

EFFECTOS DE LA OBESIDAD EN EL CONSUMO MÁXIMO DE OXÍGENO MEDIDO INDIRECTAMENTE

EFFECTS OF OBESITY ON INDIRECTLY MEASURED MAXIMAL OXYGEN CONSUMPTION

Rodrigo Benavides-Castellón*

Resumen: El objetivo fue examinar a qué nivel de grasa corporal (MG%) se aprecia un compromiso significativo en el consumo máximo de oxígeno (VO₂max) al comparar una muestra de trabajadores obesos y otra de peso normal. Análisis retrospectivo de registros médicos de 400 trabajadores brigadistas de incendios forestales. El VO₂máx (l/min) se estimó indirectamente a partir de la frecuencia cardíaca obtenida en cargas de trabajo submáximas en un cicloergómetro de freno mecánico, aplicando los valores obtenidos al Nomograma de Astrand. La MG% se midió mediante un instrumento de impedanciometría eléctrica de agarre manual. En la muestra, el 23,8% fueron clasificados como obesos. El VO₂máx promedio en los sujetos obesos fue significativamente menor que los de peso normal. Utilizando el método de regresión de mínimos cuadrados se demostró que el VO₂máx fue significativamente menor en los trabajadores obesos cuando la masa libre de grasa (MLG) superó los 50 kg, lo que correspondió a una MG% de 18,6%.

Palabras clave: Consumo máximo de oxígeno, obesidad, Nomograma de Astrand, impedancia bioeléctrica.

Abstract: The objective was to examine at what level of body fat (BM%) there is a significant compromise in maximal oxygen consumption (VO₂max) when comparing a sample of obese and a sample of normal weight workers. Retrospective analysis of medical records of 400 forest fire brigade workers. VO₂max (l/min) was estimated indirectly from heart rate obtained at submaximal workloads in a mechanical brake cycleergometer, applying the values obtained to the Astrand Nomogram. The MG% was measured by means of a hand-grip electrical impedance meter. In the sample, 23.8% were classified as obese. Mean VO₂max in obese subjects was significantly lower than those of normal weight. Using the least squares regression method, it was shown that VO₂max was significantly lower in obese workers when fat-free mass (FFM) exceeded 50 kg, which corresponded to a MG% of 18.6%.

Keywords: Maximal oxygen uptake, obesity, Astrand Nomogram, bioelectrical impedance.

Recepción: 17.07.2023 / Revisión: 20.07.2023 / Aceptación: 10.08.2023

*Centro de Ergonomía y Salud Ocupacional (CESO). Concepción, Chile. Correo electrónico: rbenavides@ceso.cl. Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-3158-9650>

Introducción

El nivel máximo de trabajo muscular dinámico prolongado con grandes grupos musculares está determinado por la cantidad total de oxígeno que se puede transportar desde los pulmones a los músculos involucrados en el esfuerzo (Astrand & Rodahl, 1985).

Esta cantidad llamada "consumo máximo de oxígeno" ($VO_{2m\acute{a}x}$), o capacidad aeróbica máxima, está determinada por el sexo, la edad, los patrones de vida, los niveles de actividad y los genotipos individuales (Astrand, 1960; Dehn & Bruce, 1972; Andersen, 1967; Wyndham et al., 1963). Astrand et al. (1960) demostraron que tanto los hombres como las mujeres obesos bajo esfuerzos submáximos realizados en un cicloergómetro tenían un VO_2 significativamente más elevado que los considerados con peso normal.

Estudios más recientes en niños y adolescentes corroboran estos resultados, al hacer ejercicio a cargas submáximas (Ekelund et al., 2004; Goran et al., 2000). Salvadori et al. (1992) estudiando adultos obesos observaron que tanto el VO_2 como la frecuencia cardíaca (F_c) fueron significativamente más altos que los sujetos de peso normal en ejercicios realizados en varios niveles de carga.

El objetivo de este estudio fue comparar el $VO_{2m\acute{a}x}$ en individuos obesos y normales. En particular, utilizando el método de regresión de mínimos cuadrados, examinar el nivel de porcentaje de masa grasa corporal (MG%) en el que los obesos mostrarían una disminución significativa del $VO_{2m\acute{a}x}$ en comparación con personas no obesas.

Materiales y métodos

Los datos incluyeron observaciones de 400 trabajadores sanos postulantes a Brigadistas de Incendios entre 17 y 57 años de edad, sin diferencias étnicas o socioeconómicas y con actividades diarias similares.

Este estudio consistió en un análisis retrospectivo de una base de datos anónima, disponible a partir de registros médicos durante los últimos cinco años, almacenada y protegida en una base de datos informática encriptados. Los trabajadores fueron examinados por la mañana, con ayuno mínimo de 8 horas, lo que significa que no consumieron alimentos ni bebidas, y no realizaron actividad física importante. Todos ellos firmaron un formulario de consentimiento, con todos los procedimientos respetando las normas éticas de la Declaración de Helsinki (2013) y las de la Comisión Ética para la Investigación de la Salud en Chile.

Pasaron un examen médico para descartar defectos físicos, diabetes, hipertensión arterial y enfermedades cardíacas o pulmonares. La altura corporal se determinó descalza hasta el centímetro más cercano, utilizando un estadiómetro convencional y el peso corporal se midió utilizando una escala estándar en una balanza médica mecánica (200 kg x 0,1 kg).

Teniendo en cuenta que el $VO_{2m\acute{a}x}$ es la única medida que expresa la capacidad funcional del sistema cardiovascular para satisfacer las necesidades energéticas de los músculos grandes para el trabajo físico, los sujetos se sometieron a pedalear en un

cicloergómetro Monark 800-E (Vansbro, Suecia) con freno mecánico. Después de un ejercicio de calentamiento de 3 minutos, seguido de un período de descanso de uno a tres minutos, los sujetos pedalearon a una velocidad constante de 50 rpm durante otros 6 a 8 minutos, a un nivel de trabajo ajustado para lograr una frecuencia cardíaca (Fc) en el rango de 120-170 latidos / min. La Fc se controló con un monitor Polar H10 y se registró durante los últimos dos minutos, hasta que se observó un evidente estado estacionario, con una variación no superior a dos pulsos cada 10 segundos.

El VO_2 máx se estimó indirectamente utilizando la Fc registrada en estado estacionario en una a tres cargas de ejercicios submáximos. La Fc y las cargas de trabajo fijadas (kiloponds) se aplicaron al Nomograma de Astrand y el valor de VO_2 máx resultante se multiplicó por un factor de corrección para la edad de la persona (Astrand & Ryhming, 1954). Para evitar problemas con la escala para la normalización del peso, el VO_2 max se expresó en litros por minuto (l / min) (Toth et al., 1993).

La estimación de la masa grasa corporal como porcentaje (MG%) se realizó con un equipo de impedanciometría eléctrica manual Omron HBF-306C (Hoffman Estates, IL, EUA), técnica validada en hombres jóvenes y mayores (Wheeler, 2012). La MG% se tomó como una medida de obesidad. Los trabajadores fueron separados en grupos de sujetos normales o no obesos con una $MG \leq 25\%$ y obesos con $MG > 25\%$. La masa libre de grasa (MLG) se calculó en kg) restando el peso de la MG del peso corporal total (Buckley et al., 2019).

Análisis estadístico

Los resultados se describen en promedios, desviación estándar (DE) e intervalos de confianza del 95% (IC95%). La comparación de los resultados promedios obtenidos en los con peso normal y los obesos se realizó mediante la prueba T de Student independiente.

Dados los tamaños desiguales de los grupos, el supuesto de normalidad y homogeneidad de la varianza se estudió con la prueba de Levene. El grado de asociación lineal entre variables fue calculado por el índice de correlación de Pearson (r), con significación estadística establecida en una probabilidad de $P < 0,05$.

Se utilizó un análisis de regresión múltiple basado en regresión de mínimos cuadrados para comparar el VO_2 máximo entre estos grupos una vez que se demostró que las presunciones de normalidad, varianza igual y linealidad cumplían.

El VO_2 máx considerado como variable dependiente fue estudiado en relación con las variables independientes edad, índice de masa corporal (IMC), porcentaje de grasa corporal (MG%) y masa libre de grasa (MLG).

Los modelos de regresión permitieron analizar el efecto principal sobre el VO_2 máx de la MLG, la variable categórica binaria (codificada 0 = peso normal y 1 = obesidad), y el efecto de interacción de la MLG con la obesidad.

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando la versión IC-15 del programa StataCorp LLC para Windows (College Station, TX, EUA).

Resultados y discusión

Fueron clasificados como obesos el 23,8% de esta muestra (n= 95), si aplicáramos el criterio de un IMC mayor de 30 kg/m² el porcentaje disminuye a un 15%, la mitad de lo observado en trabajadores Norteamericanos calificados según ese criterio (28% en el 2011) (World Health Organization, 1995; Caban et al., 2005).

En la Tabla 1 se describen las características de la muestra estudiada. Con excepción de la talla todas las diferencias entre obesos y normales fueron estadísticamente significativas.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de trabajadores normales y obesos.

Trabajadores	VARIABLES	N	prom	sd	min	máx
Trabajadores normales	Edad	305	26,42	6,87	17	52
	Peso	305	73,12	9,64	48,1	100
	Talla	305	1,7	,07	1,42	1,91
	IMC	305	25,02	3,03	18	38
	MG%	305	17,8	4,33	4	24
	MLG	305	59,88	6,68	37,52	77,6
	VO ₂ máx	305	3,02	,56	1,68	4,78
Trabajadores obesos	Edad	95	31,25	11,55	18	57
	Peso	95	87,33	12,26	57,1	124
	Talla	95	1,71	,07	1,55	1,89
	IMC	95	29,72	3,55	21	40
	MG%	95	28,47	3,54	25	42
	MLG	95	62,51	8,36	41,11	84,3
	VO ₂ máx	95	2,84	,59	1,37	4,83

El VO₂máx promedio en los obesos fue significativamente menor que en los normales (t (398)= 2,660, P= 0,008), y el test de Levene de homogeneidad de las varianzas del VO₂máx entre los grupos no fue significativo (índice WO(1398)= 0,068, P= 0,80) lo que impide rechazar la hipótesis de igualdad entre las varianzas entre los grupos.

El promedio de MLG en los obesos fue significativamente más elevado que en los normales (t(398)= -3,1; p= 0,002), circunstancia que se explica por la retención de agua que acompaña al aumento de la grasa corporal.

En la Tabla 2 se aprecia el índice de correlación entre el VO₂max y las covariables analizadas.

Tabla 2. Correlación (Pearson) entre VO₂máx y variables antropométricas y composición corporal.

Variables	VO₂	Edad	Peso	Talla	IMC	MG%	MLG
VO₂	1,00						
Edad	-0,12* (0,02)	1,00					
Peso	0,13* (0,01)	0,04 (0,45)	1,00				
Talla	0,16* (0,00)	-0,23* (0,00)	0,40* (0,00)	1,00			
IMC	0,05 (0,31)	0,18* (0,00)	0,84* (0,00)	-0,10* (0,05)	1,00		
MG%	-0,13* (0,01)	0,30* (0,00)	0,66* (0,00)	0,07 (0,18)	0,70* (0,00)	1,00	
MLG	0,25* (0,00)	-0,13* (0,01)	0,86* (0,00)	0,48* (0,00)	0,62* (0,00)	0,20* (0,00)	1,00

Nota. *** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1.

Todos los índices de correlación con el VO₂max fueron significativos con excepción del IMC (P= 0,31) pero débiles, lo que se explica por el tamaño de la muestra y porque miden el mismo fenómeno. La MLG presentó el índice de correlación significativo más elevado de todas las variables (r= 0,251, P= 0,001).

La correlación del VO₂máx con la variable categórica binaria de grupos fue r= -0,132 (P= 0,08), demostrando que los obesos tienen valores más bajos de VO₂máx que los normales.

En el análisis de regresión el peso presentó una elevada colinealidad con IMC, MG% y MLG (VIF= 59,8), por lo que fue excluido en las ecuaciones. La regresión lineal del VO₂máx versus MLG demostró la existencia de heteroscedasticidad (P chi²= 0,016), apreciándose una mayor dispersión de sus valores mientras más elevada era la MLG, pero la prueba de igualdad de varianzas entre los grupos por separado demostró igualdad en sus valores (F= 0,918, P= 0,583, rechazo de hipótesis nula) lo que permitió seguir con el análisis de regresión sin necesidad de transformar las variables.

El efecto sobre el coeficiente de determinación (R²) por la inclusión de la edad, IMC, MG% y MLG como covariables, demostró que la MLG fue la única que presentó un efecto significativo (efecto= 7,6%; P< 0,0001); la edad presentó una P= 0,41, el IMC una P= 0,91 y la MG% P= 0,15 siendo marginados del análisis estadístico posterior.

La Tabla 3 muestra el resultado de la regresión del VO₂máx versus MLG y el efecto de la interacción de la MLG con la variable categórica binaria.

Tabla 3. Relación de VO₂max y MLG con interacción entre obesidad y MLG.

VO ₂	Coef.	Std.Err.	t-value	p-value	CI:95%		Sig
1. C.binaria	,046	,529	0,09	,931	-,994	1,085	
MLG	,024	,004	5,35		,015	,032	***
1. interacción	-,005	,009	-0,52	,603	-,022	,013	
Constant	1,595	,262	6,08		1,079	2,11	***
*** $p < .01$, ** $p < .05$, * $p < .1$							
Pendientes de VO₂máx y MLG							
Delta-method							
	dy/dx	Std.Err.	t	P>t	CI: 95%.		
Normales	0,024	0,004	5,350	0,000	0,015	0,032	
Obesos	0,019	0,008	2,510	0,012	0,004	0,034	

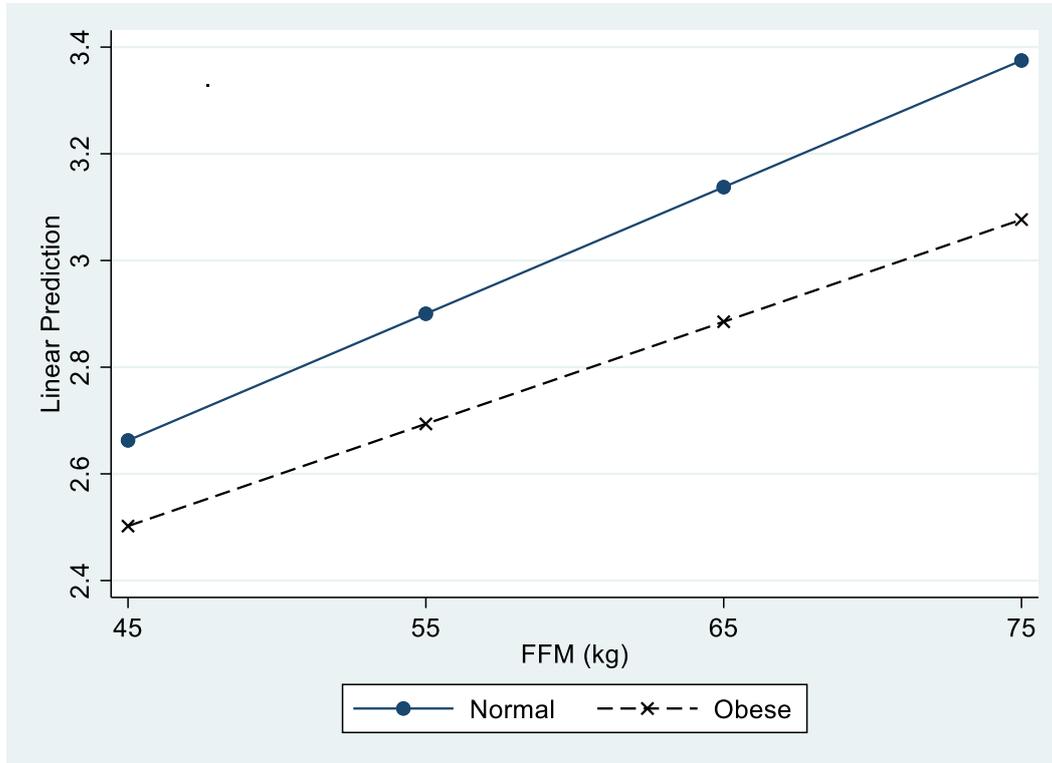
Nota. Los coeficientes de regresión (pendientes) fueron significativamente diferentes.

El coeficiente de la categoría binaria (0,046) corresponde a la diferencia en los valores de la intersección entre normales y obesos cuando la MLG permanece constante en un valor de cero (0), lo que por no ser biológicamente real no fue analizada.

Lo importante en este modelo es el análisis de la diferencia en los coeficientes de regresión de las covariables. El coeficiente de la MLG ($b_1 = 0,024$) corresponde a la pendiente de los normales y la de los obesos ($b_2 = 0,019$) corresponde a la suma del coeficiente de la interacción (-0,00459) más el de los normales (0,0237). Esta diferencia de b_1 y b_2 significa una menor pendiente del VO₂máx en los obesos, por cada kilogramo de MLG aumenta el VO₂máx en 0,019 l/min comparado con 0,237 en los normales, la diferencia (-0,00459) no fue estadísticamente significativa ($P = 0,603$, CI: 0,022, 0,013).

En la Figura 1 se muestra las líneas de regresión de los valores promedios ajustados de VO₂max versus valores de MLG con el efecto de la interacción con la covariable categórica binaria.

Figura 1. Relación entre VO₂max y MLG con interacción de la variable categórica binaria en trabajadores normales y obesos.



Nota. Coeficiente de regresión de la interacción = -0,005, t= 0,52, P= 0,6 (NS). Coeficiente de regresión de los normales = 0,0237, t= 2,35, P< 0,01 (IC: 0,015, 0,032). Coeficiente de regresión de los obesos= 0,0192, t= 2,51, P< 0,012 (IC: 0,004, 0,0341).

La brecha en las líneas de regresión aumenta a medida que lo hace la MLG. Es decir, a diferentes niveles de MLG los obesos tienen un VO₂máx menor.

La Tabla 4 muestra las medias ajustadas de VO₂máx para valores fijos de MLG.

Tabla 4. Comparación de estimaciones ajustadas de promedios de VO₂máx en Trabajadores Normales y Obesos para valores diferentes de MLG (kg).

Model VCE : Robust

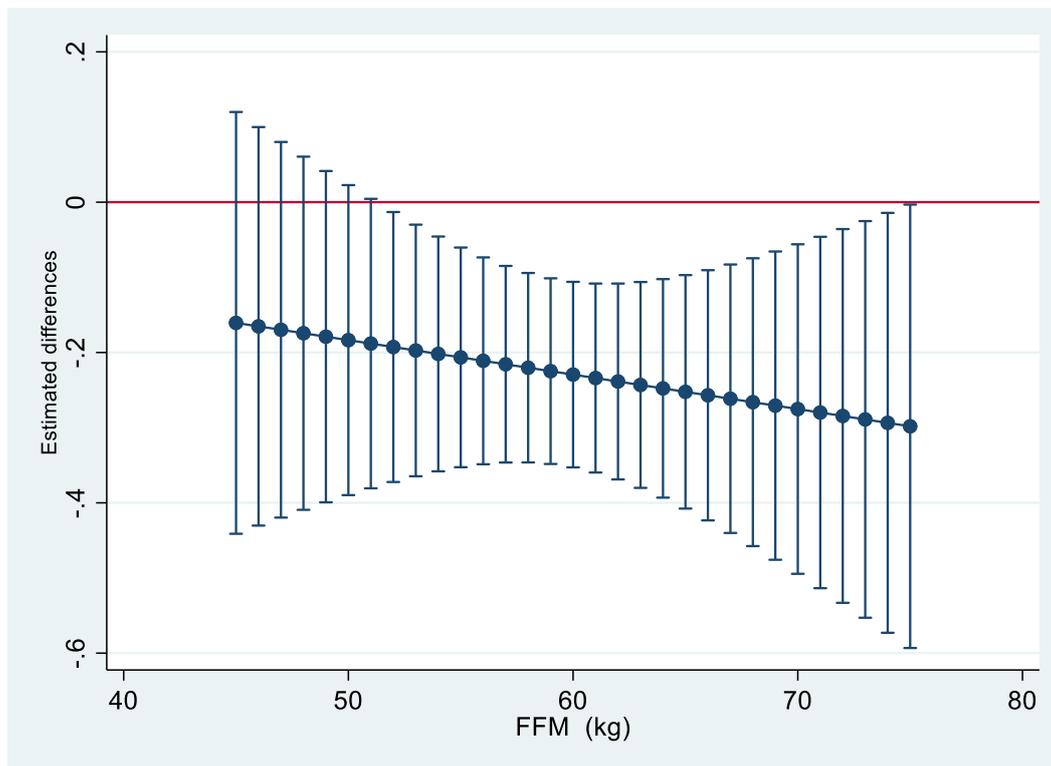
- 1._at : FFM = 30 kg
- 2._at : FFM = 50 kg
- 3._at : FFM = 55 kg
- 4._at : FFM = 75 kg

	Contrast	Std.Err.	t	P>t	CI: 95%	
(Obesos vs Normales) 1	-0,092	0,268	-0,340	0,732	-0,619	0,435
(Obesos vs Normales) 2	-0,184	0,105	-1,750	0,081	-0,390	0,023
(Obesos vs Normales) 3	-0,206	0,074	-2,780	0,006	-0,353	-0,060
(Obesos vs Normale) 4	-0,298	0,150	-1,990	0,048	-0,593	-0,003

La diferencia en los promedios de VO₂máx entre los grupos fue significativamente mayor sobre los 55 kg de MLG ($t = -2,42$; $P = 0,016$; IC: $-0,374, -0,039$).

La Figura 2 muestra la distribución de las diferencias entre los promedios ajustados de VO₂máx a niveles fijos de MLG en normales y obesos.

Figura 2. Diferencias estimadas de las medias ajustadas del VO₂máx (IC95%) entre trabajadores normales y obesos en relación a la MLG.



Nota. Las diferencias son significativas cuando no se incluye la línea cero (0).

De estos resultados se puede concluir que el VO₂máx fue significativamente más bajo en los obesos que en los sujetos normales cuando el peso de la MLG era igual o superior a los 50 kg.

La mayor MLG que habitualmente es apreciada en los obesos no significó un aumento del VO₂máx como podría esperarse. Actualmente hay consenso en que ese aumento en los obesos no refleja una mayor masa muscular sino que tiene su origen en una retención de líquido en el espacio extracelular por una activación de la cadena renina-angiotensina-aldosterona por estímulos simpáticos y el estímulo central de la secreción de hormona antidiurética y vasopresina (Peter & Wayne, 1971; Jensen et al., 2019).

Los valores de la MG% y la MLG se modifican conjuntamente teniendo la MG% una relación lineal y una distribución normal respecto a la MLG ($r = 0,2$, $P < 0,1$). La ecuación de regresión de mínimos cuadrados teniendo como variable independiente la MLG fue $y = 10,02 + (0,17 * MLG)$, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0,04$ significativo $F(1398) = 16,4$ ($P < 0,001$) y un error estándar del promedio de los datos igual a 6,04%.

Según esa relación el valor estimado de MG% para una MLG de 50 kg fue de 18,6%, con

un error estándar 0,53 ($P < 0,001$) e IC95% de 17,5% a 19,6% más que aceptable. Estos resultados implicarían que a partir de esa proporción de MG% se puede esperar un VO₂max comprometido en personas obesas.

Discusión

Estos resultados mostraron que el VO₂máx (l/min), estimado con el método indirecto, fue menor en sujetos obesos que en los considerados normales debido a una mayor Fc en el ejercicio submáximo (Astrand et al., 1960). Estos hallazgos no concuerdan con otros estudios. Se ha constatado que los sujetos obesos tienen un VO₂máx en valores absolutos superiores a los sujetos de peso normal (Goran et al., 2000; Serés et al., 2003). En Chile, Cancino-López et al. (2019) encontraron que la obesidad no afectó lo que llamaron el "potencial aeróbico máximo" (MAP) de sus sujetos, pero que en sus obesos mórbidos presentaban una MAP un 13% más alto que los sujetos con obesidad no mórbida.

El VO₂máx más elevado en los obesos se ha atribuido a que en esos sujetos existiría un aumento de la masa muscular reflejada en una MLG elevada, la que sería causada por la sobrecarga crónica del mayor peso corporal en sus movimientos cotidianos. Sin embargo, se ha demostrado que cuando la fuerza muscular máxima es normalizada por la masa corporal, los sujetos obesos parecen más débiles que aquellos con peso normal (Tomlinson et al., 2016). Sin embargo, si consideramos que el efecto final del entrenamiento físico sobre el gasto cardíaco es un mayor volumen sistólico y una disminución de la frecuencia cardíaca en reposo y ejercicio, esto no se observa en sujetos obesos permitiendo descartar esa posibilidad (Frick et al., 1967).

En este estudio los trabajadores obesos reaccionaron con una mayor Fc a esfuerzos submáximos comparado con los normales, lo que coincide con un aumento del VO₂ en cargas submáximas descritas anteriormente (Astrand et al., 1960). Como explicación del aumento del VO₂ se ha propuesto que el aumento de los niveles de ácidos grasos libres plasmáticos y musculares (AGL) en individuos obesos causaría un deterioro en el uso y almacenamiento de la glucosa por resistencia insulínica. Por ese mismo mecanismo la tasa de lipólisis aumenta, lo que lleva a una mayor movilización y oxidación de ácidos grasos libres y triglicéridos (TG) en el músculo y el hígado. El consumo de glucosa por los músculos es inhibido a medida que los AGL aumentan utilizándose como una fuente de energía alternativa (Roden, 2004).

Similar a lo que se ha observado en el miocardio, esta circunstancia generaría una remodelación metabólica mitocondrial en los músculos esqueléticos y un cambio del sustrato metabólico hacia la oxidación preferencial de AGL, aumentando el consumo de oxígeno del tejido muscular comprometido (Peterson et al., 2004; Boudina et al., 2005). Una molécula de ácido esteárico requiere 26 moléculas de oxígeno para su uso como sustrato energético, comparado a sólo seis moléculas de oxígeno para una molécula de glucosa, lo que requiere de un gasto cardíaco más elevado que, ante un volumen sistólico limitado, se logra principalmente con frecuencias cardíacas más altas para poder abastecer esa mayor demanda de oxígeno celular (Guyton et al., 1973).

Conclusiones

Este estudio ha demostrado una disminución significativa en el $VO_{2m\acute{a}x}$ estimado indirectamente en sujetos obesos cuando su masa grasa (MG%) superaba 18,6% del peso corporal. Los resultados sugieren que en este nivel se producen alteraciones metabólicas en los músculos esqueléticos comprometidos en el esfuerzo relacionadas con la tasa de oxidación de los AGL y la glucosa.

Limitaciones del estudio

Una limitación importante de este estudio es que se basa en pruebas de campo, en consecuencia, es recomendable continuar estas investigaciones con métodos de laboratorio de mayor precisión, particularmente, en la estimación del consumo máximo de oxígeno.

Referencias

- Andersen, K. L. (1967). The capacity of aerobic muscle metabolism as affected by habitual physical activity. *Physical Activity and the Heart*, edited by MJ Karvonen, AJ Barry. Springfield, 111, 5-20.
- Astrand, I. (1960). Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta physiologica Scandinavica. Supplementum*, 49(169), 1-92.
- Astrand, I., Astrand, P. O., & Stunkard, A. (1960). Oxygen intake of obese individuals during work on a bicycle ergometer. *Acta Physiologica Scandinavica*, 50, 294-299. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1960.tb00183.x>
- Astrand, P. O., & Rodahl, K. (1985). *Evaluación de la capacidad de trabajo físico sobre la base de pruebas. Fisiología del trabajo físico* (2ª ed). Editorial Médica Panamericana.
- Astrand, P. O., & Ryhming, I. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. *Journal of Applied Physiology*, 7(2), 218-221. <https://doi.org/10.1152/jappl.1954.7.2.218>
- Boudina, S., Sena, S., O'Neill, B. T., Tathireddy, P., Young, M. E., & Abel, E. D. (2005). Reduced mitochondrial oxidative capacity and increased mitochondrial uncoupling impair myocardial energetics in obesity. *Circulation*, 112(17), 2686-2695. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.554360>
- Buckley, J., Hawes, M., Martin, A., & Eston R. (2019). *Human Body Composition, in Kinanthropometry and Exercise Physiology* (4th ed.). Kevin Norton and Roger Eston ed.
- Caban, A. J., Lee, D. J., Fleming, L. E., Gómez-Marín, O., LeBlanc, W., & Pitman, T. (2005). Obesity in US workers: The National Health Interview Survey, 1986 to 2002. *American Journal of Public Health*, 95(9), 1614-1622. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2004.050112>
- Cancino-López, J., Olivares-Gálvez, M., Maiz-Hohlberg, C., Soto-Sánchez, J., Palacio-Agüero, A., & Pino-Zúñiga, J. (2019). Potencia aeróbica máxima en el obeso: Valores de referencia. *Revista Médica de Chile*, 147(3), 289-295. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872019000300289>
- Dehn, M. M., & Bruce, R. A. (1972). Longitudinal variations in maximal oxygen intake with age and activity. *Journal of Applied Physiology*, 33(6), 805-807. <https://doi.org/10.1152/jappl.1972.33.6.805>
- Ekelund, U., Franks, P. W., Wareham, N. J., & Aman, J. (2004). Oxygen uptakes adjusted for body composition in normal-weight and obese adolescents. *Obesity Research*, 12(3), 513-520. <https://doi.org/10.1038/oby.2004.58>
- Frick, M. H., Elovainio, R. O., & Somer, T. (1967). The mechanism of bradycardia evoked by physical training. *Cardiología*, 51(1), 46-54. <https://doi.org/10.1159/000165849>
- Goran, M., Fields, D. A., Hunter, G. R., Herd, S. L., & Weinsier, R. L. (2000). Total body fat does not influence maximal aerobic capacity. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders: Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 24(7), 841-848. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801241>
- Guyton, A. C., Jones, C. E., & Coleman, T. G. (1973). *Circulatory physiology: Cardiac output and its regulation*. Saunders.
- Jensen, B., Braun, W., Geisler, C., Both, M., Klückmann, K., Müller, M. J., & Bosy-Westphal, A. (2019). Limitations of Fat-Free Mass for the Assessment of Muscle Mass in Obesity. *Obesity Facts*, 12(3), 307-315. <https://doi.org/10.1159/000499607>
- Peter, V. K., & Wayne, E. S. (1971). *Physiology of Muscular Activity*. Saunders.

- Peterson, L. R., Herrero, P., Schechtman, K. B., Racette, S. B., Waggoner, A. D., Kisrieva-Ware, Z., Dence, C., Klein, S., Marsala, J., Meyer, T., & Gropler, R. J. (2004). Effect of obesity and insulin resistance on myocardial substrate metabolism and efficiency in young women. *Circulation*, 109(18), 2191-2196. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000127959.28627.F8>
- Roden, M. (2004). How free fatty acids inhibit glucose utilization in human skeletal muscle. *News in Physiological Sciences: An International Journal of Physiology produced jointly by the International Union of Physiological Sciences and the American Physiological Society*, 19, 92-96. <https://doi.org/10.1152/nips.01459.2003>
- Salvadori, A., Fanari, P., Mazza, P., Agosti, R., & Longhini, E. (1992). Work capacity and cardiopulmonary adaptation of the obese subject during exercise testing. *Chest*, 101(3), 674-679. <https://doi.org/10.1378/chest.101.3.674>
- Serés, L., López-Ayerbe, J., Coll, R., Rodríguez, O., Manresa, J. M., Marrugat, J., Alastrue, A., Formiguera, X., & Valle, V. (2003). Función cardiopulmonar y capacidad de ejercicio en pacientes con obesidad mórbida. *Revista Española de Cardiología*, 56(6), 594-600. [https://doi.org/10.1016/s0300-8932\(03\)76921-8](https://doi.org/10.1016/s0300-8932(03)76921-8)
- Tomlinson, D. J., Erskine, R. M., Morse, C. I., Winwood, K., & Onambélé-Pearson, G. (2016). The impact of obesity on skeletal muscle strength and structure through adolescence to old age. *Biogerontology*, 17(3), 467-483. <https://doi.org/10.1007/s10522-015-9626-4>
- Toth, M. J., Goran, M. I., Ades, P. A., Howard, D. B., & Poehlman, E. T. (1993). Examination of data normalization procedures for expressing peak VO₂ data. *Journal of Applied Physiology*, 75(5), 2288-2292. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.5.2288>
- Wheeler, L. (2012). *Validation of hand-held bioelectrical impedance analysis for the assessment of body fat in young and old adults* [tesis doctoral, The University of Wisconsin-Milwaukee]. UWM Digital Commons. <https://dc.uwm.edu/etd/208>
- World Health Organization. (1995). *Physical status: The use of and interpretation of anthropometry, report of a WHO expert committee*. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/37003>
- Wyndham, C. H., Strydom, N. B., Morrison, J. F., Peter, J., Williams, C. G., Bredell, G. A., & Joffe, A. (1963). Differences between ethnic groups in physical working capacity. *Journal of Applied Physiology*, 18, 361-366. <https://doi.org/10.1152/jappl.1963.18.2.361>