

Article

# Demandas Fisiológicas del Triatlón

Grégoire P Millet<sup>1</sup>, Dra. Verónica Vleck<sup>2</sup> y David J. Bentley<sup>3</sup>

<sup>1</sup>SSUL Institute of Sport Sciences-Department of Physiology, Faculty of Biology and Medicine, University of Lausanne, Switzerland

<sup>2</sup>CIPER, Faculty of Human Kinetics, Technical University of Lisbon, Portugal

<sup>3</sup>School of Medical Science, University of Adelaide, Adelaide, Australia

## RESUMEN

El propósito de este artículo es presentar el estado del conocimiento actual sobre las demandas fisiológicas que plantean los triatlones de distancia olímpica e Ironman. Recorriendo los datos disponibles desde el punto de vista "tradicional" (potencia aeróbica, umbral anaeróbico, frecuencia cardíaca, economía de la carrera) y desde el punto de vista "contemporáneo" (cinética del  $VO_2$ ), observaremos en qué lugar nos encontramos en la actualidad y cuáles son las áreas que siguen sin ser esclarecidas.

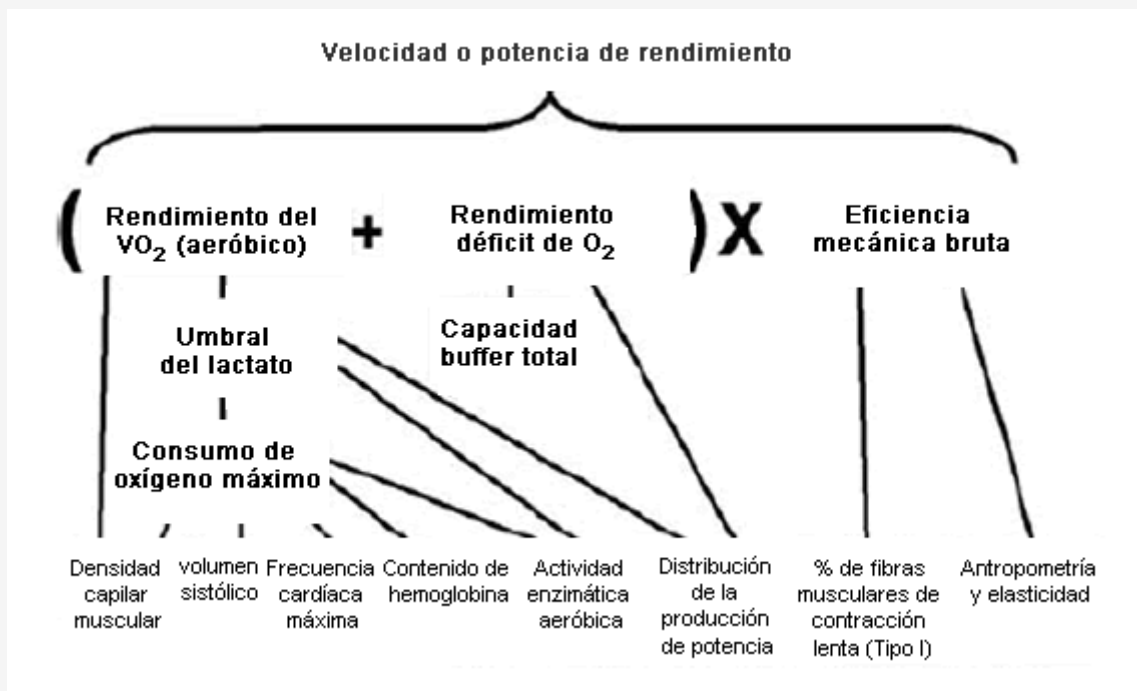
**Palabras Clave:** Potencia aeróbica máxima, umbral anaeróbico, frecuencia cardíaca, economía de la carrera, cinética del  $VO_2$ , distancia olímpica, Ironman

## INTRODUCCIÓN

Los fisiólogos del ejercicio que trabajan con triatletas tienen que enfrentarse (1) con diferentes modos de ejercicio; (2) variaciones inter-individuales en el historial de entrenamiento en natación, ciclismo y carrera, que a su vez afectan las adaptaciones al entrenamiento de los atletas y los perfiles de entrenamiento; (3) géneros diferentes y finalmente (4) triatlones con diferentes distancias (en este artículo, sólo nos abocaremos a la distancia olímpica (OD) vs larga distancia (LD)).

## PUNTO DE VISTA "TRADICIONAL"

Tradicionalmente (Burnley & Jones, 2007; Coyle, 1995; di Prampero, Atchou, Bruckner, Moia, 1986; Joyner & Coyle, 2008), se piensa que el rendimiento de resistencia está determinado principalmente por los siguientes factores: consumo de oxígeno máximo ( $VO_{2max}$ ); umbral del lactato/ventilatorio (LT/VT) y economía /eficiencia (Figura 1) junto con, dependiendo de la distancia y de los autores, la capacidad anaeróbica (CA) o la potencia crítica (CP).



**Figura 1.** Esquema global de los numerosos factores fisiológicos “tradicionales” que interaccionan como determinantes de la velocidad de rendimiento o producción de potencia (Coyle, 1995).

Es interesante destacar que solo los dos primeros factores ( $VO_{2max}$  y LT/VT) han sido investigados extensivamente en triatletas.

El “rendimiento  $VO_2$ ” [es decir cuánto tiempo es posible mantener una cierta tasa de metabolismo aeróbico y anaeróbico] se determina por la interacción entre  $VO_{2max}$  y umbral del lactato (LT), mientras que la eficacia determina cuánta velocidad o potencia [es decir la “velocidad de rendimiento”] puede lograrse con una cantidad dada de consumo de energía (Joyner & Coyle, 2008). Sin embargo, estas variables fisiológicas medidas en ciclismo o carreras pueden adaptarse indistintamente como consecuencia del entrenamiento cruzado entre ciclismo y carrera (Loy, Hoffmann, Holland, 1995; Tanaka, 1994; Sleivert & Rowlands, 1996; Pechar, McArdle, Katch, Magel, DeLuca, 1974; Withers, Sherman, Miller, Costill, 1981; Fernhall & Kohrt, 1990; Basset & Boulay, 2000; Hue, Le Gallais, Chollet, Prefaut, 2000; Schneider, Lacroix, Atkinson, Troped, Pollack, 1990; Millet, Dreano, Bentley, 2003; Kreider, 1988): el entrenamiento cruzado se define como “modos de entrenamiento combinados alternativos dentro de un régimen específico deportivo”. También es posible que los resultados de tales pruebas fisiológicas en ciclismo y carrera puedan estar influenciados por los antecedentes originales de entrenamiento del atleta. Comparando las variables fisiológicas como el consumo de oxígeno máximo ( $VO_{2max}$ ), el umbral anaeróbico (AT), la frecuencia cardíaca, economía o eficacia delta medidos durante la práctica de ciclismo y durante carreras en triatletas, nosotros buscamos identificar los efectos del modo de ejercicio en el perfil fisiológico y si los triatletas que compiten en eventos de OD contra eventos de LD tienen diferencias en el perfil fisiológico.

## PUNTO DE VISTA “CONTEMPORÁNEO”

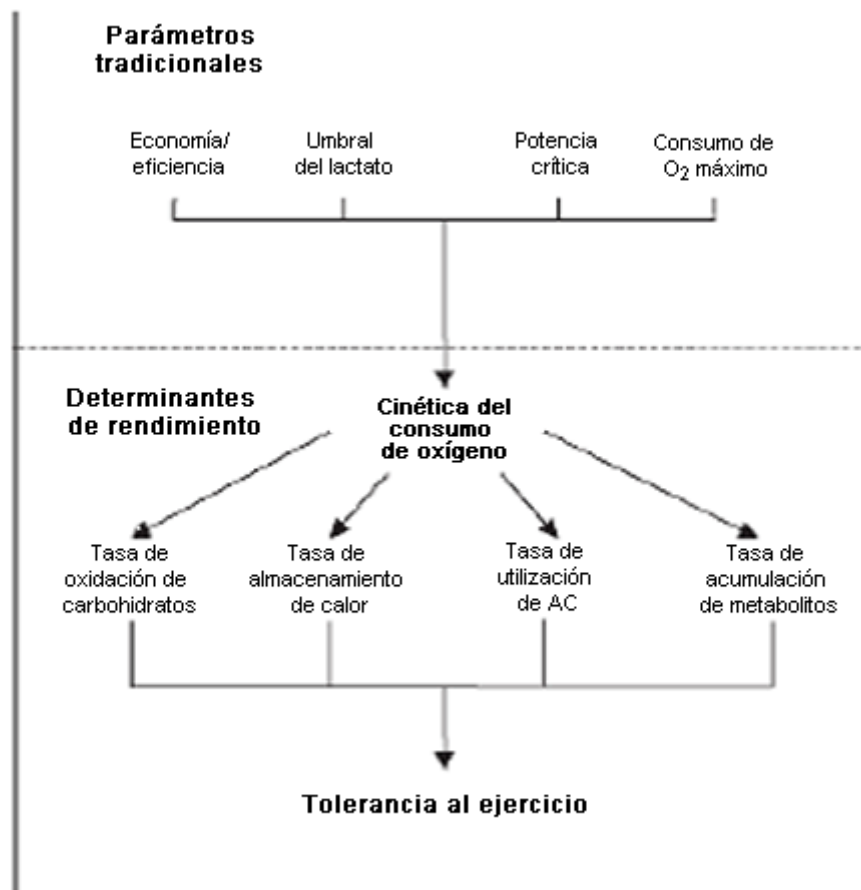
Recientemente se ha sugerido (Burnley & Jones, 2007), que éstos parámetros “tradicionales” son importantes porque determinan el carácter y restringen la cinética del  $VO_2$  durante el ejercicio. ... Nosotros sugerimos que sólo es posible comprender verdaderamente los determinantes fisiológicos del rendimiento deportivo apreciando cómo interactúan los parámetros tradicionales de la función fisiológica con la cinética del  $VO_2$ .

Este punto de vista “contemporáneo” (Burnley & Jones, 2007) expresa que las características de la cinética del  $VO_2$  (Tschakovsky & Hughson, 1999) que describe la evolución del  $VO_2$  al comienzo del ejercicio (o en un sentido más amplio durante cualquier aumento en la intensidad) determina los “dominios de intensidad” (Figura 2) y por consiguiente la proporción de cambios (acumulación / almacenamiento / utilización) en los factores limitantes del rendimiento descriptos

“tradicionalmente” (Figura 3).

Dominio	Límites	Respuestas en la cinética del $VO_2$	Tiempo de resistencia	Mecanismos probable de la fatiga
Moderado	Superior: LT	Dos componentes; estado estable se alcanza dentro de los tres minutos en individuos saludables	>4h	Hipertermia (en el calor), menor regulación central / motivación ("fatiga central") daño muscular (carrera)
Pesado	Inferior: LT Superior: CP	Tres componentes; componente lento evidente luego de la primera fase; estado estable demorado 10-20 min; $VO_2$ elevado.	hasta -3-4 h	Agotamiento del glucógeno, hipertermia
Severo	Inferior: CP Superior: Mayor potencia que permite alcanzar el $VO_{2max}$ antes de la fatiga	Dos/tres componentes; componente lento evidentemente se desarrolla continuamente si la potencia se encuentra por debajo del $VO_{2max}$ ; sin estado estable, $VO_{2max}$ se alcanza si es sostenido.	Hasta aprox. 30- 45 min	Agotamiento de la reserva energética finita representada por $W$ o déficit de oxígeno y/o acumulación de metabolitos asociados a la fatiga (ej. $H^+$ ; $H_2PO_4^-$ )
Extremo	Inferior: Mayor potencia que permite alcanzar el $VO_{2max}$	Dos componentes; sin componente lento, no se alcanza el $VO_{2max}$ .	<120 s	Igual a lo que ocurre en severo, + excitación- falla de acoplamiento de contracción.

**Figura 2.** “Dominios de intensidad” (Burnley & Jones, 2007). LT= Umbral del lactato; CP= Potencia crítica.



**Figura 3.** Rol de la cinética del VO<sub>2</sub> en la tolerancia a ejercicios de intensidad pesada y severa (Burnley & Jones, 2007) CHO= Carbohidratos; CA= capacidad anaeróbica).

Es sorprendente que existan muy pocos estudios que describan o comparen la cinética del VO<sub>2</sub> en triatletas.

## CARACTERÍSTICAS DEL ENTRENAMIENTO DE TRIATLETAS DE LARGA DISTANCIA (LD) VS TRIATLETAS DE DISTANCIA OLÍMPICA (OD)

Dadas las diferencias en la intensidad y las duraciones de las competencias OD y LD, y al hecho que los atletas tienden cada vez mas a especializarse en una u otra competencia, es lógico que existan diferencias significativas en el entrenamiento (y por consiguiente, fisiológicas), entre los representantes de ambos grupos. Sin embargo, sorprendentemente, se han realizado pocos análisis sobre la manera en que entrenan los triatletas LD en comparación con los triatletas de OD. La Tabla1 resume los resultados del único estudio comparativo que existe hasta la fecha (Vleck et al., 2009; Vleck, 2010).

		Varones Elite OD	Varones sub-élite OD	Varones elite IR	Mujeres elite OD	Mujeres sub elite OD	Mujeres elite IR
Número de sesiones por semana.	Ciclismo largo	1,1 ±1,3	1,2±1,1	1,5±1,5	1,5±0,6	1,4±1,6	2,3±1,3
	Repeticiones de ciclismo de cuesta	0,3±0,5*	0,2±0,4	0,3±0,5	1,2±1,1*	0,6±0,5	0,5±1,0
	Ciclismo de velocidad	1,5±1,0	2,1 ±1,0	1,5 ±1,0	2,1±1,0	1,0± 0,6	0,5±0,6
	Otros tipos de ciclismo	1,1±1,3	1,1±1,1	1,5±1,5	0,5 ± 0,6	1,4 ±1,6	2,3 ±1,3
	Carrera larga	0,7±0,5	0,7±0,5 <sup>Ø</sup>	1,0±0,7 <sup>Ø</sup>	0,8 ±0,5	0,7±0,5	0,8±0,5
	Repeticiones de carrera de cuesta	0,3±0,5	0,3±0,4	0,3±0,6	0,25 ±0,5	0,0	0,5±0,58
	Carrera de velocidad	1,2±0,8	1,5±1,2	1,1±0,5	1,0±0,0	1,6±0,8	1,0±0,0
	Otros tipos de carrera	2,0± 2,0	2,2±1,3	2,2±1,7	1,0±0,0	1,4±0,8	1,5±0,6
	Ciclismo largo	3,2±2,6	3,1±2,7	4,7±1,8	2,45±1,4●	2,25±1,8	5,8±1,7●
Horas por semana	Repeticiones de ciclismo de cuesta	0,3±0,7	0,1±0,4	0,8±0,9	0,7±0,8	0,0	0,0
	Ciclismo de velocidad	1,2±0,7	1,3±1,0	1,1±0,8	1,45 ±1,0	5,95 ±10,7	1,0±0,8
	Otros tipos de ciclismo	1,6±1,6	1,4±1,7	2,4 ±3,0	0,9 ±0,9	1,5±0,4	2,6±1,0
	Carrera larga	1,3±1,0†	0,4 ± 0,6†	1,6 ±0,7	0,7 ±0,6	0,2±0,3£	2,2 ±0,3£
	Repeticiones de carrera de cuesta	0,4±0,5	0,2±0,3	0,8±0,9	0,2±0,5	0,0	0,5±0,6
	Carrera de velocidad	0,8±0,6	1,0±1,0	0,9 ±0,7	0,8±0,6	1,13±1,0	0,87±0,1
	Otros tipos de carrera	1,2±0,9	1,0±1,3	0,5±0,4 <sup>x</sup>	0,6±0,6	1,5±0,6	1,3±0,6 <sup>x</sup>
Distancia (km)	Ciclismo largo	105,0±75,7	80,5±52,5	52±73,5	68,5±29,3	86,2±43,0	116,0±31,8
	Repeticiones de ciclismo de cuesta	-	-	8,0±11,3	11,8±17,8	16,6±19,3	0,0
	Ciclismo de velocidad	49,5±24,6	47,7±33,3	28,0±17,0	16,0±17,0	29,0±21,5	8,0±13,9
	Otros tipos de ciclismo	54,1±83,6	53,8±78,2	0	36,9 ±34,8	24,1±33,2	24,3±24,0
	Carrera larga	16,8±15,1	10,9±11,5	12,0 ±17,0	12,0±7,0	14,9±6,5	20,1±6,4
	Repeticiones de ciclismo de cuesta	5,6±7,8°	2,5±4,2	0,0°	2,5±4,2	1,5±4,2	1,0±1,7
	Carrera de velocidad	6,5±6,3	9,8±8,1	8,3±10,9	8,6±9,1	7,7±5,0	9,2±6,0
	Otros tipos de carrera	-	10,3±7,1	24,6±19,0	17,4±15,5	4,6±5,6	7,3±4,8

**Tabla 1.** Características de entrenamiento del escuadrón nacional de triatletas británicos (1994) durante una semana de entrenamiento típica para competencias sin periodo de puesta a punto. Abreviaturas: OD= Distancia olímpica, IR= Distancia de Ironman. Ø, °, ●, x, £ o † valor significativamente diferente al de los grupos marcados con el mismo símbolo (p<0,02). \* Valor significativamente diferente al de los grupos marcados con el mismo símbolo (p<0,05).

Esencialmente, los atletas de OD destinan menos tiempo por semana que los atletas de LD a las “carreras largas” (p <0,05 para ambos géneros) y a las sesiones de ciclismo de larga duración (p <0,05, solo para las mujeres). La longitud de tales sesiones individuales también es menor en los atletas de OD que en los atletas de LD (p <0,05). Los atletas del escuadrón de OD también realizan mas trabajo de velocidad en ciclismo y menos sesiones de carreras largas por semana (ambos p <0,05). Una cantidad menor de atletas de élite de OD realizan entrenamiento de carreras de ciclismo espalda con espalda en comparación con los atletas de LD (p <0,05).

Son escasos los datos de volumen de entrenamiento semanal en horas (Tabla2) o distancia en millas (Tabla3), que hayan sido diferenciados por la distancia de las competencias, el nivel de capacidad y/o género. Estudios retrospectivos que hayan investigado si el contenido del entrenamiento ha sido cada vez más diferente entre triatletas OD y triatletas LD, desde los 1980, serían de interés y potencialmente permitirían comprender mejor hasta que punto el deporte ha cambiado durante los últimos 30 años.

N	Sexo	Nivel	Distancia	Total /sem (h)	Natación /sem	Ciclismo /sem	Carrera /sem	Referencias
21	M			17,4	5,6	6,3	3,7	Millet et al., 2002; Chatard et al., 1998; Vleck et al., 2010
20	F	Elite	Corta	13,4	3,7	6,6	3,0	Millet et al., 2002; Vleck et al., 2010; Laurensen et al., 1993
								Caillaud et al, 1995; Delextrat et al., 2003
46	M	Comp	Corta	14,0	4,04	4,9	2,7	Vleck et al, 2010; Toraa et al, 1999
20	F			7,5	4,3	8,2	2,0	Vleck et al, 2010; Laurensen et al, 1993
60	M	Comp		18,53	3,4±1,4	8,3 ±2,8		Farber et al, 1987; Whyte et al, 2000
12		Elite	Larga	19,5±7,6	6,1±4,5	8,8±4,5	3,9±1,7	Vleck et al, 2010
25	F	Comp		14,52	3,20±1,78	5,70±1,93		Farber et al, 1987; Leake & Carter, 1991
7		Elite		18,5 ±2,5	4,2±0,6	3,8 ±0,9	10,3 ±2,3	Vleck et al, 2010; Whyte et al, 2000

**Tabla 2.** Tiempo de entrenamiento semanal (h).

N	Sexo	Nivel	Distancia	Total /sem	Natación /sem	Ciclismo /sem	Carrera /sem	Referencias
								Millet et al., 2002; Vleck et al, 2010;
45	M	E			13,67	255,82	38,99	Chapman et al, 2008; Chollet et al., 2000; Hue et al., 2000; Schneider et al., 1990; Schneider & Pollack, 1991 Vleck et al, 2010; Hue et al, 2000; Bernard et al, 2003; Boussana et al, 2000; Boussana et al, 2001; De Vito et al, 1995;
121		C	Corta	19,1	12,0	201,1	43,0	Deitrick, 1991; Delextrat et al, 2003; Hausswirth et al, 1997; Hausswirth et al, 2001; Hausswirth et al, 2000; Hue et al, 1998; Rowbottom et al, 1997; Vercruyssen et al, 2005; Vleck & Garbutt, 1998
20	F	E		187,8±69,4	12,2	180,4	54,6	Millet et al, 2002; Vleck et al, 2010; Laurenson et al, 1993
33		C		194,4±43,2	9,5	74,32	27,78	Vleck et al, 2010; Laurenson et al, 1993; Danner & Plowman, 1995
22		E		200,7±136,7	16,4	178,9	186,2	Vleck et al, 2010; Holly et al, 1986
97	M	C	Larga		10,2	326,8	58,7	Holly et al, 1986; Sagnol et al, 1990
7	F	E		196,9±67,3	11,0±3,0	148,3±61,7	37,5±112,3	Vleck et al, 2010
26	F	C			9,8	353,4	72,4	Holly et al, 1986; Massimino et al, 1998

**Tabla 3.** Distancia de entrenamiento en triatlón (km). M= varones; F= mujeres; E=elite; L= bajo.

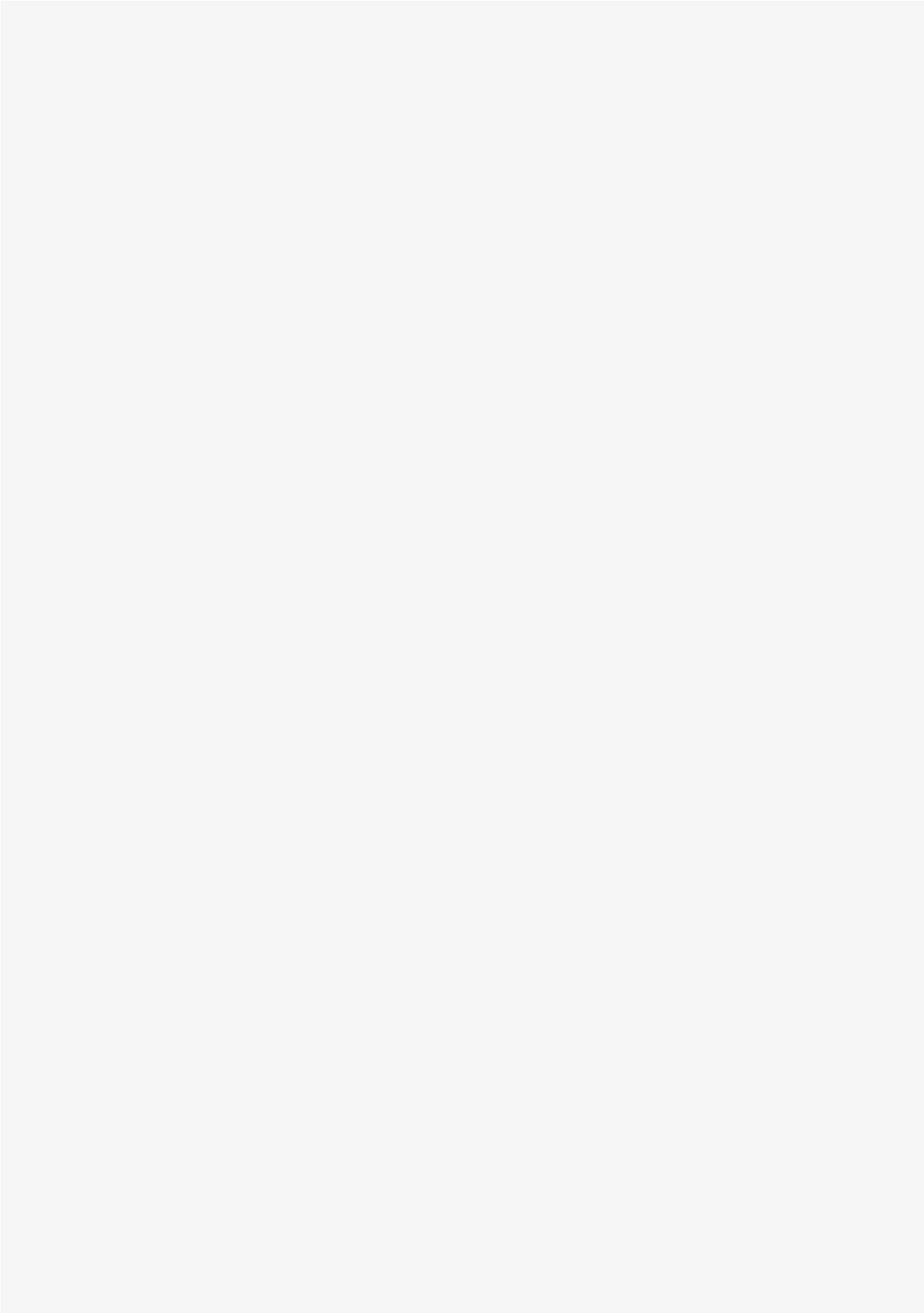
## POTENCIA AERÓBICA MÁXIMA Y UMBRAL ANAERÓBICO EN TRIATLETAS OD Y LD

### Potencia Aeróbica Máxima

La Tabla 4 presenta los estudios que han informado consumo de oxígeno máximo y carga de trabajo máxima o potencia en ciclismo y carreras en triatletas (Basset & Boulay, 2000; Hue, Le Galláis, Chollet, Prefaut, 2000; Schneider, Lacroix, Atkinson, Troped, Pollack, 1990; Kreider, 1988, Hue, Le Galláis, Chollet, Boussana, Prefaut, 1998; Vercruyssen, Suriano, Obispo, Hausswirth, Brisswalter, 2005; Albrecht, Foster, Dickinson, 1986; Kohrt, Morgan, Bates, Skinner, 1987; O'Toole, Hiller, Crosby, Douglas, 1987; O'Toole, Hiller, Douglas, 1987; Roalstad, 1989; Flynn, Costill, Kirwan, Fink, Dengel, 1987; Kreider, Boone, Thompson, Burkes, Cortés, 1988; Loftin, Warren, Zingraf, Brandon, Skudlt, 1988; Dengel, Flynn, Costill, Kirwan, 1989; Stein, Hoyt, Toole, Leskiw, Schluter, Wolfe, et al., 1988; Kohrt, O'Connor, Skinner, 1989; Millard-Stafford, Sparling, Rosskopf, Hinson, DiCarlo, 1990; Rehner, Brouns, Beckers, ten Hoor, Saris, 1990; Butts, Henry, McLean, 1991; Deitrick, 1991; Medelli, Maingourd, Bouferrache, Bach, Freville, Libert, 1993; Sleivert & Wenger, 1993; Miura & Ishiko, 1993; Murdoch, Bazzarre, Snider, Goldfarb, 1993; Miura, Kitagawa, Ishiko, Matsui, 1994; Zhou, Robson, King, Davie, 1997; Roberts & McElligott, 1995; Ruby, Robergs, Leadbetter, Mermier, Chick, Stark, 1996; Kerr, Trappe, Starling, Trappe, 1998; Derman, Hawley, Noakes, Dennis, 1996; Miura, Kitagawa, Ishiko, 1997.; Hue, Le Galláis, Boussana, Chollet, Prefaut, 1999; Miura, Kitagawa, Ishiko, 1999; Schabert, Killian, St Clair Gibson, Hawley, Noakes, 2000; Hue, Le Galláis, Boussana, Chollet, Prefaut, 2000; Toraa & Friemel, 2000; Hue, Le Galláis, Boussana, Galy, Chamari, Mercier, et al., 2000; Hue, Le Galláis, Prefaut, 2001; Hue, Galy, Le Galláis, Prefaut, 2001; Vercruyssen, Brisswalter, Hausswirth, Bernard, Bernard, Vallier, 2002; Basset & Boulay, 2003).







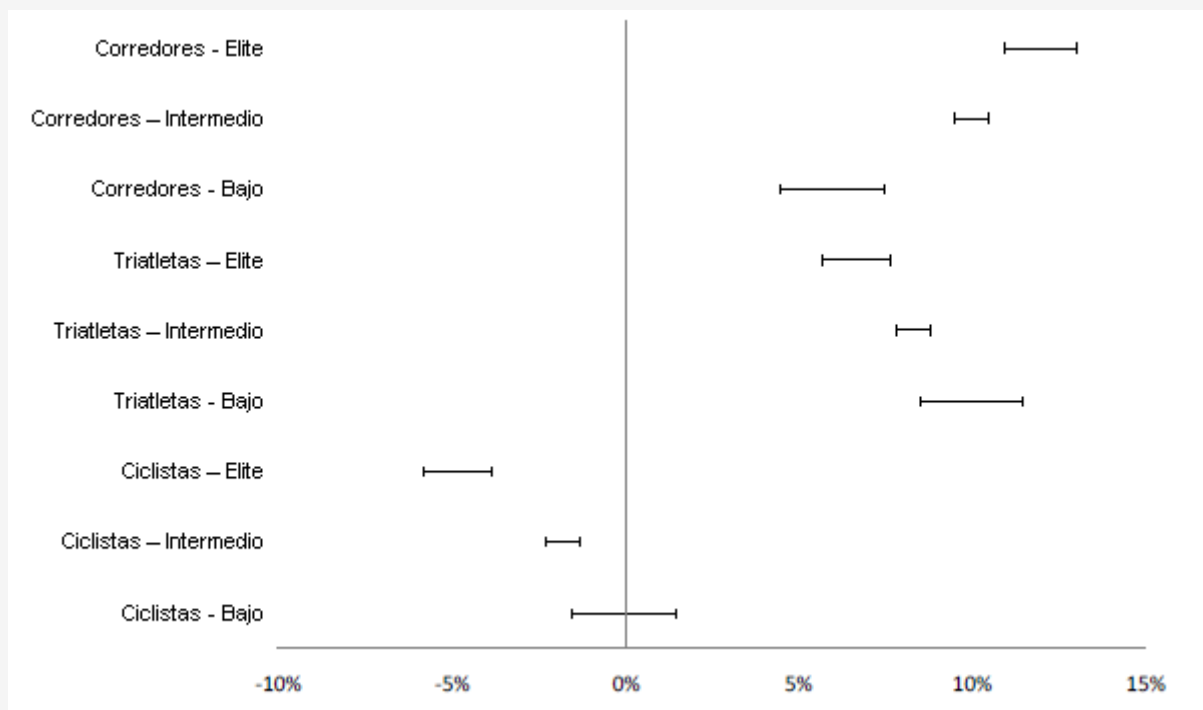
Referencia	Deporte	N	Nivel/ Detalles	Edad (años)	Masa (kg)	VO <sub>2max</sub> Rel. Ciclismo (ml kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	VO <sub>2max</sub> Abs. ciclismo (L min <sup>-1</sup> )	VO <sub>2max</sub> Rel. Carrera (ml kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	VO <sub>2max</sub> Abs. ciclismo (L min <sup>-1</sup> )
Albrechtetal, 1986	OD	9M	Experimentado			56,3		57,6	
Kohrtetal, 1987	LD	13 M	Competitivo	29,5±4,8	69,8±5,6	57,9±5,6*		60,5±5,7*	
O'Toole et al., 1987	LD	8M	Ser. amateur (SA)	30,5±8,8	74,7±10	66,7±10,1		68,8±10,4	5,1 ±0,9
		6F	Clase mundial (WC)	31,3±5,6	60,3±4,6	61,6±7		65,9±8,1	3,9±0,4
		5F	WC subgrupo			67,0±7,7		61,0±8,5	
		1F	SA subgrupo			60,6		64,6	
		6M	SA subgrupo			66,1±9,2		63,9±9,2	
		2M	WC subgrupo			77,0±10,0		75,1±10,0	
O'Toole et al., 1987	LD		Alimente entrenados	30,5±8,8	74,7±10,0	66,7±10,1		68,8±10,4	
				31,3±5,6	68,8±5,7	64,0±8,9		68,1±9,4	
Rolsclad, 1989	LD	8F	No se especificó			56,9		61,0	
		10 M				64,3		67,2	
Flynnetal, 1987	LD	11 M	Top 200	31,4±5,9	74,5±7,6		4,7±0,3		4,8±0,3
Kreider, 1988	OD	10 M	No se especificó				4,6±0,5		4,9±0,8
Kreider et al., 1989	LD	9 M				64,3±8,5		68,1 ±11,9	
Lofin et al., 1988	OD	14 M	Competitivo			43,6±8,1		49,7±7,5	
Dang et al., 1989	LD	11 M	No se especificó	31,4±1,8	74,5±2,3	63,2±0,1	4,81	65,3±1,3	4,8±0,1
Stein et al., 1989	OD	4 M	Elite				4,7±0,4		4,8±0,4
Kohrt et al., 1989	LD	8M 6F	(I, Feb.)	29,4±5,1	M 55,3-55,4 F 69,9-71,3	53,4±1,5*		57,4±1,4	
			(II, Feb-6-8sem)			56,5±1,5*		57,89±1,5	
			(III, -6-8sem)			54,2±1,5*		57,2±1,5	
			(IV, Sept. competencia)			56,0±1,3*		58,4±1,4	
Schneider et al., 1990	OD	10 M	Alimente entrenados	27,6±6,3	72±5,4	70,3±6*	5,1*	75,4±7,3*	5,4±0,6*
Millaris-Stafford et al., 1990	OD	10 M	Competitivo			62,9±3,8		67,0±4,2	
Rehrer et al., 1990	LD	10 M	No se especificó			60,8±1,4		61,6±1,1	
Suits et al., 1991	OD	7F	Recreacional			48,2±3,8	2,9±0,3	50,7±2,6	3,1 ±0,2
		16 M	No se especificó			56,5±8,5		62,0±8,4	
Deltrick, 1991	OD	7M	Competitivo			60,5±6,2 <sup>HW</sup>		69,9±5,5 <sup>HW</sup>	
		7M	Competitivo			51,9±3,9 <sup>HW</sup>		55,6±4,1 <sup>HW</sup>	
Medelli et al., 1993	OD	7M		24±3	75±10	66,4±1		66,1±7,9	
Sleivert & Wierger, 1993	OD	18 M		27,7±1,3	76,2±2,1	51,1±2		51,4±1,3	3,1±0,1
		7F		28,3±2,3	59,3±2,1	60,1±1,5		63,7±1,6	4,8±0,1
Miura & Ishiko, 1993	OD	9M				57,9±4,5		59,3±6,9	
Murdoch et al., 1993	OD	8M				67,1±2,6		68,1±5,4	
Miura et al., 1994	OD	14 M				58,5±6,8		61,3±6,6	
Zhou et al., 1997	OD	10 M	Amateur	27,4±5,7	78,4±8	61,3±10,1	4,75±0,5	63,3±8,9	4,9±0,2
Roberts & McElligott, 1995	OD	7F				54,3±3,6		57,3±3,6	
		7F				63,2±3,9		65,4±2,9	
Ruby et al., 1996	OD	6F	10 sem R	20,3±0,9	58,2±3,3		2,3±0,1*		2,6±0,1*
		6F	10 sem C	20,5±1,0	61,6±3,6		2,3±0,1*		2,5±0,1*
		6F	10semC+R	21,3±0,6	62,4±3,0		2,6±0,2*		2,6±0,2*
Kerr et al., 1998	OD	5M	Competitivo			60,8±3,0		64,3±4,7	
Derman et al., 1998	OD	6M					4,53±0,1		4,5±0,1
Miura et al., 1997	OD	17 M		26,8±8,2	62,8±5,1	61,1±8,1		63,8±8,1	
Hue et al., 1998	OD	7M	Competitivo	20,8± 2,9	69,7±4,5	65,4±4,2		62,1±6,3	
Hue et al., 1999	OD	9M				70±4,8		71,7±4,9	
Miura et al., 1999	OD	8M	Superior	27,3±6,8	65,4±5,8	67,8±6,1*		69,7±5,4*	
		8M	Bajo	26±10,3	60,8±3,2	54,9±3,8#		59,3±7,1*	
Basset & Boulay, 2000	OD	4M 2F		21,3±1,6	65,7±5,6	64,6±2,6*	4,2±0,6*	66,9±3,7*	4,4±0,4*
	C	6M		24,3±7,5	72,5±3,7	71,2±3,9*	5,2±0,5*	75,3±3,8*	5,3±0,4*
	R	4M 2F		21,0±2,4	64,8±13,8	61,7±5*	4,0±1,1*	68,4±4,1	4,5±1,1*
	All	14 M 2F		22,2±5	67,7±9,1	65,8±4,8*	4,4±0,1*	70,2±4,3*	4,7±0,8*
Hue et al., 2000	OD	29 M	Competitivo	20,9±2,6	68±7,8	69,1±7,2	4,7	70,2±6,2	4,8±0,4
		6M	Elite	21,8±2,4	69,9±7,3	75,9±5,2	5,3	78,5±3,6	5,5±0,3
Schaborn et al. 2000	OD	5M	Escuadrón nacional	23±4	72,1±4,7	69,9±4,5*	5,0±0,4	74,7±5,3*	5,3±0,5
		5F		25±7	59,3±5,8	61,3±4,6	3,6±0,4	63,2±3,6	3,7±0,3
		5M 5F				66,6±6,3	4,3±0,8	68,9±7,4	4,5±1
Hue et al. 2000	OD	8M	Competitivo			64,7±2,4		64,2±2,1	
			Elite Senior			75,7±2,3		76,3±3,2	
Toraa & Friemel, 1990	OD	12 M	Buen nivel			70,7±3,8		61,0±6,2	
		12 M	Nivel medio			67,7±6,4		56,9±5,5	
Hue et al. 2000	OD	13 M	Equipo universitario			67,2±1,6		68,8±1,8	
Hue et al. 2001	OD	10 M				67,1±1,6		68,7±2,6	
Hue et al. 2003	OD	13 M	Competitivo			67,2±1,6		68,8±1,8	
Vercruyssen et al. 2003	OD	8M	Equipo universitario	24,0±3,0	71,1±6,5	68,7±3,2		69,9±5,5	
Basset & Boulay, 2003	OD	4M 4F	Entrenamiento Preparat.	22±2	60,7±10	60,9±6,7		64,8±5,8	
			Entrenamiento específico			61,9±6,4		66,1±6,9	
			Pre-competencia			62,8±7,2		67,1±5,9	
Vercruyssen et al. 2005	OD	8M		28,9±7,4	73,3±6,0	67,6±3,6	4,9±0,4	68,9±4,6	5,0±0,5

**Tabla 4.** Estudios que asociaron el consumo de oxígeno máximo para ciclismo y carreras en triatletas de distancia olímpica (OD) y de larga distancia (LD) Millet et al., 2009).

Kohrt et al. (1987) y O'Toole et al. (1987) estuvieron entre los primeros grupos de investigadores que compararon el  $VO_{2max}$  de triatletas medido en bicicleta ergométrica y carrera en cinta rodante. En 13 triatletas de LD, observaron que el  $VO_{2max}$  fue significativamente menor en la bicicleta ergométrica que durante la carrera en cinta rodante ( $57,9 \pm 5,7$  vs.  $60,5 \pm 5,6$  ml  $kg^{-1} min^{-1}$ ). En contraste, O'Toole et al. (1987) informaron valores de  $VO_{2max}$  similares para carrera en cinta rodante y ciclismo. Por consiguiente, los datos no fueron concluyentes sobre las diferencias en  $VO_{2max}$  entre ciclismo y carrera en triatletas. Si bien los datos mencionados fueron obtenidos durante las "primeras épocas" del triatlón de LD, todavía parecen ser válidos.

De manera similar, aparentemente los triatletas de OD presentan valores similares de  $VO_{2max}$  en ciclismo y carreras (Hue, Le Galláis, Chollet, Prefaut, 2000; Sleivert & Wenger, 1993; Zhou, Robson, King, Davie, 1997). En otro estudio, Miura et al. (1999) examinaron dos grupos de triatletas caracterizados como de nivel "superior" o "mas lentos". No observaron ninguna diferencia significativa en el  $VO_{2max}$  durante ciclismo y carrera en ambos grupos. Por consiguiente, cualquier diferencia en  $VO_{2max}$  entre los modos de ejercicio no puede deberse al nivel de habilidad. Sin embargo, Schabort et al. (2000) observaron valores de  $VO_{2max}$  significativamente mayores en carrera en cinta rodante que en bicicleta ergométrica ( $68,9 \pm 7,4$  vs.  $65,6 \pm 6,3$  ml  $kg^{-1} min^{-1}$ ) en triatletas de nivel nacional. La mayoría de los estudios también han demostrado que el  $VO_{2max}$  es similar (es decir con una diferencia menor al 7%, o de aproximadamente 5 ml  $kg^{-1} min^{-1}$  del error metodológico estimado que ocurre durante la medición de  $VO_{2max}$ ) en ciclismo y carreras en triatletas de una gama amplia de niveles competitivos (Hue, Le Galláis, Chollet, Prefaut, 2000; Dengel, Flynn, Costill, Kirwan, 1989; Medelli, Maingourd, Bouferrache, Bach, Freville, Libert, 1993; Sleivert & Wenger, 1993; Zhou, Robson, King, Davie, 1997; Miura, Kitagawa, Ishiko, 1997).

A continuación se presenta un esquema de las diferencias en  $VO_{2max}$  entre el ciclismo y carrera en triatletas (Figura 4). El mismo destaca que el entrenamiento para múltiples deportes produce un perfil intermedio al de corredores y ciclistas.



**Figura 4.** Diferencias entre el ciclismo y carrera:  $VO_{2max}$ .

## Umbral Anaeróbico

A pesar de que todavía existe controversia con respecto a la validez del umbral anaeróbico (AT), varios autores que realizan investigaciones sobre triatlones han continuado estudios iniciales y han comparando el  $VO_{2max}$  y una medida del AT en ciclismo y carreras en triatletas (Hue, Le Galláis, Chollet, Prefaut, 2000; Schneider, Lacroix, Atkinson, Troped, Pollack, 1990; Sleivert & Wenger, 1993; Schneider & Pollack, 1991; O'Toole & Douglas, 1995). La Tabla 5 muestra los datos del umbral ventilatorio o umbral anaeróbico durante ciclismo y carreras de atletas de OD y LD (Withers, Sherman, Miller, Costill, 1981; Hue, Le Galláis, Chollet, Prefaut, 2000; Schneider, Lacroix, Atkinson, Troped, Pollack, 1990; Bernard, Vercruyssen, Grego, Hauswirth, Lepers, Valuer et al., 2003; Hue, Le Galláis, Chollet, Boussana, Prefaut, 1998; Vercruyssen, Suriano, Bishop, Hauswirth, Brisswalter, 2005; Albrecht, Foster, Dickinson, 1986; Sleivert & Wenger, 1993; Zhou, Robson, King, Davie, 1997; Roberts & McElligott, 1995; Miura, Kitagawa, Ishiko, 1999; Vercruyssen, Brisswalter, Hauswirth, Bernard, Bernard, Valuer, 2002; Schneider & Pollack, 1991; Davis, Vodak, Wilmore, Vodak, Kurtz, 1976; Jacobs & Sjodin, 1985; Miura, Kitagawa, Ishiko, 1994; Moreira-da-Costa, Russo, Picarro, Silva, Leite-de-Barros-Neto, Tarasantchi et al., 1984; De Vito, Bernardi, Sproviero, Figura, 1995; Billat, Mille-Hamard, Petit, Koralsztein, 1999; Galy, Hue, Boussana, Peyreigne, Couret, Le Galláis et al., 2003; Millet & Bentley, 2004).

Referencia	Deporte	Nivel de rendimiento	N	VT VO <sub>2</sub> ciclismo (L min <sup>-1</sup> )	VT VO <sub>2</sub> carrera (L min <sup>-1</sup> )	VTVO <sub>2</sub> ciclismo (ml kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	VT VO <sub>2</sub> carrera (ml kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	VT (%VO <sub>2max</sub> ciclismo)	VT (%VO <sub>2max</sub> carrera)
Albrecht et al., 1986	T	Experimentados	9M			44,3	45,7		
Kreider et al., 1989	T		10M	3,9*	4,42*			85	90
Schneider et al., 1990	T	Altamente entrenados	10M	3,0±0,5*	3,9±0,3*	46,9±4,3	53,9±3,8	66,8±3,7	71,9±6,6
Schneider & Pollack, 1991	T	Altamente entrenados	10F	2,2±0,1	2,8±0,1	37,7±1,9	47,2±2	62,7±2,1*	74,0±2,0*
Sleivert & Wenger, 1993	T		7F					74,8±1,9	85,0±2,1
	T		18M					81,4±1,3	85,0±1,3
De Vito et al., 1995	T	Bien entrenados	6M		3,7±0,4 3,8±0,6 3,7±0,2		54,4± 4,4 50±2,8 59±2,8		79,5±3,6 78,9±3,4 80,9±6,2
Roberts & McElligott, 1995	T	Elite	7M					71,8	86,2
Zhou et al., 1997	T	Amateur	10M	4,0±0,2*	4,5±0,2*	52,2±3,2*	57,7±2,7*	85±1,3*	91,1±1*
Hue et al., 1998	T	Competitivo	7M			42,5±6,5	46,4±6,3	65±9,9	74,7±10,1
Billat et al., 1999	T T T	Competitivo Superior Inferior	8M 8M					72,5±0,4	84,9±0,6
Miura et al., 1999	T	Superior	8M			48,7±3,8 <sup>#</sup>	50,9±4,8 <sup>#</sup>		
						39,7±2,9 <sup>#</sup>	40,4±4,8 <sup>#</sup>		
Hue et al., 2000	T	Todos	29 M	3,0±0,6*	2,6±0,4*	45,1±8,2	46,7±4,1	65	66
	T	Elite	6M	3,0±0,6	2,8±0,3	49±10,9	50,9±4,3	65	65
Vercruyssen et al., 2003	T	Bien entrenados	8M					69,9±3,3	70,1 ±3,4
Bernard et al., 2003	T		9M				67,0±3,6		
Galy et al., 2003	T	(Pre-comp)	7M, 1 F	3,7±0,2 <sup>ab</sup>		55,8±2,8 <sup>#</sup>		88,9±0,2 <sup>#</sup>	
		(Comp)	7M, 1 F	3,7±0,2 <sup>b</sup>		55,4±3,3		88,6±0,2 <sup>#</sup>	
		(Post-comp)	7M, 1 F	3,3±0,2 <sup>ac</sup>		49±4,1 <sup>c#</sup>		79±0,2	
Vercruyssen et al., 2005	T		8M	(LT) 3,8±0,4*	(LT) 4,4±0,5*				

**Tabla 5.** estudios que presentan los datos correspondientes al umbral ventilatorio/anaeróbico para ciclismo y carrera en triatletas (Millet et al.,2009)

Kohrt et al. (1989) realizaron una investigación longitudinal de 6 a 8 meses con 14 triatletas de LD moderadamente entrenados. Los investigadores cuantificaron el VO<sub>2max</sub> y el LT en ciclismo y en carrera. El VO<sub>2max</sub> se mantuvo relativamente constante en ciclismo y en la carrera hasta las últimas etapas del período de entrenamiento, lo que posiblemente refleja un aumento en la intensidad del entrenamiento en ese momento. Sin embargo, el VO<sub>2max</sub> y el LT en ciclismo fueron consistentemente menores a los de la carrera en cinta rodante. Esto sugiere que el historial de entrenamiento de los sujetos fue más exhaustivo en el ciclismo que en la carrera. Este estudio también reveló que la naturaleza de entrenar en cualquier modo de ejercicio puede influir en la adaptación en el ciclismo o en las carreras. En un estudio longitudinal más reciente (Galy, Manetta, Coste, Maimoun, Chamari, Hue, 2003), considerando una temporada en triatletas entrenados de OD, se confirmó la estabilidad relativa del VO<sub>2max</sub> y el mayor cambio en VT bajo la influencia de entrenamiento específico.

Sin embargo, Albrecht et al. (1986) no observaron ninguna diferencia entre el VT (expresado como % de  $VO_{2max}$ ) obtenido en ciclismo (78,8%) o carrera (79,3%). En concordancia con esto, Kreider (1988) no observó ninguna diferencia significativa en el VT en triatletas que realizaron pruebas incrementales en ciclismo y carrera en cinta rodante.

Notablemente, los últimos autores encontraron que la intensidad del ejercicio mantenida durante las etapas de ciclismo y carrera de un triatlón de OD era similar. En las competencias deportivas de resistencia de un solo deporte generalmente se piensa que el AT refleja la capacidad de mantener un porcentaje fijo de capacidad máxima (Bassett & Howie, 2000). Los datos de Kreider (2000), recolectados en un evento de triatlón, sugieren otra cosa. A pesar de que el VT de los atletas se produjo en intensidades de ejercicio diferentes durante tests incrementales aislados de carrera o ciclismo (90 vs. 85% de  $VO_{2max}$ ), la intensidad del ejercicio que mantuvieron durante una carrera fue similar para los dos modos de ejercicio. Sin embargo, Del Vito et al. (1992) observó que el VT durante la carrera era menor después de ejercicios de ciclismo previos en el triatlón de OD. Estos resultados y los observados por Zhou et al. (1997) sugieren que la etapa de ciclismo de un triatlón de OD influye en la capacidad de mantener un porcentaje fijo de capacidad máxima durante la etapa de carrera subsecuente.

Miura et al. (1999) también informó que el VT determinado en ciclismo y carrera era similar, en condiciones absolutas, en dos grupos de triatletas que diferían en los tiempos de carrera de un triatlón de OD. Schneider et al. (1990) pudieron confirmar estos resultados y observaron que aunque el  $VO_{2max}$  era significativamente mayor durante la carrera que durante el ejercicio de ciclismo ( $75,4 \pm 7,3$  vs.  $70,3 \pm 6,0$   $ml\ kg^{-1}\ min^{-1}$ ), el VT no era significativamente diferente entre el ciclismo y la carrera cuando se expresaba como un valor absoluto de  $VO_2$  pero si presentó diferencias en relación al  $VO_{2max}$  ( $66,8 \pm 3,7$  vs.  $71,9 \pm 6,6$ %).

### Frecuencia Cardíaca

En triatletas, la frecuencia cardíaca máxima ( $HR_{2max}$ ) observada durante la práctica de ciclismo es a menudo 6-10  $lat-min^{-1}$  mas baja que la que se obtiene durante la carrera (Hue, Le Gallais, Chollet, Boussana, Prefaut, 1998; Kohrt, O'Connor, Skinner, 1989; Hue, Le Gallais, Boussana, Chollet, Prefaut, 1999; Roecker, Striegel, Dickhuth, 2003). Las investigaciones longitudinales han demostrado que la  $HR_{2max}$  permanece relativamente estable durante el transcurso de la temporada (Galy, Manetta, Coste, Maimoun, Chamari, Hue, 2003), y en la carrera se observan valores más altos ( $\sim 5\ lat-min^{-1}$ ) que durante el ciclismo (Kohrt, O'Connor, Skinner, 1989). En contraste, también existe evidencia que sugiere que la  $HR_{2max}$  es similar entre el ciclismo y los tipos de carrera (Kohrt, Morgan, Bates, Skinner, 1987; Medelli, Maingourd, Bouferrache, Bach, Freville, Libert, 1993; Zhou, Robson, King, Davie, 1997; Bassett & Boulay, 2003; Bassett & Howley, 2000). Si bien esto parece cumplirse en varones, algunos autores observaron diferencias en esta variable en las mujeres (O'Toole, Hiller, Douglas, 1987). Sin embargo, Schneider y Pollack (1991), no observaron ninguna diferencia significativa entre la  $HR_{2max}$  de ciclismo y las de carrera en triatletas de élite de sexo femenino.

La HR que corresponde al AT se usa para prescribir las cargas de entrenamiento submaximas (O'Toole, Douglas, Hiller, 1998; Gilman, 1996). Los datos sobre triatletas indican que la HR que corresponde a ciertos puntos de inflexión asociados con el AT siempre es mayor en la carrera que en el ciclismo, tanto cuando se expresa en términos absolutos como en relación a la  $HR_{2max}$  (Schneider, Lacroix, Atkinson, Troped, Pollack, 1990; Hue, Le Gallais, Chollet, Boussana, Prefaut, 1998; Zhou, Robson, King, Davie, 1997; Hue, Le Gallais, Boussana, Chollet, Prefaut, 1997; Schneider & Pollack, 1991; Roecker, Striegel, Dickhuth, 2003). Schneider et al. (1990) informaron una diferencia significativa en la HR correspondiente al VT en ciclismo y carrera ( $145,0 \pm 9,0$  vs.  $156,0 \pm 8,0$ ) en triatletas "altamente entrenados". Esto correspondió a  $80,9 \pm 3,4$  vs.  $85,4 \pm 4,1$  %  $HR_{2max}$ . En otro estudio del mismo grupo de investigación y realizado con mujeres triatletas de élite (Schneider & Pollack, 1991), se observó una HR en el VT mas alta durante la carrera que durante el ciclismo ( $164,7 \pm 4,0$  vs.  $148,2 \pm 3,4$ ) y esta diferencia también se observó cuando la HR se expresó en forma de % de  $HR_{2max}$  ( $87,3 \pm 1,6$  vs.  $79,7 \pm 1,5$ %). De manera similar, Roecker et al. (2003) observaron una diferencia de 20  $lat-min^{-1}$  entre la HR determinada en el LT en bicicleta ergométrica ( $149,9 \pm 18,0\ lat-min^{-1}$ ) y cinta rodante ( $169,6 \pm 15,7\ lat-min^{-1}$ ).

Sin embargo, sujetos ( $-22\ lat-min^{-1}$ ) y ciclistas ( $-14\ lat-min^{-1}$ ) recreacionales presentaron diferencias más bajas que los triatletas y corredores. Además, las diferencias no estuvieron influenciadas por el género.

Hay alguna evidencia que apoya que la HR no sería diferente entre el ciclismo y la carrera. Bassett y Boulay informaron que la relación entre HR y el % $VO_{2max}$  no sería diferente cuando se calcula ya sea a partir de un test en cinta rodante o de un test en bicicleta ergométrica. Estos autores también demostraron que la HR era similar entre los tests de carrera y los de bicicleta ergométrica a lo largo del año de entrenamiento y concluyeron que los triatletas podrían usar un solo tipo de pruebas para prescribir su HR de entrenamiento para carrera y ciclismo durante todo el año (Bassett & Boulay, 2003).

Zhou et al. (1997) demostraron que la HR que corresponde al VT era significativamente mayor en la carrera ( $174,6 \pm 4,5$ ) que en ciclismo ( $166,4 \pm 7,6$ ). Sin embargo estos autores observaron que la HR determinada en una carrera de triatlón de OD era similar a la HR en VT en ciclismo, pero mucho menor durante la carrera. Otros estudios también observaron una disminución en la  $HR_{2max}$  y HR correspondientes al VT durante un test de carrera incremental realizado después de un test

de ciclismo submáximo (Hue, Le Galláis, Boussana, Chollet, Prefaut, 2000). Hue et al (1998) también demostraron que la HR determinada durante una carrera de 10 km después de 40 km de ciclismo era más alta cuando se comparaba con la misma carrera sin ciclismo. Por consiguiente, aunque la HR correspondiente al AT o a la  $HR_{2max}$  puede ser similar en la carrera y en ciclismo (en pruebas de ejercicio realizadas en aislamiento), la HR que corresponde al AT determinado en un test de carrera incremental puede ser diferente al observado en una situación de competencia, sobre todo durante la carrera. Al nivel de élite, debido al paso estocástico, no hay necesidad de controlar la intensidad del ejercicio durante la carrera en el triatlón de OD por medio de la HR. En el triatlón de LD, el uso potencial de la HR para controlar el paso de la carrera podría ser de interés, por lo menos al principio de la maratón. Sin embargo, según nuestros conocimientos no hay ningún protocolo publicado, para determinar HR con este propósito. Además, es necesario considerar el efecto de la práctica de ciclismo previo sobre la HR durante la carrera, para prescribir la HR durante el entrenamiento para la carrera.

## Economía de la Carrera

La economía de la carrera puede definirse por el  $VO_2$  (en  $ml\ O_2\ kg^{-1}\ min^{-1}$ ) de carrera a una cierta velocidad, y normalmente se expresa por el costo de energía (CE) de correr una distancia de un km ( $ml\ kg^{-1}\ km^{-1}$ ) calculado a partir de  $VO_2$  dividido por la velocidad. En triatletas el CE se ha informado tanto en condiciones de carrera aislada como en carreras dentro de triatlón (Millet, Dreano, Bentley, 2003; Hue, Le Gallais, Chollet, Boussana, Prefaut, 1998; Kreider, Boone, Thompson, Burkes, Cortes, 1988; Dengel, Flynn, Costill, Kirwan, 1989; Millet & Bentley, 2004; Hausswirth, Bigard, Berthelot, Thomaidis, Guezennec, 1996; Hausswirth, Bigard, Guezennec, 1997; Hausswirth, Brisswalter, Vallier, Smith, Lepers, 2000; Hausswirth & Lehenaff, 2001; Guezennec, Vallier, Bigard, Durey, 1996; Millet, Millet, Hofmann, Candau, 2000; Boone & Kreider, 1986). Generalmente se ha informado que en triatletas de OD entrenados, el CE determinado al final del evento es aprox 10% más alto que durante una carrera aislada; por ejemplo 224 vs. 204  $ml\ kg^{-1}\ km^{-1}$  (Guezennec, Vallier, Bigard, Durey, 1996); 224 vs 207  $ml\ kg^{-1}\ km^{-1}$  (Hausswirth, Bigard, Berthelot, Thomaidis, Guezennec, 1996). También se ha informado que la magnitud de cualquier cambio en CE subsiguiente a una serie de ciclismo exhaustivo esta influenciado por el nivel de rendimiento de atleta, distancia del evento, género y edad. El efecto de una serie de ciclismo extenuante en el costo de energía de la carrera subsiguiente fue diferente entre triatletas de élite ( $-3,7 \pm 4,8\%$ , en comparación con lo que se observa en una carrera aislada) y de nivel medio ( $2,3 \pm 4,6\%$ ) (Millet, Millet, Hofmann, Candau, 2000). Los triatletas de LD de elite tenían un CE ligeramente menor (aunque no significativamente) que los triatletas de OD (163,8 vs. 172,9 y 163,0 vs. 177,4  $ml\ kg^{-1}\ km^{-1}$  durante una carrera aislada y una carrera durante un triatlón, respectivamente) (Millet, Dreano, Bentley, 2003). Sorprendentemente, no se han observado diferencias en el CE entre triatletas de élite de las categorías *junior* y *senior*, sean varones o mujeres, entre una carrera aislada y una carrera de triatlón (173-185  $ml\ kg^{-1}\ km^{-1}$ ) (Millet & Bentley, 2004). Sin embargo, en mujeres el aumento en el CE después del ciclismo era mayor en la categoría juniors que en la categoría senior (5,8 vs. -1,6%) pero esto no se observó en los varones (3,1 vs. 2,6%) (Millet & Bentley, 2004).

Los mecanismos subyacentes al deterioro en la economía en la carrera de triatlón en comparación con la carrera aislada son varios: se han propuesto cambios en el patrón ventilatorio (Hue, Le Galláis, Boussana, Chollet, Prefaut, 1999) que conducen a un mayor  $VO_2$  de los músculos respiratorios (Millet, Millet, Hofmann, Candau, 2000; Millet & Vleck, 2000), y alteraciones neuromusculares que reducen la eficacia del ciclo de estiramiento-acortamiento (Hausswirth, Brisswalter, Vallier, Smith, Lepers, 2000; Millet, Millet, Hofmann, Candau, 2000; Millet, Millet, Candau, 2001). También se han sugerido algunos factores metabólicos como el cambio en los fluidos circulantes, hipovolemia y aumento en la temperatura corporal (Hausswirth, Bigard, Berthelot, Thomaidis, Guezennec, 1996; Hausswirth & Lehenaff, 2001); Guezennec, Vallier, Bigard, Durey, 1996). Son interesantes los estudios de Hausswirth et al. (1997, 2000, 2001), que compararon el CE al final de un triatlón de OD y al final de una maratón de duración similar: El CE aumentó más durante la carrera de maratón (+11,7%) que durante la carrera de triatlón de OD (+3,2%) en comparación con lo que ocurrió durante una carrera aislada de 45-min. Las diferencias se debieron principalmente a la mayor disminución en el peso corporal relacionada a la pérdida de fluidos, al mayor aumento en la temperatura del core durante la carrera larga y a alteraciones mecánicas significativas durante la carrera larga en comparación con la etapa de carrera del triatlón.

Recientemente, se han publicado los valores de CE de los corredores de fondo de nivel mundial (Jones, 2006; Lucía, Esteve-Lanao, Olivan, Gómez-Gallego, San Juan, Santiago, et al., 2006; Lucía, Olivan, Bravo, González-Freire, Foster, 2007). Jones (2006) observó una disminución continua en CE de Paula Radcliffe, poseedora del record mundial actual femenino para la maratón entre 1992 ( $-205\ ml\ kg^{-1}\ km^{-1}$ ) y 2003 ( $-175\ ml\ kg^{-1}\ km^{-1}$ ) lo que corresponde a un aumento de 15% y el  $VO_{2max}$  ( $-70\ ml\ kg^{-1}\ km^{-1}$ ) y la masa corporal ( $-54\ kg$ ) se mantuvieron sin cambios durante el período. Jones también informó que el CE de Radcliffe fue establecido mas recientemente en  $165\ ml\ kg^{-1}\ km^{-1}$ . Billat et al. (2003, 2001) informaron valores más altos en corredoras de fondo de élite portuguesas y francesas ( $196 \pm 17\ ml\ kg^{-1}\ km^{-1}$ ) (Billat, Demarle, Slawinski, Paiva, Koralsztein, 2001) y Keniatis ( $208 \pm 17\ ml\ kg^{-1}\ km^{-1}$ ) (Billat, Lepretre, Heugas, Laurence, Salim, Koralsztein, 2003). En conjunto, esto se compara favorablemente con los valores obtenidos para triatletas de élite de sexo femenino: Millet y Bentley (2004), realizaron un estudio con nueve mujeres de élite (entre las que se incluían a una campeona mundial de LD, una poseedora del segundo puesto en el Ironman de Hawaii y cinco medallistas europeas) y

obtuvieron un valor medio de  $176,4 \text{ ml kg}^{-1} \text{ km}^{-1}$ , mientras que el  $\text{VO}_{2\text{max}}$  promedio fue  $61,0 \text{ ml kg}^{-1} \text{ km}^{-1}$  para una masa corporal de 60,3 kg.

Con respecto a los varones, Lucía et al. (2006, 2007) realizaron un estudio con Zersenay Tadese, actual campeón mundial de maratón de larga distancia cross country y media maratón, y encontraron un valor de  $150\text{-}153 \text{ ml kg}^{-1} \text{ km}^{-1}$ , para un  $\text{VO}_{2\text{max}}$  de  $83 \text{ ml kg}^{-1} \text{ km}^{-1}$ . El CE de Tadese fue más bajo (el más bajo informado hasta el momento) que los valores previamente informados para corredores de élite:  $180 \text{ ml kg}^{-1} \text{ km}^{-1}$  para Steve Scott (1984);  $203\text{-}214 \text{ ml kg}^{-1} \text{ km}^{-1}$  para corredores de élite franceses y portugueses (Billat, Demarle, Slawinski, Paiva, Koralsztein, 2001) o Keniats (Billat, Lepretre, Heugas, Laurence, Salim, Koralsztein, 2003); aprox.  $190\text{-}192 \text{ ml kg}^{-1} \text{ km}^{-1}$  para corredores de elite del este africanos (Lucía, Esteve-Lanao, Olivan, Gómez-Gallego, San Juan, Santiago, et al., 2006; Saltin, Larsen, Terrados, Bangsbo, Bak, Kim, et al., 1995) y aprox.  $211 \text{ ml kg}^{-1} \text{ km}^{-1}$  para corredores españoles de elite (Lucía, Esteve-Lanao, Olivan, Gómez-Gallego, San Juan, Santiago, et al., 2006). Por lo tanto, de manera similar a lo que se observó en mujeres, con la excepción de Tadese, la economía de carrera de los corredores de fondo varones no parece ser mejor que la informada para triatletas de élite:  $174\pm 9$  y  $164\pm 8 \text{ ml kg}^{-1} \text{ km}^{-1}$  para triatletas OD y LD, respectivamente (Millet, Dreano, Bentley, 2003). Sin embargo es necesario realizar una investigación más detallada con triatletas de LD de elite para confirmar estos resultados. En conjunto, a partir de estos datos parecería que la diferencia principal en el rendimiento de carrera entre los corredores de élite y triatletas se debe principalmente a la mayor masa corporal de triatletas (que afectaría el  $\text{VO}_{2\text{max}}$  proporcional) más que a diferencias en la economía de la carrera. Dado que se ha demostrado que un menor espesor medio de la zona inferior de las piernas y de la masa de las pantorrillas estaría relacionado con la economía de la carrera (Saltin, Kim, Terrados, Larsen, Svedenhag, Rolf, 1995), podríamos especular que la mayor masa corporal de los triatletas proviene principalmente de los músculos superiores del cuerpo y probablemente, de la mayor delgadez de los pliegues cutáneos que se asocian con la natación.

### **Cinética del $\text{VO}_2$**

Como mencionamos previamente, a diferencia de otros deportes de resistencia; i.e carrera (Kilding, Fysh, Winter, 2007; Carter, Jones, Barstow, Burnley, Williams, Doust, 2000), ciclismo (Carter, Jones, Barstow, Burnley, Williams, Doust, 2000), remo (Ingham, Carter, Whyte, Doust, 2007) o natación (Reis, Millet, Malatesta, Roels, Borrani, Vleck, et al., 2010) en los cuales la cinética del  $\text{VO}_2$  ha sido investigada con detalle, sólo algunos estudios han estudiado los parámetros asociados a la cinética del  $\text{VO}_2$  en triatletas.

Las cinéticas más rápidas; es decir menor tiempo constante de la fase primaria ( $\tau_1$ ), se han asociado con una mejor tolerancia a la fatiga y rendimiento en ciclismo, carrera o remo (Burnley & Jones, 2007; Ingham, Carter, Whyte, Doust, 2007). Caputo et al. (2004) realizaron una comparación de ejercicios máximos de ciclismo y carrera entre triatletas, ciclistas y corredores entrenados, el valor de  $\tau_1$  fue similar en los ejercicios de cinta rodante y bicicleta ergométrica en los corredores (31,6 y 40,9 s); ciclistas (28,5 y 32,7 s) y triatletas (32,5 y 40,7 s). A pesar del hecho que estos autores concluyeron que la cinética de  $\text{VO}_2$  no dependía del modo de ejercicio y especificidad del entrenamiento como en los estudios anteriores (Carter, Jones, Barstow, Burnley, Williams, Doust, 2000), uno puede observar que las respuestas de los triatletas fueron similares a las de los corredores, para quienes la diferencia entre el ciclismo y la carrera fue mayor que en los ciclistas.

Parecería que en los sujetos entrenados, no siempre se puede observar la aceleración de los ajustes del  $\text{VO}_2$  al comienzo del ejercicio pesado después de entrenamiento de la resistencia, esto es lo contrario a lo que se observa en sujetos desentrenados. Por ejemplo, Millet et al. (2002) no informaron que en un grupo de triatletas que altamente entrenados, el entrenamiento indujo un tiempo constante más rápido en la fase primaria. Sin embargo, ellos informaron que  $\tau_1$  disminuyó de 21 a 14 s en los siete sujetos que tenían el menor  $\text{VO}_{2\text{max}}$  (aprox.  $64 \text{ mL min kg}$ ).

La comparación de los parámetros de la cinética del  $\text{VO}_2$  (así como el CE de la carrera y la capacidad anaeróbica en ciclismo) entre triatletas de OD y LD debería ser la primera prioridad para caracterizar las adaptaciones al entrenamiento y para mejorar los conocimientos sobre los determinantes de rendimiento en triatlón utilizando una perspectiva científica "moderna".

## **DIFERENCIAS DE LESIONES ENTRE LOS TRIATLETAS DE OD Y LD**

Las diferencias en las adaptaciones al entrenamiento entre los triatletas LD y OD pueden tener, o mejor dicho, tienen implicaciones para la incidencia y/o severidad de lesiones por sobreuso en estos grupos. En un estudio retrospectivo preliminar, Vleck (2010b; Vleck et al., 2010) observó que el número de lesiones por sobreuso producidas durante un



período de cinco años no era diferente entre triatletas de OD y triatletas de LD. Sin embargo, si fueron diferentes las proporciones de atletas de OD y de LD que eran afectados por lesiones en sitios anatómicos particulares ( $p < 0,05$ ). Por ejemplo, una mayor proporción de varones OD que de varones LD presentaron lesiones en el tendón de Aquiles ( $p < 0,05$ ). Además un gran número del total de lesiones por sobreuso que sufrieron los atletas de OD se produjeron en la zona baja de la espalda (17,9%), tendón de Aquiles (14,3%) y rodillas (14,2%), mientras que la mayoría de las lesiones que se informaron en los atletas de IR fueron en las rodillas (44%), pantorrillas (20%), isquiotibiales (20%) y zona baja de la espalda (20%). Además una menor cantidad de atletas de OD (16,7% vs. 36,8%,  $p < 0,05$ ) informaron la recurrencia de sus lesiones. Si bien los atletas de OD presentaron menos lesiones durante las carreras que los atletas de LD ( $1,6 \pm 0,5$  vs.  $1,9 \pm 0,3$ ,  $p < 0,05$ ), una mayor cantidad dejó de correr (41,7% vs. 15,8%) y por un tiempo mayor ( $33,5 \pm 43,0$  vs.  $16,7 \pm 16,6$  días,  $p < 0,01$ ). En el grupo de atletas de OD que realizó repeticiones de ciclismo de ascenso (*bike hill repetitions*), el número de lesiones por sobreuso observadas se correlacionó inversamente con el tiempo de entrenamiento porcentual y el número de sesiones, ( $r = -0,44$  y  $-0,39$ , respectivamente, ambos con  $p < 0,05$ ). El número de lesiones por sobreuso en atletas LD se correlacionó con la cantidad de sesiones intensivas realizadas ( $r = 0,67$ ,  $p < 0,01$  y  $r = 0,56$ ,  $p < 0,05$  para la duración de las sesiones de "carrera de velocidad" y 'ciclismo de velocidad'). Por lo tanto es importante, que los entrenadores observen que las diferencias fisiológicas y de entrenamiento entre triatletas OD y LD pueden conducir al riesgo diferencial observado de lesiones en sitios anatómicos específicos.

## CONCLUSIONES

Después de 30 años de investigación científica, podemos concluir que sólo los parámetros fisiológicos "tradicionales / anticuados" ( $VO_{2max}$ , umbral anaeróbico) han sido medidos y analizados a gran escala. Sólo existen algunos datos disponibles sobre el CE de carrera o de la eficiencia de ciclismo en triatletas. Casi nada se ha publicado sobre la capacidad anaeróbica en ciclismo o sobre la cinética del  $VO_2$ . Muy poco se sabe con respecto al contenido del entrenamiento. Las investigaciones sobre la magnitud las lesiones y sobre los factores de riesgo para las lesiones en triatletas LD y OD, aún están en pañales (Vleck, 2010).

La Unión Internacional de Triatlón podría tomar una actitud proactiva para iniciar una evaluación longitudinal en triatletas de élite. Esto sería obviamente de gran ayuda para entrenadores y científicos. Los datos recolectados también podrían complementar los datos que se obtienen para el "pasaporte sanguíneo/biológico" y podrían representar el primer paso hacia un " pasaporte fisiológico".

## REFERENCIAS

1. Albrecht T. L, Foster V. L, Dickinson A. L. (1986). Triathletes: exercise parameters measured during bicycle, swim bench, and treadmill testing. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18:86.
2. Basset F, Boulay M. R. (2003). Treadmill and cycle ergometer tests are interchangeable to monitor triathletes annual training. *J. Sports Sci. Med.* 2(3):110-6.
3. Basset F. A. , Boulay M. R. (2000). Specificity of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *Eur J Appl Physiol.* 81(3):214-21.
4. Bassett D. R. , Howley E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(1):70-84.
5. Bernard T. , Vercruyssen F. , Grego F. , Hausswirth C. , Lepers R. , Vallier J. M. , et Al. (2000). Effect of cycling cadence on subsequent 3 km running performance in well trained triathletes. *Br. J. Sports Med.* 37(2): 154-8.
6. Billat V, Lepretre P. M. , Heugas A. M. , Laurence M. H. , Salim D. , Koralsztein J. P. (2003). Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35(2):297-304.
7. Billat V. L. , Demarle A. , Slawinski J. , Paiva M. , Koralsztein J. P. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33(12):2089-97.
8. Billat V. L. , Mille-Hamard L. , Petit B. , Koralsztein J. P. (1999). The role of cadence on the  $VO_2$  slow component in cycling and running in triathletes. *Int. J. Sports Med.* 20(7):429-37.
9. Boone T. , Kreider R. B. (1986). Bicycle exercise before running: effect on performance. *Ann Sports Med.* 3:25-9.
10. Boussana A. , Hue O. , Hayot M. , Matecki S. , Ramonatxo M. , Le Galláis D. (2000). Capacité de diffusion pulmonaire avant un triathlon et 24 heures après la compétition. *Science & Sports.* ; 15:245-47.
11. Boussana A. , Matecki S. , Galy O. , Hue O. , Ramonatxo M. , Le Galláis D. (2001). The effect of exercise modality on respiratory muscle performance in triathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33(12):2036-43.
12. Burnley M. , Jones A. M. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *Eur. J. Sport Sci.* 7(2):63-79.

13. Butts N. K. , Henry B. A, Mclean D. (1991). Correlations between VO<sub>2</sub>max and performance times of recreational triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 31(3):339-44.
14. Caillaud C. , Serre-Cousine O. , Anselme F. , Capdevilla X. , Prefaut C. (1995). Computerized tomography and pulmonary diffusing capacity in highly trained athletes after performing a triathlon. *J. Appl. Physiol.* 79(4): 1226-32.
15. Caputo F. , Denadai B. S. (2004). Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. O.* 93(1-2):87-95.
16. Carter H. , Jones A. M. , Barstow T. J. , Burnley M. , Williams C. , Doust J. H. (2000). Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *J. Appl. Physiol.* 89(5): 1744-52.
17. Carter H. , Jones A. M. , Barstow T. J. , Burnley M. , Williams C. A. , Doust J. H. (2000). Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. *J Appl Physiol.* 89(3):899-907.
18. Chapman A. R. , Vicenzino B. , Blanch P. , Hodges P. W. (2008). Is running less skilled in triathletes than runners matched for running training history? *Med. Sci. Sports Exerc.* 40(3):557-65.
19. Chatard J. C. , Chollet D. , Millet G. (1998). Performance and drag during drafting swimming in highly trained triathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30(8): 1276-80.
20. Chollet D. , Hue O. , Auclair F. , Millet G. , Chatard J. C. (2000). The effects of drafting on stroking variations during swimming in elite male triathletes. *Eur. J. Appl. Physiol. O.* 82(5-6):413-7.
21. Conley D. L. , Krahenbuhl G. S. , Burkett L. N. , Millar A. N. (1984). Following Steve Scott: Physiological changes accompanying training. *Phys. Sports Med.* 12(103-106).
22. Coyle E. F. (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 23:25-63.
23. Danner T, Plowman S. A. (1995). Running economy following an intense cycling bout in female duathletes and triathletes. *WSPAJ.* 3(1):29-39.
24. Davis J. A. , Vodak P. , Wilmore J. H. , Vodak J. , Kurtz P. (1976). Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J. Appl. Physiol.* 41(4):544-50.
25. De Vito G. , Bernardi M. , Sproviero E. , Figura F. (1995). Decrease of endurance performance during Olympic Triathlon. *Int. J. Sports Med.* 16(1):24-8.
26. Deitrick R. W. (1991). Physiological responses of typical versus heavy weight triathletes to treadmill and bicycle exercise. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* ; 31:367-75.
27. Delextrat A. , Tricot V. , Bernard T. , Vercreuyssen F. , Hausswirth C. , Brisswalter J. (2003). Drafting during swimming improves efficiency during subsequent cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35(9):1612-9.
28. Dengel D. R. , Flynn M. G. , Costill D. L. , Kirwan J. P. (1989). Determinants of success during triathlon competition. *Res. Q. Exerc. Sport.* ; 60(3):234-8.
29. Derman Kd, Hawley Ja, Noakes T. D. , Dennis S. C. (1996). Fuel kinetics during intense running and cycling when fed carbohydrate. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 74(1-2):36-43.
30. Di Prampero P. E. , Atchou G. , Bruckner J. C. , Moia C. (1986). The energetics of endurance running. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 55(3):259-66.
31. Farber H. , Arbetter J. , Schaefer E. , Hill S. , Dallal G. (1987). Acute metabolic effects of an endurance triathlon. *Annals of Sports Medecine.* 3(2): 131-8
32. Farber H. W. , Schaefer E. J. , Franey R. , Grimaldi R. , Hill N. S. (1991). The endurance triathlon: metabolic changes after each event and during recovery. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23(8):959-65.
33. Fernhall B. , Kohrt W. (1990). The effect of training specificity on maximal and submaximal physiological responses to treadmill and cycle ergometry. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 30(3):268-75.
34. Flynn M. G. , Costill D. L. , Kirwan J. P. , Fink W. J. , Dengel D. R. (1987). Muscle fiber composition and respiratory capacity in triathletes. *Int. J. Sports Med.* 8(6):383-6.
35. Galy O. , Hue O. , Boussana A. , Peyreigne C. , Couret . I, Le Galláis D. et al. (2003). Effects of the order of running and cycling of similar intensity and duration on pulmonary diffusing capacity in triathletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 90(5-6):489-95.
36. 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. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 13(3):185-93.
37. Gilman M. B. (1996). The use of heart rate to monitor the intensity of endurance training. *Sports Med.* 21(2)73-9.
38. Guezennec C. Y, Vallier J. M. , Bigard A. X. , Durey A. (1996). Increase in energy cost of running at the end of a triathlon. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 73(5):440-5.
39. Hausswirth C. , Bigard A. X. , Berthelot M. , Thomaidis M. , Guezennec C. Y. (1996). Variability in energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon. *Int. J. Sports Med.* 17(8):572-9.
40. Hausswirth C. , Bigard A. X. , Guezennec C. Y. (1997). Relationships between running mechanics and energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon. *Int. J. Sports Med.* 18(5):330-9.
41. Hausswirth C. , Bigard A. X. , Le Chevalier J. M. (1997). The Cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen uptake measurements during exercise. *Int. J. Sports Med.* 18(6):449-53.
42. Hausswirth C. , Brisswalter J. , Vallier J. M. , Smith D. , Lepers R. (2000). Evolution of electromyographic signal, running economy, and perceived exertion during different prolonged exercises. *Int. J. Sports Med.* 21(6):429-36.
43. Hausswirth C. , Lehenaff D. (2001). Physiological demands of running during long distance runs and triathlons. *Sports Med.* 31(9):679-89.
44. Hausswirth , Vallier J, Lehenaff , Brisswalter , Smith , Millet et al. (2001). Effect of two drafting modalities in cycling on running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:485-92.
45. Hausswirth C. , Vallier J. , Lehenaff D. , Smith D. , Millet G. , Dreano P. et al. (2000). Effect of alternate or continuous sheltered position in cycling on the consecutive running. *VIII ACAPS international congress.* 176-7.
46. Hill N. S. , Jacoby C. , Farber H. W. (1991). Effect of an endurance triathlon on pulmonary function. *Med. Sci. Sports Exerc.*

47. Holly R. G. , Barnard R. J. , Rosenthal M. , Applegate E. , Pritikin N. (1986). Triathlete characterization and response to prolonged strenuous competition. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18(1): 123-7.
48. Hue O. , Galy O. , Le Galláis D. , Prefaut C. (2001). Pulmonary responses during the cycle-run succession in elite and competitive triathletes. *Can. J. Appl. Physiol.* 26(6):559-73.
49. Hue O. , Le Galláis D. , Boussana A. , Chollet D. , Prefaut C. (2000). Performance level and cardiopulmonary responses during a cycle-run trial. *Int. J Sports Med.* 21(4):250-5.
50. Hue O. , Le Galláis D. , Boussana A. , Chollet D. , Prefaut O. (1999). Ventilatory responses during experimental cycle-run transition in triathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31 (10): 1422-8.
51. Hue O. , Le Galláis D. , Boussana A. , Galy O. , Chamari K. , Mercier B. et al. (2000). Catecholamine, blood lactate and ventilatory responses to multi-cycle-run blocks. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(9): 1582-6.
52. Hue O. , Le Galláis D. , Chollet D. , Boussana A. , Prefaut O. (1998). The influence of prior cycling on biomechanical and cardiorespiratory response profiles during running in triathletes. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* ; 77(1-2):98-105.
53. Hue O. , Le Galláis D. , Chollet D. , Prefaut C. (2000). Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake in present triathletes. *Can. J. Appl. Physiol.* 25(2):102-13.
54. Hue O. , Le Galláis D. , Prefaut C. (2001). Specific pulmonary responses during the cycle-run succession in triathletes. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 11(6):355-61.
55. Ingham S. A. , Carter H. , Whyte G. P. , Doust J. H. (2007). Comparison of the oxygen uptake kinetics of club and Olympic champion rowers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39(5):865-71.
56. Jacobs I. , Sjodin B. (1985). Relationship of ergometer-specific VO<sub>2</sub> max and muscle enzymes to blood lactate during submaximal exercise. *Br. J. Sports Med.* 19(2):77-80.
57. Jones A. M. (2006). The physiology of the World record holder for the Women's marathon. *Int. J. Sports Sci. Coach.* 1(2): 101-15.
58. Joyner M. J. , Coyle E. F. (2008). Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J. Physiol.* 586(1):35-44.
59. Kerr C. G. , Trappe T. A. , Starling R. D. , Trappe S. W. (1998). Hyperthermia during Olympic triathlon: influence of body heat storage during the swimming stage. *Med. Sci. Sports Exerc.* Jan;30(1):99-104.
60. Kilding A. E. , Fysh M. , Winter E. M. (2007). Relationships between pulmonary oxygen uptake kinetics and other measures of aerobic fitness in middle- and long-distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 100(1): 105-14.
61. Kohrt W. , M. , Morgan D. W. , Bates B. , Skinner J. S. (1987). Physiological responses of triathletes to maximal swimming, cycling, and running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19(1):51-5.
62. Kohrt W. M. , O'Connor J. S. , Skinner J. S. (1989). Longitudinal assessment of responses by triathletes to swimming, cycling, and running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21(5):569-75.
63. Kreider R. B. , Boone T. , Thompson W. R. , Burkes S. , Cortes C. W. (1988). Cardiovascular and thermal responses of triathlon performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20(4):385-90.
64. Kreider R. B. (1988). Ventilatory threshold in swimming, cycling and running in triathletes. *Int. J. Sports Med.* 9:147-8.
65. Laurenson N. M. , Fulcher K. Y. , Korkia P. (1993). Physiological characteristics of elite and club level female triathletes during running. *Int. J. Sports Med.* 14(8):455-9.
66. Leake C. N. , Carter J. E. (1991). Comparison of body composition and somatotype of trained female triathletes. *J. Sports Scie.* 9(2): 125-35.
67. Loftin M. , Warren B. L. , Zingraf S. , Brandon J. E. , Skudlt A. , Scully B. (1988). Peak physiological function and performance of recreational triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 28(4):330-5.
68. Loy S. F. , Hoffmann J. J. , Holland G. J. (1995). Benefits and practical use of cross-training in sports. *Sports Med.* 19(1): 1-8.
69. Lucia A. , Esteve-Lanao J. , Olivan J. , Gomez-Gallego F. , San Juan A. F. , Santiago C. et al. (2006). Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 31(5):530-40.
70. Lucia A. , Olivan J. , Bravo J. , Gonzalez-Freire M. , Foster C. (2007). The key to top-level endurance running performance: A unique example. *Br. J. Sports Med.* 29.
71. Margaritis I. , Tessier F. , Verdera F. , Bermon S. , Marconnet P. (1999). Muscle enzyme release does not predict muscle function impairment after triathlon. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 39(2): 133-9.
72. Massimino F. A. , Armstrong M. A. , O'toole M. L. , Hiller W. D. , Lair R. H. (1988). Common triathlon injuries: special considerations for multisport training. *Annals of Sports Medicine.* 4(2):82-6.
73. Medelli J. , Maingourd Y. , Bouferrache B. , Bach V. , Freville M. , Libert J. P. (1993). Maximal oxygen uptake and aerobic-anaerobic transition on treadmill and bicycle in triathletes. *Jpn. J. Physiol.* 43(3):347-60.
74. Millard-Stafford M. , Sparling P. B. , Rosskopf L. B. , Hinson B. T. , Dicarlo L. J. (1990). Carbohydrate-electrolyte replacement during a simulated triathlon in the heat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22(5):621-8.
75. Millet G. P. , Bentley D. J. (2004). The physiological responses to running after cycling in elite junior and senior triathletes. *Int. J. Sports Med.* 25(3): 191-7.
76. Millet G. P. , Candau R. B. , Barber B. , Busso T. , Rouillon J. D. , Chatard J. C. (2002). Modelling the transfers of training effects on performance in elite triathletes. *Int. J. Sports Med.* 23(1):55-63.
77. Millet G. P. , Dreano P. , Bentley D. J. (2003). Physiological characteristics of elite short- and long distance triathletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 88(4-5):427-30.
78. Millet G. P. , Jaouen B. , Borrani F. , Candau R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO<sub>2</sub> kinetics. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34(8): 1351-9.
79. Millet G. P. , Millet G. Y. , Candau R-B. (2001). Duration and seriousness of running mechanics alterations after maximal cycling in triathletes. *Influence of the performance level. J. Sports Med. Phys. Fitness.* 41 (2): 147-53.
80. Millet G. P. , Millet G. Y. , Hofmann M. D. , Candau R. B. (2000). Alterations in running economy and mechanics after maximal cycling in triathletes: influence of performance level. *Int. J. Sports Med.* 21 (2): 127-32.
81. Millet G. P. , Vleck V. E. , Bentley D. J. (2009). Physiological differences between cycling and running: lessons from triathletes.

- Sports Med.* 39(3): 179-206.
82. Millet G. P. , Vleck V. E. (2000). Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. *Br J. Sports Med.* ; 34(5):384-90.
  83. Miura H. , Ishiko T. (1993). Cardiorespiratory responses during a simulated triathlon. *International council for health, physical education and recreation (ICHPER) 36th World Congress; Yokohama, Japan; 1993; 157-61.*
  84. Miura H. , Kitagawa K. , Ishiko T. , Matsui N. (1994). Characteristics of VO<sub>2</sub>max and ventilatory threshold in triathletes. *Jpn J. Exerc Sports Physiol.* 1 (1):99-106.
  85. Miura H. , Kitagawa K. , Ishiko T. (1999). Characteristic feature of oxygen cost at simulated laboratory triathlon test in trained triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 39(2): 101-6.
  86. Miura H. , Kitagawa K. , Ishiko T. (1997). Economy during a simulated laboratory test triathlon is highly related to Olympic distance triathlon. *Int. J. Sports Med.* 18(4):276-80.
  87. Moreira-Da-Costa M. , Russo A. K. , Picarro I. C. , Silva A. C. , Leite-De-Barros-Neto T. , Tarasantchi J. et al. (1984). Maximal oxygen uptake during exercise using trained or untrained muscles. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 17(2): 197-202
  88. Murdoch S. D. , Bazzarre T. L. , Snider I. P. , Goldfarb A. H. (1993). Differences in the effects of carbohydrate food form on endurance performance to exhaustion. *Int. J. Sport Nutr. Mar;* 3(1):41-54.
  89. O'toole M. , Hiller W. D. B. , Douglas P. S. (1987). Cardiovascular responses to prolonged cycling and running. *Ann. Sports Med.* 3:124-30.
  90. O'toole M. L. , Douglas P. S. , Hiller W. D. (1998). Use of heart rate monitors by endurance athletes: lessons from triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 38(3): 181-7
  91. O'toole M. L. , Douglas P. S. (1995). Applied physiology of triathlon. *Sports Med.* 19(4):251-67.
  92. O'toole M. L. , Hiller D. B. , Crosby L. O. , Douglas P. S. (1987). The ultraendurance triathlete: a physiological profile. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19(1):45-50.
  93. Palazzetti S. , Margaritis I. , Guezennec C. Y. (2005). Swimming and cycling overloaded training in triathlon has no effect on running kinematics and economy. *Int. J. Sport Med.* 26(3): 193-9.
  94. Pechar G. S. , Mcardle W. D. , Katch F. L. , Magel J. R. , Deluca J. (1974). Specificity of cardiorespiratory adaptation to bicycle and treadmill training. *J. Appl. Physiol.* 36(6):753-6.
  95. Rehrer N. J. , Brouns F. , Beckers E. J. , Ten Hoor F. , Saris W. H. (1990). Gastric emptying with repeated drinking during running and bicycling. *Int J. Sports Med.* 11(3):238-43.
  96. Rehrer N. J. , Van Kemenade M. , Meester W. , Brouns F. , Saris W. H. (1992). Gastrointestinal complaints in relation to dietary intake in triathletes. *Int. J. Sport Nutr.* 2(1):48-59.
  97. Reis J. F. , Millet G. P. , Malatesta D. , Roels B. , Borrani F. , Vleck V. E. et al. (2010). Are oxygen uptake kinetics modified when using a respiratory snorkel? *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 5(3):292-300
  98. Roalstad M. S. (1989). Physiologic testing of the ultraendurance triathlete. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21:S200-4.
  99. Roberts A. , Mcelligott M. (1995). The relationship between strength and endurance in female triathletes. *NSRC Scientific Report. University of Canberra, AUS.*
  100. Roecker K. , Striegel H. , Dickhuth H. H. (2003). Heart-rate recommendations: transfer between running and cycling exercise? *Int J. Sports Med.* 24(3):173-8.
  101. Rowbottom D. G. , Keast D. , Garcia-Webb P. , Morton A. R. (1997). Training adaptation and biological changes among well-trained male triathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29(9): 1233-9.
  102. Ruby B. , Robergs R. , Leadbetter G. , Mermier C. , Chick T. , Stark D. (1996). Cross-training between cycling and running in untrained females. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 36(4):246-54.
  103. Sagnol M. , Claustre J. , Cottet-Emard J. M. , Pequignot J. M. , Fellmann N. , Coudert J. et al. (1990). Plasma free and sulphated catecholamines after ultra-long exercise and recovery. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 60(2):91-7.
  104. Saltin B. , Kim C. K. , Terrados N. , Larsen H. , Svedenhag J. , Rolf C. J. (1995). Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 5(4):222-30.
  105. Saltin B. , Larsen H. , Terrados N. , Bangsbo J. , Bak T. , Kim Ck. et al. (1995). Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scand J. Med Sci Sports.* ; 5(4):209-21.
  106. Schabort E. J. , Killian S. C. , St Clair Gibson A. , Hawley J. A. , Noakes T. D. (2000). Prediction of triathlon race time from laboratory testing in national triathletes. *Med. Sci. Sports Exerc. Apr;* 32(4):844-9.
  107. Schneider D. A. , Lacroix K. A. , Atkinson G. R. , Troped P. J. , Pollack J. (1990). Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in triathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22(2):257-64.
  108. Schneider D. A. , Pollack J. (1991). Ventilatory threshold and maximal oxygen uptake during cycling and running in female triathletes. *Int. J. Sports Med.* 12(4):379-83.
  109. Sleivert G. G. , Rowlands D. S. (1996). Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. *Sports Med.* 22(1):8-18.
  110. Sleivert G. G. , Wenger H. A. (1993). Physiological predictors of short-course triathlon performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25(7):871-6.
  111. Stein T. P. , Hoyt R. W. , Toole M. O. , Leskiw M. J. , Schluter M. D. , Wolfe R. R. , et al. (1989). Protein and energy metabolism during prolonged exercise in trained athletes. *Int. J. Sports Med.* 10(5):311-6.
  112. Tanaka H. (1994). Effects of cross-training. *Transfer of training effects on VO<sub>2</sub>max between cycling, running and swimming.* *Sports Med.* 18(5):330-9.
  113. Toraa M. , Friemel F. (2000). Fatigue of the respiratory muscles due to maximal exercise on 2 different ergometers. *Can J. Appl. Physiol.* 25(2):87-101.
  114. Toraa M. , Pouillard F. , Merlet P. , Friemel F. (1999). Cardiac hypertrophy and coronary reserve in endurance athletes. *Can J. Appl Physiol.* 24(1):87-95.
  115. Tschakovsky M. E. , Hughson R. L. (1999). Interaction of factors determining oxygen uptake at the onset of exercise. *J. App.*

116. Vercruyssen F. , Brisswalter J. , Hausswirth C. , Bernard T. , Bernard O. , Vallier J. M. (2002). Influence of cycling cadence on subsequent running performance in triathletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34(3):530-6.
117. Vercruyssen F. , Suriano R. , Bishop D. , Hausswirth C. , Brisswalter J. (2005). Cadence selection affects metabolic responses during cycling and subsequent running time to fatigue. *Br. J. Sports Med.* 39(5):267-72.
118. Vleck V. E. , Bentley D. J. , Millet G. P. , Cochrane T. (2010). Triathlon event distance specialization: training and injury effects. *J. Strength Cond. Res.* 24(1):30-6.
119. Vleck V. E. , Garbutt G. (1998). Injury and Training Characteristics of Male Elite, Development Squad, and Club Triathletes. *Int J. Sports Med.* 19(1):38-42.
120. Vleck V. Triathlon injury. (2010). In: Caine DJ. , Harmer PA & Schiff M (Eds. ). *Epidemiology of Injury in Olympic Sports. International Olympic Committee 'Encyclopaedia of Sports Medicine' Series. Wiley-Blackwell;. Pp. 294-320.*
121. Vleck V. (2010). Triathlete Training and Injury Analysis:- an investigation in British National Squad and age-group triathletes. *VDM Verlag Dr Miiller Publishers: Saarbrucken, Germany; 2010b.*
122. Whyte G. , Lumley S. , George K. , Gates P. , Sharma S. , Prasad K. , et al. (2000). Physiological profile and predictors of cycling performance in ultra-endurance triathletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 40(2): 103-9.
123. Withers R. T. , Sherman W. M. , Miller J. M, Costill D. L. (1981). Specificity of the anaerobic threshold in endurance trained cyclists and runners. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 47(1):93-104.
124. Zhou S. , Robson S. J. , King M. J. , Davie A. J. (1997). Correlations between short-course triathlon performance and physiological variables determined in laboratory cycle and treadmill tests. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 37(2): 122-30.