



doi: 10.4321/s0465-546x2025000400006

Artículo original

Saturación de oxígeno muscular según sexo y composición corporal en trabajos repetitivos con carga

Muscle oxygen saturation according to sex and body composition in repetitive work whith load

Guido Clemente Solari-Montenegro¹ 0000-0002-6413-3764

Monserrat Elliet Rivera-Iratchet² 0000-0003-1343-5233

¹Académico de la Universidad de Antofagasta, Facultad de Ciencias de la salud, Departamento de Ciencias de la Rehabilitación y Movimiento Humano, Centro de investigación en Fisiología y Medicina de Altura. Antofagasta, Chile.

²Académica de la Universidad de Antofagasta, Facultad de Ciencias de la salud, Departamento de Ciencias de la Rehabilitación y Movimiento Humano. Antofagasta, Chile.

Correspondencia

Monserrat Elliet Rivera-Iratchet
monserrat.rivera@uantof.cl

Recibido: 20.10.2025

Aceptado: 04.12.2025

Publicado: 22.12.2025

Contribuciones de autoría

Todos los autores contribuyeron de manera igualitaria en la realización de esta investigación y la escritura del artículo.

Financiación

No se ha recibido financiación.

Conflicto de intereses

Se señala la no existencia de conflicto de intereses para los autores del presente artículo.

Agradecimientos

El estudio titulado “SATURACIÓN DE OXÍGENO MUSCULAR SEGÚN SEXO Y COMPOSICIÓN CORPORAL EN TRABAJOS REPETITIVOS CON CARGA” fue apoyado por el Centro de Investigación en Fisiología y Medicina de Altura de la Universidad de Antofagasta, que proporcionó parte del equipamiento utilizado en la investigación.

Cómo citar este trabajo

Solari-Montenegro GC, Rivera-Iratchet ME. Saturación de oxígeno muscular según sexo y composición corporal en trabajos repetitivos con carga. *Med Segur Trab (Internet)*. 2025;71(281):266-278. doi: 10.4321/s0465-546x2025000400006

Resumen

Se identificó la saturación tisular de oxígeno muscular (SmO_2) durante movimientos repetitivos de flexión de codo con cargas progresivas y su relación con la composición corporal, metabolismo basal y sexo.

Mediante un diseño mixto: cuasiexperimental con medidas repetidas y análisis correlacional transversal, se exploró en 10 mujeres y 10 hombres jóvenes, la SmO_2 en tres sesiones de 20 minutos con cargas del 10 %, 20 % y 30 % de la fuerza máxima. Se midió la SmO_2 al inicio (minuto 0), min10 y min 20 mediante espectroscopía de infrarrojo cercano. Adicionalmente se midió composición corporal, metabolismo basal y % agua mediante bioimpedancia. Los datos se analizaron con ANOVA, correlaciones de Pearson y d de Cohen para tamaño del efecto, con nivel de significación $\alpha = 0,05$.

Los hombres presentaron significativamente mayor peso(80,10 vs 66,30 kg), masa magra(62,06 vs 43,30 kg) y metabolismo basal(1.768,40 vs 1.356,40 cal/día), con tamaños de efecto grandes (d entre 2,00 y 3,12). No hubo diferencias significativas entre sexos en ninguna medición de SmO_2 , solo la medida de SmO_2 con 10 % al minuto 0 mostró tendencia ($p = 0,092$). Las únicas correlaciones significativas entre variables antropométricas fueron IMC/masa grasa ($r = +0,829$, $p < 0,001$) y masa magra/metabolismo basal ($r = +0,698$, $p = 0,001$).

En conclusión, el estudio reveló diferencias sexuales en composición corporal y metabolismo basal con gran tamaño del efecto, sin relaciones estadísticamente significativas entre SmO_2 y variables composición corporal. Sin embargo, la SmO_2 mostró un comportamiento similar entre sexos en las mayores cargas.

Palabras claves: Oxigenación muscular, Fisiología, Ergonomía, Espectroscopía de infrarrojo cercano.

Abstract

Muscle oxygen tissue saturation (SmO_2) was identified during repetitive elbow flexion movements with progressive loads and its relationship with body composition, basal metabolism, and gender.

Using a mixed design: quasi-experimental with repeated measures and cross-sectional correlational analysis, SmO_2 was explored in 10 young women and 10 young men in three 20-minute sessions with loads of 10%, 20% and 30% of maximum strength. SmO_2 was measured at baseline (minute 0), minute 10 and minute 20 using near-infrared spectroscopy. In addition, body composition, basal metabolism and % water was measured using bioimpedance. The data were analysed using ANOVA, Pearson's correlations and Cohen's d for effect size, with a significance level of $\alpha = 0.05$.

Men had significantly higher weight(80.10 vs. 66.30 kg), lean mass(62.06 vs. 43.30 kg) and basal metabolism(1,768.40 vs. 1,356.40 cal/day), with large effect sizes (d between 2.00 and 3.12). There were no significant differences between sexes in any SmO_2 measurement, only the SmO_2 measurement at 10% at minute 0 showed a trend ($p = 0.092$). The only significant correlations between anthropometric variables were BMI/fat mass ($r = +0.829$, $p < 0.001$) and lean mass/basal metabolic rate ($r = +0.698$, $p = 0.001$).

In conclusion, the study revealed sex differences in body composition and basal metabolism with a large effect size, with no statistically significant relationships between SmO_2 and body composition variables. However, SmO_2 showed similar behaviour between sexes at higher loads.

Keywords: Muscle oxygenation, Physiology, Ergonomics, Near-infrared spectroscopy.

Introducción

En el rendimiento muscular durante el trabajo repetitivo con resistencia localizada, la capacidad oxidativa del músculo constituye una determinante fisiológica de importancia dado que refleja el delicado equilibrio entre la entrega de oxígeno al tejido y su consumo metabólico intramuscular. En este ambiente la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS en inglés) constituye una técnica no invasiva que permite monitorear algunas variaciones de saturación tisular (SmO_2) abriendo una ventana a la comprensión de los mecanismos de perfusión, difusión y metabolismo muscular local de gran aplicabilidad para analizar tareas laborales repetitivas causantes de fatiga, dolor, incapacidad y trastornos musculoesqueléticos en el trabajo^[1,2].

Durante las contracciones musculares con carga creciente, la demanda de oxígeno se incrementa y genera un progresivo descenso de la SmO_2 particularmente cuando la carga sobrepasa la capacidad vascular destinada a abastecer la demanda metabólica. Esto se observa con claridad en protocolos con contracciones musculares isométricas, en donde intensidades elevadas de trabajo muscular generan drásticos descensos de SmO_2 . En tanto se observan variaciones mínimas o nulas en intensidades bajas de contracción muscular en virtud del adecuado suministro de oxígeno^[3].

En el contexto del trabajo repetitivo con carga, la SmO_2 , valorada mediante espectroscopía de infrarrojo cercano, ofrece valiosa información respecto de la relación entre la perfusión local, el consumo metabólico y la fatiga muscular. Aunque la demanda de oxígeno durante el esfuerzo es un factor determinante, la variabilidad individual en la respuesta oxidativa no se puede explicar solo por la intensidad de la carga. Estudios recientes han evidenciado la asociación positiva entre la tasa metabólica basal e indicadores de consumo de oxígeno, cosa que sugiere que las diferencias de la tasa metabólica basal entre individuos podrían modular la recuperación oxidativa y las oscilaciones de SmO_2 durante el trabajo.^[4] Por lo anterior, el presente estudio incluyó el metabolismo basal como covariable primaria. Tasas metabólicas elevadas podrían incrementar la demanda sistémica de sustratos a partir de un entorno circulatorio más activo y constituir una variable de interés a para observar si las diferencias individuales de carga metabólica basal afectan la dinámica de saturación de oxígeno muscular durante esfuerzos incrementales^[12].

Por otra parte, estudios recientes han demostrado que la masa libre de grasa está significativamente relacionada con la capacidad de consumo de oxígeno y que mayores porcentajes de grasa corporal se asocian a la disminución de dicha capacidad, lo que sugiere la necesidad de considerar estas variables en la valoración de la SmO_2 , más allá de la carga aplicada.^[5,6] Además, La masa libre de grasa consume más oxígeno y una mayor proporción de grasa no solo podría atenuar la señal óptica, sino también, afectar la perfusión microvascular y la difusión de oxígeno. Por lo anterior, en la presente investigación, se incluyó la composición corporal como covariable de interés.

Por otra parte -en protocolos de trabajo muscular dinámico y con porcentajes de carga variados- se ha observado que el índice de oxigenación tisular desciende en la medida que la carga muscular se incrementa y que las fases de acortamiento y alargamiento del músculo pueden modular la saturación debido a efectos derivados de la perfusión diferida y/o a la compresión vascular local generada durante la contracción muscular. A partir de observaciones como estas se podría inferir que la respuesta depende del porcentaje de carga y tiempo de contracción/relajación^[7,8].

La proporción de masa grasa actúa como modulador del comportamiento oxidativo muscular. A saber, a mayor cantidad de tejido adiposo localizado, mayor atenuación de señal óptica del NIRS, mayor afectación de su profundidad de penetración e incremento del error sistemático de las mediciones de saturación^[7]. Se ha demostrado que -en reposo- individuos con mayor masa grasa generan valores de saturación más elevados muy probablemente por alteración de la señal óptica de NIRS. Además, la cantidad de tejido graso podría afectar la perfusión microvascular, la difusión de oxígeno y el volumen intravascular disponible para la distribución de oxígeno. Por el contrario, sujetos con menor porcentaje graso poseen mayor capacidad de desaturación y reoxigenación (SmO_2) durante esfuerzos intermitentes, pero intensos^[7,8,9].

La contracción muscular constituye un sustrato metabólico demandante de oxígeno y su incremento se asocia a una mayor capacidad oxidativa (mayor volumen mitocondrial, incremento de capilares funcionales, mejor densidad vascular), cuestión que incrementa la relación entre consumo y entrega de oxígeno. Por lo anterior, diferencias individuales en composición corporal podrían modular las respuestas de la saturación de oxígeno durante un protocolo de carga progresiva, especialmente en niveles elevados de carga muscular^[10,11].

Por otra parte, existen factores asociados a las diferencias biológicas entre hombres y mujeres, tales como la composición corporal, variaciones de perfusión sanguínea local, diámetro vascular o eficiencia de difusión, entre otras, que podrían afectar la respuesta de SmO₂ según sexo considerando que -por ello- podrían adoptar diferentes estrategias de uso de oxígeno durante el trabajo muscular^[10,13,14].

En este contexto, el objetivo del presente estudio es identificar el comportamiento de la SmO₂ y sus eventuales relaciones con la composición corporal (masa grasa, masa magra, % de agua corporal), metabolismo basal y sexo, al someter una muestra de sujetos a trabajo repetitivo de flexión de codo con cargas musculares progresivas bajas y moderadas.

Planteamiento del problema

“La composición corporal, metabolismo basal, % de agua corporal y sexo, podrían afectar la capacidad oxidativa muscular (SmO₂). Esta capacidad moduladora no ha sido investigada simultáneamente en hombres y mujeres expuestos a trabajo muscular progresivo bajo/moderado(10%, 20% y 30% de su contracción muscular máxima voluntaria -o CmMV-) durante tareas manuales con trabajo repetitivo de flexión de codo”.

Hipótesis:

“La masa grasa corporal, masa libre de grasa, índice de masa corporal, el porcentaje de agua corporal, metabolismo basal, la edad y sexo, se relacionan -con diversa intensidad- entre ellos y con la SmO₂, durante la ejecución de tareas repetitivas de flexión de codo con cargas de trabajo muscular creciente”

Método

- **Diseño.** Se utilizó un diseño de estudio cuasiexperimental, cuantitativo y correlacional para comparar las respuestas de SmO₂. (variables dependientes) entre hombres y mujeres según variables independientes (composición corporal, metabolismo basal, edad, sexo) durante la ejecución de trabajo repetido con carga.
- **Participantes.** Se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia de 20 sujetos distribuidos equitativamente en dos grupos(10 mujeres y 10 hombres) con edades entre 18 y 25 años y criterios de inclusión tales como, otorgar su consentimiento informado para participar en el estudio, no presentar ningún problema en el cribado preliminar para evaluar el impacto funcional y la discapacidad de las extremidades superiores mediante el QuickDASH^[15] y para evaluar la presencia y distribución de los síntomas musculoesqueléticos en diversas zonas del cuerpo, mediante el Cuestionario Musculoesquelético Nórdico (NMQ)^[16].

Los criterios de exclusión fueron la presencia de dolor, cualquier trastorno musculoesquelético ocurrido en los 30 días anteriores a la aplicación del protocolo, hipertensión no controlada médicalemente, índice de masa corporal (IMC) $\geq 35 \text{ kg/m}^2$, participación simultánea en trabajos o deportes que implicaran tareas repetitivas de las extremidades superiores y alto riesgo de absentismo a las sesiones del estudio. El protocolo del estudio y los procedimientos de consentimiento informado fueron revisados y aprobados por el Comité Ético de Investigación Científica de la Universidad de Antofagasta (certificado N° 493/2024).

- **Instrumentos.** Al inicio del trabajo, la contracción voluntaria máxima isométrica de los flexores del codo de la extremidad dominante se evaluó con sujeto sentado. espalda apoyada completamente en la pared, hombro en 0° de abducción, codo flexionado a 90°, antebrazo supinado y la empuñadura del

dinamómetro digital agarrada con su mano dominante ⁽¹⁷⁾. Se utilizó un dispositivo Tindeq Progesor 200, diseñado para medición de fuerza isométrica y solicitó dos esfuerzos voluntarios máximos, cada uno sostenido por 3 segundos, con un intervalo de descanso de 3 minutos entre ellos, para minimizar fatiga y asegurar recuperación completa. El valor final para considerar fue aquel con mayor valor obtenido en cualquiera de los dos esfuerzos.

Una vez obtenido el valor de la CmVM para cada sujeto, se procedió a calcular el 10%, 20% y 30% y determinar el peso exacto que debía contener cada objeto -o bolsa- a desplazar. Para todas las evaluaciones de la contracción muscular máxima voluntaria, hubo especial consideración en la motivación verbal utilizada para asegurar el esfuerzo máximo sostenido de cada sujeto, asimismo con la posición corporal de todos los sujetos.

La medición de la composición corporal, metabolismo basal y % de agua corporal se realizó utilizando un Bioimpedancíometro (Biodynamics Modelo 310e, Body Composition Analyzer). Para ello se instruyó previamente a los sujetos no beber alcohol 24 horas antes de la prueba y no realizar ejercicios -o comer- al menos 4 horas antes de la prueba (para evitar deshidratación y variaciones de peso corporal), además no debían declarar consumo de medicamentos diuréticos, cafeína, presentar presencia de algún cuadro febril por alguna afección de salud concomitante. Acorde al protocolo del equipo, el sujeto a medir debe estar acostado boca arriba con las manos alejadas -al menos- 6 pulgadas del cuerpo y palmas de las manos apuntando hacia la camilla. Los pies deben estar separados 6 pulgadas. El tobillo y la muñeca derecha deben estar expuestos y la zona de instalación limpia con alcohol y eventual depilado para adherir los 4 electrodos. En la mano, un electrodo se adhiere en la interlinea de la muñeca y otro en la base del tercer metacarpiano. En el pie, un electrodo se adhiere en la interlinea de tobillo y otro en la base del tercer metatarsiano. Una vez instalados los electrodos, a ellos se conectan los cables sensores., en esas condiciones se opera el equipo para obtener los datos de metabolismo basal y composición corporal.

Protocolo

• **Altura del plano de trabajo:** Los sujetos trabajaron en posición de pie y la tarea manual se ejecutó sobre la superficie de una camilla eléctrica regulable en altura y ajustada según la medida antropométrica de cada sujeto (espina iliaca anterosuperior/suelo) para que el trabajo manual ejecutara en un rango articular de codo de 90°.

Carga y objeto movilizado en la tarea repetitiva: En la tarea manual se utilizó una bolsa de tela con asas blandas para permitir un buen acoplamiento o agarre. Para evitar desplazamiento y tamaño excesivo, la bolsa se llenó con trozos geométricos de plomo hasta completar el peso equivalente al % de la MVIC. Cada sujeto fue sometido a tres sesiones de trabajo diario de 20 minutos de duración, las sesiones estaban separadas entre sí por una hora de reposo para eliminar cualquier remanente de molestia. En cada sesión de trabajo el sujeto realizó una tarea cíclica que consistía en coger las asas de la bolsa, elevarla 15 cm y luego apoyarla a 15 cm de distancia hacia su izquierda, en seguida realizar el movimiento a la inversa para cerrar el ciclo. La tarea se ejecutó a un ritmo de un ciclo cada dos segundos, marcados por el sonido de un metrónomo programado para aquello y supervisado permanentemente por un investigador presente.

• **Distribución de sesiones:** En cada sesión diaria, el ciclo y el ritmo de trabajo manual fue siempre el mismo. Solo se modificó el peso de la bolsa a movilizar según el siguiente orden: En la primera sesión el peso de la bolsa fue del 10% de CmMV (seguida de una hora de descanso). En la segunda sesión el peso de la bolsa fue del 20% CmMV (seguida de una hora de descanso). Finalmente, en la tercera sesión el peso de la bolsa fue del 30% CmMV.

• **Monitoreo de durante las sesiones:** En cada sesión se monitoreó simultáneamente los músculos flexores de codo. El primer registro se realizó inmediatamente antes de iniciar la primera sesión (minuto cero), el segundo se realizó al minuto 10 y finalmente el tercer registro, se realizó al minuto 20 inmediatamente concluida la sesión.

Para valorar la SpO₂, se utilizó un monitor de SmO₂ en tiempo real (Near-infrared spectroscopy -NIRS- no invasivo, marca MOXI) con sensores instalados en los vientres musculares acorde a la metodología descrita por Kauppi et al. ⁽¹⁸⁾. La preparación de la piel incluyó limpieza y eventual rasurado antes de la colocación del sensor.

- **Análisis estadístico:** Se realizó con apoyo del programa SPSS (versión 23.0, IBM Corp., Armonk, NY, EE. UU.). Todos los datos fueron organizados en una matriz Excel para identificar estadísticos descriptivos y supuesto de normalidad (Shapiro-Wilk). Para todas las pruebas estadísticas el nivel de significación se fijó en $\alpha = 0,05$. Las estadísticas descriptivas se presentan como medias y desviaciones estándar, valores máximos y mínimos. Para comparar las respuestas de las variables dependientes e independientes, se aplicó la prueba ANOVA, r de Pearson y d de Cohen para estimar el tamaño del efecto.

Resultados

En algunas condiciones de carga de trabajo(20 % y 30 %) se reporta -en mujeres- un menor registro de SmO₂, dicha situación se explica por el abandono debido a molestias musculares ocasionadas por la actividad repetitiva. Los casos con datos faltantes no se imputaron y fueron excluidos del análisis en esas condiciones específicas.

Como se expone en la Tabla 1, en materia de composición corporal, los hombres presentaron -en promedio- un peso corporal(80,10 kg) y masa libre de grasa(62,06 kg) significativamente mayor que las mujeres(66,30 kg y 43,30 kg, respectivamente), mientras que ellas mostraron mayor masa grasa media(25,01 kg vs 18,30 kg).

Se observa además que la variabilidad (DE) del porcentaje de agua corporal fue bastante mayor en hombres(10,70) que en mujeres^[1,13].

Por otra parte, los valores medios de la SmO₂ al 10 % de la carga, fueron más altos en los hombres y con menor dispersión en los tres tiempos monitoreados (minuto 0, 10 y 20).

Finalmente, se puede observar también que en la medida que los porcentajes de carga se incrementan(20 %, 30 %), las diferencias de SmO₂ entre los sexos se tienden a reducir y los intervalos de confianza se solapan en varios de los registros.

Tabla 1. Distribución estadística de composición corporal y SmO₂ en hombres y mujeres.

Variable	Sexo	n	Media	D.E	Mín.	Máx.
Peso (kg)	Mujer	10	66,30	8,23	55	80
	Hombre	10	80,10	8,03	69	90
	Total	20	73,20	10,62	55	90
Estatura (cm)	Mujer	10	159,80	5,71	153	170
	Hombre	10	174,80	5,81	165	182
	Total	20	167,30	9,52	153	182
IMC (kg/m ²)	Mujer	10	26,40	4,74	22	36
	Hombre	10	23,86	4,64	17	32
	Total	20	25,13	4,75	17	36
Masa grasa (kg)	Mujer	10	25,01	11,63	15	55
	Hombre	10	18,30	4,19	14	27
	Total	20	21,66	9,18	14	55
Masa libre de grasa (kg)	Mujer	10	43,30	3,02	39	51
	Hombre	10	62,06	7,38	50	73
	Total	20	52,68	11,08	39	73
Metabolismo basal (cal/día)	Mujer	10	1.356,40	109,23	1.270	1.577

	Hombre	10	1.768,40	248,21	1.233	2.029
	Total	20	1.562,40	281,97	1.233	2.029
Agua corporal (%)	Mujer	10	67,83	1,13	66	70
	Hombre	10	60,94	10,70	42	70
	Total	20	64,39	8,21	42	70
Edad (años)	Mujer	10	22,30	1,16	20	24
	Hombre	10	23,00	1,49	21	25
	Total	20	22,65	1,35	20	25
SmO ₂ 10 % min 0	Mujer	10	70,35	28,09	0	96
	Hombre	10	86,90	8,58	74	96
	Total	20	78,63	21,92	0	96
SmO ₂ con 10 % min 10	Mujer	10	71,20	28,41	0	98
	Hombre	10	86,10	8,99	72	96
	Total	20	78,65	21,89	0	98
SmO ₂ con 10 % min 20	Mujer	10	72,80	28,76	0	98
	Hombre	10	85,55	9,69	71	95
	Total	20	79,18	21,89	0	98
SmO ₂ con 20 % min 0	Mujer	9	90,56	7,78	72	99
	Hombre	9	91,00	3,74	85	96
	Total	18	90,78	5,93	72	99
SmO ₂ con 20 % min 10	Mujer	9	89,44	7,33	73	98
	Hombre	7	87,00	7,85	73	95
	Total	16	88,38	7,41	73	98
SmO ₂ con 20 % min 20	Mujer	9	87,56	13,83	53	96
	Hombre	7	87,71	8,44	75	96
	Total	16	87,63	11,42	53	96
SmO ₂ con 30 % min 0	Mujer	10	90,50	8,66	72	98
	Hombre	8	86,13	9,64	72	96
	Total	18	88,56	9,11	72	98
SmO ₂ con 30 % min 10	Mujer	7	89,14	9,21	73	97
	Hombre	4	82,00	13,24	65	93
	Total	11	86,55	10,79	65	97
SmO ₂ con 30 % min 20	Mujer	5	87,80	10,62	73	96
	Hombre	3	84,00	15,62	66	94
	Total	8	86,38	11,75	66	96

DE= desviación estándar

Al analizar los resultados entre sexos (ANOVA) -Tabla 2- y desagregar las variables que mostraron diferencias significativas, se observa que hombres y mujeres difieren significativamente en peso ($F(1,18) = 14,391$, $p = 0,001$), estatura: ($F(1,18) = 33,908$, $p < 0,001$), masa magra -o masa libre de grasa- (MLG, Kg) ($F(1,18) = 55,390$, y $p < 0,001$) y metabolismo basal (cal/día) ($F(1,18) = 23,081$, $p < 0,001$).

En la misma tabla, se describe algunas variables en las que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre sexos. A saber, el IMC ($F = 1,468$, $p = 0,241$), masa grasa (MG_kg) ($F = 2,949$, $p = 0,103$), % de agua corporal ($F = 4,099$, $p = 0,058$) y edad: ($F = 1,374$, $p = 0,256$)

Se aprecia además que no hubo diferencias significativas entre sexos en ningún valor de SmO₂ considerando sus distintas cargas y tiempos de medición. Todos los valores de p fueron mayores a 0,05.

Es necesario comentar que para las variables % agua corporal ($p = 0,058$) y SmO₂ a 10 % en minuto 0 ($p = 0,092$), los valores de p estuvieron cerca de 0,05 y mostraron una sutil tendencia, pero sin alcanzar significancia estadística.

Tabla 2. Comparación de variables fisiológicas y de composición corporal entre sexos (ANOVA)

Variable / condición	Suma de cuadrados Inter grupos	gl entre grupos	Suma de cuadrados Inter grupos	Suma de cuadrados intragrupo	gl intra	Suma de cuadrados intragrupo	F	p
Peso (kg)	952,200	1	952,200	1.191,000	18	66,167	14,391	0,001
Estatura(cm)	1.125,000	1	1.125,000	597,200	18	33,178	33,908	< 0,001
IMC (kg/m ²)	32,258	1	32,258	395,624	18	21,979	1,468	0,241
Masa grasa (MG,_kg)	225,121	1	225,121	1.374,149	18	76,342	2,949	0,103
Masa libre de grasa (MLG,_kg)	1.759,688	1	1.759,688	571,844	18	31,769	55,390	< 0,001
Metabolismo basa(cal/dial)	848.720,000	1	848.720,000	661.874,800	18	36.770,822	23,081	< 0,001
Agua corporal (%)	237,360	1	237,360	1.042,425	18	57,912	4,099	0,058
Edad(años)	2,450	1	2,450	32,100	18	1,783	1,374	0,256
SmO ₂ 10 % min 0	1.369,513	1	1.369,513	7.762,925	18	431,274	3,176	0,092
SmO ₂ 10 % min 10	1.110,050	1	1.110,050	7.994,500	18	444,139	2,499	0,131
SmO ₂ 10 % min 20	812,813	1	812,813	8.290,825	18	460,601	1,765	0,201
SmO ₂ 20 % min 0	0,889	1	0,889	596,222	16	37,264	0,024	0,879
SmO ₂ 20 % min 10	23,528	1	23,528	800,222	14	57,159	0,412	0,532
SmO ₂ 20 % min 20	0,099	1	0,099	1.957,651	14	139,832	0,001	0,979
SmO ₂ 30 % min 0	85,069	1	85,069	1.325,375	16	82,836	1,027	0,326
SmO ₂ 30 % min 10	129,870	1	129,870	1.034,857	9	114,984	1,129	0,316
SmO ₂ 30 % min 20	27,075	1	27,075	938,800	6	156,467	0,173	0,692

F= Estadístico que indica cuánto mayor es la variabilidad entre grupos respecto a la variabilidad dentro de grupos. Si F >1, existen diferencias significativas en la variabilidad.

p = valor p asociado al estadístico F, expresa la probabilidad de que no haya diferencia de medias. Cuando p > 0,05, no hay evidencia suficiente para afirmar diferencias significativas.

gl = grados de libertad

Como se muestra en la Tabla 3, al estimar el tamaño del efecto y obtener los valores de d de Cohen, se observa que las diferencias de sexo explican una proporción considerable de la variabilidad para el peso, estatura, masa libre de grasa y metabolismo basal, todas con efecto grande o muy grande.

Tabla 3. Tamaño del efecto en variables con diferencias significativas

Variable	F	Suma cuadrados Inter grupos	Suma de cuadrados Intra grupos	Tamaño del efecto	d de Cohen
Peso (kg)	14,391	952,200	1.191,000	grande	2,00
Estatura(cm)	33,908	1.125,000	597,200	muy grande	2,56
Masa libre de grasa (kg)	55,390	1.759,688	571,844	muy grande	3,12
Metabolismo basal (cal/día)	23,081	848.720,000	661.874,800	grande	2,37

F = Estadístico que indica cuánto mayor es la variabilidad entre grupos respecto a la variabilidad dentro de grupos. Si F > 1, existen diferencias significativas en la variabilidad.

Para explorar las asociaciones entre variables antropométricas (IMC, masa grasa, masa libre de grasa, porcentaje de agua corporal, ingesta calórica) y SMO₂ bajo distintas condiciones de carga muscular y momentos de medición, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson(r) teniendo presente que toda vez que r fuera cercano a +1 existe correlación es positiva y fuerte, si r es cercano a -1 la correlación es negativa y fuerte y si r es cercano a 0 existe poca -o ninguna- correlación.

Las principales observaciones se describen en la Tabla 4. en la que se aprecia que las variables antropométricas tienen relaciones moderadas o nulas con las mediciones de saturación muscular, excepto la estrecha relación entre IMC y masa grasa.

En la citada tabla 4 se observa que el IMC se asocia fuertemente con la masa grasa (r = +0,829, p < 0,001), confirmando la relación esperada entre este índice y la grasa corporal.

No se observa correlación significativa entre IMC y masa grasa con metabolismo basal, porcentaje de agua y SMO₂.

La masa libre de grasa mostró fuerte correlación positiva con el metabolismo basal (r = +0,698, p = 0,001), sugiriendo que quienes tienen mayor masa libre de grasa tienden a consumir más calorías, o bien, que la relación refleja necesidades metabólicas superiores, o poseen hábitos alimentarios distintos.

La masa libre de grasa se correlaciona negativamente con el porcentaje de agua corporal (r = -0,524, p = 0,018), es decir, en esta muestra un mayor contenido de masa libre de grasa podría estar asociado a menores proporciones de agua corporal y podría deberse a que los compartimentos de agua corporal no siempre se distribuyen -en todas las personas- proporcionalmente con la masa magra.

Finalmente, diferentes mediciones de SMO₂, están altamente correlacionadas entre sí, con r de 0,848 hasta 0,979, todas con significancia p < 0,001. indicando una fuerte consistencia interna. Las mediciones de SMO₂ bajo distintas condiciones parecen captar un comportamiento fisiológico común o estrechamente relacionado.

En esta muestra, las asociaciones más claras se encuentran entre variables antropométricas (especialmente IMC y masa grasa). Las relaciones entre los compartimentos corporales (grasa, masa libre de grasa, porcentaje de agua) y las mediciones de SMO₂ no mostraron evidencias consistentes de correlaciones lineales fuertes aparte de las que ya fueron destacadas.

Tabla 4. Correlaciones entre pares de variables estadísticamente significativas (r de Pearson) y efecto moderado/fuerte.

Par correlacionado	r (Pearson)	P (bilateral)	Interpretación
IMC / MG_kg	+0,829	< 0,001	IMC y masa grasa altamente asociadas. Correlación positiva fuerte y significativa:
MLG/ Met. basal	+0,698	0,001	Mayor masa libre de grasa relacionada con mayor consumo calórico. Correlación positiva fuerte.

MLG / % agua corporal	-0,524	0,018	Mayor masa libre de grasa asociada con menor porcentaje de agua corporal. Correlación negativa moderada.
SMO ₂ en codo (entre sí)	0,848 a 0,979	< 0,001	Altas correlaciones entre las diferentes condiciones de medición de saturación muscular. Fuerte consistencia interna.

Discussion

De modo coincidente con lo reportado por otros investigadores, los resultados del presente estudio confirman algunas diferencias significativas entre hombres y mujeres en materia de composición corporal y metabolismo basal. Particularmente el peso, estatura, MLG y metabolismo basal fueron variables que en los hombres presentaron valores mayores que las mujeres con tamaños de efecto grande -o muy grande- acorde a los valores de d de Cohen, cuestión que resulta bastante razonable y ampliamente documentada en virtud del dimorfismo sexual de la masa magra y metabolismo basal^[19,20].

Según lo reportado por algunos autores, la masa libre de grasa es el principal determinante del gasto energético en reposo. En esta materia, en el presente estudio se observó - particularmente en los hombres- una fuerte correlación entre MLG y metabolismo basal ($r = 0,698$, $p = 0,001$) seguramente relacionada con su requerimiento energético superior. En tanto, el IMC se correlacionó fuertemente con la masa grasa ($r = 0,829$), confirmando su utilidad como indicador general de adiposidad, aunque con notorias limitaciones al momento de estimar la composición corporal específica^[21,22].

Por otra parte, el % de agua corporal reportó mayores variaciones en hombres que en mujeres (DE=10.70 vs DE=1.13), diferencia que podría estar relacionada con la razonable diferencia en la distribución de la masa magra e hidratación de los tejidos. La correlación negativa hallada entre MLG y el porcentaje de agua corporal ($r = -0,524$, $p = 0,018$) sugiere una compleja interacción entre los compartimentos corporales, especialmente considerando que la masa magra incluye componentes con contenido hídrico diverso. Esta relación amerita un estudio particular^[23].

En materia de saturación muscular de oxígeno (SmO₂), fueron los hombres quienes mostraron valores más altos específicamente en las mediciones con el 10 % de carga y en el minuto 0 o monitoreo inicial, aunque las diferencias ($p = 0,092$) no alcanzaron niveles suficientes para la significancia estadística. Las diferencias de SmO₂ entre sexos disminuyeron a medida que aumentó la carga(20 % y 30 %) y los intervalos de confianza se solaparon lo que podría suponer una respuesta fisiológica similar entre hombres y mujeres si las exigencias de carga muscular se mantuvieran en incremento. Lo descrito coincide con lo reportado por otros autores que también han concluido que la capacidad oxidativa muscular no se diferenciaba por sexo^[10].

En materia de SmO₂ observó una marcada dispersión en mujeres, probablemente vinculada a la heterogeneidad anatómica/funcional individual. A saber, se ha reportado que las mujeres mantienen niveles de SmO₂ más altos que los hombres durante ejercicio incremental, sugiriendo un patrón de perfusión distinto. O bien, podría ser la expresión de la variabilidad biológica real en la perfusión microvascular, composición tisular o estrategia de oxigenación muscular, y no solo la probabilidad de error en la medición^[28, 29].

La falta de correlaciones significativas entre SmO₂ y variables antropométricas (como masa grasa o IMC) sugiere que la saturación muscular de oxígeno podría depender más de factores funcionales como el flujo sanguíneo local, la eficiencia mitocondrial o la capilarización del tejido muscular, que de la composición corporal^[24,25].

Finalmente, se observaron diferencias entre hombres y mujeres, particularmente en las variables de composición corporal, masa grasa, masa libre de grasa y metabolismo basal (con tamaños de efecto de gran magnitud). Dichas diferencias confirman el papel del dimorfismo sexual en materia de fisiología corporal, particularmente en términos de masa magra y metabolismo basal o gasto energético.

La SmO₂ fue mostrando un comportamiento más similar entre hombres y mujeres conforme la carga muscular se incrementaba, sin presentar asociaciones estadísticamente significativas con alguna

variable antropométrica, lo que podría suponer que la saturación de oxígeno muscular podría estar modulada por mecanismos fisiológicos distintos a la composición corporal. La alta consistencia entre las mediciones de SmO₂ confirma la utilidad del monitoreo continuo en estudios de fisiología del ejercicio^(26,27).

Como limitaciones del estudio podemos citar el tamaño de la muestra a la que los autores optaron en virtud del estudio exploratorio / cuasiexperimental, para estudiar una materia poco explorada y con escasos datos previos para precisar la variabilidad y tamaño muestral óptimos. Por lo anterior, el análisis estadístico no solo se refiere a la significancia estadística (p), sino además al tamaño del efecto (d de Cohen) en un intento de valorar la magnitud de las diferencias observadas. El estudio consideró criterios de inclusión, pero no controló la variabilidad individual, nivel de entrenamiento físico, dieta, factores hormonales y otros que podrían incidir en la respuesta de SmO₂. Finalmente, para minimizar la interferencia de las mediciones de SmO₂ solo se preparó adecuadamente la piel (limpieza y depilado) antes de la colocación de cada sensor.

Este estudio aporta información interesante para la ergonomía y su aplicación al trabajo en virtud de las diferencias descritas en trabajadores hombres y mujeres -especialmente en composición corporal- y podría ser complementada con otros estudios de exposición controlada a mayores exigencias que permitan aproximarse a la identificación real de riesgos disergonómicos ocupacionales asociados al trabajo repetitivo para mejorar las evaluaciones de las personas , de las condiciones de trabajo, salud y seguridad.

Referencias

1. Perrey S, Ferrari M. Muscle oximetry in sports science: A systematic review. *Sports Med.* 2018;48(3):597–616.
2. Jeskanen T, Ylinen V, Valtonen RIP, Tulppo MP. Reproducibility and sex differences in muscle oxygenation during brachial artery occlusion in healthy participants. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2024;44(2):388–95. doi:10.1111/cpf.12886
3. Hicks A, McGill S, Hughson RL. Tissue oxygenation by near infrared spectroscopy and muscle blood flow during isometric contractions of the forearm. *Can J Appl Physiol.* 1999;24(3):216–30. doi:10.1139/h99-018
4. New bioelectrical impedancebased equations to estimate resting metabolic rate in young athletes. *Methods Protoc.* 2025;8(3):53. DOI: 10.3390/mps8030053.
5. The Impact of Body Composition on Cardiorespiratory Fitness in Adult Females. *BMC Public Health.* 2024;25: 1258. DOI: 10.1186/s12889-025-22453-5.
6. Crisafulli O, Bottoni G, Lacetera J, et al. Bioimpedance analysis of fatfree mass and its subcomponents and relative associations with maximal oxygen consumption in facioscapulohumeral dystrophy. *Eur J Appl Physiol.* 2025;125:157165. DOI: 10.1007/s00421-024-05581-5.
7. Roces de Argila P, Jurado A, López Alonso M, Granados C, Vergara J, Munguía M. Time variability of muscle oxygen saturation during graded maximal exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2025; [Epub ahead of print]. doi:10.1007/s00421-025-05871-6
8. Wüst RCI, Klawitter E, Andersen DC, Skovgaard D, Pallesen H, Rosenkilde M. Muscle oxygenation during dynamic plantar flexion exercise: combining BOLD MRI with traditional physiological measurements. *Physiol Rep.* 2016;4(18):e12868. doi:10.14814/phy2.12868
9. Van Beekvelt MCP, Borghuis MS, van Engelen BGM, Wevers RA, Colier WNJM. Adipose tissue thickness affects in vivo quantitative near IR spectroscopy in human skeletal muscle. *Clin Sci (Lond).* 2001;101(2):21–8.

- 10.** Niemeijer VM, Jansen JP, van Dijk T, Spee RF, Meijer EJ, Kemps HMC, et al. The influence of adipose tissue on spatially resolved near infrared spectroscopy derived skeletal muscle oxygenation: The extent of the problem. *Physiol Meas.* 2017;38(3):539–54. doi:10.1088/1361-6579/aa5dd5
- 11.** Nasseri N, Kleiser S, Ostojic D, Karen T, Wolf M. Quantifying the effect of adipose tissue in muscle oximetry by near infrared spectroscopy. *Biomed Opt Express.* 2016;7(11):4605–19. doi:10.1364/BOE.7.004605
- 12.** Beever AT, Tripp TR, Zhang J, MacInnis MJ, et al. NIRS derived skeletal muscle oxidative capacity is correlated with aerobic fitness and independent of sex. *J Appl Physiol.* 2020;129(3):558–68. doi:10.1152/japplphysiol.00017.2020
- 13.** Poole DC, Musch TI. Capillary-mitochondrial oxygen transport in muscle: paradigm shifts. *Function (Oxf).* 2023;4(3): zqad013. doi:10.1093/function/zqa
- 14.** Zurlo F, Larson K, Bogardus C, Ravussin E. Skeletal muscle metabolism is a major determinant of resting energy expenditure. *J Clin Invest.* 1990;86(5):1423–7. doi:10.1172/JCI114857
- 15.** Jeskanen T, Ylinen V, Valtonen RIP, Tulppo MP. Reproducibility and sex differences in muscle oxygenation during brachial artery occlusion in healthy participants. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2024;44(2):388–95. doi:10.1111/cpf.12886
- 16.** Pérez S, Sánchez-Jiménez JL, Martín Marzano-Felisatti J, Encarnación-Martínez A, Salvador-Palmer R, Priego-Quesada JL. Reliability of threshold determination using portable muscle oxygenation monitors during exercise testing: A systematic review and meta-analysis. *Sci Rep.* 2023; 13:12649. doi:10.1038/s41598-023-39651-z
- 17.** Gummesson C, Ward MM, Atroshi I. The shortened disabilities of the arm, shoulder and hand questionnaire (QuickDASH): validity and reliability based on responses within the full-length DASH. *BMC Musculoskelet Disord.* 2006; 7:44. doi:10.1186/1471-2474-7-44
- 18.** Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, Vinterberg H, Biering-Sørensen F, Andersson G, et al. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Appl Ergon.* 1987;18(3):233–7.
- 19.** Nuzzo JL, Taylor JL, Gandevia SC. Measurement of upper and lower limb muscle strength and voluntary activation. *J Appl Physiol(1985).* 2019;126(3):513–43. doi:10.1152/japplphysiol.00569.2018
- 20.** Kauppi P, et al. [Metodología de posicionamiento de sensores NIRS]. 2017.
- 21.** Wells JC. Sexual dimorphism of body composition. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab.* 2007;21(3):415–30. doi: 10.1016/j.beem.2007.04.007
- 22.** Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, et al. Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods. *Clin Nutr.* 2001;21(5):1226–43. doi:10.1016/S0261-5614(01)00292-2
- 23.** Müller MJ, Bosy-Westphal A, Krawczak M. Genetic studies of common types of obesity: a critique of the current use of phenotypes. *Obes Rev.* 2011;11(8):612–8. doi:10.1111/j.1467-789X.2010.00772.x
- 24.** Nuttall FQ. Body mass index: Obesity, BMI, and health: A critical review. *Nutr Today.* 2015;50(3):117–28. doi:10.1097/NT.0000000000000092
- 25.** Wang Z, Deurenberg P, Wang W, Pietrobelli A, Baumgartner RN, Heymsfield SB. Hydration of fat-free body mass: new physiological modeling approach. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 1999;276(6):E995–1003. doi:10.1152/ajpendo.1999.276.6.E995
- 26.** Bhambhani Y. Muscle oxygenation trends during dynamic exercise measured by near infrared spectroscopy. *Can J Appl Physiol.* 2004;29(4):504–23. doi:10.1139/h04-033
- 27.** Ferrari M, Muthalib M, Quaresima V. The use of near-infrared spectroscopy in understanding skeletal muscle physiology: recent developments. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci.* 2011;369(1955):4577–90. doi:10.1098/rsta.2011.0230

- 28.** Sendra Pérez C, Priego Quesada JI, Salvador Palmer R, Murias JM, Encarnación Martínez A. Sex-related differences in profiles of muscle oxygen saturation of different muscles in trained cyclists during graded cycling exercise. *J Appl Physiol.* 2023;135(5):1092–1101. doi:10.1152/japplphysiol.00420.2023
- 29.** Gonzalez, A. M., Mangine, G. T., Pinzone, A. G., Beyer, K. S., & Townsend, J. R.(2024). Dinámica de saturación de oxígeno muscular durante ejercicios de resistencia de la parte superior del cuerpo. *Sensors*, 24(20), 6668. <https://doi.org/10.3390/s24206668> <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00420.2023>