

INFLUENCIA DE LA MASA MUSCULAR EN EL VO₂MAX EN ATLETISMO, TRIATLÓN Y NATACIÓN

INFLUENCE OF MUSCLE MASS IN THE VO₂MAX
IN ATHLETICS, SWIMMING AND TRIATHLON

INFLUÊNCIA DA MASSA MUSCULAR NO VO₂MAX
NO ATLETISMO, TRIATLO E NATAÇÃO

Vicente Torres Navarro¹

1 Maestr a en Alto Rendimiento Deportiva (Comit Olímpico Español).
Universidad de Valencia. Departamento de Educación Física y Deportiva. E-mail:
vicente.torres@mail.ucv.es

Navarro Torres, V. (2017). Influencia de la masa muscular en el VO₂max en atletismo,
triatlón y natación. *Educación Física y Deporte*, 36(2), 193-218. Jul.-Dic. <http://doi.org/10.17533/udea.efyd.v36n2a03>

10.17533/udea.efyd.v36n2a03
URL DOI: <http://doi.org/10.17533/udea.efyd.v36n2a03>
Artículo de investigación

RESUMEN

Objetivo: determinar cómo influye la masa muscular de la extremidad inferior y superior, en el volumen de oxígeno máximo por kilogramo de masa muscular ($VO_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$) en jóvenes deportistas en función de su especialidad deportiva y grupo de edad. **Método:** muestra compuesta por 400 deportistas de ambos sexos, del Centro de Tecnificación de Chestre (Valencia) clasificados en 3 grupos de edad: <12-13, 14-16 y 17-20 años, y de especialidades deportivas de resistencia. Los datos fisiológicos fueron obtenidos de un test ergoespiométrico incremental en rampa (protocolo Wasserman) y los datos antropométricos del protocolo ISAK. **Resultados:** los resultados derivados del Análisis de Varianza (ANOVA), indican que entre las variables fisiológicas y antropométricas se obtienen diferencias significativas para la especialidad de atletismo y triatlón, y triatlón y natación ($p < 0,05$), así como para el grupo de <12-13 y 14-16, y 14-16 y 17-20 años ($p < 0,05$).

PALABRAS CLAVE: antropometría, consumo de oxígeno, especialidad deportiva, masa muscular.

ABSTRACT

The objective of the study is to know how the muscle mass of the lower and upper extremities influences the maximum volume of oxygen per kilogram of muscle mass ($VO_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$) in young athletes according to their sport specialty and age group. The sample is composed of 400 athletes of both sexes from the Technification Center in Chestre (Valencia) classified into 3 age groups: <12-13, 14-16 and 17-20 years old, practicing endurance sports. The physiological data were obtained from an ergospirometry incremental ramp test (Wasserman protocol) and the anthropometric data from the ISAK protocol. The results from the Variance Analysis (ANOVA) indicate that the physiological and anthropometric variables show significant differences for the specialty of track and field and triathlon, as well as triathlon and swimming ($p < 0,05$) and for the group of <12-13 and 14-16, and 14-16 and 17-20 years ($p < 0,05$). Key words: anthropometry; muscle mass; sports specialty; volume of oxygen

KEYWORDS: anthropometry; muscle mass; sports specialty; volume of oxygen.

RESUMO

Objetivo: Determinar como a massa muscular das extremidades inferior e superior influencia o volume máximo de oxigênio por quilograma de massa muscular (VO_{2max} /kg/min) em atletas jovens de acordo com sua especialidade esportiva e faixa etária. Método: A amostra composta por 400 atletas de ambos os sexos do Centro de Treinamento de Chestre (Valência) classificados em 3 faixas etárias: <12-13, 14-16 e 17-20 anos, e de especialidades esportivas de resistência. Os dados fisiológicos foram obtidos a partir de um teste de rampa ergoespirométrica incremental (protocolo Wasserman) e dados antropométricos do protocolo ISAK. Resultado: Os resultados derivados da Análise de Variância (ANOVA) indicam que, entre as variáveis fisiológicas e antropométricas, foram obtidas diferenças significativas para a especialidade de atletismo e triatlo, e triatlo e natação ($p<0,05$), bem como para o grupo de <12-13 e 14-16, e 14-16 e 17-20 anos ($p<0,05$).

PALAVRAS-CHAVE: antropometria, consumo de oxigênio, especialidade esportiva, massa muscular.

INTRODUCCIÓN

Para determinar los componentes anatómicos del cuerpo humano, la antropometría se ha convertido en el método más práctico (Norton et al., 1996), definiendo desde los comienzos sólo la cantidad de grasa corporal y masa muscular, siendo posteriormente Jindrich Matiegka quien creó el primer método para la cuantificación de la composición corporal en 4 componentes: masa muscular, masa grasa, masa ósea y masa residual (Matiegka, 1921), contribuyendo a una idea precisa de la cantidad presente de cada componente morfo-estructural. Donald Drinkwater, por medio de ecuaciones regresivas que permiten obtener dichos componentes, plantea la idea de seccionar dichos componentes corporales, obteniendo una idea de cada uno de ellos por región anatómica (Drinkwater et al., 1984), cosa que varios autores rechazan. Uno de los componentes que está relacionado con variables biomecánicas como la fuerza y la velocidad es la masa muscular (Carter, 1984).

Alan Martin (1990) planteó una ecuación de regresión para la estimación de la masa muscular, y la correlación con disecciones de 12 cadáveres (Martin et al., 1990), obteniendo un coeficiente de determinación (R^2) y el error de estimación estándar (EEE) muy bueno. Pero, debido a que es una ecuación de regresión múltiple, y tiene la particularidad de ser muy representativa de la muestra, no debemos utilizar esta ecuación en otros grupos. Ante ello, Malcolm Doupe modificó la ecuación de Martin, para calcular la masa muscular de 23.400 canadienses que fueron medidos en el *Canada Fitness Survey* de 1981, donde no se midió, ni el perímetro de muslo medio, ni el de antebrazo, que requieren la ecuación de Martin, pero sí los perímetros de muslo máximo y brazo relajado (Doupe et al., 1997). A partir de esta fórmula, es posible obtener resultados de la cantidad de masa muscular dividida en dos grandes componentes, *miembro superior* y *tronco con miembro inferior*, lo que permite tener

una idea más precisa de la distribución de la masa muscular en determinados sujetos, y no sólo de manera general, como se ha hecho hasta ahora (Barraza et al., 2009).

Con todo esto, la valoración del consumo máximo de oxígeno (VO_2max) a partir de la masa total del deportista ($\text{VO}_2\text{max/kg/min}$), puede conducir a errores si no se tiene en cuenta la masa muscular del deportista, ya que no solo tiene en cuenta la masa grasa, sino también la sea y residual (Garrido & González, 2006; Torres et al., 2016). La evaluación del VO_2max en función de la masa muscular ($\text{VO}_2\text{max/kgmus/min}$), permite valorar el VO_2max con relación a la cantidad de oxígeno que mueve la masa muscular y no la que mueve el cuerpo, evitando incurrir en error, puesto que la masa magra es mucho más activa metabólicamente que el tejido adiposo, y contribuye en mayor medida al metabolismo (Wilmore & Costill, 1999). Por tanto, los más altos valores de VO_2max se miden normalmente en los corredores y esquiadores de fondo, ya que estos deportes implican el uso de los músculos de brazos, tronco y piernas, donde esta implicación muscular más activa significa más uso de oxígeno, y, por lo tanto, un mayor VO_2 (Tucker et al., 2009). De esta manera, el $\text{VO}_2\text{max/Kgmus/min}$ es más útil que el $\text{VO}_2\text{max/Kg/min}$ para valorar el consumo máximo de oxígeno (VO_2max).

Ante ello, generalmente la prueba de esfuerzo se realiza sobre *treadmill*, y es por eso que, en el caso de algunos deportes, ello significaría un alejamiento del medio en el que entrenan y compiten, afectando al VO_2max , por ejemplo en la natación, debido a que la cantidad de oxígeno que mueve la masa muscular se sitúa en la extremidad inferior. En el caso de los patinadores, que tienen la mayor implicación motriz en la extremidad inferior, suelen realizar la prueba de esfuerzo en cicloergómetro, empleando en este test menor masa muscular, debido a que se evalúa al patinador fuera de su lugar de entrenamiento, y no en el patinódromo (Lozano et al., 2006). Por ello, la especificidad metabólica de la prueba de esfuerzo influye en los resultados,

que pueden ser alterados si el test con los gases espirométricos se realiza en el agua, dado que la masa activa será la extremidad superior, y el área por cm^2 de tamaño corporal será mayor (Armstrong, 2007), lo cual modificará el valor del $\text{VO}_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$.

Por esta razón, la masa muscular empleada durante el ejercicio es un factor muy determinante del VO_2max (Astrand & Saltin, 1961), siendo diferente en cada deporte (Fernandes et al., 2007). Debemos de tener en cuenta las posibles variaciones de los resultados de los test de laboratorio con los test de campo, para observar las posibles correlaciones (Galy et al., 2003), además de la aplicación de otros test que existen en la literatura médica y pueden ser válidos para calcular el VO_2max (Keogh et al., 2003; Stickland et al., 2003). Ante todo, cabe destacar la importancia del porcentaje de masa muscular respecto a la masa corporal total, ya que, cuando más elevada sea esta respecto al peso corporal total, menos influencia tendrá especialmente la masa grasa y su porcentaje respecto al total, siendo esta una de las responsables de la disminución del VO_2max (Wisloff et al., 1998).

Como los valores fisiológicos dependen de las variables antropométricas (masa muscular, masa grasa, masa ósea y masa residual) (Garrido & González, 2006), no podemos, ni debemos aceptar y determinar una variable como mejor que la otra, por lo que es necesario observar la importancia de la composición corporal para la obtención de un rendimiento óptimo (Carter & Honeyman, 1990), ya que de la cantidad y proporción de los diferentes tejidos del cuerpo depende fundamentalmente la performance del deportista (Wang et al. 1992).

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue analizar la influencia de la especificidad metabólica con respecto a la masa muscular de la extremidad superior (MMES) y la masa muscular de la extremidad inferior (MMEI), en los resultados obtenidos del $\text{VO}_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$, así como el $\text{VO}_2\text{max}/\text{Kg}$.

musMMES/min y el $VO_2\text{max/KgmusMMEI/min}$, en la categoría de las diferentes especialidades deportivas, los grupos de edad y sexo.

METODOLOGÍA

Diseño del estudio

Estudio de carácter descriptivo, retrospectivo, no aleatorizado y no transversal, realizado en 2015. Las evaluaciones fueron realizadas en los meses de Marzo, Abril y Mayo (coincidiendo en el periodo competitivo de la temporada), de 2007 a 2015, donde se ha construido una nueva base de datos ordenada por categoría de edad y sexo.

Aspectos éticos

En la medida en que los datos en los que se basó el estudio corresponden a las bases de datos del Centro de Tecnificación, se mantiene y sigue con ello el respeto a los principios éticos para este tipo de trabajos, y que ya fueron, en su día, sustanciados por el Centro en cuanto a acceso al campo, al consentimiento de los participantes, y a la protección del anonimato y/o confidencialidad de los datos.

Muestra

Muestra compuesta por 360 jóvenes deportistas, evaluados en el Centro de Medicina Deportiva de Cheste (Valencia), pertenecientes a los Planes de Especialización Deportiva del Centro de Tecnificación, de los cuales 120 son deportistas de atletismo, natación y triatlón, 60 hombres y 60 mujeres para cada deporte. La muestra fue clasificada por categorías de edad: <12-13, 14-16, y 17-20 años.

Variables y protocolos

Variables fisiológicas

Para la realización de los perfiles fisiológicos se analizaron los siguientes parámetros:

- VO_2 max absoluto (indirecto): $(\text{Peso corporal total} * \text{VO}_2 \text{ relativo}) / 1000$
- VO_2 max/kg/min (directo): $(\text{VO}_2 \text{max absoluto} / \text{Peso Total}) * 1000$
- VO_2 max/kgmus/min (indirecto): $(\text{VO}_2 \text{ absoluto} / \text{Peso MM}) * 1000$
- VO_2 max/KgmusMMES/min (indirecto) y VO_2 max/KgmusMMEI/min (indirecto): el primero calculado como: relación en porcentaje entre la MM total, la MMES, y el VO_2 max/Kgmus/min. El segundo, igual, pero con la MMEI.

Inicialmente, para obtener el perfil fisiológico, los datos fueron obtenidos de un test ergoespirométrico incremental en rampa en una cinta ergométrica h/p/cosmos pulsar. El test corresponde al protocolo Wasserman 7 para mujeres y Wasserman 8 para varones (Wasserman et al., 1967) que, tras un periodo de calentamiento, consiste en una carga inicial de 8km/h y una pendiente constante del 1% (para simular las condiciones de la pista y el rozamiento del aire) a lo largo de toda la prueba, aumentando 1km/h cada minuto hasta el agotamiento. El día anterior, cada deportista realizó un entrenamiento suave para no interferir en el resultado de la prueba de esfuerzo.

Como analizador de gases se utilizó el modelo CPX Ultima System de Medgraphics y el software Breeze Gas Suite 6.4.1. Se tomaron las variables de consumo de oxígeno (VO_2), producción de dióxido de carbono (VCO_2), ventilación (VE), equivalente ventilatorio de oxígeno (VE/VO_2) y dióxido de carbono (VE/VCO_2) y las presiones al final de cada espiración del oxígeno

(PETO_2) y del dióxido de carbono (PETCO_2). La medición de gases se realiza respiración a respiración, denominado V-Slope.

Luego, se hizo un control biológico y hormonal, debido a que tales variables pueden modificar la interpretación de los resultados en estas edades (Tanner, 1962), especialmente en las mujeres (Godoy et al., 2010). Los grupos de edad de <12-13, 14-16, y 17-20 años, eran representativos en el periodo evolutivo a la prepubertad, pubertad y pospubertad, concluyendo que su edad cronológica era similar a su edad biológica.

Antropometría

Finalmente, fueron analizadas las variables antropométricas, que corresponden al protocolo ISAK (Asociación Internacional para el Avance de la Cineantropometría) a nivel internacional (ISAK, 2001), concretamente con el protocolo GREC (Grupo Español de Cineantropometría) que utiliza la terminología de William Ross (Esparza, 1993), supervisado por la Sociedad Española de Medicina del Deporte. La antropometría fue realizada siempre por el mismo observador, teniendo el curso de Cineantropometría a Nivel I ISAK.

De las antropometrías se recogieron los siguientes datos: Edad, Peso, Talla, Pliegues (biceps, triceps, subescapular, ileocrestal, abdominal, muslo y pierna), Diámetros (biestiloideo, biepímero, biepífurco) y Perímetros (brazo, muslo, pierna).

Para determinar el componente muscular, utilizamos la fórmula de Doupe et al. (1997), que la componen tres elementos anatómicos: medidas del miembro superior (perímetro del brazo relajado y el pliegue del triceps), medidas del miembro inferior (perímetro del muslo medio, el perímetro de la pierna, el pliegue de la pierna) y pliegue supraespinal (que comprende, anatómicamente, la zona abdominal lateral).

Fórmula de la masa muscular total:

3MUTHG = per metro de muslo máximo corregido por pliegue supra-espinal.

CCG = per metro de pantorrilla máximo corregido por pliegue homónimo.

CAG = per metro de brazo relajado corregido por pliegue de triceps. Per metro corregido = Per metro del miembro (en cm) - (pliegue del miembro (en cm)*pi).

Fórmula de la masa muscular de la extremidad superior:

$$\mathbf{M\ SUP= talla\ (cm)\ * (0,089*CAG^2) - 3,006.}$$

Fórmula para el cálculo del miembro inferior y tronco (M INF):

$$\mathbf{M\ INF= talla\ (cm)\ * (0,031*MUTHG^2 + 0,064*CCG^2) - 3,006.}$$

La suma de ambas fórmulas da como resultado la masa muscular obtenida con la fórmula original. Comprobamos y validamos el procedimiento, obteniendo los resultados adecuados.

Se usó el siguiente material antropométrico: el peso se determinó con una báscula mecánica, con precisión de 100g; la talla se midió con un estadiómetro Holtain, con precisión de 1mm; los pliegues fueron medidos con un pliegómetro Holtain, con precisión de 0,1 a 0,2mm y presión constante de 10 g/mm², marcando los puntos anatómicos donde se tomaron los pliegues con un lápiz demográfico; los per metros se midieron con una cinta antropométrica Holtain, con precisión de 1mm. Los datos se registraron en una ficha antropométrica o proforma.

Análisis de datos y tratamiento estadístico

Los cálculos estadísticos se realizaron utilizando el software SPSS versión 21.0 (IBM). Mediante ello calculamos estadísticos de tendencia central y dispersión (medias y desviaciones estándares), así como estadísticos de comparación (análisis correlacional de Pearson, Prueba t y ANOVA).

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran los resultados de la masa muscular total y su porcentaje respecto al peso corporal total, que consideramos importante obtener debido a la relación entre la cantidad de masa muscular y la utilización de oxígeno por esa masa.

También consideramos importante obtener, mediante la fórmula de Doupe et al. (1997), la cantidad de masa muscular de la "extremidad inferior" y la del "tronco y extremidad superior" debido a que son las partes anatómicas que se utilizan metabólicamente en los diferentes deportes, obteniéndose los siguientes resultados.

En el análisis de los datos, respecto a las variables antropométricas encontramos diferencias significativas, tanto en la correlación de Pearson ($p < 0,01$), con una "r" muy próxima a 1, como en la Prueba t en la categoría de sexo ($p < 0,05$).

Por otra parte, obtuvimos el $VO_2\text{max/Kgms/min}$ debido a que tiene en cuenta la masa muscular del deportista, siendo más útil que el $VO_2\text{max/Kg/min}$ para valorar el $VO_2\text{max}$, y permitiendo valorar el $VO_2\text{max}$ con relación a la cantidad de oxígeno que mueve la masa muscular, y no la que mueve el cuerpo.

Consideramos necesario obtener el $VO_2\text{max/Kgms}$ por la masa de la extremidad superior (MMES) y por la masa de la extremidad inferior (MMEI), es decir, el $VO_2\text{max/KgmsMMES/min}$ y el $VO_2\text{max/KgmsMMEI/min}$, debido a que estas son las partes anatómicas encargadas de metabolizar el oxígeno en la masa muscular concreta, siendo la masa muscular utilizada por los deportistas de estas modalidades deportivas.

En el análisis de datos respecto a las variables fisiológicas, también encontramos diferencias significativas, tanto en la correlación de Pearson ($p < 0,01$), con una "r" muy próxima a 1, como en la Prueba t en la categoría de sexo ($p < 0,05$), así como también entre las variables antropométricas y fisiológicas con relación al coeficiente de Pearson ($p < 0,01$), uno de los temas centrales de la investigación.

Tabla 1. Valores de la muestra de las variables antropométricas en atletismo, natación y triatlón.

VALORES DE LA MUESTRA					
SEXO MASCULINO			SEXO FEMENINO		
EDAD	<12-13	14-16	17-20	<12-13	14-16
$\bar{x} \pm ds$			$\bar{x} \pm ds$		
ATELISMO					
MASA MUSCULAR TOTAL	28,84±2,68	36,83±2,72	38,54±2,16	MASA MUSCULAR TOTAL	29,42±1,97
% MASA MUSCULAR	71,47±8,72	64,78±9,72	62,75±10,52	% MASA MUSCULAR	66,21±11,62
NATACIÓN					
MASA MUSCULAR TOTAL	33,91±2,11	39,33±2,15	43,94±1,93	MASA MUSCULAR TOTAL	31,75±1,76
% MASA MUSCULAR	67,76±9,61	61,78±8,51	57,49±9,81	% MASA MUSCULAR	62,42±8,71
TRIATLÓN					
MASA MUSCULAR TOTAL	32,25±1,23	37,13±2,32	40,87±1,45	MASA MUSCULAR TOTAL	30,55±2,34
% MASA MUSCULAR	67,24±6,88	62,43±9,51	60,23±10,55	% MASA MUSCULAR	63,66±8,52

Tabla 2. Valores de la muestra de las variables antropométricas en atletismo, natación y triatlón.

VALORES DE LA MUESTRA				
SEXO MASCULINO		SEXO FEMENINO		
EDAD	<12-13	14-16	17-20	<12-13
	$\bar{x} \pm ds$			$\bar{x} \pm ds$
ATELISMO				
MM EXT. SUPERIOR	10,54+-6,65	14,33+-6,28	15,74+-4,19	MM EXT. SUPERIOR 10,77+-2,37
% MASA MUSCULAR	36,55+-7,23	38,91+-4,87	40,84+-4,28	% MASA MUSCULAR 36,61+-4,72
MM EXT. INFERIOR	18,3+-4,78	22,5+-5,29	22,8+-6,29	MM EXT. INFERIOR 18,65+-4,19
% MASA MUSCULAR	63,45+-7,19	61,09+-4,28	59,16+-7,91	% MASA MUSCULAR 63,39+-4,08
NATACIÓN				
MM EXT. SUPERIOR	14,71+-5,81	15,77+-4,38	17,05+-5,28	MM EXT. SUPERIOR 13,7+-4,78
% MASA MUSCULAR	43,37+-4,28	40,09+-4,78	38,8+-5,72	% MASA MUSCULAR 43,15+-3,87
MM EXT. INFERIOR	19,2+-4,29	23,56+-4,62	26,89+-6,37	MM EXT. INFERIOR 18,05+-4,98
% MASA MUSCULAR	56,62+-7,94	59,9+-4,87	65,79+-4,67	% MASA MUSCULAR 56,85+-5,04
TRIATLÓN				
MM EXT. SUPERIOR	13,69+-4,78	14,2+-5,72	14,07+-4,82	MM EXT. SUPERIOR 12,99+-3,87
% MASA MUSCULAR	42,45+-4,82	38,24+-4,82	34,43+-5,72	% MASA MUSCULAR 42,52+-6,28
MM EXT. INFERIOR	18,56+-5,46	22,93+-3,78	26,8+-4,87	MM EXT. INFERIOR 17,56+-4,72
% MASA MUSCULAR	57,55+-6,72	61,75+-4,27	65,57+-5,29	% MASA MUSCULAR 57,47+-5,29
				60,42+-4,76
				61,33+-6,05

Tabla 3. Correlación de Pearson de las variables antropométricas.

Correlación de Pearson	Masa Muscular Total	% Masa Muscular Total	Masa Muscular Ext.Superior	%Masa Muscular Ext.Superior	Masa Muscular Ext.Inferior	%Masa Muscular Ext.Inferior
Masa Muscular Total		0,862**	0,771**	0,842**	0,815**	0,867**
% Masa Muscular Total	0,862**		0,669**	0,738**	0,782**	0,846**
Masa Muscular Ext.Superior	0,771**	0,669**		0,774**	0,832**	0,763**
%Masa Muscular Ext.Superior	0,842**	0,758**	0,774**		0,756**	0,712**
Masa Muscular Ext.Inferior	0,815**	0,782**	0,832**	0,756**		0,923**
%Masa Muscular Ext.Inferior	0,867**	0,846**	0,763**	0,712**	0,923**	

Tabla 4. Valores de la muestra de las variables antropométricas en atletismo, natación y triatlón.

VALORES DE LA MUESTRA						
SEXO MASCULINO						
EDAD	<12-13	14-16	17-20	EDAD	<12-13	14-16
̄ ± ds						
ATELISMO						
VO2MAX abs.	2,62+-0,56	3,36+-0,62	3,54+-0,27	VO2MAX abs.	2,14+-1,25	2,43+-0,62
VO2max/kgmus/min	90,85+-12,34	91,23+-10,11	91,85+-12,84	VO2max/kgmus/min	72,74+-9,23	74,88+-10,35
NATACION						
VO2MAX abs.	2,84+-0,67	3,54+-0,65	4,55+-1,88	VO2MAX abs.	2,38+-1,66	2,89+-0,76
VO2max/kgmus/min	83,75+-11,89	90,01+-10,11	103,55+-9,29	VO2max/kgmus/min	74,96+-12,87	84,63+-9,45
TRIATLÓN						
VO2MAX abs.	2,91+-0,56	2,47+-0,52	3,94+-1,11	VO2MAX abs.	2,57+-0,62	2,71+-0,45
VO2max/kgmus/min	90,23+-9,15	66,52+-11,90	96,4+-13,20	VO2max/kgmus/min	84,12+-13,14	79,75+-8,90

Tabla 5. Valores de la muestra de las variables fisiológicas en atletismo, natación y triatlón.

VALORES DE LA MUESTRA					
SEXO MASCULINO			SEXO FEMENINO		
EDAD	<12-13	14-16	17-20	<12-13	14-16
	$\bar{x} \pm ds$			$\bar{x} \pm ds$	
ATELITISMO					
VO ₂ max/kgmus/min	90,85+-12,34	91,23+-10,11	91,85+-12,84	VO ₂ max/kgmus/min	72,74+-9,23
VO ₂ max/kgmusMMES/min	33,2+-7,72	35,49+-6,01	37,51+-7,52	VO ₂ max/kgmusMMES/min	26,28+-5,74
VO ₂ max/K.gmusMMEL/min	57,65+-6,98	55,74+-5,89	54,34+-5,08	VO ₂ max/K.gmusMMEL/min	46,46+-6,78
NATACIÓN					
VO ₂ max/kgmus/min	83,75+-11,89	90,01+-10,11	103,55+-9,29	VO ₂ max/kgmus/min	74,96+-12,87
VO ₂ max/kgmusMMES/min	36,33+-6,27	36,09+-6,89	40,18+-8,25	VO ₂ max/kgmusMMES/min	32,34+-5,73
VO ₂ max/K.gmusMMEL/min	47,42+-4,09	53,92+-5,90	63,37+-6,36	VO ₂ max/K.gmusMMEL/min	42,62+-5,09
TRIATLÓN					
VO ₂ max/kgmus/min	90,23+-9,15	66,52+-11,90	96,4+-13,20	VO ₂ max/kgmus/min	84,12+-13,14
VO ₂ max/kgmusMMES/min	38,3+-5,72	25,44+-6,89	33,19+-6,77	VO ₂ max/kgmusMMES/min	35,77+-7,26
VO ₂ max/K.gmusMMEL/min	51,93+-6,29	41,08+-4,98	63,21+-7,89	VO ₂ max/K.gmusMMEL/min	48,35+-6,92

Tabla 6. Correlación de Pearson de las variables fisiológicas.

Correlación de Pearson	VO ₂ max	VO ₂ max/K.gmus/min	VO ₂ max/K.gmusMMEL/min	VO ₂ max/K.gmusMMES/min
VO ₂ max		0,757**	0,832**	0,840**
VO ₂ max/K.gmus/min	0,757**		0,912**	0,914**
VO ₂ max/K.gmusMMEL/min	0,832**	0,912**		0,849**
VO ₂ max/K.gmusMMES/min	0,840**	0,914**	0,849**	

Tabla 7. Correlaciones múltiples de HSD de Tukey por modalidad deportiva de las variables antropométricas y fisiológicas.

Correlaciones múltiples						
HSD de Tukey						
	Modalidad deportiva		Sig.	Modalidad deportiva		Sig.
VO ₂ max/KgmsuMMEL/min	Atletismo	Natación	0,45	Masa Muscular Ext. Inferior	Natación	0,63
		Triatlón	0,002*		Triatlón	0,002*
	Natación	Atletismo	0,45		Atletismo	0,63
		Triatlón	0,001*		Triatlón	0,003*
	Triatlón	Atletismo	0,002*		Atletismo	0,002*
		Natación	0,001*		Natación	0,003*
VO ₂ max/KgmsuMMES/min	Atletismo	Natación	0,67	Masa Muscular Ext. Superior	Atletismo	0,38
		Triatlón	0,0025*		Triatlón	0,035*
	Natación	Atletismo	0,67		Atletismo	0,38
		Triatlón	0,001*		Triatlón	0,002*
	Triatlón	Atletismo	0,0025*		Atletismo	0,035*
		Natación	0,001*		Natación	0,002*

Tabla 8. Correlaciones múltiples de HSD de Tukey por grupos de edad de las variables antropométricas y fisiológicas

Correlaciones múltiples							
<i>HSD de Tukey</i>							
	Grupo de edad		Sig.	Grupo de edad		Sig.	
VO ₂ max/Kgms/MMEl/min	<12-13	14-16	0,0045*	Masa Muscular Ext. Inferior	<12-13	14-16	0,045*
		17-20	0,75			17-20	0,145
	14-16	<12-13	0,0045*		14-16	<12-13	0,045*
		17-20	0,0015*		17-20	<12-13	0,003*
	17-20	<12-13	0,75		17-20	<12-13	0,145
		14-16	0,0015*		14-16	<12-13	0,003*
VO ₂ max/Kgms/MMEs/min	<12-13	14-16	0,005*	Masa Muscular Ext.Superior	<12-13	14-16	0,025*
		17-20	0,549			17-20	0,35
	14-16	<12-13	0,005*		14-16	<12-13	0,025*
		17-20	0,0022*		17-20	<12-13	0,002*
	17-20	<12-13	0,549		17-20	<12-13	0,35
		14-16	0,0022*		14-16	<12-13	0,002*

Por último, realizando una Anova con correlaciones múltiples de HSD de Tukey, por grupos de edad y especialidad deportiva, encontramos:

En las variables antropométricas como en las fisiológicas, en la especialidad deportiva, para todos los valores expresados en masa muscular extremidad inferior, masa muscular extremidad superior, $VO_2\text{max}/\text{KgmsMMEl}/\text{min}$ y $VO_2\text{max}/\text{KgmsMMES}/\text{min}$, encontramos diferencias significativas ($p < 0,05$) entre atletismo y triatlón, y triatlón y natación, y no encontramos diferencias significativas ($p > 0,05$) entre atletismo y natación.

De igual manera, en las variables antropométricas y fisiológicas por grupos de edad, para todos los valores expresados en masa muscular extremidad inferior, masa muscular extremidad superior, $VO_2\text{max}/\text{KgmsMMEl}/\text{min}$ y $VO_2\text{max}/\text{KgmsMMES}/\text{min}$, encontramos diferencias significativas ($p < 0,05$) entre <12-13 años y 14-16 años, y 14-16 años y 17-20 años, y no encontramos diferencias significativas ($p > 0,05$) entre <12-13 años y 17-20 años.

DISCUSIÓN

Analizar la cantidad de masa muscular y su porcentaje respecto al peso corporal total conduce a error, ya que la cantidad de masa muscular total puede estar distribuida por todo el cuerpo, siendo diferente en cada deporte estudiado, por sus manifestaciones técnicas. Por ello, la cantidad de masa muscular total y su porcentaje respecto al peso total, no será válida para el cálculo del $VO_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$.

Por ello se obtuvo, mediante la fórmula de Doupe et al. (1997), la cantidad de masa muscular de la “extremidad inferior” y del “tronco y extremidad superior”, debido a que son las partes anatómicas que se utilizan metabólicamente en los diferentes deportes, de manera que la cantidad de oxígeno que

mueve esa masa muscular es la que realmente se metaboliza en la realización al deporte en función. Ante ello, se pudo obtener el $VO_2\text{maxKgms}/\text{MMEl}/\text{min}$ y $VO_2\text{max}/\text{KgmsMMES}/\text{min}$, que es el volumen de oxígeno máximo que se metaboliza, tanto en la extremidad superior como en la extremidad inferior.

Como se mencionó, la especificidad metabólica (Harling et al., 2003) es muy importante para la metabolización del oxígeno en el músculo. Por tanto, la realización de la prueba de esfuerzo en treadmill conduciría a error debido a que la implicación metabólica (Hermansen, 1971) es la extremidad inferior, por lo que se metabolizaría el oxígeno de la extremidad inferior, sin ser considerada la extremidad superior. Esto puede acarrear problemas en deportes como la natación, ya que, aunque tenga mayores valores de masa muscular de la extremidad superior, así como inferior, el $VO_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$ será menor debido a que no tiene adaptaciones enzimáticas y mitocondriales (Hageloch et al., 1990) en la extremidad inferior y, con respecto a la extremidad superior, que es donde tiene estas adaptaciones, la prueba de esfuerzo sobre treadmill se aleja del medio donde entrena y compete. También los nadadores presentan mayores valores de $VO_2\text{max}$ absoluto y, aun así, vemos en algunos casos menores valores de $VO_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$ y $VO_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$ por su extremidad inferior, y es por lo que mencionamos la importancia de la especificidad metabólica.

Por ello, si el test se realiza con los gases espirométricos en el agua, dado que la masa activa es la extremidad superior, y el área por cm^2 de tamaño corporal es mayor (Armstrong, 2007), el $VO_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$ y $VO_2\text{max}/\text{KgmsMMES}/\text{min}$ serán mayores.

De esta manera, deportes como la natación, que mueven todo el cuerpo por su implicación biomecánica al desplazarse en el agua, cuando mayor sea la masa muscular y mayor sea el porcentaje de masa muscular respecto al peso corporal total,

los niveles de $VO_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$, $VO_2\text{max}/\text{KgmsMMES}/\text{min}$ y $VO_2\text{max}/\text{KgmsMMEI}/\text{min}$ ser n mayores.

En la siguiente tabla se observa c mo en la nataci n, el $VO_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$ de los deportistas es inferior, aunque sea mayor la masa muscular total, especialmente la masa muscular de la extremidad superior y el $VO_2\text{max}/\text{KgmsMMES}/\text{min}$, debido a la especificidad metab lica. Por tal raz n, el $VO_2\text{max}/\text{KgmsMMEI}/\text{min}$ es menor en la nataci n, aunque la masa muscular de la extremidad inferior sea mayor. Ante todo esto, podemos observar que, aunque se tenga el $VO_2\text{max.abs}$ mayor, el $VO_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$ es inferior, debi ndose a la misma raz n.

A continuaci n, presentamos figuras donde se aprecia lo mencionado.

En la figura 1 se muestra c mo en todos los grupos de edad, aun siendo el $VO_2\text{max}$ absoluto mayor en nataci n que en atletismo, as como la masa muscular total, el $VO_2\text{max}/\text{Kgms}/\text{min}$ es mayor en atletismo que en nataci n, excepto en el grupo de edad de 17-20 a os, debi ndose ello a la especificidad metab lica.

Ante ello, se observa en la figura 2 que en todos los grupos de edad, debido a que la nataci n tiene mayor MMES, as como mayor porcentaje respecto a la masa muscular total, excepto en el grupo de edad de 17-20 a os, el $VO_2\text{max}/\text{KgmsMMES}/\text{min}$ es mayor que en atletismo.

Por ltimo, en la figura 3 se observa c mo en la nataci n, en todos los grupos de edad, la MMEI, as como su porcentaje respecto a la MM total es mayor, excepto en el grupo de edad de 17-20 a os, que en atletismo. Aun as , el $VO_2\text{max}/\text{KgmsMMEI}/\text{min}$ es mayor en todos los grupos de edad, excepto en el grupo de 17-20 a os, en atletismo que en nataci n, debido, como se mencion , a la importancia de la especificidad metab lica.

Tabla 9. Análisis de deportistas respecto las variables antropométricas y fisiológicas.

Disciplina	Grupo Edad	Sexo	MM TOTAL	VO ₂ max.abs.	VO ₂ max/Kggrmus/min	MMES	VO ₂ max/kgmusMMES/min	MMEI	VO ₂ max/KgmusMMEI/min
Atletismo	<12-13	Masculino	37,8	3,7	90,2	15,3	36,51	22,5	53,69
		Femenino	31,45	2,1	69,3	13,35	29,42	18,1	39,88
Disciplina	Grupo Edad	Sexo	MM TOTAL	VO ₂ max.abs.	VO ₂ max/Kggrmus/min	MMES	VO ₂ max/kgmusMMES/min	MMEI	VO ₂ max/KgmusMMEI/min
		Masculino	41,7	4,1	88,5	18,2	40,06	23,5	48,44
Natación	14-16	Femenino	33,54	2,85	76,9	13,84	31,73	19,7	45,16
		Sexo	MM TOTAL	VO ₂ max.abs.	VO ₂ max/Kggrmus/min	MMES	VO ₂ max/kgmusMMES/min	MMEI	VO ₂ max/KgmusMMEI/min
Disciplina	Grupo Edad	Masculino	38,4	3,8	89,15	15,6	36,22	22,8	52,93
		Femenino	30,38	2,6	70,1	11,98	27,64	18,4	42,46
Triatlón	17-20								

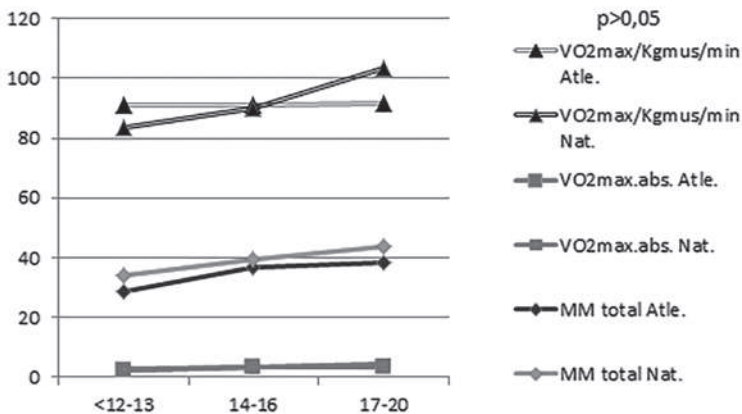


Figura 1. Análisis de deportistas masculinos respecto a las variables antropométricas y fisiológicas.

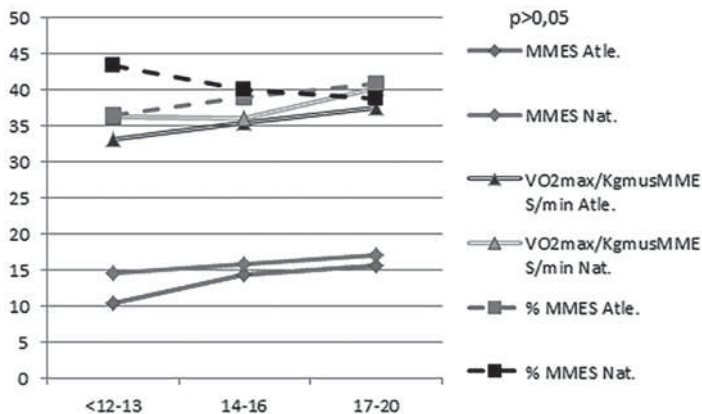


Figura 2. Análisis de deportistas masculinos respecto a las variables antropométricas y fisiológicas.

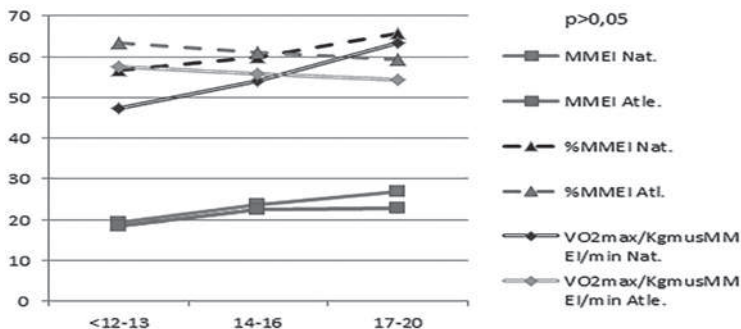


Figura 3. Análisis de deportistas masculinos respecto a las variables antropométricas y fisiológicas.

CONCLUSIONES

- 1) El $VO_2\text{max/Kgms/min}$ nos conduce a error, ya que tiene en cuenta la masa muscular de todo el cuerpo, y no solamente la implicada en las partes anatómicas que se desenvuelven motrizmente el deporte, como las extremidades superiores e inferiores.
- 2) El $VO_2\text{max/KgmsMMES/min}$ y el $VO_2\text{max/Kgms MMEI/min}$ tienen en cuenta las partes anatómicas comprometidas en la práctica del deporte, por lo que se aproximan al valor real del deportista.
- 3) La prueba de esfuerzo sobre treadmill nos conduce a error, en deportes donde la especificidad metabólica se sitúa en la extremidad superior, además de la extremidad inferior, como la natación, por sus adaptaciones enzimáticas y mitocondriales.
- 4) La aproximación de la medición del $VO_2\text{max}$ en el medio donde entrenen y compiten nos acerca a determinar el valor real del $VO_2\text{max/Kgms/min}$, $VO_2\text{max/KgmsMMES/min}$ y $VO_2\text{max/KgmsMMEI/min}$.

Aplicaciones prácticas

Este estudio permite observar la importancia de la especificidad metabólica en la prueba de esfuerzo sobre treadmill. Ante ello, desviándose de los posibles fallos, como hemos visto, podremos aplicar los test correspondientes a los deportistas de diferentes deportes. Esta aplicación efectiva de los test nos lleva a que los resultados sean los más transversales posibles de cara al entrenamiento, es decir, que nos pueden dar una información muy precisa para la planificación y control del entrenamiento.

REFERENCIAS

1. Armstrong, N. (2007). *Paediatric exercise physiology*. In N. Spurway & D. MacLaren (eds.), *Advances in sport and exercise sciences series* (pp.27-46). London: Churchill Livingstone Elsevier.
2. Astrand, P., & Saltin, B. (1961). Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *Journal of Applied Physiology*, 16(6), 977-981.
3. Barraza, G., Hadler, G., Jeria, F., & Riffo, E. (2009). Cuantificación de la masa muscular de los miembros apendiculares, por medio ecuaciones antropométricas. *Motricidad Humana*, 10(2), 44-48.
4. Carter, J. (1984). Somatotype of Olympic Athletes from 1948 to 1976. *Medicine and Sport Science* 18, 80-109.
5. Carter, J., & Honeyman, B. (1990). *Somatotyping: development and implications*. USA: Cambridge University Press.
6. Doupe, M., Martin, A., Searle, M., Kriellaars, D., & Giesbrecht, G. (1997). A new formula for population-based estimation of whole body muscle mass in males. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 22, 598-608.
7. Drinkwater, D., Martin A., Ross W., & Clarys J. (1984). Validation by cadaver dissection of Matiegka's equations for the anthropometric estimation of anatomical body composition in human adults. In: J. Day (ed.), *Perspectives in Kinanthropometry* (pp.221-227). Champaign: Human Kinetics.
8. Esparza, F. (1993). *Manual de Cineantropometría*. Pamplona: GREC-FEMEDE.
9. Fernandes, R., Keskinen, K., Colaço, P., Querido, A., Machado, L., Morais, P., Novais, D., Marinho, D., & Vilas, J. (2007). Time limit at VO₂max

- 2max velocity in elite crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 29(2), 145-150.
10. Galy, O., Manetta, J., Coste, O., Maimoun, L., Chamari, K., & Hue, O. (2003). Maximal oxygen uptake and power of lower limbs during a competitive season in triathletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 13(3), 185-193.
 11. Garrido, R., & González, M. (2006). Volumen de oxígeno por kilogramo de masa muscular en futbolistas. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 6(21), 44-61.
 12. Godoy, L., Guilarte, Y., Hernández, P., & Bonilla, J. (2010). Menstruación y rendimiento. *EF Deportes*, 140(14).
 13. Hageloch, W., Schneider, S., & Weicker, H. (1990). Blood ammonia determination in a specific field test as a method supporting selection in runners. *International Journal of Sports Medicine*, 11, s56-s61.
 14. Harling, S., Tong, R., & Mickleborough, T. (2003). The oxygen uptake response running to exhaustion at peak treadmill speed. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(4), 663-668.
 15. Hermansen, L. (1971). *Muscle metabolism during exercise*. New York: Plenum.
 16. ISAK International Society for the Advancement of Kinanthropometry (2001). *International standards for anthropometric assessment*. New Zealand: ISAK.
 17. Keogh, J., Weber, C., & Dalton, C. (2003). Evaluation of anthropometric, physiological, and skill-related tests for talent identification in female field hockey. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28(3), 397-409.
 18. Lozano, R., Villa, J., & Morante, J. (2006). Características del patinador de velocidad sobre ruedas determinadas en un test de esfuerzo en laboratorio. *EF Deportes*, 10(94).
 19. Martin, A., Spens, L., Drinkwater, D., & Clarys, J. (1990). Anthropometric estimation of muscle mass in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 729-733.
 20. Mattieka J (1921). The testing of physical efficiency. *American Journal of Physical Anthropology*; 4(3), 223-330.
 21. Norton, K. & Olds, T. (1996). *Anthropometrica*. Sidney: Southwood Press.
 22. Stickland, M., Petersen, S., & Bouffard, M. (2003) Prediction of maximal aerobic power from the 20-m multi-stage shuttle run test. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28(2), 272-282.
 23. Tanner, J. (1962). *Growth at adolescence: With a general consideration of the effects of hereditary and environmental factors upon growth and maturation from birth to maturity*. Oxford: Blackwell Scientific.

24. Torres, V., Campos, J., & Aranda, R. (2016). Estudio de los perfiles fisiológicos de jóvenes deportistas de diferentes especialidades deportivas. En *IX Congreso Internacional de la Asociación Española de Ciencias del Deporte*. Toledo, España.
25. Tucker, R, Dugas, J., & Fitzgerald, M. (2009). *Runners world. The runners's body. How the latest exercise science can help run stronger, longer, and faster*. New York: Rodale.
26. Wang Z., Pierson R., & Heymsfield S. (1992). The five-level model: A new approach to organizing body-composition research. *American Journal of Clinical Nutrition*, 56, 19-28.
27. Wasserman, K., Van Kessel, A., & Burton, G. (1967). Interaction of physiological mechanisms during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 22, 71-85.
28. Wilmore, J., & Costill, D. (1999). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.
29. Wisloff, U., Helgerud, J., & Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(3), 462-467.