

# Análisis y asociación entre las características antropométricas, somatotipo y capacidad cardiovascular en corredores de montaña de categoría amateur: un estudio piloto

Mikel Zubieta<sup>1</sup>, Ibai Garcia-Tabar<sup>2</sup>, Daniel Castillo<sup>3</sup>, Javier Raya-González<sup>3</sup>, Aitor Iturricastillo<sup>2</sup>, Irati Aritzeta<sup>1</sup>, Kristian Alvarez<sup>1</sup>, Javier Yanci<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Educación y Deporte. Universidad del País Vasco, UPV/EHU. Vitoria-Gasteiz. <sup>2</sup>Society, Sports and Physical Exercise Research Group (GIKAFIT). Departamento de Educación Física y Deportiva, Facultad de Educación y Deporte, Universidad del País Vasco, UPV/EHU. Vitoria-Gasteiz. <sup>3</sup>Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Isabel I. Burgos.

doi: 10.18176/archmeddeporte.00057

Recibido: 08/10/2020  
Aceptado: 04/06/2021

## Resumen

**Objetivo:** Los objetivos del presente estudio fueron describir las características antropométricas y la capacidad cardiovascular de corredores *amateurs* de *trail running* de corta distancia y analizar si existe asociación entre las características antropométricas y la capacidad cardiovascular en los corredores de montaña.

**Material y método:** A un grupo de 10 corredores de *trail running* de corta distancia de categoría amateur se les realizó un análisis antropométrico y un test incremental máximo con un 10% de inclinación en tapiz rodante.

**Resultados:** Se encontraron correlaciones significativas y negativas entre el índice de masa corporal (IMC) y la velocidad alcanzada al primer umbral ventilatorio ( $Vel_{VT1}$ ) ( $r = -0,95$ ,  $p < 0,001$ ), así como con el tiempo en alcanzar el VT1 ( $t_{VT1}$ ) ( $r = -0,91$ ,  $p = 0,002$ ) y entre porcentaje (%) de grasa corporal y el índice de intercambio respiratorio al segundo umbral ventilatorio ( $RER_{VT2}$ ) ( $r = -0,80$ ,  $p = 0,016$ ) así como con el tiempo en alcanzar el VT2 ( $t_{VT2}$ ) ( $r = -0,83$ ,  $p < 0,01$ ). También se encontraron correlaciones significativas y positivas entre el perímetro de pierna y el consumo de oxígeno al VT1 ( $VO_{2VT1}$ ) ( $r = 0,74$ ,  $p = 0,037$ ), el consumo de oxígeno al VT2 ( $VO_{2VT2}$ ) ( $r = 0,90$ ,  $p = 0,002$ ) y el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) ( $r = 0,85$ ,  $p = 0,007$ ).

**Conclusiones:** Los resultados obtenidos en el presente estudio ponen de manifiesto que tanto el % de grasa corporal como el perímetro de la pierna pueden estar asociados al rendimiento en una prueba incremental con inclinación en los corredores amateur de montaña participantes en el estudio.

## Palabras clave:

Composición corporal.  
Consumo de oxígeno.  
Umbral fisiológico. Trail running.  
Cineantropometría.

## Assessment and relationship among anthropometric characteristics, somatotype and cardiovascular capacity in amateur trail runners: a pilot study

### Summary

**Purpose:** The aim of this study was to describe the anthropometrical and cardiovascular characteristics of short course trail runners and analyze the associations, if any, between both anthropometric and cardiovascular features of amateur trail runners.

**Material and method:** Anthropometrical evaluation and an incremental maximum test with 10% of grade on a treadmill were performed on a group of 10 short distance amateur trail runners.

**Results:** Significant negative correlations were found between the body max index (BMI) and the speed at VT1 ( $Vel_{VT1}$ ) ( $r = -0,95$ ,  $p < 0,001$ ), or the time to reach VT1 ( $r = -0,91$ ,  $p = 0,002$ ) and between the body fat percentage and the respiratory exchange ratio at VT2 ( $r = -0,80$ ,  $p = 0,016$ ) or the time to reach VT2 ( $r = -0,83$ ,  $p = 0,01$ ). Calf circumference was also found to be positively associated with oxygen consumption at VT1 ( $r = 0,74$ ,  $p = 0,037$ ), at VT2 ( $r = 0,90$ ,  $p = 0,002$ ) and with the maximal oxygen uptake ( $r = 0,85$ ,  $p = 0,007$ ).

**Conclusions:** Results indicate that both body fat percentage and calf circumference could be related to the performance on an incremental test protocol with inclination in amateur trail runners.

## Key words:

Body composition.  
Oxygen consumption.  
Physiological thresholds.  
Trail running. Kinanthropometry.

Correspondencia: Aitor Iturricastillo  
E-mail: aitor.iturricastillo@ehu.es

## Introducción

El *trail running* (carrera de montaña) es una modalidad deportiva que implica recorrer distintas distancias por la montaña, las cuales pueden oscilar entre 1 km y más de 100 km, en las que se deben salvar importantes desniveles positivos y negativos a través de diferentes tipos de terrenos y con una climatología variable<sup>1</sup>. Debido a las características de las pruebas, esta modalidad genera en los participantes una alta exigencia tanto a nivel neuromuscular<sup>2</sup> como cardiovascular<sup>3</sup>, por lo que las carreras de *trail running* son unas pruebas muy exigentes desde un punto de vista fisiológico. Posiblemente por esta alta exigencia y por el reto deportivo que suponen, la práctica del *trail running* ha aumentado de forma muy importante en los últimos años atendiendo al número de pruebas, competiciones y participantes principalmente de nivel amateur<sup>4-6</sup>. Este importante auge ha provocado que las carreras de montaña hayan sido recientemente reconocidas por la World Athletics, llegando a tener su propio campeonato del mundo<sup>7</sup>. Sin embargo, a pesar de este auge en la práctica, la literatura científica existente relativa a este deporte aun es limitada, más si cabe en corredores de nivel amateur, siendo necesarios más trabajos científicos que analicen esta modalidad deportiva, así como las características de sus participantes.

Aunque en otras modalidades de resistencia se ha expuesto que la composición corporal es un factor determinante para el rendimiento deportivo<sup>3,9-12</sup>, debido a las características de la competición de *trail running*, donde los deportistas deben salvar importantes desniveles positivos, las características antropométricas de los corredores podrían cobrar aún una mayor relevancia para obtener éxito deportivo<sup>3</sup>. Investigaciones previas han estudiado la composición corporal de corredores de montaña, analizando las características antropométricas de corredores de distancias largas (42 km – más de 217 km)<sup>9,14</sup>. Sin embargo, los estudios realizados sobre las características antropométricas de corredores de distancias cortas (< 42 km) son reducidos<sup>15,16</sup>, por lo que podría resultar interesante realizar más estudios al respecto, con el fin de poder tener evidencia científica sobre el perfil antropométrico de corredores de montaña de distancias cortas.

Por otro lado, al igual que en otras modalidades de resistencia<sup>17-20</sup>, en *trail running* también se ha analizado el rendimiento físico y las características fisiológicas de los corredores participantes en esta disciplina<sup>3,6,8,15,16,21-24</sup>. Es común el uso de pruebas de laboratorio para medir la capacidad cardiovascular de corredores<sup>3,8,15,16</sup> analizando marcadores de rendimiento aeróbico máximos y submáximos que permiten conocer las características fisiológicas de los deportistas y posteriormente, pautar, controlar y evaluar el entrenamiento. La mayor parte de los protocolos utilizados en laboratorio con corredores de montaña se han realizado sin inclinación<sup>26-28</sup>. Sin embargo, y dado que una parte importante de las pruebas de *trail running* transcurren en terreno ascendente, y que se ha expuesto que la economía de carrera o el coste energético de los corredores puede ser distinto cuando corren en llano o en pendiente<sup>21</sup>, son necesarios más estudios que analicen las características fisiológicas de corredores de *trail running* mediante protocolos con pendiente<sup>3,29-31</sup>.

Estudios previos realizados con deportistas de resistencia han analizado la asociación entre la composición corporal y el rendimiento fisiológico en test de laboratorio<sup>11,32-35</sup>. Sin embargo, en corredores de *trail running*, el conocimiento existente sobre la influencia de las

características antropométricas de los corredores sobre el rendimiento fisiológico en test estandarizados en laboratorio es muy limitado. A pesar de que algunos estudios han constatado que las características antropométricas de los corredores de montaña correlacionan significativamente con el rendimiento en competición<sup>9,16,37</sup>, no se han encontrado estudios donde se analice la asociación entre la composición corporal y el rendimiento en pruebas incrementales en laboratorio. Conocer si las características antropométricas están asociadas con las características fisiológicas de los corredores de *trail running* puede ser relevante para comprender en qué medida los resultados obtenidos en una prueba incremental, que suelen ser utilizados para controlar las adaptaciones inducidas por el proceso de entrenamiento, pueden estar influenciados de alguna forma por los cambios en la composición corporal.

Considerando la importancia de valorar las características antropométricas y la capacidad cardiovascular utilizando protocolos con pendiente en corredores de montaña de cara a diseñar programas de entrenamiento individualizados, los objetivos de este estudio fueron, por un lado, describir las características antropométricas, el somatotipo y la capacidad cardiovascular de corredores de *trail running* de corta distancia (< 42 km) y, por otro, analizar si existe asociación entre las características antropométricas y la capacidad cardiovascular en los corredores de montaña de nivel amateur.

## Material y método

### Participantes

En este estudio participaron 10 corredores de montaña de categoría amateur que competían en pruebas de corta distancia ( $38,0 \pm 9,5$  años,  $174,0 \pm 8,1$  cm,  $65,21 \pm 9,52$  kg,  $8,58 \pm 2,28$  % de grasa,  $21,44 \pm 1,96$  kg·m<sup>-2</sup>) con licencia federativa en vigor, de los cuales 9 eran hombres y una era mujer. Para poder participar en el estudio, los participantes debían tener al menos un año de experiencia en carreras de montaña, al menos 5 años de experiencia en deportes federados de resistencia y no haber sufrido ninguna lesión durante los 5 meses previos al estudio. Antes de iniciar el estudio, todos los participantes fueron informados de los objetivos y metodología a utilizar durante la investigación y tuvieron la posibilidad de retirarse libremente y sin penalización en cualquier fase de la misma. Antes de participar en el estudio firmaron un consentimiento informado. La investigación siguió las pautas establecidas por la Declaración de Helsinki (2013) y fue aprobado por el Comité de Ética para la Investigación con Seres Humanos (CEISH) de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) (NoRefCEid: M10/2017/200).

### Procedimiento

Durante el periodo competitivo, y siempre un mes antes de una prueba competitiva relevante, los participantes fueron valorados en una única sesión, en la que se les realizó un análisis de su perfil antropométrico, así como una prueba incremental máxima en laboratorio llevada a cabo en un tapiz rodante. Los corredores estaban familiarizados con este tipo de pruebas, las cuales habían realizado previamente como parte de su programación del entrenamiento y se les pidió que no alteraran su rutina diaria en cuanto a nutrición y entrenamientos los días previos a la investigación, con el fin de mantener su condición habitual. Antes

de acudir a las pruebas, los participantes fueron instruidos para que acudieran descansados e hidratados, hubieran realizado ejercicio de baja intensidad (< 90 min a < 70% de la frecuencia cardíaca máxima individual,  $FC_{max}$ ) los dos días previos al test, hubiera pasado al menos 4 días de reposo desde la última competición (para asegurarse de que los depósitos de glucógeno estaban repuestos) y que no hubieran ingerido ningún alimento en las 2 h precedentes a los test. De los 10 corredores de montaña participantes, los resultados de 2 corredores en la prueba incremental de laboratorio no fueron incluidos en el análisis debido a problemas con la medición de las variables de estudio o problemas logísticos en la realización de la prueba.

## Mediciones

**Características antropométricas y somatotipo:** Las mediciones de las características antropométricas se realizaron siguiendo las pautas establecidas por la International Society Advancement Kinanthropometry (ISAK)<sup>38</sup>. La altura y la masa corporal se midieron mediante un tallímetro-balanza (Seca, Bonn, Alemania), con una precisión de 1 mm y 0,05 kg respectivamente. A partir de las mediciones de altura y masa corporal se calculó el índice de masa corporal (IMC). Los pliegues cutáneos (bicipital, tricipital, subescapular, abdominal, suprailíaco, supraespinal, muslo anterior y pierna medial) se midieron mediante un plicómetro (Holtain, Crymych, Reino Unido) y se calculó el sumatorio de los 8 pliegues ( $\Sigma$  pliegues). El porcentaje de la grasa corporal se calculó mediante la fórmula de Yuhasz<sup>39</sup>. Los perímetros [brazo relajado, brazo flexionado y contraído, cintura (mínimo), cadera (máximo) y pierna (máximo)] se midieron mediante una cinta métrica no flexible milimetrada (Holtain 110P-98606, Crymych, Reino Unido). Mediante los perímetros se calculó la ratio entre el perímetro de la cintura y de la cadera (índice cintura-cadera). Además, se midieron los diámetros biepicóndileo (húmero) y bicondíleo (fémur) con un calibre deslizante (HLT-100, Holtain Ltd., Crymych, Reino Unido). Por último, se calculó el componente del somatotipo<sup>40</sup> de cada corredor de montaña participante.

**Prueba incremental máxima en laboratorio:** Los participantes realizaron un test incremental máximo y continuo en un tapiz rodante (ERGelek™ EG2, Vitoria-Gasteiz, España) utilizando un protocolo con pendiente anteriormente descrito para corredores de montaña<sup>31</sup>. El test comenzó a 6 km·h<sup>-1</sup> siempre con una pendiente del 10%. Cada 2,5 min, la velocidad aumentaba en 1 km·h<sup>-1</sup>. En todo momento se registró la velocidad de carrera y el tiempo de la prueba mediante el tapiz rodante arriba mencionado, que había sido calibrado por el fabricante previamente al comienzo del estudio. Al final de cada estadio y al finalizar la prueba, se midió la frecuencia cardíaca (FC) mediante un pulsómetro (Polar™ Electro Oy, Kempele, Finlandia). Las variables ventilatorias analizadas fueron la ventilación (VE), el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) y la producción de dióxido de carbono ( $VCO_2$ ), las cuales fueron registradas durante toda la prueba mediante un analizador de gases (Medisoft™ Ergocard, Medisoft Group, Sorinnes, Bélgica). Además, el índice de intercambio respiratorio (RER) se calculó como la relación entre  $VCO_2:VO_2$ <sup>41,42</sup>. Las variables, exceptuando la FC, fueron obtenidas en el umbral ventilatorio 1 (VT1), que se consideró como el momento en que la ratio de ventilación-volumen de oxígeno ( $VE:VO_2$ -1) y la presión del flujo final de oxígeno (PETO<sub>2</sub>) comenzaban a incrementar sin el correspondiente incremento de la presión de flujo final de dióxido de

carbono (PETCO<sub>2</sub>)<sup>44,45</sup> y en el umbral ventilatorio 2 (VT2), que se consideró como el momento donde los valores de ambos equivalentes ( $VCO_2:VE$ -1 y  $VO_2:VE$ -1) ascendían con un descenso del PETCO<sub>2</sub><sup>46</sup> y los valores máximos (Max). Se consideró que el test había sido máximo cuando se cumplían dos de los siguientes tres criterios: a) se daba un cese en el incremento del  $VO_2$  a pesar del aumento de la velocidad exigida, b) se superaba el 90% de la  $FC_{max}$  estimada en función de la edad (220-edad), c) el RER superaba el valor de 1,15.

## Análisis estadístico

Los resultados se muestran como media  $\pm$  desviación típica de la media. Para determinar las magnitudes de las asociaciones entre las variables antropométricas y las variables obtenidas en el test incremental en laboratorio se utilizó la correlación de Pearson (r) con intervalos de confianza (IC) al 95%. La interpretación de las correlaciones se realizó mediante la siguiente escala de magnitud: trivial (r < 0,1), baja (r = 0,10-0,30), moderada (r = 0,31-0,50), alta (r = 0,51-0,70), muy alta (r = 0,71-0,90) y casi perfecta (r > 0,9)<sup>47</sup>. El análisis se realizó con el Paquete Estadístico para Ciencias Sociales (SPSS™ Inc, versión 23.0 para Windows, Chicago, IL, EE. UU.). La significación estadística se consideró cuando p < 0,05.

## Resultados

En la Tabla 1 se muestran los resultados de las características antropométricas (pliegues cutáneos, perímetros, diámetros y variables estimadas) y del somatotipo de los corredores de montaña participantes en el estudio.

**Tabla 1. Resultados de las características antropométricas y del somatotipo de los corredores de montaña (n = 10).**

	Mínimo	Máximo	Media $\pm$ DT
<b>Pliegues cutáneos</b>			
Tríceps (mm)	4,30	16,70	8,58 $\pm$ 3,76
Subescapular (mm)	5,80	12,20	8,20 $\pm$ 1,95
Bíceps (mm)	2,40	5,70	3,48 $\pm$ 1,20
Suprailíaca (mm)	5,90	15,00	9,12 $\pm$ 3,30
Supraespinal (mm)	3,80	12,50	6,44 $\pm$ 2,59
Abdominal (mm)	4,50	21,50	11,30 $\pm$ 5,72
Muslo (mm)	3,70	23,60	10,78 $\pm$ 5,50
Pierna (mm)	3,40	10,00	5,74 $\pm$ 2,22
$\Sigma$ de 8 pliegues (mm)	38,30	109,60	62,65 $\pm$ 21,89
Grasa corporal (%)	5,70	12,60	8,58 $\pm$ 2,28
<b>Perímetros</b>			
Brazo relajado (cm)	22,80	30,50	27,43 $\pm$ 2,43
Brazo contraído y flexionado (cm)	25,50	33,10	29,83 $\pm$ 2,55
Cintura (cm)	66,70	84,00	74,44 $\pm$ 4,93
Cadera (cm)	86,00	99,70	92,82 $\pm$ 4,10
Pierna (cm)	32,30	40,50	36,60 $\pm$ 2,50
Índice cintura-cadera	0,76	0,85	0,80 $\pm$ 0,04
<b>Diámetros</b>			
Húmero (cm)	5,50	37,90	9,83 $\pm$ 9,88
Fémur (cm)	8,00	11,20	9,75 $\pm$ 0,93
<b>Somatotipo</b>			
Endomorfa	1,40	3,30	2,20 $\pm$ 0,76
Mesomorfa	2,80	5,90	4,62 $\pm$ 1,16
Ectomorfa	1,80	4,50	3,16 $\pm$ 0,87

DT = desviación típica;  $\Sigma$  = sumatorio.

**Tabla 2. Resultados obtenidos en la prueba incremental máxima realizada en laboratorio por los corredores de montaña (n = 8).**

	Mínimo	Máximo	Media ± DT
<b>VT1</b>			
VE <sub>VT1</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	60,52	83,54	71,36 ± 8,63
VO <sub>2VT1</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	2,32	3,22	2,86 ± 0,27
VO <sub>2VT1</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	38,57	51,62	43,98 ± 4,33
VCO <sub>2VT1</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	2,16	2,94	2,67 ± 0,23
RER <sub>VT1</sub>	0,89	0,96	0,93 ± 0,02
Vel <sub>VT1</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	7,00	8,00	7,44 ± 0,53
t <sub>VT1</sub> (min:s)	3:15	6:45	5:10 ± 1:19
<b>VT2</b>			
VE <sub>VT2</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	103,37	165,18	134,02 ± 17,65
VO <sub>2VT2</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	3,35	5,14	4,10 ± 0,55
VO <sub>2VT2</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	55,93	71,32	63,02 ± 4,65
VCO <sub>2VT2</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	3,49	5,77	4,48 ± 0,65
RER <sub>VT2</sub>	1,04	1,23	1,09 ± 0,06
Vel <sub>VT2</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	10,00	13,00	11,56 ± 0,88
t <sub>VT2</sub> (min:s)	10:45	18:15	15:03 ± 2:13
<b>Max</b>			
VE <sub>max</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	114,15	180,81	147,53 ± 23,14
VO <sub>2max</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	3,42	5,59	4,23 ± 0,70
VO <sub>2max</sub> (mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	56,48	77,50	64,66 ± 6,41
VCO <sub>2max</sub> (L·min <sup>-1</sup> )	3,77	6,09	4,73 ± 0,70
RER <sub>max</sub>	1,09	1,24	1,12 ± 0,05
Vel <sub>max</sub> (km·h <sup>-1</sup> )	11,00	13,00	12,33 ± 0,71
t <sub>agot</sub> (min:s)	12:38	18:58	16:42 ± 1:58
FC <sub>max</sub> (p·min <sup>-1</sup> )	160	202	184,90 ± 11,73

DT = desviación típica, VT1 = primer umbral ventilatorio, VT2 = segundo umbral ventilatorio, Max = valores máximos, VE = ventilación pulmonar, VO<sub>2</sub> = consumo de oxígeno (absoluto y relativizado con la masa corporal), VCO<sub>2</sub> = producción de dióxido de carbono, RER = ratio de intercambio de respiración, Vel = velocidad, t = tiempo, t<sub>agot</sub> = tiempo hasta el agotamiento, FC<sub>max</sub> = frecuencia cardíaca máxima.

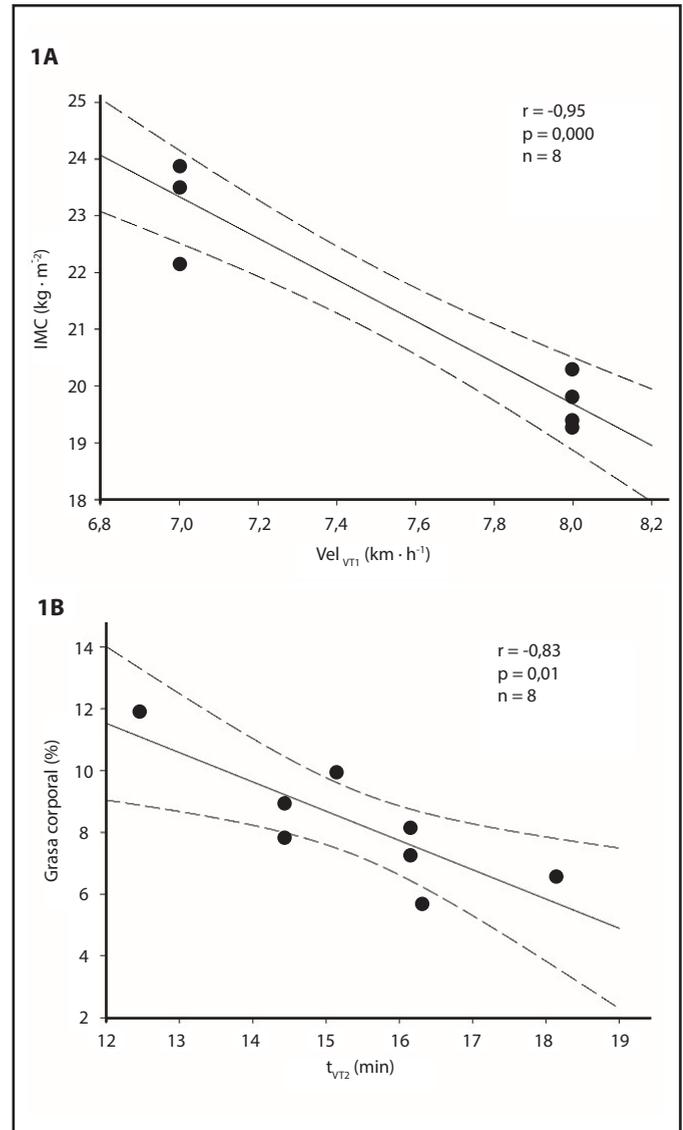
En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos por los corredores de montaña participantes en el presente estudio en la prueba incremental máxima realizada en laboratorio, tanto en los valores obtenidos en el VT1, en el VT2 y los valores máximos.

Con respecto a la asociación entre las características antropométricas y los resultados obtenidos en la prueba incremental de laboratorio, se encontraron correlaciones significativas y negativas entre el IMC y la Vel<sub>VT1</sub> (r = -0,95, p < 0,001, *casi perfecta*) (Figura 1A), el IMC y el t<sub>VT1</sub> (r = -0,91, p = 0,002, *casi perfecta*), entre el porcentaje de grasa corporal y el RER<sub>VT2</sub> (r = -0,80, p = 0,016, *muy alta*) y entre el % de grasa y el t<sub>VT2</sub> (r = -0,83, p = 0,01, *muy alta*) (Figura 1B). También se encontraron correlaciones significativas y positivas entre el perímetro de pierna y el VO<sub>2VT1</sub> (r = 0,74, p = 0,037, *muy alta*), el VO<sub>2VT2</sub> (r = 0,90, p = 0,002, *casi perfecta*) (Figura 2A) y el VO<sub>2max</sub> (r = 0,85, p = 0,007, *muy alta*) (Figura 2B).

## Discusión

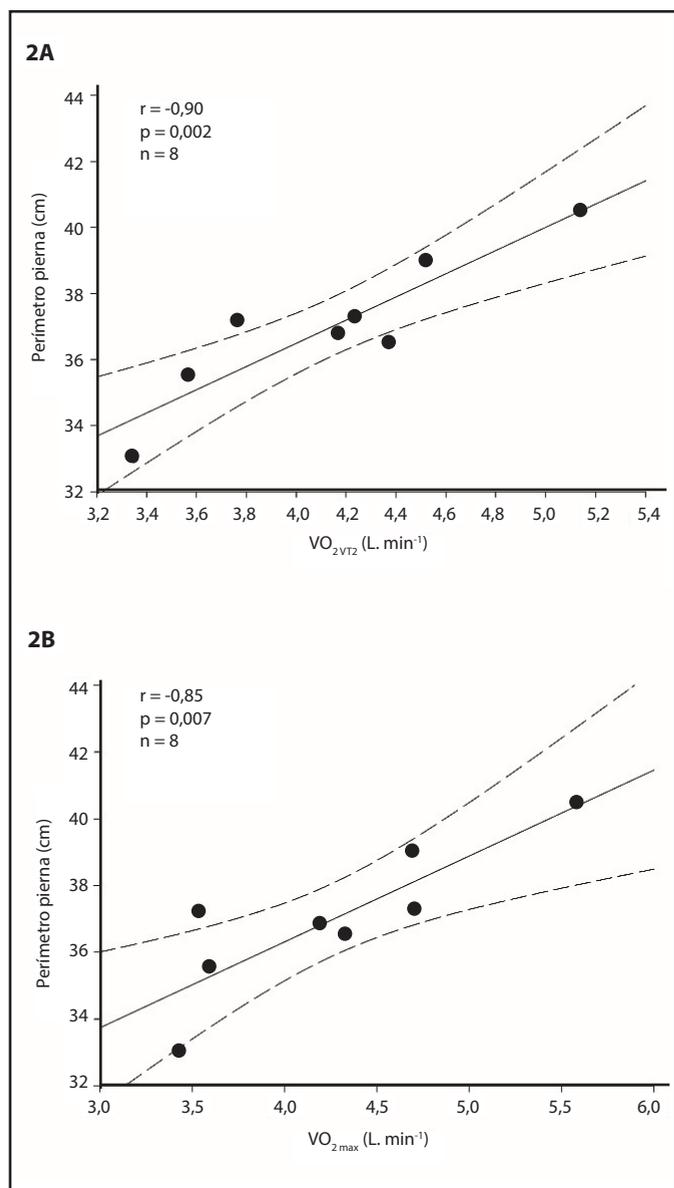
Los objetivos del presente estudio fueron, por un lado, describir las características antropométricas y el rendimiento en un test incremental máximo estandarizado de laboratorio en corredores de montaña de nivel *amateur* y, por otro lado, analizar la asociación existente entre las características antropométricas de estos corredores y el rendimiento

**Figura 1. Correlación entre el índice de masa corporal (IMC) y la velocidad alcanzada al primer umbral ventilatorio (Vel<sub>VT1</sub>) (1A) y entre el porcentaje (%) de grasa corporal y el tiempo empleado en alcanzar el segundo umbral ventilatorio (t<sub>VT2</sub>) (1B). Líneas negras solidas = líneas de regresión lineal. Líneas negras discontinuas = intervalos de confianza del 95%.**



cardiovascular. Atendiendo a la literatura científica consultada, este estudio es el primero que analiza la asociación existente entre las características antropométricas y el rendimiento obtenido en un test de laboratorio con pendiente en corredores de *trail running* de categoría *amateur* que compiten asiduamente en carreras cortas de montaña (< 42 km). Teniendo en cuenta el importante auge que están teniendo en los últimos años las carreras de *trail running* entre los deportistas *amateurs*, conocer en profundidad esta asociación pueden ser de gran ayuda para los técnicos deportivos y para los propios deportistas con el fin de poder optimizar el proceso de entrenamiento.

**Figura 2. Correlación entre el perímetro de pierna y el consumo de oxígeno en el segundo umbral ventilatorio ( $VO_2$  VT2) (2A) y el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) (2B). Líneas negras solidas = líneas de regresión lineal. Líneas negras discontinuas = intervalos de confianza del 95%.**



Las características antropométricas de los corredores de resistencia han sido ampliamente analizadas en la literatura científica<sup>29,48-50</sup>, posiblemente debido a su estrecha relación con el rendimiento deportivo<sup>11,36,50,51</sup>. Concretamente en corredores de *trail running* también se han analizado las características antropométricas<sup>9,12,14,16,48,52</sup>, ya que puede ser especialmente relevante para el rendimiento deportivo en esta modalidad debido a que la masa corporal puede influir de forma notable en el rendimiento a la hora de superar terrenos con desnivel positivo o negativo<sup>16</sup>. Los corredores participantes en el presente estudio presentaron un porcentaje de grasa corporal de  $8,58 \pm 2,28$  %

y un IMC de  $21,44 \pm 1,86$   $kg \cdot m^{-2}$ . Estos resultados son similares a los obtenidos en el estudio previo realizado con corredores de *trail running* de distancias cortas (< 42 km) por Alvero-Cruz *et al.*<sup>16</sup> (% grasa corporal =  $9,96 \pm 1,35$  %, IMC =  $22,67 \pm 1,62$   $kg \cdot m^{-2}$ ). Sin embargo, tanto el % de grasa corporal como el IMC de los corredores participantes en el presente estudio y en el estudio de Alvero-Cruz *et al.*<sup>16</sup> fueron menores ( $45,9$  % en el % de grasa y  $10,78$  % en el IMC) que los valores obtenidos en corredores de distancias largas (> 42 km), tanto en corredores que participaron en una prueba de 161 km de distancia (% grasa =  $16,1 \pm 4,1$  %, IMC =  $24,8 \pm 2,7$   $kg \cdot m^{-2}$ )<sup>12</sup>, como en corredores que participaron en una carrera de 217 km de distancia (% grasa =  $13,2 \pm 1,8$  %, IMC =  $24,8 \pm 2,7$   $kg \cdot m^{-2}$ )<sup>9</sup> así como en participantes de carreras de 24 horas (% grasa =  $16,1 \pm 4,1$  %, IMC =  $23,1 \pm 1,8$   $kg \cdot m^{-2}$ )<sup>52</sup>. Contrariamente a lo que se podría esperar, los corredores de largas distancias obtuvieron un mayor % de grasa corporal y un mayor IMC que los corredores de distancias cortas. *A priori*, cabría esperar que los corredores de largas distancias podrían tener menores porcentajes de grasa e IMC debido a que, en principio, los entrenamientos realizados para preparar este tipo de pruebas y las propias competiciones deberían de ser más largos y, en consecuencia, una mayor utilización de sustratos energéticos por vía lipídica<sup>53</sup>, que produciría un descenso más acusado del % de grasa y el IMC en comparación con corredores de corta distancia. Posiblemente estos resultados contradictorios puedan deberse a las características de la muestra. Mientras que los corredores participantes en el presente estudio, a pesar de ser de categoría amateur, eran corredores de un nivel considerable, los corredores participantes en los estudios de Hoffman *et al.*<sup>12</sup> y Belli *et al.*<sup>9</sup> eran de un nivel muy variable, incluyendo a atletas tanto que lograban terminar la prueba como aquellos que no lo lograban. Otra de las explicaciones plausibles en las notorias diferencias entre estudios puede guardar relación con la diferenciada metodología utilizada a la hora de estimar el porcentaje de grasa corporal. De todos modos, tanto Hoffman *et al.*<sup>12</sup> como Belli *et al.*<sup>9</sup> encontraron una relación positiva entre el porcentaje de grasa corporal y el tiempo de carrera, por lo que en futuras investigaciones podría ser interesante comparar el % de grasa y el IMC de corredores tanto de carreras cortas como largas pero de un nivel similar. Teniendo en cuenta que tanto en carreras de corta<sup>3,16</sup> como de larga duración<sup>9,12</sup> se ha observado una asociación positiva entre el % de grasa corporal y el tiempo en competición, parece razonable pensar que uno de los objetivos de los corredores de *trail running* debe ser reducir el % de grasa corporal y el IMC para mejorar su rendimiento en competición. No obstante, la posible relación entre el % de grasa y el rendimiento en competición también puede estar asociada a que para conseguir un mejor rendimiento se requiera un entrenamiento más adecuado y por tanto, el propio entrenamiento pueda provocar un cambio en el % de grasa corporal. Sin embargo, teniendo en cuenta que Hoffman<sup>37</sup> expuso que en modalidades de muy larga duración (161 km) un mayor porcentaje de grasa corporal medida previamente a la carrera, puede no ser una desventaja en carreras con una alta exigencia energética<sup>37</sup>, debido a que este tipo de pruebas puede requerir altas demandas lipídicas, podrían ser necesarios más estudios al respecto en distintas modalidades de *trail running*.

A pesar de que existen múltiples estudios que han analizado las características fisiológicas de corredores de *trail running* en pruebas de laboratorio aportando datos de los valores máximos obtenidos<sup>3,7,54</sup>,

pocos estudios se han centrado en analizar los valores submáximos<sup>16,22,25</sup>. El análisis de estos valores puede ayudar a comprender mejor las características de los corredores de montaña y permitir planificar los entrenamientos de una forma más adecuada. Además, teniendo en cuenta que gran parte de las competiciones de montaña se desarrollan teniendo que salvar importantes desniveles positivos, el análisis de las características fisiológicas de los corredores mediante protocolos en pendiente puede ser relevante<sup>23,25,55</sup>. En este sentido, los atletas de nuestro estudio alcanzaron un  $VO_{2max}$  relativo de  $64,66 \pm 6,41 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Estos resultados son similares a los valores de  $VO_{2max}$  de corredores de alto nivel de distancia corta (27 km) ( $61,1 - 69,7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )<sup>15</sup>, a los obtenidos por Alvero-Cruz *et al.*<sup>16</sup> con corredores entrenados ( $67 \pm 7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) e incluso a los obtenidos por Björklund *et al.*<sup>3</sup>, en corredores de élite ( $68,1 \pm 5,8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  en hombres). De forma similar, los resultados obtenidos por Alvero-Cruz *et al.*<sup>16</sup> para el  $VO_2$  en el VT1 ( $43 \pm 6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) son muy parecidos a los obtenidos en el presente estudio ( $43,98 \pm 4,33 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), aunque algo inferiores (7,97 %) a los observados en el  $VO_{2VT2}$  ( $58 \pm 5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  vs  $63,02 \pm 4,65 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Debido a que los estudios analizados utilizan diferentes protocolos de medida, diferentes características de la muestra en cuanto a edad y sexo y diferentes niveles competitivos, resulta complicado conocer la influencia de estas variables en el comportamiento del  $VO_2$ . Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio con respecto al  $VO_{2max}$  son más altos (13,04%) que los obtenidos por Wüthrich *et al.*<sup>31</sup> ( $57,2 \pm 6,1 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) en participantes que pudieron finalizar una carrera de distancia ultra (110 Km), utilizando el mismo protocolo y también más altos (12,65%) que los resultados obtenidos por Fornasiero *et al.*<sup>22</sup> por corredores recreativos de distancia ultra (65 km) en un protocolo con inclinación. Estos resultados podrían sugerir que tener un  $VO_{2max}$  alto no influye de manera determinante en pruebas de distancias muy largas. Según se ha descrito previamente, en una carrera de 65 km, aproximadamente el 82% del tiempo de competición se realiza sin sobrepasar el VT1 y la intensidad media de la carrera es de aproximadamente un 77% la  $FC_{max}$  (aproximadamente un 66% del  $VO_{2max}$ )<sup>22</sup>. Por el contrario, en carreras de corta duración (27 km), se ha observado que la intensidad media de la carrera es de aproximadamente el 89% de la  $FC_{max}$ <sup>15</sup>. Estas diferentes características de las pruebas quizá puedan provocar que los entrenamientos de los corredores busquen objetivos distintos y, por tanto, adaptaciones fisiológicas diferentes.

Varios estudios previos realizados con corredores de modalidades de carrera en asfalto han analizado la asociación entre las características antropométricas y los resultados en pruebas de laboratorio<sup>11,29,34,36</sup>. Sin embargo, no existe evidencia al respecto en corredores de trail running. Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que, a pesar de que no se obtuvo ninguna asociación significativa entre las características antropométricas de los corredores y los valores máximos o los valores de  $VO_2$ , se observaron correlaciones significativas y negativas entre el IMC y la  $Vel_{VT1}$ , el IMC y el  $t_{VT1}$ , entre % de grasa corporal y el  $RER_{VT2}$  y entre el % de grasa y el  $t_{VT2}$ . Estos resultados indican que los corredores con un % de grasa o un IMC mayor tenían un peor rendimiento submáximo en la prueba en rampa. A pesar de que no existen estudios similares en corredores de trail running con los que poder contrastar estos resultados, estas asociaciones parecen indicar que el % de grasa y el IMC pueden jugar un papel muy importante en la carrera en rampa.

Estos resultados ponen de manifiesto que el IMC y el % de grasa pueden tener una mejor asociación con los valores submáximos obtenidos en la prueba de laboratorio en comparación con los valores máximos.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron correlaciones significativas y positivas entre el perímetro de pierna y el  $VO_{2VT1}$ , el  $VO_{2VT2}$  y el  $VO_{2max}$ . Si bien, varios estudios realizados con atletas de asfalto han observado que una mayor masa en las extremidades inferiores (generalmente medida mediante el perímetro de pierna) está asociada a una peor economía de carrera<sup>56-58</sup>, provocando un peor rendimiento en pruebas en llano o con poca pendiente, los resultados obtenidos en el presente estudio muestran que esta tendencia puede ser contraria en pruebas en pendiente. Vernillo *et al.*<sup>24</sup> exponen que la potencia requerida en terrenos con perfil ascendente es mayor que en llano, ya que con el incremento del perfil ascendente, la tendencia de los corredores es correr con un mayor apoyo del antepié<sup>24</sup>, probablemente exigiendo más trabajo a los músculos extensores del tobillo (gastrocnemios y soleo)<sup>55</sup>. Posiblemente, estas diferencias entre correr en llano y en pendiente puedan explicar los resultados contradictorios encontrados al comparar con estudios previos. En la misma línea, estudios anteriores han expuesto que la capacidad neuromuscular puede ser un factor relevante del rendimiento en carreras con perfil ascendente<sup>2,24</sup>, aspecto que podría explicar la asociación encontrada entre el perímetro de la pierna y los valores de  $VO_2$  tanto máximos como submáximos. En este sentido, podría ser interesante conocer si el perímetro de la pierna está asociado también al rendimiento en carreras de montaña de distintas distancias.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio y comparados con estudios publicados anteriormente muestran que el % de grasa y el IMC de los corredores de trail running de distancias cortas parece ser menor que el de corredores de distancias más largas (>100 km). Con respecto a las características fisiológicas, los resultados obtenidos en el presente estudio con respecto a los valores de  $VO_{2max}$  y  $VO_{2VT1}$  y  $VO_{2VT2}$  son similares a los obtenidos en otros estudios con corredores de trail running de distancias cortas. No obstante, el  $VO_{2max}$  de los corredores participantes en el presente estudio y el obtenido en estudios similares con corredores de distancias cortas parecen ser mayores que los obtenidos en corredores de distancias largas.

Este es el primer estudio, a conocimiento de los autores, que analiza las asociaciones entre las características antropométricas y el rendimiento en una prueba incremental continua máxima con pendiente en corredores de trail running amateurs de corta distancia. Se ha observado que los participantes en el estudio con un mayor % de grasa e IMC, alcanzaban una menor  $Vel_{VT1}$ , un menor  $t_{VT1}$ , un menor  $RER_{VT2}$  y un menor  $t_{VT2}$ , indicando que los corredores con un % de grasa o un IMC mayor tenían un peor rendimiento submáximo en la prueba incremental en pendiente. Además, se observaron correlaciones significativas y positivas entre el perímetro de pierna y el  $VO_{2VT1}$ , el  $VO_{2VT2}$  y el  $VO_{2max}$ . Estos resultados sugieren que tanto el % de grasa, el IMC y el perímetro de la pierna pueden ser determinantes para el rendimiento en una prueba incremental en rampa. Futuros estudios, con un mayor número de participantes, podrían posibilitar un análisis de regresión

múltiple y profundizar en la combinación óptima de diferentes variables antropométricas para favorecer el rendimiento cardiovascular en pruebas de laboratorio estandarizadas con pendiente en corredores de *trail running* de corta distancia.

## Conflicto de interés

Los autores no declaran conflicto de interés alguno.

## Bibliografía

- 2019 Dossier de prensa. 2019. (Consultado 24/05/2020). Disponible en: <https://itra.run/documents/Presse/2019/DP-ITRA-2019-ES.pdf>.
- Landart A, Cámara J, Urdampilleta A, Santos-Concejero J, Gómez J, Yanci J. Análisis de la fatiga neuromuscular y cardiovascular tras disputar una maratón de montaña. *Rev Int Ciencias del Deport*. 2020;59:43-56.
- Björklund G, Swarén M, Born D-P, Stögg T. Biomechanical adaptations and performance indicators in short trail running. *Front Physiol*. 2019;10:1-10.
- Giandolini M, Vernillo G, Samozino P, et al. Fatigue associated with prolonged graded running. *Eur J Appl Physiol*. 2016;116:1859-73.
- Easthope CS, Hausswirth C, Louis J, Lepers R, Vercruyssen F, Brisswalter J. Effects of a trail running competition on muscular performance and efficiency in well-trained young and master athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2010;110:1107-16.
- Matos S, Clemente FM, Brandão A, et al. Training load, aerobic capacity and their relationship with wellness status in recreational trail runners. *Front Physiol*. 2019;10:1-9.
- Scheer V, Vieluf S, Cramer L, Jakobsmeyer R, Heitkamp H-C. Changes in running economy during a 65-km ultramarathon. *Front Physiol*. 2018;9:1-7.
- Scheer V, Janssen TI, Vieluf S, Heitkamp HC. Predicting trail-running performance with laboratory exercise tests and field-based results. *Int J Sports Physiol Perform*. 2018;14:130-3.
- Belli T, Meireles CLDS, Costa M de O, Ackermann MA, Gobatto CA. Somatotype, body composition and performance in ultramarathon. *Rev Bras Cineantropometria e Desempenho Hum*. 2016;18:127-35.
- Maciejczyk M, Wiecek M, Szymura J, Szygula Z, Wiecha S, Cempla J. The influence of increased body fat or lean body mass on aerobic performance. *PLoS One*. 2014;9:e95797.
- Maldonado S, Mujika I, Padilla S. Influence of body mass and height on the energy cost of running in highly trained middle- and long-distance runners. *Int J Sports Med*. 2002;23:268-72.
- Hoffman MD, Lebus DK, Ganong AC, Casazza GA, Van Loan M. Body composition of 161-km ultramarathoners. *Br J Nutr*. 2010;31:106-9.
- Rüst CA, Knechtle B, Knechtle P, Rosemann T. Comparison of training and anthropometric characteristics between recreational male half-marathoners and marathoners. *Chin J Physiol*. 2013;56:121-9.
- Hoffman MD, Chen L, Krishnan E. Body mass index and its correlates in 1,212 ultramarathon runners: Baseline findings from the ULTRA study. *J Phys Act Heal*. 2014;11:1549-55.
- Ehrström S, Tartaruga MP, Easthope CS, Brisswalter J, Morin JB, Vercruyssen F. Short trail running race: beyond the classic model for endurance running performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50:580-8.
- Alvero-Cruz JR, Mathias VP, Garcia Romero J, Rosemann T, Nikolaidis PT, Knechtle B. Prediction of performance in a short trail running pace: the role of body composition. *Front Physiol*. 2019;10:1-7.
- Fabre N, Balestreri F, Leonardi A, Schena F. Racing performance and incremental double poling test on treadmill in elite female cross-country skiers. *J Strength Cond Res*. 2010;24:401-7.
- Gomez-Ezeiza J, Torres-Unda J, Tam N, Irazusta J, Granados C, Santos-Concejero J. Race walking gait and its influence on race walking economy in world-class race walkers. *J Sports Sci*. 2018;36:2235-41.
- Millet GP, Dréano P, Bentley DJ. Physiological characteristics of elite short- and long-distance triathletes. *Eur J Appl Physiol*. 2003;88:427-30.
- Morgan PT, Black MI, Bailey SJ, Jones AM, Vanhatalo A. Road cycle TT performance: Relationship to the power-duration model and association with FTP. *J Sports Sci*. 2018;37:902-10.
- Balducci P, Cléménçon M, Morel B, Quiniou G, Saboul D, Hautier CA. Comparison of level and graded treadmill tests to evaluate endurance mountain runners. *J Sport Sci Med*. 2016;15:239-46.
- Fornasiero A, Savoldelli A, Fruet D, Boccia G, Pellegrini B, Schena F. Physiological intensity profile, exercise load and performance predictors of a 65-km mountain ultra-marathon. *J Sports Sci*. 2017;36:1287-95.
- Scheer V, Ramme K, Reinsberger C, Heitkamp HC.  $\dot{V}O_{2max}$  testing in trail runners: is there a specific exercise test protocol? *Int J Sports Med*. 2018;39:456-61.
- Vernillo G, Giandolini M, Edwards WB, et al. Biomechanics and physiology of uphill and downhill running. *Sport Med*. 2016;47:615-29.
- Balducci P, Cléménçon M, Morel B, Quiniou G, Saboul D, Hautier CA. Comparison of level and graded treadmill tests to evaluate endurance mountain runners. *J Sport Sci Med*. 2016;15:239-46.
- Russell AM, Benton D, Kingsley M. Compression garments, muscle contractile function and economy in trail runners. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;12:62-8.
- Scheer V, Vieluf S, Janssen TI, Heitkamp H. Predicting competition performance in short trail running races with lactate thresholds. *J Hum Kinet*. 2019;69:239-47.
- Tan PL, Tan FH, Bosch AN. Assessment of differences in the anthropometric, physiological and training characteristics of finishers and non-finishers in a tropical 161-km ultra-marathon. *Int J Exerc Sci*. 2017;10:465-78.
- Hetland ML, Haarbo J, Christiansen C. Regional body composition determined by dual-energy x-ray absorptiometry. Relation to training, sex hormones, and serum lipids in male long-distance runners. *Scand J Med Sci Sports*. 1998;8:102-8.
- McLaughlin JE, Howley ET, Bassett DR, Thompson DL, Fitzhugh EC. Test of the classic model for predicting endurance running performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42:991-7.
- Wüthrich TU, Marty J, Kerhervé H, Millet GY, Verges S, Spengler CM. Aspects of respiratory muscle fatigue in a mountain ultramarathon race. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47:519-27.
- Mooses M, Jürimäe J, Mäestu J, Mooses K, Purge P, Jürimäe T. Running economy and body composition between competitive and recreational level distance runners. *Acta Physiol Hung*. 2013;100:340-6.
- Jürimäe J, Tillmann V, Purge P, Jürimäe T. Body composition, maximal aerobic performance and inflammatory biomarkers in endurance-trained athletes. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2017;37:288-92.
- Bergh U, Sjödin B, Fosberg A, Svendenhag J. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc*. 1991;23:205-11.
- Akça F. Prediction of rowing ergometer performance from functional anaerobic power, strength and anthropometric components. *J Hum Kinet*. 2014;41:133-42.
- Mooses M, Jürimäe J, Mäestu J, Purge P, Mooses K, Jürimäe T. Anthropometric and physiological determinants of running performance in middle- and long-distance runners. *Kinesiology*. 2013;45:154-62.
- Hoffman MD. Anthropometric characteristics of ultramarathoners. *Int J Sports Med*. 2008;29:808-11.
- Marfell-Jones M, Olds T, Stewart AD, Carter L. International standards for anthropometric assessment. Potchefstroom, South Africa: The International Society for The Advancement of Kim Anthropometric; 2006.
- Yuhász M. Equations for measuring body fat using skinfold measures. *Phys Fit Man*. 1974.
- Heath BH, Carter JEL. A modified somatotype method. *Am J Phys Anthropol*. 1967;27:57-74.
- Wasseran K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol*. 1973;35:236-43.
- Koike A, Wasserman K, McKenzie DK, Zanonato S, Weller-ravell D. Evidence that diffusion limitation determines oxygen uptake kinetics during exercise in humans. *J Clin Invest*. 1990;86:1698-06.
- Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ. Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. In: *Circulation*. 1990;81:14-30.
- Bentley DJ, Vleck VE, Millet GP. The isocapnic buffering phase and mechanical efficiency: relationship to cycle time trial performance of short and long duration. *Can J Appl Physiol*. 2005;30:46-60.
- Chicharro JL, Hoyos J, Lucia A. Effects of endurance training on the isocapnic buffering and hypocapnic hyperventilation phases in professional cyclists. *Br J Sports Med*. 2000;34:450-5.
- Pallarés JG, Morán-Navarro R, Ortega JF, Fernández-Eliás VE, Mora-Rodríguez R. Validity and reliability of ventilatory and blood lactate thresholds in well-trained cyclists. *PLoS One*. 2016;11:1-16.
- Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41:3-12.
- Knechtle B. Relationship of anthropometric and training characteristics with race performance in endurance and ultra-endurance athletes. *Asian J Sports Med*. 2014;5:73-90.

49. Rivas LG, Mielgo-Ayuso J, Norte-Navarro A, Cejuela R, Cabañas MD, Martínez-Sanz JM. Composición corporal y somatotipo en triatletas universitarios. *Nutr Hosp*. 2015;32:799-07.
50. Tanda G, Knechtle B. Marathon performance in relation to body fat percentage and training indices in recreational male runners. *J Sports Med*. 2013;4:141-9.
51. Lucia A, Esteve-Lanao J, Oliván J, et al. Physiological characteristics of the best Eritrean runners - exceptional running economy. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2006;3:530-40.
52. Knechtle B, Knechtle P, Rüst CA, Rosemann T. Leg skinfold thicknesses and race performance in male 24-hour ultra-marathoners. *Baylor Univ Med Cent Proc*. 2011;24:110-4.
53. Arrese AL, Ostáriz ES. Skinfold thicknesses associated with distance running performance in highly trained runners. *J Sports Sci*. 2006;24:69-76.
54. Lazzer S, Salvadego D, Taboga P, Rejc E, Giovanelli N, Di Prampero PE. Effects of the Etna uphill ultramarathon on energy cost and mechanics of running. *Int J Sports Physiol Perform*. 2015;10:238-47.
55. Willis SJ, Gellaerts J, Mariani B, Basset P, Borrani F, Millet GP. Level versus uphill economy and mechanical responses in elite ultra-trail runners. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019;14:1001-5.
56. Kong PW, De Heer H. Anthropometric, gait and strength characteristics of Kenyan distance runners. *J Sport Sci Med*. 2008;7:499-04.
57. Russell AM, Benton D, Kingsley M. Anthropometrics and body composition in East African runners: potential impact on performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2016;12:422-30.
58. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sport Med*. 2004;34:465-85.