



Original/Deporte y ejercicio

Efectos sobre la composición corporal y la densidad mineral ósea de un programa de altitud simulada en triatletas

Domingo Jesús Ramos Campo^{1,2}, Jacobo Ángel Rubio Arias^{1,2} y José Fernando Jiménez Díaz²

¹Departamento de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad Católica de Murcia, Murcia. ²Laboratorio de Rendimiento y Readaptación Deportiva. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Castilla La Mancha, Toledo (España).

Resumen

Introducción: la composición corporal es un factor que optimiza el rendimiento del deportista. Además, la densidad mineral ósea nos informa de la rigidez del sistema óseo.

Objetivo: el objetivo de este estudio fue analizar las modificaciones en variables de composición corporal y densidad mineral ósea después de un programa de hipoxia intermitente (IHT) de siete semanas de duración.

Método: dieciocho triatletas entrenados de género masculino se aleatorizaron en dos grupos para participar en el estudio: grupo de hipoxia intermitente (GIHT: n: 9; 26,0 ± 6,7 años; 173,3 ± 5,9 cm; 66,4 ± 5,9 kg; VO2 max: 59,5 ± 5,0 ml/kg/min) que realizaron su entrenamiento en condiciones de normoxia junto con el programa de hipoxia y un grupo control (GC: n: 9; 29,3 ± 6,8 años; 174,9 ± 4,6 cm; 59,7 ± 6,8 kg; VO2 max: 58,9 ± 4,5 ml/kg/min) que solo realizó el entrenamiento normóxico. El programa de entrenamiento se estandarizó para ambos grupos. El programa de IHT consistió en dos sesiones de 60 minutos de duración a la semana, durante siete semanas. La intensidad fue próxima al umbral anaeróbico del deportista a un FiO2 de 14,5-15% FiO2. Antes y después del programa se analizó la composición corporal y la densidad mineral ósea.

Resultados: después del programa de entrenamiento existieron diferencias significativas entre el GIHT y el GC en la masa magra de los brazos y la masa grasa de las piernas (p < 0,05). No existieron diferencias significativas entre grupos en la densidad mineral ósea.

Conclusión: la aplicación de un programa de IHT unido al entrenamiento normóxico habitual produce una optimización de los parámetros de composición corporal en comparación con el mismo entrenamiento en condiciones normóxicas.

(Nutr Hosp. 2015;32:1252-1260)

DOI:10.3305/nh.2015.32.3.9386

Palabras clave: Entrenamiento en hipoxia intermitente (IHT). DMO. Triatlón. Masa grasa. Masa magra.

Correspondencia: Domingo Jesús Ramos Campo
UCAM Universidad Católica San Antonio de Murcia
Campus de los Jerónimos, N.º 135 Guadalupe 30107
Murcia (España).
E-mail: domingojesusramos@gmail.com

Recibido: 9-VI-2015.

Aceptado: 12-VII-2015.

EFFECTS IN BODY COMPOSITION AND BONE MINERAL DENSITY OF SIMULATE ALTITUDE PROGRAM IN TRIATHLETES

Abstract

Introduction: body composition is an important factor to improve athletic performance. Furthermore, bone mineral density informs about the bone stiffness of the skeletal system.

Objective: the aim of the present research was to analyze modifications on body composition and bone mineral density parameters after a seven week intermittent hypoxia training (IHT) program.

Methods: eighteen male trained triathletes were divided in two groups: an intermittent hypoxia training group (GIHT: n: 9; 26.0 ± 6.7 years; 173.3 ± 5.9 cm; 66.4 ± 5.9 kg; VO2 max: 59.5 ± 5.0 ml/kg/min) that conducted a normoxic training plus an IHT and a control group (GC: n: 9; 29.3 ± 6.8 years; 174.9 ± 4.6 cm; 59.7 ± 6.8 kg; VO2 max: 58.9 ± 4.5 ml/kg/min) that performed only a normoxic training. Training process was standardized across the two groups. The IHT program consisted on two 60 minutes sessions per week at intensities over the anaerobic threshold and atmospheric conditions between 14.5 and 15% FiO2. Results: Before and after the seven week training, body composition and bone mineral density were analyzed. After this training program, the GIHT showed lower values in free fat mass in upper limbs and fat mass in lower limbs (p < 0.05) than before the program. In terms of bone mineral density variables, between the two groups no changes were found.

Conclusion: the addition of an IHT program to normoxic training caused an improvement in body composition parameters compared to similar training under normoxic conditions.

(Nutr Hosp. 2015;32:1252-1260)

DOI:10.3305/nh.2015.32.3.9386

Keywords: Intermittent hypoxic training (IHT). DMO. Triathlon. Fat mass. Free mass.

Introducción

La composición corporal es el más importante de los pilares de la cineantropometría, ya que la capacidad de un individuo para realizar cualquier tipo de esfuerzo está íntimamente relacionada con la mayor o menor presencia de sus tejidos corporales¹.

El estudio de la composición corporal comprende la determinación de los componentes principales del cuerpo humano, las técnicas y los métodos más adecuados para su obtención, así como la influencia que ejercen los factores biológicos como la edad, sexo, estado nutricional o la actividad física². En la actualidad existen diferentes métodos para medir la composición corporal. Encontramos instrumentos con una gran precisión y fiabilidad como la absorciometría fotónica dual de rayos X (DXA), utilizada en nuestro estudio, o la absorciometría fotónica dual (DPA) que emplean radiaciones ionizantes³, junto con otros instrumentos de gran validez y de una rápida medición como los sistemas de bioimpedancia eléctrica (BIA). Estos sistemas tienen una gran correlación con el DXA⁴.

Se ha estudiado en numerosos deportes la relación entre los diferentes parámetros de la composición corporal y el rendimiento deportivo^{5,6}, mostrando como variables como el porcentaje de grasa corporal tienen una estrecha correlación con el rendimiento en pruebas de resistencia⁷.

Sin embargo en estudios con deportistas de resistencia de larga duración, como el triatlón, se ha comprobado que las variables de composición corporal no tienen relación con el rendimiento en este tipo de pruebas. En el estudio de Knechtle et al.,⁸ no se encontraron diferencias significativas entre los parámetros de IMC, masa muscular, porcentaje de masa muscular y porcentaje de grasa corporal en el rendimiento de una prueba de 1200 km de carrera a pie. Del mismo modo Knechtle y Kohler⁹ no encontraron diferencias significativas entre los mismos parámetros de composición corporal y el rendimiento de 17 triatletas.

Pese a la tradición de la medición de variables de composición corporal en los trabajos de investigación, no es mucha la literatura que ofrece unos resultados claros sobre la influencia de los programas de hipoxia intermitente o la altitud natural en la composición corporal de los deportistas. Además, el control de la dieta es otro factor que no se tiene en cuenta en la mayoría de ellos, por lo que no podemos confirmar que los resultados que obtienen se deban a los tratamientos con hipoxia. Aun así, encontramos los estudios IHT de Burtcher et al.¹⁰ o Czuba et al.¹¹ o con IHE de Saunders et al.¹² que miden la composición corporal antes y después del programa de hipoxia, sin encontrar diferencias significativas en ninguna de las variables medidas. Todos estos estudios se realizaron con BIA, por lo que no existen estudios que midan los efectos de los programas de hipoxia intermitente sobre la densidad mineral ósea (DMO).

La bibliografía recomienda diferentes tipos de actividad física, consideradas como las más indicadas para el aumento de masa ósea. Estas son las especialidades gimnásticas, el fútbol y el balonmano¹³ así como las especialidades rítmicas y coreográficas¹⁴. Por otro lado, y de forma más generalizada, se han destacado los efectos beneficiosos que el ejercicio vibratorio tiene para el aumento de masa ósea¹⁵, debido a los microimpactos que se producen en el hueso, gracias al movimiento vibratorio inducido. Del mismo modo, se aconseja la práctica de ejercicios de resistencia, ya que reduce la pérdida de masa ósea¹⁵. En oposición a esto, encontramos investigaciones que consideran más efectivo sobre el índice de rigidez óseo, los programas de natación que los de ejercicio de impacto y resistencia¹⁶. Además, un reciente estudio¹⁷ muestra la relación que existe entre la composición corporal, el exceso de grasa y la DMO, de forma que los sujetos con mayor porcentaje de grasa muestran mejores niveles de DMO incluso después del ajuste por masa grasa y masa muscular, por lo que resulta interesante comprobar la DMO en deportistas de un perfil lipídico bajo, como el triatlón.

El estudio de la DMO en triatletas es un campo poco estudiado. Encontramos un estudio descriptivo de Morel et al.¹⁸, que utilizan una muestra de 704 personas, entre las que miden a 91 triatletas, observando que tiene mayor DMO que los nadadores pero valores similares a los ciclistas o atletas de fondo. Estos resultados se unen a los de Maimoun et al.¹⁹, que observan un aumento de la DMO en el fémur de un grupo de 14 triatletas, resultados que no se producen en otros grupos de deportistas de actividades sin impacto. Además, según estos autores¹⁹, la DMO no se modifica a lo largo de una temporada deportiva en triatletas.

Tal como hemos comentado con anterioridad, los estudios que miden la composición corporal en triatletas tras un programa de hipoxia, se han realizaron con BIA, por lo que el análisis de los efectos de los programas de hipoxia intermitente sobre la DMO es un campo sin explorar tanto en triatletas como en otros deportes. Por ello el objetivo de este estudio fue valorar los cambios producidos en la densidad mineral ósea y la composición corporal de los triatletas sujetos de estudio, después de realizar un programa de altitud simulada de 7 semanas de duración.

Material y métodos

Diseño

Este estudio tuvo un diseño cuasiexperimental pre-post con grupos aleatorios, en el cual se aplicó sobre el grupo experimental un programa de intervención de 7 semanas. Se realizó una evaluación previa y otra posterior al tratamiento. Fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación Clínica local.

Participantes

La muestra de estudio, obtenida a través de un muestreo no probabilístico de conveniencia, estuvo formada por 18 triatletas de categoría élite divididos de forma aleatoria en Grupo de Entrenamiento en Hipoxia Intermitente (GIHT) (n=9), que realizó un tratamiento de IHT complementario a su entrenamiento y un Grupo Control (GC) (n=9) que no realizó ningún tratamiento alternativo y realizó el entrenamiento en condiciones de normoxia. Antes de comenzar el estudio se obtuvo un consentimiento informado al amparo de las directrices éticas dictadas en la declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial para la investigación con seres humanos. En la tabla I se pueden observar las características descriptivas de la muestra.

Procedimiento

La composición corporal y la densidad mineral ósea se analizó antes y después del programa de 7 semanas. En primer lugar se realizó la medición de las variables antropométricas empezando por la talla²⁰. Posteriormente, tras dejar al sujeto con la menor ropa posible se realizó la medición con el densitómetro Lunar (General Electric Healthcare, Fairfield, E.E.U.U.). Para ello, una vez el instrumento finalizó la calibración, se situó al sujeto en posición de decúbito supino en la zona delimitada, según las instrucciones del fabricante, con las manos en posición anatómica pegadas al tronco y con los pies extendidos con una ligera plantiflexión y unidos por los tobillos. Una vez colocado el sujeto, se llevó a cabo el análisis. Se analizaron las variables de masa magra, grasa y ósea de cada pierna, cada brazo, tronco, brazos, piernas y total. También se midió la densidad mineral ósea de brazos, piernas, tronco, columna y total.

Un día después de la finalización de la primera evaluación comenzó el programa de IHT. El protocolo utilizado durante el programa tuvo una duración de 7 semanas, en las cuales el porcentaje de FiO₂ fue progresivamente disminuyendo y la duración de la sesión se mantuvo estable (60 min). La frecuencia semanal del programa de hipoxia fue de 2 días semanales (Martes y Jueves). La saturación de oxígeno monitorizada a

través de un pulsioxímetro colocado en el dedo índice de la mano izquierda del deportista, se utilizó como factor de control de la carga interna del programa de hipoxia, ajustándose al ratio de 78- 85%, disminuyendo este parámetro de forma progresiva a medida que avanzaba el programa de entrenamiento. Durante la realización del programa de IHT, cuyas características se observan en la tabla II, el GC realizaba las mismas sesiones de entrenamiento en condiciones de normoxia. La intensidad de la sesión de entrenamiento del programa de hipoxia se estableció de forma individual mediante un test submáximo²¹, determinando la frecuencia cardiaca y la potencia generada en cada una de las altitudes simuladas durante el estudio. Las cargas de entrenamiento fueron cuantificadas utilizando el método Training Impulse (TRIMPS)²².

Para llevar a cabo las sesiones en hipoxia del programa de entrenamiento se utilizó un simulador GO₂ altitud (Biomedtech Australia, Melbourne, Australia) con un kit de ejercicio compuesto por saco de Douglas y mascarilla. Además, las sesiones de entrenamiento fueron registradas en vatios y controladas a través del cicloergómetro Monark 839E (Monark Exerc., Vansbo, Sweden).

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó usando el paquete estadístico para las ciencias Sociales (SPSS para Windows v.19.0, SPSS, Inc., Chicago, IL. USA). Inicialmente se realizó el análisis de los datos a través de los descriptivos de media, desviación estándar, máximo, mínimo y rango de todas las variables estudiadas. Posteriormente se realizaron la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar si se cumplía la hipótesis de normalidad y de homocedasticidad de varianzas. Finalmente, en las variables paramétricas, se realizó una Anova de dos factores (grupo x momento) de medidas repetidas con post hoc de Bonferroni para determinar la efectividad del programa de hipoxia intragrupo e intergrupo. En las variables no paramétricas se utilizó la prueba U de Mann Whitney para determinar si existían diferencias significativas intergrupo para posteriormente realizar el test de Wilcoxon para analizar las diferencias intragrupo. El nivel de significación para todas las variables del estudio se estableció en $p < 0.05$.

Tabla I
Características descriptivas de la muestra de estudio

Grupo		Edad	Talla (cm)	Peso (Kg)	MME (Kg)	Grasa (%)	VO ₂ max (ml/Kg/min)
GIHT	Media	26,00	173,33	66,38	55,33	13,25	59,53
	Desv Estándar	6,7	5,9	5,9	5,3	2,0	5,0
GC	Media	29,67	174,89	71,59	59,07	13,47	58,93
	Desv Estándar	6,9	4,6	6,8	4,1	2,7	4,5

MME=Masa Músculo-Esquelética; VO₂max= Consumo Máximo de Oxígeno Relativo

Tabla II
Características del programa de entrenamiento en hipoxia intermitente

Semana	Sesión	Min	Intensidad (%)	Método Ent ^o	Trimps Sesión GIHT	Trimps Sesión GC	p	Trimps Semanal GIHT	Trimps Semanal GC	FiO ₂	
<i>Pre-test</i>											
1	1	60	60	Continuo	84.6 ± 7.2	83.5 ± 4.8	0.934	1248.8 ± 81.7	1244.4 ± 53.5	15%	
	2	60	65	Continuo	90.6 ± 6.8	94.4 ± 4.7	0.697				
2	1	60	70	Continuo	96.5 ± 6.4	94.4 ± 3.9	0.431	1258.9 ± 82.3	1254.5 ± 53.9		
	2	60	50-85	Interválico	107.5 ± 8.7	106.4 ± 5.9	0.768				
3	1	60	70	Continuo	95.3 ± 6.3	94.6 ± 4.3	0.785	971.9 ± 69.1	964.0 ± 41.1		
	2	60	50-85	Interválico	108.1 ± 9.6	106.6 ± 6.3	0.701				
4	1	60	70	Continuo	98.7 ± 6.3	97.8 ± 4.7	0.746	961.4 ± 59.5	959.8 ± 37.1		
	2	60	60	Continuo	83.9 ± 7.8	83.6 ± 5.1	0.913				
5	1	60	60	Continuo	98.1 ± 6.2	97.3 ± 4.6	0.786	1046.4 ± 69.9	1037.0 ± 48.9		
	2	60	65	Continuo	102.6 ± 5.9	102.2 ± 5.3	0.890				
6	1	60	50-85	Interválico	114.8 ± 8.9	113.6 ± 6.3	0.754	991.5 ± 57.2	985.8 ± 44.7		14.5%
	2	60	65	Continuo	98.7 ± 6.6	98.4 ± 5.5	0.895				
7	1	60	65	Continuo	99.9 ± 4.2	98.9 ± 5.1	0.656	821.3 ± 53.2	815.0 ± 39.4		
	2	60	60	Continuo	95.6 ± 6.4	95.1 ± 4.4	0.851				
<i>Post-test</i>											

Duración (min); Intensidad (% de la potencia); Interválico: 10 min 60% + 8 x (2:30 min 85% + 2:30 min 50%) + 10 min 60%.

Resultados

Los valores de masa ósea obtenidos mediante densitometría antes y después del tratamiento de IHT se muestran en la Tabla III. En ella se comprueba que no se encuentran diferencias estadísticamente significativas en las variables óseas, entre los momentos de evaluación (pre-entrenamiento y post-entrenamiento) en ninguno de los grupos analizados. Del mismo modo, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas en las variables de DMO entre los momentos de evaluación en ninguno de los grupos analizados. Cuando se comparan las medias obtenidas de las variables de densitometría ósea entre los grupos, diferenciando el momento pre-entrenamiento por un lado, y post-entrenamiento por otro, no existen diferencias significativas entre los grupos del estudio en ninguno de los momentos medidos en las variables de cantidad de masa ósea y de densidad.

Al analizar los datos obtenidos antes y después del tratamiento de IHT en variables de masa magra y masa grasa, se comprueba que en el GIHT existen diferencias significativas, produciéndose un descenso de los valores en las variables masa (M, g), masa magra del brazo derecho (MM-BD, g) e izquierdo (MM-BI, g) con un grado de significación de $p < 0,05$ y en la masa magra de los brazos (MM-B, g) con un grado de significación de $p < 0,01$, entre

los momentos de evaluación (pre-entrenamiento y post-entrenamiento). Sin embargo, no existen diferencias significativas entre los momentos de evaluación en ninguna de las variables analizadas en el GC (Tablas IV y V).

Cuando se comparan las medias obtenidas de las variables de composición corporal en el compartimento grasa entre los grupos, diferenciando el momento, existen diferencias significativas entre los grupos del estudio en la masa grasa de la pierna izquierda (MG-PI) ($p=0,033$) y en la masa grasa de las piernas (MG-P) ($p=0,043$) en el momento posterior al entrenamiento (Fig. 1).

Por otro lado, cuando analizamos y comparamos las medias obtenidas de las variables de composición corporal en el compartimento magro entre los grupos, diferenciando el momento, comprobamos que existen diferencias significativas entre los grupos del estudio (Fig. 2) en la masa magra de la pierna izquierda (MM-PI) ($p=0,042$), de la pierna derecha ($p=0,048$) y en la masa magra de las piernas (MM-P) ($p=0,04$) en el momento posterior al entrenamiento, no encontrándose diferencias en el momento previo al programa de IHT, ya que tras el tratamiento se produce un aumento de la masa magra del GC y un descenso en el GIHT. Asimismo, a pesar de no encontrar diferencias significativas entre el GIHT y el GC en las variables de masa magra en brazos, tronco o masa magra total.

Tabla III
Valores medios de las variables de masa ósea y DMO

		MO-B (g)	MO-P (g)	MO-T (g)	MO-Tt (g)	Brazos (g/cm ²)	Piernas (g/cm ²)	Tronco (g/cm ²)	Columna (g/cm ²)	Total (g/cm ²)
GIHT (n=9)	Pre	409,38 ± 65,2	1122,5 ± 172,3	750,88 ± 93,2	2826,13 ± 349,1	1 ± 0,1	1,35 ± 0,1	0,98 ± 0,1	1,07 ± 0,1	1,26 ± 0,1
	Post	405,38 ± 65,2	1119,63 ± 156,9	747,63 ± 90,8	2818,88 ± 337,2	1,01 ± 0,1	1,36 ± 0,1	0,99 ± 0,1	1,08 ± 0,1	1,27 ± 0,1
	(p)	0,110	0,707	0,450	0,313	0,759	0,540	0,199	0,187	0,391
GC (n=9)	Pre	443 ± 41,6	1219,25 ± 118,3	809,63 ± 78,2	3036,75 ± 230,9	1,04 ± 0,2	1,42 ± 0,1	1,02 ± 0,1	1,13 ± 0,1	1,31 ± 0,1
	Post	448 ± 37,3	1249,43 ± 92,4	816,86 ± 85,2	3089,14 ± 190,9	1,08 ± 0,1	1,41 ± 0,1	1,02 ± 0,1	1,13 ± 0,1	1,32 ± 0,1
	(p)	0,452	0,744	0,984	0,839	0,320	0,480	0,080	0,538	0,099

Valor medio ± desviación estándar

GIHT: Grupo Entrenamiento hipoxia; GC: Grupo control; Pre: Evaluación antes de IHT; Post: Evaluación después de IHT; MO-B: masa ósea brazos; MO-P: masa ósea piernas; MO-T: masa ósea tronco; MO-Tt: masa ósea total; Total: DMO de todo el cuerpo (g/cm²).

Tabla IV
Valores medios de las variables de masa grasa

		MG-BI (g)	MG-PI (g)	MG-BD (g)	MG-PD (g)	MG-B (g)	MG-P (g)	MG-T (g)	MG-Tt (g)
GIHT (n=9)	Pre	487,88 ± 87,3	1585,38 ± 231,2	512,25 ± 87,8	1646,5 ± 237,9	1000,13 ± 173,6	3231,88 ± 464,3	3684,88 ± 737,9	8764 ± 1167,7
	Post	471,75 ± 80,2	1476 ± 274,9	501,13 ± 68,3	1621,75 ± 286,1	973 ± 137,7	3097,75 ± 555,4	3322,88 ± 512,8	8239,25 ± 1017,5
	p	0,422	0,089	0,695	0,688	0,546	0,271	0,154	0,187
GC (n=9)	Pre	526,38 ± 130,4	1985,13 ± 537,7	565,75 ± 139,7	1991,25 ± 525,6	1092,13 ± 263,2	3976,13 ± 1061,2	3939,25 ± 1310,8	9726 ± 2537,9
	Post	502,14 ± 125,1	2048 ± 613,2	567 ± 155,3	2106,29 ± 591,2	1069,14 ± 273,8	4154,43 ± 1201,1	4072 ± 1400,9	10366 ± 2896,6
	p	0,123	0,805	0,717	0,648	0,245	0,924	0,31	0,185

Valor medio ± desviación estándar

GIHT: Grupo Entrenamiento hipoxia; GC: Grupo control; MG-BI: masa grasa brazo izquierdo; MG-PI: masa grasa pierna izquierda; MG-BD: masa grasa brazo derecho; MG-PD: masa grasa pierna derecha; MG-B: masa grasa brazos; MG-P: masa grasa piernas; MG-T: masa grasa tronco; MG-Tt: masa grasa total;

Discusión

Los resultados obtenidos a través de DXA en el compartimento óseo, muestra como se mantiene la cantidad de masa ósea en todos los segmentos y variables medidas, en cada uno de los grupos y cada uno de los momentos. La práctica de actividad física interviene de forma positiva en la remodelación del hueso debido a la inducción de fuerzas mecánicas²³ así como el aumento de masa muscular derivada de la práctica que hace que la exista una tensión de la parte activa del aparato locomotor (músculos) sobre las estructuras óseas¹⁵. Además, al comparar el tipo de deporte,

se observa que el impacto es un factor clave, ya que interfiere de forma significativa en la modificación de la geometría ósea²⁴ siendo el deporte del triatlón una actividad que produce valores similares de densidad mineral ósea que el ciclismo o la carrera de fondo y mejores resultados en esta variable que la natación. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Maimoun et al.¹⁹, que observaron un aumento de la DMO en el fémur de un grupo de 14 triatletas, resultados que no se producen en otros grupos de deportistas de actividades sin impacto. Además, según Maimoun et al.²⁵, la DMO no se modifica a lo largo de una temporada deportiva en triatletas.

Tabla V
Valores medios de las variables de masa magra

		MM-BI (g)	MM-PI (g)	MM-BD (g)	MM-PD (g)	MM-B (g)	MM-P (Kg)	MM-T (Kg)	MM-Tt (Kg)
GIHT (n=9)	Pre	3567	9320,5	3633,75	9222,75	7200,5	18,54	26,7	55,74
		± 486,9	± 906,8	± 457,6	± 1154,2	± 913,2	± 2,1	± 2,6	± 5,5
	Post	3391,88	9285,88	3555,63	9139,63	6947,63	18,43	26,86	55,52
		± 376,2	± 1067,6	± 445,4	± 1109,9	± 814,5	± 2,2	± 2,2	± 5,0
	p	(0,036*)	0,808	(0,012*)	0,372	(0,009**)	0,581	0,546	0,342
GC (n=9)	Pre	3532,25	9928,13	3728,38	9841,13	7260,75	19,77	28,05	58,23
		± 486,8	± 1062,3	± 600,6	± 978,2	± 1051,9	± 2,0	± 1,7	± 4,8
	Post	3529,57	10329,86	3849,29	10189,57	7378,86	20,52	28,38	59,01
		± 462,6	± 631,1	± 555,4	± 713,8	± 950,8	± 1,3	± 1,5	± 4,3
	p	0,539	-0,28	0,537	-0,431	-0,991	-0,32	-0,844	-0,753

Valor medio ± desviación estándar

GIHT: Grupo Entrenamiento hipoxia; GC: Grupo control; MM-BI: masa magra brazo izquierdo; MM-PI: masa magra pierna izquierda; MM-BD: masa magra brazo derecho; MM-PD: masa magra pierna derecha; MM-B: masa magra brazos; MM-P: masa magra piernas; MM-T: masa magra tronco; MM-Tt: masa magra total;

Por otro lado, en los resultados de DMO de cada una de las zonas corporales medidas en este estudio, tan solo se observa un mantenimiento de la DMO de los grupos de estudio, observando una tendencia al aumento estadísticamente no significativo en la DMO total en ambos grupos del estudio. Este mantenimiento de la cantidad y densidad mineral ósea se debe a la práctica del deporte, no encontrando diferencias significativas entre los dos grupos de estudio en el momento previo y posterior al tratamiento de hipoxia, por lo que podemos afirmar que el programa de entrenamiento en hipoxia intermitente produce los mismos beneficios en un programa de altitud simulada de corta duración.

Con respecto al análisis del compartimento magro y graso de los deportistas, cabe resaltar que se realiza a través de DXA, ya que la fiabilidad y validez de este método hace que podamos obtener datos con mucha sensibilidad y obtener conclusiones muy válidas. Esta técnica, debido a su elevado coste, no ha adquirido aún mucha difusión dentro del campo de la investigación en el entrenamiento deportivo y en la aplicación de programas de hipoxia, por lo que la literatura que lleva a cabo la medición de la composición corporal y la densidad mineral ósea a través de este método es limitada. Así, desde el punto de vista del compartimento magro, se observa un descenso del peso del GIHT, junto con un descenso de la masa magra del brazo derecho e izquierdo y de la suma de ambos, no observando esto en el GC. Este descenso del peso y de la masa magra se ha apreciado en numerosos estudios que utilizan hipoxia crónica natural^{26,27} o simulada^{28,29}. Estos cambios se pueden asociar a la pérdida muscular debido al descenso de los niveles de proteínas por su utilización como sustrato, que puede hacer disminuir el rendimiento deportivo^{30,31}.

Además, los resultados del compartimento graso muestran diferencias significativas entre los grupos del estudio en la masa grasa de la pierna izquierda y en la masa grasa de las piernas, acentuándose esa diferencia en el momento posterior al entrenamiento debido al aumento de la masa grasa en el GC y el descenso en el GIHT. La exposición a hipoxia genera un balance energético negativo que produce una pérdida de peso³², que afecta tanto a la masa libre de grasa como a la masa grasa³³. Este autor afirma que la pérdida de la masa muscular de las piernas es menor que la del miembro superior, lo que concuerda con los resultados de nuestro estudio. Esto puede deberse a que la práctica del deporte del triatlón tiene mayor focalización en las piernas que en los brazos, lo que concuerda con los resultados de otros estudios que realizaban expediciones a pie^{28,32,34}.

Por otro lado, si intentamos relacionar los resultados de composición corporal derivados de este estudio de investigación con otros estudios que utilizan programas de hipoxia intermitente encontramos los estudios con la modalidad de entrenamiento en hipoxia intermitente de Burtcher et al.¹⁰ o Czuba et al.¹¹ o con exposición a hipoxia intermitente el de Saunders et al.¹². Estos estudios miden la composición corporal antes y después del programa de hipoxia con bioimpedancia eléctrica. El primero de los estudios citados, Burtcher et al.¹⁰, utilizan un programa de 5 semanas de duración entre un 11-15% de FiO₂ con atletas de media distancia, observando un descenso significativo del peso del grupo experimental al finalizar el programa, resultados que son similares a los que encontramos en este estudio. Saunders et al.¹², por el contrario, observan un mantenimiento del peso después de 20 días de IHE. Este mantenimiento también lo observan Neya et al.³⁵

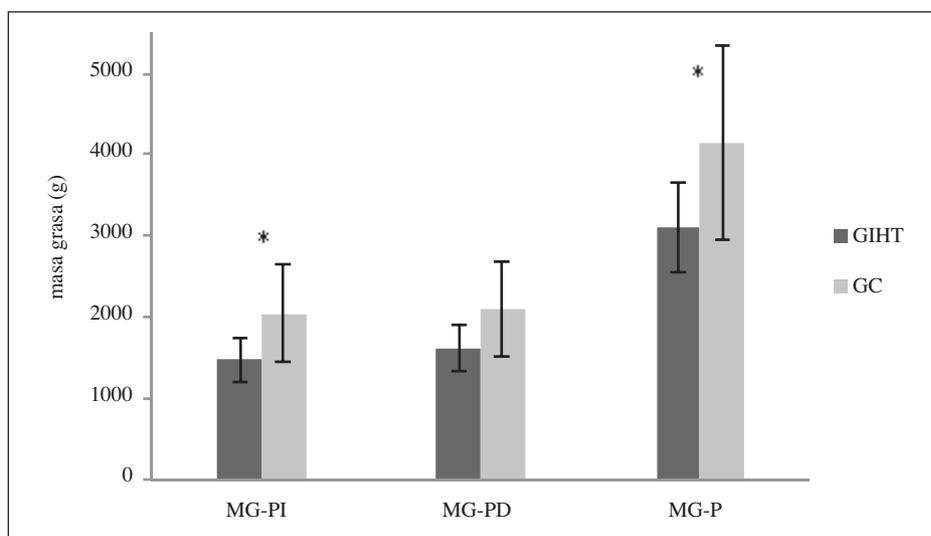


Figura 1: Valores medios de masa grasa (g) de las piernas post-tratamiento de IHT. GIHT: Grupo Entrenamiento hipoxia; GC: Grupo control; MG-PI: masa grasa pierna izquierda (g); MG-PD: masa grasa pierna derecha (g); MG-P: masa grasa de las piernas (g).

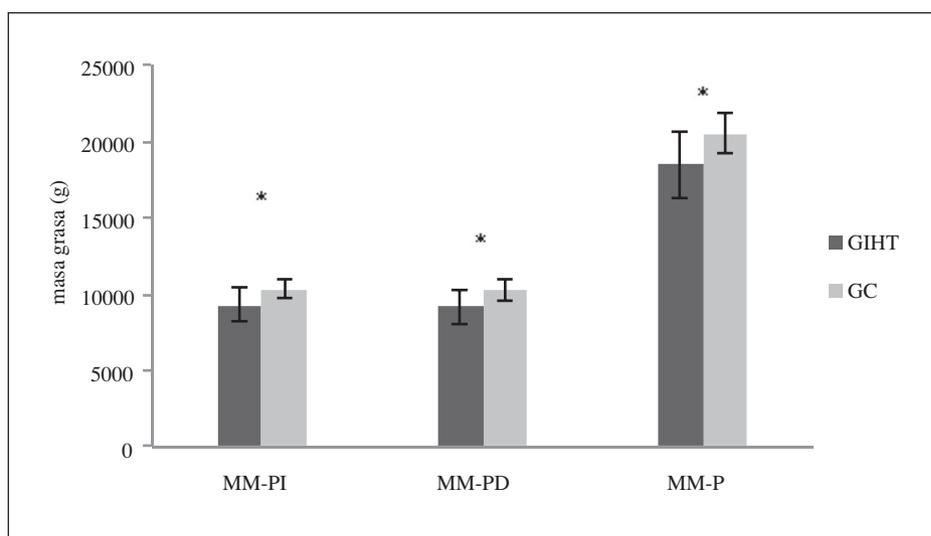


Figura 2: Valores medios de masa magra (g) de las piernas post-tratamiento de IHT. GIHT: Grupo Entrenamiento hipoxia; GC: Grupo control; MM-PI: masa magra pierna izquierda (g); MM-PD: masa magra pierna derecha (g); MM-P: masa magra de las piernas (g).

después de un programa de 31 días de IHE e IHT en corredores de media y larga distancia. Sin embargo, el estudio de Czuba et al.¹¹ obtiene resultados diferentes a los de nuestro estudio, ya que no encuentra diferencias significativas en el peso, la grasa libre de grasa o el porcentaje de grasa corporal, observando una tendencia al aumento del porcentaje de grasa y al descenso de la grasa libre de grasa, manteniéndose el peso. Estos estudios al no realizarse con DXA no miden la DMO por lo que no existen estudios en la literatura que midan los efectos de los programas de hipoxia intermitente sobre éste parámetro.

Un aspecto a tener en cuenta en los estudios si queremos observar las modificaciones de composición corporal, es el control de la dieta. En nuestro estudio, tan sólo se aportó unas recomendaciones dietéticas y nutricionales al deportista, no cuantificándose la dieta. Del mismo modo, los estudios de la literatura citados con anterioridad, la dieta se ha tenido en cuenta, por

lo que no podemos confirmar que los resultados obtenidos se deban a los tratamientos con hipoxia, lo que sería la principal limitación de éste estudio.

Otro factor fundamental en este campo son las propias características antropométricas de los triatletas que pueden establecer unos resultados diferentes a los encontrados por otras poblaciones como ciclistas o atletas de fondo. Los triatletas de alto nivel muestran una escasez de masa grasa, siendo esta característica clave para lograr un éxito global en la prueba³⁶. Por otro lado, el somatotipo del triatleta se asemeja más al del nadador que al del corredor de fondo³⁷, aunque tienen talla y peso similar que los ciclistas y menor altura y peso que los nadadores, aunque más que los corredores³⁸. Además, ese descenso en la masa grasa de la pierna se ha observado en corredores de fondo como medida de optimización de la economía de carrera por la reducción de la masa del miembro inferior³⁹, esto nos hace pensar que el triatleta adapta su somatotipo a

las características del deporte y los resultados de composición corporal en esta investigación pueden verse influenciados por las características específicas de la población utilizada y el momento de la temporada en el que se encuentran.

Conclusiones

Un programa de entrenamiento en hipoxia intermitente de 7 semanas de duración a 2500 m de altitud y 2 sesiones a la semana de 60 minutos, afecta a la composición corporal de los triatletas sujetos de estudio, produciendo un descenso de la masa magra de los brazos y de la masa grasa de las piernas que no se observa en el grupo que no realizó el programa. También, los resultados corroboran que la práctica del triatlón ayuda al mantenimiento del peso y de la densidad mineral ósea de los sujetos participantes en el estudio.

Referencias

- Porta J, González JM, Galiano D, Tejado A, Prat JA. Valoración de la Composición Corporal. Análisis Crítico y Metodológico. *Car News* 1995; 7 (1): 4-13.
- Wang ZM, Heshka S, Pierson RN, Heymsfield SB. Systematic organization of body-composition methodology: an overview with emphasis on component-based methods. *Am J Clin Nutr* 1995; 61(3): 457-465.
- Williams DP, Going SB, Milliken LA, Hall MC, Lohman TG. Practical techniques for assessing body composition in middle-aged and older adults. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27(5): 776-783.
- Gibson AL, Holmes JC, Desautels RL, Edmonds LB, Nuddi L. Ability of new octapolar bioimpedance spectroscopy analyzers to predict 4-component-model percentage body fat in Hispanic, black, and white adults. *Am J Clin Nutr* 2008; 87(2): 332-338.
- Knechtle B, Baumann B, Knechtle P. Effect of ultra-endurance swimming on body composition--marathon swim 2006 from Rapperswil to Zurich. *Praxis* 2007; 96(15): 585-589.
- Knechtle B, Knechtle P, Andonje JL, Kohler G. Influence of anthropometry on race performance in extreme endurance triathletes: World Challenge Deca Iron Triathlon 2006. *Br J Sports Med* 2007; 41(10): 644-648.
- Willmore JH, Costill DL. *Physiology of sport and exercise*. 2004. Champaign: Humans Kinetics
- Knechtle B, Knechtle P, Schulze I, Kohler, G. Upper arm circumference is associated with race performance in ultra-endurance runners. *Br J Sports Med* 2008; 42(4): 295-299;
- Knechtle B, Kohler G. Running performance, not anthropometric factors, is associated with race success in a Triple Iron Triathlon. *Br J Sports Med* 2009; 43(6): 437-441.
- Burtscher M, Gatterer H, Faulhaber M, Gerstgrasser W, Schenk K. Effects of intermittent hypoxia on running economy. *Int J Sports Med* 2010; 31(9): 644-650.
- Czuba M, Waskiewicz Z, Zajac A, Poprzecki S, Cholewa J, Rocznik, R. The effects of intermittent hypoxic training on aerobic capacity and endurance performance in cyclists. *J Sport Sci Med* 2011; 10 (5): 175-183.
- Saunders PU, Telford RD, Pyne DB, Cunningham RB, Gore CJ, Hahn AG, Hawley JA. Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *J Appl Physiol* 2004; 96 (6): 931-937.
- Vicente-Rodríguez, G. How does exercise affect bone development during growth. *Sports Med* 2006; 36(7): 561-569.
- Monleón C, Pablos A, Carnide F, Martín M, Pablos C. Effects of a rhythmic and choreographic program in obese and overweight participants. *Nutr Hosp* 2014; 30(3): 622-628.
- Rittweger J. Can exercise prevent osteoporosis? *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2006; 6(2): 162-166.
- Carrasco Poyatos M, Martínez González-Moro I, Vaquero Abellán M. Isometric strength changes in postmenopausal women after training in water. *Rev Int Med Cienc Act Fís Dep* 2013; 13(49): 73-86.
- Correa Rodríguez M, Rueda Medina B, González Jiménez E, Navarro Pérez CF, Schmidt Rio-Valle J. Los niveles de mineralización ósea están influenciados por la composición corporal en niños y adolescentes. *Nutr Hosp* 2014; 30(4): 763-768.
- Morel J, Combe B, Francisco J, Bernard J. Bone mineral density of 704 amateur sportsmen involved in different physical activities. *Osteoporos Int* 2001; 12(2): 152-157.
- Maimoun L, Lumbroso S, Mannetta J, Paris F, Leroux JL, Sultan C. Testosterone is Significantly Reduced in Endurance Athletes without impact on bone mineral density. *Horm Res P* 2003; 59(6): 285-392.
- Alvero JR, Cabañas MD, Herrero A, Martínez L, Moreno C, Manzañedo J, Sirvent JE. Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo. Documento de consenso del grupo español de cineantropometría. *Arch Med Deporte* 2009; 26(131): 166-179.
- Wahlund H. Determination of the physical work capacity. *Acta Med Scand* 1948; 215(S1): 5.
- Banister EW. Modeling elite athletic performance. En H. J. Green, J. D. McDougal y H. Wenger (Eds.), *Physiological testing of elite athletes*. 1991, (pp. 403-424): Champaign, IL. Human Kinetics.
- Charoenphandhu N. Physical activity and exercise effect intestinal calcium absorption: a perspective review. *Sports Med* 2007; 7(1): 171-181.
- Pettersson U. Effect of high impact activity on bone mass and size in adolescent female: a comparative study between two different types of sport. *Calc Tissue Int* 2000; 67: 207-214.
- Maimoun L, Galy O, Manetta J, Coste O, Peruchon E, Micallef JP, Rossi M. Competitive season of triathlon does not alter bone metabolism and bone mineral status in male triathletes. *Int J Sports Med* 2004; 25(3): 230-234.
- Reynolds RD, Lickteig JA, Deuster PA, Howard MP, Conway JM, Pietersma A, Deurenberg P. Energy metabolism increases and regional body fat decreases while regional muscle mass is spared in humans climbing Mt. Everest. *J Nutr* 1999; 129(7): 1307-1314.
- Westerterp KR, Kayser B, Wouters L, Le Trong JL, Richalet JP. Energy balance at high altitude of 6,542 m. *J Appl Physiol* 1994; 77(2): 862-866.
- Rose MS, Houston CS, Fulco CS, Coates G, Sutton JR, Cymerman A. Operation Everest. II: Nutrition and body composition. *J Appl Physiol*, 1988; 65(6): 2545-2551
- Westerterp KR, Meijer EP, Rubbens M, Robach P, Richalet JP. Operation Everest III: energy and water balance. *Pflugers Arch* 2000; 439(4): 483-488.
- Cymerman A, Reeves JT, Sutton JR, Rock PB, Groves BM, Malconian MK, Houston CS. Operation Everest II: maximal oxygen uptake at extreme altitude. *J Appl Physiol* 1989; 66(5): 2446-2453.
- Fulco CS, Rock PB, Cymerman A. Maximal and submaximal exercise performance at altitude. *Aviat Space Environ Med* 1988; 69 (4): 793-801.
- Butterfield GE. *Maintenance of body weight at altitude*. En B. Marriott y S. Carlson (Eds.), *Nutritional needs in cold and high-altitude environments* 1996, (pp. 357-378). Washington: National Academy Press
- Macdonald JH, Oliver SJ, Hillyer K, Sanders S, Smith Z, Williams C, Chichester E. Body composition at high altitude: a randomized placebo-controlled trial of dietary carbohydrate supplementation. *Am J Clin Nutr* 2009; 90(5): 1193-1202.
- Tanner DA, Stager JM. Partitioned weight loss and body composition changes during a mountaineering expedition: a field study. *Wild Environ Med* 1999; 9(3): 143-152.

35. Neya M, Enoki T, Kumai Y, Sugoh T, Kawahara T. The effects of nightly normobaric hypoxia and high intensity training under intermittent normobaric hypoxia on running economy and hemoglobin mass. *J Appl Physiol* 2007; 103(3): 828-834.
36. Cejuela R, Pérez JA, Villa JG, Cortell JM, Rodríguez-Marroyo JA. Análisis de los factores de rendimiento en triatlón distancia sprint. *J Hum Sport Exerc* 2007; 2(2): 1-25.
37. Leake CN, Carter JE. Comparison of body composition and somatotype of trained female triathletes. *J Sports Sci* 1991; 9(2): 125-135.
38. Sleivert G, Rowlands S. Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports Med* 1996; 22(1): 8-18.
39. Larsen H. Kenyan dominance in distance running. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 2003; 136(1): 161-170.