partir de Harris & Benedict., 1918), Mifflin et al., 1990), la fórmula de esta investigación es la que presenta las menores diferencias en Kcal/día estimadas por calorimetría indirecta. Aún más, la fórmula aquí desarrollada sólo presenta 15,63 Kcal/día, en promedio, de diferencia en relación con el GER por calorimetría indirecta (Tabla 24 y 25). En este sentido, en un estudio realizado en adultos chilenos se muestran diferencias entre 108 y 172 Kcal/día (Carrasco et al., 2002).

La utilización de la calorimetría indirecta de gases, utilizada en la evaluación del gasto energético, ha sido y sigue siendo una técnica compleja de utilizar y bastante costosa; restringiéndola a su uso clínico; lo que ha estimulado utilizar variables más simples como el peso o la estatura (Blasco Redondo, 2015). Diversos autores señalan que hasta ahora, las ecuaciones predictivas siguen siendo el método de estimación de GER más común, ya que permiten un cálculo rápido de GER, utilizando datos antropométricos básicos (peso y altura) y habiendo sido validados entre diferentes grupos de población (Blundell et al., 2012; Bzikowska Jura et al., 2020).

Finalmente, en relación a las limitaciones que el estudio pueda presentar, hay que señalar que muchas son atribuibles al tamaño de la muestra. En este estudio, aunque estaba considerado utilizar un volumen de muestra mayor, los efectos de la pandemia por COVID 19 limitaron las expectativas. Ciertamente, hizo prácticamente imposible conseguir una mayor cantidad de sujetos para ser evaluados y que fueran trasladados a las instalaciones utilizadas en el estudio, ya equipadas con los instrumentos y equipos de evaluación. Ello, quizá, hubiera permitido recoger más datos que posibilitaran mejorar la validación estadística de la fórmula predictiva desarrollada en este trabajo de investigación.

Adicionalmente, otra limitación que puede darse en la predicción del gasto energético, a diferencia de los datos que permiten obtener los métodos como el flujo de análisis en gases, es que no podrían considerarse las estimaciones del uso de sustratos en esta primera instancia.

Por último, por dificultades en el manejo del equipamiento para medir el gasto energético, en esta investigación sólo se pudo valorar a sujetos sanos. Por tanto, sería interesante poder evaluar sujetos en otras condiciones de salud, incluyendo así personas con diferentes estados ponderales y con FRCV, con la finalidad de establecer relaciones con sujetos sanos y, de ser posible, desarrollar fórmulas predictivas específicas para esas u otras poblaciones.

Finalmente, una fortaleza de la investigación fue haber podido tener acceso a realizar calorimetría indirecta con el equipo portátil de gases Cortex para la evaluación de todos los sujetos. Además, otro de los puntos que confiere valor a la presente investigación, es el haber contado con espacios de evaluación muy bien controlados y que permitieron obtener datos confiables.

6. CONCLUSIONES

6.1. Conclusión general

Los cambios producidos en la composición corporal impactan en el GER. Así cambios en tejidos como la masa muscular y la masa adiposa modifican la generación de calor corporal y, por tanto, pueden ser cuantificados a nivel de la superficie de la piel por termografía infrarroja, lo que supone nuevas posibilidades de estimar, por medio de fórmulas predictivas, el GER y variables de la composición corporal

6.2. Conclusión primer estudio

Los cambios en la composición corporal causan una modificación en los patrones de temperatura de la superficie de la piel medida por TI, sin afectar la relación entre el promedio de la temperatura superficial total con el GER, pudiendo ser este un factor predictor. Es evidente que el grosor de los pliegues corporales determina el nivel de pérdida de calor en la piel. Es por tanto posible, por medio de estos datos, establecer las bases para crear un modelo matemático predictor del GER en reposo por medio de una ecuación.

6.3. Conclusión segundo estudio

Queda demostrada la existencia de una relación entre la medición de la temperatura superficial de la piel, parámetros antropométricos de la composición corporal asociados a FRCV y de GER, pudiendo ser la termografía por infrarrojo una herramienta útil para complementar la evaluación de FRCV. De acuerdo con esto, el incremento de los factores antropométricos asociados al riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares se relacionó con una disminución de la temperatura superficial, reflejando claramente las propiedades de la composición corporal, y más concretamente el tejido adiposo subcutáneo, y como dichas variables influyen en la disipación de calor y su relación con el riesgo cardiometabólico.

6.4. Conclusión tercer estudio

Por medio de la utilización de variables de TI en la piel y variables antropométricas se pudo establecer la relación que existe con el GER y desarrollar una ecuación que permita estimar, de forma doblemente indirecta, el GER, utilizando para ello variables antropométricas como el peso corporal, 2 diámetros y la temperatura superficial de la piel en sitios utilizados para la evaluación de pliegues cutáneos. Al analizar los datos de la fórmula creada y comparar con los valores obtenidos por GER respiración a respiración y GER por fórmula de Harris & Benedict, no se observaron diferencias significativas. En este caso, el modelo además de utilizar 3 variables antropométricas, hace uso de parámetros termográficos de la piel, lo que de alguna manera podría permitir predecir el GER mediante el uso de cámaras termográficas.

Tal y como se desprende de los resultados de esta investigación se considera plausible considerar el uso de la termografía a la hora de evaluar condiciones de anormalidad en FRCV y metabólico. La aplicación de esta una nueva fórmula de predicción creada para la estimación del GER, donde se aplican variables adicionales como los valores de temperatura superficial de la piel por medio de termografía en sitios específicos, sumadas a los parámetros antropométricos clásicos, tal y como se ha evidenciado en esta investigación, presenta una estrecha relación con la producción de calor producto de los procesos metabólicos. Los resultados obtenidos en la presente investigación refuerzan el uso del método termográfico como un método menos complejo, más probable de poder ser aplicado, a nivel mundial, a grandes grupos poblacionales y, a su vez, menos costoso. Además, los equipos para determinar parámetros antropométricos y de termografía pueden ser más accesibles que un equipo de calorimetría indirecta.

Por último, sería importante considerar la utilización de esta fórmula de estimación del GER en poblaciones de hombres chilenos, entre 18 y 50 años, sin enfermedades.

7. BIBLIOGRAFÍA

7.1. Bibliografía

Al Alousi, L. M., Anderson, R. A., Worster, D. M., & Land, D. V. (2001). Multiple-probe thermography for estimating the postmortem interval: I. Continuous monitoring and data analysis of brain, liver, rectal and environmental temperatures in 117 forensic cases. *Forensic Science International*, 46(2), 317–322.

Al Nakhli, H. H., Petrofsky, J. S., Laymon, M. S., & Berk, L. S. (2012). The use of thermal infra-red imaging to detect delayed onset muscle soreness. *Journal of Visualized Experiments*, 22(59), 3551. doi: 10.3791/3551

Alfonzo González, G., Doucet, E., Alméras, N., Bouchard, C., & Tremblay, A. (2004). Estimation of daily energy needs with the FAO/WHO/UNU 1985 procedures in adults: Comparison to whole-body indirect calorimetry measurements. *European Journal of Clinical Nutrition*, 58(8), 1125–1131.

Almagiá Flores, A. A., Rodríguez Rodríguez, F., Barraza Gómez, F. O., Lizana Arce, P. J., & Jorquera Aguilera, C. A. (2008). Perfil antropométrico de jugadoras chilenas de fútbol femenino. *International Journal of Morphology*, 26(4), 817–821.

Alves Junior, C. A., Mocellin, M. C., Gonçalves, E. C. A., Silva, D. A., & Trindade, E. B. (2017). Anthropometric indicators as body fat discriminators in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Advanced Nutrition*, 8(5):718–727.

Almeida, E. dos P., Pinho, C. P. S., Leão, A. P. D., Rodrigues, I. G., Diniz, A. da S., & de Arruda, I. K. G. (2018). Razón entre grasa visceral y subcutánea como predictor de alteraciones cardiometabólicas. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(1), 28–36.

Amaral, T. F., Restivo, M. T., Guerra, R. S., Marques, E., Chousal, M. F., & Mota, J. (2011). Accuracy of a digital skinfold system for measuring skinfold thickness and estimating body fat. *British Journal of Nutrition*, 105(3), 478–484.

Amiri, S., & Behnezhad, S. (2019). Body mass index and risk of sick leave: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Obesity*, 9(6), e12334. doi: 10.1111/cob.12334.

Armstrong, D. G., Lavery, L. A., Liswood, P. J., Todd, W. F., & Tredwell, J. A. (1997). Infrared dermal thermometry for the high-risk diabetic foot. *Physical Therapy*, 77(2), 169–175.

Ashwell, M., Gunn, P., & Gibson, S. (2012). Waist-to-height ratio is a better screening tool than waist circumference and BMI for adult cardiometabolic risk factors: Systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, 13(3), 275–286.

Aune, D., Norat, T., & Vatten, L. J. (2015). Body mass index, abdominal fatness and the risk of gallbladder disease. *European Journal of Epidemiology*, 30(9), 1009–1019.

Ayvaz, G., & Çimen, A. (2011). Methods for body composition analysis in adults. *Open Obesity Journal*, 3(1), 62–69.

Báez San Martín, E., Jil Beltrán, K., Ramírez Campillo, R., Tuesta, M., Barraza Gómez, F., Opitz Ben Hour, A., et al. (2019). Composición corporal y somatotipo de rugbistas chilenos y su relación con la posición de juego. *International Journal of Morphology*, 37(1), 331–337.

Báez, E., Franchini, E., Ramírez Campillo, R., Cañas Jamett, R., Herrera, T., Burgos Jara, C., et al. (2014). Anthropometric characteristics of top-class brazilian Jiu Jitsu athletes: Role of fighting style. *International Journal of Morphology*, 32(3), 1043–1050.

Bagavathiappan, S., Philip, J., Jayakumar, T., Raj, B., Rao, P. N., Varalakshmi, M., et al. (2010). Correlation between plantar foot temperature and diabetic neuropathy: A case study by using an infrared thermal imaging technique. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 4(6), 1386–1392.

Bahamondes Avila, C., Cifuentes Cea, B. M., Lara Padilla, E., & Berral de la Rosa, F. J. (2012). Composición corporal y somatotipo en fútbol femenino: Campeonato Sudamericano Sub-17. *International Journal of Morphology*, 30, 450–460.

Barcelos, E. Z., Caminhas, W. M., Ribeiro, E., Pimenta, E. M., & Palhares, R. M. (2014). A combined method for segmentation and registration for an advanced and progressive evaluation of thermal images. *Sensors*, 14(11), 21950–21967. doi: 10.3390/s141121950

Barker, D. J., Osmond, C., & Golding, J. (1990). Height and mortality in the counties of England and Wales. *Annals of Human Biology*, 17(1), 1–6.

Barraza Gómez, F., Yañez Sepúlveda, R., Tuesta Roa, M., Nuñez, P., Zamora, Y., & Rosales Soto, G. (2015). Anthropometric profile in chilean handball players according to playing position. *International Journal of Morphology*, 33 (3), 1093–1101.

Barraza Gómez, F., Alvear Órdenes, I., Hecht Chau, G.; Henríquez, M. & Tuesta, M. (2021). Association between infrared thermography, anthropometry parameters and rest energy expenditure in men. *International Journal of Morphology*, 39(4), 1176–1182.

Barraza Gómez, F., Alvear Ordenes, I., Yañez Sepúlveda, R., & Hecht Chau, G. (2022). Asociación entre la termografía por infrarrojo y parámetros antropométricos de riesgo cardiometabólico en hombres. *International Journal of Morphology*, 40(1), 51–56.

Barraza Gomez, F., Alvear Órdenes, I., Henriquez Valenzuela, M., Hecht Chau, G., & Yañez Sepulveda, R. (2021). Cambios morfoestructurales en soldados conscriptos después de cuatro semanas de entrenamiento físico básico. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 50(1), e02101070. Disponible en:

<https://revmedmilitar.sld.cu/index.php/mil/article/view/1070> [accedido: 14 de agosto 2023]

Barraza Gómez, F., Yáñez Sepúlveda, R., Tuesta Roa, M., Hecht Chau, G., Báez San Martín, E., & Henríquez Valenzuela, M. (2020). Características antropométricas de personal militar masculino chileno. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 49(2), 246–261.

Barraza Gómez, F., Hecht Chau, G., Báez San Martín, E., Toro Salinas, A., Henríquez, M., García Pelayo, S., Cuevas, M. J., Alvear Ordenes, I. (2023). Relación entre la temperatura de superficie, la composición corporal e indicadores antropométricos de obesidad y sobrepeso. *International Journal of Morphology*, 41(6), 1829–1837

Barraza, F., Yáñez, R., Báez, E., & Rosales, G. (2015). Características antropométricas por posición de juego en mujeres futbolistas chilenas de la región de Valparaíso, Chile. *International Journal of Morphology*, 33 (4), 1225–1230.

Bauer, J., Hoq, M.N., Mulcahy, J.F., Tofail, S.A., Gulshan, F., Silien, C., et al. (2020). Implementation of artificial intelligence and non-contact infrared thermography for prediction and personalized automatic identification of different stages of cellulite. *The EPMA Journal*, 11(1), 17–29.

Beć, K. B., Grabska, J., & Huck, C. W. (2020). Near-infrared spectroscopy in bio-applications. *Molecules*, 25(12), 2948.

Benito, P. J., Neiva, C., González Quijano, P. S., Cupeiro, R., Morencos, E., & Peinado, A. B. (2012). Validation of the SenseWear armband in circuit resistance training with different loads. *European Journal of Clinical Nutrition*, 112(8), 3155–3159.

Behnke, A. R., Jr., Feen, B. G., & Welham, W. C. (1995). The specific gravity of healthy men. Body weight divided by volume as an index of obesity. 1942. *Obesity Research*, 3(3), 295–300.

Benkö, I., Köteles, G., & Németh, G. (1996). Thermal imaging of the effects of beta-irradiation on human body surface. QIRT 96. Eutother Series 50. *Edizioni ETS, Pisa*. doi.org/10.21611/qirt.1996.059. <http://qirt.org/archives/qirt1996/papers/059.pdf>

Bertelsmann, F. W., Heimans, J. J., Weber, E. J., van der Veen, E. A., & Schouten, J. A. (1985). Thermal discrimination thresholds in normal subjects and in patients with diabetic neuropathy. *Neurology Neurosurg Psychiatry*, 48(7), 686–690.

Bharara, M., Cobb, J. E., & Claremont, D. J. (2006). Thermography and thermometry in the assessment of diabetic neuropathic foot: A case for furthering the role of thermal techniques. *Lower Extremity Wounds*, 5(4), 250–260.

Birnbaum, S. J., & Kliot, D. (1964). Thermography-obstetrical applications. *Annals New York Academy of Sciences*, 121, 209–222.

- Bitar, D., Goubar, A., & Desenclos, J. C. (2009). International travels and fever screening during epidemics: A literature review on the effectiveness and potential use of non-contact infrared thermometers. *Euro Surveillance*, *14*(6) 1–5.
- Blasco Redondo, R. (2015). Resting energy expenditure; assessment methods and applications. *Nutrición Hospitalaria*, *31*(3), 245–254.
- Blundell, J. E., Caudwell, P., Gibbons, C., Hopkins, M., Naslund, E., King, et al. (2012). Role of resting metabolic rate and energy expenditure in hunger and appetite control: A new formulation. *Disease Models & Mechanisms*, *5*(5), 608–613.
- Borga, M., West, J., Bell, J. D., Harvey, N. C., Romu, T., Heymsfield, S. B., et al. (2018). Advanced body composition assessment: From body mass index to body composition profiling. *Journal of Investigative Medicine*, *66*(5), 1–9.
- Bosomworth, N. J. (2019). Normal-weight central obesity: Unique hazard of the toxic waist. *Canadian Family Physician*, *65*(6), 399–408.
- Bouzas Marins, J. C., de Andrade Fernandes, A., Gomes Moreira, D., Souza Silva, F., Costa, C. M. A., Pimenta, E. M., et al. (2014). Thermographic profile of soccer players' lower limbs. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, *7*(1), 1–6.
- Bouzida, N., Bendada, A., & Maldague, X. P. (2009). Visualization of body thermoregulation by infrared imaging. *Journal Thermal of Biology*, *34*(3), 120–126.
- Bozorgmanesh, M., Hadaegh, F., Zabetian, A., & Azizi, F. (2011). Impact of hip circumference and height on incident diabetes: Results from 6-year follow-up in the Tehran Lipid and Glucose Study. *Diabetic Medicine*, *28*(11), 1330–1336.
- Brasil, S., Renck, A. C., de Meneck, F., Brioschi, M. L., Costa, E. F., & Teixeira, M. J. (2020). A systematic review on the role of infrared thermography in the Brown adipose tissue assessment. *Reviews in Endocrine & Metabolic Disorders*, *21*(1), 37–44.
- Brook, C. G. (1971). Determination of body composition of children from skinfold measurements. *Archives of Disease in Childhood*, *46*(246), 182–184.
- Brooks, J. P., Perry, W. B., Putnam, A. T., & Karulf, R. E. (2000). Thermal imaging in the detection of bowel ischemia. *Disease of the Colon and Rectum*, *43*(9), 1319–1321.
- Browning, L. M., Hsieh, S. D., & Ashwell, M. (2010). A systematic review of waist-to-height ratio as a screening tool for the prediction of cardiovascular disease and diabetes: 0.5 could be a suitable global boundary value. *Nutrition Research Reviews*, *23*(2), 247–269.

Brožek, J., Grande, F., Anderson, J. T., & Keys, A. (1963). Análisis densitométrico de la composición corporal: revisión de algunas suposiciones cuantitativas. *Anales de la Academia de Ciencias de Nueva York*, *110*, 113–140.

Brychta, R., Wohlers, E., Moon, J., & Chen, K. (2010). Energy expenditure: Measurement of human metabolism. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, *29*(1), 42–47.

Buchholz, A. C., Rafii, M., & Pencharz, P. B. (2001). Is resting metabolic rate different between men and women? *British Journal of Nutrition*, *86*(6), 641–646.

Bzikowska Jura, A., Szulińska, A., & Szostak Węgierek, D. (2020). Resting energy expenditure during breastfeeding: Body composition analysis vs. predictive equations based on anthropometric parameters. *Nutrients*, *12*(5). doi:10.3390/nu12051274

Cameron, A. J., Magliano, D. J., & Söderberg, S. (2013). A systematic review of the impact of including both waist and hip circumference in risk models for cardiovascular diseases, diabetes and mortality. *Obesity Reviews*, *14*(1), 86–94.

Cameron, N., & Jones, L. L. (2010). History, Methods, and General Applications of Anthropometry in Human Biology. In M. P. Muehlenbein (Ed.), *Human Evolutionary Biology*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 92–112

Cao, Q., Yu, S., Xiong, W., Li, Y., Li, H., Li, J., et al. (2018). Waist-hip ratio as a predictor of myocardial infarction risk: A systematic review and meta-analysis. *Medicine*, *97*(30), e11639. doi: 10.1097/MD.00000000000011639.

Carrasco, F. N., Reyes, E. S., Núñez B, C., Riedemann S, K., Rimler S, O., Sánchez G, G., & Sarrat G, G. (2002). Gasto energético de reposo medido en obesos y no obesos: Comparación con la estimación por fórmulas y ecuaciones propuestas para población chilena. *Revista Médica de Chile*, *130*, 51–60.

Cattaneo, C., Di Giancamillo, A., Campari, O., Orthmann, N., Martrille, L., Domeneghini, C., et al. (2009). Infrared tympanic thermography as a substitute for a probe in the evaluation of ear temperature for post-mortem interval determination: A pilot study. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, *16*(4), 215–217.

Chan, D., Vieira, A. R., Aune, D., Bandera, E. V., Greenwood, D. C., McTiernan, A., et al. (2014). Body mass index and survival in women with breast cancer-systematic literature review and meta-analysis of 82 follow-up studies. *Annals of Oncology*, *25*(10), 1901–1914.

Charkoudian, N. (2003). Skin blood flow in adult human thermoregulation: How it works, when it does not, and why. *Mayo Clinic Proceedings*, *78*(5), 603–612.

Cheung, M., Chan, L., Lauder, I., & Kumana, C. (2012). Detection of body temperature with infrared thermography: Accuracy in detection of fever. *Hong Kong Medical Journal*, *18 Suppl 3*, 31–34.

Chicharro, J., Vaquero, A. (2006). *Fisiología del Ejercicio* (3a ed.). Editorial Médica Panamericana S.A, Bueno Aires. pp. 679–681.

Chudecka, M., & Lubkowska, A. (2015). Thermal maps of young women and men. *Infrared Physics & Technology*, *69*, 81–87.

Chudecka, M., Lubkowska, A., & Kempieńska Podhorodecka, A. (2014). Body surface temperature distribution in relation to body composition in obese women. *Journal Thermal of Biology*, *43*, 1–6.

Chudecka, M., Zaborski, D., Lubkowska, A., Grzesiak, W., Klimek, A., & Modrzejewski, A. (2014). Temperature changes in selected areas of body surface induced by systemic cryostimulation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, *85*, 1170–1176.

Clark, R.P., & de Calcina Goff, M.L. (1996). International standardisation in medical thermography-draft proposals. *Proceedings of 18th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, *5*, 2089–2090.

Clarys, J. P., Martin, A. D., & Drinkwater, D. T. (1984). Gross tissue weights in the human body by cadaver dissection. *Human Biology*, *56*(3), 459–473.

Compher, C., Frankenfield, D., Keim, N., & Roth Yousey, L. (2006). Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: A systematic review. *Journal of the American Dietetic Association*, *106*(6), 881–903.

Costello, J. T., McInerney, C. D., Bleakley, C. M., Selfe, J., & Donnelly, A. E. (2012). The use of thermal imaging in assessing skin temperature following cryotherapy: A review. *Journal Thermal of Biology*, *37*(2), 103–110.

Costa Moreira, O. (2015). Métodos de evaluación de la masa muscular: una revisión sistemática. *Nutricion Hospitalaria*, *3*, 977–985.

Cramer, M. N., & Jay, O. (2019). Partitional calorimetry. *Journal of Applied Physiology*, *126*(2), 267–277.

Crawshaw, L., Grahn, D., Wollmuth, L., & Simpson, L. (1985). Central nervous regulation of body temperature in vertebrates: Comparative aspects. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*, *30*(1), 19–30.

Cutti, A. G., Perego, P., Fusca, M. C., Sacchetti, R., & Andreoni, G. (2014). Assessment of lower limb prosthesis through wearable sensors and thermography. *Sensors*, *14*(3), 5041–5055.

Dall, L., & Stanford, J. F. (1990). Fever, Chills, and Night Sweats. In H. K. Walker, W. D. Hall, & J. W. Hurst (Eds.), *Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations*. Boston: Butterworths

De la Cruz Marcos, S., de Mateo Silleras, B., Camina Martín, M. A., Carreño Enciso, L., Miján de la Torre, A., Galgani Fuentes, J. E., et al. (2015). Propuesta de una nueva fórmula de estimación del gasto energético en reposo para población sana española [proposal for a new formula for estimating resting energy expenditure for healthy spanish population]. *Nutricion Hospitalaria*, 32(5), 2346–2352.

de Andrade Fernandes, A., Pimenta, E. M., Moreira, D. G., Sillero Quintana, M., Marins, J. C. B., Morandi, R. F., et al. (2017). Effect of a professional soccer match in skin temperature of the lower limbs: A case study. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 13(3), 330–334.

Demerath, E. W., & Fields, D. A. (2014). Body composition assessment in the infant. *American Journal of the Human Biology*, 26(3), 291–304.

Dereñ, E., & Bauer, J. (2014). Standardization of infrared thermal imaging in medicine and physiotherapy. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica. Biomedical Engineering*, 20 (1), 11–20.

Di Carlo, A. (1995). Thermography and the possibilities for its applications in clinical and experimental dermatology. *Clinical Dermatology*, 13(4), 329–336.

Dobszai, D., Mátrai, P., Gyöngyi, Z., Csupor, D., Bajor, J., Eröss, B., et al. (2019). Body-mass index correlates with severity and mortality in acute pancreatitis: A meta-analysis. *World Journal of Gastroenterology*, 25(6), 729–743.

Dong, Y., Zhou, J., Zhu, Y., Luo, L., He, T., Hu, H., et al. (2017). Abdominal obesity and colorectal cancer risk: Systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Bioscience Reports*, 37(6), BSR20170945. doi: 10.1042/BSR20170945.

Dostalova, T., Kroulikova, V., Podzimek, S., & Jelinková, H. (2017). Low-level laser therapy after Wisdom Teeth Surgery: Evaluation of immunologic markers (secretory Immunoglobulin A and lysozyme levels) and thermographic examination: Placebo controlled study. *Photomedicine Laser Surgery*, 35(11):616–621.

Duan, P., Hu, C., Quan, C., Yi, X., Zhou, W., Yuan, M., et al. (2015). Body mass index and risk of lung cancer: Systematic review and dose-response meta-analysis. *Scientific Reports*, 5, 16938. doi: 10.1038/srep16938.

Durán Agüero, S., Maraboli Ulloa, D., Fernández Frías, F., & Cubillos Schmied, G. (2017). Composición corporal en soldados chilenos del Regimiento Buin. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 21(1), 11–17.

Duren, D. L., Sherwood, R. J., Czerwinski, S. A., Lee, M., Choh, A. C., Siervogel, R. M., et al. (2008). Body composition methods: Comparisons and interpretation. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 2(6), 1139–1146.

Durnin, J. V., & Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: Measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *British Journal of Nutrition*, 32(1), 77–97.

Eknoyan, G. (2007). Adolphe Quetelet (1796–1874)—the average man and indices of obesity. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 23(1), 47–51.

Ernst, M., & Lee, M. H. M. (1985). Sympathetic vasomotor changes induced by manual and electrical acupuncture of the Hoku point visualized by thermography. *Pain*, 21(1), 25–33.

Esteves de Oliveira, F. C., Mello Cruz, A. C. de, Gonçalves Oliveira, C., Rodrigues Ferreira Cruz, A. C., Mayumi Nakajima, V., & Bressan, J. (2008). Gasto energético de adultos brasileños saludables: una comparación de métodos. *Nutrición Hospitalaria*, 23(6), 554–561.

FAO/WHO/UNU (1985). Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. *World Health Organization Technical Report Series*, 724, 1–206.

Fernández Cuevas, I., Bouzas Marins, J. C., Arnáiz Lastras, J., Gómez Carmona, P. M., Piñonosa Cano, S., García Concepción, M. Á., et al. (2015). Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Physics & Technology*, 71, 28–55.

Fields, D. A., Goran, M. I., & McCrory, M. A. (2002). Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: A review. *American Journal of Clinical Nutrition*, 75(3), 453–467.

Fikackova, H., & Ekberg, E. (2004). Can infrared thermography be a diagnostic tool for arthralgia of the temporomandibular joint? *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, Endodontology*, 98(6), 643–650.

Flegal, K. M., Kit, B. K., Orpana, H., & Graubard, B. I. (2013). Association of all-cause mortality with overweight and obesity using standard body mass index categories: A systematic review and meta-analysis. *JAMA*, 309(1), 71–82.

Fosbøl, M. Ø., & Zerahn, B. (2015). Contemporary methods of body composition measurement. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 35(2), 81–97.

Foster, J., Lloyd, A. B., & Havenith, G. (2021). Non-contact infrared assessment of human body temperature: The journal Temperature toolbox. *Temperature*, 8(4), 306–319.

Frankenfield, D., Roth Yousey, L., & Compher, C. (2005). Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: A systematic review. *Journal of the American Dietetic Association*, 105(5), 775–789.

Frise, M., Karsh, J., Herry, C., Adéa, C., Aleem, I., & Payeur, P. (2009). Resultados preliminares de la gravedad de las medidas de la enfermedad de la artritis reumatoide utilizando imágenes infrarrojas. En: *Taller Internacional IEEE sobre Mediciones y Aplicaciones Médicas*. IEEE. pp. 187–192.

Freedman, D. S., Serdula, M. K., Srinivasan, S. R., & Berenson, G. S. (1999). Relation of circumferences and skinfold thicknesses to lipid and insulin concentrations in children and adolescents: The Bogalusa Heart Study. *American journal of Clinical Nutrition*, 69(2), 308–317.

Fuentes Servín, J., Avila Nava, A., González Salazar, L. E., Pérez González, O. A., Servín Rodas, M. D. C., Serralde Zuñiga, A. E., et al. (2021). Resting energy expenditure prediction equations in the pediatric population: A systematic review. *Frontiers in Pediatrics*, 9, 795364. doi: 10.3389/fped.2021.795364.

Gade, R., Larsen, R., & Moeslund, T. (2017). Measuring energy expenditure in sports by thermal video analysis. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 131–138.

Gajardo Burgos, R., & Martínez Huenchullán, S. (2013). Perfil Antropométrico de un Hombre de 116 años de Edad. *International Journal of Morphology*, 31, 414–417.

Gao, Y., Xie, X., Cianflone, K., Lapointe, M., Guan, J., Bu Jiaer, G. W., et al. (2015). Ethnic differences in acylation stimulating protein (ASP) in Xinjiang Uygur autonomous region, China. *International journal of clinical and experimental medicine*, 8(2), 2823–2830.

Gao, M. J., Xue, H. Z., Cai, R., Jiang, B. Y., Mi, B. H., Chen, Z. J., et al. (2022). A preliminary study on infrared thermograph of metabolic syndrome. *Frontiers in Endocrinology*, 13:851369. doi: 10.3389/fendo.2022.851369.

Garrido Chamorro, R., Sirvent Belando, J. E., González Lorenzo, M., Blasco Lafarga, C., & Roche, E. (2012). Skinfold sum: Reference values for top athletes. *International Journal of Morphology*, 30(3), 803–809.

Geijer, H., Udumyan, R., Lohse, G., & Nilsagård, Y. (2016). Temperature measurements with a temporal scanner: Systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*, 6(3), e009509. doi:10.1136/bmjopen-2015-009509

Gelber, R. P., Gaziano, J. M., Orav, E. J., Manson, J. E., Buring, J. E., & Kurth, T. (2008). Measures of obesity and cardiovascular risk among men and women. *Journal of the American College of Cardiology*, 52(8), 605–615.

Geneva, I. I., Cuzzo, B., Fazili, T., & Javaid, W. (2019). Normal body temperature: A systematic review. *Open Forum Infectious Diseases*, 6(4), ofz032. doi.org/10.1093/ofid/ofz032.

Gilder, H., Cornell, G. N., & Thorbjarnarson, B. (1967). Human energy expenditure in starvation estimated by expired-air analysis. *Journal of Applied Physiology*, 23(3), 297–303.

González Jiménez, E. (2013). Composición corporal: estudio y utilidad clínica. *Endocrinología y Nutrición*, 60(2), 69–75.

Guh, D. P., Zhang, W., Bansback, N., Amarsi, Z., Birmingham, C. L., & Anis, A. H. (2009). The incidence of co-morbidities related to obesity and overweight: A systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health*, 9, 88. doi:10.1186/1471-2458-9-88.

Gutiérrez Vargas, R., Ugalde Ramírez, J. A., Rojas Valverde, D., Salas Cabrera, J., Rodríguez Montero, A., & Gutiérrez Vargas, J. C. (2017). La termografía infrarroja como herramienta efectiva para detectar áreas musculares dañadas después de correr una maratón. *Revista de la Facultad de Medicina, Universidad nacional de Colombia*, 65, 601–607.

Gratt, B. M., & Anbar, M. (1998). Thermology and facial telethermography: Part II. Current and future clinical applications in dentistry. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 27(2), 68–74.

Hadžić, V., Širok, B., Malneršič, A., & Čoh, M. (2019). Can infrared thermography be used to monitor fatigue during exercise? A case study. *Journal of Sport and Health Science*, 8(1), 89–92.

Hall, J. E., & Guyton, A. C. (2016). *Compendio de fisiología médica* (13a ed.). Elsevier Ed. Barcelona.

Hall, K. D., & Guo, J. (2017). Obesity energetics: Body weight regulation and the effects of diet composition. *Gastroenterology*, 152(7), 1718–1727.

Harris, J. A., & Benedict, F. G. (1918). A biometric study of human basal metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 4(12), 370–373.

Harris, E. F., & Smith, R. N. (2009). Accounting for measurement error: A critical but often overlooked process. *Archives of Oral Biology*, 54 Suppl 1, S107–S117.

Hatipoglu, N., Mazicioglu, M. M., Kurtoglu, S., & Kendirci, M. (2010). Neck circumference: An additional tool of screening overweight and obesity in childhood. *European Journal of Pediatrics*, 169(6), 733–739.

Henry, C. J. (2005). Basal metabolic rate studies in humans: Measurement and development of new equations. *Public Health Nutrition*, 8(7a), 1133–1152.

Herman, C., & Cetingul, M. P. (2011). Quantitative visualization and detection of skin cancer using dynamic thermal imaging. *Journal of Visualized Experiments: JoVE*, (51), 2679. doi: 10.3791/2679.

- Heymsfield, S., Gallagher, D., Kotler, D. P., Wang, Z., Allison, D. B., & Heshka, S. (2002). Body-size dependence of resting energy expenditure can be attributed to nonenergetic homogeneity of fat-free mass. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 282(1), E132–E138.
- Heymsfield, S. B. (2018). Energy expenditure-body size associations: Molecular coordination. *European Journal Clinical Nutrition*, 72(9), 1314–1319.
- Heymsfield, S. B., Thomas, D., Bostman Westphal, A., Shen, W., Peterson, C. M., & Müller, M. J. (2012). Evolving concepts on adjusting human resting energy expenditure measurements for body size. *Obesity Reviews*, 13(11), 1001–1014.
- Hidalgo Salvador, E., Álvarez González, F., & Salvador Luna, A. (2014). Aplicación de la termografía infrarroja en medicina legal: ¿prueba válida para la objetivación de los síndromes dolorosos? Disfunción temporomandibular. *Cuadernos de Medicina Forense*, 20, 77–84.
- 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.
- Hooley, M., Skouteris, H., Boganin, C., Satur, J., & Kilpatrick, N. (2012). Body mass index and dental caries in children and adolescents: A systematic review of literature published 2004 to 2011. *Systematic Reviews*, 1, 57.
- Hosaki, Y., Mitsunobu, F., Ashida, K., Tsugeno, H., Okamoto, M., Nishida, N., et al. (2002). Non-invasive study for peripheral circulation in patients with diabetes mellitus. *Medicine*, 72, 31–37.
- Hoskin, M., Dewhirst, D., Steinicke, W. (2015). The Construction of the Heavens: William Herschel's Cosmology. *Isis*, 106 (1), 189–190.
- Huang, C. L., Wu, Y. W., Hwang, C. L., Jong, Y. S., Chao, C. L., Chen, W. J., et al. (2011). The application of infrared thermography in evaluation of patients at high risk for lower extremity peripheral arterial disease. *Journal of Vascular Surgery*, 54(4), 1074–1080.
- Hume, D. J., Yokum, S., & Stice, E. (2016). Low energy intake plus low energy expenditure (low energy flux), not energy surfeit, predicts future body fat gain. *American Journal of Clinical Nutrition*, 103(6), 1389–1396.
- Huxley, R., Mendis, S., Zheleznyakov, E., Reddy, S., & Chan, J. (2010). Body mass index, waist circumference and waist:hip ratio as predictors of cardiovascular risk: A review of the literature. *European Journal Clinical Nutrition*, 64(1), 16–22.
- Hwaung, P., Bostman Westphal, A., Muller, M. J., Geisler, C., Heo, M., Thomas, D. M., et al. (2019). Obesity tissue: Composition, energy expenditure, and energy content in adult humans. *Obesity*, 27(9), 1472–1481.

Institute of Medicine Committee on Military Nutrition. (1990). In: B. M. Marriott & J. Grumstrup Scott (Eds.), *Body Composition and Physical Performance: Applications For the Military Services*. Washington (DC): National Academies Press (US)

Institute of Medicine of the National Academies. (2005). *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids*. Washington, DC: The National Academies Press.

Jalil, B., Hartwig, V., Moroni, D., Salvetti, O., Benassi, A., Jalil, Z., et al. (2019). A pilot study of infrared thermography based assessment of local skin temperature response in overweight and lean women during oral glucose tolerance test. *Journal of Clinical Medicine*, 8(2), 260.

Janssen, I., Heymsfield, S. B., Allison, D. B., Kotler, D. P., & Ross, R. (2002). Body mass index and waist circumference independently contribute to the prediction of nonabdominal, abdominal subcutaneous, and visceral fat. *American Journal of Clinical Nutrition*, 75(4), 683–688.

Jayedi, A., Soltani, S., Zargar, M. S., Khan, T. A., & Shab Bidar, S. (2020). Central fatness and risk of all cause mortality: Systematic review and dose-response meta-analysis of 72 prospective cohort studies. *BMJ*, 370, m3324. doi: 10.1136/bmj.m3324.

Jensen, B. N., Jensen, F. S., Madsen, S. N., & Løssl, K. (2000). Accuracy of digital tympanic, oral, axillary, and rectal thermometers compared with standard rectal mercury thermometers. *European Journal of Surgery*, 166(11), 848–851.

Jensen, M., Poulsen, M., Alldieck, T., Larsen, R., Gade, R., Moeslund, T., et al. (2016). Estimation of energy expenditure during treadmill exercise via thermal imaging. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48. doi:10.1249/MSS.0000000000001013

Jensen, N. S., Camargo, T. F., & Bergamaschi, D. P. (2016). Comparison of methods to measure body fat in 7-to-10-year-old children: A systematic review. *Public Health*, 133, 3–13.

Jequier, E. (1986). Human whole body direct calorimetry. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 5(2), 12–14.

Jésus, P., Achamrah, N., Grigioni, S., Charles, J., Rimbart, A., Folope, V., et al. (2015). Validity of predictive equations for resting energy expenditure according to the body mass index in a population of 1726 patients followed in a Nutrition Unit. *Clinical Nutrition*, 34(3), 529–535.

Jiang, L. J., Ng, E. Y., Yeo, A. C., Wu, S., Pan, F., Yau, W. Y., et al. (2005). A perspective on medical infrared imaging. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 29(6), 257–267.

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.

Jorquera Aguilera, C., Rodríguez Rodríguez, F., Torrealba Vieira, M. I., & Barraza Gómez, F. (2012). Composición corporal y somatotipo de futbolistas chilenos juveniles Sub 16 y Sub 17. *International Journal of Morphology*, 30, 247–252.

Jorquera Aguilera, C., Rodríguez Rodríguez, F., Torrealba Vieira, M. I., Campos Serrano, J., Gracia Leiva, N., & Holway, F. (2013). Características antropométricas de futbolistas profesionales chilenos. *International Journal of Morphology*, 31, 609–614.

Judge, A., & Dodd, M. S. (2020). Metabolism. *Essays in Biochemistry*, 64(4), 607–647.

Kanosue, K., Crawshaw, L. I., Nagashima, K., & Yoda, T. (2010). Concepts to utilize in describing thermoregulation and neurophysiological evidence for how the system works. *European Journal of Applied Physiology*, 109(1), 5–11.

Karlsson, M., Olsson, E., Becker, W., Karlström, B., Cederholm, T., & Sjögren, P. (2017). Ability to predict resting energy expenditure with six equations compared to indirect calorimetry in octogenarian men. *Experimental Gerontology*, 92, 52–55.

Karalejic, M., Jakovljevic, S., & Macura, M. (2011). Anthropometric characteristics and technical skills of 12 and 14 year old basketball players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 51(1), 103–110.

Kastberger, G., & Stachl, R. (2003). Infrared imaging technology and biological applications. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 35(3), 429–439.

Kenny, G. P., Notley, S. R., & Gagnon, D. (2017). Direct calorimetry: A brief historical review of its use in the study of human metabolism and thermoregulation. *European Journal of Applied Physiology*, 117(9), 1765–1785.

Kerr, D. A. (1988). *An anthropometric method for fractionation of skin, adipose, bone, muscle and residual tissue masses in males and females age 6 to 77 years*. [Tesis de doctorado, Simon Fraser University. Canada]

Keys, A., & Brozek, J. (1953). Body fat in adult man. *Physiological Reviews*, 33(3), 245–325.

Khaksari, K., Nguyen, T., Hill, B., Quang, T., Perreault, J., Gorti, V., et al. (2021). Review of the efficacy of infrared thermography for screening infectious diseases with applications to COVID-19. *Journal Medical Imaging*, 8(Suppl 1), 010901. doi: 10.1117/1.JMI.8.S1.010901.

Kien, C. L., & Ugrasbul, F. (2004). Prediction of daily energy expenditure during a feeding trial using measurements of resting energy expenditure, fat-free mass, or Harris-Benedict equations. *American Journal of Clinical Nutrition*, 80(4), 876–880.

- Kiekkas, P., Stefanopoulos, N., Bakalis, N., Kefaliakos, A., & Karanikolas, M. (2016). Agreement of infrared temporal artery thermometry with other thermometry methods in adults: Systematic review. *Journal of Clinical Nursing*, 25(7-8), 894–905.
- Kluger, M. J., Kozak, W., Conn, C. A., Leon, L. R., & Soszynski, D. (1998). Role of fever in disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 856, 224–233.
- Knechtle, B., Knechtle, P., & Rosemann, T. (2011). Upper body skinfold thickness is related to race performance in male Ironman triathletes. *International Journal Sports Medicine*, 32(1), 20–27.
- Kopsa, H., Czech, W., Schmidt, P., Zazgornik, J., Pils, P., & Balcke, P. (1979). Use of thermography in kidney transplantation: Two year follow up study in 75 cases. *Proceedings of the European Dialysis and Transplant Association. European Dialysis and Transplant Association*, 16, 383–387.
- Kot, P., Botella, J. (2010) Parada cardíaca por hipotermia accidental y resucitación cardiopulmonar prolongada. *Medicina Intensiva*. 34(8), 567–70.
- Kovats, R. S., & Hajat, S. (2008). Heat stress and public health: A critical review. *Annual Review of Public Health*, 29, 41–55.
- Krakauer, N. Y., & Krakauer, J. C. (2018). Untangling Waist Circumference and Hip Circumference from Body Mass Index with a Body Shape Index, Hip Index, and Anthropometric Risk Indicator. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*, 16(4), 160–165.
- Kromeyer Hauschild, K., Neuhauser, H., Schaffrath Rosario, A., & Schienkiewitz, A. (2013). Abdominal obesity in German adolescents defined by waist-to-height ratio and its association to elevated blood pressure: The KiGGS study. *Obesity Facts*, 6(2), 165–175.
- Kruizenga, H. M., Hofsteenge, G. H., & Weijs, P. J. (2016). Predicting resting energy expenditure in underweight, normal weight, overweight, and obese adult hospital patients. *Nutrition & metabolism*, 13, 85.
- Kuriyan, R. (2018). Body composition techniques. *Indian Journal of Medical Research*, 148(5), 648–658.
- Ladhani, M., Craig, J. C., Irving, M., Clayton, P. A., & Wong, G. (2017). Obesity and the risk of cardiovascular and all-cause mortality in chronic kidney disease: A systematic review and meta-analysis. *Nephrology, dialysis, transplantation*, 32(3), 439–449.
- Lahiri, B. B., Bagavathiappan, S., Jayakumar, T., & Philip, J. (2012). Medical applications of infrared thermography: A review. *Infrared Physics & Technology*, 55(4), 221–235.

- Lam, Y. Y., & Ravussin, E. (2016). Analysis of energy metabolism in humans: A review of methodologies. *Molecular Metabolism*, 5(11), 1057–1071.
- Law, J., Morris, D. E., Izzi Engbeaya, C., Salem, V., Coello, C., Robinson, L., et al. (2018). Thermal imaging is a noninvasive alternative to PET/CT for measurement of brown adipose tissue activity in humans. *Journal of Nuclear Medicine*, 59(3), 516–522.
- Lee, C. M., Huxley, R. R., Wildman, R. P., & Woodward, M. (2008). Indices of abdominal obesity are better discriminators of cardiovascular risk factors than BMI: A meta-analysis. *Journal of Clinical Epidemiology*, 61(7), 646–653.
- Lee, H. S., & Lee, J. (2021). Effects of exercise interventions on weight, body mass index, lean body mass and accumulated visceral fat in overweight and obese individuals: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2635.
- Leñero Bardallo, J. A., Serrano, C., Acha, B., Pérez Carrasco, J. A., & Bernabeu Wittel, J. (2021). Thermography for the differential diagnosis of vascular malformations. *Clinical and experimental dermatology*, 46(2), 314–318.
- Lescay, R. N., Alonso Becerra, A., & Hernández González, A. (2017). Antropometría. análisis comparativo de las tecnologías para la captación de las dimensiones antropométricas. *Revista EIA*, 13(26), 47–59.
- Levine J. A. (2004). Non-exercise activity thermogenesis (NEAT). *Nutrition Reviews*, 62(7 Pt 2), S82–S97.
- Levine, J. A. (2005). Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutritión*, 8(7a), 1123–1132.
- Liu, J., Fox, C. S., Hickson, D. A., May, W. D., Hairston, K. G., Carr, J. J., et al. (2010). Impact of abdominal visceral and subcutaneous adipose tissue on cardiometabolic risk factors: The Jackson Heart Study. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 95(12), 5419–5426.
- Liu, L., Wang, Y., Zhang, W., Chang, W., Jin, Y., & Yao, Y. (2019). Waist height ratio predicts chronic kidney disease: A systematic review and meta-analysis, 1998-2019. *Archives Public Health*, 77, 55. doi: 10.1186/s13690-019-0379-4.
- Llorca Jaña, M., Araya, R., & Navarrete Montalvo, J. (2018). Antropometría histórica de Chile: evolución de la estatura de la población en el largo plazo, siglos XVIII-XX. *Estudios atacameños*, (60), 161–191.
- Lo, S. Y. (2002). Meridians in acupuncture and infrared imaging. *Medical Hypotheses*, 58(1), 72–76.
- Lu, M., Ye, W., Adami, H. O., & Weiderpass, E. (2006). Prospective study of body size and risk for stroke amongst women below age 60. *Journal of Internal Medicine*, 260(5), 442–450.

Lukaski H. (1997). Sarcopenia: Assessment of muscle mass. *Journal of Nutrition*, 127(5 Suppl), 994S–997S.

Lyden, K., Swibas, T., Catenacci, V., Guo, R., Szuminsky, N., & Melanson, E. L. (2014). Estimating energy expenditure using heat flux measured at a single body site. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(11), 2159–2167.

Lyden, K., Swibas, T., Catenacci, V., Guo, R., Szuminsky, N., & Melanson, E. L. (2014). Estimating energy expenditure using heat flux measured at a single body site. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(11). doi: 10.1249/MSS.0000000000000346.

Macfarlane, D. J. (2001). Automated metabolic gas analysis systems: A review. *Sports Medicine*, 31(12), 841–861.

Madden, A. M., & Smith, S. (2016). Body composition and morphological assessment of nutritional status in adults: A review of anthropometric variables. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 29(1), 7–25.

Magalhães, E. I., Sant'Ana, L. F., Priore, S. E., & Franceschini, S.doC. (2014). Perímetro da cintura, relação cintura/estatura e perímetro do pescoço como parâmetros na avaliação da obesidade central em crianças [Waist circumference, waist/height ratio, and neck circumference as parameters of central obesity assessment in children]. *Revista Paulista de Pediatria*, 32(3), 273–281.

Mah, A. J., Ghazi Zadeh, L., Khoshnam Tehrani, M., Askari, S., Gandjbakhche, A. H., & Shadgan, B. (2021). Studying the accuracy and function of different thermometry techniques for measuring body temperature. *Biology*, 10(12), 1327. doi:10.3390/biology10121327

Malchaire, J., d'Ambrosio Alfano, F. R., & Palella, B. I. (2017). Evaluation of the metabolic rate based on the recording of the heart rate. *Industrial Health*, 55(3), 219–232.

Manginas, A., Andreanides, E., Leontiadis, E., Sfyraakis, P., Maounis, T., Degiannis, D., et al. (2010). Right ventricular endocardial thermography in transplanted and coronary artery disease patients: First human application. *Journal of Invasive Cardiology*, 22(9), 400–404.

Mansfield, C. M., Farrell, C., & Asbell, S. O. (1970). The use of thermography in the detection of metastatic liver disease. *Radiology*, 95(3), 696–698.

Martínez, E. G. (2010). Composición corporal: su importancia en la práctica clínica y algunas técnicas relativamente sencillas para su evaluación. *Revista Salud Uninorte*, 26(1), 98–116.

Martin, A.D. (1984). *An anatomical basis for assessing human body composition: evidence from 25 dissections*. [Tesis de doctorado. Simon Fraser University, Canada].

- Marra, M., Cioffi, I., Sammarco, R., Santarpià, L., Contaldo, F., Scalfi, L., et al. (2019). Are raw BIA variables useful for predicting resting energy expenditure in adults with obesity?. *Nutrients*, *11*(2), 216.
- Martin Calvo, N., Moreno Galarraga, L., & Martinez Gonzalez, M. A. (2016). Association between body mass index, waist-to-height ratio and adiposity in children: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, *8*(8), 512.
- Martínez, C., Reinike, O., Silva, H., Carrasco, V., Collipal, E., & Jiménez, C. (2013). Composición corporal y estado nutricional de una muestra de estudiantes de 9 a 12 años de edad de colegios municipalizados de la Comuna de Padre las Casas, Región de la Araucanía-Chile. *International Journal of Morphology*, *31*, 425–431.
- Matthies, F., Bickler, G., Hales, S., & Marín, N. C. (2008). Heat-health action plans. Guidance. *World Health Organization*. Disponible en: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/107888/9789289071918-eng.pdf?sequence=1> [accedido: 10 de julio 2023].
- Matiegka, J. (1921). The testing of physical efficiency. *American Journal of Anthropology* *4*(3), 223–230.
- Melnizky, P., Schartelmüller, T., & Ammer. (1997). Prüfung der intra- und interindividuellen verlässlichkeit der auswertung von infrarot. *Thermogrammen*, *7*, 224–227.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*: Lippincott Williams & Wilkins.
- McInnis, K., Haman, F., & Doucet, É. (2020). Humans in the cold: Regulating energy balance. *Obesity Reviews*, *21*(3), e12978. doi:10.1111/obr.12978.
- McLean, J. A., & Tobin, G. (2007). *Animal and human calorimetry*: Cambridge University Press, Cambridge.
- Melanson, E. L., Dykstra, J. C., & Szuminsky, N. (2009). A novel approach for measuring energy expenditure in free-living humans. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2009*, 6873–6877.
- Mifflin, M. D., St Jeor, S. T., Hill, L. A., Scott, B. J., Daugherty, S. A., & Koh, Y. O. (1990). A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *American Journal of Clinical Nutrition*, *51*(2), 241–247.
- Milanese, C., Piscitelli, F., Lampis, C., & Zancanaro, C. (2011). Anthropometry and body composition of female handball players according to competitive level or the playing position. *Journal of Sports Sciences*, *29*(12), 1301–1309.

- Montani, J. P., Schutz, Y., & Dulloo, A. G. (2018). The contribution of Swiss scientists to the assessment of energy metabolism. *European Journal Clinical Nutrition*, 72(5), 665–679.
- Moreira, O., Alonso Aubin, D., Oliveira, C., Luján, R., & de Paz, J. A. (2015). Métodos de evaluación de la composición corporal: una revisión actualizada de descripción, aplicación, ventajas y desventajas. *Archivos de Medicina del Deporte*, 32, 387–394.
- Mtaweh, H., Tuira, L., Floh, A. A., & Parshuram, C. S. (2018). Indirect calorimetry: History, technology, and application. *Frontiers in Pediatrics*, 6, 257.
- Müller, M. J., Geisler, C., Hübers, M., Pourhassan, M., Braun, W., & Bosy-Westphal, A. (2018). Normalizing resting energy expenditure across the life course in humans: Challenges and hopes. *European Journal Clinical Nutrition*, 72(5), 628–637.
- Neves, E., Alves, J., Nogueira, I., & Reis, V. (2015). Influence of subcutaneous fat layer in skin temperature. *Motricidade*, 11, 120–126.
- Neves, E. B., Salamunes, A. C. C., de Oliveira, R. M., & Stadnik, A. M. W. (2017). Effect of body fat and gender on body temperature distribution. *Journal Thermal of Biology*, 70, 1–8.
- Ng, E. Y., Kaw, G. J., & Chang, W. M. (2004). Analysis of IR thermal imager for mass blind fever screening. *Microvascular Research*, 68(2), 104–109.
- Ng, E. Y., & Kee, E. C. (2008). Advanced integrated technique in breast cancer thermography. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 32(2), 103–114.
- Ng, E. Y. (2009). A review of thermography as promising non-invasive detection modality for breast tumor. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(5), 849–859.
- Niven, D. J., Gaudet, J. E., Laupland, K. B., Mrklas, K. J., Roberts, D. J., & Stelfox, H. T. (2015). Accuracy of peripheral thermometers for estimating temperature: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Internal Medicine*, 163(10), 768–777.
- Norton, K., & Olds, T. (1996). *Antropométrica*. Sydney University of New South Wales Press
- Oliveira, B. A. P. de., Nicoletti, C. F., Gardim, C. B., Andrade, V. L. d., & Freitas Júnior, I. F. (2014). Las comparaciones entre las ecuaciones de predicción de la tasa metabólica en reposo y la calorimetría indirecta en los adolescentes obesos. *Revista Chilena de Nutrición*. 41, 126–130.
- Owen, O. E. (1988). Resting metabolic requirements of men and women. *Mayo Clinic Proceedings*, 63(5), 503–510.

- Parisky, Y. R., Sardi, A., Hamm, R., Hughes, K., Esserman, L., Rust, S., et al. (2003). Efficacy of computerized infrared imaging analysis to evaluate mammographically suspicious lesions. *AJR. American Journal of Roentgenology*, *180*(1), 263–269.
- Park, J. Y., Hyun, J. K., & Seo, J. B. (2007). The effectiveness of digital infrared thermographic imaging in patients with shoulder impingement syndrome. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, *16*(5), 548–554.
- Peng, Y., Li, W., Wang, Y., Bo, J., & Chen, H. (2015). The cut-off point and boundary values of waist-to-height ratio as an indicator for cardiovascular risk factors in chinese adults from the PURE Study. *PLoS One*, *10*(12), e0144539. doi:10.1371/journal.pone.0144539
- Peres, K. C., Riera, R., Martimbianco, A. L. C., Ward, L. S., & Cunha, L. L. (2020). Body mass index and prognosis of COVID-19 infection. A Systematic Review. *Frontier in Endocrinology*, *11*, 562. doi:10.3389/fendo.2020.00562
- Périard, J. D., Racinais, S., & Sawka, M. N. (2015). Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *25*(S1), 20–38.
- Pietrobelli, A., Formica, C., Wang, Z., & Heymsfield, S. (1997). Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: Review of physical concepts. *American Journal of Physiology*, *271*, E941–E951.
- Pinheiro Volp, A. C., Esteves de Oliveira, F. C., Duarte Moreira Alves, R., Esteves, E. A., & Bressan, J. (2011). Energy expenditure: Components and evaluation methods. *Nutrición Hospitalaria*, *26*(3), 430–440.
- Pisanu, S., Deledda, A., Loviselli, A., Huybrechts, I., & Velluzzi, F. (2020). Validity of accelerometers for the evaluation of energy expenditure in obese and overweight individuals: A systematic review. *Journal of Nutrition and Metabolism*, *2020*, 2327017. doi: 10.1155/2020/2327017.
- Pischon, T., Boeing, H., Hoffmann, K., Bergmann, M., Schulze, M. B., Overvad, K., et al. (2008). General and abdominal adiposity and risk of death in Europe. *New England Journal of Medicine*, *359*(20), 2105–2120.
- Poncet, S., & Dahlberg, L. (2011). The legacy of Henri Victor Regnault in the arts and sciences. *International Journal of Arts and Sciences*, *4* (13), 377–400.
- Priego Quesada, J. I., Oficial Casado, F., Gandia Soriano, A., & Carpes, F. P. (2019). A preliminary investigation about the observation of regional skin temperatures following cumulative training loads in triathletes during training camp. *Journal Thermal of Biology*, *84*, 431–438.
- Priego Quesada, J. I., Carpes, F., Bini, R., Salvador, R., Perez Soriano, P., & Cibrian, R. (2015). Relationship between skin temperature and muscle activation during incremental cycle exercise. *Journal Thermal of Biology*, *48*, 28–35.

Qin, B., Yang, M., Fu, H., Ma, N., Wei, T., Tang, Q., et al. (2015). Body mass index and the risk of rheumatoid arthritis: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Arthritis Research & Therapy*, 17(1), 86.

Rao, Z. Y., Wu, X. T., Liang, B. M., Wang, M. Y., & Hu, W. (2012). Comparison of five equations for estimating resting energy expenditure in Chinese young, normal weight healthy adults. *European Journal of Medical Research*, 17(1), 26.

Ramírez Vélez, R., Suárez Ortégón, M. F., & Aguilar de Plata, A. C. (2011). Association between adiposity and cardiovascular risk factors in prepubertal children. *Endocrinología y Nutrición*, 58(9), 457–463.

Ravussin, E., & Bogardus, C. (1992). A brief overview of human energy metabolism and its relationship to essential obesity. *American Journal of Clinical Nutrition*, 55(1 Suppl), 242S–245S.

Ravussin, E., Lillioja, S., Anderson, T. E., Christin, L., & Bogardus, C. (1986). Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *Journal of Clinical Investigation*, 78(6), 1568–1578.

Ravussin, E., Lillioja, S., Knowler, W. C., Christin, L., Freymond, D., Abbott, W. et al. (1988). Reduced rate of energy expenditure as a risk factor for body-weight gain. *New England Journal of Medicine*, 318(8), 467–472.

Real Academia Española: *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.6 en línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es> [accedido: 19 de junio 2023].

Rigoulet, M., Bouchez, C. L., Paumard, P., Ransac, S., Cuvellier, S., Duvezin Caubet, S., et al. (2020). Cell energy metabolism: An update. *Biochimica et Biophysica Acta. Bioenergetics*, 1861(11), 148276.

Ring, E. F. (1975). Thermography and rheumatic diseases. *Bibliotheca Radiologica*, (6), 97–106.

Ring, E. F. (2006). The historical development of temperature measurement in medicine. *Infrared Physics & Technology*, 49(3), 297–301.

Ring, E. F. (2010). Thermal imaging today and its relevance to diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 4(4), 857–862.

Ring, E. F. J., & Ammer, K. (2000). The Technique of infra red imaging in medicine. *Thermology International*, 10, 7–14.

Ring, E. F., & Ammer, K. (2012). Infrared thermal imaging in medicine. *Physiological Measurement*, 33 (3), R33–R46.

Rivera Sosa, J. M. (2016). Propiedades Antropométricas y Somatotipo de Jugadores de Baloncesto de Diferente Nivel Competitivo. *International Journal of Morphology*, 34, 179–188.

Robinson, J. L. (2004). Body temperature measurement in paediatrics: Which gadget should we believe? *Paediatrics & Child Health*, 9(7), 457–459.

Rodríguez Martín, M., Lagüela Lopez, S., Gonzalez Aguilera, D., Diaz Vilariño, L. (2015). Active thermography, part 1: Theoretical approach of infrared captation, data processing and clasification. *DYNA*, 90(5), 456–460.

Rogalski, A. (2011). Recent progress in infrared detector technologies. *Infrared Physics & Technology*, 54(3), 136–154.

Rojas Valverde, D., Tomás Carús, P., Timón, R., Batalha, N., Sánchez Ureña, B., Gutiérrez Vargas, R., et al. (2021). Short-term skin temperature responses to endurance exercise: A systematic review of methods and future challenges in the use of infrared thermography. *Life*, 11(12), 1286. doi: 10.3390/life11121286.

Romanovsky, A. A., Almeida, M. C., Garami, A., Steiner, A. A., Norman, M. H., Morrison, S. F., et al. (2009). The transient receptor potential vanilloid-1 channel in thermoregulation: A thermosensor it is not. *Pharmacological Reviews*, 61(3), 228–261.

Ross, W. D., & Ward, R. (1982) Human proportionality and sexual dimorphism. In: Hall R. L. Editor. Sexual dimorphism in homo sapiens: A question of size. New York: Praeger. pp. 317–361.

Ross, W. D., & Kerr, D. (1993). Fraccionamiento de la Masa Corporal: Un Nuevo Método para Utilizar en Nutrición, Clínica y Medicina Deportiva. “*Actualización en ciencias aplicadas al deporte*”, Ed. Biosystem, Vol. 1, N° 3, Rosario,

Roza, A. M., & Shizgal, H. M. (1984). The Harris Benedict equation reevaluated: Resting energy requirements and the body cell mass. *American Journal of Clinical Nutrition*, 40(1), 168–182.

Rudolf, M. C. J., Walker, J., & Cole, T. J. (2007). What is the best way to measure waist circumference? *International Journal of Pediatric Obesity*, 2(1), 58–61.

Ruiz De la F., M., & Rodríguez F., A. (2014). Comparación de tasa metabólica en reposo medida por calorimetría indirecta versus ecuaciones predictivas, en mujeres adultas jóvenes y adultas mayores de peso corporal normal. *Revista Chilena de Nutrición*, 41(1), 17–22.

Salamunes, A. C. C., Stadnik, A. M. W., & Neves, E. B. (2017). The effect of body fat percentage and body fat distribution on skin surface temperature with infrared thermography. *Journal Thermal of Biology*, 66, 1–9.

Santos, D. A., Dawson, J. A., Matias, C. N., Rocha, P. M., Minderico, C. S., Allison, D. B., et al. (2014). Reference values for body composition and anthropometric measurements in athletes. *PloS One*, 9(5), e97846. doi: 10.1371/journal.pone.0097846.

- Sant'Anna, M., Priore, S. E., & Franceschini, S. (2009). Métodos de avaliação da composição corporal em crianças. *Revista Paulista de Pediatria*, 27, 315–321.
- Sarría, A., García Llop, L. A., Moreno, L. A., Fleta, J., Morellón, M. P., & Bueno, M. (1998). Skinfold thickness measurements are better predictors of body fat percentage than body mass index in male Spanish children and adolescents. *European Journal of Clinical Nutrition*, 52(8), 573–576.
- 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.
- Savva, S. C., Tornaritis, M., Savva, M. E., Kourides, Y., Panagi, A., Silikiotou, N., et al. (2000). Waist circumference and waist-to-height ratio are better predictors of cardiovascular disease risk factors in children than body mass index. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 24(11), 1453–1458.
- Schofield W. N. (1985). Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Human Nutrition. Clinical Nutrition*, 39 Suppl 1, 5–41.
- Secord, A. A., Hasselblad, V., Von Gruenigen, V. E., Gehrig, P. A., Modesitt, S. C., Bae Jump, V., et al. (2016). Body mass index and mortality in endometrial cancer: A systematic review and meta-analysis. *Gynecologic Oncology*, 140(1), 184–190.
- Sedek, R., Koon, P. B., & Noor, I. M. (2010). Índice de masa corporal y composición corporal entre el personal de la marina real de malasia (RMN). *Journal of Defence and Security*, 1(1): 23–26.
- Shaneshin, M., Rezazadeh, A., Jessri, M., Neyestani, T., & Rashidkhani, B. (2011). Validity of predictive equations for resting energy expenditure among iranian women. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 20(4), 646–653.
- Shevelev I. A. (1998). Functional imaging of the brain by infrared radiation (thermoencephalography). *Progress in Neurobiology*, 56(3), 269–305.
- Shuster, A., Atlas, M., Pinthus, J. H., & Mourtzakis, M. (2012). The clinical importance of visceral adiposity: A critical review of methods for visceral adipose tissue analysis. *British Journal of Radiology*, 85(1009), 1–10.
- Simmonds, M., Llewellyn, A., Owen, C. G., & Woolacott, N. (2016). Predicting adult obesity from childhood obesity: A systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, 17(2), 95–107.
- Siri, W. E. (1993). Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. 1961. *Nutrition*, 9(5), 480–491; discussion 480, 492.
- Sivanandam, S., Anburajan, M., Venkatraman, B., Menaka, M., & Sharath, D. (2012). Medical thermography: A diagnostic approach for type 2 diabetes based on non-contact infrared thermal imaging. *Endocrine*, 42(2), 343–351.

- Song, T., Venkataraman, K., Gluckman, P., Seng, C. Y., Meng, K. C., Khoo, E. Y., et al. (2014). Validation of prediction equations for resting energy expenditure in Singaporean Chinese men. *Obesity Research & Clinical Practice*, 8(3), e201–e298.
- Sliney, D. H. (2016). What is light? The visible spectrum and beyond. *Eye*, 30(2), 222–229.
- Steyn, N. P., & McHiza, Z. J. (2014). Obesity and the nutrition transition in Sub-Saharan Africa. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1311, 88–101.
- Stewart, A.; Marfell Jones, M.; Olds, T., & De Ridder, H. (2011). *International standards for anthropometric assessment*, (3rd. ed). International Society for Advancement of Kinanthropometry, Lower Hutt, New Zealand.
- Sun, P. C., Lin, H. D., Jao, S. H., Ku, Y. C., Chan, R. C., & Cheng, C. K. (2006). Relationship of skin temperature to sympathetic dysfunction in diabetic at-risk feet. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 73(1), 41–46.
- 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.
- Spears, K. E., Kim, H., Behall, K. M., & Conway, J. M. (2009). Hand-held indirect calorimeter offers advantages compared with prediction equations, in a group of overweight women, to determine resting energy expenditures and estimated total energy expenditures during research screening. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(5), 836–845.
- Tan, C. L., & Knight, Z. A. (2018). Regulation of body temperature by the nervous system. *Neuron*, 98(1), 31–48.
- Tattersall G. J. (2016). Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology*, 202, 78–98.
- Tatucu Babet, O. A., Ridley, E. J., & Tierney, A. C. (2016). Prevalence of underprescription or overprescription of energy needs in critically ill mechanically ventilated adults as determined by indirect calorimetry: A systematic literature review. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 40(2), 212–225.
- Thiruvengadam, J., Anburajan, M., Menaka, M., & Venkatraman, B. (2014). Potential of thermal imaging as a tool for prediction of cardiovascular disease. *Journal of Medical Physics*, 39(2), 98–105.
- Thom, G., Gerasimidis, K., Rizou, E., Alfheaid, H., Barwell, N., Manthou, E., et al. (2020). Validity of predictive equations to estimate RMR in females with varying BMI. *Journal of Nutritional Science*, 9, e17. doi: 10.1017/jns.2020.11.

- Ulijaszek, S. J., & Kerr, D. A. (1999). Anthropometric measurement error and the assessment of nutritional status. *British Journal of Nutrition*, 82(3), 165–177.
- Umadevi, V., Raghavan, S. V., & Jaipurkar, S. (2011). Framework for estimating tumour parameters using thermal imaging. *Indian Journal of Medical Research*, 134(5), 725–731.
- Valentino, G., Bustamante, M. J., Orellana, L., Krämer, V., Durán, S., Adasme, M., et al. (2015). Body fat and its relationship with clustering of cardiovascular risk factors. *Nutrición Hospitalaria*, 31(5), 2253–2260.
- Valtueña Martínez, S., Arijá Val, V., & Salas Salvadó, J. (1996). Estado actual de los métodos de evaluación de la composición corporal: descripción, reproducibilidad, precisión, ámbitos de aplicación, seguridad, coste y perspectivas de futuro. *Medicina Clinica*, 106(16), 624–635.
- Vargas, M. Z., Lancheros, L. P., & Barrera, M. P. P. (2011). Energy expenditure in repose related to body composition in adults. *Revista de la Facultad de Medicina. Universidad Nacional de Colombia*, 59 (Suppl. 1), 43–58.
- Vieira, S. G., Sillero Quintana, M., da Silva, A. G., Marins, K. O., & Marins, J. C. B. (2020). Thermographic response resulting from strength training: A preliminary study. *Apunts Sports Medicine*, 55,(208), 120–127.
- Wang, Z., Heshka, S., Gallagher, D., Boozer, C. N., Kotler, D. P., & Heymsfield, S. B. (2000). Resting energy expenditure–fat-free mass relationship: new insights provided by body composition modeling. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 279(3), E539–E545.
- Wang J. (2003). Waist circumference: a simple, inexpensive, and reliable tool that should be included as part of physical examinations in the doctor's office. *American Journal of Clinical Nutrition*, 78(5), 902–903.
- Warrier, V., Krishan, K., Shedge, R., & Kanchan, T. (2023) *Height Assessment. In: StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- Webster, J. D., Welsh, G., Pacy, P., & Garrow, J. S. (1986). Description of a human direct calorimeter, with a note on the energy cost of clerical work. *British Journal of Nutrition*, 55(1), 1–6.
- Weekes C. E. (2007). Controversies in the determination of energy requirements. *Proceedings of the Nutrition Society*, 66(3), 367–377.
- Weigert, M., Nitzsche, N., Kunert, F., Löscher, C., & Schulz, H. (2018). The influence of body composition on exercise-associated skin temperature changes after resistance training. *Journal Thermal of Biology*, 75, 112–119.
- Weijts, P. J., Kruizenga, H. M., van Dijk, A. E., van der Meij, B. S., Langius, J. A., Knol, D. L., et al. (2008). Validation of predictive equations for resting energy expenditure in adult outpatients and inpatients. *Clinical Nutrition*, 27(1), 150–157.

Weijjs, P. J., & Vansant, G. A. (2010). Validity of predictive equations for resting energy expenditure in Belgian normal weight to morbid obese women. *Clinical Nutrition, 29*(3), 347–351.

Weyer, C., Snitker, S., Rising, R., Bogardus, C., & Ravussin, E. (1999). Determinants of energy expenditure and fuel utilization in man: effects of body composition, age, sex, ethnicity and glucose tolerance in 916 subjects. *International Journal of Obesity, 23*(7), 715–722.

Wilson, J. P., Strauss, B. J., Fan, B., Duewer, F. W., & Shepherd, J. A. (2013). Improved 4-compartment body-composition model for a clinically accessible measure of total body protein. *American Journal of Clinical Nutrition, 97*(3), 497–504.

Wilson D. F. (2013). Regulation of cellular metabolism: programming and maintaining metabolic homeostasis. *Journal of Applied Physiology, 115*(11), 1583–1588.

Wishart, G. C., Campisi, M., Boswell, M., Chapman, D., Shackleton, V., Iddles, S., et al. (2010). The accuracy of digital infrared imaging for breast cancer detection in women undergoing breast biopsy. *European Journal of Surgical Oncology, 36*(6), 535–540.

World Health Organization [WHO]. (1998). Obesity: preventing and managing the global epidemic. Geneva: World Health Organization.

Yoo, E. G. (2016). Waist-to-height ratio as a screening tool for obesity and cardiometabolic risk. *Korean Journal of Pediatrics, 59*(11), 425–431.

You, Q., Jiang, Q., Li, D., Wang, T., Wang, S., & Cao, S. (2022). Waist circumference, waist-hip ratio, body fat rate, total body fat mass and risk of low back pain: A systematic review and meta-analysis. *European Spine Journal, 31*(1), 123–135.

Zelichowska, B., Rózycki, R., Tłustochowicz, M., Kujawa, A., Kalicki, B., & Murawski, P. (2005). [The usefulness of thermography in the diagnostics of dry eye syndrome]. *Klin Oczna, 107*(7-9), 483–487.

Zenebe, C. B., Chanie, W. F., Aregawi, A. B., Andargie, T. M., & Mihret, M. S. (2021). The effect of women's body mass index on pelvic organ prolapse: A systematic review and meta analysis. *Reproductive Health, 18*(1), 45. doi: 10.1186/s12978-021-01104-z.

Zhou, Y., Zhang, Y., Shi, K., & Wang, C. (2017). Body mass index and risk of diabetic retinopathy: A meta-analysis and systematic review. *Medicine, 96*(22), e6754. doi: 10.1097/MD.0000000000006754.

Zimmet, P., Alberti, K. G., Kaufman, F., Tajima, N., Silink, M., Arslanian, S., et al. (2007). The metabolic syndrome in children and adolescents - an IDF consensus report. *Pediatric Diabetes, 8*(5), 299–306.

Zusman, O., Kagan, I., Bendavid, I., Theilla, M., Cohen, J., & Singer, P. (2019). Predictive equations versus measured energy expenditure by indirect calorimetry: A retrospective validation. *Clinical Nutrition*, 38(3), 1206–1210.

8. ANEXOS

Anexo 1. Información del procedimiento

Proyecto: "PARAMETROS TERMOGRÁFICOS DE LA PIEL Y SU RELACIÓN CON LA COMPOSICIÓN CORPORAL, GASTO ENERGÉTICO EN REPOSO Y PARAMETROS DE RIESGO CARDIOVASCULAR EN HOMBRES".

Información del procedimiento de las evaluaciones

Los participantes asistirán a dos sesiones. Primera sesión; examen físico-médico y de la historia clínica de los sujetos. Se entregarán las indicaciones a seguir durante los días previos a las mediciones: a) continuar con sus actividades cotidianas, pero absteniéndose de realizar ejercicio intenso durante las 48 horas previas; b) no colocar en su piel cremas o ungüentos cosméticos; y, c) no consumir alimentos, líquidos y/o suplementos de tipo diuréticos, excitantes o fármacos. Se les solicita, además, que lleguen en ayuno nocturno y con 8 horas de sueño. Al final de la primera sesión se realizará una familiarización con el equipo de medición de consumo de oxígeno, para evitar los efectos de ansiedad durante las mediciones. Segunda sesión; primero y siempre por las mañanas, se medirá el gasto energético en reposo y la termografía de la piel en una sala y luego, en otra, se realizarán las mediciones antropométricas. Los evaluados se encontrarán 10 minutos en proceso de aclimatación corporal en salas se aclimatadas con calefacción por radiación a una temperatura entre los 23-25°C, manteniendo la humedad relativa del aire entre el 60-70%. Los datos antropométricos que se les evaluarán serán el peso corporal, la estatura y la talla sentado. Además, se evaluarán 6 pliegues cutáneos (tricipital, subescapular, supra-espinal, abdominal, muslo medio y pantorrilla, 2 perímetros (cintura y cadera). Se evaluarán 10 perímetros (cabeza, brazo relajado, brazo contraído, antebrazo, tórax, cintura, cadera, muslo máximo, muslo medio y pantorrilla) y 6 diámetros corporales (Biacromial, tórax transverso, tórax anteroposterior, bi-iliocrestidio, humeral y femoral)

Le recomendamos que se abstenga de consumir café y/o excitantes, las 24 horas previas a la visita al laboratorio, dormir en lo posible 7-8 horas la noche absteniéndose de realizar ejercicio intenso durante las 48 horas previas.

Le resumimos a continuación el procedimiento que realizará durante su visita al laboratorio:

- A usted se le citará a una hora determinada.
- Al llegar deberá entregar la documentación firmada y los cuestionarios completados.
- Se encontrará en una sala calefaccionada a una temperatura de aproximadamente 23° y 25° C grados aproximadamente.

- Se le pedirá que descanse sentado durante 10 minutos.
 - Se le recostará en una camilla y se le colocará una manta para que no se enfríe. En esa posición, se le hará una evaluación del gasto energético por medio de consumo de oxígeno. NO SE RECOGERÁ NINGUNA MUESTRA BIOLÓGICA (sangre, orina, etc.). ADEMÁS, NINGUNO DE LOS PROCEDIMIENTOS PROVOCA DOLOR O MALESTAR.
 - Luego se le trasladará a un espacio de la sala en donde se le realizará una serie de imágenes térmicas (en ellas, sólo se observan las coloraciones del calor emitido por el cuerpo. Se le mostrará el tipo de imagen).
 - Se le pedirá que se quede sólo en calzoncillos o en traje de baño del tipo competición (no shorts deportivos, se requiere la máxima proporción de piel expuesta). Se realizarán las imágenes de cuerpo, de las manos y de los dedos.
 - Se le pesará en una balanza y se le pedirá que se ponga la camiseta/camisa (le recomendamos que lleve una camisa deportiva sin mangas).
 - Finalmente, se le realizará una evaluación antropométrica desde las medidas básicas, peso, estatura y talla sentado, para luego proceder a las evaluaciones de diámetros, perímetros y circunferencias corporales.
-
- Finalmente, se le pedirá que se vista.

Habrá finalizado la evaluación.....¡MUY AGRADECIDO!

Anexo 2. Consentimiento Informado

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

D....., de años de edad y carnet de identidad nºmanifiesto:

Que he sido informado de forma comprensible sobre los objetivos del estudio de investigación sobre los "PARAMETROS TERMOGRÁFICOS DE LA PIEL Y SU RELACIÓN CON LA COMPOSICIÓN CORPORAL, GASTO ENERGÉTICO EN REPOSO Y PARAMETROS DE RIESGO CARDIOVASCULAR EN HOMBRES".

Que he tenido la oportunidad de aclarar cuantas dudas tenía sobre dichas evaluaciones.

Que he sido también informado de que mis datos personales serán protegidos de acuerdo con lo que dispone la Ley Orgánica Reguladora de esta materia y no serán usados sin mi consentimiento previo.

Que en el proceso de investigación se seguirán todos los requerimientos para estudios en seres humanos que exige la Declaración de Helsinki, de 1964 y revisada en Seúl, en octubre de 2008.

Que me ofrezco voluntariamente a ser encuestado para dicha investigación y acepto no recibir la totalidad de los resultados de los exámenes que me realicen.

Que autorizo al grupo de investigación dirigido por el Dr. Ildefonso Alvear Órdenes, de la Universidad de León (España), y al doctorando Profesor Fernando Barraza Gómez (CHILE), a publicar los resultados que se obtengan en el citado estudio, con la única condición de que se omita la identidad personal del autorizando o persona a la que representa.

En Viña del Mar (Chile), a.....de.....de 20 xx

Fdo.:

Anexo 3. Proforma Antropométrica

PROFORMA DE ANTROPOMETRÍA

Nro. Test:
 Nombre:
 Fecha de nacim.:
 Fecha de evaluación:
 Código posterior del sujeto:
 Sexo: M F
 País de nacimiento:
 Altura de la caja:
 Peso (Kg): Talla (cm):

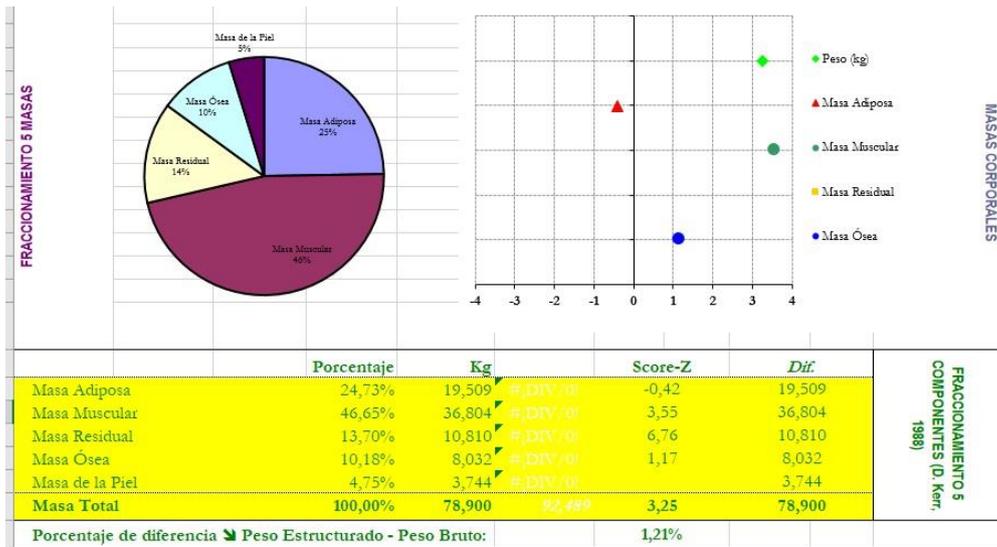
Lab: ID del evaluador:
 Deporte:

Intensidad	Frecuencia	Duración
Muy baja	≤ 2	< 3
Caminata	> 3	3-12
Intensa		> 12

	Nro.	Sitio	Medic. 1	Medic. 2	Medic. 3	Mediana
PLIEGUES	1	Triceps				
CUTÁNEOS	2	Subescapular				
(mm)	3	Biceps				
	4	Cresta iliaca				
	5	Supraespinal				
	6	Abdominal				
	7	Muslo (frontal)				
	8	Pantorrilla medial				
	9	Axila medial				
PERÍMETROS	10	Cabeza				
(cm)	11	Cuello				
	12	Brazo (relajado)				
	13	Brazo (flexionado en tensión)				
	14	Antebrazo (máximo)				
	15	Muñeca (estiloides distal)				
	16	Tórax (mesoesternal)				
	17	Cintura (mínima)				
	18	Glúteos (cadera, max.)				
	19	Muslo (1 cm. del glúteo)				
	20	Muslo (medial tro-tib-lat)				
	21	Pantorrilla (máximo)				
	22	Tobillo (mínimo)				
LONGITUDES	23	Acromial-radial				
(cm)	24	Radial-estiloidea				
	25	Medioestiloidea-dactiloides				
	26	Altura ilioespinal				
	27	Altura trocánterea				
	28	Trocánterea-tibial lateral				
	29	Tibial lateral hasta el piso				
	30	Tibial medial-maleolar medial				
DIÁMETROS	31	Biacromial				
LONGITUDES	32	Biliocrestídeo				
(cm)	33	Longitud del pie				
	34	Talla sentado				
	35	Tórax transverso				
	36	Tórax antero-post.				
	37	Húmero				
	38	Fémur				
SITIOS	39					
DEPORTIVOS	40					
ESPECIFICOS	41					
	42					

Anexo 4. Informe software excel composición corporal

Informe de Composición Corporal			Fernanda Barrera Gómez		
1					
2					
3					
4					
5		Número de medición: 1		Fecha de medición: 08-09-2016	
6					
7					
8			Resultados	Diferencias	Score-Z
9					
10	BÁSICOS	Peso (kg)	78,90		3,25
11		Talla (cm)	161,40		
12		Talla sentado (cm)	81,90		-0,79
13					
14	DIÁMETROS (cm)	Biacromial	37,50		0,78
15		Tórax Transverso	30,80		2,62
16		Tórax Anteroposterior	27,90		8,64
17		Bi-iliocrestídeo	29,40		1,23
18		Humeral (biepicondilar)	6,70		1,67
19		Femoral (biepicondilar)	9,70		1,47
20					
21	PERÍMETROS (cm)	Cabeza	55,00		1,38
22		Brazo Relajado	34,40		4,03
23		Brazo Flexionado en Tensi	36,20		3,70
24		Antebrazo	27,40		2,67
25		Tórax Mesoesternal	100,00		3,39
26		Cintura (mínima)	92,00		5,64
27		Caderas (máxima)	100,00		1,93
28		Muslo (superior)	58,70		1,44
29		Muslo (medial)	51,30		-0,42
30		Pantorrilla (máxima)	41,50		3,70
31					
32	PLIEGUE 3 CUTÁNEO (mm)	Tríceps	10,92		-0,87
33		Subescapular	15,43		-0,18
34		Supraespinal	11,42		-0,75
35		Abdominal	23,94		-0,02
36		Muslo (medial)	18,93		-0,85
37		Pantorrilla	15,93		0,17



El fraccionamiento corporal en 5 componentes (D. Kerr, 1988) es un modelo anatómico basado en estudios antropométricos con disección de cadáveres. Es en la actualidad, a pesar de sus limitaciones, el único modelo con validación directa. Lamentablemente, la gran variabilidad de la compresibilidad del tejido adiposo genera la principal fuente de error en la predicción de esta masa al utilizar calibres para pliegues cutáneos. Con este modelo, el cuerpo se fracciona en 5 tejidos:

Anexo 5. Planilla de resultados GER

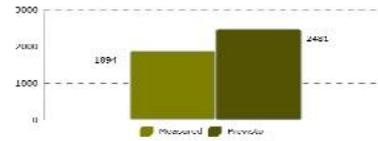
RMR Resultados



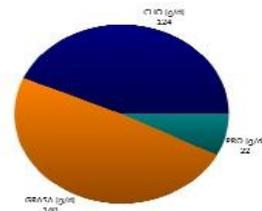
Apellido		Peso
ID		Estatura
Edad		
Sexo		
Fecha		
Duración		
Operador		
Dispositivo	MetaMax 3B-R2	Condiciones Ambientales
		Temperatura
		Presión

Resultados

RMR	1894 kcal/d
Previsto	2481 kcal/d
RMR/Peso	18,2 kcal/d/kg
RMR/BSA	836 kcal/d/m ²
Desviación Prevista	-24 %



Variable	Unidad	Valor
V'O ₂	L/min	0,28
V'CO ₂	L/min	0,22
RQ		0,78
RMR/kg	kcal/d/kg	18,2
RMR/BSA	kcal/d/m ²	836
CHO	g/d	124
GRASA	g/d	140
PRO	g/d	22
EECHO	kcal/h	21
EEFAT	kcal/h	54
GEPRO	kcal/h	4



Acondicionamiento de Datos y Estado Estacionario

Acondicionamiento de Datos Aplicado	Mover medio (puntos de datos) , 21
Intervalo de estado estacionario	0:05:00, 0:05:03 despues de inicio de prueba
Desviación de V'O ₂ [%]	7,4
Desviación de V'CO ₂ [%]	8,4
Desviación de RQ [%]	2,9

Información de Calidad

Calidad: 92	0	100
(100 - perfecto, 40 - límites máximos permitidos)		

RMR Resultados

Paciente

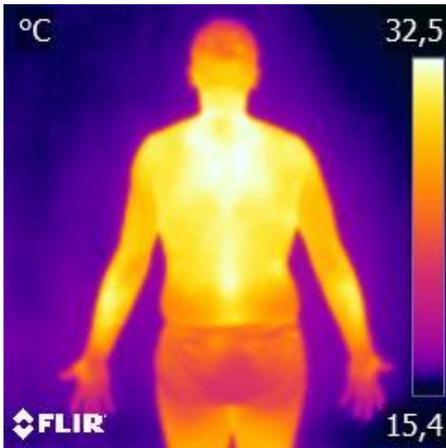
Fecha

Hallazgos Médicos

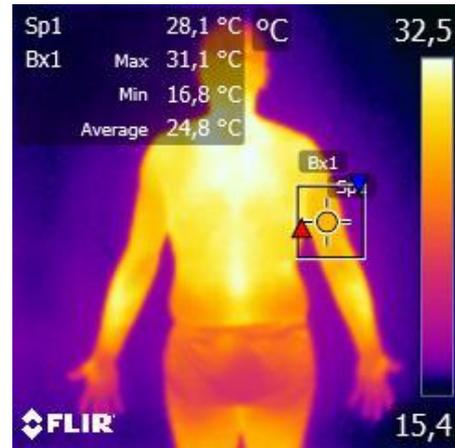
El Tasa Metabólica en Reposo (RMR) es -. Este es - del valor previsto 2481kcal/d calculado por el método Ecuación de Harris-Benedict. Relacionado con el peso corporal es -. Este resultado se calcula en un intervalo del estado estacionario - que se produce - tras el comienzo de la prueba. En este intervalo el valor medio V'O₂ es -, el valor medio V'CO₂ es - y el valor medio RQ es -. Esto indica una tasa de utilización de sustrato de - para lípidos, - para los carbohidratos y - para proteínas.

Firma

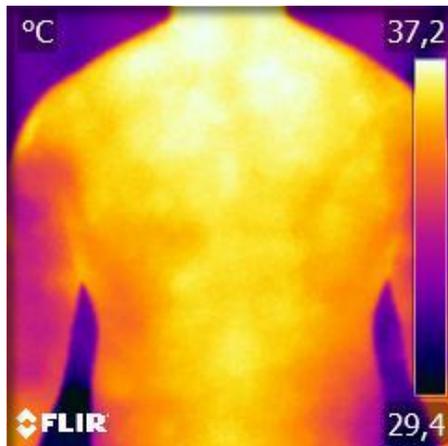
Anexo 6. Imágenes termográficas de zonas evaluadas



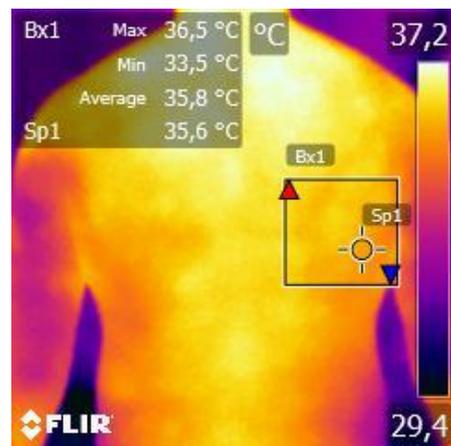
Fotografía 1a



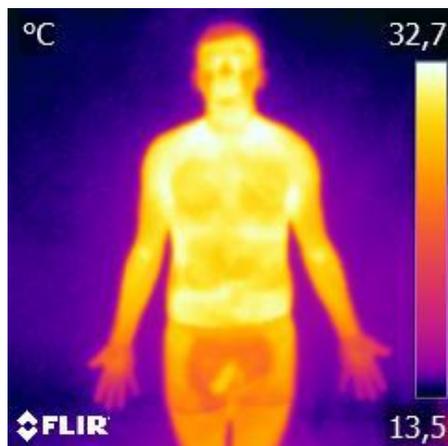
Fotografía 1b



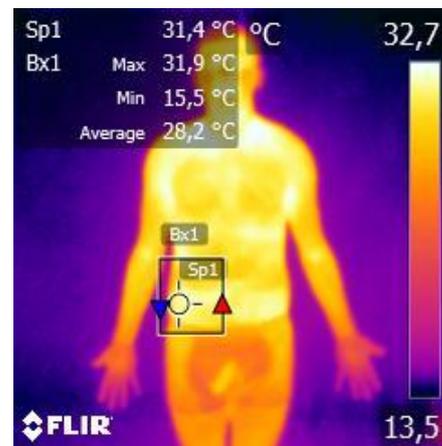
Fotografía 2a



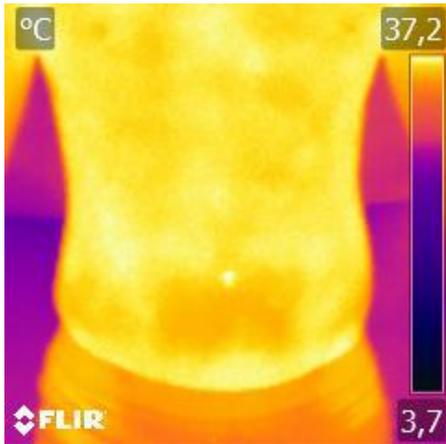
Fotografía 2b



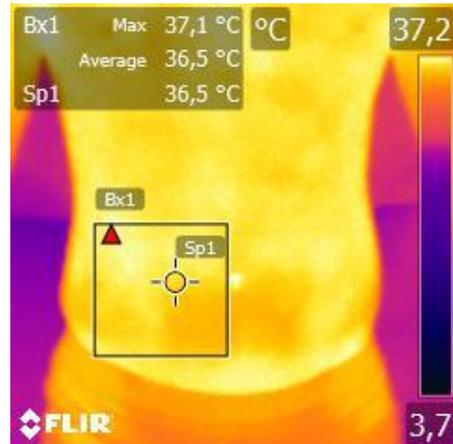
Fotografía 3a



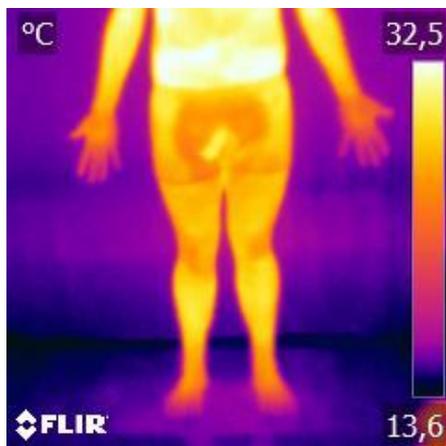
Fotografía 3b



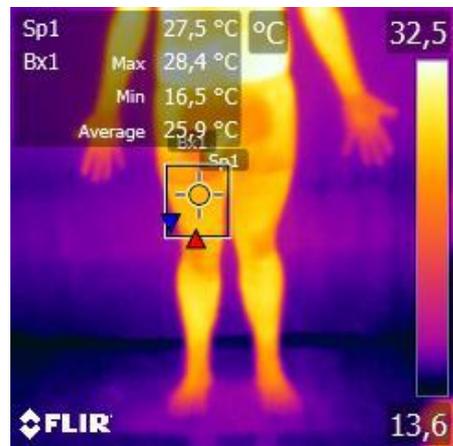
Fotografía 4a



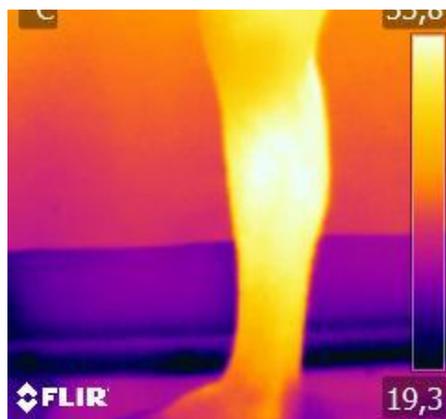
Fotografía 4b



Fotografía 5a



Fotografía 5b



Fotografía 6a



Fotografía 6b

Imágenes desde cefálico a podal; 1a) pliegue tríceps sin procesar; 1b) Imagen pliegue tríceps con análisis; 2a) pliegue subescapular sin procesar; 2b) pliegue subescapular con análisis; 3a) pliegue supraespinal sin procesar; 3b) pliegue supraespinal con análisis; 4a) pliegue abdominal sin procesar; 4b) pliegue abdominal con análisis; 5a) pliegue muslo sin procesar; 5b) pliegue muslo con análisis; 6a) pliegue de la pierna sin procesar; 6b) pliegue de la pierna con análisis.

Anexo 7. Software de análisis termográfico



Referencia

Barraza-Gómez, F.; Alvear-Ordenes, I.; Yáñez-Sepúlveda, R. & Hecht-Chau, G. (2022). Asociación entre la termografía por infrarrojo y parámetros antropométricos de riesgo cardiometabólico en hombres. *International Journal of Morphology*, 40(1):51–56. DOI: 10.4067/S0717-95022022000100051

Abstract

Anthropometric parameters for the estimation of body composition are variables commonly used in the identification of cardiovascular risk factors (CVRFs). In this regard, infrared thermography (IT) could be used as a tool that provides relevant information in the CVRFs assessment by estimating skin surface temperature and its relationship with the anthropometric measures associated with these factors. The aim of this study was to determine the relationship of skin surface temperature in adult men with anthropometric variables associated with CVRFs. The study gathered sixty-four healthy men aged 26.4 ± 7.8 years, 76.1 ± 13.3 kg body mass, 171.3 ± 7.2 cm height and 25.9 ± 3.7 kg/m² body mass index (BMI). Anthropometric assessments of 6 skinfolds (tricipital, subscapular, suprascapular, supraspinal, abdominal, mid-thigh, and calf), waist and hip circumference were conducted, as well as IT surface temperature measurements at the measurement areas. Significant negative relationships were found between surface temperature and skinfold measurements at the subscapular, supraspinal, thigh and calf levels ($p < 0.01$; $r = -0.39$ to -0.55). The average IT temperature of the 6- folds and all individual folds IT had significant negative correlations with BMI, waist circumference, waist hip ratio, waist height ratio, and the sum of 6 skinfolds ($p < 0.05$; $r = -0.35$ to -0.65). There is a relationship between skin surface temperature and some body composition anthropometric parameters that indicate and association with CVRFs, therefore, IT may be a useful tool to complement the assessment of these parameters.

Key words: Thermometry; Anthropometry; Cardiovascular risk factors; Body mass index.

Resumen:

Los parámetros antropométricos para la estimación de la composición corporal son variables comúnmente utilizadas en la identificación de factores de riesgo cardiovascular (FRCV). En este sentido la termografía por infrarrojo (TI) podría ser utilizada como una herramienta que aporte información relevante en la evaluación de los FRCV mediante la estimación de la temperatura superficial en la piel y su relación con medidas antropométricas asociadas a estos factores. El objetivo de este estudio fue determinar la relación de la temperatura superficial de hombres adultos con variables antropométricas asociadas a FRCV. Participaron 64 hombres sanos de $26,4 \pm 7,8$ años, $76,1 \pm 13,3$ kg de masa corporal, $171,3 \pm 7,2$ cm de estatura y $25,9 \pm 3,7$ kg/m² de índice de masa corporal (IMC). Se realizaron evaluaciones antropométricas de 6 pliegues cutáneos (tricipital, subescapular, supra-espinal, abdominal, muslo medio y pantorrilla), circunferencia de cintura y cadera, además de mediciones de la temperatura superficial mediante TI en las zonas de medición. Se encontraron relaciones significativas negativas entre la temperatura superficial y las mediciones de los pliegues cutáneos a nivel subescapular, supra-espinal, muslo y pantorrilla ($p < 0,01$; $r = -0,39$ a $-0,55$). La temperatura promedio de la TI de los 6-pliegues, y todas las TI individuales de los pliegues presentaron correlaciones negativas significativas con el IMC, perímetro de cintura, índice cintura cadera, índice cintura estatura y la sumatoria de 6 pliegues cutáneos ($p < 0,05$; $r = -0,35$ a $-0,65$). Se puede concluir que existe una relación entre la temperatura superficial de la piel y algunos parámetros antropométricos de la composición corporal que muestran estar asociados a FRCV, pudiendo ser la TI una herramienta útil para complementar la evaluación de estos parámetros.

Palabras clave: Termometría; Antropometría; Factores de riesgo cardiovascular; Índice de masa corporal.

Anexo 9. Publicación 2 en revista *International Journal of Morphology*

Referencia

Barraza-Gómez, F., Alvear-Ordenes, I., Hecht-Chau, G., Henríquez, M., & Tuesta, M. (2021). Asociación entre la termografía por infrarrojo, parámetros antropométricos y gasto energético de reposo en hombres. *International Journal of Morphology*, 39(4):1176–1182. DOI: 10.4067/S0717-95022021000401176

Abstract

It is known that an increase in the subcutaneous body fat can alter the pattern of heat release through the skin. However, the relationship with other anthropometric variables and the influence of the Resting Energy Expenditure (REE) have scarcely been addressed. To determine the relationship of skin temperature with different anthropometric variables, body weight, and the REE of healthy adult males. The participants were a total of 24 healthy males of 33.9 ± 8.7 years-old, 85.8 ± 9.7 kg of body mass, 172.5 ± 6.1 cm of height, and 28.9 ± 3.4 kg/m² of body mass index (BMI). Anthropometric, infrared thermography, and indirect calorimetry REE assessments were performed with gas analyzer. The six skinfolds average temperature, as well as the individual skinfolds (thoracoabdominal, supraspinal, and abdominal), had negative correlations with the BMI, waist circumference, waist-hip ratio, waist-to-height ratio, and the sum of the six skinfolds, all with $p < 0.05$. In addition, the temperature of the supraspinal fold had a negative correlation with the percentage of fat mass (MA%), $r = 0.47$ ($p = 0.0194$). MA% and BMI had negative correlations with REE, with $r = -0.59$ ($p = 0.002$) and $r = -0.53$ ($p = 0.006$), respectively. The six-skinfolds average temperature presented a positive correlation with the REE ($r = 0.44$; $p = 0.02$). Body composition changes cause a modification in the local surface thermography patterns without affecting the relationship between the average total body surface temperature with the REE; therefore, this could act as a predictive factor.

Key Words: Thermometry; Skinfold thickness; Metabolism; Body mass index.

Resumen

Es reconocido que un incremento de la grasa corporal subcutánea es capaz de alterar el patrón de liberación de calor a través de la piel. Sin embargo, la asociación con otras variables antropométricas y la influencia del gasto energético en reposo (GER), han sido escasamente abordadas. Este estudio determinó la relación de la temperatura de la piel con variables antropométricas, peso corporal y GER de hombres adultos sanos. Participaron en el estudio un total de 24 varones sanos de $33,9 \pm 8,7$ años de edad, $85,8 \pm 9,7$ kg de peso corporal, $172,5 \pm 6,1$ cm de estatura y $28,9 \pm 3,4$ kg/m² de índice de masa corporal (IMC). Se realizaron evaluaciones antropométricas, de termografía por infrarrojo y del GER por calorimetría indirecta, con analizador de gases. La temperatura promedio de los 6-plegues, y las individuales (toracoabdominales, supra-espinal y abdominal), tuvieron correlaciones negativas con el IMC, perímetro de cintura, índice cintura cadera, índice cintura estatura, y la sumatoria de 6 pliegues; todos con $p < 0,05$. Además, la temperatura del pliegue supraespinal tuvo una correlación negativa con el porcentaje de masa adiposa (MA%), $r = 0,47$ ($p = 0,0194$). La MA% y el IMC tuvieron correlaciones negativas con el GER, con $r = -0,59$ ($p = 0,002$) y $r = -0,53$ ($p = 0,006$), respectivamente. El promedio de temperatura de los 6-plegues presentó una correlación positiva con el GER ($r = 0,44$; $p = 0,02$). La composición corporal causa una modificación en los patrones de termografía superficial local, sin afectar la relación entre el promedio de la temperatura superficial total con el GER, pudiendo éste ser un factor predictor.

Palabras clave: Termometría; Espesor de pliegue cutáneo; Metabolismo; Índice de masa corporal.

Referencia

Barraza Gómez, F.; Hecht Chau, G.; Báez San Martín, E.; Toro Salinas, A.; Henríquez, M.; García Pelayo, S.; Cuevas, M. J. & Alvear Ordenes, I. (2023). Relación entre la temperatura de superficie, la composición corporal e indicadores antropométricos de obesidad y sobrepeso. *International Journal of Morphology*, 41(6):1824–1832. DOI: 10.4067/S0717-95022023000601824

Abstract

Infrared thermography (IT) makes it possible to assess body temperature, measure changes in body heat dissipation on the surface, and relate them to body composition characteristics and anthropometric indices. The objective of this study was to increase the number of records of body areas evaluated with IT and establish the relationships of these temperatures (32 body areas) with body composition variables and anthropometric indices, such as body mass index (BMI), waist-hip ratio, waist-height ratio, in adult men divided according to their weight status. A total of 60 healthy adult men participated, divided into 2 groups: group 1 (n = 30), with a body mass index (BMI) ≤ 24.9 , age 23.2 ± 3.9 years, body mass 66.5 ± 6.5 kg, and height 170.5 ± 7.4 cm; and, group 2 (n = 30), with BMI > 24.9 , age 29.4 ± 9.9 years, body mass 84.5 ± 11.9 kg, and height 172.0 ± 7.18 cm. Anthropometric and IT assessments were performed. Subjects with BMI ≤ 24.9 kg/m² presented higher values of surface temperature in all areas studied, unlike subjects with BMI levels > 24.9 kg/m², where body heat dissipation was lower. There is a close relationship between skin surface temperature and BMI, where subjects with a normal BMI showed higher heat dissipation and surface temperature values, in all evaluated areas, unlike subjects with a BMI that was above the normal limit.

Key words: Thermography; Skinfold thickness; Body mass index; Waist-height index; Waist-hip index; Body composition.

Resumen

La termografía por infrarrojo (TI) permite evaluar la temperatura corporal, medir los cambios en la disipación del calor corporal en superficie y relacionarlos con las características de composición corporal e índices antropométricos. Aumentar el número de registros de zonas corporales evaluadas con TI y establecer las relaciones de estas temperaturas (32 áreas corporales) con variables de composición corporal e índices antropométricos, como el índice de masa corporal (IMC), índice cintura cadera, índice cintura estatura, en hombres adultos divididos según su estado ponderal. Participaron 60 hombres, adultos sanos, divididos en 2 grupos: grupo 1 (n = 30), con $IMC \leq 24,9$, edad $23,2 \pm 3,9$ años, masa corporal $66,5 \pm 6,5$ kg, y talla $170,5 \pm 7,4$ cm; y, grupo 2 (n = 30), con $IMC > 24,9$, edad $29,4 \pm 9,9$ años, masa corporal $84,5 \pm 11,9$ kg, y talla $172,0 \pm 7,18$ cm. Se realizaron evaluaciones antropométricas y de TI. Sujetos con $IMC > 24,9$ kg/m² presentaron valores mayores de temperatura superficial, en todas las zonas estudiadas, a diferencia de los sujetos con niveles de $IMC > 24,9$ kg/m², donde la disipación del calor corporal fue menor. Existe una estrecha relación entre la temperatura superficial de la piel y el IMC, donde sujetos con un IMC normal mostraron una disipación de calor y valores de temperatura superficial mayores, en todas las zonas evaluadas, a diferencia de los sujetos con un IMC que se encontraba por encima del límite de normalidad.

Palabras clave: Termografía; Pliegues cutáneos; Índice de masa corporal; Índice cintura estatura; Índice cintura cadera; Composición corporal.